

## Sommaire

Dédicace.....	2
Remerciements.....	3
Abstract.....	5
ملخص.....	6
Sommaire.....	7
Introduction générale .....	14

### **Chapitre 1 : Contexte général**

Introduction :.....	16
I. Présentation de TechniPlus-KONECRANES :.....	16
1. Les activités de TechniPlus-KONECRANES :.....	16
2. Les principaux partenaires & fournisseurs de TechniPlus :.....	17
3. Les principaux clients de TechniPlus : .....	18
4. La commercialisation d'engins et d'équipement divers :.....	18
5. La capacité de TechniPlus : .....	20
a) Les moyens humains.....	20
b) Les moyens matériels.....	20
c) Chiffres d'affaires / Evolutions .....	20
6. Organisation interne : .....	21
a) Service commercial.....	21
b) Service financière.....	21
c) Service ressources humaines .....	22
d) Service technique.....	22
e) Service de port.....	23
f) L'organigramme.....	23
II. Présentation du projet :.....	24
1. Mise en situation et charte de projet :.....	24
a) Mise en situation .....	24
b) Charte de projet.....	24
2. Explication et représentation schématique du fonctionnement du système :.....	25
a) Généralités sur le pont roulant .....	25
b) Principaux mouvements .....	26
III. Planning prévisionnel du projet : .....	28

Conclusion :.....	29
-------------------	----

## Chapitre 2 : Analyse fonctionnelle

Introduction : .....	31
I. Modélisation du système : .....	31
II. Analyse fonctionnelle du besoin : .....	32
1. Etude fonctionnelle : .....	32
1.1-Enoncer le besoin : .....	32
1.2- Analyse de la séquence d'utilisation : .....	33
1.3- Analyse de la séquence hors d'utilisation : .....	34
1.4-Hiérarchisation des fonctions de service : .....	35
III. Choix des solutions : .....	38
1. Choix de la solution principale du système : .....	38
1.1. Description des solutions : .....	38
2. Choix des solutions principales des sous-ensembles : .....	41
1 -Diagramme FAST : .....	41
2- Choix des poutres .....	41
3-Choix des poteaux.....	42
Conclusion :.....	43

## Chapitre 3 : Etude et dimensionnement du pont roulant

Introduction : .....	45
I. Description de la solution retenue :.....	45
II. Choix des matériaux : .....	46
1. Choix des aciers et des matériaux de construction :.....	47
1. Matériaux des profilés .....	47
2. Matériaux des colonnes de guidages (les rails).....	47
3. Matériaux des galets.....	47
III. Classification de mécanisme de levage suivant les normes FEM et ISO :.....	48
1- Définition : .....	48
2- Classification des ponts roulants :.....	48
3- Classe de fonctionnement : .....	49
IV. Vérification des galets du chariot :.....	50
1. Sélection du galet :.....	50
2. Calcul de vérification suivant les règles de la norme ISO 16881-1 et la norme FEM : .....	51
a) Détermination du matériau : .....	52
b) Choix du rail de roulement et détermination de la largeur utile b : .....	52

c)	Détermination des coefficients C1 et C2 :.....	53
d)	Vérification des deux conditions :.....	54
e)	Détermination de la rainure de galet 125 qui correspondant au type du rail KSN 50.30 avec la norme EN 13135-2.2004(E) .....	55
V.	Vérification de l'arc-boutement entre le rail de guidage et le galet : .....	55
VI.	Dimensionnement de la poutre principale : .....	59
1.	Modélisation : .....	59
2.	Choix du profilé adéquat :.....	60
3.	La flèche : .....	61
4.	Distribution des contraintes normales :.....	63
5.	Validation finale de la barre avec l'Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014 :.....	64
VII.	Vérification des galets du chemin de roulement : .....	64
1.	Sélection du galet : .....	64
2.	Calcul de vérification suivant les règles de la norme ISO 16881-1 et la norme FEM : .....	66
a)	Vérification des deux conditions : .....	66
b)	Détermination de la rainure de galet 125 qui correspondant au type du rail KSN 50.30 avec la norme EN 13135-2.2004(E) .....	67
VIII.	Dimensionnement du chemin de roulement : .....	68
1.	Choix du profilé adéquat :.....	68
2.	Vérification du profilé avec Robot :.....	69
IX.	Calcul de flambement des poteaux : .....	71
1.	Calcul de l'effort normal sur un poteau : .....	71
2.	Vérification de la résistance au flambage : .....	71
a)	Calcul de La longueur de flambement de la poutre <i>lf</i> .....	71
3.	Choix du profilé adéquat :.....	72
4.	Vérification du profilé avec Robot :.....	73
X.	Dimensionnement des barres de contreventement : .....	74
a)	L'emplacement des contreventements dans l'ensemble de la structure .....	74
b)	Dimensionnement avec l'Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014 .....	75
XI.	ETUDE DES ASSEMBLAGES :.....	76
1.	Assemblages des rails et des poutres : .....	77
-	Tolérances.....	77
2.	Assemblage poutre (HEA280) avec poteau (HEA180) : .....	79
	Calcul d'assemblage.....	79
3.	Assemblage des contreventements (CAE 140*13) : .....	80
	Calcul d'assemblage avec Robot .....	80

4. Fixation des pieds des poteaux : .....	81
Calcul d'assemblage avec Robot .....	82
XII. Protection de la structure du pont roulant : .....	82
1. La corrosion : .....	82
2. Le feu : .....	83
Conclusion :.....	84

## Chapitre 4 : Préparation pour la mise en œuvre des calculs

Introduction :.....	86
I. Développement des applications pour la société : .....	86
1. Fonctions des applications : .....	86
2. Langages et outils utilisé pour la création du logiciel :.....	86
3. Création des interfaces : .....	86
II. Préparation des éléments du dossier d'appel d'offre : .....	89
1. Plan du pont roulant : .....	89
2. Bordereau du prix : .....	89
Conclusion :.....	91
Conclusion et perspectives .....	92
Annexe 1 : Catalogues des profilés Szs (poutre principale) .....	94
Annexe 2 : Analyse des contraintes dans la barre.....	95
Annexe 3 : Validation de la poutre principale .....	97
Annexe 4 : Catalogues des profilés Szs (chemin de roulement) .....	98
Annexe 5 : Validation du chemin de roulement.....	99
Annexe 6 : Catalogues des profilés Szs (poteau) .....	100
Annexe 7 : Validation du profilé poteau .....	101
Annexe 8 : Validation du profilé contreventement.....	102
Annexe 9 : Calcul d'assemblage poutre-poteau.....	104
Annexe 10 : Calcul d'assemblage de contreventement .....	111
Annexe 11 : Fixation des pieds des poteaux .....	115
Annexe 12 : Plan du pont roulant .....	120
Bibliographie .....	121

## Liste des figures

Figure 1: Logo de la société-----	16
Figure 2:L'organigramme de la société -----	23
Figure 3: Pont roulant - structure générale-----	26
Figure 4: Principaux mouvements d'un pont roulant -----	26
Figure 5: Planning du projet -----	29
Figure 6: Diagramme de gant prévisionnel -----	29
Figure 7: Modélisation du système -----	31
Figure 8: Cycle de vie du système-----	32
Figure 9: Diagramme bête à cornes -----	33
Figure 10: Diagramme pieuvre de la séquence d'utilisation -----	34
Figure 11: Diagramme pieuvre de la séquence hors utilisation -----	35
Figure 12: Histogramme de hiérarchisation des fonctions de services -----	37
Figure 13: Ponts roulants posés -----	39
Figure 14: Ponts roulants suspendus-----	39
Figure 15: Portique -----	40
Figure 16: Semi-portique-----	40
Figure 17: Diagramme fast-----	41
Figure 18: Poteaux et montants-----	42
Figure 19: Schéma descriptif de la solution retenue -----	45
Figure 20: Le phénomène de l'arc-boutement -----	56
Figure 21: Moteur, réducteur, et galet -----	57
Figure 22: Ensemble galet 125mm avec réducteur-----	57
Figure 23: Galet 125mm-----	58
Figure 24: Mesure de la distance L -----	58
Figure 25: Modèle adopté pour la poutre principale -----	59
Figure 26: Caractéristiques du profilé IPE 360 -----	60
Figure 27: Variation de la flèche du profilé IPE360 -----	61
Figure 28: Caractéristiques du profilé IPE 400 -----	62
Figure 29: Variation de la flèche du profilé IPE400 -----	62
Figure 30: Distribution de la contrainte normale du profilé IPE400-----	63
Figure 31: Validation finale du profilé IPE360-----	64
Figure 32: Caractéristiques du profilé HEA280 -----	69
Figure 33: Création d'une charge roulant-----	70
Figure 34: Validation finale du profilé HEA280 -----	70
Figure 35: Choix de la longueur de flambement -----	72
Figure 36: Caractéristiques du profilé HEA180 -----	73
Figure 37: Validation finale du profilé HEA180 -----	73
Figure 38: Cheminement des forces horizontales -----	74
Figure 39: Les contreventements -----	75
Figure 40: Calcul des barres de contreventement -----	76
Figure 41: Les types de rails et leur fixation -----	77
Figure 42: Vue d'assemblage poutre-poteau -----	79
Figure 43: Calcul d'assemblage poutre-poteau-----	79
Figure 44: Vue d'assemblage de contreventement -----	80
Figure 45: Calcul d'assemblage de contreventement-----	80

---

Figure 46: Vue d'assemblage du pied de poteau-----	81
Figure 47: Calcul d'assemblage du pied de poteau -----	82
Figure 48: Fenêtre principal de visual basic 2010 express -----	86
Figure 49: Fenêtre du logiciel de dimensionnement de la poutre principale -----	87
Figure 50: Fenêtre du logiciel de dimensionnement des galets -----	87
Figure 51: Fenêtre du logiciel de dimensionnement de chemin de roulement -----	88
Figure 52: Fenêtre du logiciel de dimensionnement de poteaux -----	88
Figure 53: Le dessin du pont roulant sous Solidworks -----	89

## Liste des tableaux

Tableau 1: Cahier de charge -----	25
Tableau 2: Degré d'importance relative à la fonction de service -----	36
Tableau 3: Tableau de tri croisé de la fonction de service -----	37
Tableau 4: Les caractéristiques de l'acier S235 -----	47
Tableau 5: Les caractéristiques du matériau des galets -----	48
Tableau 6: Exemples de classification-----	49
Tableau 7: Choix du niveau du pont roulant -----	49
Tableau 8: Choix du diamètre du galet -----	51
Tableau 9: Détermination de la pression limite sur le rail -----	52
Tableau 10: Chois du rail -----	53
Tableau 11: Détermination du coefficient C1 -----	53
Tableau 12: Choix du coefficient C2 -----	54
Tableau 13: Rainure du galet-----	55
Tableau 14: Coefficient d'adhérence entre les différents matériaux -----	56
Tableau 15: Les profilés candidats pour la poutre principale -----	60
Tableau 16: Flèche admissible pour poutre de roulement -----	61
Tableau 17: Les profilés candidats pour la poutre principale -----	62
Tableau 18: Les ponts roulants bipoutre usuels-----	65
Tableau 19: Choix du diamètre du galet -----	65
Tableau 20: Détermination du coefficient C1 -----	66
Tableau 21: Rainure du galet-----	67
Tableau 22: Les profilés candidats pour la poutre du chemin de roulement -----	69
Tableau 23: Les profilés candidats pour les poteaux-----	72
Tableau 24: Prescriptions des tolérances. -----	78
Tableau 25: Bordereau du prix -----	91

# Introduction générale

**D**ans le cadre de ma formation d'ingénieur en génie mécanique, je suis amené, à l'issue de mon cursus, à passer un stage de fin d'études. J'ai choisi de l'effectuer au sein de l'entreprise TechniPlus-KONECRANES, sous le thème l'étude d'un pont roulant. Où je suis capable de confronter une situation professionnelle concrète et réelle.

Les constructions métalliques ont fait l'objet d'évolutions importantes à travers l'histoire, dans leurs règles de dimensionnement et techniques de construction, des matériaux utilisés qui se sont développer au fur et à mesure du développement industriel de l'utilisation de la fonte et des fers puddlés jusqu'à l'utilisation de l'acier, et aussi des modes d'assemblages, comme l'apparition de la soudure à partir des années 1930.

Or les ponts roulants, actuellement au Maroc sont de plus en plus courants dans le domaine industriel, et qui se distinguent par certains avantages tel que : l'automatisation, le montage rapide sur chantier, les déplacements des charges dans l'espace, c'est pourquoi la structure métallique des ponts roulants ont été conçus en charpente métallique. Cependant le matériau présente aussi quelques inconvénients qui sont principalement la corrosion et sa faible résistance au feu, donc une protection de toutes les structures en acier est indispensable.

Dans ce projet de fin d'études, je vais appliquer et compléter les connaissances et les informations acquises au long de ma formation, en utilisant les règles de construction, ainsi que le moyen de calcul informatique.

Le présent document, synthétisant le travail réalisé, est constitué de quatre chapitres. Le premier chapitre a pour but de situer le contexte général du projet, il introduit l'organisme d'accueil, décrit la problématique et présente les objectifs généraux du projet.

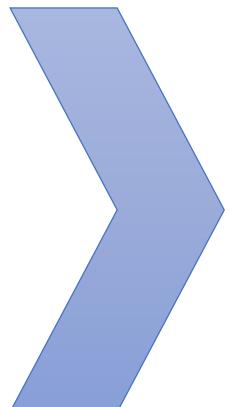
Le 2<sup>ème</sup> chapitre va aborder l'analyse fonctionnelle, et le choix des solutions

Le 3<sup>ème</sup> chapitre traite les calculs des différentes parties de la structure du pont roulant.

Le 4<sup>ème</sup> et le dernier chapitre présente une mise en œuvre des calculs du 3<sup>ème</sup> chapitre.

# 1<sup>er</sup> Chapitre

## Contexte général



### Introduction

- I. Présentation de la société
- II. Présentation du projet
- III. Planning prévisionnel du projet

### Conclusion

## Introduction :

Ce chapitre introduit l'entreprise d'accueil, son métier et son organisation, puis s'étale sur le contexte général de mon projet ainsi que ses principaux objectifs.

### I. Présentation de TechniPlus-KONECRANES :

TechniPlus est une société Sarl a été créé le 1er janvier 1991 pour mission l'organisation d'une entité composée de cadres marocains capables d'assurer la maintenance des engins portuaires.

Cette mission est pratiquement accomplie dans la mesure où TechniPlus a formé une cellule de 100 technicien dont 5 ingénieurs d'une part, et assure la maintenance des engins portuaires dans les principaux ports du Maroc, d'autre part.

Grace à son intégration dans le groupe KONECRANES depuis novembre 2010 .TechniPlus est donc préparée pour un développement de certain de ses activités dans le domaine industriel.



*Figure 1: Logo de la société*

**Adresse :** TechniPlus Zone Chantier Navals, Port de Casablanca Boulevard des Almohades Casablanca 20010 .Maroc.

#### 1. Les activités de TechniPlus-KONECRANES :

- La commercialisation des équipements portuaires, ferroviaires, routiers, pétroliers, industriels, miniers...**

- Engins de manutention
- Accessoires de manutention
- Bras de déchargement des hydrocarbures
- Matériel de forage
- Equipements de quai portuaire

- Engins de travaux publics

- Matériels de manutention industriels

- **La maintenance et la rénovation des équipements et des installations industriels.**

- Plus de 20 ans d'expérience et de savoir-faire au service des portuaires et des travaux publics

- Des équipes d'ingénieurs et de techniciens (n = 110) rompus aux exigences des contrats de maintenance des engins.

- Certains techniciens ayant accumulé quelques dizaines d'années d'expérience.

- Des équipes disponibles 24 h/24.

- **L'ingénierie du moyen de levage et de manutention**

- **L'ingénierie portuaire**

## 2. Les principaux partenaires & fournisseurs de TechniPlus :

- **KONECRANES** pour les portiques, RTG, chariots cavaliers, chariots élévateurs, ponts roulants de manutention palans.

- **FMC Technologies Loading Systems** pour les bras de chargement de carburant.

- **CSEE-TRANSPORT (Ansaldo)** pour la signalisation.

- **GOTTWALD** pour les grues mobiles portuaires sur pneu et sur rails.

- **TRELLEBORG** pour les défenses de quais.

- **FENDER TEAM** pour les défenses de quais.

- **CABLERIE NAMUROISE** pour les accessoires de levage.

- **CAVOTEC** pour les prises de quai, les enrouleurs de câbles et les ascenseurs.

- **KHEOPS** pour la connectique et les prises de quais.

- **SYNCROLIFT** pour l'élévateur à bateaux.

- **TEUFELBERGER** pour les câbles métalliques.

- **VERSTEGEN** pour les bennes mécaniques.

- **MRS** pour les bennes hydro-électriques.

- **DOOSAN** pour les chariots élévateurs.

- **TIGER TRACTOR** pour les tracteurs.

- **Haulotte** pour les nacelles.

### 3. Les principaux clients de TechniPlus :

- L'OFFICE CHERIFIEN DES PHOSPHATES
- MARSA MAROC (CASABLANCA, MOHAMEDIA, AGADIR, TANGER, SAFI, NADOR, JORF LASFAR, LAAYOUNE...)
- TMSA
- L'OFFICE NATIONAL D'ELECTRICITE
- L'OFFICE NATIONAL DES CHEMINS DE FER
- L'OFFICE NATIONAL DES HYDROCARBURES
- L'AGENCE NATIONALE DES PORTS
- L'ADMINISTRATION DE LA DEFENSE NATIONALE
- BARID AL MAGHREB
- BANK AL MAGHREB
- JLEC
- SAMIR
- SNEP
- SALAM - GAZ
- SRPTM
- SONASID
- MAGHREB STEEL
- CIMAT
- SOMAPORT

### 4. La commercialisation d'engins et d'équipement divers :

#### Les engins de manutention et leurs pièces de rechange

- Portique pour le vrac et les conteneurs
- Chariot cavaliers
- Grues mobiles sur pneus pour le général cargo et les conteneurs
- Grues sur rails
- Chariots élévateurs de toutes capacités
- Camions ateliers
- Tracteurs de quai

**Le domaine industriel**

- Pont roulants
- Palans électriques à câble et à chaîne
- Palans manuels
- Portiques
- Potences
- Bennes et Grappins
- Pièces de rechanges : Matériels de levage de manutention

**Le domaine ferroviaire**

- Pièces de rechanges pour la signalisation et climatisation
- câble électrique
- câble d'aciers

**Les accessoires et équipement divers**

- Bateau nettoyeur
- Enrouleurs de câbles de grue
- Prises de quais
- Bennes preneuses et grappins
- Câbles d'aciers, élingues chaînes
- Câbles électriques
- Ponts élévateurs
- Spreaders
- Pinces à grumes
- Variateurs, releveurs des freins, moteurs
- Conteneurs
- Transpalettes
- Tubes d'acier
- Tiges de forages
- Vannes

## 5. La capacité de TechniPlus :

### a) Les moyens humains

L'importance des effectifs humains que TechniPlus mobilise pour répondre aux impératifs de ses clients reste liée au nombre d'engins qui lui sont confiés.

Mais quel que soit l'effectif des engins à entretenir, la composition des équipes et leur organisation se distinguent par leur mobilité et leur polyvalence ; d'où une réactivité permanente, d'ailleurs nécessaire, dans le secteur portuaire.

