

Sommaire :

Remerciements	2
Sommaire	3
Liste des figures	4
Liste des tableaux	5
Introduction	6
CHAPITRE 1 : Présentation de la société	7
• Présentation du groupe ONA	8
• Aperçu sur la SONASID	9
• Histoire	11
• Organigramme	11
• Fiche signalétique de la SONASID	13
• Position de la SONASID dans le marché	14
• Partenariats	15
• Qualité, Sécurité et Environnement	16
CHAPITRE 2 : Informations sur le site Jorf Lasfar	17
• Aperçu	18
• Unités	
✓ Le broyeur	19
✓ L'aciérie	20
✓ Le laminoir	21
CHAPITRE 3 : Les traitements thermiques.	26

• Les traitements thermiques.	27
• La trempe.	28
• Le revenu.	30
• La convection.	31
CHAPITRE 4 : Problématique et solution.	32
• QQOQCP.	33
• Définition du problème.	34
• Solution proposé	34
Conclusion .	

Liste des figures

Figure 1 : Organigramme général du groupe SONASID.

Figure 2 : Fiche signalétique de Sonasid.

Figure 3 : Site de Jorf Lasfar.

Figure 4 : Procédé général de fabrication des ronds à béton à SONASID.

Figure 5 : schéma du procédé de fabrication dans l'aciérie.

Figure 6 : parc externe.

Figure 7 : parc interne.

Figure 8 : train de laminage.

Figure 9 : zone de finissage.

Figure 10 : Parc de stockage produit fini.

Figure 11 : courbe des traitements thermiques.

Figure 12 : diagramme fer-carbone

Figure 13 : structure de la barre après trempe

Figure 14 : dessin du CoolingBed plan horizontale.

Figure 15 : vue 3D multiple 3D

Figure 16 : Les différentes vues 2D.

Figure 17 : mise en position du circuit

Figure 18 : gaine de l'acier galvanisé

Liste des tableaux :

Tableau 1 : clarification du problème.

Tableau 2 : propriétés de l'eau.

Tableau 3 : vitesse de refroidissement des bains.

Tableau 4 : propriétés de l'air.

Tableau 5 : Comparaison entre l'acier et l'aluminium.

Introduction générale

L'industrie aujourd'hui, et notamment l'industrie de « process » qui traite en continu les matières premières pour fabriquer des produits à des degrés divers de finition, est une industrie développée, ayant depuis des années franchies des seuils importants en matière de productivité et de technicité.

Néanmoins, la compétition nationale et internationale dans laquelle se trouve placée l'oblige à continuer à progresser et à gagner des points de « rentabilité » sur elle-même et par rapport à ses concurrents. Or, si l'industrie marocaine est aujourd'hui bien équipée et si elle maîtrise bien la commande et la régulation des processus, elle rencontre cependant un problème important qui est l'amélioration de ses procédés qui l'empêche d'assurer la pérennité de l'industrie.

Maîtriser la performance des biens industriels permettrait à l'industrie d'aujourd'hui d'agir sur la régularité de sa production, sur ses coûts de fabrication, sur sa compétitivité et sur son succès commercial.

Le présent travail intitulé « études et conception d'un circuit d'alimentation d'air dans le CoolingBed » S'inscrit dans le cadre de notre projet de fin d'étude, établi en collaboration avec la Société Nationale de la Sidérurgie « SONASID » site EL JADIDA JORF LASFAR.

Dans cette perspective, notre projet d'études est axé sur le développement du processus en termes de la qualité des barres et de la minimisation de l'apparition de la corrosion sur ses dernières, ainsi que la conception d'un circuit d'alimentation d'air.

Ce rapport aura pour but de décrire en détail les étapes parcourues pour répondre au cahier de charges tout en respectant une logique technique et valeur technologique présumée par la société, voire même introduire une nouvelle façon de faire technique plus ou moins meilleur.

Dans ce qui va suivre, on essaie de présenter en bref la SONASID zone LAMINOIR à travers quelques dates et chiffres clé marquant son histoire, les produits qu'elle fabrique ainsi que les différentes installations ou procès de fabrication qu'elle contient. Puis, on s'intéressera au système de refroidissement actuelle et celui qu'on devra mettre en place

CHAPITRE 1 : Présentation de SONASID

Présentation du contexte de travail

La connaissance du contexte de travail s'avère une étape incontournable avant d'entamer l'étude du projet. Dans ce sens, ce chapitre sera consacré à une présentation abrégée du groupe SONASID, un aperçu général sur le site industriel de Jorf Lasfar et une description du procédé de fabrication.

Une attention particulière sera portée à la zone de travail (Laminoir) dans laquelle s'est déroulé mon projet de fin d'études, il sera question de parler de ses activités.

Généralités sur la société d'accueil :

1. Présentation du Groupe ONA :

Créé en 1919 le groupe ONA avait jusqu'au début des années 80 développé ses activités autour des secteurs du transport, du tourisme et des mines.

Avec le retrait de Paribas, il a pris des participations de contrôle dans divers secteurs tels que l'industrie du lait, l'industrie des corps gras, le transit maritime et la chimie.

Dénommé alors Omnium Nord-Africain, ONA a entrepris un développement par croissance externe dans de nouvelles activités telles que la banque, l'assurance et la pêche.

Dans les années 90, parallèlement à ces prises de participation importantes, ONA a entrepris la dynamisation des secteurs pionniers au Maroc, avec la création d'ensembles intégrés dans les secteurs de télécommunication et de la grande distribution.

Depuis 1995, le Groupe a entamé une politique de consolidation dans les secteurs considérés stratégiques, afin d'améliorer sa capacité bénéficiaire et de renforcer la structure financière de son bilan, tout en optimisant l'allocation de ses ressources humaines et financières.

Aujourd'hui, le groupe opère dans des secteurs prioritaires tels que l'agroalimentaire, les mines, l'assurance, l'immobilier et la distribution.

2. Aperçu général sur la SONASID :

SONASID a été créée par l'Etat marocain en 1974 avec une ambition de mettre en place une sidérurgie complètement intégrée depuis la production de minerai à Ouixane (Nador) et en le valorisant dans un haut fourneau d'un million de tonnes. Les études technico-économiques menées durant de nombreuses années ont abouti à l'opportunité d'un simple laminoir avec une intégration progressive en amont. C'est ainsi que fut lancé le premier maillon d'une sidérurgie nationale dédiée principalement au secteur de la construction.

La production a démarré en mars 1984 avec le laminoir de Nador d'une capacité de production initiale de 420 000 tonnes qui a été portée progressivement à 600 000 tonnes par an de ronds à béton et fil machine.

En 1996, SONASID introduit 35% de son capital en bourse et, en 1997, l'Etat cède 62% du capital à un consortium d'investisseurs institutionnels pilotés par la SNI.

Pour faire face aux nouvelles contraintes du marché et aux impératifs de compétitivité, SONASID a démarré en juillet 2002, un nouveau laminoir à Jorf Lasfar, région propice au développement industriel, avec une capacité de production annuelle approchant aujourd'hui les 400 000 tonnes.

En 2003, SONASID s'est lancée dans un ambitieux projet de réalisation d'une aciérie Électrique à Jorf Lasfar qui a démarré en août 2005 et assure la production de la billette, matière première des laminoirs de Nador et de Jorf Lasfar.

En 2005, SONASID a procédé à l'augmentation de capital dans Longo métal Armatures, activité développée initialement au sein de Longo métal Afrique, amenant ainsi sa participation à 92%.

Le 3 mars 2006, l'accord de partenariat entre Arcelor Mittal et SNI a été conclu pour le développement de SONASID.

3. Historique :

Voici les dates qui ont marqué l'histoire de la SONASID :

1974 : Création de SONASID par l'état marocain.

1984 : Démarrage de la production avec le laminoir de Nador avec une capacité de 420 000 t.

1991 : Libéralisation des importations.

1996 : Introduction de 35% du capital en bourse.

1997 : Cession par l'Etat de 62% du capital de SONASID à un consortium d'investisseurs institutionnels piloté par la SNI.

1998 : Acquisition de Longo métal Industries.

2000 : Lancement des travaux de réalisation du laminoir de Jorf Lasfar.

