



UNIVERSITÉ SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH - FÈS

FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES

DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE



PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du :

Diplôme d'Ingénieur d'Etat

Spécialité : **Conception Mécanique et Innovation**

Étude et améliorations des ponts roulants -SCRAP YARD-

Effectué au sein de MAGHREB STEEL

Soutenu le 02 juillet 2015

Par :

HASNAOUI MOUNIR

Jury :

Pr. Mr. A. SEDDOUKI (FSTF)
Pr. Mme. I. MOUTAOUAKIL (FSTF)
Pr. Mr. A. TOUACHE (FSTF)

Encadré par :

Pr. Mr. A. SEDDOUKI (FSTF)
Mr. A. SAMMY (MAGREB STEEL)
Mr. R. BODA (MAGREB STEEL)

Année Universitaire : 2014-2015

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer mes profonds remerciements à :

Pr. A. SEDDOUKI , professeur à la Faculté des sciences et techniques de FES, qui m'a encadrée tout au long de ce travail. Je vous suis très reconnaissant pour vos précieux conseils.

Mr. SAMY ABDELJALIL, mon encadrant à MAGHREB STEEL , qui s'est toujours montré coopératif et prévenant par ses conseils et ses recommandations, et qui a suivi de près mon travail.

Mr. BODA RACHID, chef du service-ponts roulants-pour les moyens qu'il a mis à ma disposition afin de réaliser mon projet de fin d'études, et pour son soutien.

Mr. SADEK AHMED, chef service génie civil pour sa collaboration, ses renseignements professionnels et ses orientations.

Mr. ADIL BERAFASSE, technicien d'étude pour son soutien.

L'équipe de maintenance –service pont roulant- pour leur soutiens et leurs conseils.

Je tiens à adresser mes plus sincères remerciements à Mme. I. MOUTAOUAKKIL et Mr. A. TOUACHE d'avoir l'honorée en tant que membre du jury.

Enfin, que tous ceux qui ont contribué de près ou loin à l'aboutissement de ce travail trouvent ici l'expression de ma reconnaissance et de mes remerciements.

RESUME

L'objectif du présent travail est l'amélioration de la disponibilité des ponts roulants parc à ferraille en minimisant les défaillances et en assurant la sécurité.

Pour mon projet de fin d'étude j'ai expliqué le fonctionnement des ponts roulants en donnant le rôle de chaque pièce et j'ai expliqué leurs importances dans la société MAGHREB STEEL. J'ai vérifié la structure des ponts roulants pour déterminer sa résistance aux charges appliquées, par la suite j'ai fait une Analyse détaillée pour détecter les défauts et les causes probables, Après, j'ai fait une Analyse de la criticité des défauts, pour déterminer les équipements les plus critiques, on a fait un changement de la conception du chariot, et on a réalisé un plant de maintenance préventive, et on a ajouté des accessoires pour améliorer la sécurité.

ABSTRACT

The purpose of this work is improving the availability of rolling scrapyard bridges minimizing failures and ensuring safety.

For my final project study I explained the operation of the crane giving the role of each room and I explained their importance in society MAGHREB STEEL. I checked the crane structure to determine its resistance to applied loads, later I made a detailed analysis to detect faults and probable causes, after I made a criticality analysis of defects, to determine the most critical equipment, we made a change in the design of the truck, and we found a preventive maintenance plant, and added accessories to enhance safety.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	1
RESUME.....	2
INTRODUCTION GENERALE.....	9
Chapitre 1 : Présentation de l'organisme d'accueil.....	10
1. Présentation de l'organisme d'accueil.....	11
1-1. Introduction.....	11
1-2. Fiche signalétique de la société.....	12
1-3. Historique.....	13
1-4. Organigramme.....	13
1-5. Produits.....	14
1-6. Marché MAGHREB STEEL.....	14
2. Description du processus.....	17
2-1. Introduction.....	17
2-2. Parc à ferraille (PAF).....	18
2-3. Four à arc électrique.....	19
2-4. Four poche.....	21
2-5. Coulée continue.....	24
2.6. Processus du laminage à chaud.....	25
Chapitre 2 : Position du problème.....	31
1. Présentation des ponts roulants.....	32
1-1. Fonction des ponts roulants.....	32
1-2. Emplacement.....	32
1-3. Objectif des ponts roulants de la ferraille.....	33
1-4. Mouvement et mécanisme du pont roulant.....	33
2. Composantes du pont roulant.....	35
2-1. Chariot des ponts roulants.....	35
2-2. Pièces des ponts roulants et leurs fonctionnements.....	36
3. Problématique.....	41
4. Outils de travail.....	41
Chapitre 3 : Analyse de l'existant.....	42
1. Introduction.....	43
2. Vérification de la structure.....	43
2-1. poids des pièces.....	43
2-2. Vérification des poutres par robot structural.....	43
2-3. Calcul de réactions sur les galets.....	47
2-4. Vérification du chemin de roulement par robot structural.....	48

3. Brainstorming.....	52
4. Diagramme ISHIKAWA.....	53
5. Méthode AMDEC	53
6. Conclusion.....	57
Chapitre 4 : Actions et gains du projet.....	58
1. Introduction.....	59
2. Actions.....	59
2-1. Actions préventives et actions amélioratives.....	59
2-2. Actions proposées	59
3. Amélioration de la conception (modification au niveau du chariot)	59
3-1. Problème.....	60
3-2. Comparaison entre l'ancienne et la nouvelle conception.....	60
3-3. Pièces de la nouvelle conception.....	64
3-4. CALCULS.....	68
3-5. Dimensionnement	70
4. Plan de maintenance préventive.....	76
4-1. Renseignement générales	77
4-2. Maintenance préventive systématique.....	77
5. ACCESSOIRES ET ELEMENTS DE SECURITE.....	81
6. Gains Du PROJET	85
CONCLUSION GENERAL.....	86
ANNEXES.....	88

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Marché de Maghreb STEEL national et international	12
Figure2 : Historique de MAGHREB STEEL.....	13
Figure 3 : Organigramme	13
Figure4 : Diagramme d'évolution de vente	17
Figure5 : Vente en MT	17
Figure6 : Processus de production des Brames à travers l'acier liquide.....	17
Figure7 : Caractéristiques du four à arc électrique de Maghreb Steel.....	19
Figure 8 : Emplacement des brûleurs dans le four à Arc	20
Figure 9 : Schématisation de la machine de coulée continue	25
Figure 10 : La ligne du laminage à chaud.....	26
Figure11 : Les dimensions et l'aspect de la brame.....	26
Figure12 : La courbe de la résistance du métal à chaud.....	26
Figure13 : Schéma de recristallisation au cours du laminage à chaud.....	27
Figure14 : Schéma illustratif du four de réchauffage.....	28
Figure15 : Zone de refroidissement des tôles laminées.....	29
Figure16 : Ligne du laminage à chaud.....	30
Figure17 : Bête à corne-pont roulant.....	32
Figure18 : Hangar-parc ferraille.....	32
Figure19 : Grand panier roulant.....	33
Figure20 : Grand panier roulant.....	33
Figure21 : Ferraille.....	33
figure22 : Ferraille métallique et bobines recyclées.....	33
Figure23 : Mouvement possible du pont roulant.....	34
Figure 24: Mouvement possible du pont roulant.....	34
Figure25 : Pont roulant parc à ferraille.....	35
Figure26 : Dessin du chariot du pont roulant sur CATIA V5.....	36
Figure27 : Modélisation de la poutre sur robot structural/Catia v5.....	43
Figure28 : Vue de gauche du chariot	44
Figure29 : Modélisation de la poutre sur robot structural.....	45
Figure30 :Diagramme de contrainte de cisaillement-poutre	45
Figure31 :Diagramme moment de flexion (y) de la poutre.....	46
Figure32 : Modélisation du chemin de roulement sur robot structural.....	48
Figure 33 : Partie du pont roulant en contact avec le chemin de roulement	49
Figure 34 : Modélisation du chemin de roulement sur robot structural.....	49
Figure 35 : Contrainte de cisaillement-chemin de roulement	51
Figure36 : Contrainte de cisaillement-chemin de roulement	51
Figure 37 : Graphe de criticité des défaillances.....	56
Figure38 : Schéma explicatif de l'ancienne conception.....	61
Figure39 : Schéma explicatif de la nouvelle conception	62
Figure 40 : Nouvelle conception sur catia v5.....	63
Figure 41 : Moufle	64
Figure42 : Poulie-fixation:.....	65
Figure43 : Poulie avec fixation:.....	66

Figure44 : Roue directrice p3:.....	66
Figure45 : Dessin de fixation du câble avec les paliers sur CATIAv5.....	66
Figure46 : Fixation du câble	67
Figure47 : Ferraille :.....	69
Figure48 : Forces appliquées dans les composants du chariot.....	69
Figure49 : Garde-corps	82
Figure50 : Chariot avec garde-corps	82
Figure51 : Garde-corps.....	83
Figure52 : Garde-corps.....	83
Figure53 : Extincteur.....	84
Figure54 : Antichocs vue de face.....	84
Figure55 : Antichocs vue de gauche.....	84
Figure56 : Armoire-levage.....	85

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Fiche signalétique de Maghreb STEEL	12
Tableau 2 : présentation de MAGHREB SEEL sur les deux sites	15
Tableau 3 : Aciérie	15
Tableau 4 : Laminoir à chaud de tôles fortes.....	15
Tableau 5 : Laminoir à chaud de bobines.....	16
Tableau 6 : Laminoir à froids.....	16
Tableau 7 : Ligne de prélaquage	16
Tableau 8 : Ligne de galvanisation	16
Tableau 9 : Composition chimique du HBI.....	18
Tableau 10 : Recette de chargement des paniers dans le four à arc.....	19
Tableau 11 : Caractéristiques de la machine de coulée continue.....	24
Tableau 12 : Les caractéristiques des brames.....	26
Tableau 13 : Pièce-fonctionnement.....	40
Tableau 14 : Pièces et leurs poids propres.....	43
Tableau 15 : Caractéristiques des poutres.....	44
Tableau 16 : Flèche maximale des poutres.....	45
Tableau 17 : Efforts appliqués sur les poutres.....	45
Tableau 18 : Caractéristiques du pont roulant.....	45
Tableau 19 : Caractéristiques du chemin de roulement.....	49
Tableau 20 : Position des galets.....	50
Tableau 21 : Flèche maximal du chemin de roulement.....	50
Tableau 22 : Efforts appliqués sur le chemin de roulement.....	50
Tableau 23 : Dessin des pièces de la nouvelle conception.....	68
Tableau 24 : Poids de l'aimant et du grappin.....	68
Tableau 25 : Capacité de l'aimant et du grappin.....	68
Tableau 26 : Coefficient de sécurité.....	71
Tableau 27 : Composition chimique du matériau 42CD4.....	72
Tableau 28 : Caractéristiques du câble de manutention.....	74

ANNEXES

Annexe1 :plan du chariot avec la modification de la conception	88
Annexe2 :plan du pont roulant	89
Annexe3 :plan du nouveau crochet	90
Annexe4 :caractéristiques du Câble de manutention	90
Annexe5 :caractéristique du roulement à bille des poulies	91
Annexe6 :plan fixation du Câble de manutention.....	92
Annexe7 : plan poulie-fixation.....	93
Annexe 8 : caractéristiques techniques des roulements.....	94
Annexe 9 : AMDEC.....	95

INTRODUCTION GENERALE

Dans le cadre d'une mondialisation imminente et d'un développement durable à l'avenir prometteur, le Maroc a amorcé une nouvelle stratégie industrielle à fort potentiel de croissance dont le but est de faire face aux enjeux d'une économie globalisée en constante évolution. La **sidérurgie** est un domaine en pleine expansion et soumis à une concurrence rude de la part des autres matériaux (plastiques, céramiques, composites...etc).

Le domaine de la sidérurgie et d'industrie lourde en général nécessite l'utilisation des systèmes de manutentions, pour MAGHREB STEEL il y'a 38 ponts roulants avec des capacités différentes.

L'idée du présent travail est la mise en place d'un plan d'action pour minimiser le nombre de défaillances, améliorer la disponibilité et la sécurité des ponts roulants du parc à feraille, Pour aborder l'étude de ce projet et révéler la démarche suivie pour la réalisation, le présent rapport s'articule sur quatre chapitres.

Le premier chapitre présente de façon générale MAGHREB STEEL comme étant une société spécialisée dans la fabrication et la commercialisation de la tôle laminée à froid, galvanisée et pré-laquée, destinée principalement à la fabrication des produits utilisés dans la construction des bâtiments, des équipements de l'automobile, l'agriculture, le mobilier métallique, l'électroménager et le matériel électrique.

A travers le deuxième chapitre, je présente le rôle des ponts roulants dans la société MAGHREB STEEL, je présente aussi la problématique liée au fonctionnement des ponts roulant ainsi que la démarche suivie pour résoudre cette problématique.

Le troisième chapitre est consacré à un diagnostic de l'existant et se focalise sur une analyse des ponts roulants par les outils d'analyse, et la vérification de la structure par ROBOT STRUCTURAL, ces analyses vont nous permettre de prendre des actions convenables par la suite.

Le dernier chapitre présente les actions amélioratives en se servant des résultats d'analyse, et se termine par un suivie des améliorations programmées en donnant les gains récoltés de ce projet .

Chapitre 1

Présentation de l'organisme d'accueil

1. présentation de l'organisme d'accueil

1-1. Introduction

MAGHREB STEEL (connue avant par MAGHREB TUBES) est une société anonyme faisant partie du groupe SEKKAT qui contrôle d'autres unités industrielles notamment (INGELEC, PLASTIMA, IMACAB). Elle est spécialisée dans la fabrication et la commercialisation de la tôle laminée à froid, galvanisée et pré-laquée, destinée principalement à la fabrication des produits utilisés dans la construction des bâtiments, des équipements de l'automobile, l'agriculture, le mobilier métallique, l'électroménager et le matériel électrique.

En 2000, la société a acquis un terrain de 30 hectares dans la zone industrielle de TIT MELLIL sur lequel elle a construit un complexe sidérurgique comprenant :

- Une unité de décapage des tôles LAC d'une capacité de 300.000T/an.
- Deux lignes de Galvanisation A & B.
- Deux laminoirs à froid d'une capacité de 250 000 T/an.
- Une batterie de four à cloche de recuit d'une capacité de 120000T/an.
- Une ligne de déroulage et de planage de tôle et divers équipements.
- Une ligne pour la fabrication des panneaux sandwich.
- Un atelier de fabrication de charpente métallique.
- Une ligne de dégraissage (nouveau projet)

Mars 2010 a connu le démarrage de la ligne de laminage à chaud à BLED SOLB. La construction de ce projet phare a nécessité presque 26 mois, depuis la pose de la première pierre le 20 décembre 2007 jusqu'à son lancement.

MAGHREB STEEL a aussi investi dans la construction d'une aciérie pour la production de brames, d'une capacité allant à un million de tonnes par an.

1-2. Fiche signalétique de la société

Raison sociale	MAGHREB STEEL
Potentiel humain	Plus de 1100 salariés dont 20 % sont des cadres (maîtrise, cadres moyens et supérieurs)
Date de création	1978
Forme juridique	Société anonyme
Articles produits	Bobines
Capital	1800 millions de DH
Structure organisationnelle	Hierarchique
Secteur d'activité	Secteur métallique
Superficie	80.000 m ²
Site Web	www.maghrebsteel.ma
Téléphone	212-5-22-76-25-00
Fax	212-5-22-76-25-01

Tableau1 . Fiche signalétique de Maghreb STEEL

La société réalise 55% de son chiffre d'affaire à l'export. En effet, elle exporte vers l'Europe, le Moyen orient, l'Asie, l'Amérique et le Maghreb.

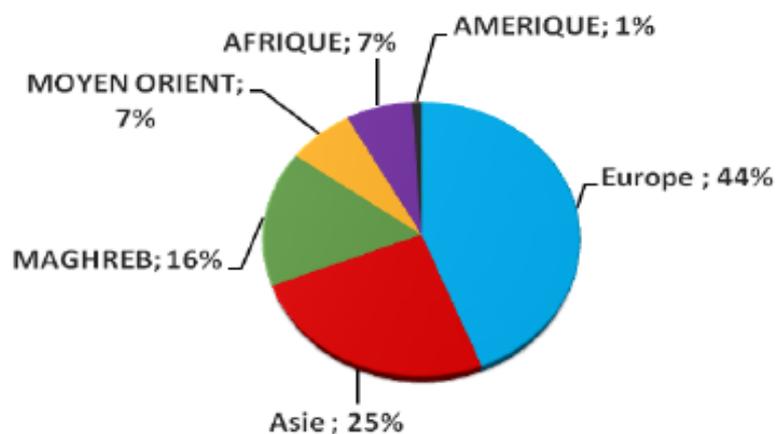


Figure 1 . Marché de Maghreb STEEL national et international

1-3. Historique

Historique d'une entreprise citoyenne engagée dans la qualité...



Figure2 : Historique de MAGHREB STEEL

1-4. Organigramme

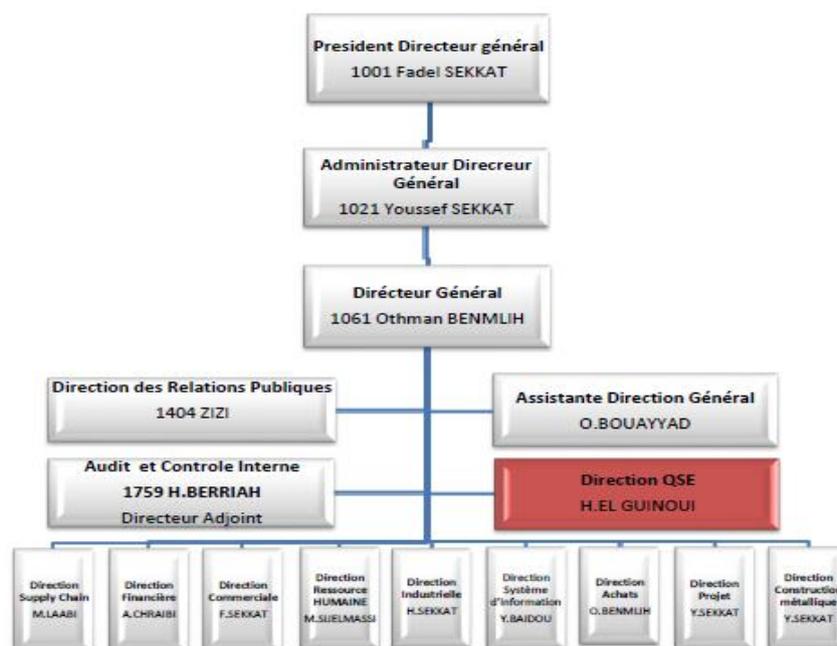


Figure 3 : Organigramme

1-5. Produits

Maghreb STEEL offre une panoplie de produits d'aciers plats qui sont :

- **Tôles laminées à chaud** : aciers de base non alliés destinés au laminage à froid et à l'emboutissage. Ce produit est utilisé pour la fabrication des éléments de construction soudés ou assemblés par rivets ou boulons pour usage aux températures ambiantes.
- **Tôles laminées à froid** : aciers doux non alliés destinés à la mise en forme par pliage ou emboutissage. Les produits laminés à froid sont aptes aux revêtements de surface « Phosphatation, Peinture, Galvanisation... » et aux revêtements électrolytiques.
- **Tôles galvanisées** : tôles galvanisées sur deux faces par défilement en continu de bobines d'acier dans un bain zinc en fusion. Les tôles galvanisées sont utilisées dans plusieurs secteurs industriels, notamment, de l'Automobile, BTP, Electroménager...
- **Tôles galvanisées pré laquées** : tôles en acier de construction galvanisés à chaud en continu destinées aux bâtiments « bardage, cloisons ». Ces tôles sont soumises à une préparation de surface puis un dépôt de matières organiques liquides et enfin une cuisson par passage dans un four. Ce revêtement organique est adapté aux atmosphères non agressives, le pré-laquage donne un aspect esthétique à la tôle et apporte une protection complémentaire contre la corrosion.
- **Panneaux sandwichs** : Composants qui assurent une étanchéité et une isolation optimales tout en évitant la création de condensation.

1-6. Marché MAGHREB STEEL

MAGHREB STEEL est spécialisée dans la fabrication et la commercialisation de la tôle destinée à la réalisation de :

- Matériel de bâtiment et travaux publics
- Electroménager
- Matériel et accessoires de climatisation
- Emballage métallique
- Mobilier métallique

- Equipement routier,
- Matériel électrique,
- Mobilisée aujourd'hui pour satisfaire le marché Automobile.

MAGHREB STEEL est présente sur 2 sites :

Site BS (à Ain Harrouda)	Site TM (à Casablanca)
Une aciérie électrique => 1 000 000 T Un laminoir à chaud de tôle forte (Plate Mill) => 500 000 T un laminoir à chaud de bobine (Steckel Mill) => 1 000 000 T	Une ligne de décapage => 400 000 T 2 laminoirs à froid => 400 000 T 10 bases de recuit => 150 000 T Une ligne de galvanisation => 100 000 T Une ligne de GALVA et prélaquage => 130 000 T Plusieurs lignes de coupes et refendages Une ligne de panneaux sandwich 1 000 000m ²

Tableau2 . Présentation de MAGHREB SEEL sur les deux sites

1-6-1. Investissement

a) Usine produits chauds

Aciérie	
Capacité de production	1 000 0000 T
Effectif	500 personnes
Montant de l'investissement	2,2 MDS DH

Tableau3 . Aciérie

Laminoir à chaud de tôles fortes	
Capacité de production	500 000
Effectif	150 personnes
Montant de l'investissement	1,2 MDS DH

Tableau4 . Laminoir à chaud de tôles fortes

Laminoir à chaud de bobines	
Capacité de production	1 000 000 T
Effectif	350 personnes
Montant de l'investissement	1,6 MDS DH

Tableau5 . Laminoir à chaud de bobines

b) Usine produits froides

Laminoir à froids	
Capacité de production	400 000 T
Effectif	320 personnes
Montant de l'investissement	450 MDS DH

Tableau6 . laminoir à froids

Ligne de prélaquage	
Capacité de production	100 000 T
Effectif	50 personnes
Montant de l'investissement	118 MDS DH

Tableau7 . la ligne de prélaquage

Ligne de galvanisation	
Capacité de production	130 000 T
Effectif	120 personnes
Montant de l'investissement	100 MDS DH

Tableau8 . ligne de galvanisation

Evolution des ventes en volume

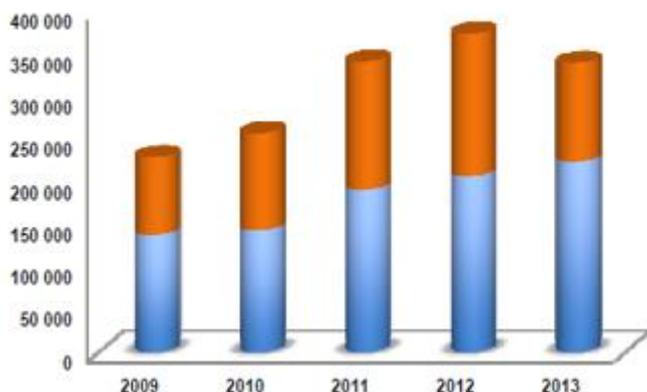


Figure4 : diagramme d'évolution de vente

Année	Export	Local	Total
2009	91	137	228
2010	114	147	261
2011	150	192	342
2012	165	206	371
2013	116	223	339

figure5 : vente en MT

La production des bobines laminées à chaud (LAC) a commencé en mars 2010. Une présentation du procédé de fabrication de tôle à chaud depuis l'aciérie jusqu'au laminage sera l'objet de la section suivante.