- Effectif technique : 126 dont 6 ingénieurs
- Cadres administratifs : 13

### b) Les moyens matériels

- 
- atelier de 500 m<sup>2</sup> dont 300 m<sup>2</sup> Couverts
  - ensemble de bureaux de 300 m<sup>2</sup>
  - engins de manutention
  - moyens informatiques pour le suivi et la gestion des commandes
  - l'outillage et matériel de maintenance

### c) Chiffres d'affaires / Evolutions

- 2002: 20,0 M DH
- 2003: 25,5 M DH
- 2004: 36,7 M DH
- 2005: 39,1 M DH
- 2006: 47,2 M DH
- 2007: 45,0 M DH
- 2008: 145,7 M DH
- 2009: 81,2 M DH
- 2010: 58,1 M DH
- 2010: 55,0 M DH

2012: 45,0 M DH

2013: 49,0 M DH

2014: 50,0 M DH

## 6. Organisation interne :

### a) Service commercial

La direction commerciale est responsable de vendre les produits et les services qui sont disponibles ou qui le seront en fonction des projets en cours. Elle gère une situation commerciale composée des réponses à appels d'offre, des contrats gagnés et en cours, des contrats terminés, des prospects. Elle évalue les chances de gagner chaque appel d'offres.

Elle gère une situation commerciale avec chaque client potentiel, les prises de commandes qu'il peut générer au travers de ses appels d'offres et la probabilité qu'il y a de gagner l'offre ainsi que la période de l'année en cours ou des années futures où cette prise de commande aura lieu.

### b) Service financière

La direction financière est responsable des équilibres financiers. Elle participe à la détermination des prix de vente. Elle a en charge le calcul des prix de revient. Elle participe à toute forme de décisions relatives aux évolutions de la masse salariale. Elle assure les relations avec les banques et négocie les emprunts à effectuer pour accompagner les développements de l'entreprise.

Lorsqu'une vente est effectuée, elle est responsable de placer le cash pour en obtenir la meilleure rentabilité.

Pour chaque contrat, avant négociation avec le client, elle cadre les plans de cash-flow à établir. Ces plans de cash définissent les grands rendez-vous entre la direction du projet et le client afin de formaliser les acceptations formelles des produits ou des services, afin d'être en mesure d'envoyer les factures et de faire rentrer le cash afin de payer les fournisseurs, les actionnaires et les salaires sans avoir recours au crédit.

Elle est responsable de la rétribution de l'actionnaire, du remboursement des prêts, du paiement des salaires, du paiement des charges (loyer, entretien, ressources, etc.), du paiement des fournisseurs.

### c) Service ressources humaines

Le responsable des ressources humaines assiste le directeur du service pour le recrutement et la gestion administrative des employés. Ses responsabilités varient en fonction de la taille de l'entreprise. Le responsable des ressources humaines a pour rôles de :

- Appliquer la politique de gestion des ressources humaines fixée par la direction
- Analyser les besoins humains de l'entreprise
- Assurer le suivi administratif des salariés (congé, contrats, paie, maladie, formation etc.)
- Entretenir les relations avec les partenaires sociaux (syndicats, comités d'entreprise, délégués du personnel etc.)
- Superviser une équipe de chargés de recrutement et leur donner les directives sur les candidats à recruter

### d) Service technique

Le directeur technique décline la stratégie industrielle sur les sites de production. Il est responsable de l'ensemble des services techniques intervenant en support de la fabrication (maintenance, des engins de travaux publics, du matériel de manutention et de l'installation portuaire).

Le responsable de service technique a pour rôle de :

- Diriger et coordonner sur les sites de production les activités techniques de fabrication, d'entretien, de maintenance, de logistique et de gestion de la production en lien avec le directeur ou le responsable de production
- Étudier la faisabilité technique lors de la conception d'un produit ou d'une gamme de produits en lien avec le bureau d'études
- Réaliser ou faire réaliser les investissements nécessaires à l'amélioration des moyens de production : optimisation des installations industrielles, amélioration des processus, nouvelles lignes de production, recrutements, formation des opérateurs...

### e) Service de port

Il est chargé de :

- Réaliser les études et préparer les dossiers de consultation à transmettre au service chargé des approvisionnements et des marchés
- Participer à la réalisation des études d'impact environnemental des projets mis en œuvre par le port
- Faire les études d'aménagement du domaine portuaire
- Etudier les dossiers techniques relatifs aux infrastructures et installations
- Mettre à jour en permanence et conserver les plans établis
- Participer à l'élaboration du plan directeur de développement du port

### f) L'organigramme

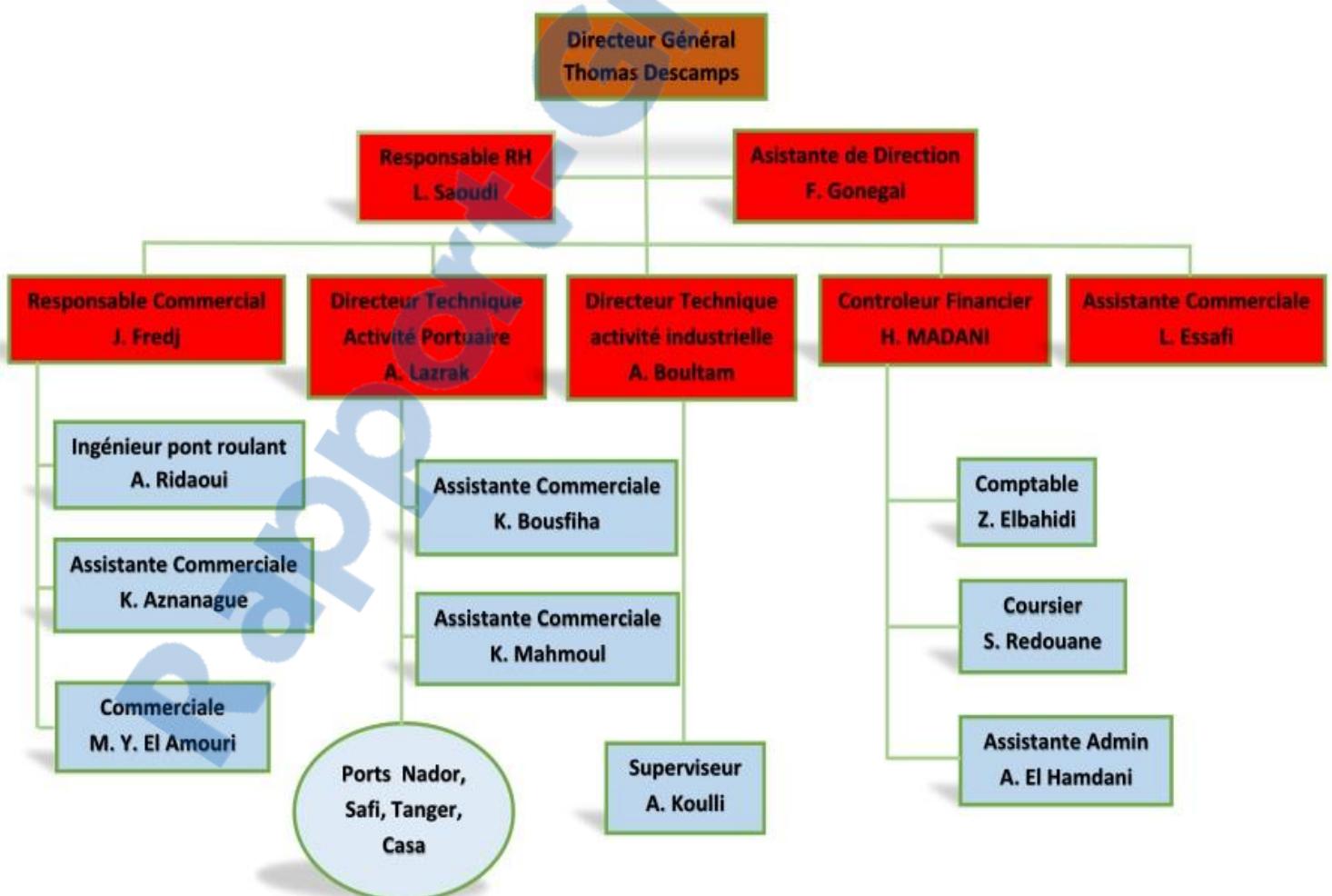


Figure 2:L'organigramme de la société

## II. Présentation du projet :

### 1. Mise en situation et charte de projet :

#### a) Mise en situation

Dans un milieu industriel caractérisé par une compétitivité acharnée, l'entreprise se trouve aujourd'hui, plus que jamais, dans l'obligation de satisfaire les impératifs : Qualité, Coût et Délai. Afin de conserver cet équilibre, elle cherche à éliminer toutes les anomalies existantes dans le système de son travail, partant du principe que tout problème est une opportunité d'amélioration. En effet, le présent travail consiste à développer les méthodes de vérification des calculs des ponts roulants et je dois étudier la mise en place d'un système de levage de charges dans les trois dimensions de l'espace existant pour une société client(ONCF).

#### b) Charte de projet

**Sujet du projet :** dimensionnement de la structure mécanique du pont roulant :

-Partie théorique

-Partie développement (application ; méthode de vérification)

Pour être pratique et professionnel je dois répondre au cahier des prescriptions spéciales (CPS) d'appel d'offre de l'ONCF qui contient les informations suivantes : les clauses financières et administratives tels que l'objet de l'appel d'offres, la description des travaux, la procédure de passation, les droits d'enregistrement, le nantissement, les assurances, les documents à fournir, les règles d'exécution, les modalités de paiement et les articles sur le règlement des litiges ainsi que les descriptions techniques et bien évidemment, le bordereau des prix. Et je dois préparer un dossier contient le plan du pont roulant, et aussi le bordereau du prix.

Cahier de charge du pont roulant du l'ONCF :

Un pont roulant de 10t
Marque : Konecranes
Longueur du chemin de roulement : <b>100 m (5m entre les poteaux)</b>
Force de levage : <b>10 tonnes</b>
Porté (Entre-axe des rails de roulement) : <b>11,3m</b>
Hauteur de levage sous crochet : <b>7,4m</b>
* Translation
- grande vitesse : 32 m/minute
- petite vitesse : 8 m/minute
* Levage
- Grande vitesse : 5 m/minute
- petite vitesse : 0,83 m/minute
* Direction
- grande vitesse : 20m/minute
- petite vitesse : 5m/minute

*Tableau 1: Cahier de charge*

## 2. Explication et représentation schématique du fonctionnement du système :

### a) Généralités sur le pont roulant.

**Un pont roulant** est un appareil de manutention permettant le levage et le transfert de charges lourdes.

Les ponts roulants sont généralement installés dans des halls industriels ou leur prolongement à l'air libre. Ils permettent la manutention de la charge dans tout l'espace de ces halls. Ils sont installés en hauteur et circulent sur des rails fixés sur des poutres de roulement en acier, reposant sur des poteaux.

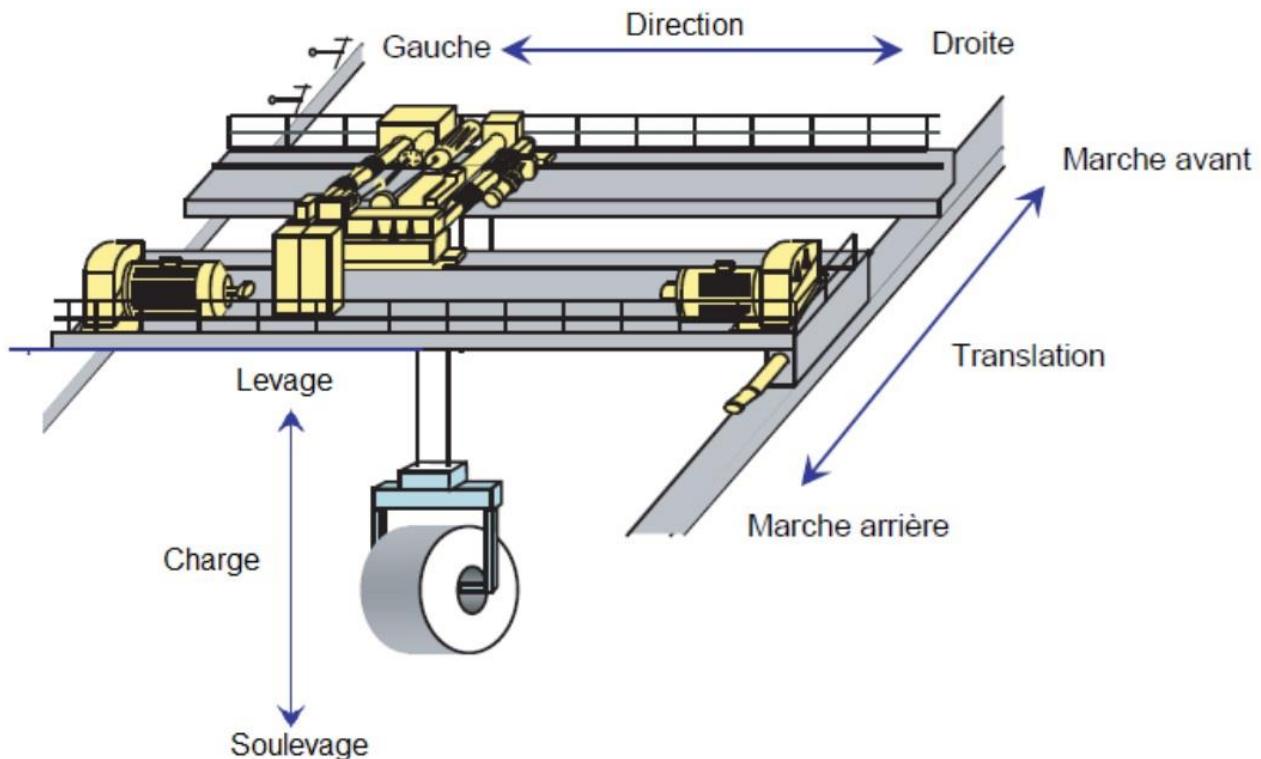


Figure 3: Pont roulant - structure générale

### b) Principaux mouvements

Tel que le montre le croquis de la figure 3, Les différents mouvements d'un pont roulant ; levage, direction, translation, orientation ; sont assurés par les mécanismes décrits ci-après.

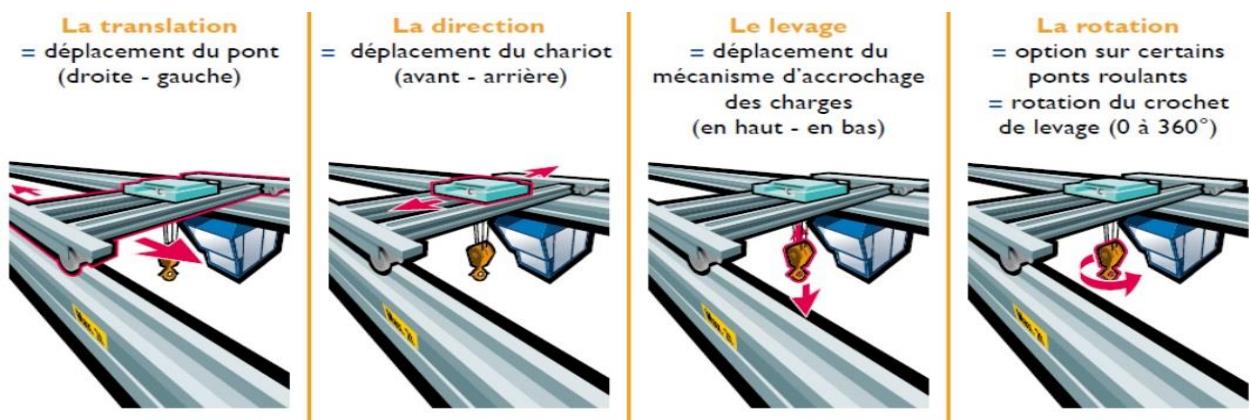


Figure 4: Principaux mouvements d'un pont roulant

#### • Levage :

Le mécanisme de levage assure la montée et la descente de la charge ; il est essentiellement constitué d'un moteur, d'un frein, éventuellement d'un frein de sécurité, d'un réducteur, d'un tambour pour l'enroulement du câble de levage ou, lorsqu'il s'agit d'un palan à chaîne, d'une noix ou pignon à chaîne pour l'entraînement de celle-ci. Il est désigné par l'un des deux termes suivants :

- « palan », lorsque ses éléments constitutifs forment un ensemble compact. Il est utilisé notamment sur les poutres roulantes, les ponts et les portiques.

- « treuil de levage », lorsque ses éléments constitutifs sont distincts. Il est utilisé principalement sur les appareils bipoutres.

- **Direction :**

Le mécanisme de direction assure le déplacement du/des chariots porte palan, ou du/des chariots porte-treuil perpendiculairement au sens de déplacement du pont.

- **Translation :**

Le mécanisme de translation assure le mouvement du pont roulant sur les chemins de roulement.

Ce mouvement est assuré :

- ✓ soit par un moteur commandant un arbre de transmission relié aux galets de roulement.
- ✓ soit par deux ou quatre moteurs synchronisés entraînant chacun un galet de roulement.

- **Notation :**

Ces trois mouvements selon trois axes orthogonaux permettent au crochet ou à l'organe de préhension de desservir n'importe quel point du volume défini par le débattement maximal des différents mouvements. Pour obtenir certaines trajectoires de la charge, on est parfois conduit à ajouter un degré de liberté supplémentaire : l'orientation.

- **Orientation :**

Le mécanisme d'orientation ou de giration assure la rotation de la charge autour d'un axe vertical ; il peut être intégré au chariot porte-treuil, à l'organe de préhension (crochet à rotation motorisée) ou à un accessoire de levage.

Un pont roulant est constitué de plusieurs parties qui sont les suivantes :

- une ossature comprenant les poutres principales, les sommiers ou boggies
- un palan comprenant un chariot, 4 galets, un crochet et un moteur
- une commande servant à la mise en route du chariot

## ➤ **Ossature**

L'ossature est généralement réalisée en mécanosoudure et peut être soumise à deux types de sollicitations ; verticales et horizontales.

- Sollicitations verticales :

Elles sont dues au poids propre des éléments du matériel ou à la charge de service, elles ont 4 causes principales :

-sollicitations dues au soulèvement de la charge

- soulèvement plus ou moins brutal de la charge de service

-accélération et décélération sur le mouvement de levage

-chocs dus aux roulements sur les voies

- Sollicitations horizontales :

Elles sont diverses comme :

-les effets d'inertie qui agissent sur les accélérations de mouvement (soit de direction et ou de translation).

-les réactions horizontales transversales dues au roulement, quand un galet roule sur un rail il apparaît un couple résistif, ce couple représente les deux réactions horizontales qui apparaissent aux galets.

-les efforts supplémentaires, ce sont les efforts dus aux tamponnements.

-les efforts horizontaux s'exercent sur la charpente au moment du choc d'un pont contre les butoirs.

### III. Planning prévisionnel du projet :

La planification consiste à prévoir le déroulement du projet tout au long des différentes phases. Lors des réunions avec mes encadrants, j'ai pu tracer les étapes de réalisation de ce projet. Et pour modéliser la planification correspondante, j'ai fait appel au diagramme de Gantt illustré dans les figures ci-dessous en utilisant Gantt Project.