2001 : Fusion avec la filiale Longo métal Industries.

2002 : Démarrage du laminoir à JORF LASFAR.

2003 Certification ISO 9001 versions 2000 et lancement de la TPM à Nador et JORF LASFAR.

2004 : Certification NM (Norme Marocaine) du rond à béton de JORF LASFAR.

2005 : Démarrage de l'aciérie électrique d'une capacité de 650 000 t/an.

2006 : partenariat entre Arcelor Mittal et SNI pour le développement de SONASID.

2009 : Lancement du projet SAP

2011 : Mise en service d'un broyeur à Jorf Lasfar.

1.4. Organigramme :

La SONASID comprend aujourd'hui environ 900 fonctionnaires répartis selon les différents sites.

L'organigramme de ladite société se présente comme suit :

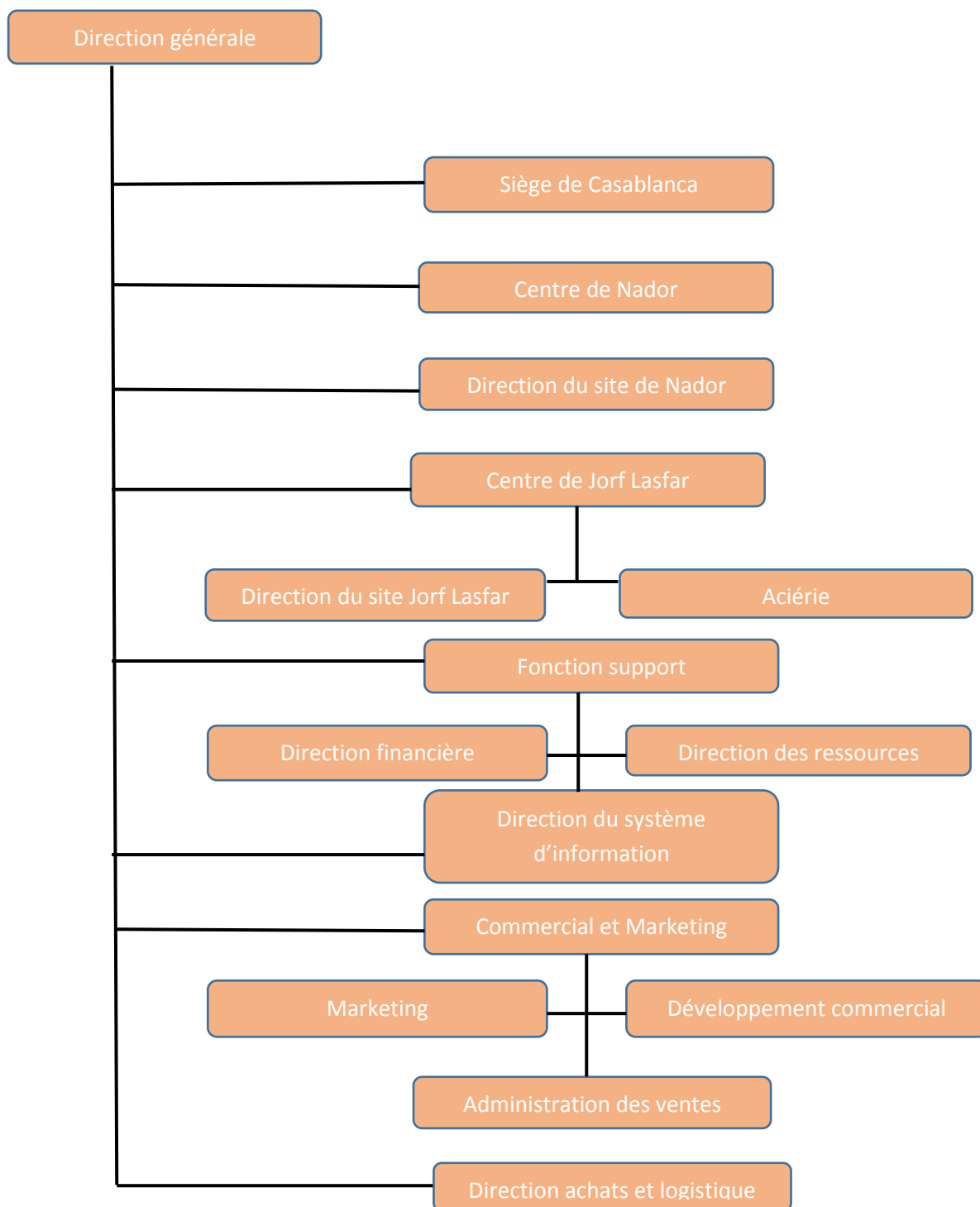


Figure 1 : Organigramme général du groupe SONASID

5. FICHE SIGNALÉTIQUE DE SONASID

Raison sociale :	SONASID
Direction générale :	Twin Center, angle Bd Zerktouni et Massira Al Khadra, Tour A 18ème étage, Casablanca
Directeur général :	Amine ABRAK
Siège social :	Plateau Al Jadida, B.P. 856/857, Jorf Lasfar
Statut juridique :	Société anonyme
Capital social :	390 MDHS
Date de création :	09 / 12 / 1974
Date d'introduction en bourse :	20 / 07 / 1996
Identification fiscale :	5370451
Patente :	57715500
Téléphone :	(+212) 5 22 95 41 00
Site Internet :	www.sonasid.ma
Secteur d'activité :	Industrie sidérurgique
Nature d'activité :	Production de produits sidérurgiques
Gamme de production :	Rond à béton, fil machine, laminés marchands
Classement national :	Leader de la sidérurgie au Maroc
Concurrents :	SOMETAL, UNIVERS ACIER
Chiffre d'affaire :	4 775 100 000 DH

Figure 2 : Fiche signalétique de Sonasid

6. Position de la SONASID dans le marché :

SONASID est le leader sidérurgique marocain sur les produits longs (rond à béton & fil machines) avec 83% de part de marché et un chiffre d'affaires de 5,7 milliards en 2006.

Avec près de 900 collaborateurs et à travers ses sites industriels situés à Nador et à Jorf Lasfar, SONASID a une capacité de production annuelle de plus d'un million de tonnes destinée principalement au secteur de la construction nationale.

Face aux enjeux de la mondialisation et de la libéralisation croissante des échanges commerciaux, SONASID poursuit sa mise à niveau tant au niveau industriel que stratégique répondant aux exigences d'un marché national en plein essor.

La modernisation permanente de son outil industriel a amené SONASID à concrétiser un projet de grande envergure donnant naissance à la première aciérie électrique du Maroc.

SONASID se positionne également sur le marché des armatures industrielles à travers sa filiale Longometal Armatures.

Le partenariat conclu en 2006 entre ArcelorMittal et SNI représente pour SONASID une opportunité de développement et de synergies.

Véritable référence dans son domaine et consciente de sa responsabilité vis-à-vis de la société, SONASID se distingue par son engagement citoyen au niveau régional, à travers une démarche basée sur la promotion de l'investissement, la création d'emplois et la protection de l'environnement.

7. Partenariats :

Un partenariat stratégique :

L'année 2006 a été marquée par la signature de l'accord de partenariat ArcelorMittal-SNI pour le développement de SONASID. Arcelor, SNI et les autres actionnaires de référence (MAMDA-MCMA, Axa Assurances Maroc, RMA Watanya, CIMR et Attijari wafa bank) ont transféré le 31 mai 2006, leurs participations respectives dans capital de SONASID à une société holding NSI Nouvelles Sidérurgies Industrielles. Cette société détient désormais 64,85% du capital de SONASID, capital réparti à 50/50 entre Arcelor et le groupe d'actionnaires marocains conduit par SNI. Cet accord repose sur la consolidation et le développement de la position de SONASID sur le marché marocain, et la volonté de la faire bénéficier de transferts de technologies et des compétences d'Arcelor dans le secteur des produits longs.

Aujourd'hui, un des grands volets de synergie avec le Groupe concerne l'approvisionnement de la matière première et des achats des grands consommables.

Quelques repères sur ArcelorMittal :

Premier Groupe sidérurgique mondial implanté dans 27 pays et comprenant 320 000 collaborateurs dans 61 sites de production.

15 milliards de dollars d'EBITBA en 2006.