2. Description du processus

2-1. Introduction

L'aciérie constitue l'une des parties majeures du processus de laminage à chaud. Son rôle est de fournir une « Brame » qui sera ensuite acheminée soit vers la ligne de laminage Steckel, soit vers la ligne de laminage plate Mill selon l'épaisseur désirée afin qu'elle y soit laminé pour donner des produits semi-finis sous forme de bobines ou tôles dédiées à différentes industries.

La figure suivante donne une vue du processus dans sa globalité.

Process de production de l'aciérie

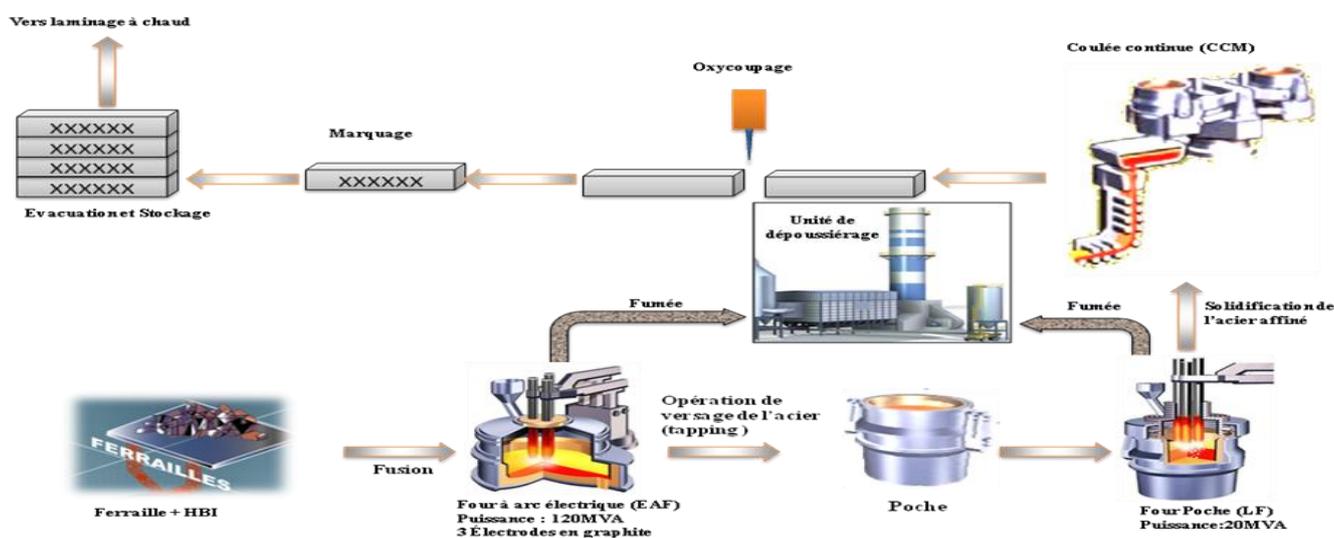


Figure6 : Processus de production des Brames à travers l'acier liquide

La ferraille est stockée dans le parc à ferraille, fusionnée dans le four à arc électrique (EAF), affinée dans le four poche (LF), et finalement envoyée vers la coulée continue (CCM) pour être refroidie sous forme de brames.

2-2. Parc à ferraille (PAF)

La première étape est la préparation de matière première selon la composition chimique à obtenir en sortie du four. La ferraille est broyée à travers d'un broyeur à marteau, triée et ensuite acheminée vers des zones de stockage puis par la suite redirigée vers le four dans des poches (paniers) pour donner de l'acier liquide. Il existe essentiellement 5 types de ferraille :

- La ferraille nationale : ferraille de récupération provenant des objets mis au rebut ou destinés à l'abandon (épaves automobiles, électroménager, boîtes métalliques...etc.).
- Hot Briquetted Iron (HBI) : c'est un minerai pré-réduit sous forme de Direct Reduced Iron de qualité supérieure qui a été compacté à une densité de plus de 5 000 kilogrammes par mètre cube. Sa composition chimique est représentée dans le Tableau 3.
- Le retour Acierie : les chutes propres qui sont presque toutes recyclées au sein de l'usine qui les a produites.
- Ferraille broyée : elle constitue une grande partie de la ferraille nationale qui est broyée dans un broyeur à marteau puis triée.
- Ferraille MS : ce sont les rebuts et produits non conformes de la société Maghreb Steel (Slabs, Tôles, Bobines)

Élément	Pourcentage
FE _{tot}	90%
FE _{met}	>86%
C	1,2%
P	<0,015%
S	0,005%
SiO ₂	<4,5%

Tableau 9 : Composition chimique du HBI

La composition chimique de l'acier liquide dépend de la quantité chargée de chaque type de ferraille. De même, le coût de la ferraille joue un rôle majeur dans la détermination de la quantité de ferraille à fondre dans le four.

La recette de chargement des paniers contenant le tonnage pour la ferraille et les éléments d'ajouts est définie dans le suivant.

Matières Premières	Poids en tonne
Ferraille Broyée	25
Ferraille Massive Compacté(F.MS)	10
HBI	10
Ferraille mixte ou légère (national)	0
Charbon	1,0-1,5
Chaux	2,5
Grandes Pièces de retour aciérie	5
Ferraille M.S (bobineaux/rives)	30

Tableau 10 . Recette de chargement des paniers dans le four à arc

2-3. Four à arc électrique

Le four à arc électrique est un outil de production d'acier liquide à partir de la ferraille ; celle-ci peut être remplacée partiellement par la fonte ou des minerais pré réduits (HBI/DRI). La fusion se fait par des arcs électriques jaillissant entre des électrodes en graphite. L'affinage de l'acier fondu est réalisé par réaction entre l'acier liquide et le laitier, formé à la surface du métal qui est constitué principalement d'oxydes et de chaux. Le garnissage (réfractaire) du four quant à lui est basique et toujours exposé à un risque d'endommagement par l'acier ainsi que par l'arc électrique. Les caractéristiques du four sont présentées dans la figure suivante

Electric Arc Furnace			
Type of Furnace:	AC	Transformer Capacity:	120 MVA
Tapping Weight:	120 t	installed Power:	95 MW
Hot Heel:	30 t	Transformer Rating:	92 % max.
Furnace Capacity:	150 t	max. Active Power:	67 MW
Tapping Temperature:	1620 °C	average Active Power:	83 MW
Fuel Gas Input:	4,3 Nm ³ /t	Electrical Energy Input:	391 kWh/t
Injection Carbon:	12,0 kg/t	Electrode Consumption:	1,8 kg/t
		total Oxygen:	30,3 Nm ³ /t



Figure7 : Caractéristiques du four à arc électrique de Maghreb Steel

La fusion de la ferraille se fait par arc électrique provoqué par 3 électrodes qui par séquence de deux à deux assurent la fusion totale du métal. Elle est également assurée par 5 brûleurs placés de manière à ce que l'ensemble de la ferraille encore solide dans les parois du four soit fondue. La figure 5 ci-dessous montre la disposition des 5 brûleurs dans le four.

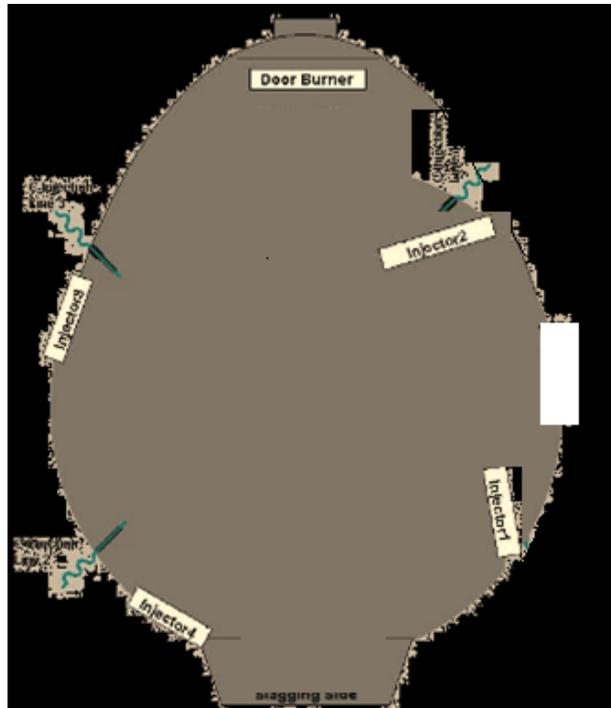


Figure 8 . Emplacement des brûleurs dans le four à Arc

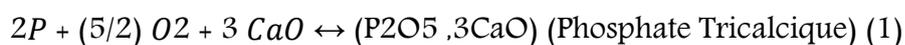
L'opération de fusion est essentiellement accompagnée, d'une opération de décarburation et de déphosphoration, c'est ce qu'on appelle l'affinage au niveau four.

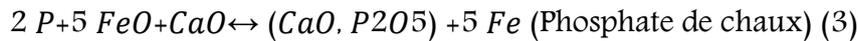
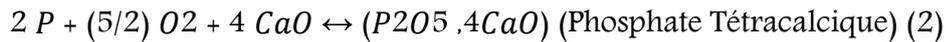
2-3-1. Déphosphoration

Objectif : éliminer le phosphore en excès dans le bain.

Le phosphore est oxydé en P_2O_5 et reste dans le laitier sous forme de composé de $(P_2O_5, 3CaO)$ s'il y'a assez de chaux, d'oxygène et une température adéquate dans le four. Dans le cas d'une température élevée, le P_2O_5 est re-dissous en phosphore dans le bain, c'est la raison pour laquelle on cherche à éliminer le laitier à des températures relativement basses pour enlever le risque de re-phosphoration du bain par élimination du phosphore dans le laitier. L'injection de la chaux permet de piéger les oxydes solides formés en cours d'élaboration ($SiO_2, P_2O_5, MnO...$ etc.)

Les réactions (1), (2) et (3) se produisant dans le bain par injection d'oxygène (lance à oxygène/brûleur)

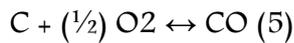
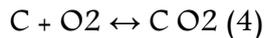




2-3-2. Décarburation

Objectif: Ajuster la teneur en carbone désirée et faciliter l'élimination des gaz dissous grâce au dégagement d'oxyde de carbone.

Lorsque l'oxygène entre en contact avec l'acier liquide, il se produit les réactions suivantes :



Pour un souci de gain d'énergie, vu les enthalpies relatives dégagées par les réactions (4) et (5) qui sont respectivement $\Delta H_{R25^\circ C} = -393,1 \text{ kJ/mol}$ et $\Delta H_{R25^\circ C} = -110,4 \text{ kJ/mol}$, il est donc préférable de favoriser la réaction (4) qui est une réaction complète.

2-3-3. injection de dolomite (MgO)

Objectif : rendre les scories plus visqueuses, donc moins réactives, et ralentir la vitesse de corrosion des réfractaires riches en MgO par déplacement des équilibres chimiques.

A la fin de la fusion, on procède à une élimination totale ou partielle du laitier suroxydé et phosphoreux obtenu par basculement du Four, le métal peut être soit coulé en poche pour affinage, soit pré affiné au four avec des désoxydants puissants, comme le silicium ou l'aluminium, sous un laitier basique riche en chaux. Des éléments d'alliage peuvent également être ajoutés. Le réglage précis de la température du métal à la coulée du four en poche est un des points clés pour la fabrication d'acier de qualité. Selon les nuances d'acier et les opérations prévues en poche, les températures visées au four, avant coulée peuvent varier de 1 550 à 1 750 °C (dans notre cas la température de coulée doit être comprise entre 1610 °C et 1640°C).

2-4. Four poche

Pour obtenir des propriétés spécifiées de l'acier, et respecter la norme produit et les exigences du client il est nécessaire de contrôler avec un haut degré de précision et en un premier lieu les teneurs en C, P, S, N, H et O car ce sont les éléments qui caractérisent les aciers en termes de propriétés et caractéristiques.

Les traitements métallurgiques sur le métal liquide dans le four électrique ont des limites ; mais des très basses teneurs en C, S, O et H (2 ppm) ne peuvent être obtenues que par un traitement supplémentaire de l'acier. Afin que l'acier réponde exactement aux spécifications

de la norme produit avant de le couler, il faut ajuster les teneurs en éléments d'alliages et le soumettre à des traitements spécifiques d'affinage ; c'est : la métallurgie en poche.

Les objectifs de la métallurgie en poche peuvent être résumés comme suit :

- Affinage et désoxydation,
- Elimination des produits de désoxydation (MnO, SiO₂, Al₂O₃),
- Diminution la teneur en soufre (0,008 %),
- Homogénéisation de la composition chimique de l'acier,
- Ajustement de la température de la poche avant la coulée, et réchauffage de l'acier (four)

2-4-1.Désoxydation

Au début un échantillon est prélevé pour déterminer la composition chimique ainsi que la température de la coulée qui doit dépasser 1570°C, sinon il faut chauffer la coulée par le four à arc électrique qui dispose de trois électrodes en graphite mais avec un diamètre plus petit. Un contrôle visuel s'impose pour déterminer le niveau de la scorie afin de la diminuer si nécessaire. Le 1er élément à contrôler c'est l'Aluminium ; Pour les autres éléments d'alliage, leur variation est assez restreinte.

Le rôle principal de l'aluminium c'est la désoxydation de la coulée car une forte teneur en oxygène de l'acier résulterait en la formation de très nombreuses porosités durant la solidification. Ôter cet excédent d'oxygène « calmer » est donc vital avant de couler l'acier.

Deux cas se présentent :

- Une forte teneur en Al : un brassage intensif est nécessaire et permet de désoxyder le métal et ajuster la teneur en Aluminium
- Une faible teneur en Al : l'ajout de l'aluminium brut dans la poche est obligatoire, mais retarde le traitement et l'affinage de la coulée.

Or l'ajout de l'aluminium ainsi que les éléments d'alliage diminuent la température. Ceci demeure défavorable pour le reste du traitement et aussi pour la scorie qui doit être liquéfiée au maximum par le chauffage de la coulée, en diminuant le brassage pour ne pas perdre l'aluminium.

Un certain temps doit s'écouler après l'ajout du désoxydant afin de permettre la réaction et l'homogénéisation de l'acier.

2-4-2.Désulfuration

La désulfuration est l'échange du soufre et d'oxygène entre l'acier liquide et le laitier qui se fait immédiatement par l'injection du Manganèse ou de la chaux pour une teneur de Soufre < 0.012%, mais avec certaines conditions à savoir :

- Pas de laitier
- $T > 1580^{\circ}\text{C}$
- Métal désoxydé

En tenant compte de la teneur initiale en soufre avant le traitement, de sa teneur finale et les exigences du client en respectant une limitation spécifique des inclusions sulfuriques, des quantités bien déterminées des agents de désulfuration peuvent être ajoutées à l'aide d'une lance, avec de l'argon comme gaz transporteur, ou ajoutées par l'addition des fils fourrés.

De plus de l'injection des matières solides, la désulfuration peut également être accomplie par d'autres flux de charge (en fonction de la teneur en soufre à atteindre) et par barbotage d'argon à travers les 2 bouchons poreux de la poche. Quand on emploie cette méthode, il faut veiller à ce que le laitier de poche ait une analyse adéquate et une viscosité optimale. Combinée avec une technique appropriée de brassage, cette méthode contribue également à la séparation des inclusions d'oxydes.

En générale un brassage par l'argon et l'injection de la chaux produisent :

- Un acier d'analyse chimique et de température homogènes,
- Une élimination des produits désoxydants,
- Une désulfuration des aciers calmés à l'aluminium,
- Le contrôle de la forme des inclusions de sulfures.

2-4-3. Affinage des éléments d'alliage

Le but général du brassage par injection de l'Argon est d'augmenter le temps de traitement pour pouvoir ajouter des quantités importantes et nécessaires des ferroalliages. Surtout améliorer la désoxydation, pour faciliter l'homogénéisation de la composition chimique et la température, et finalement désulfurer pour obtenir un acier liquide qui répond à la composition chimique exigée par la norme produit.

Les paramètres à connaître sont :

- La composition chimique et le poids de la charge en poche,
- La composition chimique des additifs,
- Le rendement des additifs,

- La teneur en oxygène de la charge.

Les éléments ayant une affinité élevée à l'oxygène doivent être ajoutés après la réduction de l'activité de l'oxygène pour éviter des pertes indésirables. L'avantage de cette désoxydation est d'obtenir une faible teneur en oxygène libre, sans création de produits solides, et sans détériorer la propreté de la charge d'acier liquide.

Les agents de désoxydation doivent être ajoutés dans le bain d'acier à savoir :

- Ferro manganèse (Fe-Mn)
- Ferro silicium (Fe-Si)
- Silico manganèse (Si-Mn)

Après le réglage de tous les paramètres et l'élimination des inclusions qui sont le sujet de notre Projet de fin d'étude, il faut ajouter le Calcium pour assurer la coulabilité et éviter le bouchage de la buse de la poche.

2-5.Coulée continue

Après fusion de la ferraille et traitement final dans le four poche (LF), la poche est transportée vers la machine de coulée continue (CCM), où l'acier va subir la solidification. La poche de coulée déverse l'acier liquide dans un répartiteur qui alimente une lingotière sans fond, refroidie à l'eau et animée d'oscillations pour permettre le décollement du produit. A la sortie de la lingotière, le matériau solidifié en surface continue à être refroidi dans le refroidissement secondaire (contacts avec rouleaux, eau pulvérisée, rayonnement) et courbé entre des rouleaux qui le redressent, avant d'être tronçonné à la longueur voulue.

Production annuelle	1 million de tonne
Type de coulée	Ecoulement vertical
Nombre de machines	1
Nombre de lignes	1
Largeur de la brame	900-2150 mm
Epaisseur	200 mm
Longueur	6000-12500 mm
Longueur métallurgique	29003 mm
Rayon de courbure de la machine	9500 mm
Longueur vertical	2635 mm
Nombre de segment	13
Vitesse maximale de coulée	2.5 m/min

Tableau 11 . Caractéristiques de la machine de coulée continue

Le produit semi-fini, après décintrage poursuit son chemin et, après solidification totale, il est tronçonné aux longueurs voulues et finalement évacué pour subir un laminage à chaud.



Figure 9 . Schématisation de la machine de coulée continue

2-6. Processus du laminage à chaud

2-6-1.Introduction

Le laminage à chaud est un procédé de fabrication par déformation plastique. Cette déformation est obtenue par compression continue au passage entre deux cylindres tournant dans des sens opposés appelés laminoir.

MAGHREB STEEL est dotée d'une ligne de laminage à chaud réversible pour les produits plats en acier, dite STECKEL MILL, dont la capacité annuelle est de 1 000 000 T/ an de bobines laminées à chaud d'une gamme d'épaisseurs allant de 1.5 mm à 20 mm.

Les étapes de laminage à chaud représentées sur la figure 10 sont les suivantes :

- La réception et conditionnement de la matière première
- Le chauffage dans le four de réchauffage
- Le laminage
- L'enroulement (bobinage)

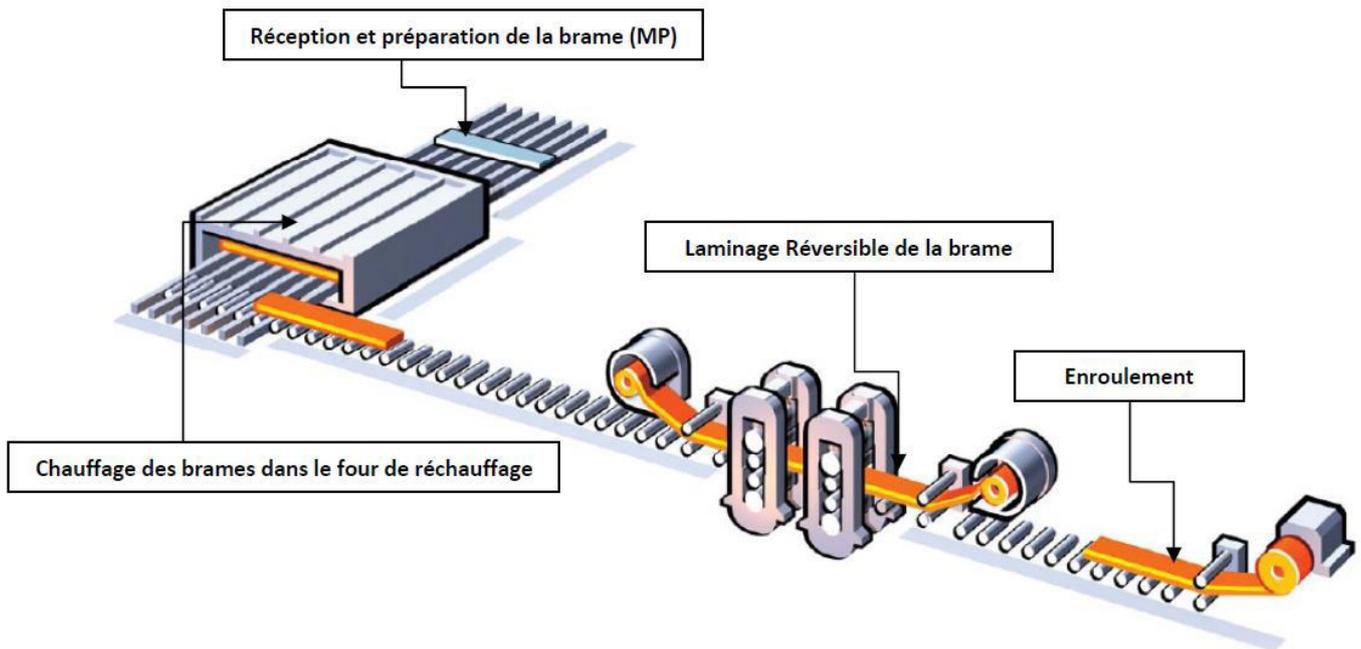


Figure 10 . La ligne du laminage à chaud

2-6-2.préparation de la matière première

a. Matière première :

La matière première pour le laminage à chaud des produits plats est sous forme des brames ou Slabs de forme parallélépipédique de forte dimension Obtenue soit directement de coulée continue soit après réduction d'un lingot dans un slabbing lequel est un train de laminoir dégrossisseur.