Nom	Date de début	Date de fin
• Intégration	02/02/15	06/02/15
• Compréhension de l'architecture	06/02/15	13/02/15
• Etude du besoin	13/02/15	02/03/15
• Recherche du documentation	02/03/15	11/03/15
• Etude des normes	12/03/15	25/03/15
• Calcul et dimensionnement	26/03/15	22/04/15
• Programmation	23/04/15	11/05/15
• Modélisation du système	12/05/15	21/05/15
• Validation du projet	22/05/15	01/06/15
• Rédaction du rapport	06/02/15	16/06/15

Figure 5: Planning du projet

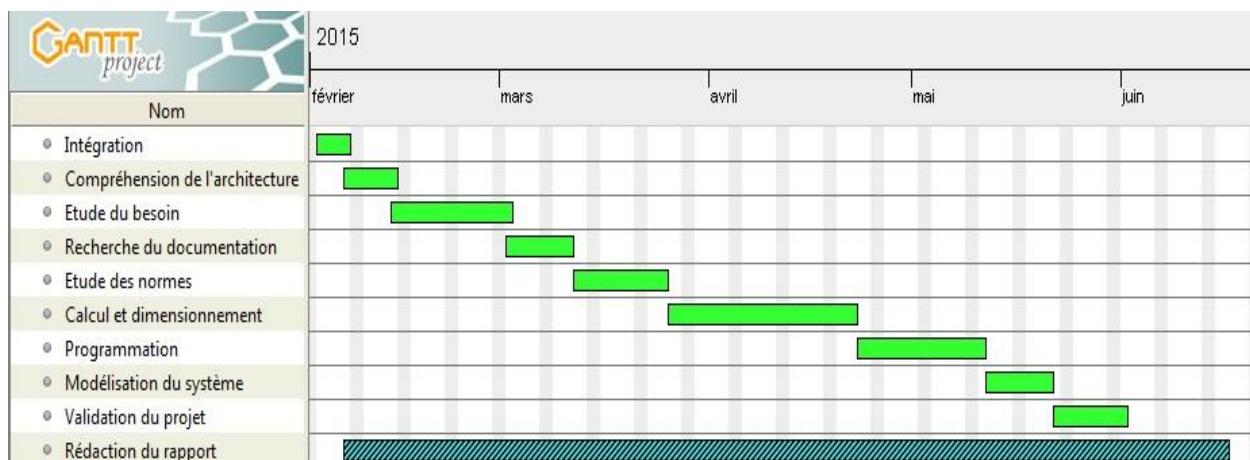


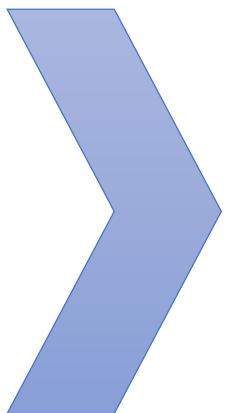
Figure 6: Diagramme de gant prévisionnel

## Conclusion :

Tout au long de ce chapitre, j'ai présenté l'organisme d'accueil, ensuite j'ai enchaîné avec le cadre général du projet et enfin, j'ai présenté le planning prévisionnel de mon projet. Dans le chapitre suivant, je vais présenter une analyse fonctionnelle du projet.

## 2<sup>ème</sup> Chapitre

### Analyse fonctionnelle



Introduction

- I. Modélisation du système
- II. Analyse fonctionnelle du besoin
- III. Choix des solutions

Conclusion

## Introduction :

Au début d'un projet pour créer (conception) ou améliorer (ré-conception) un produit, L'analyse fonctionnelle est un élément indispensable à sa bonne réalisation. On détermine donc les fonctions principales et les fonctions contraintes d'un produit. Il est important de faire ce recensement afin d'effectuer un dimensionnement correct des caractéristiques du produit.

Lors de l'analyse fonctionnelle, chaque fonction doit être recensée, caractérisée, ordonnée, hiérarchisée et valorisée.

## I. Modélisation du système :

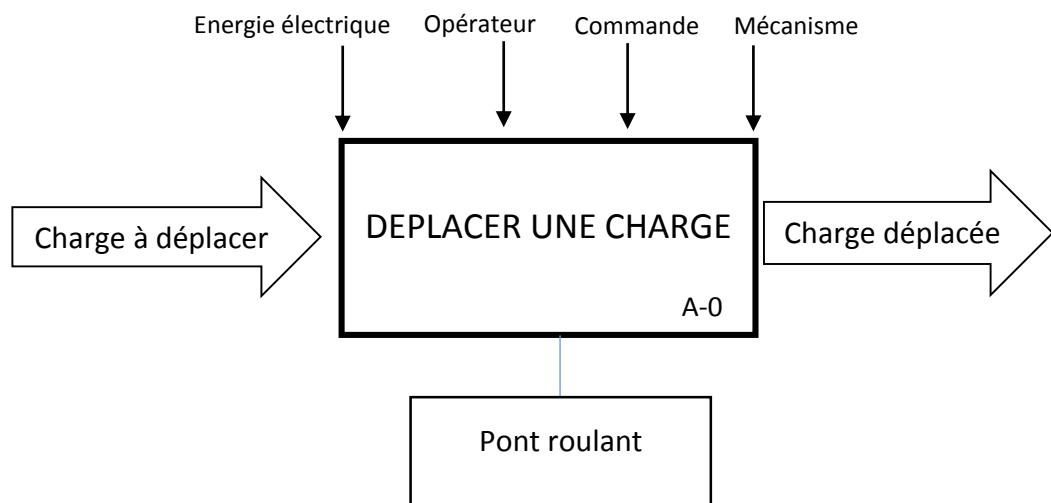


Figure 7: Modélisation du système

## II. Analyse fonctionnelle du besoin :

On pourra envisager deux séquences, une pendant l'utilisation et l'autre en dehors d'utilisation.

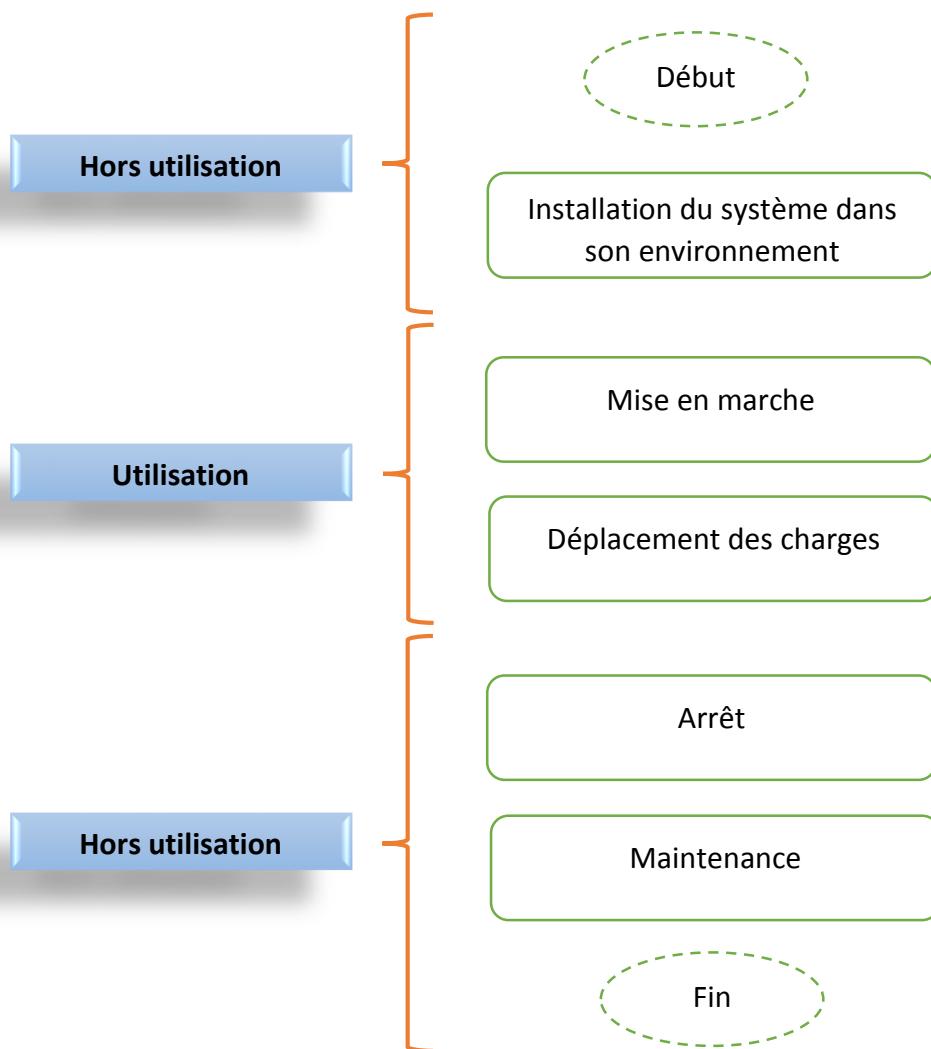


Figure 8: Cycle de vie du système

### 1. Etude fonctionnelle :

Dans cette partie d'étude, on se propose d'analyser les besoins de la société .De cet effet, les besoins se résument à la réalisation d'une plateforme qui assure le débarquement des différents équipages.

#### 1.1-Enoncer le besoin :

Il s'agit d'expliciter l'exigence fondamentale qui justifie la conception du produit. Pour cela, il est essentiel de se poser les trois questions suivantes :

-A quoi (à qui) le produit rend-il service ?

-Sur qui (sur quoi) agit-il ?

-Dans quel but ?

Ces trois questions sont organisées dans la présentation dite « bête à cornes » suivante :

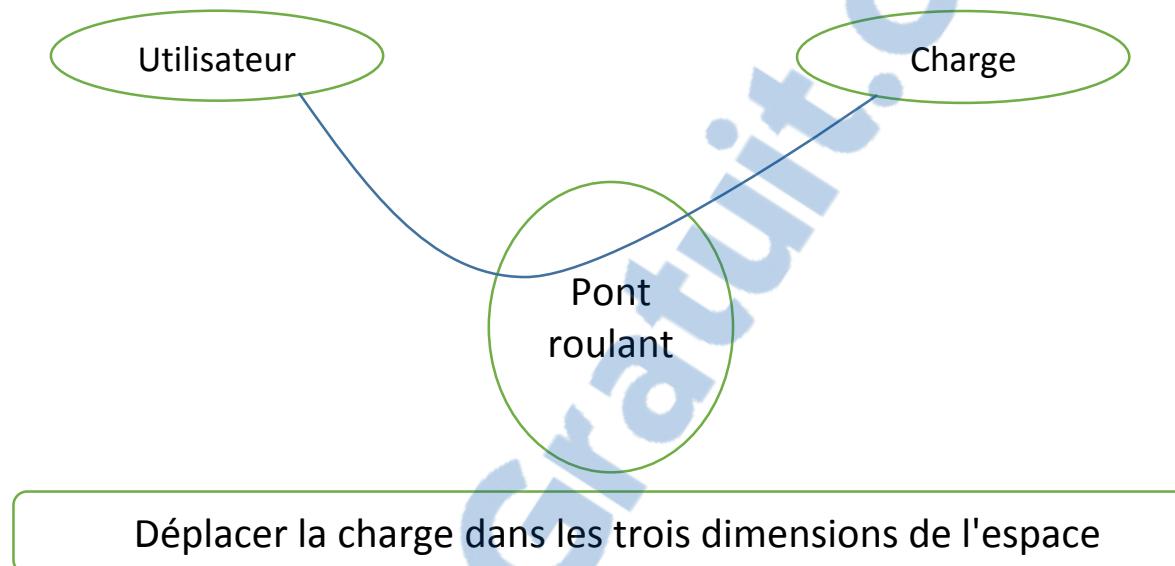


Figure 9: Diagramme bête à cornes

### 1.2- Analyse de la séquence d'utilisation :

Il s'agit dans cette étape d'énoncer les fonctions principales et de services qui offrent le produit pour satisfaire le besoin.

#### a) Frontière d'étude :

La source d'énergie fait partie du système.

#### b) Eléments d'environnement :

- L'opérateur.
- La charge.
- Energie électrique.
- coût.
- Milieu extérieur.
- Sécurité.
- Encombrement.
- Support.

## c) Diagrammes pieuvre :

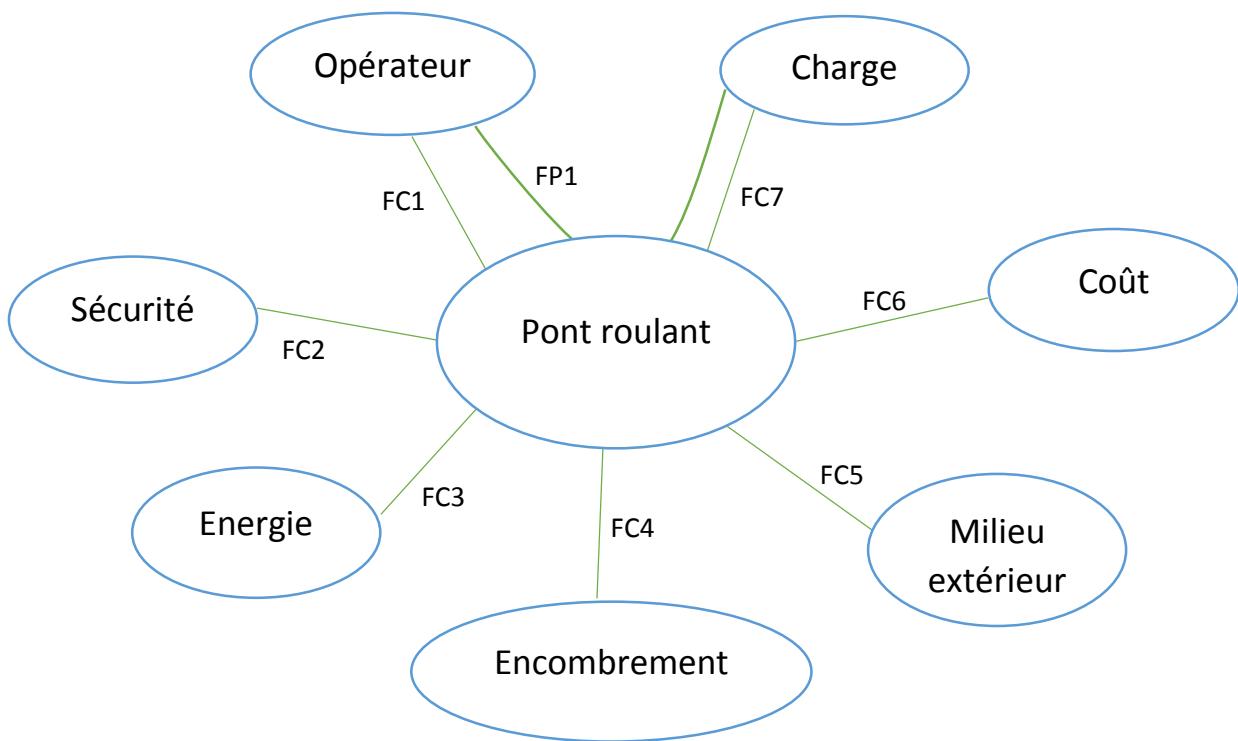


Figure 10: Diagramme pieuvre de la séquence d'utilisation

## d) Identification des fonctions de service :

## Fonctions principales :

FP1 : Permettre de transporter la charge en fonction des consignes données par l'opérateur.

## Fonctions contraintes :

FC1 : Doit être équipé d'éléments de dialogue homme/machine.

FC2 : Assurer la sécurité de l'utilisateur.

FC3 : Etre alimenté en énergie électrique.

FC4 : Adapter aux dimensions de l'usine.

FC5 : Etre protégé contre les agressions du milieu extérieur.

FC6 : Avoir le coût le plus favorable.

FC7 : Etre inférieur à la charge limite du pont roulant.

## 1.3- Analyse de la séquence hors d'utilisation :

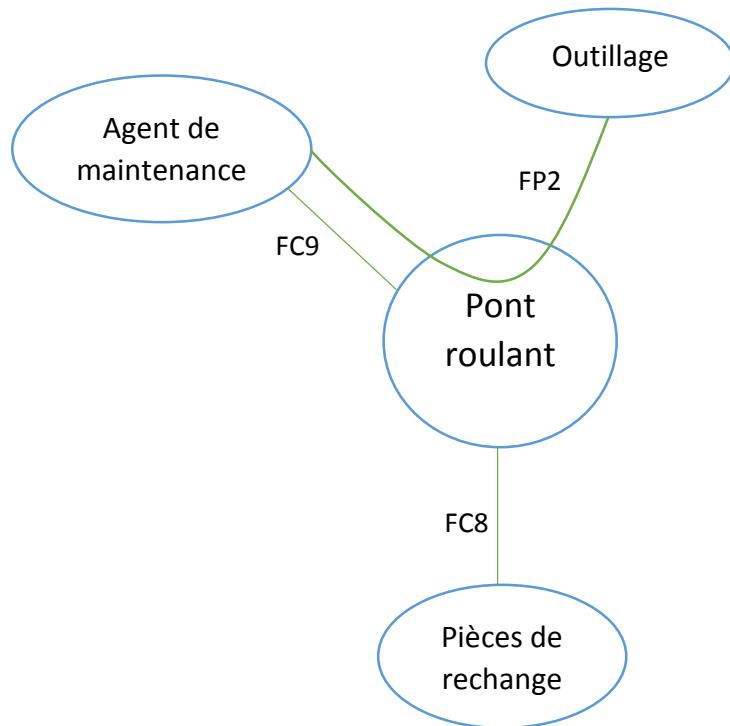
## a) Frontière d'étude :

La source d'énergie ne fait pas parti du système

**b) Eléments d'environnement :**

- Agent de maintenance
- Outils
- Pièces de rechanges
- Sécurité.

**c) Diagramme pieuvre :**



*Figure 11: Diagramme pieuvre de la séquence hors utilisation*

**d) Identification des fonctions de services :**

Fonctions principales :

FP2 : Avoir un accès à une intervention simple.

Fonctions contraintes :

FC8 : Utiliser le maximum des pièces standards.

FC9 : Assurer la sécurité de l'agent de maintenance lors de l'intervention.

**1.4-Hiérarchisation des fonctions de service :**

Cette étape permet de mettre en valeur les fonctions qui ont plus d'importance afin d'optimiser le choix technologique et agir sur le coût du projet.

Pour chaque couple de fonctions, on utilise une variable réelle positive qui quantifie le degré d'importance relative.