Une capacité de production de 118 millions de tonnes.

Leader sur tous les principaux marchés mondiaux : automobile, construction, Électroménager et emballage.

Un réseau de distribution inégalé et un approvisionnement considérable en matière première.

8. Qualité, Sécurité et Environnement :

La mondialisation renforcée par les accords de libre-échange implique pour l'entreprise l'application d'un management moderne et la mise en œuvre d'une démarche Qualité Totale.

C'est dans ce contexte et dans une optique d'amélioration continue que SONASID s'est fixée des objectifs QSE ambitieux.

Soucieux de répondre aux exigences du marché en terme de qualité, de sécurité, et acteur important dans la réalisation de grands projets d'infrastructures au Maroc, SONASID s'est engagée depuis 1999 dans une démarche de certification qualité de l'ensemble de ses unités. Une orientation qui grâce à la forte mobilisation et implication des équipes s'est traduite par plusieurs consécutions : la certification ISO 9002 du site de Nador en 2001, la certification des produits conformément aux normes marocaines NM et en 2003 la reconnaissance de la conformité de tous les processus de l'entreprise conformément au référentiel ISO 9001 version 2000.

Consciente de sa responsabilité vis-à-vis de toutes les parties prenantes et de son environnement, SONASID s'est fixé en 2005 des objectifs plus ambitieux en élargissant le champ de certification aux aspects Santé, Sécurité au travail et Environnement. Un vaste chantier de certification QSE intégré de l'ensemble de ses sites et de ses activités qui s'est concrétisé, en janvier 2006, par le renouvellement de sa certification ISO 9001 version 2000 ainsi que l'obtention du certificat de conformité au référentiel NM 00.5.801 du Système de management de la Santé et de la Sécurité au Travail et au référentiel NM ISO 14001 du Système de Management de l'Environnement.

SONASID s'est également vue décerner, en 2006, lors de la 8ème édition du Prix National de la Qualité et du Prix National de la Sécurité au Travail, le 1er prix de la Sécurité au Travail et le 2ème prix de la Qualité dans la catégorie « Grandes Entreprises Industrielles ». Rétribution renouvelée en 2007 (prix qualité) et qui vient saluer les efforts déployés dans la mise en œuvre d'un système de management moderne, toujours à l'écoute des enjeux économiques et sociaux.

CHAPITRE 2 : PRESENTATION DE SONASID

JORFLASFAR

Le site SONASID de JORF LASFAR (figure 3) participe avec celui du Nador à l'alimentation du marché en rond à béton et en laminé marchand. Ils fournissent 90% des besoins nationaux.

A pleine capacité, l'usine produit 300 000 t/an de produits en barres reparties en rond de 8 mm à 40 mm de diamètre et en laminés marchands dans la gamme des carrés, cornières, sections en U et plats de dimensions répondant au besoin du marché national.

Le site s'étale sur environ 700 mètres de long par 420 mètres de large. Le terrain s'élève à 50 mètres au-dessus du niveau de la mère. Une sous station de la RADEEJ de 60 MVA est implanté au sud du site.

Concernant sa situation géographique, elle est située à l'est du port de Jorf Lasfar, dans la province d'El Jadida.



Figure 3 : Site de Jorf Lasfar

Description globale du procédé de fabrication

Le procédé de fabrication des barres à la Sonasid, présenté par la figure 4, passe par trois phases fondamentales : la préparation de la ferraille, suivi par la production des billettes et achevé par le laminage des billettes en barres.

Le procédé de fabrication des barres est détaillé pour chacune des 3 phases.

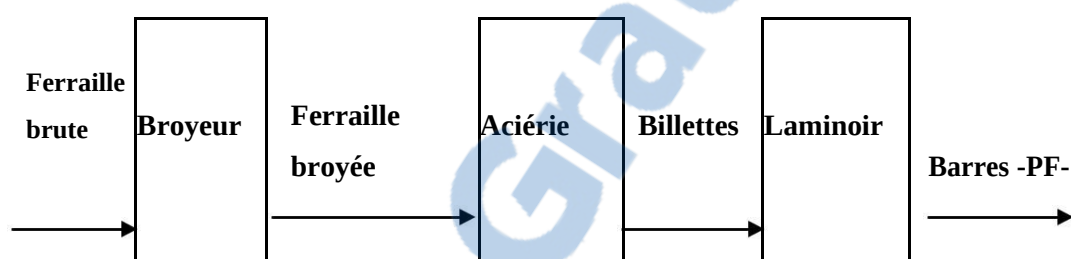


Figure 4 : Procédé général de fabrication des ronds à béton à SONASID

1. Le broyeur :

Entre 2011 et 2012, SONASID a achevé la réalisation d'une unité de broyage de ferrailles d'une capacité de 300.000 tonnes/an sur le site de Jorf Lasfar. Le projet a nécessité un investissement de 125 MDH, afin de traiter la ferraille locale avant de l'achever vers son aciérie électrique.

Ce broyeur permet d'éviter d'enfourner des stériles (sable, pierres, plastique...) qui représentent 5 à 20% de la ferraille brute, c.-à-d. la ferraille non broyée.

Cette unité a des impacts positifs majeurs en matière d'économie d'énergie et pour la protection de l'environnement. Grâce à cette unité, la fonte des ferrailles permet une économie de 35 GW.h /an, soit l'équivalent de la consommation électrique annuelle d'une ville de 50.000 habitants.

Elle permet la réduction du dégagement des gaz à effet de serre (CO₂, -17% comparativement à de la ferraille non broyée, soit 40.000 tonnes de CO₂/an), résultant de la baisse des consommations d'énergies électrique, de charbon et de la chaux.

Et pour finir, la propreté de la ferraille broyée conduit à une diminution du volume d'émissions de fumée et de poussières.

2. L'aciérie :

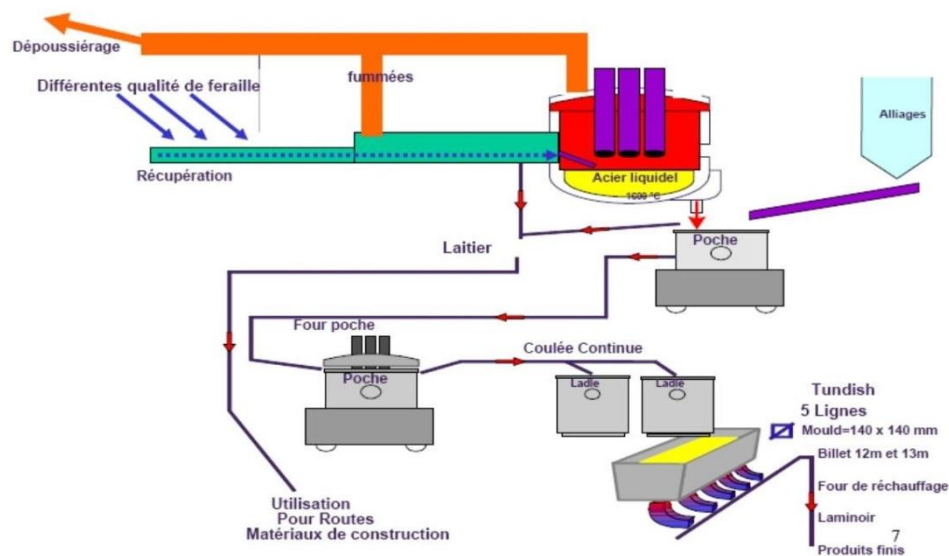


Figure 5 : schéma du procédé de fabrication dans l'aciérie

Le projet de l'aciérie électrique prévoit l'acquisition d'outils nécessaires pour la production de billettes d'acier à partir de la ferraille et de matières premières nécessaires pour leur élaboration.

Cette unité, de capacité nominale de 800.000 tonnes de billettes/an environ, a fait sa première coulée le 18 Août de 2005.

Une partie de sa production (inférieure à 10%) est destinée à la production d'aciers spéciaux.

Le four électrique est à courant alternatif d'une capacité de 120 tonnes d'acier liquide.

Le pied de bain quant à lui est 20 tonnes à peu près. La consommation annuelle de l'énergie électrique peut atteindre 300 GW.h avec une puissance électrique de l'ordre de 80 à 100 MW.