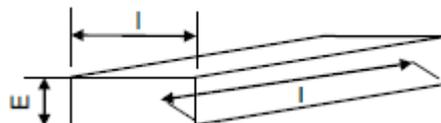


Figure11 . Les dimensions et l'aspect de la brame

Suivant les capacités du four de réchauffage et du laminoir, les spécifications dimensionnelles des brames sont citées dans le tableau suivant :

Epaisseur	180 à 250 mm
Largeur	600 à 1 575 mm
Longueur	7350 à 12 000 mm
Poids	30 t max
Type d'acier carbone	Acier moyen & bas

Tableau12 . Les caractéristiques des brames

Le laminage à chaud s'impose pour deux raisons capitales :

- la première est que la résistance à chaud du métal décroît très rapidement avec la température. Pour la nuance choisie, le métal est trois fois moins dur à 1100 °C qu'il ne l'était à 700 °C. Le laminage à haute température, se fait donc avec mise en jeu de puissance et productivité raisonnables.

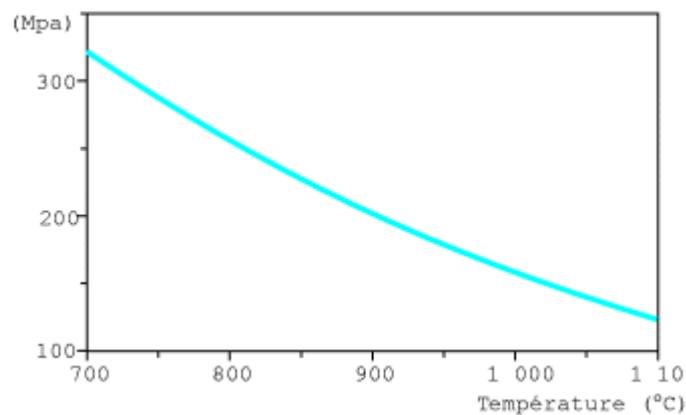


Figure12 : La courbe de la résistance du métal à chaud

- la seconde est d'ordre métallurgique. Le laminage à froid provoque un écrouissage du métal. Le laminage ne peut se poursuivre au-delà de la limite de rupture. Un traitement thermique doit être fait pour restaurer la structure. Par contre, à chaud la recristallisation se fait toute seule tant que la température du produit le permet.

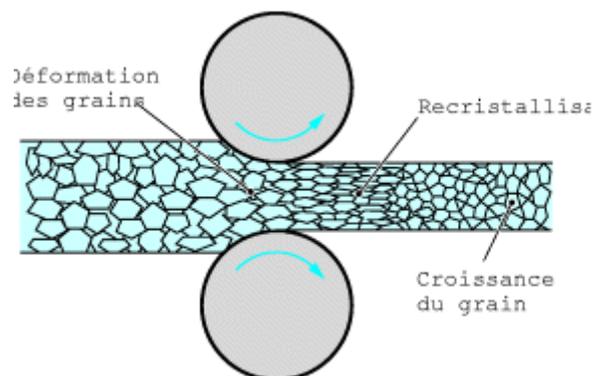


Figure13 : Schéma de recristallisation au cours du laminage à chaud

b. Four de réchauffage

Le four lui-même est divisé fonctionnellement, selon sa longueur, en trois zones qui, en partant du côté enfournement pour aller au côté défournement, une zone de récupération, une zone de chauffage, et une zone d'égalisation.

- Dans la zone de récupération, les brames épuisent la chaleur emmagasinées dans la fumée avant de l'envoyer vers le récupérateur. La température peut atteindre les 400°C sachant que les brames sont enfournées à la température ambiante.
- Dans la zone de chauffage, les brames sont portées progressivement à une température moyenne qui est proche de la température visée pour le laminage, mais les peaux inférieures et supérieures des brames sont sensiblement plus chaudes que le coeur.
- Dans la zone d'égalisation, le chauffage est poursuivi dans le but principal d'homogénéiser la température dans l'épaisseur de la brame sans augmenter la température en peau.

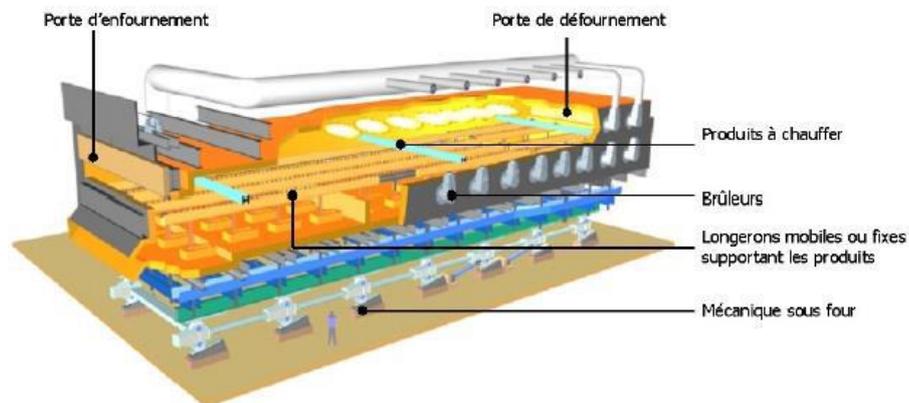


Figure14 . Schéma illustratif du four de réchauffage

2-6-3. Laminage à chaud

A la sortie du four, et avant le laminage, la calamine (couche d'oxyde), qui se forme pendant le réchauffage suite à l'oxydation de la surface en contact avec l'air, doit être retirée afin d'éviter la contamination de la surface de la matière première par impression de la calamine par les rouleaux.

Le décalaminage est de deux types : primaire et secondaire. Le premier s'effectue pendant le déplacement de la brame du four vers la cage de laminage, par contre, le deuxième décalaminage se réalise à l'intérieur des cages suite à la réoxydation rapide du métal chaud. Le décalaminage secondaire vise à débarrasser la surface de la tôle de cette couche généralement présente sous la forme d'une couche adhérente. Il intervient doublement au cours du laminage, d'abord avant l'entrée de la bande dans la première cage, puis avant son entrée dans la deuxième cage du train de laminage et vise ainsi à fissurer la calamine et l'éliminer de la surface.

Vu par le métallurgiste, le laminage est une succession de déformations (les passes) qui engendrent un écrouissage du métal (augmentation de la limite d'élasticité et de la dureté). Quand la déformation se fait à chaud, différents mécanismes vont être opposés à l'écrouissage

conduisant donc à l'adoucissement du matériau ; ces mécanismes sont la restauration et la recristallisation. La déformation est obtenue par compression de l'acier au passage entre deux cylindres tournant dans des sens opposés.

Le Steckel Mill est un laminoir réversible à deux cages. Le nombre de passes pour chaque brame est en fonction des dimensions initiales de la brame et de l'épaisseur finale.

Au moyen d'un guide de centrage, la brame est centrée à l'entrée du laminoir. Le maintien de la largeur de la tôle est assuré par deux rouleaux verticaux situés entre les deux cages du laminoir.

Après un certain nombre de passes, la bobine devient assez ductile et lorsqu'elle atteint une épaisseur de 25 mm (généralement après la 5ème passe), elle est enroulée sur elle-même dans un enrouleur situé dans un four qui maintient le niveau de température nécessaire pour le laminage. Au moyen d'une cisaille, la tête et la queue de la tôle sont coupées dans les dernières passes du laminage.

La gestion des différentes composantes du laminoir est assurée par un système automatique de contrôle de qualité. En effet, le système calcule automatiquement la vitesse de laminage pour chaque passe et chaque cage.

2-6-4. Refroidissement et bobinage

Le refroidissement (Cf. Figure 12) constitue l'étape du laminage la plus importante du point de vue des traitements thermomécaniques. En effet, il s'accompagne d'une transformation de phase dont le résultat est fortement influencé par de nombreux paramètres qu'ils soient thermiques, structuraux ou analytiques.

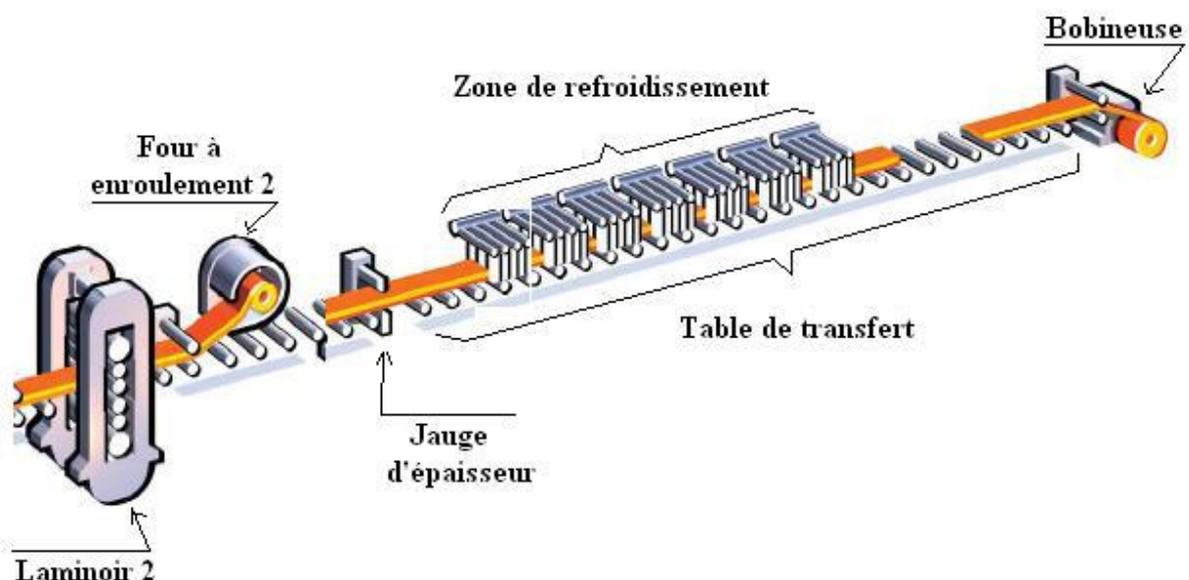


Figure15 . Zone de refroidissement des tôles laminées

Le refroidissement s'effectue dans une zone limitée sur la table de transfert de laminoir vers la bobineuse. Après le refroidissement, la tôle laminée est bobinée par enroulement de la tôle d'acier dont la longueur est généralement 20 à 50 fois la longueur de la brame utilisée au début du processus.

La tôle passe par les rouleaux de pincement qui orientent la tête de la tôle vers l'enrouleuse et qui maintiennent la tension nécessaire d'enroulement. Ensuite la bobine est centrée au moyen des guides de centrage qui ont pour but d'assurer un bobinage uniforme. La dernière étape de bobinage est le cerclage qui se fait d'une façon automatique. La figure 16 résume les différentes étapes de fabrication des tôles à chaud

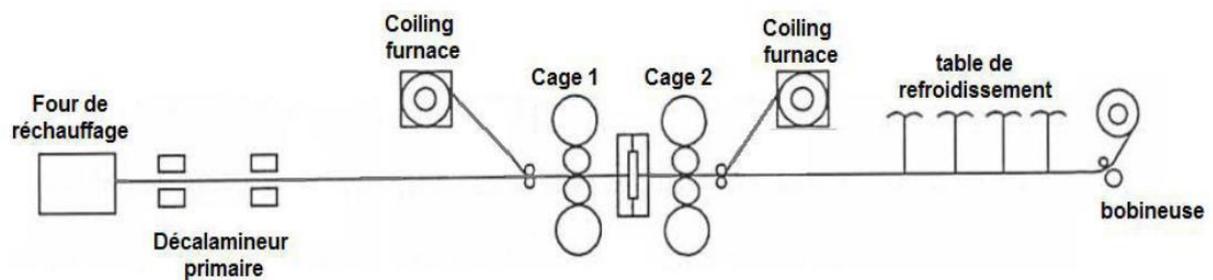


Figure16 . Ligne du laminage à chaud

Chapitre 2

Position du problème

Ce chapitre présente le rôle des ponts roulants dans la société MAGHREB STEEL, il présente aussi la problématique liée au fonctionnement des ponts roulant ainsi que la démarche suivie pour résoudre cette problématique.

Vous trouverez dans cette partie :

- *Explication du fonctionnement du pont roulant ainsi que ses accessoires*
- *Problématique*
- *La démarche suivie*

1. Présentation des ponts roulants

1-1.Fonction des ponts roulants

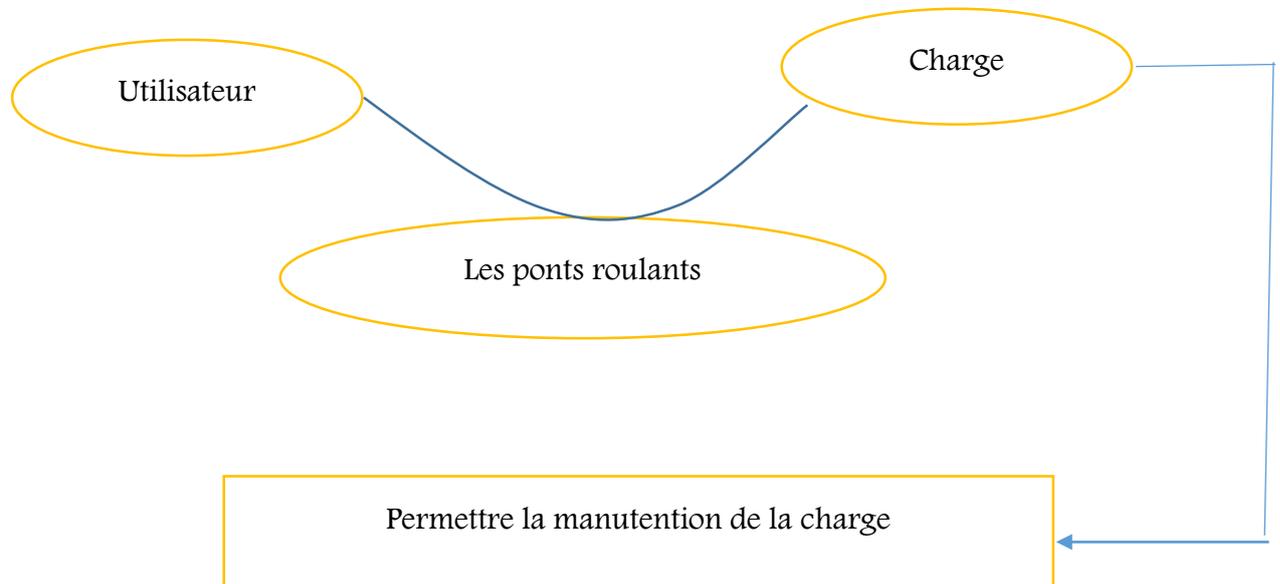


Figure17 . Bête à corne-pont roulant

1-2.Emplacement

Les 4 ponts roulants se situent dans le PARC FERAILLE, dans un hangar qui se compose de deux lignes symétriques, dans chaque ligne il y'a 2 ponts roulants, et il y'a plusieurs types de ferraille.

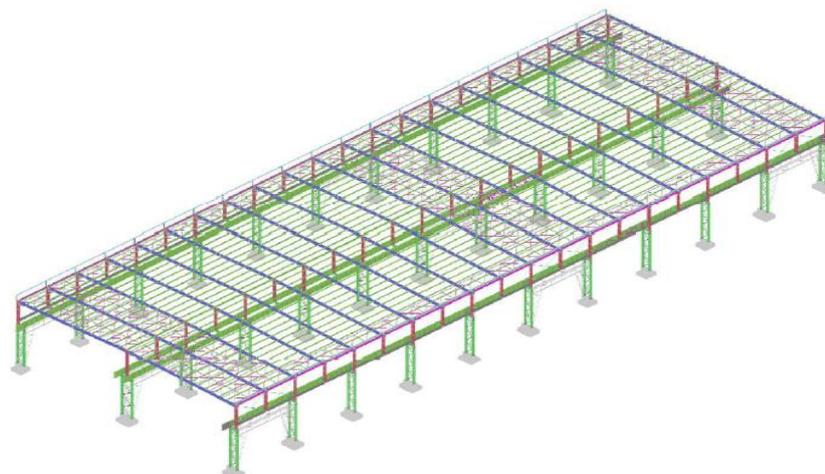


Figure18 . Hangar-parc ferraille

1-3.Objectif des ponts roulants de la ferraille

L'Objectif des ponts roulants est de charger un grand panier (roulant) par la ferraille cette ferraille va se transformer à un liquide dans l'aciérie, qui va se refroidir dans un système spécifique, pour avoir un grand morceau de métal (SLAB), ce produit va subir un laminage (diminution de l'épaisseur) pour avoir un produit final sous forme de bobines.



Figure19 . Grand panier roulant



Figure20 . Grand panier roulant



Figure21 . Ferraille



figure22 . Ferraille métallique et bobines recyclées

1-4.Mouvement et mécanisme du pont roulant

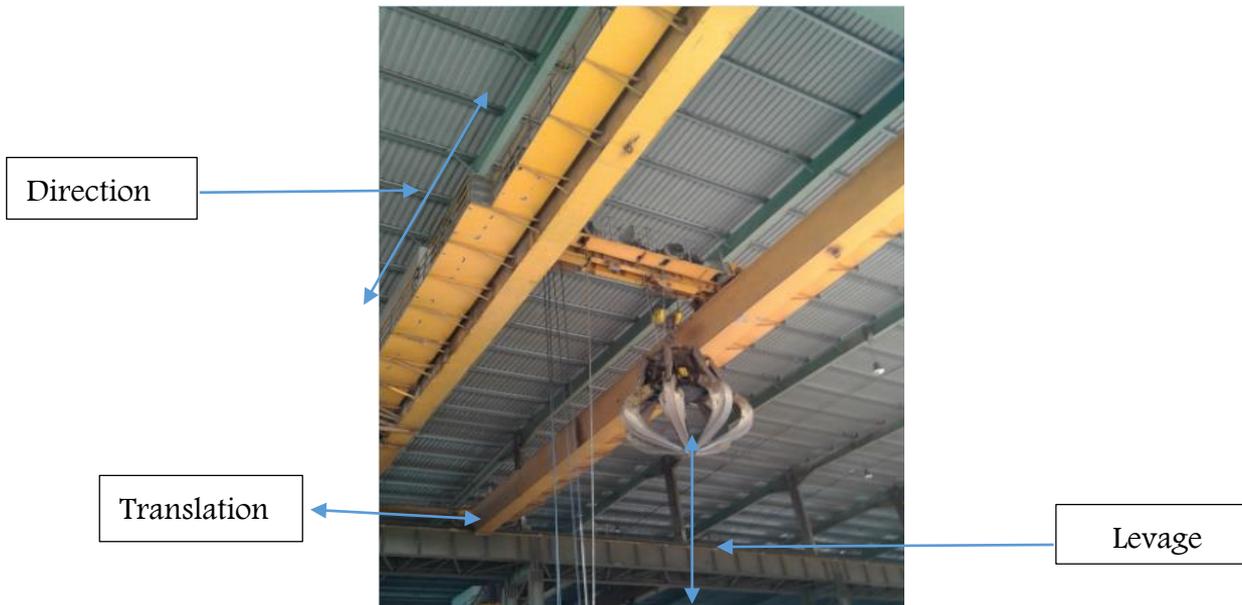


Figure23 : Mouvement possible du pont roulant

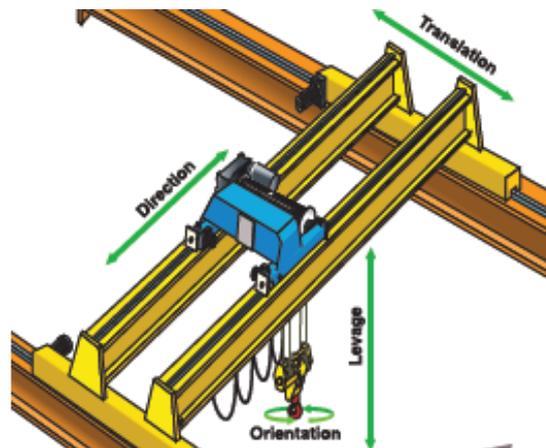


Figure 24 : Mouvement possible du pont roulant

Les axes de déplacement principaux sont appelés :

- **translation** : axe des voies de roulement (plus grande distance) correspondant à un mouvement d'ensemble du pont.
- **direction** : axe transversal ; généré par un déplacement du chariot.
- **levage** : axe vertical ; levage ou descente de la charge dû à un mouvement du treuil et donc des câbles.

Sur les ponts plus spécialisés on peut trouver des mouvements complémentaires comme la rotation, le basculement etc.

1-4-1. Levage

Le mécanisme de levage assure la montée et la descente de la charge il est essentiellement constitué par un moteur, un frein, éventuellement un frein de sécurité, un réducteur, un tambour pour l'enroulement du câble de levage.

1-4-2.Direction

Le mécanisme de direction assure le déplacement du chariot perpendiculairement au sens de déplacement du pont.

1-4-3.Translation

Le mécanisme de translation assure le mouvement du pont roulant sur les chemins de roulement ce mouvement est assuré par deux ou quatre moteurs synchronisés entraînant chacun un galet de roulement.

2. composants des ponts roulants

2-1.Chariot des ponts roulants

Le chariot du pont roulant est composé de 2 parties identiques, il y'a deux tambours, le premier est lié au grappin et le deuxième est lié à l'aimant.



Figure25 . Pont roulant parc à ferraille

Pour chaque partie il y'a un moteur, un réducteur, tambour, et un câble de manutention

Comme le montre la figure suivante.