On va maintenant comparer les différentes fonctions de service par la méthode de tri croisé à fin de dégager les fonctions les plus importantes.

a)Barème d'évaluation :

Note	Degré d'importance
0	Equivalent
1	Légèrement supérieure
2	Moyennement supérieure
3	Nettement supérieure

*Tableau 2: Degré d'importance relative à la fonction de service*

## b) Tableau de tri croisé :

	FP2	FC1	FC2	FC3	FC4	FC5	FC6	FC7	FC8	FC9	point	%
FP1	FP1 2	FP1 1	FP1 2	FP1 2	FP1 2	FP1 3	FP1 2	FP1 2	FP1 2	FP1 2	21	26.25%
	FP2 3	FP2 1	FP2 1	FP2 2	FP2 1	FC6	FP2 1	FP2 1	FP2 1	FP2 1	13	16.25%
	FC1 1	FC2 1	FC1 0	FC1 1	FC5 2	FC6 2	FC7 1	FC8 1	FC9 1	FC9 1	1	1.25%
	FC2 1	FC4 1	FC4 1	FC5 1	FC6 3	FC7 2	FC8 1	FC9 1	FC9 1	FC9 1	2	2.5%
	FC3 2	FC3 2	FC5 1	FC6 1	FC3 2	FC8 0	FC9 1	FC9 1	FC9 1	FC9 1	4	5%
	FC4 1	FC5 1	FC6 2	FC4 1	FC4 1	FC4 1	FC9 1	FC9 1	FC9 1	FC9 1	3	3.75%
		FC5 2	FC6 2	FC5 2	FC5 1	FC9 1	FC9 1	FC9 1	FC9 1	FC9 1	8	10 %
			FC6 1	FC6 2	FC6 1	FC9 1	FC9 1	FC9 1	FC9 1	FC9 1	15	18.75%
				FC7 1	FC8 1	FC9 1	FC9 1	FC9 1	FC9 1	FC9 1	3	3.75%
					FC8 1	FC9 1	FC9 1	FC9 1	FC9 1	FC9 1	2	2.5%
						FC9 1	FC9 1	FC9 1	FC9 1	FC9 1	8	10 %
						Total	10 %	10 %	10 %	10 %	100 %	

Tableau 3: Tableau de tri croisé de la fonction de service

## c) Histogramme de Hiérarchisation des fonctions de services :

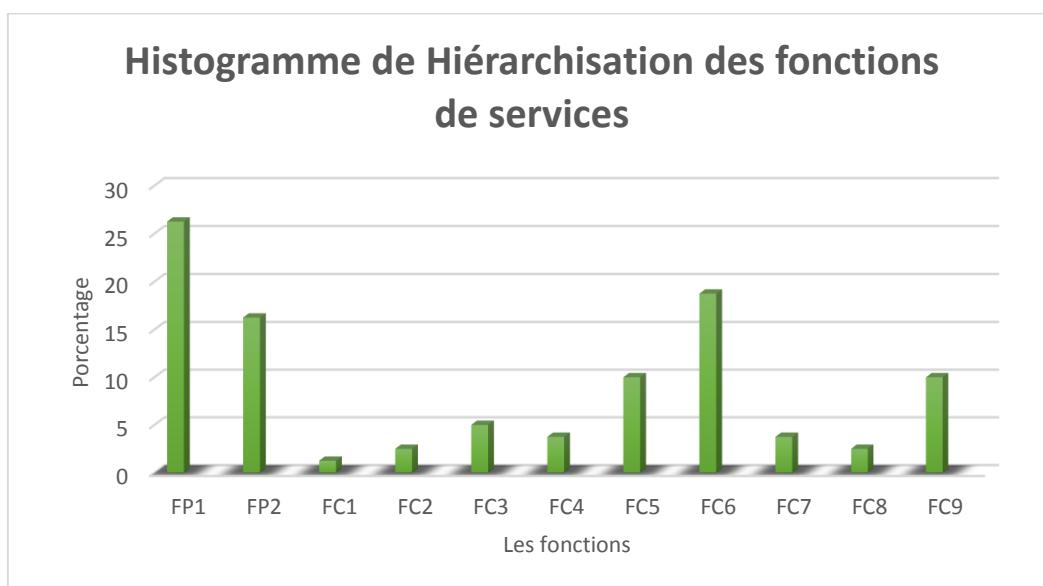


Figure 12: Histogramme de hiérarchisation des fonctions de services

#### d) Interprétations :

On remarque que la fonction de service FP1 : «Permettre de transporter la charge en fonction des consignes données par l'opérateur» présente le pourcentage important. En effet, ceci est vrai puisque la fonction traduit bien la finalité du mécanisme.

La fonction de service FC6 «Avoir le coût le plus favorable» présente encore une grande importance, donc il faut prendre en considération le critère «coût» lors du choix technologique entre les solutions possibles.

On remarque que la fonction de service FC1 «Doit être équipé d'éléments de dialogue homme/machine» présente un poids presque nul, ce qui signifie qu'elle est jugée moins importante et non inutile, il faut donner une très grande importance à la fonction de service présentant un pourcentage assez important mais sans négliger, toutefois, les autres qui se manifestent moins consistant.

### III. Choix des solutions :

L'analyse de besoin conduit à définir les fonctions de services attendues d'un produit, à chaque fonction de service correspondent des fonctions techniques et à chaque fonction technique correspondent des solutions technologiques. Donc on commence par choisir les solutions principales du système à concevoir. Pour y arriver on débute par choisir une solution principale du système ensuite par choisir les solutions des sous-ensembles du système.

#### 1. Choix de la solution principale du système :

Les solutions suivantes sont le résultat d'une étude approfondie du pont roulant n'utilisant que des pièces faciles à fabriquer et à très bas coût.

##### 1.1. Description des solutions :

###### 1.1 Solution 1 :

###### • Pont roulant posé

L'appareil roule sur deux voies de roulement constituées par un rail qui repose sur une poutre de roulement reprise sur les poteaux du bâtiment ou de l'aire de travail ou de stockage par l'intermédiaire de corbeaux (pièce en forme de trapèze rectangle métallique ou en béton qui assure la liaison entre le chemin de roulement et le poteau). Pour une portée donnée (inférieure à 30 m) et une hauteur sous ferme donnée, c'est le type de pont qui permet d'obtenir la meilleure hauteur de levage.

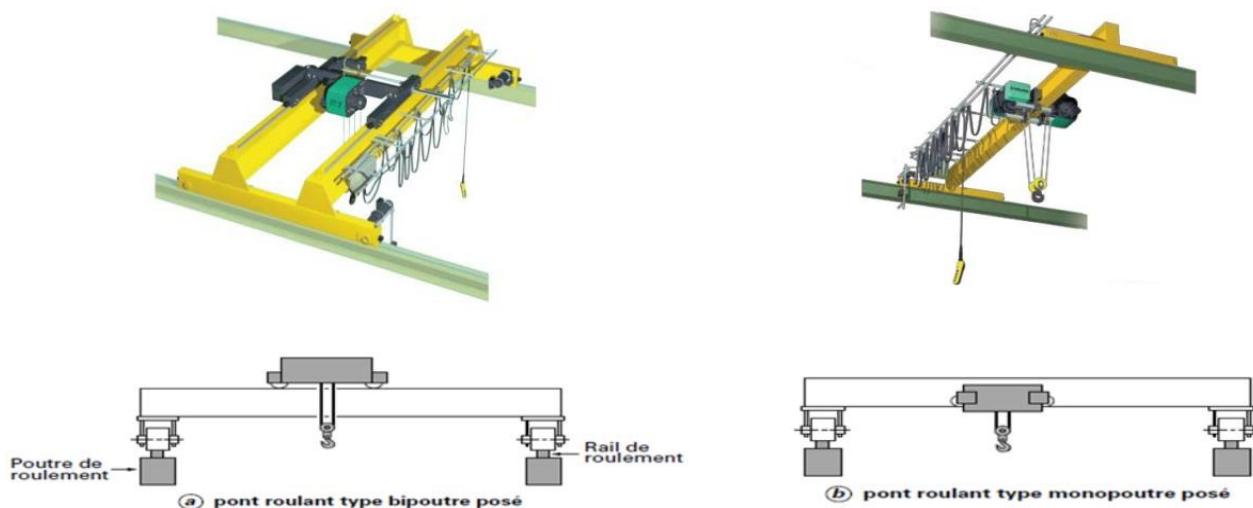


Figure 13: Ponts roulants posés

## 1.2 Solution 2 :

- **Pont roulant suspendu**

L'appareil roule sur l'aile inférieure d'un profilé repris directement sur les fermes du bâtiment. Ces chemins de roulement peuvent comporter plus de deux voies de roulement. Ils peuvent en outre être équipés de plusieurs moyens de levage pour desservir toute la surface du bâtiment. Dans le cas de portée très importante on installera donc plutôt ce type de matériel.

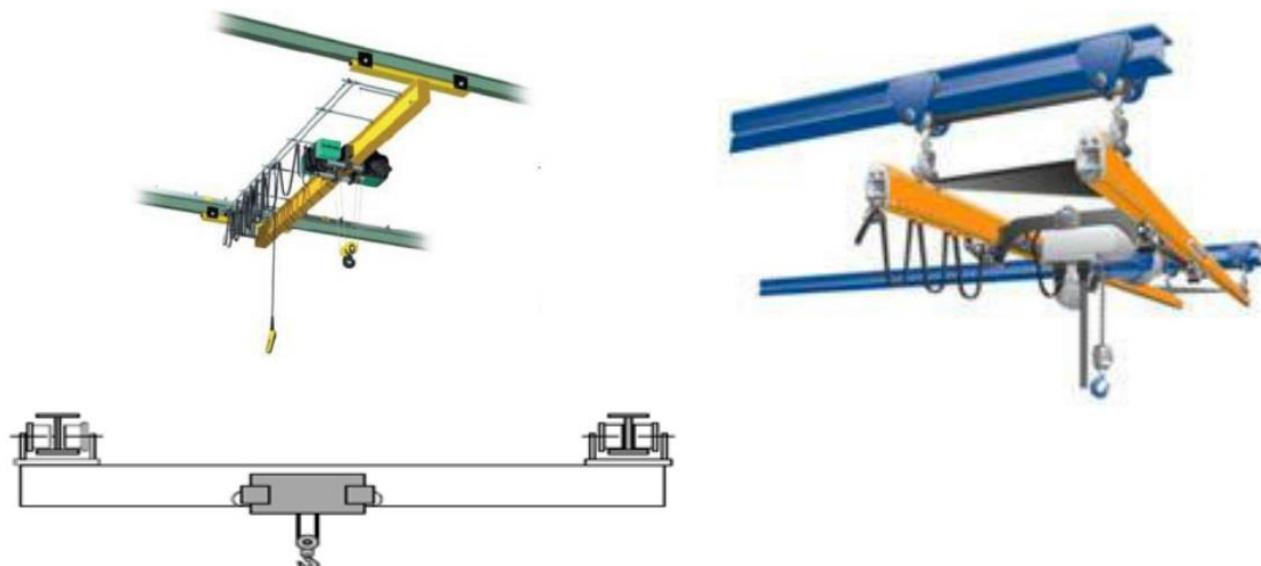


Figure 14: Ponts roulants suspendus

### 1.3 Solution 3 :

- **Portique**

L'appareil roule sur deux voies de roulement constituées par un rail fixé directement au sol. Ils sont reliés par deux jambes ou palées. Ces portiques sont installés dans le cas où le bâtiment ne pourrait supporter les réactions qu'entraînerait l'installation d'un pont roulant ou si les transformations nécessaires s'avéraient très onéreuses, il en serait de même s'il n'y avait pas de bâtiment du tout (parc extérieur). Un déport des poutres de roulement permettant d'aller chercher des charges à l'extérieur des rails déroulement est possible, il se nomme, dans ce cas, portique à avant-bec.

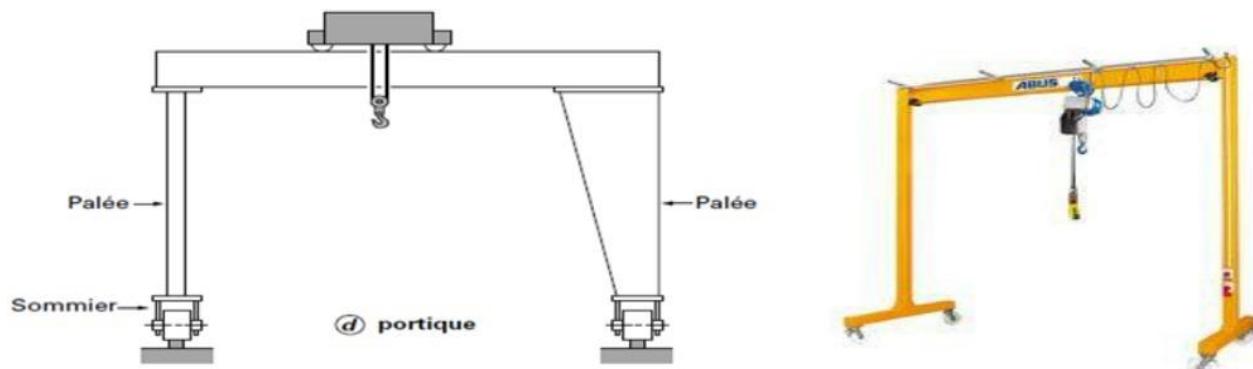


Figure 15: Portique

### 1.4 Solution 4 :

- **Semi-portique**

L'appareil roule sur deux voies de roulement. L'une est constituée par un rail au sol, alors que l'autre s'appuie sur la charpente du bâtiment et roule sur un chemin de roulement aérien. Cette formule est utilisée le plus souvent en complément d'un pont roulant important qui assure la liaison entre les postes équipés chacun d'un semi-portique.

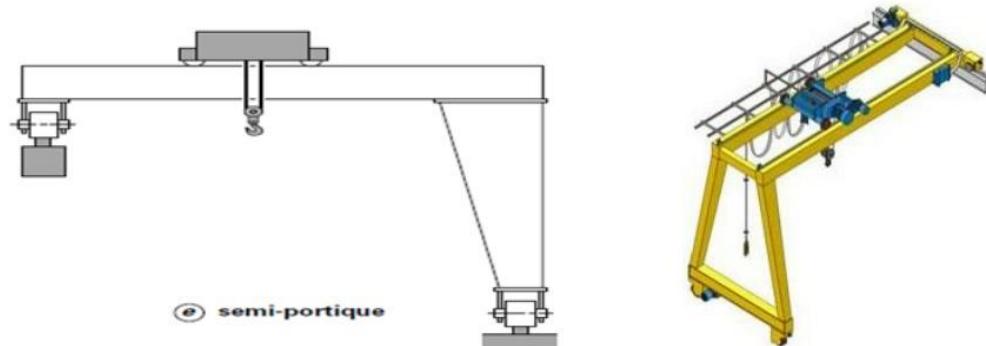


Figure 16: Semi-portique

Voici 4 types de ponts roulants différents. Le choix aurait pu se porter sur n'importe lequel d'entre eux tant il est vrai que les différences sont minimes. Cependant, le portique a été écarté car ses palées de fixation réduisent la portée, le portique n'a pas été retenu. Le choix du pont roulant bipoutre posé s'est définitivement imposé car dans le plan il y a les espaces pour les chemins de roulement posé et le pont roulant bipoutre a des capacités plus élevées que le pont roulant monopoutre.

## 2. Choix des solutions principales des sous-ensembles :

### 1 -Diagramme FAST :

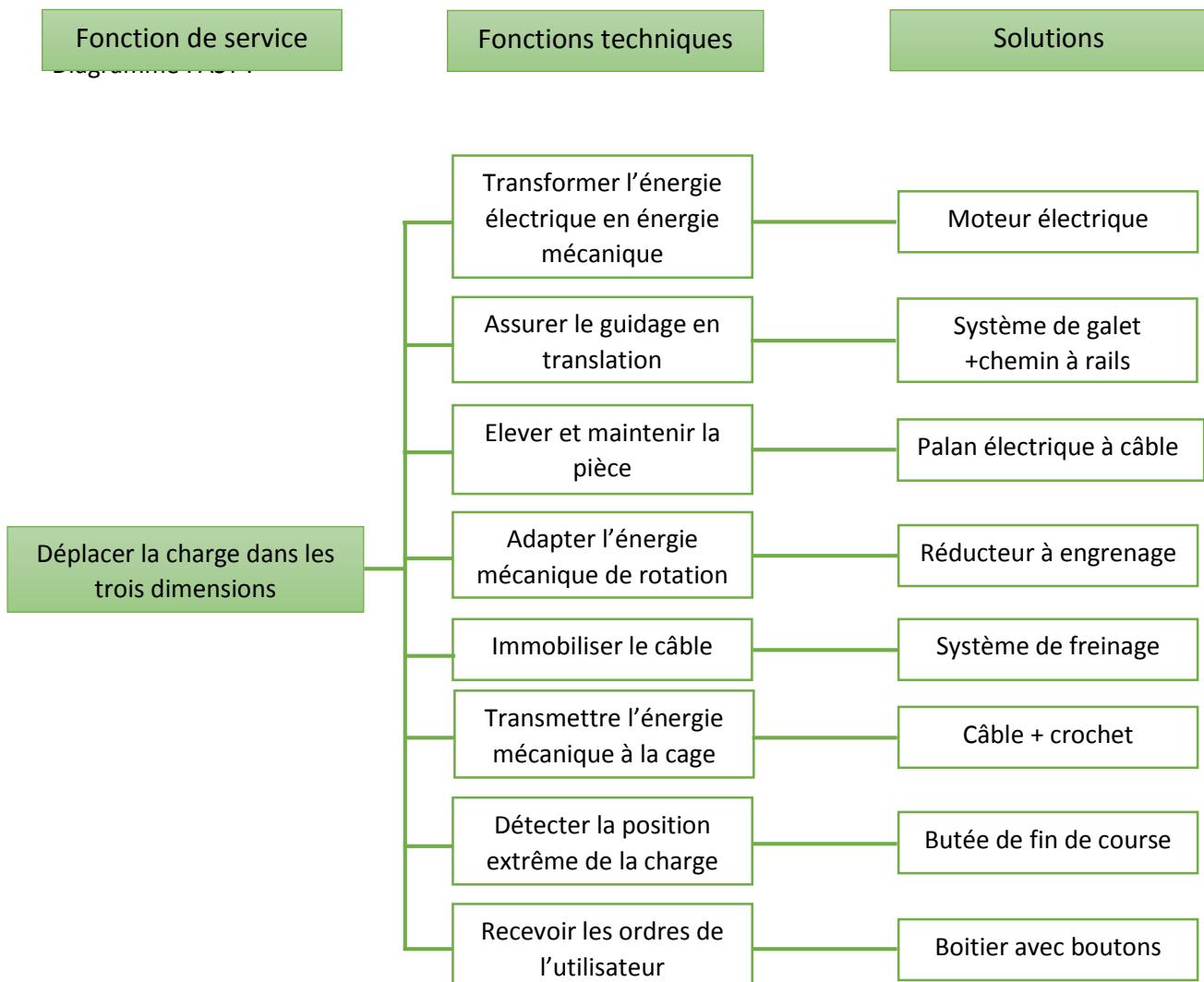


Figure 17: Diagramme fast

### 2- Choix des poutres

Version profilé possède plusieurs avantages qui sont les suivants :

- ✓ S'adapte dans les bâtiments dont les chemins de roulement peuvent être suspendus sous charpente.