Les besoins énergétiques sont complétés par l'énergie chimique (injection d'oxygène, charbon et propane).

Ce four est doté d'un convoyeur à ferrailles Consteel. La ferraille posée sur ce convoyeur est ainsi chargée en continu dans la cuve du four. Ce procédé permet l'évacuation des fumées par le tunnel du convoyeur.

Un autre four poche assure l'affinage et la mise à nuance de l'acier liquide, avec une puissance de 18 MW. Cet acier coulé est coulé pour être refroidi en billettes de 140 mm².

Vient ensuite le rôle du système d'oxycoupage qui découpe le produit extrait, qui est ensuite marqué et refroidi sur un lit à air avant de l'évacuer dans une zone de stockage.

Le processus d'évacuation des billettes permet aussi d'enfourner à chaud les billettes dans le four du laminoir.

3. Le laminoir :

3.1. Parc à billettes :

Les billettes sont stockées dans deux parcs externe (figure 6) et interne (figure 7) situés du côté ouest du laminoir : Le parc de stockage interne est situé à l'entrée du four de réchauffage.



Figure 6 : Parc externe



figure 7 : Parc interne

L'alimentation du parc en billettes peut se faire soit à partir du parc externe, qui se trouve à proximité du parc interne du côté ouest, par des chariots élévateurs soit directement à partir des camions.

Le chargement des billettes dans le four se fait à partir du parc interne par le biais d'un pont roulant de 20t et d'une table de chargement qui se trouve avant l'entrée du four.

3.2. Four de réchauffage :

Le four de réchauffage est un four à sole mobile à combustion par le haut avec brûleurs latéraux et frontaux. Les billettes sont rangées à l'intérieur du four en une rangée de 12m. La capacité nominale du four pour un chargement à froid est de 80t/h. Lorsque la billette atteint la température idéale de laminage, elle est déchargée et transférée vers la ligne de laminage.

3.3 Train de laminage :

Le train de laminage (figure 8) est constitué de 18 cages. Il s'étale sur une longueur d'environ 55m.



Figure 8 : train de laminage

Une cisaille à arracher :

Elle est installée à l'entrée du train dégrossisseur pour le cisaillement d'urgence à la billette.

Le train dégrossisseur, cages 1 à 6 :

Il est composé de 3 cages verticales et de trois cages horizontales disposées en alternance. L'ensemble est conçu de façon à avoir un laminage continu de billettes sans torsion. Une cisaille à arracher est installée à l'entrée du train dégrossisseur pour le cisaillement d'urgence de la billette.

Une cisaille SH1 à ébouter :

Elle est située entre le train dégrossisseur et le train intermédiaire. L'aboutage de tête de la billette est effectué automatiquement. Cette cisaille a un second rôle : en cas de déviation de la

billette de son circuit, c.-à-d. dans le cas où elle quitte son trajet, elle est tronçonnée par cette même cisaille afin d'éviter qu'elle déborde en entier et constitue un risque pour les gens à côté.

Le train intermédiaire, cages 7 à 12 :

Il est conçu de la même manière que le train dégrossisseur pour un laminage de billettes sans torsion.

Une cisaille SH2 à ébouter :

Entre le train intermédiaire et finisseur, elle sert à enlever la tête, la queue, et le reste de la billette après avoir pris un certain nombre de billettes, qui comptent chacune 12 mètres (ou autre selon la commande). L'optimisation est faite de manière automatique en cas d'absence de soudage de billettes.

Le train finisseur, cages 13 à 18 :

Il est composé d'une alternance de cages horizontales et convertibles. Les cages convertibles peuvent travailler en position verticale ou horizontale.

Le train est constitué d'une seule ligne de laminage qui se répartie, dans le train finisseur, en deux ou trois veines pour les ronds à béton et les ronds mécaniques pour les diamètres 08mm à 14mm. Pour les diamètres plus grands ils sont laminés en une seule veine.

3.4. Zone de finissage :

La Zone de finissage (figure 9) est Située après le train de cage cette zone s'étale sur une longueur d'environ 170m. Elle comprend le refroidissement du produit, la formation des paquets, le ligaturage et le transfert vers la zone de stockage.



Figure 9 : Zone de finissage

La ligne de refroidissement à l'eau (QTB) :

Située en aval des cages de finition et avant la cisaille de coupe à mesure. Dans cette ligne s'opère la trempe de la surface du produit afin de le refroidir et atteindre les caractéristiques voulues sur ce produit.

La cisaille à diviser SH3 :

À la sortie de la ligne de refroidissement, le produit est entraîné par un rouleau entraineur vers la cisaille à diviser qui permet de couper les barres à des longueurs multiples.

Le CoolingBed CB :

Situé après la SH3, c'est une place pour mettre les barres coupées de 72 m qui passent à travers une série de rouleaux pour se refroidir le long du refroidissement. Le CB est équipé de moyen de levage et d'entraînement du produit vers l'entrée de la cisaille CCL

La cisaille CCL :

La cisaille a pendule conçue pour effectuer des coupes droites de 6 m et 18 m à travers les couches statiques ou en mouvement.

Les barres courtes sont récupérées et évacuées à la sortie de la table à rouleaux.

La zone fardelage :

Les couches de barres ainsi formées sont empilées et transférées vers la ligatureuse qui permet de lier les paquets avec du fil machine. Ces paquets sont ensuite pesés et transférés vers un convoyeur de stockage, installé après la ligature, qui les évacue vers l'aire de stockage.

3.5. Parc de stockage du produit fini :

Le parc interne de stockage (figure10) couvre une superficie d'environ 4000 m². Ce parc est équipé de trois ponts roulants : Deux sur une même ligne et le troisième sur l'autre ligne.

Ces trois ponts roulants assurent le transfert des fardeaux du convoyeur vers les zones de stockage et le chargement des camions à partir de ces zones.



Figure 10 : parc de stockage produit fini

CHAPITRE 3 : traitements thermiques.

***« Ce chapitre est consacré à définir le contexte général de notre projet
ainsi que sa problématique. »***

I- les traitements thermiques :

Les traitements thermiques sont constitués par un certain nombre d'opérations combinées de chauffage et de refroidissement ayant pour but d'améliorer les caractéristiques des matériaux et rendre ceux-ci plus favorables à un emploi donné, à partir de :

- Augmentation de la résistance à la rupture et de la limite élastique R_e , R_m , %A (pourcentage d'allongement) en donner une meilleure tenue de l'élément.
- Augmentation de la dureté, permettant à des pièces de mieux résister à l'usure ou aux chocs.
- De régénérer un métal qui présente un grain grossier (affiner les grains, homogénéiser la structure) cas des matériaux ayant subi le forgeage.

De supprimer les tensions internes (écrouissage) des matériaux avant subit une déformation plastique à froid (emboutissage, fluotournage).

Les traitements thermiques ne s'appliquent pas aux métaux purs, mais seulement à quelques alliages pour lesquels on recherche principalement une augmentation de la limite élastique et une diminution de la fragilité. En général les traitements thermiques ne changent pas la composition chimique de l'alliage.

Définitions et procédés des traitements thermiques.

Effectuer un traitement thermique sur une pièce, c'est faire subir à celle-ci une variation de la température en fonction du temps. Le procédé de traitement thermique se compose de (figure 11).