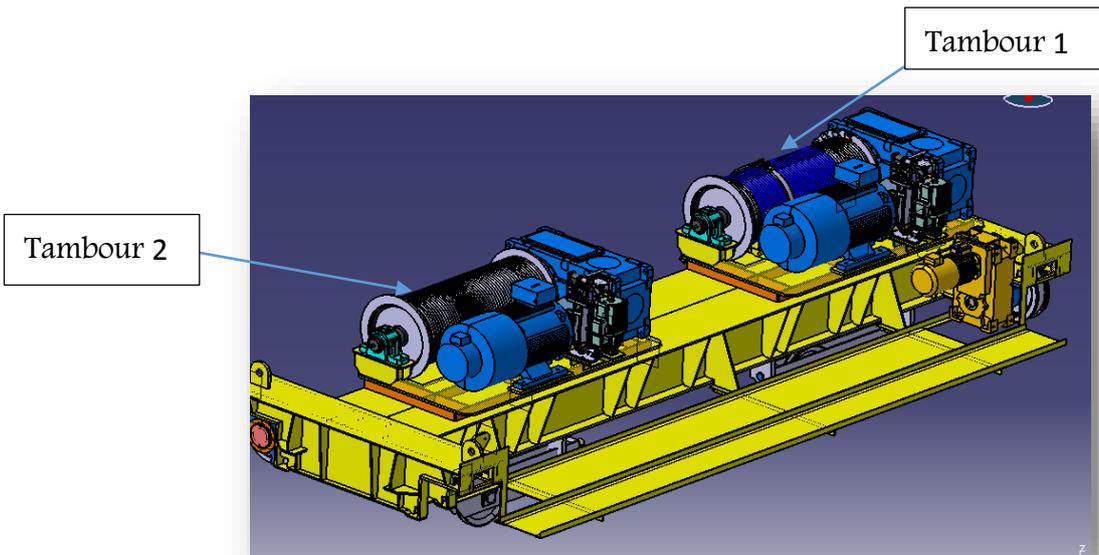
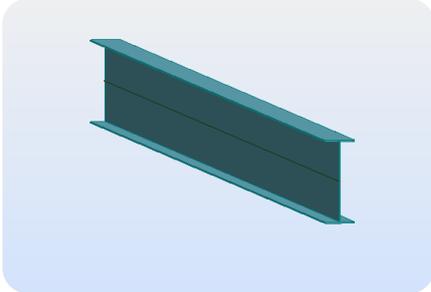
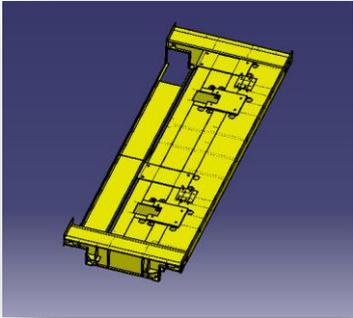
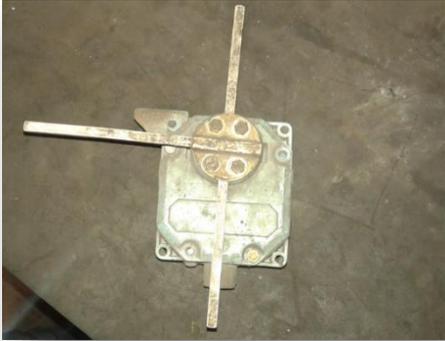


Figure26 . Dessin du chariot du pont roulant sur CATIA V5

2-2. Pièces des ponts roulants et leurs fonctionnements

Pièce	Image	Fonction
Chemin de roulement		Permet le déplacement du pont roulant
Disjoncteur		Faire une coupure du courant électrique dans le cas d'un défaut électrique (assurer la sécurité)

<p>Galet</p>		<p>Assurer le déplacement Sur les voies de roulement</p>
<p>Châssis</p>		<p>pour lever le poids du chariot (moteurs +tambours...)</p>
<p>Fin de course (translation et direction)</p>		<p>Eviter les chocs suivant (la direction, translation)</p>
<p>Enrôleur (système ressort)</p>		<p>Alimenter le câble d'alimentation du grappin</p>

<p>Résistance de Freinage pour Variateur de vitesse</p>		<p>Permettre d'absorber le courant lors du freinage du pont roulant pour ne pas endommager le variateur de vitesse</p>
<p>Tambour</p>		<p>Enrouler le Câble de manutention</p>
<p>Fin de course (levage)</p>		<p>Pour éviter les chocs de la charge avec le pont (suivant le levage)</p>
<p>Câble de manutention</p>		<p>S'enrouler sur le tambour pour changer la hauteur de la charge</p>

<p>Câbles de puissance</p>		<p>Alimenter les moteurs électriques</p>
<p>Soumis</p>		<p>lever le chariot</p>
<p>Frein D'urgence</p>		<p>Pour arrêter le pont s'il dépasse la limite du chemin de roulement (mauvais fonction du capteur fin de course)</p>
<p>Chariot</p>		<p>Se déplacer suivant la direction</p>

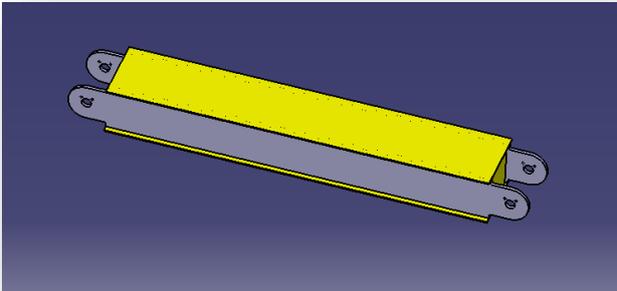
<p>Grappin</p>		<p>moyen de préhension</p>
<p>Aimant</p>		<p>Extraire l'acier de la ferraille</p>
<p>Connecting</p>		<p>Assurer la connexion entre les deux poutres</p>
<p>variateur de vitesse</p>		<p>Commander la vitesse de rotation des moteurs</p>

Tableau 13 . Pièce-fonctionnement

3. Problématique

Le problème principal des ponts roulants de la ferraille c'est qu'ils tombent toujours en panne ce qui influence négativement le suivi de travaux et de la chaîne de production. Notre objectif est de faire une étude détaillée pour savoir les causes de ces anomalies, et proposer des actions amélioratives et correctives pour diminuer les pannes et pour faciliter le fonctionnement.

4. Outils de travail

Pour la réalisation de mon projet de fin d'étude j'ai utilisé des méthodes et des logiciels

- Des outils d'analyse et d'amélioration
 - ✓ Brainstorming.
 - ✓ ISHIKAWA.
 - ✓ AMDEC.
- Logiciels pour faire la conception et l'étude
 - ✓ Robot structural
 - ✓ CATIA V5

Chapitre 3

Analyse de l'existant

Vous trouverez dans cette partie :

- *Analyse de la structure par le logiciel ROBO STRUCTURAL ANALYSIS*
- *Analyse des problèmes*

1. Introduction

Pour améliorer le fonctionnement des ponts roulants, il faut faire une étude détaillée pour détecter les défaillances et leurs causes probables.

Le diagnostic va nous permettre d'avoir un plan d'action et d'effectuer des améliorations pour minimiser ou éliminer les défauts.

2. Vérification de la structure

Vu que la structure des ponts roulants est fabriquée au sein de la société MAGHREB STEEL, alors on doit vérifier la structure pour savoir est ce qu'elle est capable de résister au poids de la charge à soulever par la suite on va vérifier la faisabilité des chemins de roulements.

2-1. poids des pièces

Il est nécessaire de déterminer le poids des pièces du pont roulant avant d'effectuer les calculs, le tableau suivant montre le poids de quelques composants.

Pièce	Poids
2 poutres	40T
Grappin	8T
Aimant	14T
Chariot	9T

Tableau14 . Pièces et leurs poids propres

2-2. Vérification des poutres par robot structural

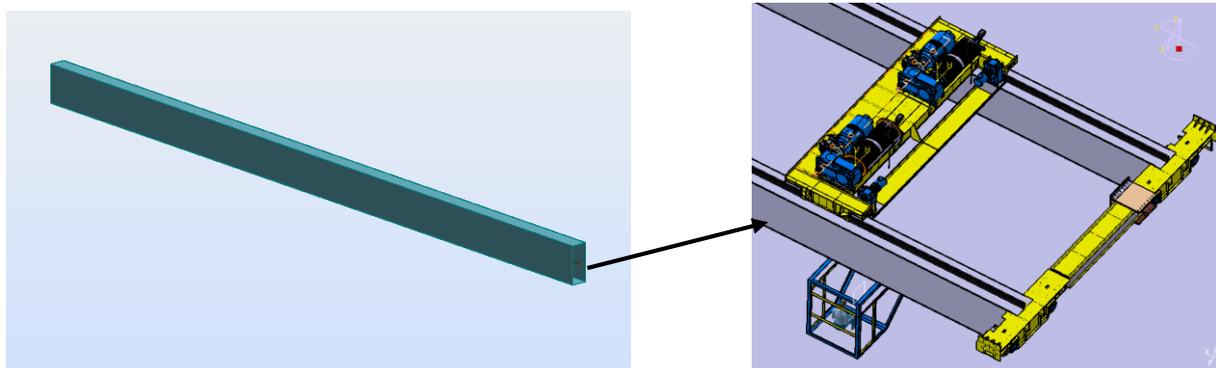


Figure27 . Modélisation de la poutre sur robot structural/Catia v5

Les caractéristiques des poutres du pont roulant se trouvent dans le tableau suivant :

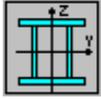
Portée	30 m
Profilé	ht=144cm ;bf=66,8cm ;ea=2cm=es 
Matériaux	Acier

Tableau15 : Caractéristiques des poutres

2-2-1.Charge appliquées sur les poutres

- Le poids du chariot (charge permanente)
- Le poids du grappin (charge permanente)
- Le poids d'aimant (charge permanente)
- La charge à soulever (charge d'exploitation)

2-2-2.Combinaison des charges

On doit appliquer des charges plus grandes que les charges réelles, Pour assurer la sécurité on utilise la combinaison suivante :

$$C=1,5*fe+1,33*fp$$

Avec : F_e : charge exploitation, F_p : charge permanente

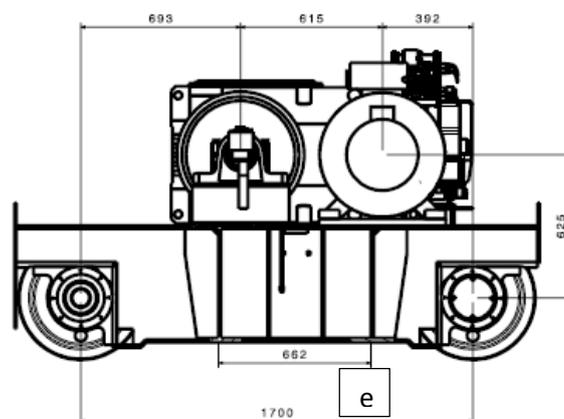


Figure28 . Vue de gauche du chariot

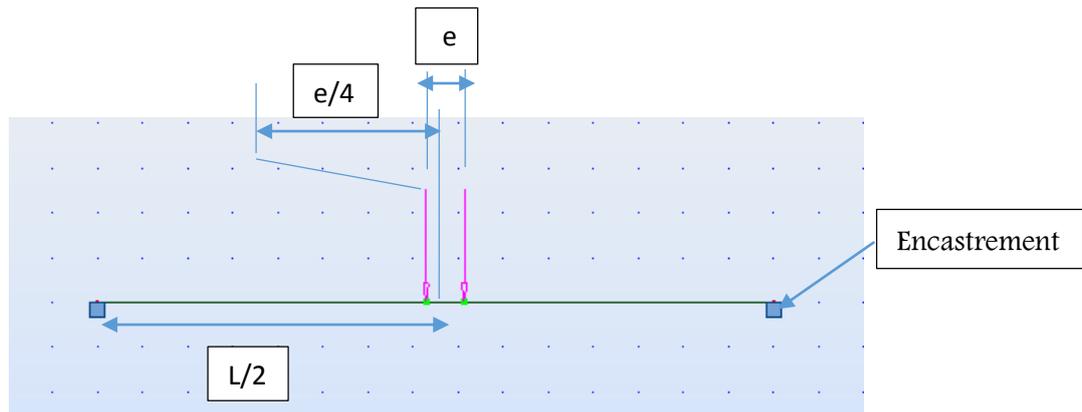


Figure29 . Modélisation de la poutre sur robot structural

2-2-3. Flèches

Le tableau suivant montre la valeur de la flèche maximale, pour les charges permanentes, la charge d'exploitation, et pour la combinaison des charges.

Barre/Cas	UX [cm]	UY [cm]	UZ [cm]
2/ 1	0,0	0,0	-0,7
2/ 2	0,0	0,0	-0,3
2/ 3 (C)	0,0	0,0	-1,4

Tableau16 . Flèche maximale des poutres

2-2-4. Efforts

Le tableau suivant montre la valeur des forces, moments sur les nœuds de la poutre.

Barre/Noeud/Cas	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
2/ 3/ 1	0,0	0,0	164,53	0,0	-1000,66	0,0
2/ 3/ 2	0,0	0,0	46,97	0,0	-356,08	0,0
2/ 3/ 3 (C)	0,0	0,0	289,29	0,0	-1865,01	0,0
2/ 4/ 1	0,0	0,0	-170,63	0,0	-1030,95	0,0
2/ 4/ 2	0,0	0,0	-51,13	0,0	-376,71	0,0
2/ 4/ 3 (C)	0,0	0,0	-303,63	0,0	-1936,24	0,0

Tableau 17 . Efforts appliqués sur les poutres

2-2-5. Contrainte de cisaillement T_z :

La figure suivante montre la variation de la contrainte de cisaillement pour la poutre.

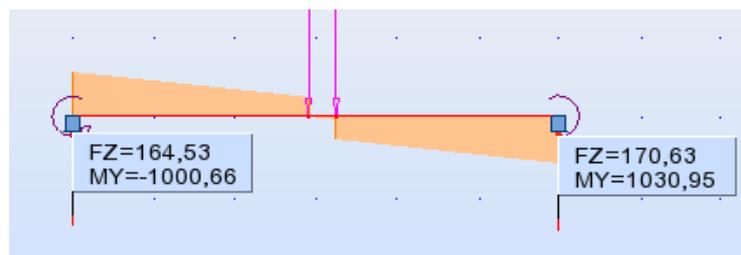


Figure30 . Diagramme de contrainte de cisaillement-poutre

2-2-6. Moment suivant l'axe y My

Le diagramme suivant montre la variation du moment fléchissant pour la poutre du pont roulant.

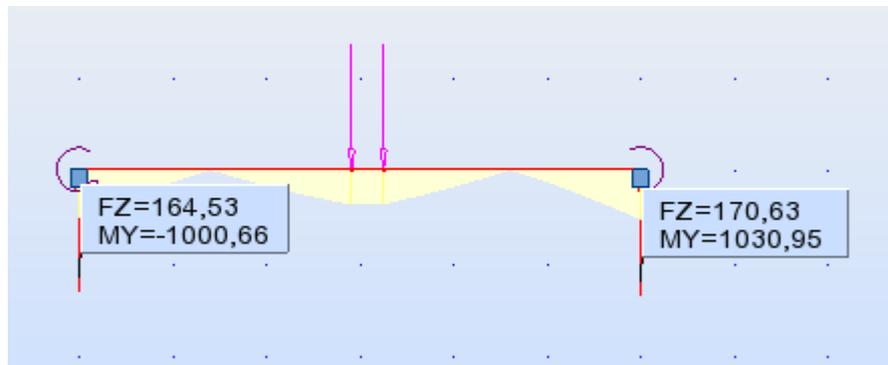


Figure31 . Diagramme moment fléchissant (y) de la poutre

2-2-7. Validation des poutres

Pour la validation de la poutre on doit déterminer la valeur maximale qu'on ne doit pas dépasser pour la flèche et pour le déplacement, et le logiciel compare automatiquement les résultats avec les conditions exigées. Pour les ponts roulants la valeur maximale de la flèche ne doit pas dépasser $L/750.00$, et le déplacement ne doit pas dépasser $L/150.00$, avec L : longueur de la poutre.

La poutre est validée par Robot Structural.

NORME: **CM66**

TYPE D'ANALYSE: **Vérification des pièces**

FAMILLE:

PIECE: **2 Barre_2**

POINT: **3**

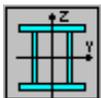
COORDONNEE: **x = 1.00 L = 30.00 m**

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: **3 COMB1 1*1.33+2*1.50**

MATERIAU:

ACIER $f_y = 235.00$ MPa



PARAMETRES DE LA SECTION: **CAISS_II_2**

ht=144.0 cm

bf=66.8 cm

ea=2.0 cm

es=2.0 cm

Ay=267.20 cm²

Iy=2261710.93 cm⁴

Wely=31412.65 cm³

Az=576.00 cm²

Iz=669407.48 cm⁴

Welz=20042.14 cm³

Ax=827.20 cm²

Ix=1595264.38 cm⁴

CONTRAINTES:

SigFy = $-1936.24/31412.65 = -61.64$ MPa



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:



en z:

FORMULES DE VERIFICATION:

$$kD * \text{SigFy} = 1.00 * -61.64 = |-61.64| < 235.00 \text{ MPa} \quad (3.611)$$

$$1.54 * \text{Tauz} = |1.54 * -5.27| = |-8.12| < 235.00 \text{ MPa} \quad (1.313)$$

DEPLACEMENTS LIMITES



Flèches

$$uz = 0.7 \text{ cm} < uz \text{ max} = L/750.00 = 4.0 \text{ cm}$$

Vérfié

Cas de charge décisif: 1 PERM1



Déplacements

$$vx = 0.0 \text{ cm} < vx \text{ max} = L/150.00 = 20.0 \text{ cm}$$

Vérfié

Cas de charge décisif: 1 PERM1

Profil correct !!!

2-3. Calcul de réactions sur les galets

2-3-1. Caractéristiques du pont roulant parc à ferraille

Les caractéristiques du pont roulant sont nécessaires pour le dimensionnement du chemin de roulement (voir Tableau 18).

Capacité du pont	40T
Poids du pont roulant	77 T
Poids du chariot	9T
Cote nominale d'approche	1,13 m
Coefficient dynamique	1,35
Porté du pont roulant	30 m

Tableau18 . Caractéristiques du pont roulant

2-3-2 .Charges appliquées sur le chemin de roulements

- Le poids du chariot
- Le poids du grappin
- Le poids d'aimant
- La charge à soulever

- Charge
- Le poids des poutres

Selon la FEM (fédération européenne de la manutention) :

$$4RV_{\max} = G46 \times 0,5 + G45 \times (-G48 + G50) / G50 + G47 \times (G50 - G48) / G50$$

Avec :

- RV_{\max} : force maximale appliquée par 1 galet
- G45 : capacité du pont
- G46 : poids du pont
- G47 : poids du chariot
- G48 : cote d'approche minimale du crochet
- G49 : coefficient dynamique
- G50 : portée du pont roulant

On remplace :

$$4RV_{\max} = 77 \times 0,5 + 40 \times (30 - 1,13) / 30 + 9 \times (30 - 1,13) / 30 = 85,65T$$

Application numérique :

La force verticale supportée par chaque galet

$$RV_{\max} = 21,41 T = 210KN$$

2-4. Vérification du chemin de roulement par robot structural

2-4-1 .modélisation et paramètres d'étude

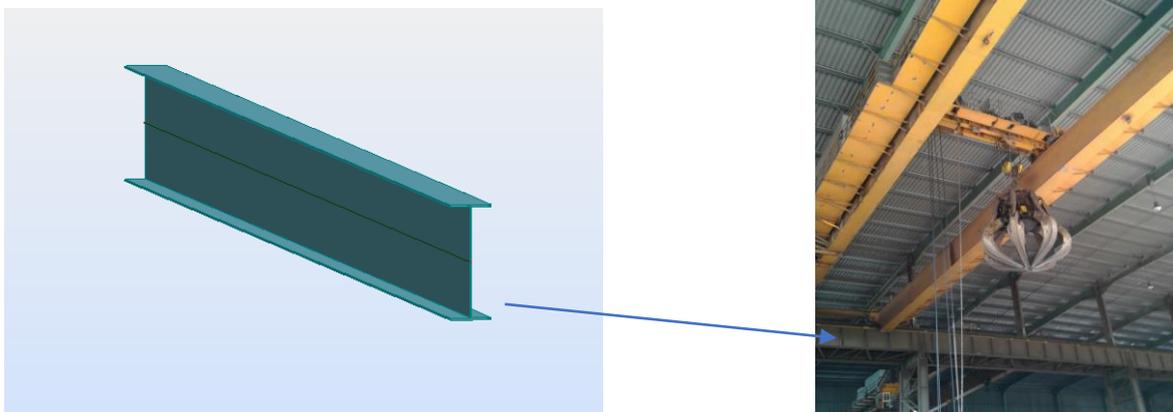


Figure32 . Modélisation du chemin de roulement sur robot structural

Le chemin de roulement a les caractéristiques qui se trouvent dans le Tableau 19.

Longueur du chemin	9m
Profile	ht=156cm ;bf=50cm ;ea=1,2cm;es=3 
Matériaux	Acier

Tableau 19 . Caractéristiques du chemin de roulement

On se place dans le cas critique : 2 ponts roulants dans le chemin de roulement, pour chaque pont il y'a 4 galets en contact (voir figure 33).

Alors il y'a 8 galets sur le chemin de roulement et chaque galet applique une force verticale de 210 KN (voir figure 34).

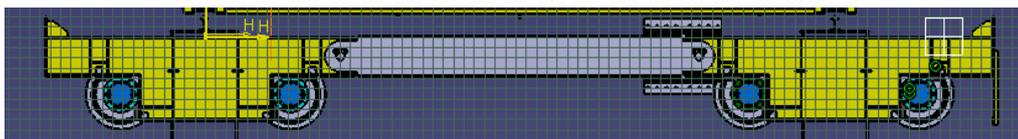


Figure33 . Partie du pont roulant en contact avec le chemin de roulement

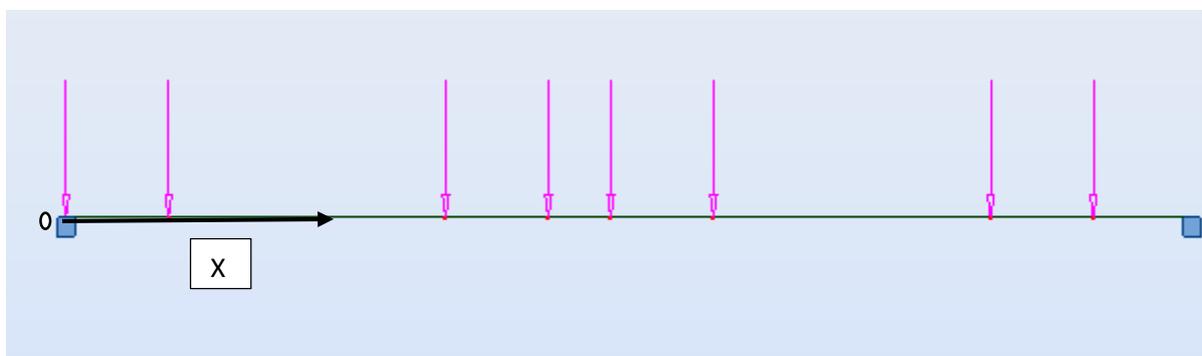


Figure34 . Modélisation du chemin de roulement sur robot structural

Positions des galets :

Galet 1	Galet 2	Galet 3	Galet 4	Galet 5	Galet 6	Galet 7	Galet 8
0 m	1,64 m	6,07 m	7,71 m	8,71 m	10,35 m	14,78 m	16,42 m

Tableau 20 . Position des galets

2-4-2. Combinaison des charges

$$C=1,5*fe+1,33*fp$$

Avec :

Fe : charge exploitation

Fp : charge permanente

2-4-3. Flèches

Le tableau suivant montre la valeur de la flèche maximale, pour les charges permanentes, la charge d'exploitation, et pour la combinaison des charges.