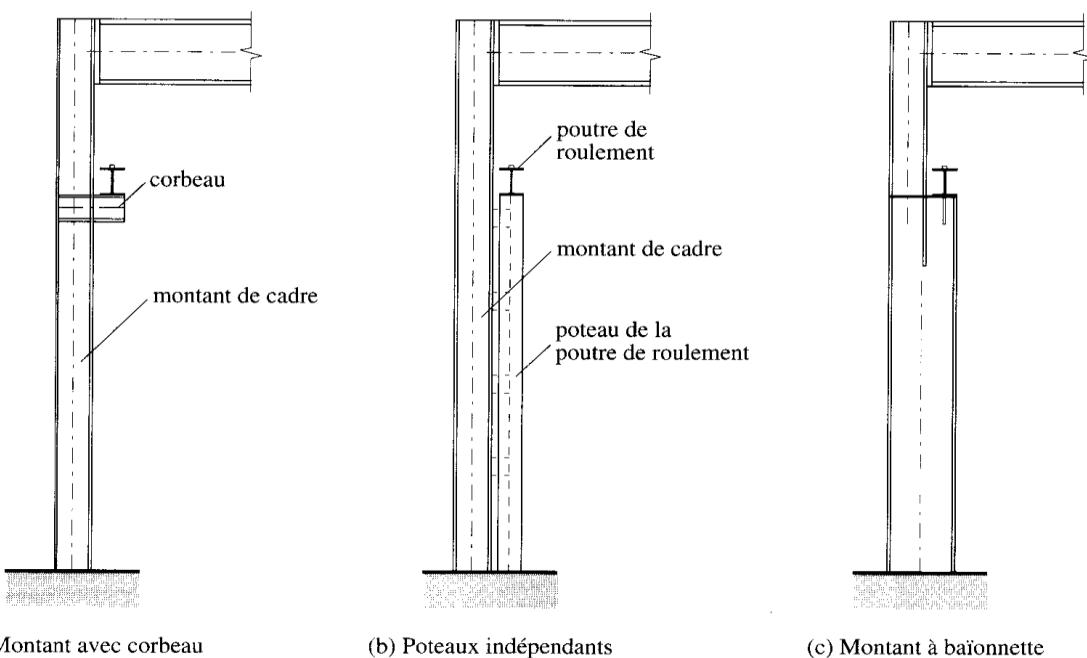
- ✓ Permet une meilleure utilisation de la surface au sol.
- ✓ Possibilité de transfert.

Version caisson possède plusieurs avantages qui sont les suivants :

- ✓ Idéal pour les grandes structures.
- ✓ Autorise une portée et une charge plus importante.
- La version que j'ai choisie est la version profilée car la portée inférieure à 12 m et le prix des caissons plus haut que le prix des profilés.

### 3-Choix des poteaux

Les réactions verticales de la poutre de roulement sont transmises directement aux fondations par l'intermédiaire des poteaux : indépendants ou non de ceux de la halle : comme le montre les exemples de la figure. Dans le cas (a) la poutre de roulement est posée sur un corbeau encastré au montant du cadre. Dans le cas (b), le poteau de la poutre de la poutre de roulement est indépendant de celui de la halle. Le cas (c) est une combinaison de deux poteaux, appelée montant à baïonnette. Les cas (b) et (c) conviennent particulièrement bien aux ponts roulants de forte capacité, le cheminement des forces étant le plus direct.



*Figure 18: Poteaux et montants*

- J'ai choisi le type de poteaux indépendants car ce type n'a pas d'influence sur la structure de la halle.

## Conclusion :

La méthode adoptée nous a permis de déterminer la solution adéquate pour la réalisation de chaque fonction du système

Le prochain chapitre présente une étude approfondie pour les solutions pour trouver toutes les informations sur les produits nécessaires.

Rapport Gratuit.com

# 3ème Chapitre

## Etude et dimensionnement du pont roulant

### Introduction

- I. Description de la solution retenue
- II. Choix des matériaux
- III. Classification de mécanisme de levage
- IV. Vérification des galets du chariot
- V. Vérification de l'arc-boutement
- VI. Dimensionnement de la poutre principale
- VII. Vérification des galets du chemin de roulement
- VIII. Dimensionnement du chemin de roulement
- IX. Dimensionnement des poteaux
- X. Dimensionnement des barres de contreventement
- XI. Etude des assemblages
- XII. Protection de la structure du pont roulant

### Conclusion

## Introduction :

Après avoir choisi les solutions principales du système, nous entamons une partie destinée à expliquer la démarche de dimensionnement utilisée, les principes de calculs retenus, le type de modélisation exploité...etc.

Les étapes de développement de la solution finale seront détaillées. Chacune des étapes sera expliquée et appuyées par des simulations et des études relatives aux concepts étudiées.

À la fin, une étude de fixation de différentes composantes sera nécessaire pour la fabrication des concepts.

## I. Description de la solution retenue :

Le pont roulant est composée essentiellement par les composants mentionnés dans la figure suivante :

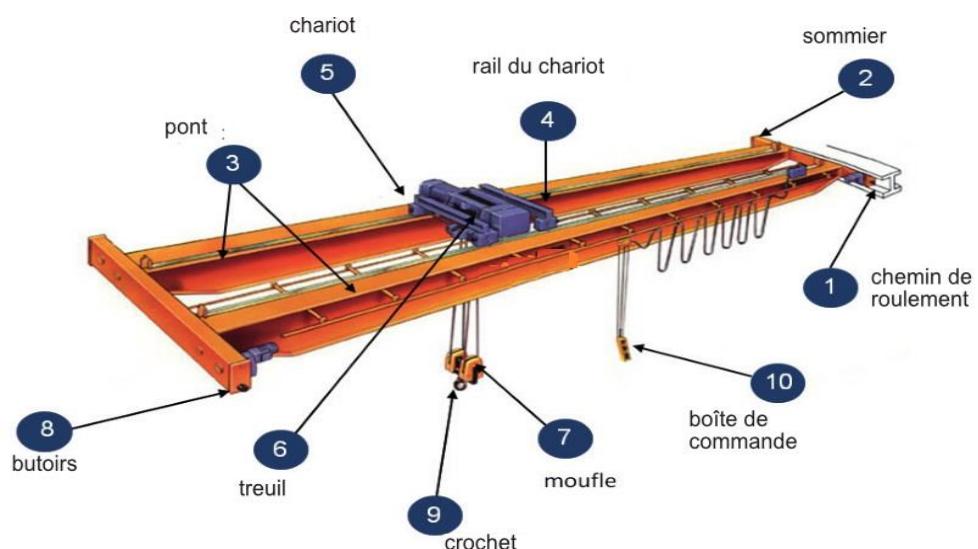


Figure 19: Schéma descriptif de la solution retenue

Parmi les composants les plus importants du pont roulant, nous trouvons :

- Les chemins de roulements (runway) sur lesquels le pont se déplace.
- Les deux sommiers (end carriages) sur lesquels sont fixées les extrémités du pont et qui portent des roues (galets ou live rollers). ces derniers permettent les mouvements de translation du pont.
- Le pont (crane), qui est formé d'une poutre simple ou composée appelée aussi (portée).

- Le rail du chariot (track), qui est fixé sur la poutre principale du pont et qui permet les mouvements de direction du chariot
- Le chariot (trolley), qui est surmonté de l'engin de levage (treuil) ce dernier est muni des roues et se déplace latéralement sur le pont
- Le treuil (winch), un engin de levage qui permet la levée et la descente de la charge
- Le moufle (pulley block), un assemblage de poulies muni d'un accessoire d'accrochage et servant à lever et à descendre les charges
- Les butées (stoppers), des pièces métalliques ou de caoutchouc servant d'amortisseurs
- Le crochet (hook), qui est muni d'un linguet de sécurité (mousqueton ou safety latch)
- La boîte de contrôle, qui permet de contrôler les différentes manœuvres du pont roulant

## II. Choix des matériaux :

La nature du matériau est en fonction essentiellement de l'environnement du travail ainsi que de l'intensité de l'activité. On doit aussi en tenir compte des considérations suivantes :

-L'assemblage de la structure : par soudure, par boulons,...

-La résistance aux charges.

-La résistance à la corrosion.

-Le prix de revient.

Plusieurs constructeurs des ponts roulant proposent une gamme variée d'acières de construction dans le domaine maritime. Ces aciers sont répondus pour leur fiabilité et leur grande durée d'utilisation grâce à leurs propres caractéristiques :

-Ténacité et résistance mécanique.

-Faible sensibilité à la corrosion.

-Résistance aux chocs.

-Usinabilité dans des conditions économiques.

## 1. Choix des aciers et des matériaux de construction :

### 1. Matériaux des profilés

On choisit les profilés en acier S235 parce qu'il est le plus utilisé dans la construction des structures et parce que ce matériel nous permet une économie sur les coûts de matière et une mise en œuvre plus aisée en atelier

Le S235 est un acier de construction normalisé qui présente une bonne soudabilité, résistance à la corrosion et son prix de revient convenable. Les propriétés physiques et les caractéristiques mécaniques de l'acier S235 sont données par les tableaux suivants [réf. Techniques de l'ingénieur] :

Nuance	Propriétés physiques					
	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Module d'élasticité E (N/mm <sup>2</sup> )	Coefficient de poisson $\mu$	Capacité thermique massique	Conductivité thermique [W/ (m.K)]	Résistivité (en 10 <sup>-8</sup> $\Omega.m$ )
S235	7850	210000	0.3	482	49	19

Nuance	Caractéristiques mécaniques				
	R <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	R <sub>R</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	R <sub>m</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	A (%)	KV (J)
S235	240	360-510	450	26-29	27

Tableau 4: Les caractéristiques de l'acier S235

### 2. Matériaux des colonnes de guidages (les rails)

Ils sont en acier inoxydable au Nikel-Chrome X48CrNi13 .Le chromage assure une grande protection contre l'attaque chimique (corrosion) et l'usure.

### 3. Matériaux des galets

Le galet de la marque KONECRANES est fabriqué à partir de La fonte sphéroïdale haute qualité EN-GJS-700(Désignation EN), GGG 70(Désignation DIN) avec les caractéristiques mécaniques et technologiques suivants :

numéro des matériaux	EN-JS1030	EN-JS1050	EN-JS1060	EN-JS1070
dénomination	EN-GJS-400-15	EN-GJS-500-7	EN-GJS-600-3	EN-GJS-700-2
ancienne norme DIN 1693	GGG 40	GGG 50	GGG 60	GGG 70
résistance à la traction $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	400	500	600	700
limite d'élasticité 0,2% $R_{p0.2}$ N/mm <sup>2</sup>	250	320	370	420
allongement A %	15	7	3	2
dureté Brinell HB 30	---	135-170	150-170	200-250
module d'élasticité E kN/mm <sup>2</sup>			165 - 175	
usinabilité	très bonne	bonne	bonne	Moyenne
résistance à l'usure	faible	bonne	bonne	Très bonne
soudabilité	soudabilité réduite, électrodes spéciales conseillées			

Tableau 5: Les caractéristiques du matériau des galets

### III. Classification de mécanisme de levage suivant les normes FEM et ISO :

#### 1- Définition :

La classe de fonctionnement et l'état de sollicitation sont des valeurs d'orientation servant de base aux calculs et correspondant à une longévité moyenne pouvant être attendue pour un usage raisonnable.

#### 2-Classification des ponts roulants :

Les ponts roulants sont répartis en huit groupes d'engins (A1 à A8) en fonction de leurs classes d'utilisation U0 à U9 (de la moins utilisée à la plus utilisée) et de leurs classes de spectre de charge Q1 à Q4 (de la moins chargée à la plus chargée). Cette classification a été établie par la Fédération Européenne de la Manutention (FEM)

Le tableau donne quelques exemples de classification de ponts roulants les plus couramment utilisés par combinaison de l'état de charge et de la fréquence d'utilisation.

Description du pont roulant	Etat de chargement	Fréquence d'utilisation
Pont roulant de centrale	Q1 à Q2	U0 à U2
Pont roulant de montage et de démontage pour salle de machines	Q2 à Q3	U0 à U2
Pont roulant d'entrepôt	Q2 à Q3	U3 à U6
Pont roulant d'atelier (par exemple de construction métallique)	Q2 à Q3	U3 à U4
Pont roulant à grappin	Q4	U3 à U9
Pont roulant pour dépôt de ferraille ou pont roulant à électro-aimant	Q4	U3 à U6
Pont roulant de coulée et pont vireur de forge	Q4	U3 à U9
Portique à crochet	Q3 à Q4	U3 à U6
Portique à grappin	Q4	U3 à U9
Pont roulant pour conteneurs	Q3	U3 à U6

Tableau 6: Exemples de classification

Donc pour l'ONCF on a un pont roulant de montage et de démontage des machines c'est-à-dire un état de chargement de  $Q_2$  à  $Q_3$ .

### 3- Classe de fonctionnement :

Le mécanisme est soumis fréquemment à la sollicitation maximale et couramment à des sollicitations moyennes, la durée de fonctionnement quotidienne de notre mécanisme est de 1h à 2h donc le niveau L3 (d'après le CPS de l'ONCF) : le pont utilisé 8h par jours et 6 jours par semaine et 4 semaine par mois c'est-à-dire 2304 h≤3200h). Ce qui donne en utilisant le tableau, un mécanisme de type M5 suivant la norme ISO et 2m suivant la norme FEM.

L4	Mechanism or elements of mechanism subjected regularly to the frequencies of use close to the maximum frequency of use										4
	L3	Mechanism or elements of mechanism frequently subjected to the maximum frequency of use and usually to average frequencies of use								3	
		L2	Mechanism or elements of mechanism subjected rather often to the maximum frequency of use and usually to low frequencies of use								2
			L1	Mechanism or elements of mechanism subjected exceptionally to the maximum frequency of use and usually to very low frequencies of use							
M3	M2	M1	-	T1	UNDER 0H15	400 hours	V 0,12	-	1Dm	1Cm	1Bm
M4	M3	M2	M1	T2	FROM 0H15 to 0H30	800 hours	V 0,25	1Dm	1Cm	1Bm	1Am
M5	M4	M3	M2	T3	FROM 0H30 to 1H00	1600 hours	V 0,50	1Cm	1Bm	1Am	2m
M6	M5	M4	M3	T4	FROM 1H00 to 2H00	3200 hours	V1	1Bm	1Am	2m	3m
M7	M6	M5	M4	T5	FROM 2H00 to 4H00	6300 hours	V2	1Am	2m	3m	4m
M8	M7	M6	M5	T6	FROM 4H00 to 8H00	12500 hours	V3	2m	3m	4m	5m
-	M8	M7	M6	T7	FROM 8H00 to 16H00	25000 hours	V4	3m	4m	5m	-
-	-	M8	M7	T8	ABOVE 16H00	50000 hours	V5	4m	5m	-	-
Classification as per ISO standard				Average time supposed daily operation		Total duration of use		Classification as per FEM rules			

Tableau 7: Choix du niveau du pont roulant

Le projet s'articule autour de l'étude l'implantation d'un pont roulant KONECRANES dans l'ONCF. Tous les calculs ont été réalisés en tenant compte que le pont roulant était installé dans le hangar. La température y varie de 0°C minimum à 40°C maximum. Les calculs sont donc faits dans des conditions normales de température et il ne faut tenir compte d'aucun coefficient de dilatation.

## IV. Vérification des galets du chariot :

Dans cette partie, les galets et les rails seront vérifiés en conformité avec la norme ISO 16881-1 « Appareils de levage à charge suspendue — Calcul de conception des galets et de la structure de support du chariot de roulement — » qui est une extension des Règles de la F.E.M.1.001 (fédération européenne de la manutention). Cette partie comprend une vérification du diamètre de galet en tenant compte de la pression entre le galet et les rails.

D'après le cahier de charges fonctionnelles, la charge maximale à supporter par le pont roulant sera fixée à 10 Tonnes.

En outre, pour se situer dans une marge de sécurité, les calculs qui viennent seront faits avec une charge de 12 T, ce qui veut dire un coefficient de sécurité  $S=1.2$ . Parce que selon la Fédération européenne de la manutention (FEM) pour les pièces de structure et les engins de levage et appareils de levage lourds, un coefficient allant, selon les cas de service (sans vent, avec vent, sollicitations exceptionnelles), de 1,1 à 1,5 pour les pièces en acier de construction, et un coefficient plus élevé pour les pièces en acier à haute limite d'élasticité.

### 1. Sélection du galet :

Conditions de calcul :

- 4 galets, 1 galet entraîné.
- Centre de gravité du chariot au milieu du chariot
- Poids du chariot représentant 5% de la charge totale :  $0.05*12=0.6T$

Donc la charge total maximal  $P=0.6+12=12.6T$

$$4 \text{ galets donc pour un galet } P_{max} = \frac{12.6}{4} = 3.15T$$

D'où d'après le tableau de sélection du diamètre du galet on a  $D=125mm$

Type d'ensemble galet	Charge statique max. permissible au galet kg
125	5000
160	7000
200	10000
250	16000
315	22000
400	30000

Tableau 8: Choix du diamètre du galet

## 2. Calcul de vérification suivant les règles de la norme ISO 16881-1 et la norme FEM :

Les vérifications suivantes sont incontournables pour le dimensionnement des galets des ponts roulants :

- Vérifier que le galet va résister au chargement maximal auquel il sera objet.
- vérifier que le galet va permettre à l'appareil d'effectuer son service normal sans usure anormale.

Ces deux vérifications sont assurées par les deux équations suivantes :

$$\frac{P_{max}}{b*D} \leq 1.9 * P_l \quad (1)$$

$$\frac{P_{mean}}{b*D} \leq C_1 * C_2 * P_l \quad (2)$$

Avec :

D : Le diamètre du galet de roulement (mm)

b : Largeurs utile du rail (mm)  $b = l - 2r$

r : Rayon d'arrondi extérieur du champignon du rail, en mm

l : Largeur du champignon du rail, en mm

$P_l$  : Pression limite fonction du matériau du galet et du rail, en MPa

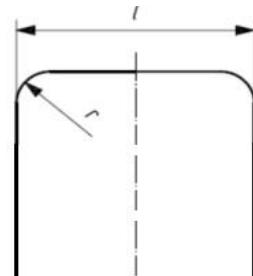
$C_1$  : Coefficient fonction de la vitesse de translation et le diamètre du galet

$C_2$  : Coefficient fonction du groupe du mécanisme de translation du pont

$P_{max}$ : Charge maxi au galet=3.15T=31.5KN (Tableau : Choix de la charge par galet)

$$P_{mean} : \text{est déterminée par } P_{statmin} \text{ et } P_{statmax} ; P_{mean} = \frac{P_{statmin} + 2 P_{statmax}}{3}$$

$P_{statmin}$  = charge statique minimale au galet,  $P_{statmax}$  = charge statique maximale au galet



On prend  $P_{statmin}=P_{statmax}=P_{max}$

a) Détermination du matériau :

Le galet qui existe actuellement est fabriqué à partir de la fonte sphéroïdale haute qualité EN-GJS-700 (Désignation EN), GGG 70 (Désignation DIN) de limite de résistance en traction 700 MPa.

Résistance à la traction du métal du galet de roulement (MPa)	$P_L$ (MPa)	Résistance minimale de l'acier du rail (MPa)
$f_u > 500$	5,00	350
$f_u > 600$	5,60	350
$f_u > 700$	6,50	510
$f_u > 800$	7,20	510
$f_u > 900$	7,80	600
$f_u > 1000$	8,50	700

Tableau 9: Détermination de la pression limite sur le rail

Le tableau suivant nous donne la valeur de la résistance à la traction du rail :

$f_u > 700$  MPa  $\rightarrow$  Résistance minimale de l'acier du rail = 510 MPa.  
 $\rightarrow$  Pression limite  $P_L=6.5$  MPa.

b) Choix du rail de roulement et détermination de la largeur utile b :

Le rail utilisé est de type KSN 50.30 (rail de section rectangulaire de longueur 50mm et de largeur 30 mm). Je vais essayer de vérifier ce type de rail dans la partie de dimensionnement de la poutre du chemin de roulement avec le profilé.