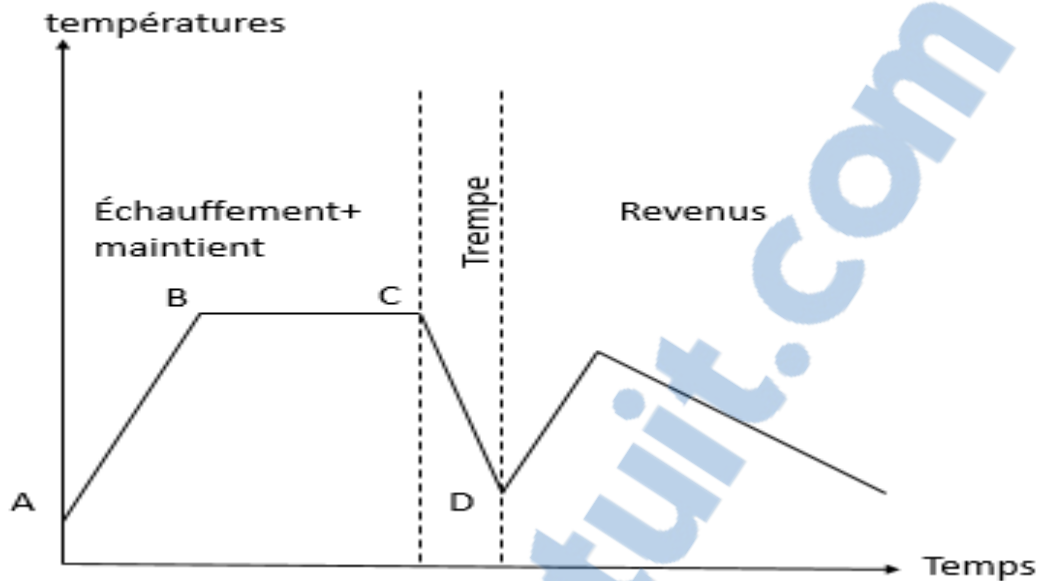


Figure 11 : courbe des traitements thermiques.

AB : L'échauffement à des températures supérieures aux températures de transformation (par exemple : AC3).

BC : Maintient à une température définie.

CD : Refroidissement avec une vitesse donnée (lente, assez rapide, très rapide).

II-La trempe :

La trempe qui consiste en un traitement visant à refroidir rapidement le métal à partir de sa température d'austénitisation (généralement entre 815 °C à 870 °C) afin d'obtenir une constitution martensitique. C'est cette transformation qui permet d'augmenter les caractéristiques mécaniques du métal traité notamment sa dureté.

La possibilité de faire subir à un acier un durcissement par trempe, est soumise à deux conditions indispensables :

- Une condition métallurgique : existence d'un domaine austénitique sur le diagramme d'équilibre de l'acier choisi de manière à pouvoir austénitiser cet acier en le portant à une température convenable

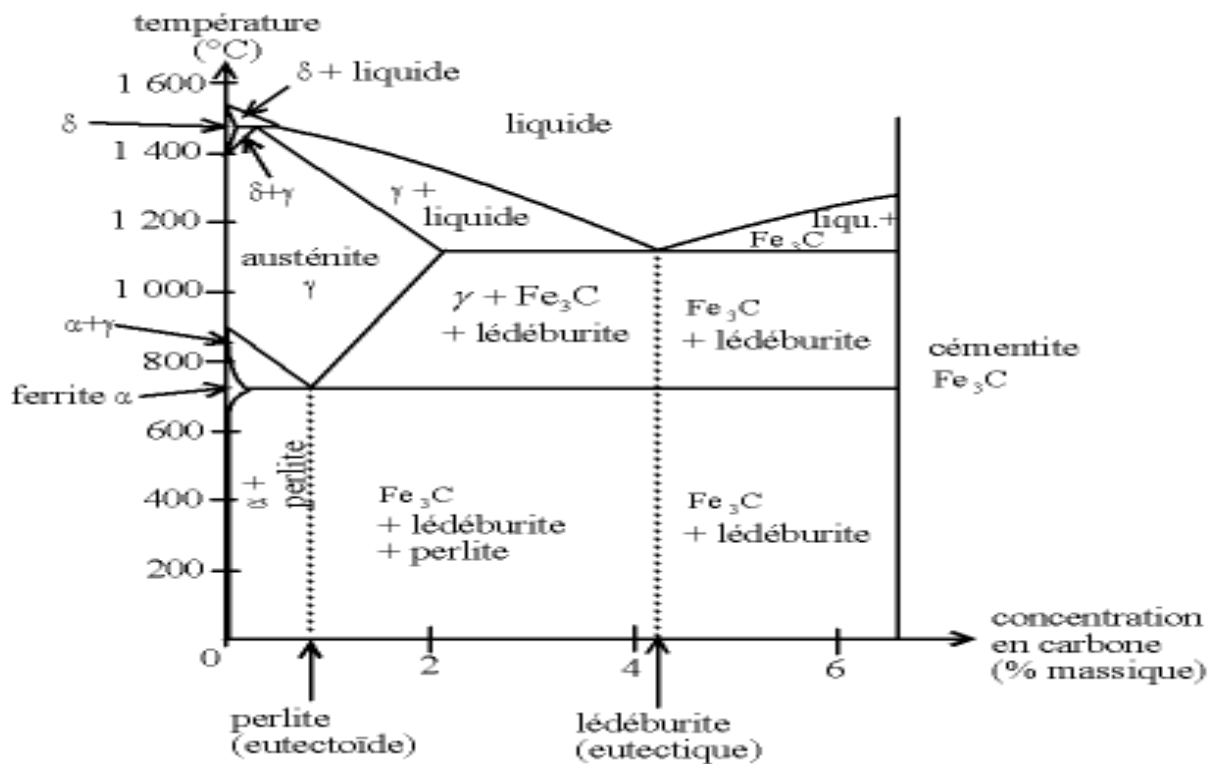


Figure 12 : diagramme fer-carbone

- Une condition thermique : possibilité de refroidir cet acier à une vitesse suffisante à partir de l'état austénitique de manière à provoquer la formation des constituants, hors d'équilibre, recherchés.

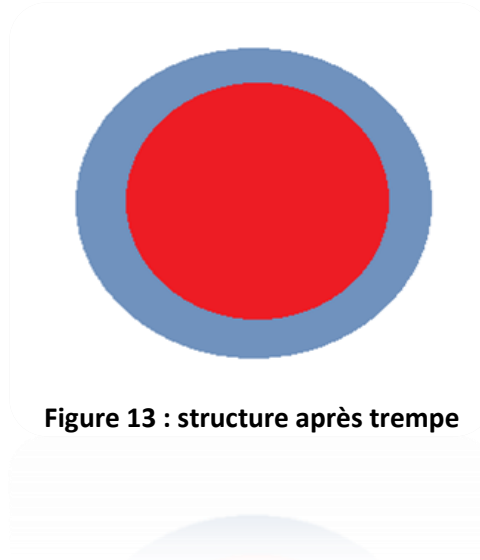


Figure 13 : structure après trempe

-martensite

-Austénite

- ⇒ Plus il y a la martensite plus la résistance mécanique sera grande.
- ⇒ Plus il y a l'austénite plus la Re augmentera.

Le cycle thermique de la trempe sera caractéristique de la dureté finale recherchée. Ce degré de dureté envisagé fera recourir à différentes méthodes de refroidissement.

La vitesse de refroidissement dépend principalement, pour une pièce déterminée :

- De la chaleur spécifique et la conductibilité thermique de l'acier ;
- De la masse, la forme et l'état de surface de la pièce ; plus la pièce sera massive plus le temps sera long.
- Pouvoir refroidissant du médium de trempe (air, eau, eau-sel, huile, sel, air forcé, etc.).

Sans oublier que la vitesse de refroidissement est maximale à la surface de la pièce et diminue vers le cœur.

Les milieux de trempe

La trempe s'effectue en général soit à l'eau, à l'huile ou à l'air. Le milieu de trempe est choisi surtout en fonction de la trempabilité de l'acier. La nature du bain de trempe (eau, huile, etc.) caractérise la vitesse de refroidissement de la pièce immergée après chauffage.

La trempe à l'eau : Ce traitement est réservé à des aciers peu alliés qui ont besoin de ce médium pour atteindre les caractéristiques recherchées. Le taux de refroidissement dans l'eau étant très élevé, ce traitement présente des risques importants de distorsion, voire de fissuration.

La trempe à l'huile : Ce traitement est réservé pour des aciers faiblement alliés.

La trempe à l'air forcée : Ce traitement est surtout utilisé sur des aciers dont les dimensions sont supérieures à la capacité des fours sous vide.

III-Les revenus

Les revenus sont pour leur part effectués après la trempe, et visent à supprimer les tensions moléculaires internes dues au refroidissement rapide qui fragilise le matériau.

Si cette opération n'est pas réalisée immédiatement après la trempe, un risque de rupture des pièces peut se produire plusieurs heures, voire plusieurs jours après la trempe.