Barre/Cas	UX [cm]	UY [cm]	UZ [cm]
2/ 1	0,0	0,0	-0,7

Tableau21 . Flèche maximal du chemin de roulement

2-4-4. Efforts

Le tableau suivant montre la valeur des forces, moments sur les nœuds du chemin de roulement.

Barre/Noeud/Cas	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
2/ 3/ 1	0,0	0,0	834,43	0,0	-2832,47	0,0
2/ 4/ 1	0,0	0,0	-915,57	0,0	-2892,67	0,0

Tableau22 . Efforts appliqués sur le chemin de roulement

2-4-5. Contrainte de cisaillement Tz

La figure suivante montre la variation de la contrainte de cisaillement pour le chemin de roulement.

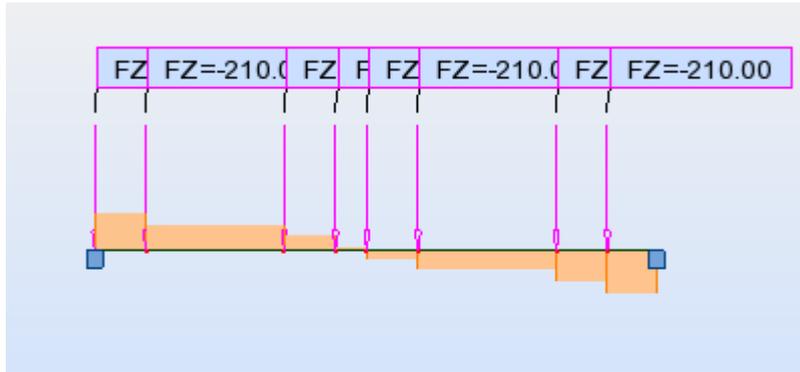


Figure35 : Contrainte de cisaillement-chemin de roulement

2-4-6. Moment My

Le diagramme suivant montre la variation du moment de flexion pour le chemin de roulement.



Figure36 : Contrainte de cisaillement-chemin de roulement

2-4-7. Validation du chemin de roulement

Pour la validation du chemin de roulement on doit déterminer la valeur maximale qu'on ne doit pas dépasser pour la flèche et pour le déplacement, et le logiciel compare automatiquement les résultats avec les conditions exigées. Pour les ponts roulants la valeur maximal de la flèche ne doit pas dépasser $L/750.00$, et le déplacement ne doit pas dépasser $L/150.00$, avec L : logeur du chemin de roulement.

le chemin de roulement est validée par Robot Structural.

NORME: *CM66*

TYPE D'ANALYSE: *Vérification des pièces*

FAMILLE:

PIECE: *2 2*

POINT:

COORDONNEE:



PARAMETRES DE LA SECTION: *I-SYM_2*

ht=156.0 cm

bf=50.0 cm

ea=1.2 cm

es=3.0 cm

Ay=300.00 cm²

Iy=2093400.00 cm⁴

Wely=26838.46 cm³

Az=180.00 cm²

Iz=62521.60 cm⁴

Welz=2500.86 cm³

Ax=480.00 cm²

Ix=951.93 cm⁴

DEPLACEMENTS LIMITES



Flèches

$$uz = 0.6 \text{ cm} < uz \text{ max} = L/750.00 = 2.4 \text{ cm}$$

Vérfié

Cas de charge décisif: 3 SLS /1/ 1*1.00



Déplacements

$$vy = 0.0 \text{ cm} < vy \text{ max} = L/150.00 = 12.0 \text{ cm}$$

Vérfié

Cas de charge décisif: 3 SLS /1/ 1*1.00

Profil correct !!!

3. Brainstorming

Le Brainstorming est une technique de créativité qui a pour but de produire une grande quantité d'idées nouvelles sur un sujet de discussion.

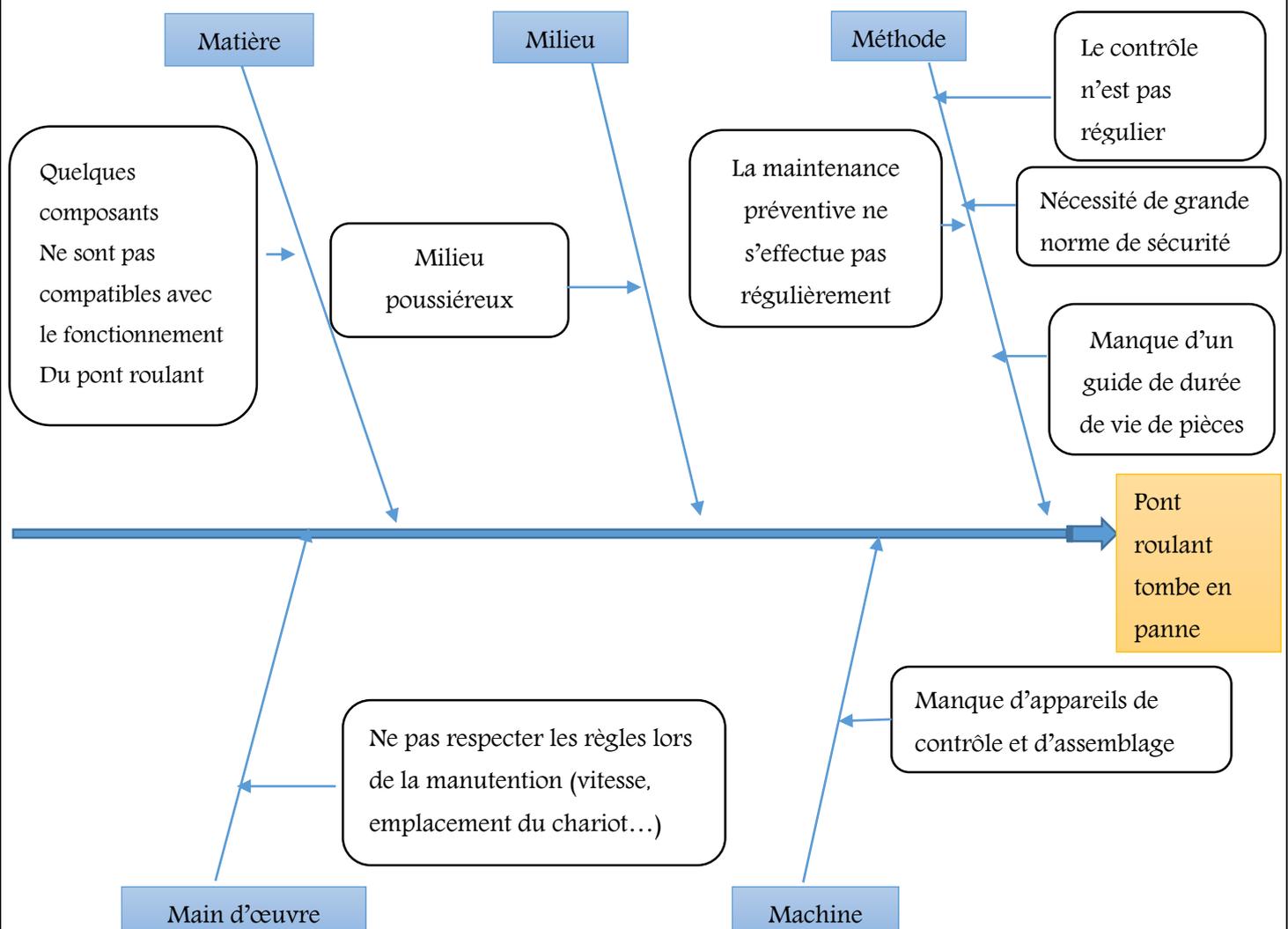
Après un brainstorming avec les opérateurs du service (pont roulant) à propos des défaillances, on a abouti à générer ces idées :

- Manque de moyennes pour faciliter le contrôle
- Chauffage des Roulements
- Chocs des Réducteurs
- Usage des Galets
- Surcharge (manque de moyen de contrôle et capteur)
- Problème de Balancement
- Coupage du Câbles de manutention
- Température de variateur augmente
- Problème au niveau des enrouleurs
- Milieu poussiéreux
- Non Alignement (moteur + réducteur)
- Détérioration des arrêts d'huile
- Le contrôle n'est pas effectué régulièrement
- Détérioration du Capteur de charge
- Manque de passerelle pour la réparation du capteur d'alimentation (sécurité + temps de réparation est très grand)
- Manque d'espace pour faire la réparation du chariot sans le descendre

4. diagramme ISHIKAWA

Le diagramme d'Ishikawa est un outil qui permet d'identifier les causes possibles d'un effet constaté et donc de déterminer les moyens pour y remédier. Ce diagramme a été fondé par Ishikawa, dit encore en arête de poisson.

En effet, après la synthèse qu'on a élaboré, on peut résumer les causes racines ayant un grand impact sur le rendement, et à l'aide du diagramme cause à effet on peut avoir des idées sur les solutions.



5. méthode AMDEC

AMDEC : analyse des modes de défaillance de leurs effets et leur criticité

La méthode AMDEC a pour objectif :

- ✓ d'identifier les causes et les effets de l'échec potentiel d'un procédé ou d'un moyen de
- ✓ d'identifier les actions pouvant éliminer (ou du moins réduire) l'échec potentiel

➤ **indice de La fréquence (F)**

Il s'agit de coter la probabilité qu'un défaut se réalise pour une cause donnée à partir de l'expérience de chaque équipe

Note 1 : moins d'une fois par année

Note 2 : moins d'une fois par 4 mois

Note 3 : moins d'une fois par mois

Note 4 : moins d'une fois par semaine

➤ **Indice de La non- détection (D)**

Il s'agit de coter la probabilité de ne pas détecter un défaut à une opération donné pour une cause donnée à partir des contrôles et détrompeurs prévues.

Note 1 : détection efficace permettant une action préventive.

Note 2 : système présentant des risques de non-détection dans certains cas.

Note 3 : système de détection un peu faible.

Note 4 : aucune détection.

➤ **Effet sur le temps d'arrêt de production (G)**

Note 1 : inférieur à 2 heures

Note 2 : inférieur à 4 heures

Note 3 : inférieur à 24 heures

Note 4 : plus que 24 heures

➤ **Criticité (C)**

$$C = F \times D \times G$$

J'ai effectué l'analyse AMDEC pour plusieurs pièces des ponts roulants, on commence par le câble de manutention vu qu'il est le plus critique, pour les autre équipements ils sont représentés dans les annexes

Composant	Fonction	Mode de Défaillance	Cause probable	Effet	Détection	F	G	D	C	Actions
Câbles de Manutention	S'enrouler sur le tambour pour changer la hauteur de la charge	Usure	La forme de la ferraille n'est pas homogène + Balancement	Risque de chute	Visuel	4	4	4	64	Action corrective : Amélioration de la conception
			Le chariot n'est pas placé verticalement avec la charge à soulever	Risque de chute	Visuel	4	4	1	16	Placer le chariot au niveau de la charge lors de la manutention + choisir une vitesse adéquate pour éviter le balancement

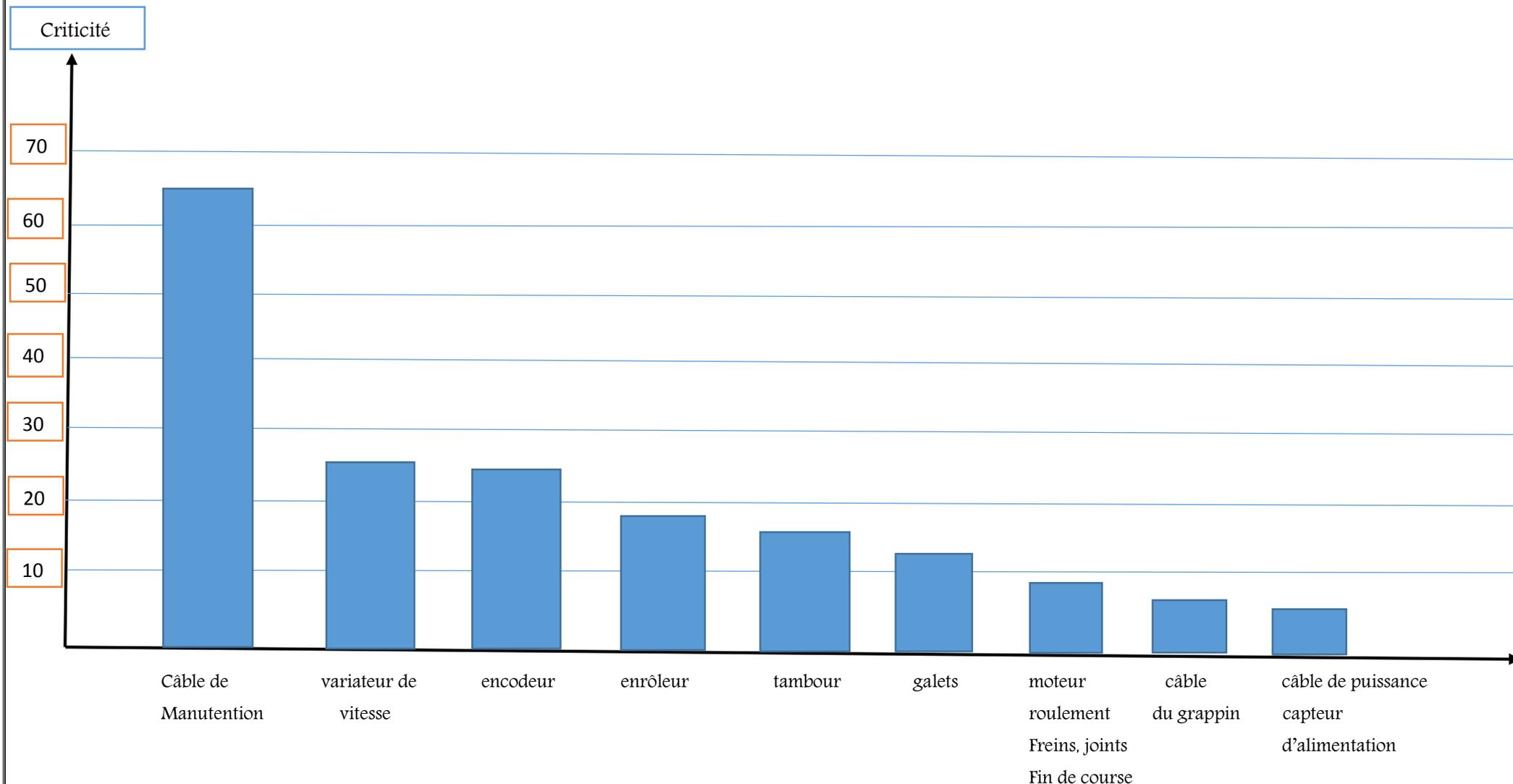


Figure 37 : Graphe de criticité des défaillances

6. conclusion

Après l'analyse sur ROBOT STRUCTURAL on peut conclure que la structure et les chemins de roulements sont compatibles avec les conditions de travail.

Et par les analyses effectuées par les méthodes ISHIKAWA et AMDEC, on a déterminé plusieurs problèmes qui influencent négativement le fonctionnement des ponts roulants selon le degré de criticité, Ces problèmes sont liés à plusieurs paramètres, l'objectif du chapitre suivant c'est de proposer des actions et des méthodes Pour diminuer les défaillances.

Chapitre 4

Actions et gains du projet

1. Introduction

L'analyse effectuée dans le chapitre précédent nous a aidé à déterminer les principaux problèmes qui influencent négativement la disponibilité et le fonctionnement des ponts roulants parc à ferraille.

Dans ce chapitre on propose des solutions pour minimiser ces problèmes.

2. Actions

2-1. Actions préventives et actions amélioratives

L'étude AMDEC nous a permis d'avoir une idée sur :

- les défaillances
- les criticités
- les actions préventives et correctives

Pour décider le type d'action qu'on doit effectuer pour réparer un problème il suffit de savoir son degré de criticité

- Pour les défaillances qui ont une criticité très grande on fait un changement au niveau de la conception (action corrective)
- Pour les actions qui ont une criticité moyenne ou faible il suffit de faire des actions préventives

2-2. Actions proposées

Action 1 : amélioration de la conception au niveau du chariot

Action 2 : proposer un plan de maintenance préventive basée sur les données d'AMDEC

Action 3 : proposer un contrôle vibratoire et ajouter des accessoires et assurer la sécurité

3. Amélioration de la conception (modification au niveau du chariot)

La criticité du câble de manutention est très grande, et il faut signaler que la société a déjà fait des changements par exemple le changement du diamètre du câble, le changement de lubrifiant mais sans résultat alors on doit effectuer un changement au niveau de la conception du chariot pour éviter ce problème entièrement..

3-1 .Problème

Presque chaque semaine il y'a le problème de la coupure du câble de manutention à cause de :

- La forme de la ferraille, elle n'est pas homogène
- Balancement qui provoque la sortie du câble de son chemin dans le tombeur
- Les fixations n'ont pas une possibilité de faire une petite relation pour éviter la sortie du câble en cas de balancement

3-2 .Comparaison entre l'ancienne et la nouvelle conception

a) L'ancienne conception

Pour l'ancienne conception nous avons :

- Beaucoup de mofflées
 - Usure rapide au niveau du câble de manutention à cause de la forme de la ferraille
 - 3 poulies sur le châssis et 4 poulies sur le moufle
 - Usure des rainures du tambour qui provoque la sortie du câble
 - Coupure du câble de manutention
 - 2 fixations sur le tambour
- Et il y'a 4 moflés (voir schéma 38)

b) Nouvelle conception

Pour la nouvelle conception on a :

- 4 moflés (voir schéma 39)
- 2 poulies sur le moufle et une poulie directrice
- Utilisation d'une poulie directrice pour éviter la sortie du câble de manutention au niveau du tambour
- Utilisation d'un guide de câble
- Une fixation sur le tambour et une fixation sur clavette (fixation du câble)

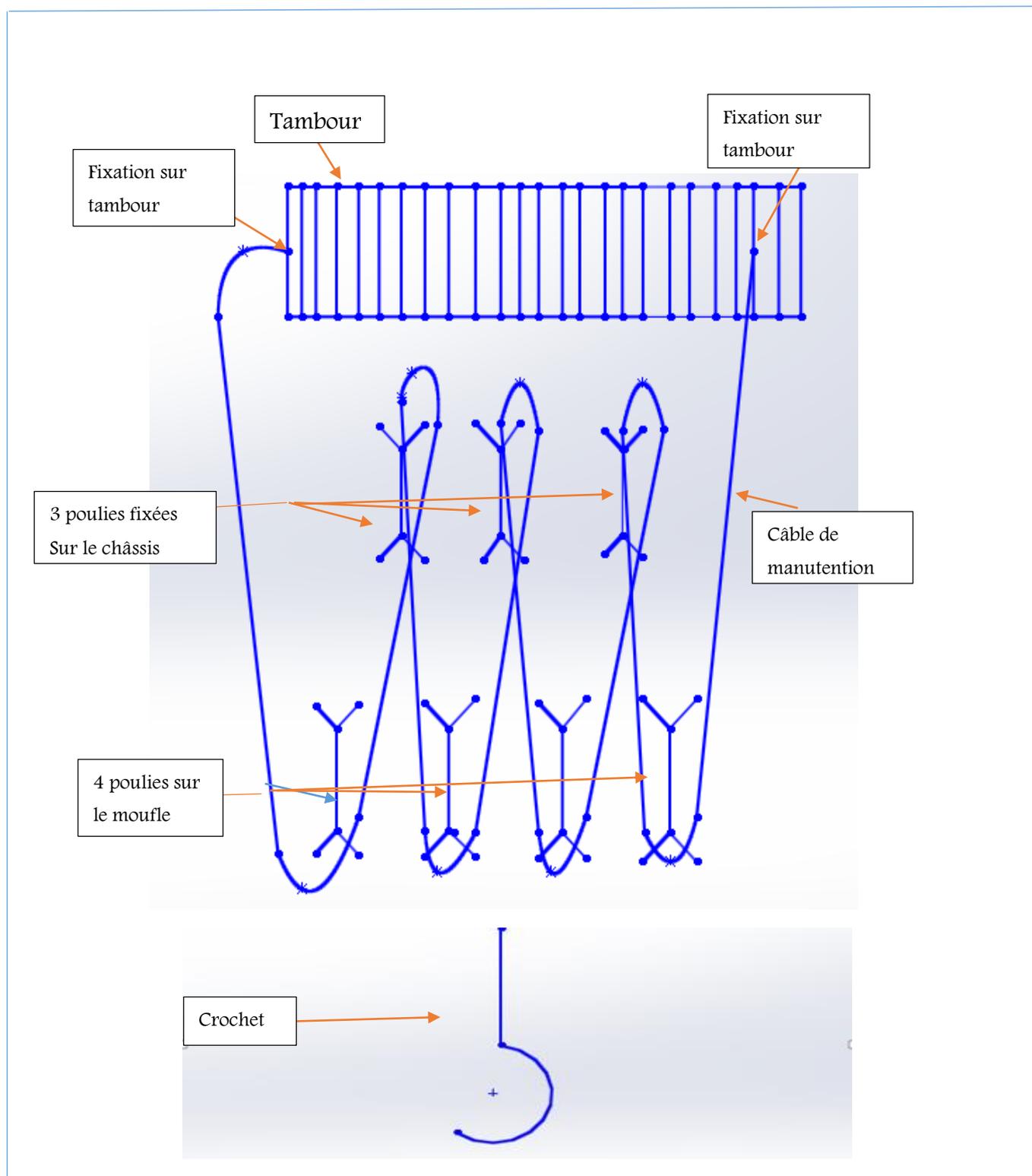


Figure38 . schéma explicatif de l'ancienne conception

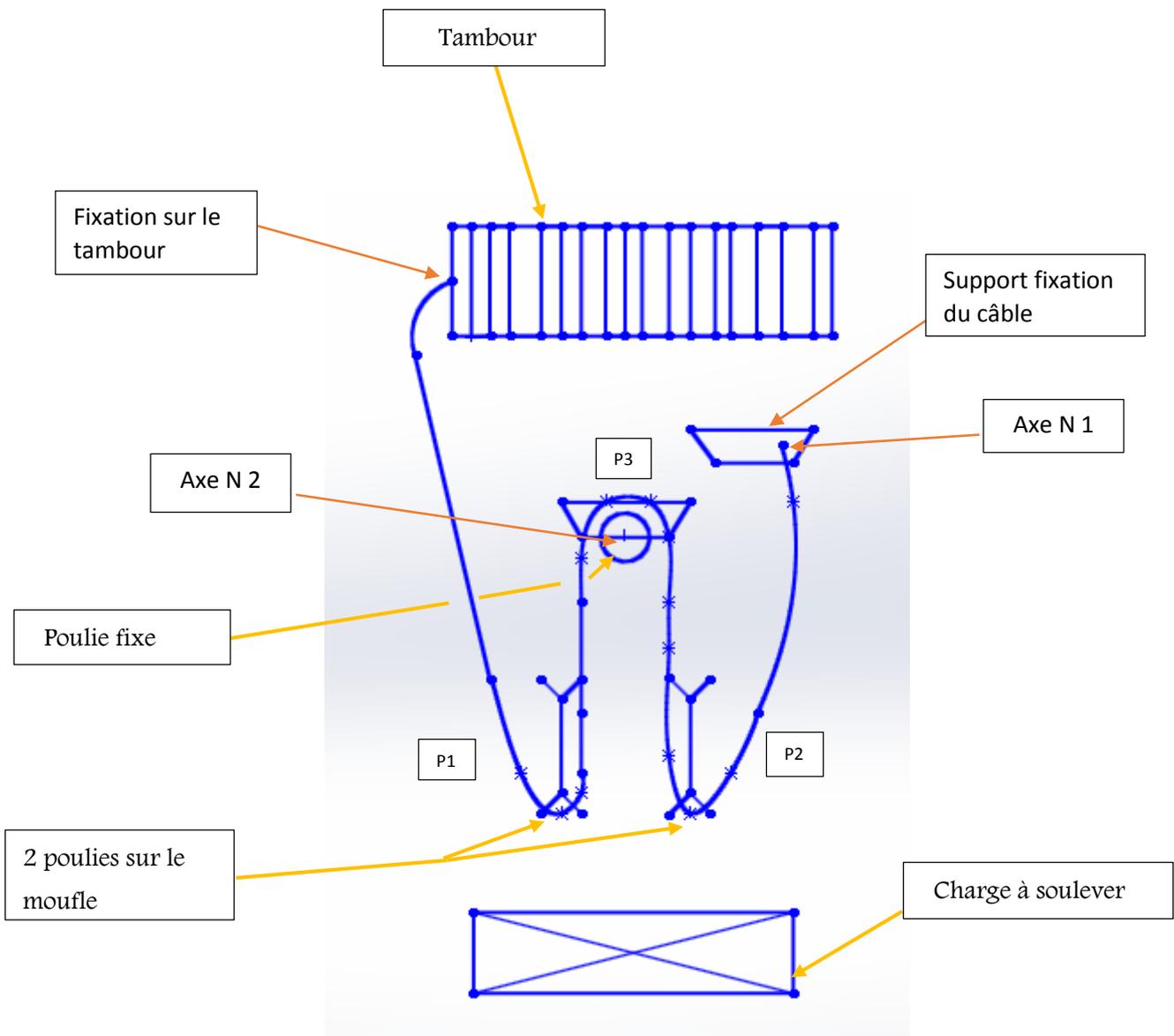


Figure39 . schéma explicatif de la nouvelle conception

La figure suivante montre que les supports de fixation du câble de manutention et de poulie sont fixés au niveau de Châssis du tambour à travers les paliers, le moyen d'assemblage est le soudage.