Caractéristiques des rails de roulement et bande utile de contact maximum											
Binaire en laminé cadre UNI 6013 - DIN 1013				Binaire type Burbak - DIN 536				Binaire type Vignole - UNI 3141			
Caractéristiques de la roue		Binaire ( mm )		Typologie du binaire de glissement et bande utile de contact maximum - b ( mm )							
Type ØR ( mm )	Largeur gorge ( mm )	largeur b ( mm )	h ( mm )	Laminé cadre UNI 6013 - DIN 1013 Laminé plat UNI 6014 - DIN 1017	Burbak - DIN 536	Vignole - UNI 3141					
125	type	b1	max.	min.	min.	type	I	b = I - 2r	type	I	b = I - 2r
	standard	50	40	35	30	40	38	=	=	=	=
	Max.	60	50	45	30	50	48	A 45	45	37	21 - 27
160	spécial	70	60	55	30	60	58	A 55	55	45	36
	standard	55	45	40	30	40	38	A 45	45	37	=
	Max.	65	55	50	30	50	48	A 55	55	45	21 - 27
	spécial	80	70	65	30	70	68	A 65	65	53	46
										50	65
										67	46
											49

Tableau 10: Choix du rail

Pour le rail KSN 50.30 ;  $b=I-2r=48\text{mm}$

### c) Détermination des coefficients C1 et C2 :

#### ❖ Détermination du coefficient C1 :

Selon le cahier de charge, Le pont fonctionne avec une vitesse de direction de 20m/min. Le tableau ci-dessous donne le coefficient c1 en fonction du diamètre de galet et de la vitesse.

Galet	Valeurs de $c_1$ en fonction de la vitesse de déplacement [m/min]										
	Diamètre [mm]	10	12,5	16	20	25	32	40	50	63	80
125	1,03	1,00	0,97	0,93	0,90	0,86	0,82	0,77	0,72	0,65	0,60
160	1,06	1,04	1,00	0,97	0,94	0,90	0,86	0,82	0,78	0,72	0,66
200	1,09	1,06	1,03	1,00	0,97	0,93	0,90	0,86	0,82	0,77	0,72
250	1,11	1,09	1,06	1,03	1,00	0,97	0,93	0,90	0,86	0,82	0,78
315	1,13	1,11	1,09	1,06	1,04	1,00	0,97	0,94	0,90	0,86	0,82
400	1,14	1,13	1,11	1,09	1,06	1,03	1,00	0,97	0,94	0,90	0,86

Tableau 11: Détermination du coefficient C1

Le pont roulant fonctionnera avec une vitesse linéaire de 20m/min, pour un diamètre du galet de 125 mm, donc d'après le tableau,  $C1=0,93$ .

#### ❖ Détermination du coefficient C2 :

Le coefficient c2 dépend de la classification de groupe du mécanisme et est donné dans le tableau ci-dessous.

Classification en groupe de mécanisme	$C_2$
$M_1$ et $M_2$	1,25
$M_3$ et $M_4$	1,12
$M_5$	1,00
$M_6$	0,90
$M_7$ et $M_8$	0,80

Tableau 12: Choix du coefficient  $C_2$ 

Le tableau donne une valeur de  $C_2$  correspond à  $C_2=1$  car le mécanisme de type **M5** suivant la norme **ISO**.

**d) Vérification des deux conditions :**

❖ **Première condition**

La première condition exige la vérification de la condition suivante :  $\frac{P_{max}}{b*D} \leq 1.9 * P_l$

$$P_{max}=31500\text{N} ; P_l=6.5\text{Mpa} ; b=48 \text{ mm}$$

Tout calcul fait, on trouve que le diamètre minimal du galet doit vérifier la condition  $D_{min}>53.14\text{mm}$ . Ce qui est bien le cas pour notre galet avec un diamètre de 125mm.

❖ **Deuxième condition :**

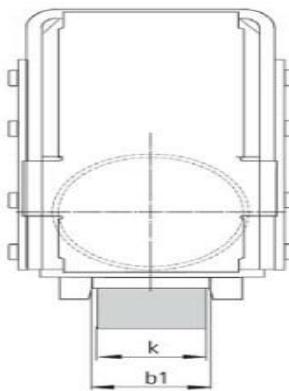
$$\frac{P_{mean}}{b*D} \leq C_1 * C_2 * P_l$$

$$P_{mean}=P_{max}=31500\text{N}$$

L'application numérique donne une valeur de diamètre correspond à  $D_{min}=108.56\text{mm}$  donc la condition est vérifiée.

- e) Détermination de la rainure de galet 125 qui correspondant au type du rail KSN 50.30 avec la norme EN 13135-2.2004(E)

Largeurs des rainures de galet



Type	b1	k
125	50	40
	60	50
	52	40
	62	50
160	72	60
	54	40-45
	64	50-55
	74	60-65
200	54	40-45
	64	50-55
	74	60-65
	84	70-75
250	64	50-55
	74	60-65
	84	70-75
	94	80-85
315	75	60-65
	85	70-75
	95	80-85
	115	100
400		

Tableau 13: Rainure du galet

D'après le tableau normalisé des rainures des galets, pour un rail de 50 mm de largeur, la rainure la plus adapté est celle de 60mm.

**Résultat** : Pour les quatre galets du chariot on va utiliser les galets de diamètre 125mm avec une rainure de 60mm

À ce niveau-là, le galet résiste bien au chargement. D'après les calculs, on a une largeur du rail de l'ordre de 50mm mais l'épaisseur intérieure du galet est de l'ordre de 60mm, et par suite il se peut qu'on ait le problème d'arc-boutement. C'est pourquoi on va effectuer une vérification de l'arc-boutement.

## V. Vérification de l'arc-boutement entre le rail de guidage et le galet :

Le phénomène de l'arc-boutement se traduit par le basculement du galet entraînant une impossibilité de déplacement par rapport au rail de roulement quel que soit l'intensité de l'effort.

Ce blocage peut provoquer la détérioration du galet ou du chemin de roulement.

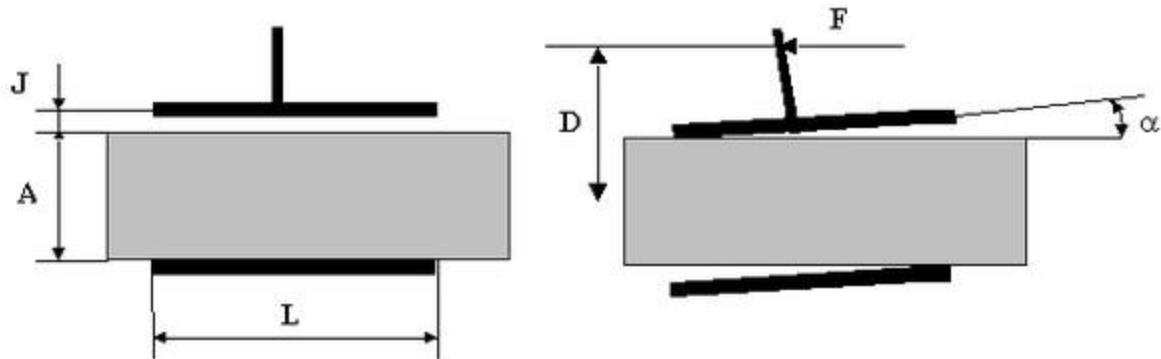


Figure 20: Le phénomène de l'arc-boutement

Pour éviter ce phénomène s'il aura lieu, il faut :

- Augmenter la longueur de guidage (ce n'est pas possible pour notre cas puisque la longueur est fixé par la géométrie du galet).
- Diminuer le jeu de guidage en augmentant le plus possible la largeur du rail.

**Remarque :** L'effort qui sera responsable de ce phénomène est l'effort tangentiel provenant du réducteur à engrenages, car le poids supporté par le galet ne peut pas créer un problème d'arc-boutement puisqu'il est situé sur l'axe de la liaison.

La condition de non arc-boutement est :  $D \leq \frac{L}{2f}$

Avec :

- D : Distance entre la direction de l'action mécanique et l'axe de la liaison
- L : Longueur de guidage
- f : coefficient d'adhérence entre les surfaces de contact

- **Détermination du coefficient f**

Matériaux en contact	f
Acier / acier (surface polie)	0,2
Acier / bronze lubrifié	0,07
Pneu / chaussée sèche	0,6
Pneu / chaussée verglacée	0,1

Tableau 14: Coefficient d'adhérence entre les différents matériaux

On a un contact acier/acier sans lubrification donc  $f=0.2$

- **Détermination de la distance D**

D est la distance entre la direction de l'action mécanique du réducteur et l'axe de la liaison sur le galet

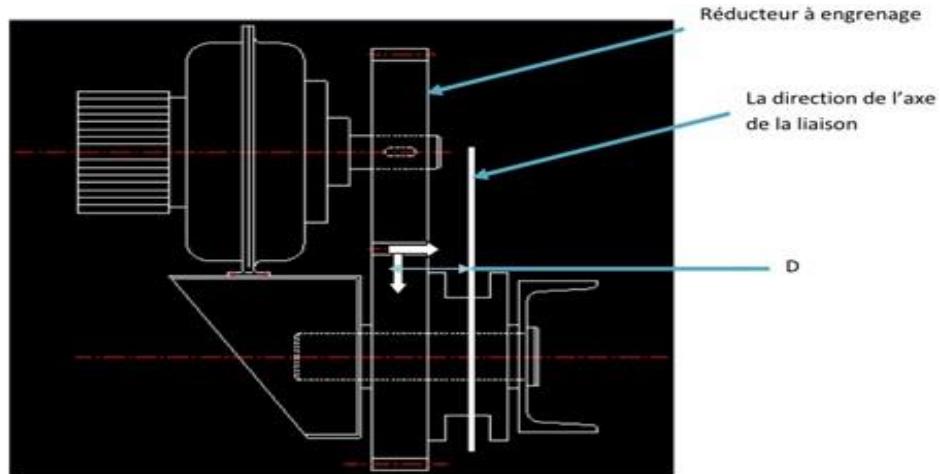


Figure 21: Moteur, réducteur, et galet

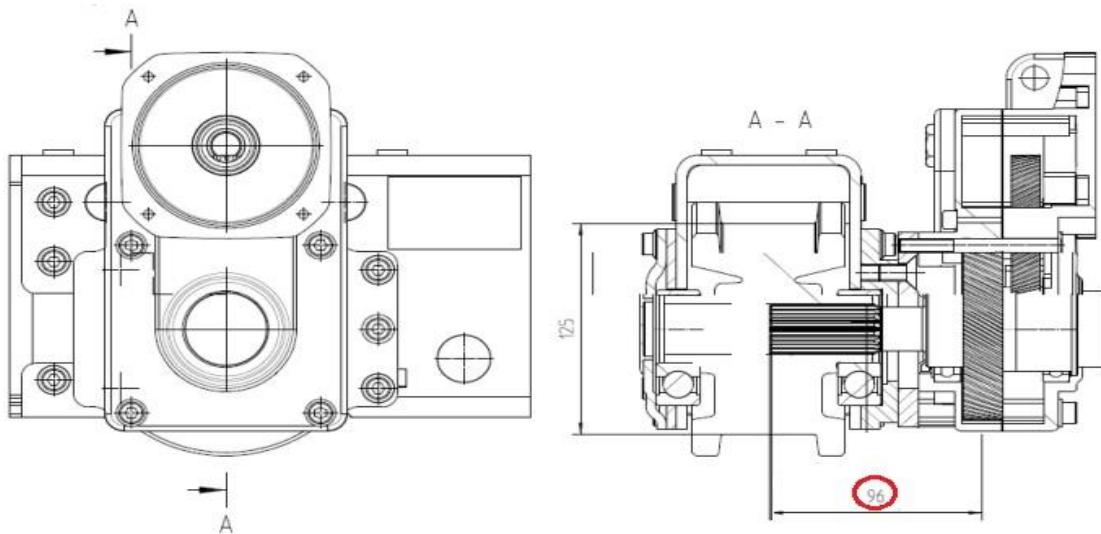


Figure 22: Ensemble galet 125mm avec réducteur

La distance D=96mm d'après le schéma du l'ensemble galet réducteur.

- **Détermination de la distance L**

La distance L est la longueur de guidage c'est-à-dire la longueur de contact entre le rail et le galet.

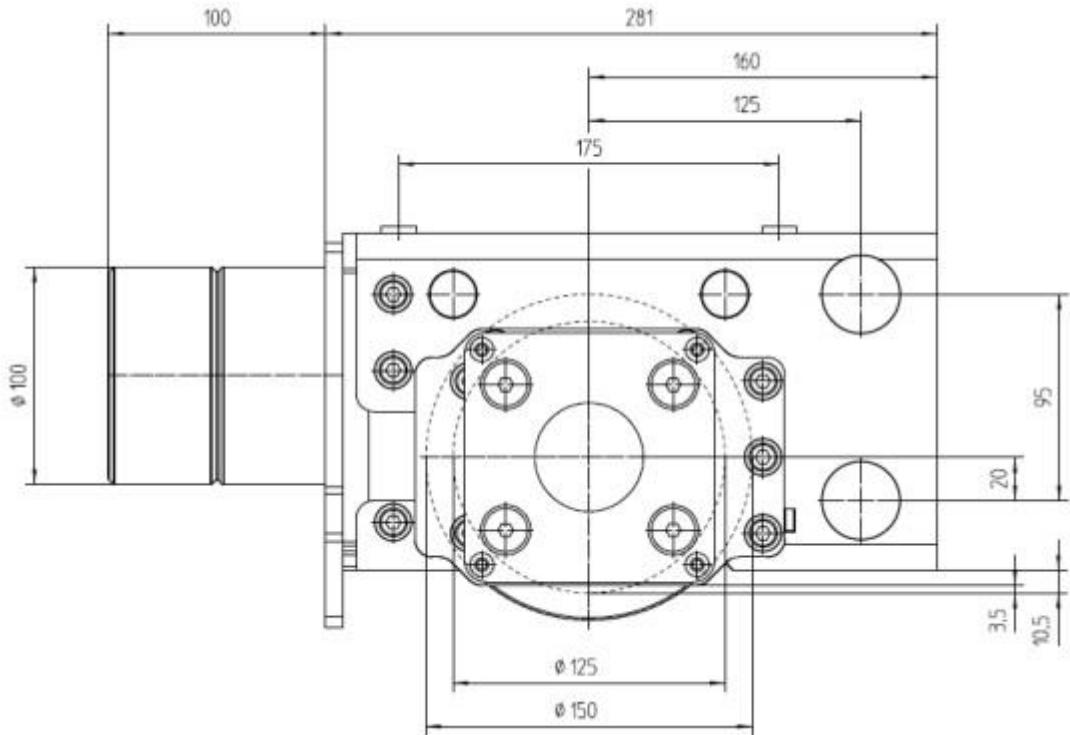


Figure 23: Galet 125mm

Pour mesurer la distance L je dois calculer la tangent de la surface intérieur de la rainure du galet qui passe par l'extrémité du galet et pour faciliter la mesure je vais utiliser catia V5

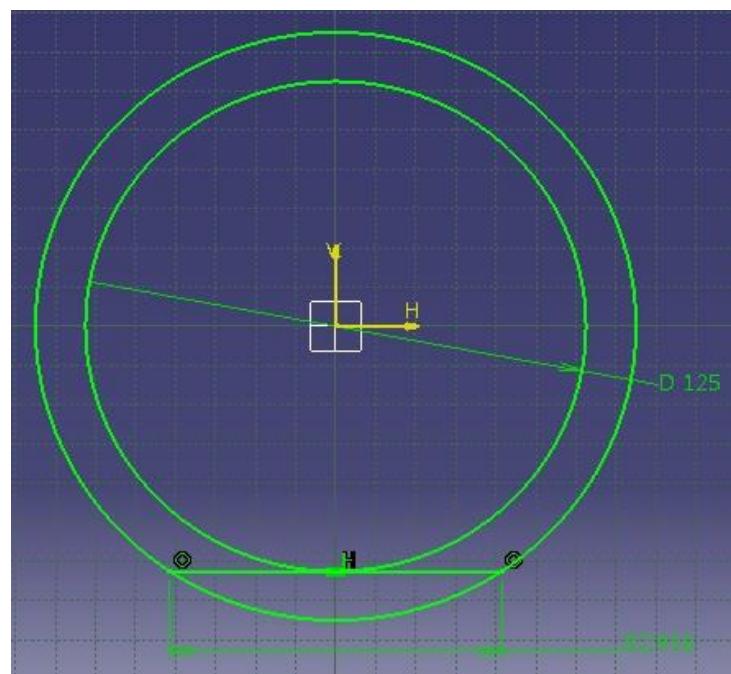


Figure 24: Mesure de la distance L

La longueur de guidage est  $L = 82.916\text{mm}$ .

$$D \leq \frac{L}{2f}$$

L'application numérique donne la distance entre la direction de l'action mécanique et l'axe de la liaison doit vérifier  $D \leq 207.29$

Et puisque on a une distance  $D=96 \text{ mm} < 207.29 \text{ mm}$

Donc on n'aura pas le problème de l'arc-boutement.