Le résultat pratique est une augmentation de la ténacité de la structure, accompagné d'une diminution de la dureté.

⇒ Les traitements thermiques de la trempe se font dans la majorité des cas par convection.

IV- La convection

Ce mode d'échange de chaleur existe au sein des milieux fluides ou lorsqu'un fluide circule autour d'un solide, elle dépend de plusieurs paramètres :

⇒ La différence de température entre la paroi et le fluide, la vitesse du fluide, surface d'échange....

Il y a deux types de convection :

⇒ **Convection naturelle** : le fluide est mis en mouvement sous l'effet des différences masses volumiques, de la pesanteur et des différences de températures sur les frontières.

⇒ **Convection forcée** : le mouvement du fluide est induit par une cause indépendante des différences de température (pompe, ventilateur...).

Sans oublier la nature du régime d'écoulement il y a l'écoulement en **régime turbulent** et celui en **régime laminaire**.

La loi de newton donne l'expression du flux Φ échangée entre la surface d'un solide et celle du fluide.

$$\Phi = h_c * \Delta T * S$$

Φ : Le Flux de chaleur il s'exprime en Watts.

h_c : est la coefficient d'échange par convection il s'exprime en $W.m^2.K$.

S : La surface d'échange m^2 .

ΔT : différence de température entre le corps et le fluide en K.

Le problème majeur à résoudre avant de le calcul du flux de chaleur est de déterminer h_c qui dépend de nombreux paramètres :

- Caractéristique du fluide
- Nature d'écoulement
- Température
- La forme de la surface d'échange.

CHAPITRE 4 : PROBLÉMATIQUE ET SOLUTION

« Ce chapitre contient les problèmes que rencontrent le système ainsi qu'une solution d'optimisation pour ce dernier. »

1. Définition de la problématique :

Dans le but de décrire d'une manière structurée notre problématique, nous avons utilisé les principales. Réponse de l'outil QQQQCP décrit dans le tableau suivant :

Qui	Service de production et qualité
Quoi	Améliorer la qualité des barres
Où	CoolingBed
Quand	Quotidiennement
Comment	Etudes et conception d'un système de ventilation en air dans le CoolingBed
Pourquoi	Ralentissement de la corrosion

Tableau 1 : QQQQCP

Des réponses plus détaillées sur QQQQCP

Qui ? qui est concerné par le problème ?

Quoi c'est quoi le problème ? Après la production les barres restent des jours avant d'être chez le client, durant cette période des taches de corrosion commence à apparaître sur les barres.

Où ? Où apparait le problème ? Au niveau de la surface des barres.

Quand ? Quand est-ce qu'apparait le problème ? Après la production des barres.

Comment ? Comment mesurer le problème et ses solutions ? En se basant sur l'échange qui se passe durant la trempe par eau, nous allons connaître les paramètres de l'air afin d'avoir le même refroidissement.

Pourquoi ? pourquoi il faut résoudre le problème ? l'industrie évolue, le marché est de plus en plus exigeant en terme des impérativités du développement durable et les exigences des clients, c'est dans cette optique que ce travail est focalisé, il vise à améliorer la qualité du produit en n'ayant pas d'effet sur la production et en éliminant toutes sources de gaspillages.

3-Solution proposée :

Face à ce problème, il est nécessaire de proposer une solution qui est la suivante :

Etudes et conception d'un circuit d'alimentation en air dans le CoolingBed qui permettra :

⇒ De ralentir l'apparition de la corrosion dans les barres.

Etape 1 : connaitre le flux de chaleur échangé dans le QTB.

Le refroidissement des barres se fait dans la QTB et l'échange thermique se fait par CONVECTION :

On a la relation suivante :

$$\dot{Q} = h_c \cdot \Delta T \cdot S$$

Il faut déterminer le coefficient d'échange h_c .

Les données :

On a une barre de diamètre $D=12\text{mm}$ à $T_i=850^\circ\text{C}$ passe dans un conduit d'eau à $T_e=25^\circ\text{C}$ et $V_e=2\text{ms}^{-1}$.

On calculera le flux lors de l'échange d'une barre 1 m.

θ	ρ	c_p	λ	$10^4 \cdot \mu$	$10^7 \cdot \alpha$	Pr
$^\circ\text{C}$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$	$\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$	$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	
0	1002	4218	0,552	17,90	1,31	13,06
20	1001	4182	0,597	10,10	1,43	7,02
40	995	4178	0,628	6,55	1,51	4,34
60	985	4184	0,651	4,71	1,55	3,02
80	974	4196	0,668	3,55	1,64	2,22
100	960	4216	0,680	2,82	1,68	1,74
120	945	4250	0,685	2,33	1,71	1,45
140	928	4283	0,684	1,99	1,72	1,24
160	910	4342	0,680	1,73	1,73	1,10
180	889	4417	0,675	1,54	1,72	1,00
200	867	4505	0,665	1,39	1,71	0,94
220	842	4610	0,652	1,26	1,68	0,89
240	816	4756	0,635	1,17	1,64	0,88
260	786	4949	0,611	1,08	1,58	0,87
280	753	5208	0,580	1,02	1,48	0,91
300	714	5728	0,540	0,96	1,32	1,02

Tableau 2 : caractéristique physique de l'eau

On doit déterminer d'abord le nombre de Reynolds :

$$Re = \frac{V * L}{\gamma} = \frac{V * L * \rho}{\mu} = 1,98 * 10^6$$

v : la vitesse en m/s.

ρ : la masse volumique en kg m³.

μ : viscosité dynamique en kg m⁻¹s⁻¹.

L : longueur en m.

γ : viscosité cinématique en m²/s.

Puisque la convection est forcée et l'écoulement est turbulent alors

$$Nu = 0,366 * Pr^{0.33} * Re^{0.8}$$

Nu : c'est le nombre de NUSSELT, il caractérise l'importance de la convection par rapport à la conduction.

$$Pr_{eau} = \frac{\mu * Cp}{\lambda} = 5,51$$

Pr : c'est le nombre de PRANDTL, il caractérise la distribution des vitesses par rapport à la distribution de la température.

C_p = chaleur spécifique au matériau en J kg⁻¹ K⁻¹

Alors Nu=6889

$$\text{On a } h_c = \frac{Nu * \lambda}{d} = 13\,335,11 \text{ Wm}^2\text{K}$$

D'où

$$\Phi = h_c * \Delta T * S = 13709,11 * 0,4 * 550 = 2\,056\,366 \text{ W}$$

Etape 2 : connaitre la vitesse de l'air pour satisfaire le même environnement de refroidissement.

Il faut connaitre la vitesse de refroidissement pour assurer une structure martensitique.

Nature du bain	Vitesse de refroidissement
Saumure	220 °C / seconde
Eau froide	160 °C / seconde
Eau tiède	150 °C / seconde
Eau chaude	140 °C / seconde
Huile de trempe	70 °C / seconde
Air soufflé	20 °C / seconde
Air calme	2 °C / seconde
Dans un moule de sable	0,05 °C / seconde
Dans le four	0,01 °C / seconde (ou selon la programmation du cycle)

Tableau 3 : vitesse de refroidissement des bains

$$\Phi' = \Phi / 30 = 64\,545\text{W} \quad \text{avec } 30 = \frac{850-250}{20}$$

Φ' : le flux de chaleur par seconde que devra refroidir l'air par seconde.

On refroidira les barres avec un jet d'air ayant $T_{\text{air}} = 19^\circ\text{C}$ (température moyenne d'El Jorf Lasfar)

On va déterminer la valeur de la vitesse d'air qui devra passer sur les barres.

Puisque le transfert par air doit avoir un écoulement plus turbulent que celui de l'eau pour essayer de refroidir de la même façon.