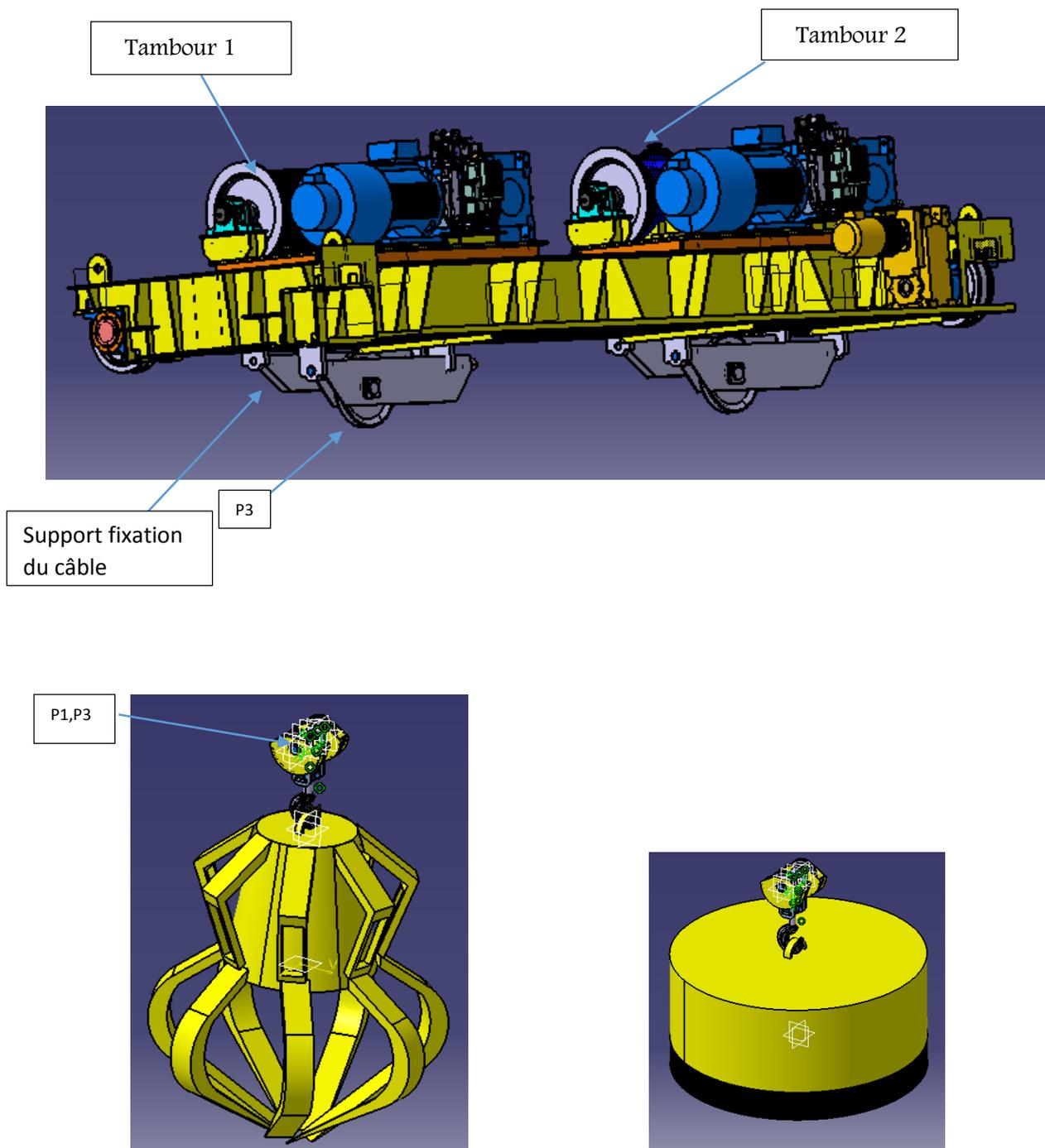


Figure40 . nouvelle conception sur catia v5

3-3. pièces de la nouvelle conception

a) Moufle

Le moufle se constitue de deux poulies comme le montre la figure suivante :

Le plan du moufle est dans l'annexe 3.

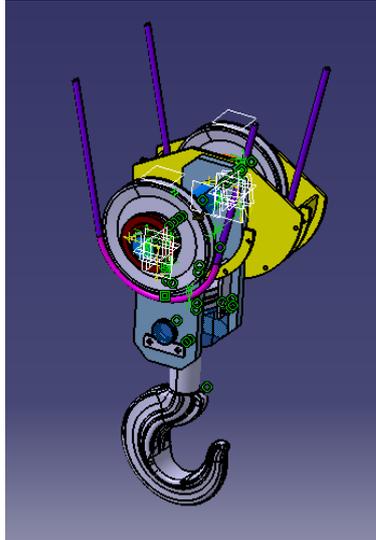


Figure41 . moufle

b) Poulie avec support

Le support de la poulie a les caractéristiques suivantes :

- Il est fixé dans le châssis à travers les paliers
- **Il peut faire une petite rotation** dans le cas du **balancement**, pour éviter l'usure et la coupure du câble de manutention (voir figure 42)

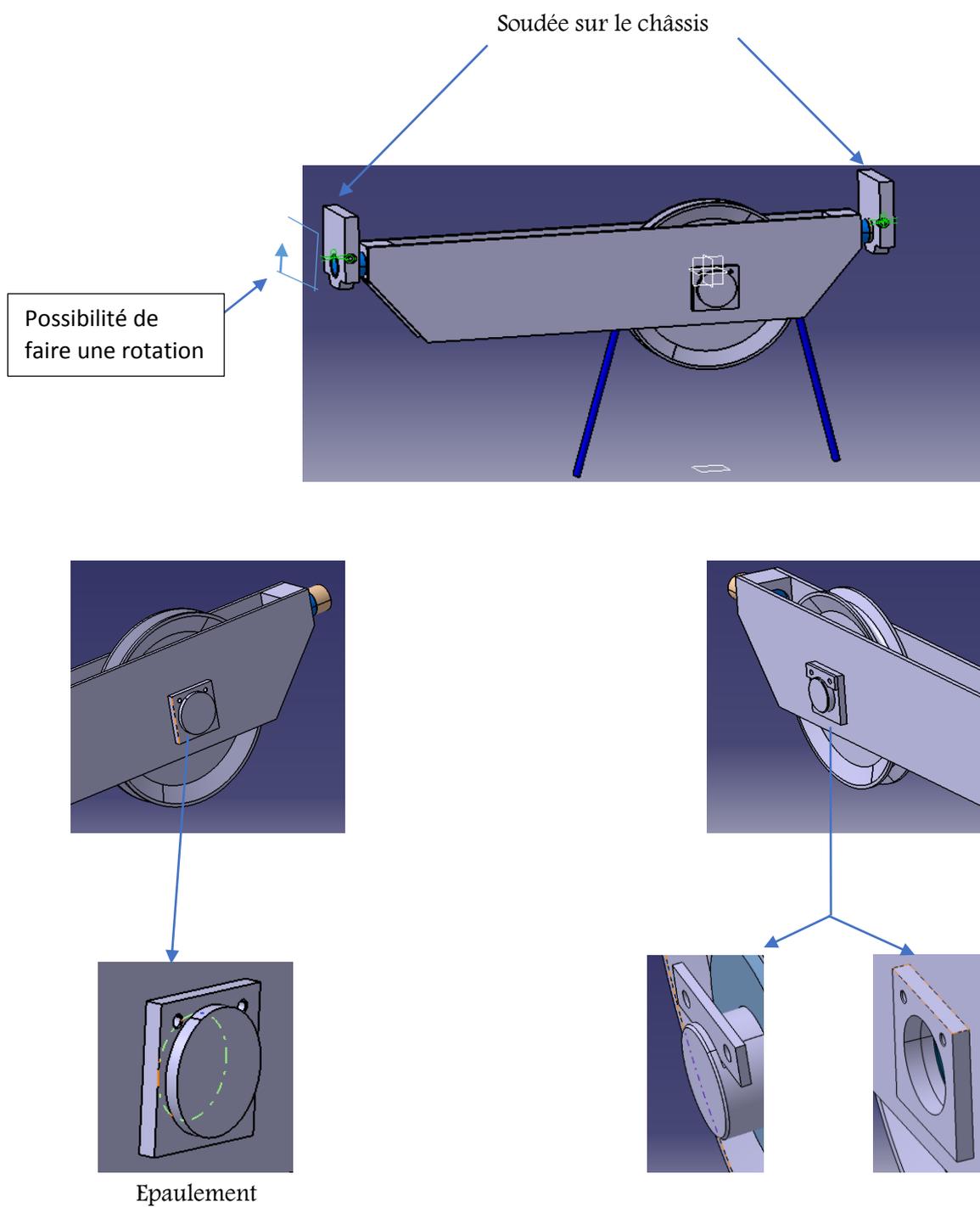


Figure 42 . poulie-fixation



Figure43 . poulie avec fixation

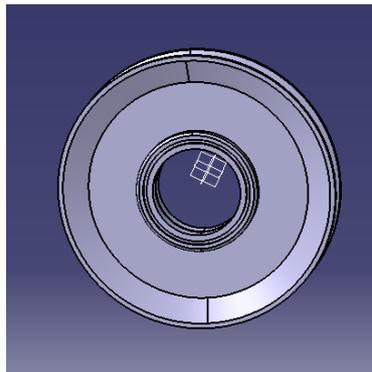


Figure44 . roue directrice p3

e) Support de fixation du câble de manutention

Le support de fixation du câble peut faire aussi une petite rotation pour éviter l'usure du câble
(Voir la figure 45)

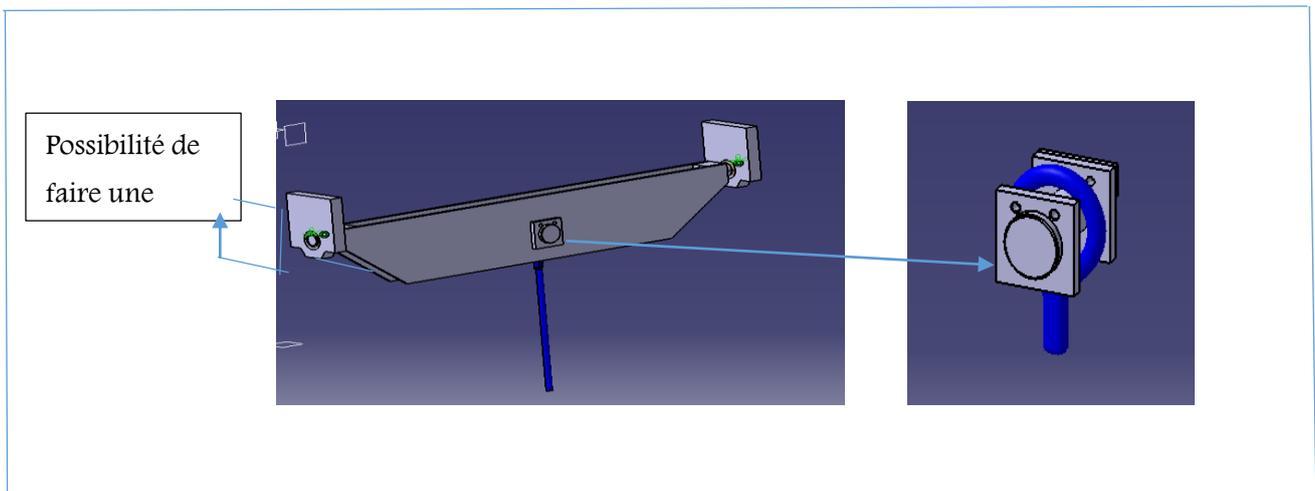
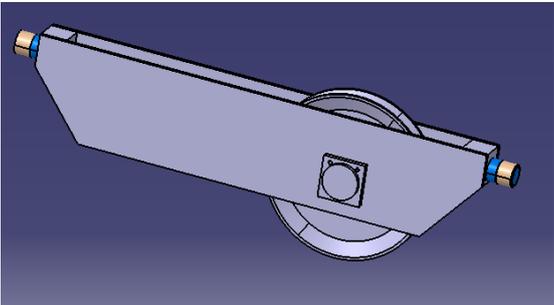
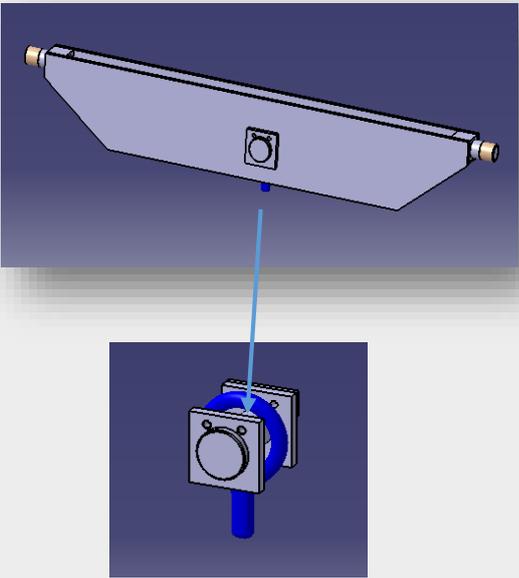


Figure 45 . dessin de fixation du câble avec les paliers sur CATIA V5



Figure 46 : fixation du câble

Pièce	Dessin sur logiciel CATIA V5
Poulie P3 + fixation	
Support de fixation du câble	

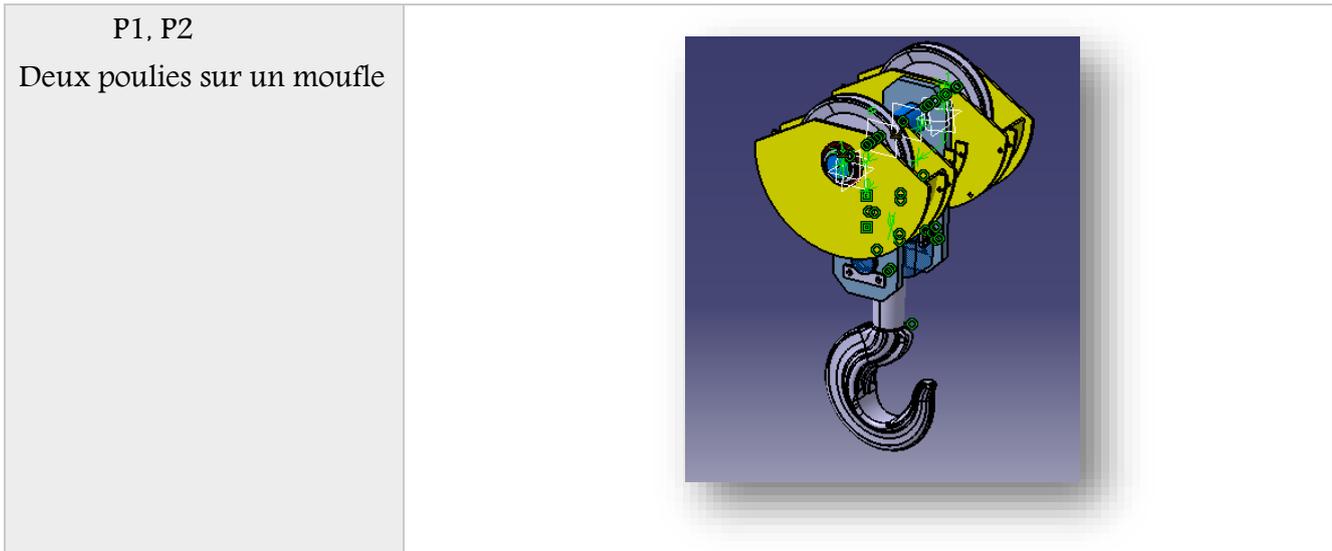


Tableau 23 . Dessin des pièces de la nouvelle conception

3-4. Calculs

3-4-1. calcul de poids

Le chariot du pont est divisé en deux parties (deux tambours), un tambour lié au grappin et un tambour lié à l'aimant.

Composant	Poids
Aimant	14 T
Grappin	7 T

Tableau24 . poids de l'aimant et du grappin

Vu la forme, la non homogénéité (vides) et la densité de la ferraille (voir figure47) l'aimant et le grappin soulèvent les charges montrées sur le tableau 25.

Composant	Poids à soulever
Aimant	2 T
Grappin	4T

Tableau25 . Capacité de l'aimant et du grappin



Figure 47 . Ferraille

3-4-2. Calcul de forces

Pour notre étude on se place dans le cas le plus critique (charges appliquées dans la partie d'aimant)

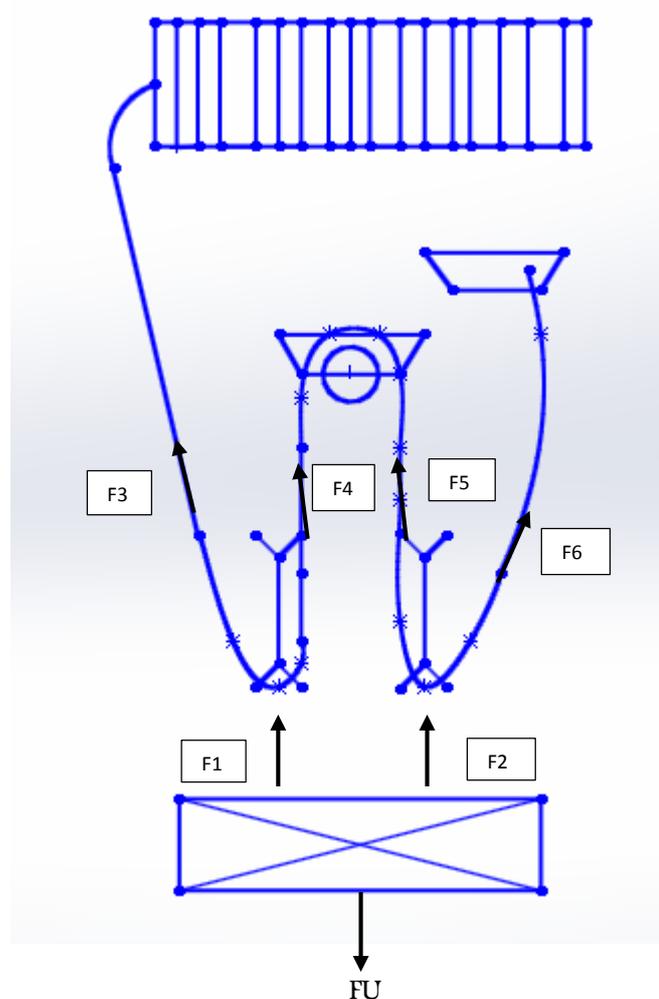


Figure 48 . Forces appliquées dans les composants du chariot

Poids d'aimant + poids de la ferraille à soulever = 16T

On ajoute 4 T comme une marge de sécurité

Alors :

$$P \text{ (totale)} = 20 \text{ T}$$

Donc : $F_U = 20000 * 9.81$, $F_U = 196,2 \text{ KN}$

Pour calculer les forces il suffit d'appliquer la première loi de la statique :

$$F_1 + F_2 = F_U$$

$$F_1 = F_U/2$$

ET

$$F_2 = F_U/2$$

$$F_3 + F_4 = F_1$$

$$F_3 = F_U/4$$

ET

$$F_4 = F_U/4$$

$$F_5 + F_6 = F_2$$

$$F_5 = F_U/4$$

ET

$$F_6 = F_U/4$$

Alors :

$$F_1 = F_2 = 98,1 \text{ KN}$$

et

$$F_3 = F_4 = F_5 = F_6 = 49,05 \text{ KN}$$

La force appliquée sur **P1** et **P2** égal à $F_U/2$

$$98,1 \text{ KN}$$

La force appliquée sur **P3** égal à $F_4 + F_5 = F_U/2$

$$98,1 \text{ kN}$$

3-5. Dimensionnement

3-5-1. Dimensionnement des axes

a) sollicitation

Les axes sont sollicités principalement aux cisaillements, on doit dimensionner les axes pour éviter la rupture.