## VI. Dimensionnement de la poutre principale :

On a un pont bipoutre donc la charge va repartie sur deux poutres, et pour chaque poutre la sollicitation maximale se trouve à la moitié de la poutre donc :

La charge = 12 t = 120 KN

Poids du palan = 0.67 t = 6.7 KN

$(120 + 6.7)/2 = 63.35 \text{ KN}$

### 1. Modélisation :

La poutre principale est appuyée sur deux appuis simples dans les deux extrémités

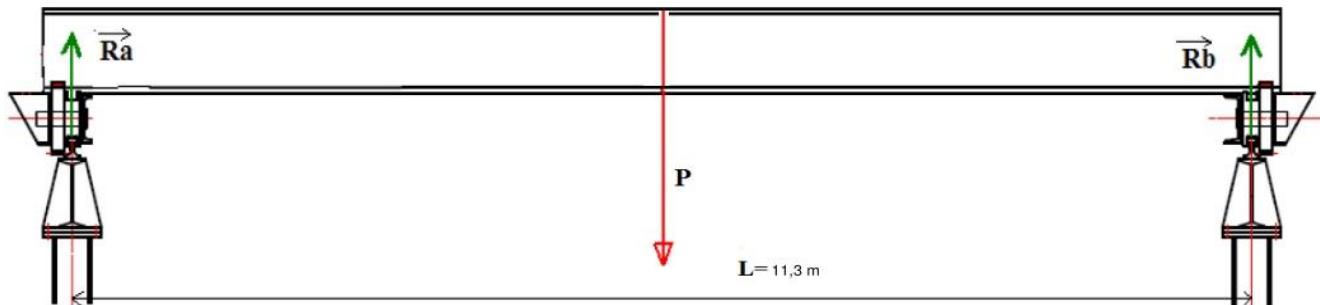


Figure 25: Modèle adopté pour la poutre principale

Le moment de flexion maximale est donnée par :

$$M_f = \frac{PL}{4} = \frac{63350 * 11.3}{4} = 178963.75 \text{ N.m}$$

## 2. Choix du profilé adéquat :

Pour choisir le profilé adéquat de la poutre principale, il faut vérifier la condition suivant :

$\sigma_{max} < \sigma_{adm}$  , avec :

- $\sigma_{max} = \frac{M_f}{I_z} \cdot y = \frac{M_f}{W_{Iz}}$  : La contrainte maximale dans la poutre
- $M_f$  : Moment de flexion
- $I_z$  : Moment quadratique de la section
- $W_{Iz} = \frac{I_z}{y_{max}}$  : Module de flexion
- $\sigma_{max}$  : La contrainte admissible du matériau

**Remarque :** choix du matériau

Le matériau qui existe dans les ateliers est l'acier E24 laminé à chaud d'une contrainte admissible  $\sigma=235\text{Mpa}$

Il faut choisir un profilé dont le module de flexion vérifié vérifie l'inégalité  $W_{Iz} > \frac{M_f}{\sigma_{adm}}$

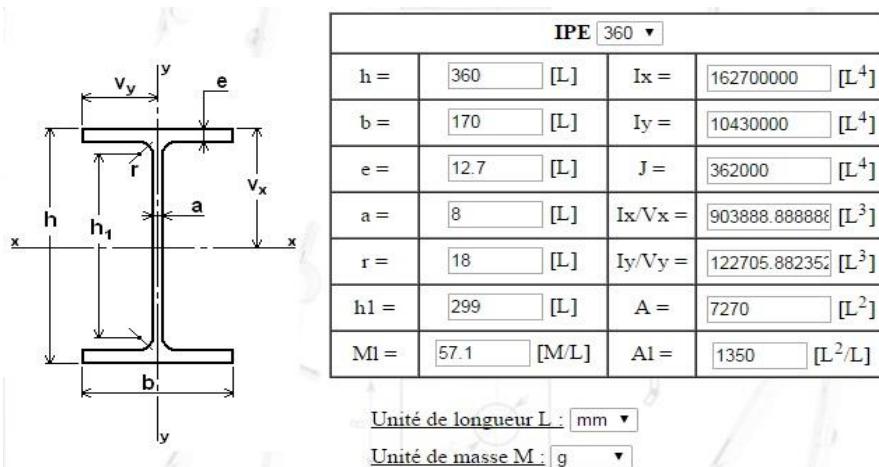
AN :  $W_{Iz} > \frac{178963.75}{235}$  Donc il faut que  $W_{Iz} > 761.55 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

D'après les catalogues des profilés (SZS) (annexe 1) les profilés candidats sont :

Désignation	Masse (Kg/m)	Module de flexion (cm3)
IPE360	57.1	904
HEB240	83.2	938
HEA260	68.2	836

*Tableau 15: Les profilés candidats pour la poutre principale*

Le profilé qui permet une minimisation de la masse est le profilé IPE 360, qui a les caractéristiques suivantes :



*Figure 26: Caractéristiques du profilé IPE 360*

Par la suite, Je vais effectuer une analyse du comportement du profilé trouvé en utilisant le logiciel Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014

### 3. La flèche :

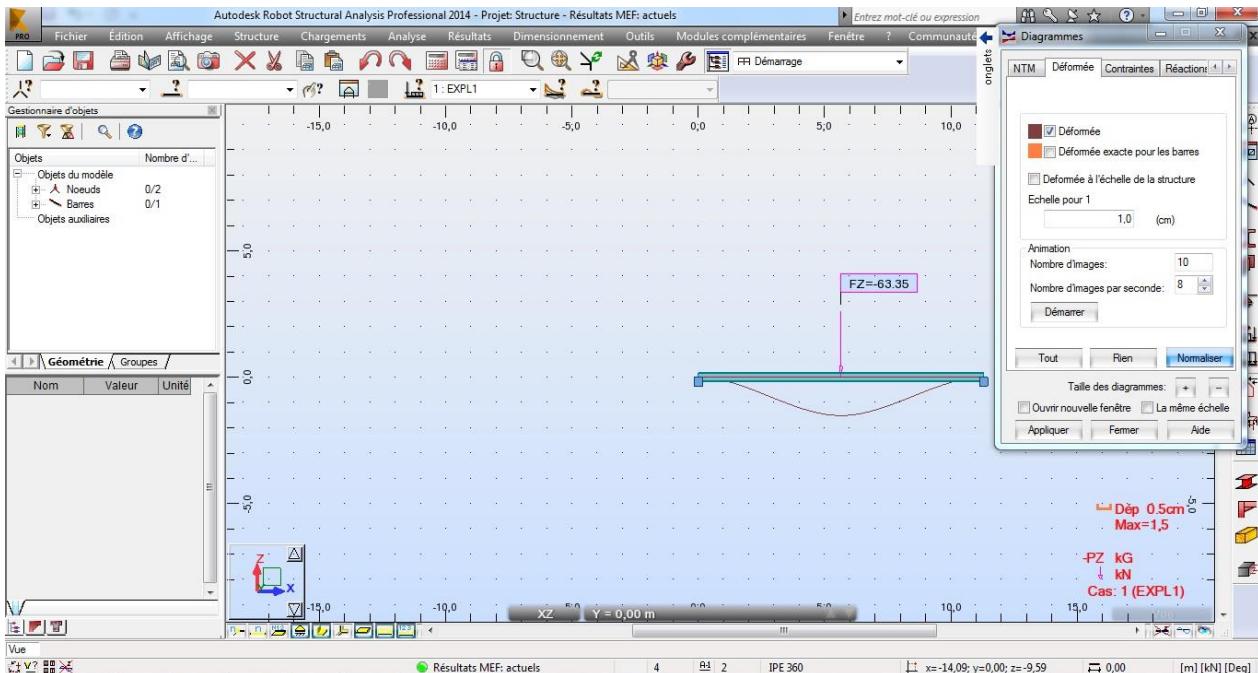


Figure 27: Variation de la flèche du profilé IPE360

La figure montre que la déformée maximale au point d'application de la charge de 63.35KN est correspond à  $f=1.5$  cm.

La flèche admissible est déterminera selon la NF P22-615.

GROUPE D'UTILISATION	FLECHE ADMISSIBLE
1-2	L/500
3-4	L/750
5-6	L/1000

Tableau 16: Flèche admissible pour poutre de roulement

Pour notre système la flèche admissible est  $f_{adm} = \frac{L}{1000}$

$$AN: f_{adm} = \frac{L}{1000} = \frac{11300}{1000} = 11.3 \text{ mm}$$

**Conclusion :** La flèche maximale du profilé IPE360 est supérieure à la flèche admissible, ce qui explique que le profilé choisi n'est pas validé donc on va refaire le choix

D'après les catalogues des profilés (Szs) (annexe 1) les profilés candidats sont :

Désignation	Masse (Kg/m)	Module de flexion (cm3)
IPE400	66.3	1160
HEB240	83.2	938
HEA260	68.2	836

Tableau 17: Les profilés candidats pour la poutre principale

Le profilé qui permet une minimisation de la masse est le profilé IPE 400, qui a les caractéristiques suivantes :

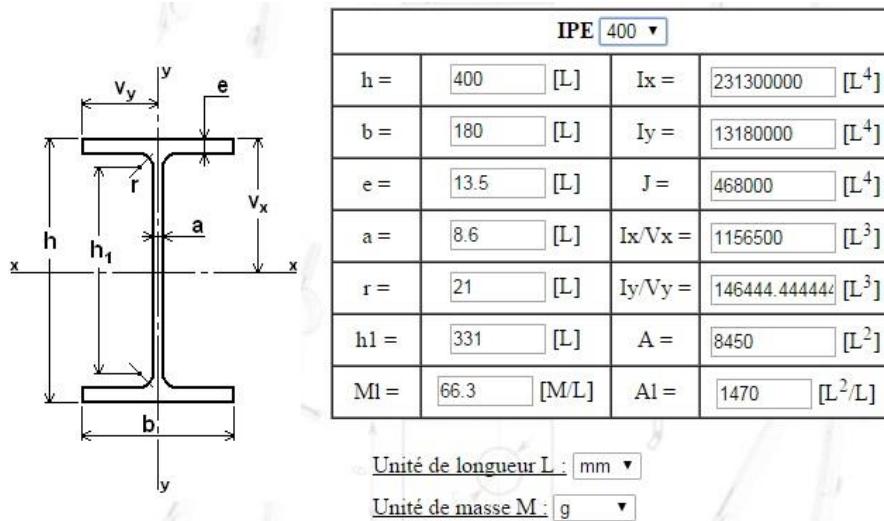


Figure 28: Caractéristiques du profilé IPE 400

## ❖ La flèche

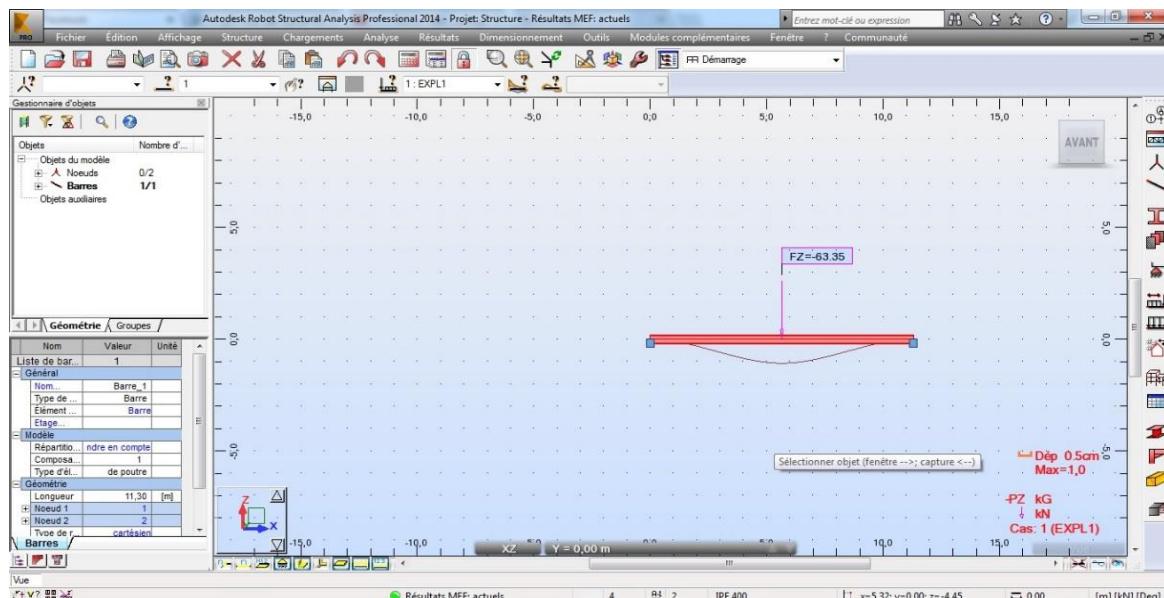


Figure 29: Variation de la flèche du profilé IPE400

La figure montre que la déformée maximale au point d'application de la charge de 63.35KN est correspond à  $f=1.0$  cm.

**Conclusion :** La flèche maximale du profilé IPE400 est inférieur à la flèche admissible, ce qui explique la validité du profilé choisi.

#### 4. Distribution des contraintes normales :

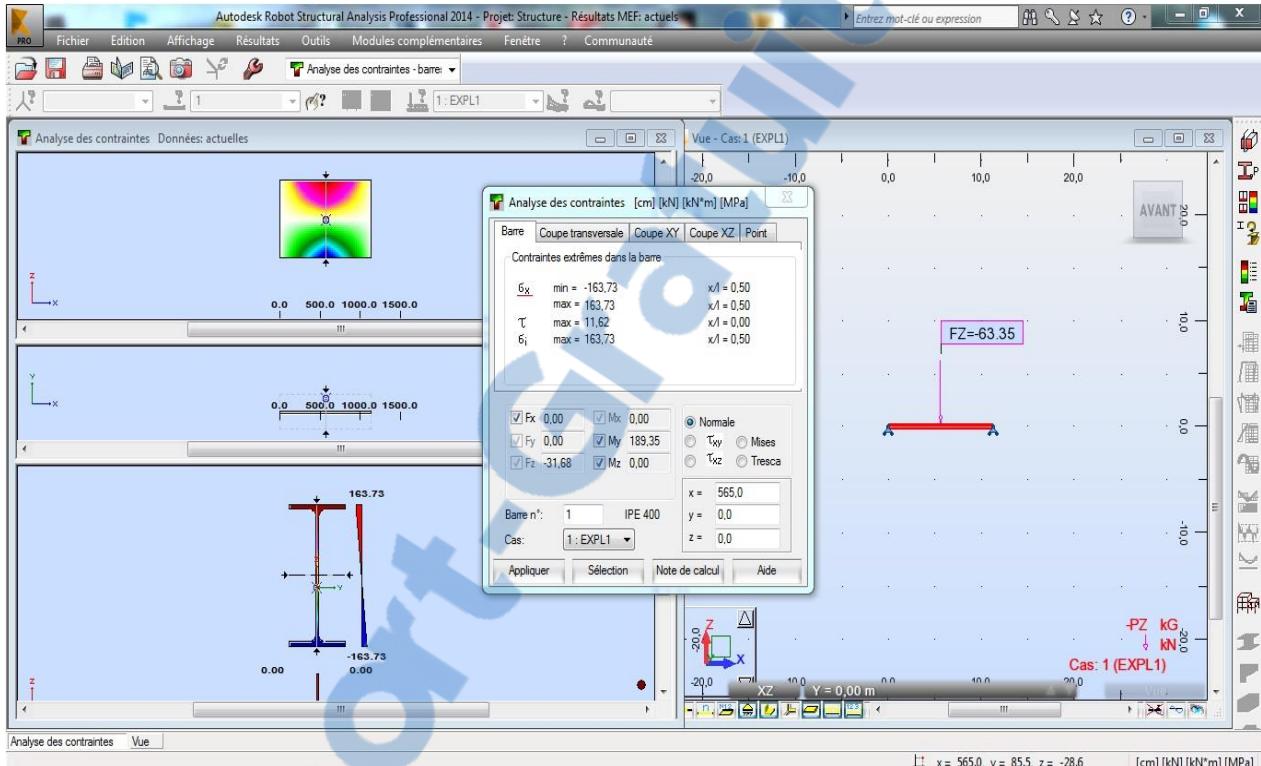


Figure 30: Distribution de la contrainte normale du profilé IPE400

La contrainte maximale ( $\sigma_{max} = 163.73 \text{ MPa}$ ) est bien inférieure à la contrainte admissible, donc le profilé choisi va bien résister au chargement imposé (voir la note de calcul annexe 2).

## 5. Validation finale de la barre avec l'Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014 :

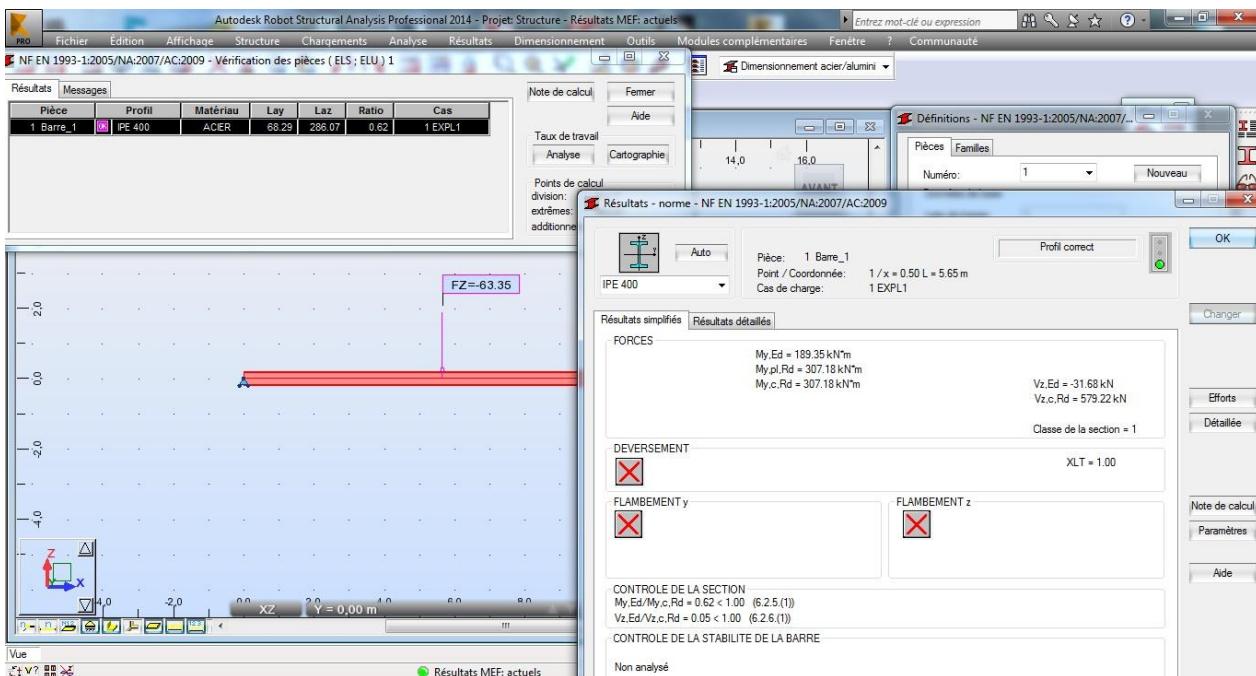


Figure 31: Validation finale du profilé IPE360

En utilisant le dimensionnement automatique du robot le profilé est bien validé (voir la note de calcul annexe 3)

## VII. Vérification des galets du chemin de roulement :

Conditions de calcul :

- 4 roues, 2 roues entraînées
- Avec charge, le centre de gravité se situe à 0,9 x portée
- Poids du chariot représentant 10% de la charge totale
- Poids du pont représentant 35% de la charge totale

### 1. Sélection du galet :

➤ Parmi les données nécessaires du pont roulant, il y a :

- ❖ la charge nominale de levage  $Q_{nom}$ ,
- ❖ la portée  $s$  du pont roulant,
- ❖ les vitesses de levage, de direction et de translation.

Sur la base de ces données et en utilisant le tableau Caractéristiques moyennes des ponts roulants usuels de type bipoutre on peut trouver :

- ❖ L'empattement (écartement (a) des galets).
- ❖ Le diamètre des galets,

Charge nominale $Q_{nom}$	Portée $s$	Positions extrêmes		Dimensions			Course du crochet	Vitesses de levage <sup>1)</sup> $v_y$	Charges sur un galet <sup>2)</sup>	
		$g_{min}$	$e_{min}$	$b$	$x$	$a$			$Q_{r,max}$	$Q_{r,min}$
[kN]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m/min]	[kN]	[kN]	
80	10	5	700	200/300	1360	2300	6000	5/0.8	52.85	10.80
	12	5			1360	2300			55.90	13.00
	15	5			1360	2800			61.00	17.05
	18	5			1360	3300			64.80	20.45
	20	5			1360	3300			65.60	18.40
	25	-115			1480	4000			69.10	23.90
100	30	-115			1480	4800			77.10	31.60
	10	5	700	200/300	1360	2300	6000	4/0.6	64.10	11.95
	12	5			1360	2300			66.85	13.60
	15	5			1360	2800			73.40	18.75
	18	5			1480	3300			77.10	21.90
	20	5			1480	3300			73.70	18.20
125	25	-115			1480	4000			81.45	25.30
	30	-115			1480	4800			89.70	33.15
	10	190	885	200/300	1490	2300	6000	5/0.8	78.50	13.80
	12	190			1490	2300			81.80	15.60
	15	190			1490	2800			88.60	20.50
	18	190			1490	3300			92.50	23.80
125	20	80			1600	3300			88.50	19.30
	25	80			1600	4000			96.60	26.45
	30	80			1600	4800			105.80	35.10

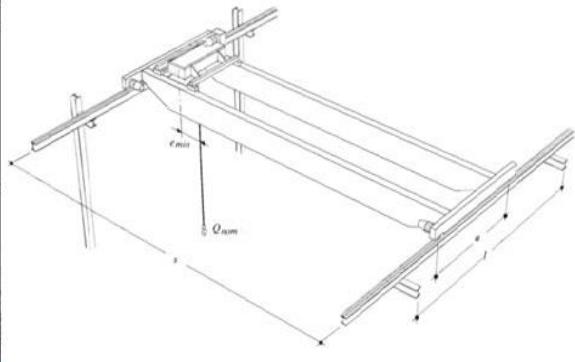


Tableau 18: Les ponts roulants bipoutre usuels

Pour notre cas la charge  $Q_{nom}=120\text{KN}$  et la portée  $S = 11.3$  on trouve dans le tableau (avec les données les plus proches  $Q_{nom}=125\text{KN}$  et  $S=12\text{m}$ ) :

$$Q_{r,max} = 81.80\text{KN}$$

$$Q_{r,min} = 15.60\text{KN}$$

Donc pour un galet la charge maximal  $P_{max}=81.80\text{KN}=8180\text{Kg}$ .