D'où l'écoulement sera turbulent alors :

$$\text{Nu} = 0.036 * \text{Pr}^{0.3} * \text{Re}^{0.8}$$

θ	ρ	c_p	λ	$10^3 \cdot \mu$	$10^5 \cdot a$	Pr
$^{\circ}\text{C}$	kg.m^{-3}	$\text{J.kg}^{-1}.\text{^{\circ}C}^{-1}$	$\text{W.m}^{-1}.\text{^{\circ}C}^{-1}$	Pa.s^{-1}	$\text{m}^2.\text{s}^{-1}$	
0	1,292	1006	0,0242	1,72	1,86	0,72
20	1,204	1006	0,0257	1,81	2,12	0,71
40	1,127	1007	0,0272	1,90	2,40	0,70
60	1,059	1008	0,0287	1,99	2,69	0,70
80	0,999	1010	0,0302	2,09	3,00	0,70
100	0,946	1012	0,0318	2,18	3,32	0,69
120	0,898	1014	0,0333	2,27	3,66	0,69
140	0,854	1016	0,0345	2,34	3,98	0,69
160	0,815	1019	0,0359	2,42	4,32	0,69
180	0,779	1022	0,0372	2,50	4,67	0,69
200	0,746	1025	0,0386	2,57	5,03	0,68
220	0,700	1028	0,0399	2,64	5,43	0,68
240	0,688	1032	0,0412	2,72	5,80	0,68
260	0,662	1036	0,0425	2,79	6,20	0,68
280	0,638	1040	0,0437	2,86	6,59	0,68
300	0,616	1045	0,0450	2,93	6,99	0,68

Tableau 4 : caractéristique physique de l'air

On a $Re = \frac{V * L * \rho}{\mu}$

Et $hc = \frac{Nu * \lambda}{d}$

$\Leftrightarrow h_c = \frac{\lambda}{d} * 0,036 * Pr^{0.33} * Re^{0.8}$

D'où

$\Phi' = \frac{\lambda}{d} * 0,036 * Pr_{eau}^{0.32} * \left(\frac{V * L * \rho}{\mu} \right)^{0.8} * \Delta T * S$

$\Leftrightarrow V_{air} = \sqrt[0.8]{\frac{\Phi'}{\frac{\lambda}{d} * 0,036 * Pr_{eau} * \Delta T * S * \left(\frac{\rho * L}{\mu} \right)^{0.8}}}$

$V = 29 \text{ m/s}$

Etape 3 : connaitre les caractéristiques du ventilateur à utiliser

Après avoir déterminé la vitesse de l'air, il faut déterminer la section, types et le nombre de ventilateurs à utiliser.

->débit totale pour assurer cette vitesse : on a $Q=S*V$

$$V=29 \text{ ms}^{-1}$$

$$S= 0.15*72$$

$$\text{Soit } Q=313\text{m}^3 \text{ s}^{-1} = 1215000 \text{ m}^3\text{h}^{-1} \text{ (Pour 72 mètre)} = 121500\text{m}^3\text{h}^{-1} \text{ (pour les 10m)}$$

Nb : cette vitesse est très grande pour la rendre petite il faut augmenter le temps de refroidissement(ex : si $\Delta T=60\text{s}$ alors V deviendra 15ms^{-1} Qui est une valeur réalisable mais il y aura une réduction de la couche martensitique).



Etape 4 : Conception du circuit d'air et ses caractéristiques.

Figure 14 : dessin du CoolingBed plan horizontale.

Ce schéma est un dessin du Cooling qui fait 130m longueur et 13 m de largeur.

La barre entre dans le CoolingBed par A , Pour les barres de $D=12\text{mm}$ le temps de séjour dans le CoolingBed est de 13 minutes Soit 1m/s

On a le temps de refroidissement est de 30 seconde ,d'où il se fera sur 50cm.

1-conception :

On va faire le canal de 10m car il va se répéter 7 fois pour faire les 75 m.