Condition de résistance :

Pour éviter la rupture il faut que

$$\sigma \leq Re/S$$

σ : contrainte de cisaillement appliquée sur l'arbre égal $(4N/\pi d^2) \leq (Re/FS)$

N : force de cisaillement

D : diamètre de l'arbre

Re : limite élastique

FS : coefficient de sécurité

D'après la relation précédente il faut que :

$$d \geq \sqrt{(4F * FS) / \pi * Re}$$

b) Choix du Coefficient de sécurité

Coefficient de sécurité s	Charges exercées sur la structure	Contraintes dans la structure	Comportement du matériau	Observations
$1 \leq s \leq 2$	régulières et connues	connues	testé et connu	fonctionnement constant sans à-coups
$2 \leq s \leq 3$	régulières et assez bien connues	assez bien connues	testé et connu moyennement	fonctionnement usuel avec légers chocs et surcharges modérées
$3 \leq s \leq 4$	moyennement connues	moyennement connues	non testé	
	mal connues ou incertaines	mal connues ou incertaines	connu	

Tableau26 . coefficient de sécurité

D'après les données du tableau précédent on choisit un coefficient de sécurité **FS=3**

c) Choix des matériaux

Le matériau qu'on doit choisir doit avoir les propriétés suivantes :

- Bonne résistance aux surcharges à l'état traité
- Résistance au choc
- Résistance à la fatigue et à la corrosion

Pour notre projet on choisit le **matériau 42CD4** vue qu'il respecte les conditions exigées

d) Propriétés

Acier de construction faiblement allié au chrome molybdène pour trempe et revenu.

Bonne trempabilité à l'huile, bonne résistance aux surcharges à l'état traité.

Masse volumique 7,85 KG/dm³

e) Domaines d'application

Acier très employé en mécanique, pour des pièces de moyennes à fortes sections : arbres, essieux,

Crémaillères, vilebrequins, bielles, engrenages.

Cet acier est parfois utilisé pour des pièces trempées superficiellement.

f) Composition chimique

Eléments	% mini	% maxi	Ecart admissible % en masse
C Carbone	0.38	0.45	+/-0.02
Si Silicium		0.40	+/- 0.03
Mn Manganèse	0.60	0.90	+/-0.04
P Phosphore		0.025	+ 0.005
S Soufre		0.035	+/-0.005
Cr Chrome	0.90	1.20	+/-0.05
Mo Molybdène	0.15	0.30	+/-0.03
Fe Fer	Le reste		

Tableau27 : Composition chimique du matériau 42CD4

g) Caractéristiques Mécaniques

Re=750MPa, RM=1060 MPA, A₀=14mini

h) Application numérique

$$d \geq \sqrt{(4F * FS) / \pi * Re}$$

➤ Pour l'axe N 1 :

On a : F=49500N, Re=750MPa, FS=3

On remplace dans la relation de résistance on aura : $d1 \geq 15,87mm$

➤ Pour l'axe N2 :

On a : F=98100N, Re=750MPa, FS=3

On remplace dans la relation de résistance on an aura $d2 \geq 22,35mm$

3-5-2 Câble de manutention

a) caractéristiques générales

Pour toute application le choix d'un câble nécessite la prise en compte des paramètres suivants :

- Diamètre et force de rupture recherchés
- Résistance à la fatigue
- Résistance à l'abrasion
- Résistance à la corrosion
- Résistance aux déformations
- Propriétés anti giratoires
- Allongement / Préétirage

b) Force de rupture / perte au câblage

Les utilisateurs sont souvent déroutés par les diverses définitions existant en matière de force de rupture d'un câble, perte au câblage.

Force de rupture minimum :

Force de rupture en dessous de laquelle un échantillon de câble ne doit jamais se rompre lors d'un essai destructif à la traction sur le câble

Force de rupture effective :

C'est la force de rupture effective obtenue au terme d'un essai destructif à la traction sur le câble selon la norme ISO 3108.

Force de rupture totalisée :

C'est la somme des sections métalliques des fils composant le câble multipliée par la nuance d'acier.

Perte au câblage :

Différence entre la force de rupture théorique totalisée et la résistance minimale à la rupture.

c) Calcul de force appliquée sur le câble

Dans notre cas nous avons 4 moufles, et d'après les calculs qui sont déjà effectués

On a :

$$F_a = 49,05 \text{ KN}$$

d) Critères de choix du câble de manutention

Le câble qu'on va choisir doit respecter ces conditions :

- Résistance à la fatigue
- Avoir une résistance à la rupture au minimum 2 fois plus grande que F_a

e) Choix du câble de manutention

On choisit un câble acier clair diam 22 mm, 8 torons de 25 fils-IWRC-1960N/mm² croisé à droite

Caractéristique du câble choisit :

- construction en 8 torons double parallèle
- idéal pour enroulements en multicouches
- applications pour palans électriques et **ponts roulants**

Rupture minimale (KGF)	Poids (Kg/100m)
42 000	223

Tableau28 . caractéristiques du câble de manutention

$$F_r = 42\,000 \times 9,81$$

$$F_r = 412,02 \text{ KN}$$

F_r : force qui provoque la rupture du câble de manutention

3-5-3. Calcul de charges appliquées sur les roulements

Les deux polies p_1 et p_2 sont identiques ainsi que les roulements utilisés

Vu que la charge à soulever est importante on a pour chaque polie 2 roulement à billes et voici les caractéristiques principales

Pour calculer la charge dynamique équivalente il faut calculer les charges appliquées sur chaque roulement, d'après les calculs de forces qui sont déjà effectués la charge sur chaque poulie égal à 98,1KN.

Pour chaque poulie il y'a deux roulement qui vont supporter les charges également

Les charges supportées sont radiales, aucune force axiale n'est présente

Alors :
$$F_r = 98,1 / 2 = 49,05 \text{ kN}$$

a) Calcul de charge dynamique équivalente

Dans le cas général la charge dynamique équivalente est sous cette forme

$$P = V \cdot X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

Avec :

P : charge dynamique équivalente.

X : facteur de charge axiale

Y : facteur de charge radiale

F_r : Force radiale

F_a : Force axiale

V : V=1,2 si la bague extérieure tourne et V=1 autrement

Dans le cas d'un roulement à billes :

Si $F_a/F_r > e$ alors $P = 0.56 \cdot F_r + Y \cdot F_a$

Si $F_a/F_r < e$ alors $P = F_r$

Avec ($e = (1-X)/Y$)

Vu que $F_a = 0$, alors $P = F_r$

$$P = 49,05 \text{KN}$$

b) choix des roulements

On choisit les roulements dont les caractéristique est dans l'annexe 5

c) Calcul de durée de vie des roulements

$$L_{10} = (C/P)^3$$

Avec :

C : capacité dynamique.

Application numérique

$L_{10, 1} = (101/49,05)^3 = 8,73$ million cycles (roulement 1)

$L_{10, 2} = (101/49,05)^3 = 8,73$ million cycles (roulement 2)

$$L_{10, T} = \left(\left(\frac{1}{(8,73)^{\frac{1}{5}}} + \frac{1}{(8,73)^{\frac{1}{5}}} \right) \right)^{-1/5}$$

$L_{10, T} = 5.5$ million cycles

$$L_h = \left(\frac{L_{10, T} \times 10^6}{60 \times N} \right)$$

Avec :

L_h : durée de vie en heure

N : vitesse de rotation

Calcul de vitesse de rotation

$$L_h = \frac{5.5 \times 10^6}{60 \times 6,6}$$

Application numérique :

$$L_h = 13889 \text{ heures}$$

Pour un roulement à bille et dans le cas d'utilisation dans les ponts roulants on doit avoir une durée de vie moyenne égale à 12000 heures.

On compare la durée de vie calculée avec la durée de vie moyenne qu'on doit atteindre

On aura :

$$L_h = 13889 > 12000$$

On a dépassé la durée de vie moyenne on peut donc conclure que le type de roulement choisit est convenable.

4. plant de maintenance préventive

Pour résoudre les problèmes des défaillances qui ont une criticité moyenne ou faible il faut établir un plan de maintenance basé sur les actions préventives déterminées par la méthode AMDEC.

Il faut signaler que la maintenance préventive dépend de plusieurs paramètres

La criticité de la pièce, le coût etc.

4-1. Renseignement générales

a) Inspection visuelles

A chaque fois avant de commencer il faut vérifier :

- La cabine de contrôle est-elle propre et en bon état
- La radio commande est-elle propre et en bon état
- Le câble de levage ne représente aucun signe d'usure, déformation ou déplacement
- Le moufle d'accrochage et crochet ne représente aucun signe d'usure ou déformation
- L'aspect des accessoires de levage et d'accrochage (élingues, manilles, pinces, grappin...)

b) Inspection techniques à vitesse réduite

Il faut vérifier :

- Le fonctionnement des boutons de contrôle
- Audibilité de l'avertisseur sonore
- Le bouton d'arrêt d'urgence
- Le mouvement du pont roulant (bruit, vibration)
- Le fonctionnement du système de freinage
- Le fonctionnement du capteur fin de course de montée et de descente
- Le fonctionnement des réducteurs de vitesse

Remarque :

S'il y a un problème dans les éléments qui précèdent, il faut le signaler au chef responsable et il est interdit de démarrer le pont roulant avant de régler le problème et avoir l'accord des responsables

4-2. maintenance préventive systématique

Ce plan de maintenance est réaliser à partir les résultats de la méthode AMDEC et à partir un BRAIN Storting avec l'équipe de maintenance il faut signaler que ce plan de maintenance est valable dans les conditions normal de travail, son objectif est augmenter la durée de vie des pièces et éviter les arrêts inattendus.

a) Translation/direction

Equipement	Action	Fréquence
Moteurs	Contrôle d'alignement axe moteur-réducteur	3mois
	Nettoyage	3 mois
	Contrôle des ventilations	3 mois
	Contrôle de fixation et de connexion	3 mois
	Test d'isolement	1 an
	Contrôler l'échauffement	3mois
	Contrôler absence du bruit	1moi
	Contrôler absence de vibration	2 mois
	Contrôler la propreté	3mois
Frein	Nettoyage	3 mois
	Contrôler la fixation de l'entrefer	3 mois
	contrôler le fonctionnement	1 jour
	contrôler la propreté de ventilation	3mois
	contrôler le couple du freinage	2mois
Réducteur	contrôler l'état	3 mois
	contrôler la fixation	3mois
	contrôler l'échauffement	3mois
	contrôle d'absence du bruit	2mois
	contrôle d'absence de vibration	3mois
	contrôle du niveau de l'huile	21 jours
	vidanger	6mois
Galets	contrôler l'état	6 mois
	contrôler l'usure	6mois
	Graissage manuel (paliers)	3 mois

b) Levage

Equipement	Action	Fréquence
Moteurs	Contrôle d'alignement axe moteur- réducteur	3 mois
	Nettoyage	3 mois
	Contrôle des ventilations	3 mois
	Contrôle de fixation et de connexion	3 mois
	Test d'isolement	1 an
	Contrôler l'échauffement	3mois
	Contrôler absence du bruit	1moi
	Contrôler absence de vibration	2 mois
Ventilateur moteur	Contrôler la propreté	3mois
	contrôler l'état	3mois
	contrôler la fixation	3mois
	contrôler la propreté du filtre	3mois
Réducteur	nettoyage	3mois
	contrôler l'état	3 mois
	contrôler la fixation	2mois
	contrôler l'échauffement	3 mois
	contrôle d'absence du bruit	2mois
	contrôle d'absence de vibration	2mois
	contrôle du niveau de l'huile	3semaines
vidanger	6 mois	

Equipement	Action	Fréquence
Accouplement disque	contrôler l'alignement	3mois
	contrôler le couple de serrage des vis de fixation de l'accouplement	6mois
	contrôler l'absence de bruit	2mois
	contrôler l'absence de vibration	2mois
Frein à disque	contrôler le fonctionnement	1jour
	contrôler efficacité freinage	1jour
	contrôler usure des plaquettes	3mois
Accouplement à tonneaux	contrôler le couple de serrage des vis de fixation	4mois
	contrôler usure des dentures	3 mois
	contrôler l'alignement angulaire	3mois
	contrôler la position axiale	6mois
	graisser les tonneaux	6mois
tambour	contrôler l'état	3mois
	contrôler l'usure des gorges	3mois
	contrôler l'état des paliers	1 an
	graisseage manuel (tambour)	3mois
	graisseage manuel (palier de tambour)	6mois
Poulies	contrôler la fixation	3mois
	contrôler l'usure	3mois
	graisser les paliers	3mois

c)Autres

Equipement	Action	Fréquence
Chemins de câbles et armoires	Vérification de chemin de câble et de l'état du câble.	3mois
	Nettoyage des armoires et coffret électrique.	1 semaine
	Vérification du serrage de connexion des appareils électrique et leur fonctionnement.	3mois
		3mois
Radiocommande	Vérification de la radio commande, commande à câble	3mois
	Contrôle du récepteur et fixation	3 mois
Capteur D'alimentation	Le nettoyage régulier Par le produit (GPTR).	2 mois
	Contrôle régulier des fixations.	2mois
grappin	contrôler le câble d'alimentation	1 jour
	Vérifier fréquemment la suspension (maillon de connexion)	1 jour
	Remplacer le Filtre de pressurisation	6mois
chemin de roulement	Contrôle d'alignement	1 an
	Contrôle de nivellement	1 an

5. Accessoires et éléments de sécurité

Pour assurer la sécurité pour l'équipe de l'entretien il faut ajouter ces éléments :

a) Garde-corps

Un garde-corps est un ensemble d'éléments formant une barrière de protection placée sur les côtés d'un escalier ouvert.

Pour les ponts roulants parc-ferrailles on doit ajouter des garde-corps spécifiques.

Au niveau du chariot : parfois le chariot tombe empanne dans une zone ou on ne peut pas utiliser la nacelle, pour assurer la sécurité pour l'équipe de maintenance il faut utiliser les garde-corps.

Pour plus de sécurité Le garde-corps doit être composé de 3 éléments comme le montre la figure 51.

- Plinthe : pour éviter la chute d'un outil
- Lisse et sous lisse : pour éviter la chute de l'homme

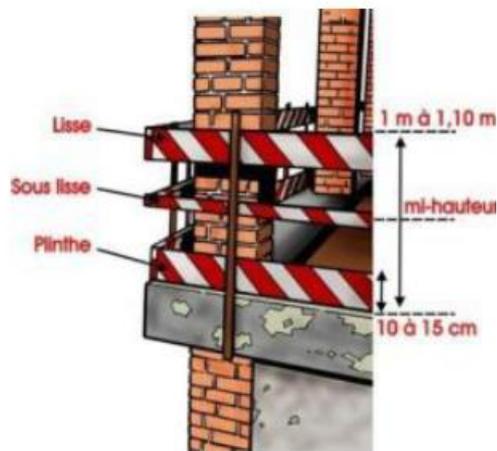


Figure49 : Garde-corps

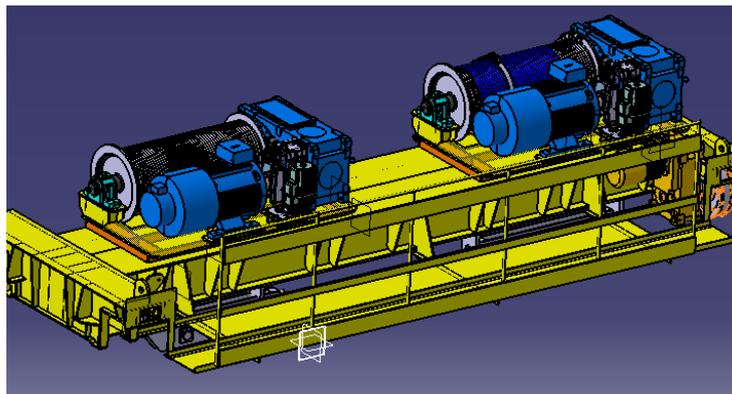


Figure50 : chariot avec garde-corps

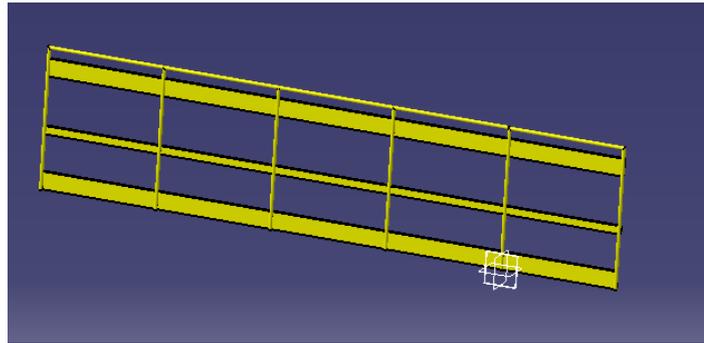


Figure51 : Garde-corps

- Il faut utiliser les garde-corps aussi dans les passages piétons.

b) Capteur de charge

Pour s'assurer que la charge à soulever ne dépasse pas la charge maximale.

Le limiteur de charge interdit la montée en cas de surcharge mais permet la descente après une intervention.

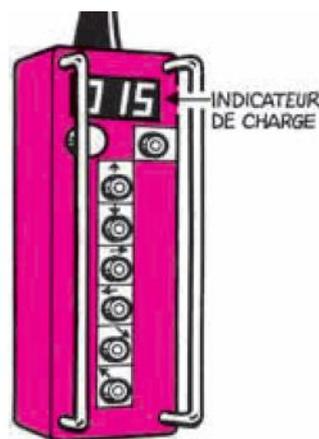


Figure 52 : Limiteur de charge

d) extincteur

Les pannes électriques ou mécaniques peuvent provoquer des incendies Pour se protéger contre les incendies il faut avoir au minimum 1 extincteur (poudre D) dans chaque pont roulant.



Figure53 . Extincteur

e) Les antichocs

Pour éviter la détérioration des moteurs et accouplements s'il y'a un choc de deux ponts roulants (voir figure 54,55).



Figure54 . Antichoc vue de face



figure55 . Antichoc vue de gauche

f) joint d'étanchéité

Il faut utiliser des Joints d'étanchéité de bonne qualité : au niveau des armoires des variateurs de vitesse pour la protection contre la poussière (voir figure56).



Figure56 . Armoire-levage

6. Gains du projet

Afin d'extraire les fruits de ces actions d'amélioration, on va passer à l'application sur terrain,

Après la modification de la conception on a évité totalement le problème de la coupure du Câble de manutention et le problème de l'usure au niveau du tambour et cela influence positivement la disponibilité et la sécurité lors de l'utilisation des ponts roulants

Les renseignements de la méthode AMDEC et de La maintenance préventive et du contrôle vibratoire sont des actions de long terme, la durée de stage n'est pas suffisante pour savoir exactement le pourcentage de gain.

Il faut signaler que le coût de la maintenance préventive, les actions de la méthode AMDEC et l'appareil de contrôle de vibration est faible devant les gains qu'on peut avoir.

Après l'application de ces actions on estime les résultats suivants :

- Amélioration de la sécurité.
- L'amélioration de la disponibilité.
- Augmentation de la durée de vie des pièces de rechanges.

Conclusion générale

Le domaine de la sidérurgie nécessite l'utilisation des moyens de manutention, en effet, pour Maghreb STEEL on a les ponts roulants, or leurs fonctionnement est critique qui nécessite un suivi continu.

Au niveau de ce projet de fin d'études, j'avais comme objectifs visés, la minimisation des défaillances et l'amélioration du fonctionnement des ponts roulants au sein de la société

MAGHREB STEEL, en effet, le travail réalisé permet la résolution de plusieurs problèmes :

L'étude AMDEC nous a aidé à déterminer les équipements critiques et avoir des solutions préventives et correctives.

Pour l'action corrective on a fait un changement de conception au niveau des chariots, nous avons aussi effectué une amélioration au niveau du câble et du tambour, après La modification

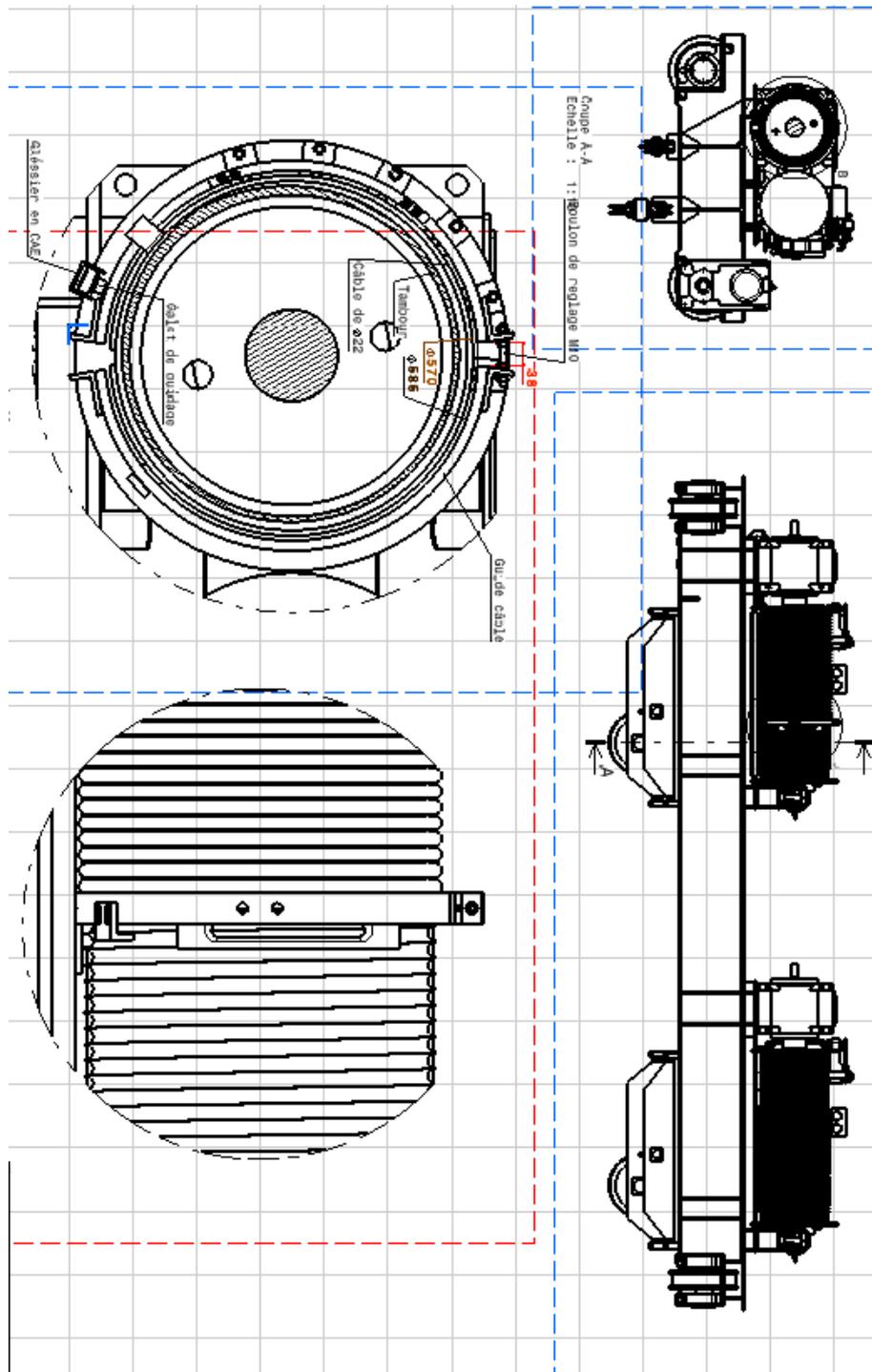
on a évité complètement le problème de coupure de câble de manutention.

Le plant de maintenance préventive va nous aider à augmenter la durée de vie des pièces et d'éviter les arrêts inattendus.

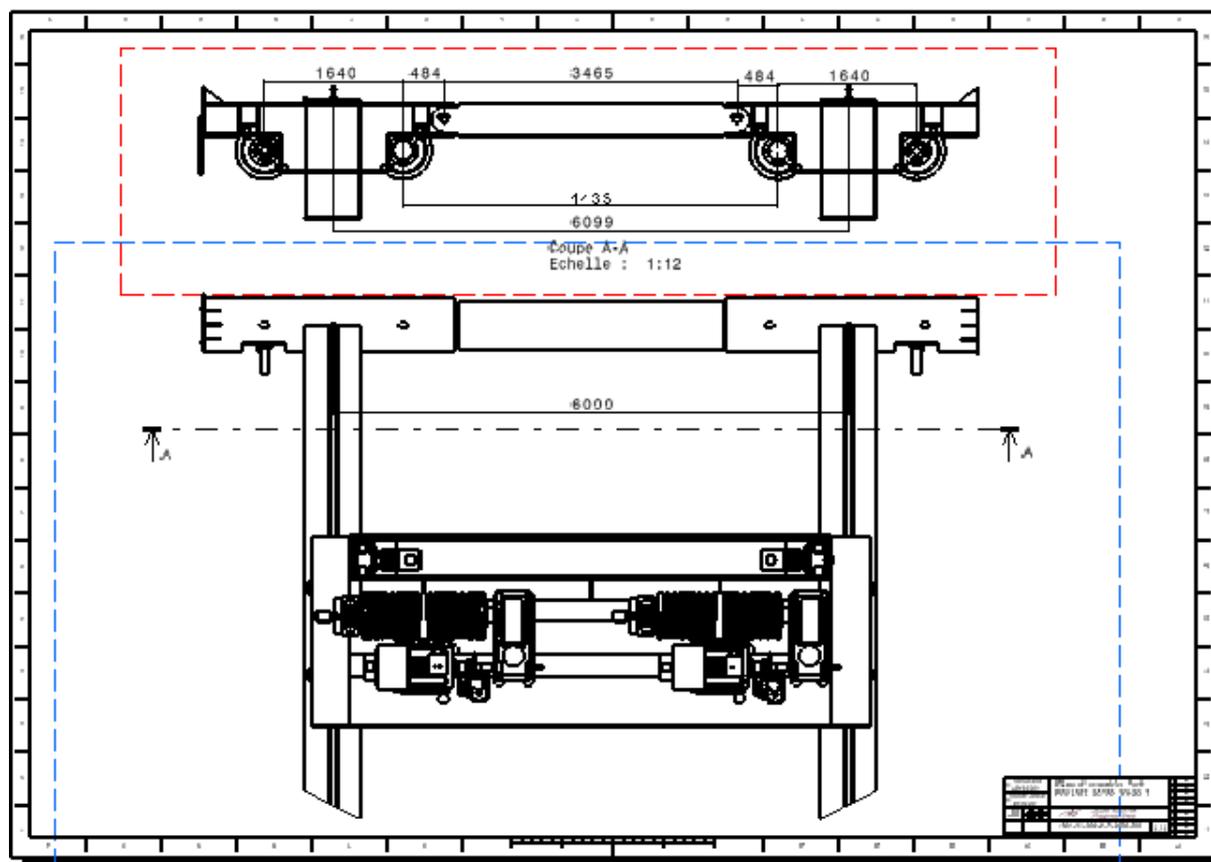
Au niveau de la sécurité, après l'ajout des éléments de sécurité (garde-corps, antichocs...), les gens de maintenance sont plus sécurisés.

Annexes

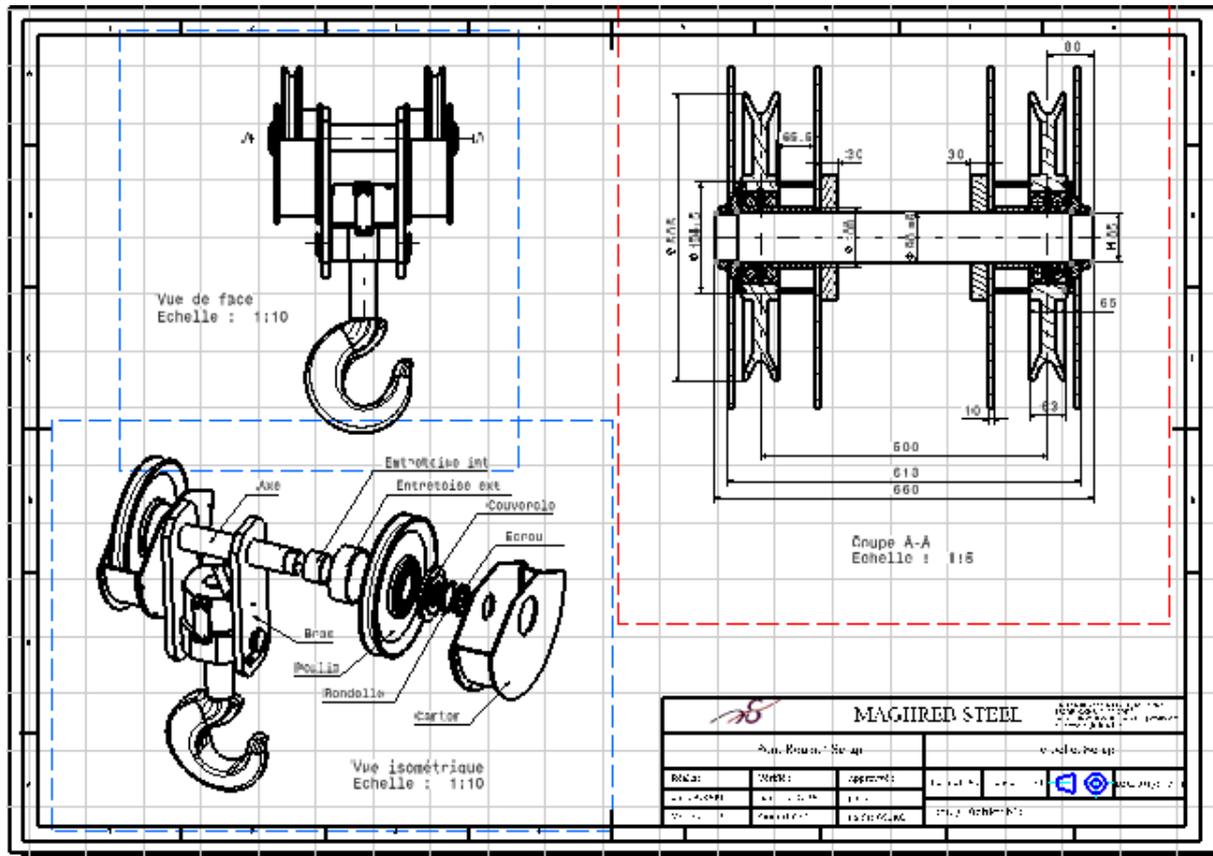
Annexe1 :plan du chariot avec la modification de la conception



Annexe2 :plan du pont roulant



Annexe3 :plan du nouveau crochet



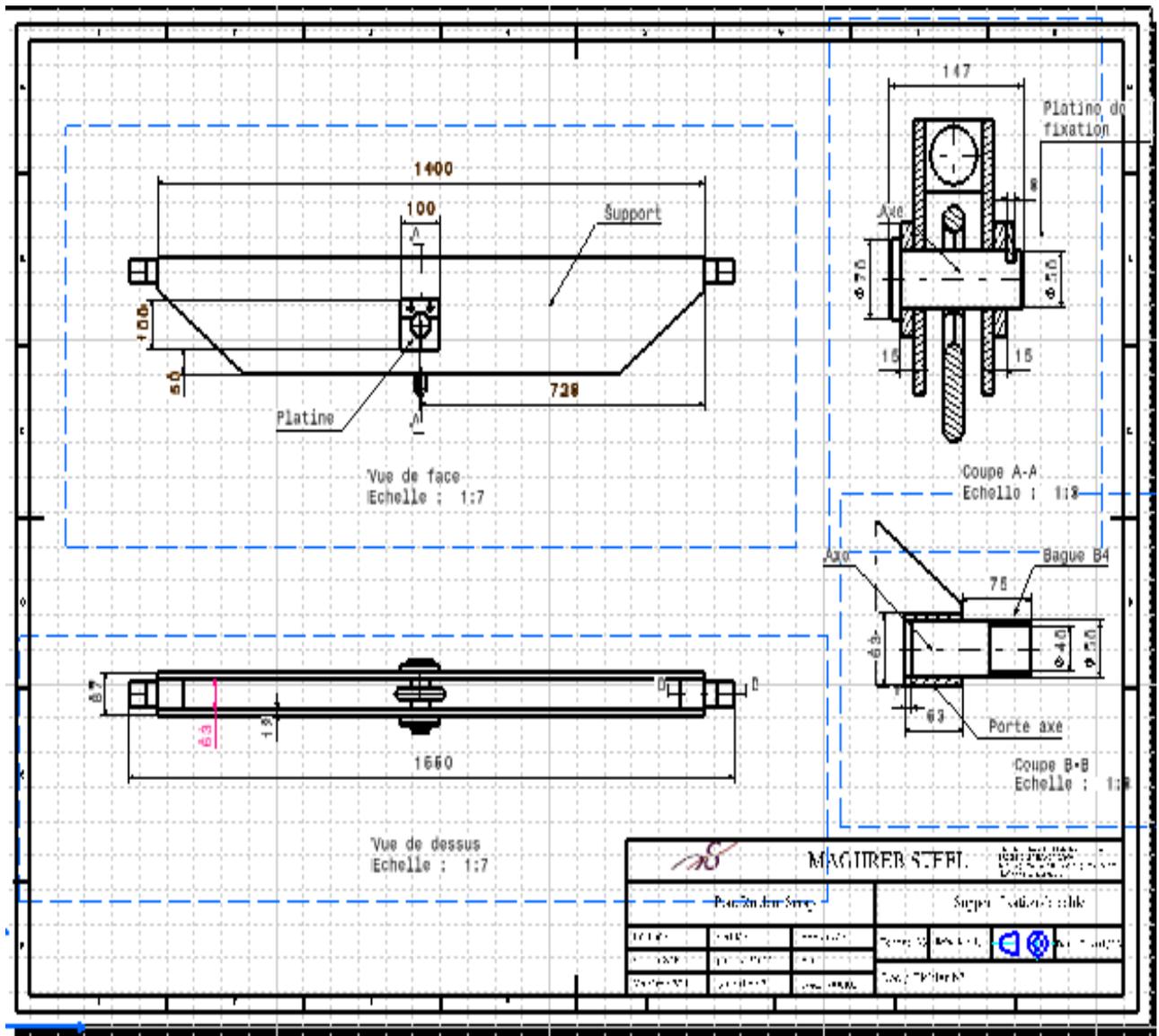
Annexe4 :caractéristiques du Câble de manutention

Diamètre nominal (en mm)	Rupture minimale (KgF)	Poids (Kg/100m)
15	19500	99
16	22500	118
18	26000	150
19	32000	162
22	42000	223
24	50000	266
26	58500	301
28	68500	362

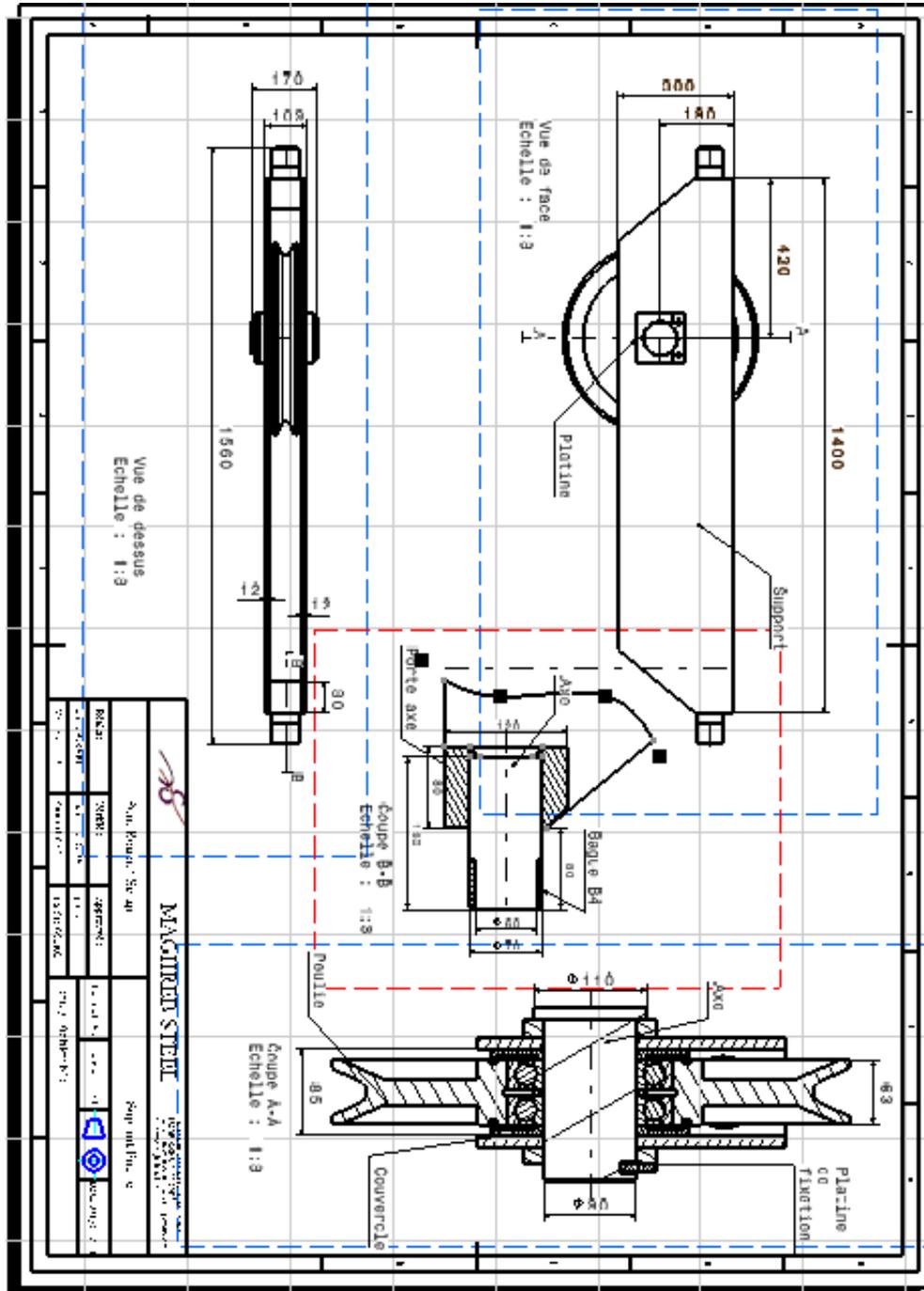
Annexe5 :caractéristique du roulement à bille des poulies

Ball Bearing Type	Deep Groove
Bore Type	Parallel
Cage Material	Steel
Dynamic Load Rating	101kN
End Type	Open
Inside Diameter	90mm
Limiting Speed	5300rpm
Maximum Speed - Grease	3800rpm
Maximum Speed - Oil	4500rpm
Number of Rows	1
Outside Diameter	160mm
Race Type	Plain
Race Width	30mm
Reference Speed	8500rpm
Static Load Rating	73.5kN

Annexe6 :plan fixation du Câble de manutension



Annexe7 : plan poulie-fixation



Annexe 8 : caractéristiques techniques des roulements

Caractéristiques techniques

Plages	Accélération	0,1 ... 200,0 m/s ²
	Vitesse	0,1 ... 400,0 mms-1
	Déplacement	0,001 ... 4,000 mm
Résolution	Accélération	0,1 m/s ²
	Vitesse	0,1 mms-1
	Déplacement	1 µm
Précision	Accélération	±5 %
	Vitesse	±5 %
	Déplacement	±5 %
Plage de fréquence (pour les 3 paramètres)		10 Hz ... 1 kHz
Ecran		LCD à 3,5 digits / il indique la dernière valeur
Port		RS-232
Alimentation		4 x piles 1,5 V AAA
Dimensions		124 x 62 x 30 mm
Poids de l'analyseur de vibrations		240 g

Annexe 9 : AMDEC

Composant	Fonction	Mode de Défaillance	Cause probable	Effet	Détection	F	G	D	C	Actions
Moteurs- réducteurs	Convertir l'énergie électrique en une énergie mécanique de rotation	Cassure des Fixation moteur + détérioration du réducteur	Non alignement	Bruit	Auditif ou par un appareil De mesure De vibration	2	2	2	8	contrôle d'alignement
			Choc	Denture Cassées du Réducteur	Auditif ou par un appareil De mesure De vibration	1	2	3	6	utiliser l'anti chocs pour absorber les chocs

Composant	Fonction	Mode de Défaillance	Cause probable	Effet	Détection	F	G	D	C	Actions
Roulement	Guidage en translation	Grippage	Mauvais alignement	Bruit	Visuel et auditif	2	4	1	8	Respecter les tolérances de l'alignement des arbres lors du montage + contrôle d'alignement
			Manque de graissage	Bruit	Visuel et auditif	2	4	1	8	Respecter les recommandations du constructeur vis-à-vis des périodicités de re-graissage, et de la quantité de graisse nécessaire.

Composant	Fonction	Mode de Défaillance	Cause probable	Effet	Détection	F	G	D	C	Actions
Câble de puissance	Alimenter les moteurs en électricité	Usure - coupure	Les (étincelles) Dus au débranchement des câbles	Alimentation Interrompue	Visuel + température (augmente)	2	2	1	4	Contrôle régulier des câbles de puissance
			Le coincement des roulettes (dû au non alignement)	Alimentation interrompue	Visuel	2	2	1	4	Contrôle régulier des câbles du chemin de câble

Composant	Fonction	Mode de Défaillance	Cause probable	Effet	Détection	F	G	D	C	Actions
freins mécaniques	Freiner le tambour/galets	Usure des garnitures – usure des articulation-déformation	Mauvais alignement entre disque moteur et garniture	Le frein perd Sa performance (Freinage non Parfait) + Bruit	Visuel auditif	2	4	1	8	Respecter l'écart de défaut D'alignement
		Les grains de la poussière attaquent les garnitures	Le frein perd Sa performance (Freinage non Parfait) + Bruit	Le frein perd Sa performance (Freinage non Parfait) + Bruit	Visuel+ auditif	2	4	1	8	Contrôle régulier de l'efficacité des freins

Composant	Fonction	Mode de Défaillance	Cause probable	Effet	Détection	F	G	D	C	Actions
Tambour	Enrouler le Câble De manutention	Détérioration Accouplement tambour- réducteur	Mauvais alignement	bruit	Auditif ou par un appareil De mesure De vibration	2	4	2	16	- Contrôle régulier de L'état d'accouplement -contrôle de L'alignement
Enrôleurs	Alimenter le câble d'alimentation du grappin	La température dans les lames augmente (fusion des câbles)	Les câbles ne sont pas adéquats avec l'intensité du courant	Le grappin ne réagit pas		2	3	3	18	Choisir des câbles adéquats avec l'intensité du courant

Composant	Fonction	Mode de Défaillance	Cause probable	Effet	Détection	F	G	D	C	Actions
Capteur d'alimentation	Alimenter le pont roulant en électricité	Cassure	Les chocs dus aux grains constitués dans les câbles d'alimentation à cause de la poussière métallique de ferraille	Arrêt complet	Visuel	2	2	1	4	Le nettoyage régulier Par le produit (GPTR)
			Cassure de la fixation des rails (griffe)	Arrêt complet	Visuel	2	2	1	4	Contrôle régulier des fixations

Composant	Fonction	Mode de Défaillance	Cause probable	Effet	Détection	F	G	D	C	Actions
Fin-de-course pour (Direction et translation)	Elément de sécurité pour stopper le pont automatiquement S'il dépasse une certaine distance	Déformation Ou rupture	fatigue	Risque de choc De la charge Avec le chariot	Visuel	1	4	1	4	Contrôle régulier de l'état de Fin-de-course pour (Direction et translation)
Fin de course de levage (rotatif)	Elément de sécurité pour éviter le choc de la charge avec les poutres	Détérioration de l'accouplement	Non alignement (axe tombeur-fin de course)	Dérèglage + risque de chute	Visuel	1	4	2	8	Contrôle régulier de l'état de Fin-de-course pour (levage)

Composant	Fonction	Mode de Défaillance	Cause probable	Effet	Détection	F	G	D	C	Actions
Câble d'alimentation du grappin	Alimenter le grappin en électricité	Usure Coupure	Frottement (dus) au contact directe entre le câble de manutention et le câble de puissance	Le (pince) ne réagit pas	visuel	3	2	1	6	-respecter l'alignement entre le chariot et la charge lors de la manutention -contrôle régulier de l'état du câble
Encodeur	Détecter la vitesse du moteur	Desserrage	Vibration	Mauvaise communication entre les moteurs et les variateurs de vitesse	variateur de vitesse	3	4	2	24	Contrôle régulier de l'état d'encodeur

Composant	Fonction	Mode de Défaillance	Cause probable	Effet	Détection	F	G	D	C	Actions
Variateur de vitesse	Commander La vitesse des Moteurs électriques	Transistor ne fonctionne pas	Manque de protection contre La poussière de la ferraille	Augmentation de la température qui peut provoquer des incendies	température	3	3	3	27	Assurer une étanchéité parfaite au niveau des armoires
Arrêt d'huile (joint à lèvres) au niveau du tombeur-réducteur	Etanchéité	Fuite de l'huile	Non alignement + vibration	Chauffage du réducteur qui peut guider à une détérioration	visuel	2	4	1	8	Contrôle d'alignement Contrôle de vibration

Composant	Fonction	Mode de Défaillance	Cause probable	Effet	Détection	F	G	D	C	Actions
Galets	Assurer le déplacement Sur les voies de roulement	usure	Défaut d'alignement des rails (desserrage des vis avec le temps)	Bruit Risque de chute	Appareil D'alignement	1	4	1	4	Contrôle de l'alignement des railles
			Mauvais montage	Bruit Risque de chute	appareil	1	4	3	12	Respecter les règles de montage des galets + contrôle du montage