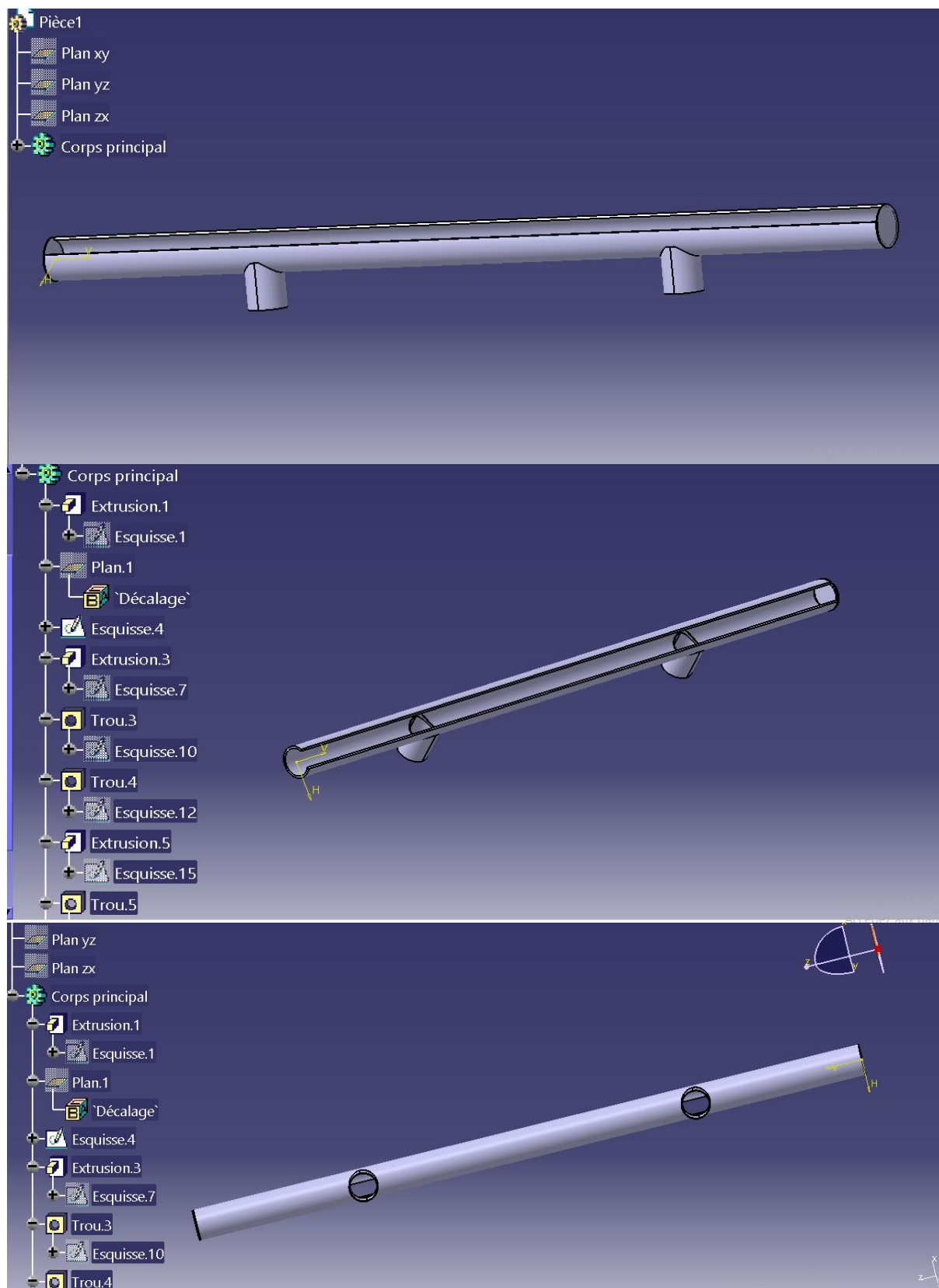


Figure 15 : vue 3D multiple 3D

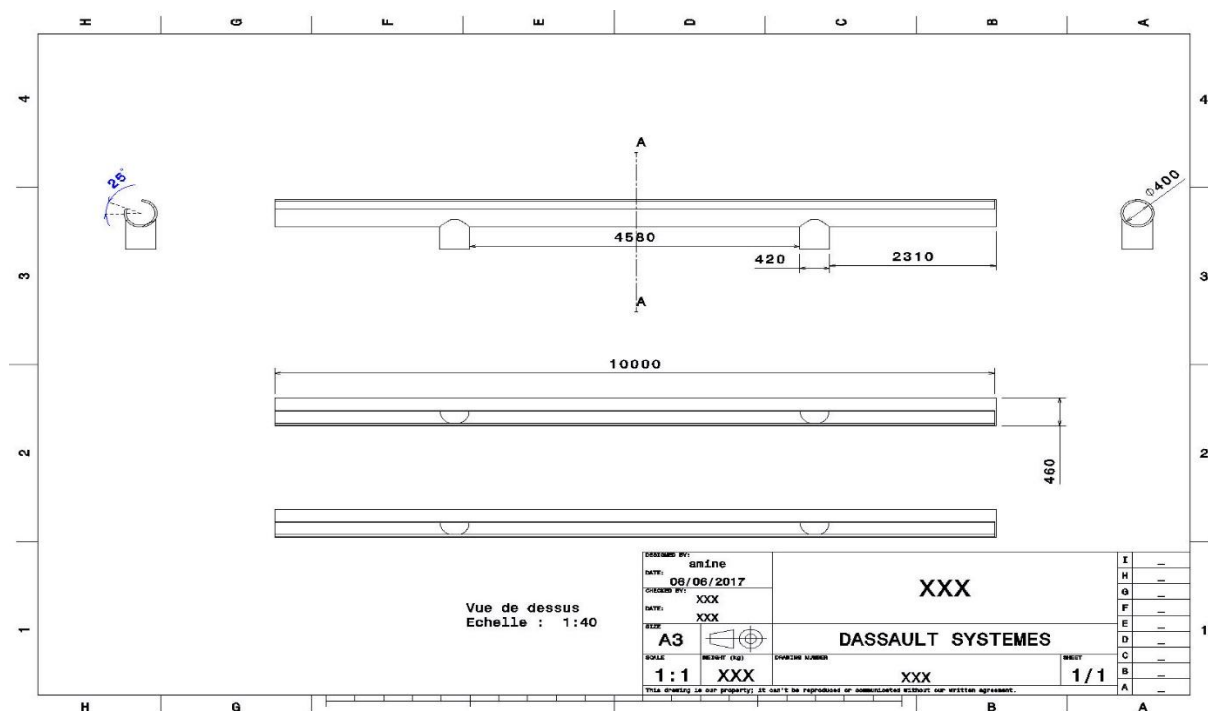


Figure 16 : Les différentes vues 2D.

3-mise en position du circuit d'air

Pour assurer un refroidissement complet de la barre , nous avons décidé que l'angle d'attaque des barres soit

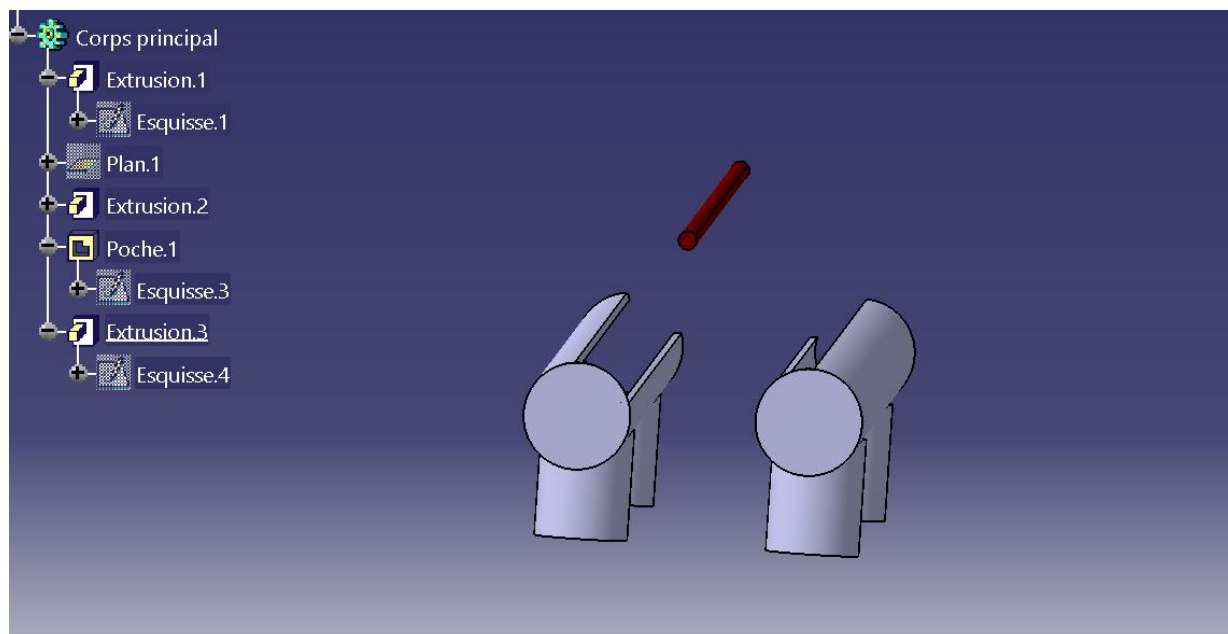


Figure 17 : Disposition du circuit d'air

2-choix de matériau :

Pour le choix de matériaux nous avons pris en considération différents critères qui sont :

- ⇒ Performance acoustique.
- ⇒ Fragilité.
- ⇒ La dureté.
- ⇒ La position et installation technique.

Ces critères nous ont permis de sélectionner deux types de matériaux les plus utilisés dans ce type d'installation industrielle qui sont :

- ⇒ Acier galvanisé.
- ⇒ Aluminium corroyé.

Dans le tableau suivant nous allons décrire les propriétés de chaque matériau qui va nous permettre de prendre le bon choix de matériaux qui convient et au Milieu de [Sonasid](#).

	<i>Température de fusion</i>	<i>Résistance à la compression</i>	<i>Dureté</i>	<i>L'installation</i>	<i>Mise en Œuvre</i>
<i>Acier Galvanisé</i>	<i>850°C</i>	<i>3000Pa</i>	<i>40 ans</i>	<i>Sous le CoolingBed</i>	<i>Rapide</i>
<i>Aluminium Corroyé</i>	<i>650°C</i>	<i>2002Pa</i>	<i>30 ans</i>	<i>Sous le CoolingBed</i>	<i>Rapide</i>

Tableau 5 : comparaison entre l'acier et l'aluminium

On peut conclure que le bon choix de matériaux s'agit de l'acier galvanisé qui est le plus utilisé au domaine de l'industrie d'après ce qu'il représente d'avantages que d'inconvénients.

3-l'acier galvanisé

L'acier Galvanisé est un matériau qui appartient à la famille des aciers qui est alliage de fer et de carbone recouvert d'une couche protectrice de zinc, il a un aspect métallique brillant ou mat, ainsi qu'il est utilisé dans les conduites, les tôles et structures de construction.



Figure 18 : gaine de l'acier galvanisé

Conclusion

Ce stage m'a permis non seulement d'approfondir mes connaissances, mais d'acquérir une expérience extrêmement valorisante d'un point de vue personnel. Une expérience qui m'a permis d'avoir une vision claire sur les relations interpersonnelles au sein du monde professionnel.

Au cours de mon stage technique j'ai été chargé de faire l'étude d'un circuit de ventilation dans le CoolingBed car quand la barre se fait refroidir dans le QTB il y a des traces de corrosion qui apparaissent sur la barre.

Au début j'ai calculé le flux thermique qui s'échangeait entre la barre et l'eau, une fois calculé j'ai rassemblé les informations sur les caractéristiques de l'air dans l'usine afin de déterminer la vitesse de ce dernier qui est de 29m/s, ensuite j'ai fait la conception du circuit d'air sur le logiciel de conception mécanique « Catia Cao » pour pouvoir refroidir les fers à béton d'une manière homogène, la conception de ce système a été réalisée en tenant compte de différents critères tel que le choix de matériaux et l'angle d'attaque, Et comme perspectives je juge nécessaire :

- Des essais afin d'approuver l'étude théorique.
- Un logiciel pour calculer la vitesse s'adapter au changement des variables.

Je suis très satisfait d'avoir pu effectuer ce stage entouré de personnes compétentes qui ont su me guider dans mes démarches tout en laissant une certaine autonomie, d'avoir assisté au déroulement des travaux et d'avoir travaillé dans le milieu industriel.

Bibliographie

Ouvrages :

- ❖ Documents interne de Sonasid.
- ❖ Chevalier André –Guide du dessinateur industriel.
- ❖ Guide hors production des opérateurs traitement thermiques.
- ❖ Traitements thermique, classification et désignation des aciers et fonte.