D'où d'après le tableau de sélection du diamètre du galet on a  $D=200\text{mm}$

Type d'ensemble galet	Charge statique max. permissible au galet kg
125	5000
160	7000
200	10000
250	16000
315	22000
400	30000

*Rapport-gratuit.com*  
Tableau 19: Choix du diamètre du galet  
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

## 2. Calcul de vérification suivant les règles de la norme ISO 16881-1 et la norme FEM :

On va utiliser la même méthode de calcul des galets du chariot il faut :

- Vérifier que le galet va résister au chargement maximal auquel il sera objet.
- vérifier que le galet va permettre à l'appareil d'effectuer son service normal sans usure anormale.

Ces deux vérifications sont assurées par les deux équations suivantes :

$$\frac{P_{max}}{b*D} \leq 1.9 * P_l \quad (1)$$

$$\frac{P_{mean}}{b*D} \leq C_1 * C_2 * P_l \quad (2)$$

Avec  $P_l = 6.5 \text{ MPa}$  ;  $b=48$  ;  $C_2 = 1$  ;  $P_{max} = P_{mean} = 81800 \text{ KN}$

### ❖ Détermination du coefficient C1 :

Selon le cahier de charge, Le pont fonctionne avec une vitesse de translation de 32m/min. Le tableau ci-dessous donne le coefficient c1 en fonction du diamètre de galet et de la vitesse.

Galet	Valeurs de $c_1$ en fonction de la vitesse de déplacement [m/min]										
	Diamètre [mm]	10	12.5	16	20	25	32	40	50	63	80
125	1,03	1,00	0,97	0,93	0,90	0,86	0,82	0,77	0,72	0,65	0,60
160	1,06	1,04	1,00	0,97	0,94	0,90	0,86	0,82	0,78	0,72	0,66
200	1,09	1,06	1,03	1,00	0,97	0,93	0,90	0,86	0,82	0,77	0,72
250	1,11	1,09	1,06	1,03	1,00	0,97	0,93	0,90	0,86	0,82	0,78
315	1,13	1,11	1,09	1,06	1,04	1,00	0,97	0,94	0,90	0,86	0,82
400	1,14	1,13	1,11	1,09	1,06	1,03	1,00	0,97	0,94	0,90	0,86

Tableau 20: Détermination du coefficient C1

Le pont roulant fonctionnera avec une vitesse linéaire de 32m/min, pour un diamètre du galet de 200 mm, donc d'après le tableau,  $C1=0.93$ .

### a) Vérification des deux conditions :

#### ❖ Première condition

La première condition exige la vérification de la condition suivante :  $\frac{P_{max}}{b*D} \leq 1.9 * P_l$

$P_{max}=81800 \text{ N}$  ;  $P_l=6.5 \text{ MPa}$  ;  $b=48 \text{ mm}$

Tout calcul fait, on trouve que le diamètre minimal du galet doit vérifier la condition  $D_{min}>138 \text{ mm}$ . Ce qui est bien le cas pour notre galet avec un diamètre de 200mm.

❖ Deuxième condition :

$$\frac{P_{mean}}{b*D} \leq C_1 * C_2 * P_l$$

$$P_{mean}=P_{max}=31500N$$

L'application numérique donne une valeur de diamètre correspond à  $D_{min}=281.91\text{mm}$ . Donc la condition n'est pas vérifier d'où en va choisir le galet du diamètre  $D_{min}>281.91\text{mm}$  et d'après le tableau (Choix du diamètre du galet) on va choisir le galet du diamètre 315mm et en va changer,  $C_1=1$  d'après tableau (Détermination du coefficient C1) on va vérifier la deuxième condition  $\frac{P_{mean}}{b*D} \leq C_1 * C_2 * P_l$

Tout calcul fait, on trouve que le diamètre minimal du galet doit vérifier la condition  $D_{min}>262.18\text{mm}$ . Ce qui est bien le cas pour notre galet avec un diamètre de 315mm.

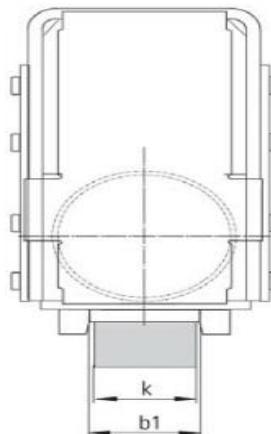
**Conclusion :** les deux conditions sont vérifier avec le galet 315, donc, nous avons bien vérifié que :

-le galet va résister au chargement maximal auquel il sera objet.

-le galet va permettre à l'appareil d'effectuer son service normal sans usure anormale.

**b) Détermination de la rainure de galet 125 qui correspondant au type du rail KSN 50.30 avec la norme EN 13135-2.2004(E)**

**Largeurs des rainures de galet**



Type	b1	k
125	50	40
	60	50
160	52	40
	62	50
200	72	60
	54	40-45
250	64	50-55
	74	60-65
315	54	40-45
	64	50-55
315	74	60-65
	84	70-75
315	64	50-55
	74	60-65
400	84	70-75
	94	80-85
400	75	60-65
	85	70-75
400	95	80-85
	115	100

**Tableau 21: Rainure du galet**

D'après le tableau normalisé des rainures des galets, pour un rail de 50 mm de largeur, la rainure la plus adaptée est celle de 64mm.

**Résultat** : Pour les quatre galets du chariot on va utiliser les galets de diamètre 315mm avec une rainure de 64mm

**Remarque** : On n'a pas besoin de faire une vérification de l'arc-boutement parce que la longueur de guidage est supérieur à celle de galette du chariot donc les calculs sont automatiquement vérifier.

## VIII. Dimensionnement du chemin de roulement :

### 1. Choix du profilé adéquat :

Dans un premier lieu d'après le cahier de charge du l'ONCF la longueur du chemin du roulement est de 100m avec la distance de 5m entre les poteaux, donc la poutre sera d'une longueur de 5m et encastrés des 2 cotées, La section de cette poutre est la section d'un profilé qui va résister à la flexion et dont les caractéristiques vont être trouvé par la suite.

D'après le tableau des caractéristiques moyennes des ponts roulants usuels de type bipoutre :

$$Q_{r,max} = 81.80 \text{ KN}$$

$$Q_{r,min} = 15.60 \text{ KN}$$

Et selon la norme EN 10025 pour dimensionner les profilés du chemin du roulement on va utiliser la

$$\text{relation suivant : } w(Q_{ser}) = \frac{0.0215 Q_{ser} l^3}{EI_y} \leq w_{lim}$$

$$w_{lim} = \frac{l}{700} = \frac{5000}{700} = 7.14 \text{ mm}$$

$$\text{Avec } Q_{ser} = Q_{r,max}$$

Le moment d'inertie nécessaire est déterminé à l'aide de l'abaque SZS, avec :

$$I_y \geq \frac{0.0215 Q_{ser} l^3}{E w_{lim}} = \frac{0.0215 * 81.8 \text{ KN} * (5000 \text{ mm})^3}{210 \text{ KN/mm}^2 * 7.14 \text{ mm}} = 146.62 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

- D'après les catalogues des profilés Szs (annexe 4) Les profilés candidats sont :

Désignation	Masse (Kg/m)	$I_y(10^6 mm^4)$
HEB 260+KSN 50.30	105	167.3
HEA 280+KSN 50.30	88.2	155.8

Tableau 22: Les profilés candidats pour la poutre du chemin de roulement

Le profilé qui permet une minimisation de la masse est le HEA 280 qui a les caractéristiques suivantes :

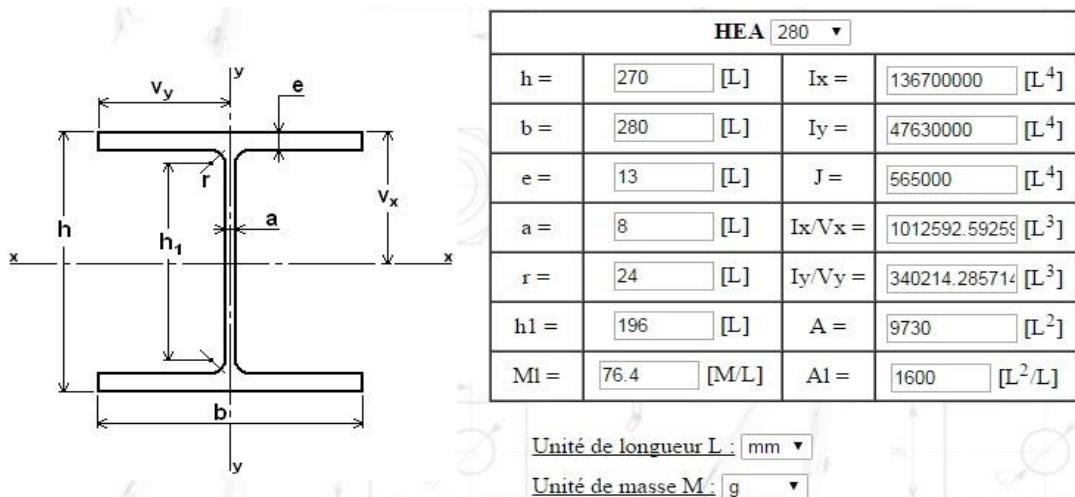


Figure 32: Caractéristiques du profilé HEA280

Remarque : le rail KSN 50.30 est automatiquement vérifier d'après les tables Szs donc celui qu'on va le utiliser pour la poutre principale et la poutre du chemin du roulement

Par la suite, Je vais effectuer une analyse du comportement du profilé trouvé en utilisant le logiciel Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014

## 2. Vérification du profilé avec Robot :

Pour modéliser la charge des deux galets on va créer une charge roulant avec Robot de 81.8KN pour chaque galet avec une distance de 2.3m (d'après tableau caractéristiques moyennes des ponts roulants usuels de type bipoutre  $a=2300\text{mm}$ )

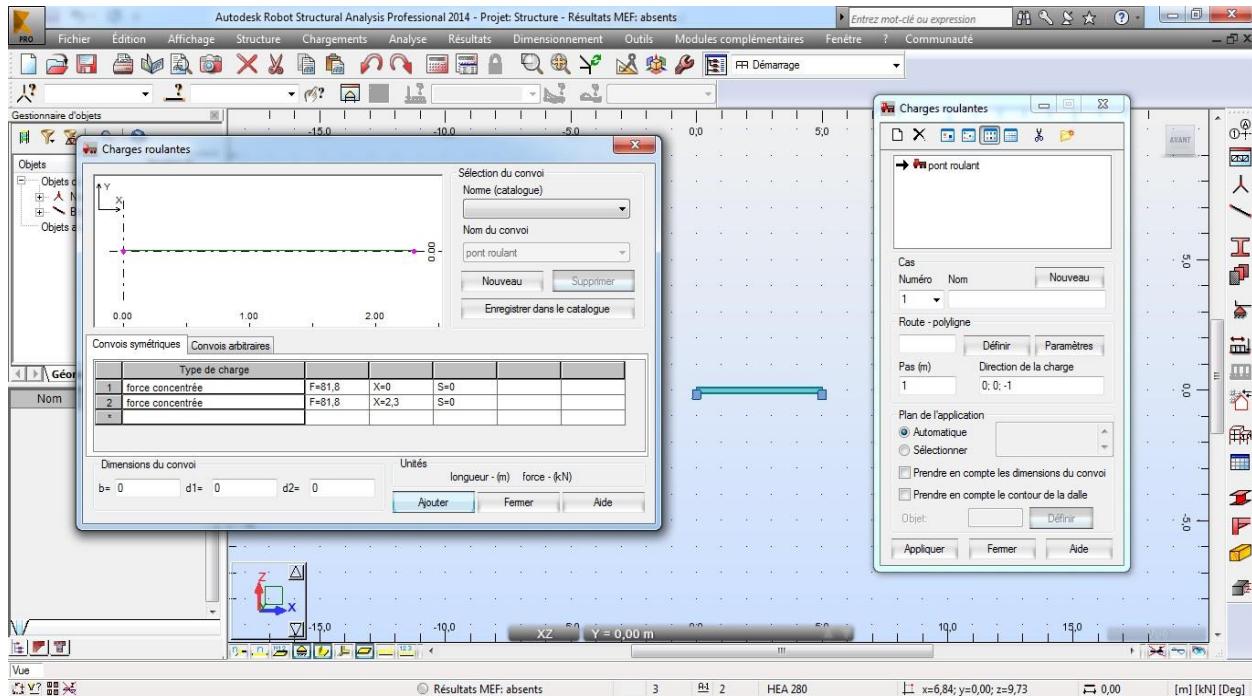


Figure 33: Création d'une charge roulant

Après la création de la charge on va vérifier le dimensionnement de la barre avec la norme

NF-EN 1993-1

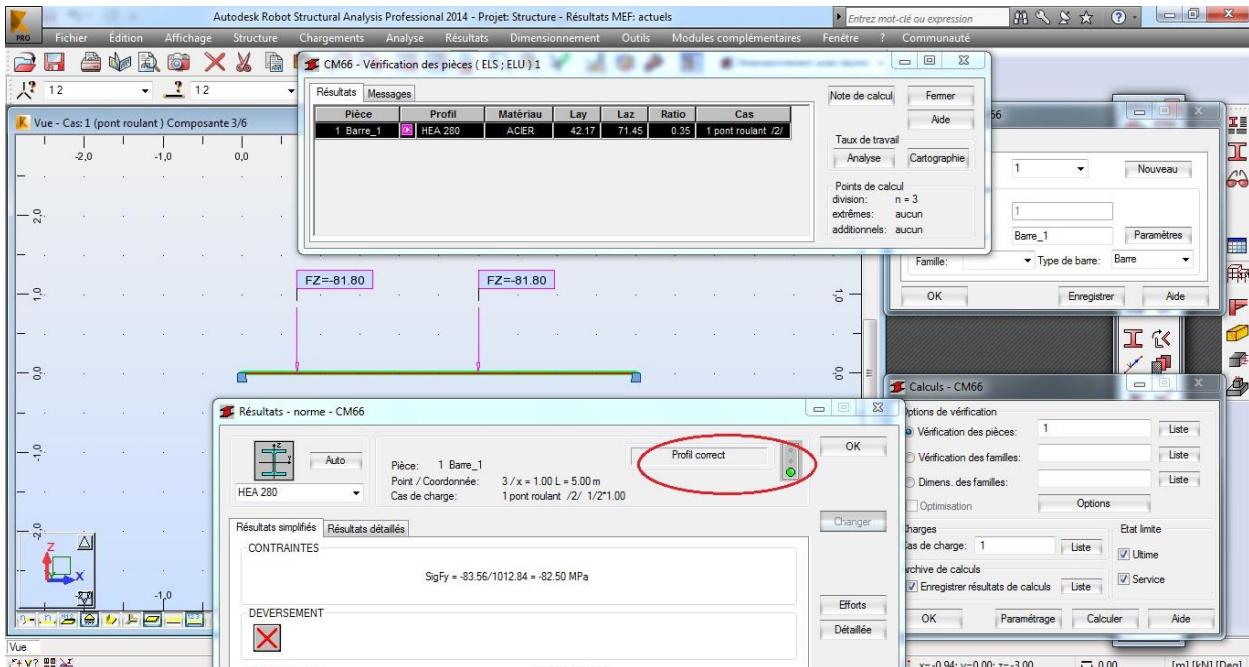


Figure 34: Validation finale du profilé HEA280

La barre HEA280 est bien validée avec Robot (Voir la note de calcul annexe 5)

## IX. Calcul de flambement des poteaux :

Le flambage ou flambement est un phénomène d'instabilité d'une structure, qui soumise à un effort normal de compression, a tendance à fléchir et se déformer dans une direction perpendiculaire à l'axe de compression.

### 1. Calcul de l'effort normal sur un poteau :

Chaque poteau supporte les charges suivantes :

- Charge sur un galet 81.8KN
- Poids de la poutre support du chemin du roulement et le rail  
 $P=88.2*5=441\text{Kg}=0.441\text{T}=4.41\text{KN}$
- La force normale maximale est  $N=86.21\text{ KN}$

### 2. Vérification de la résistance au flambage :

La vérification du flambage du poteau consiste à comparer l'effort normal exercé sur le poteau avec la charge critique d'Euler.

La charge critique d'Euler est donnée par la formule suivante  $N_c = \frac{\pi^2 E I_{gz}}{l_f^2}$

Avec :

$I_{gz}$  : Le moment quadratique de la poutre

E : Module d'Young.

$l_f$  : La longueur de flambement de la poutre (calculé en fonction des liaisons aux appuis)

#### a) Calcul de La longueur de flambement de la poutre $l_f$

Le poteau est libre et encastres sur la terre donc  $l_f = 2 * l_0$

AN :

$l_f = 2 * l_0 = 2 * 7.4 = 14.8\text{m}$  (d'après le cahier de charge de l'ONCF la hauteur de levage = 7.4m)

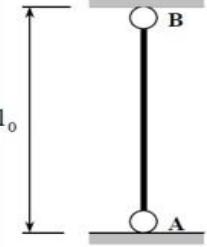
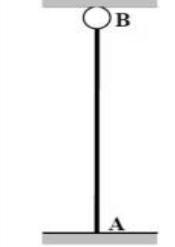
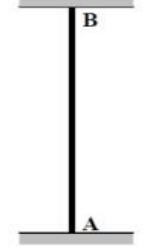
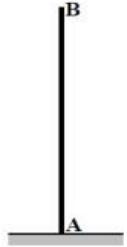
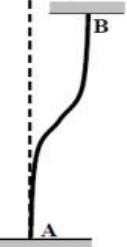
Longueur de flambement $l_f$ en fonction des liaisons aux appuis				
A et B sont sur la même verticale		Déplacement de B en tête de poteau		
				
$l_f = l_0$	$l_f = \frac{\sqrt{2}}{2} l_0$	$l_f = \frac{l_0}{2}$	$l_f = 2 l_0$	$l_f = l_0$

Figure 35: Choix de la longueur de flambement

### 3. Choix du profilé adéquat :

Pour que le poteau résiste au flambement, il faut que  $N < N_c$

$$\text{C'est-à-dire : } N_c < \frac{\pi^2 E I_{gz}}{l_f^2}$$

$$\text{D'où le moment quadratique minimale : } I_{gz} > \frac{N l_f^2}{\pi^2 E}$$

$$\text{Donc il faut un moment quadratique } I_{gz} > 9.11 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

➤ D'après les catalogues des profilés Szs (annexe 6) Les profilés candidats sont :

Désignation	Masse (Kg/m)	$I_z (10^6 \text{ mm}^4)$
IPE 360	57.1	10.4
HEB 180	51.2	13.6
HEA 180	35.5	9.25

Tableau 23: Les profilés candidats pour les poteaux

Le profilé qui permet une minimisation de la masse est le HEA 180 qui a les caractéristiques suivantes :

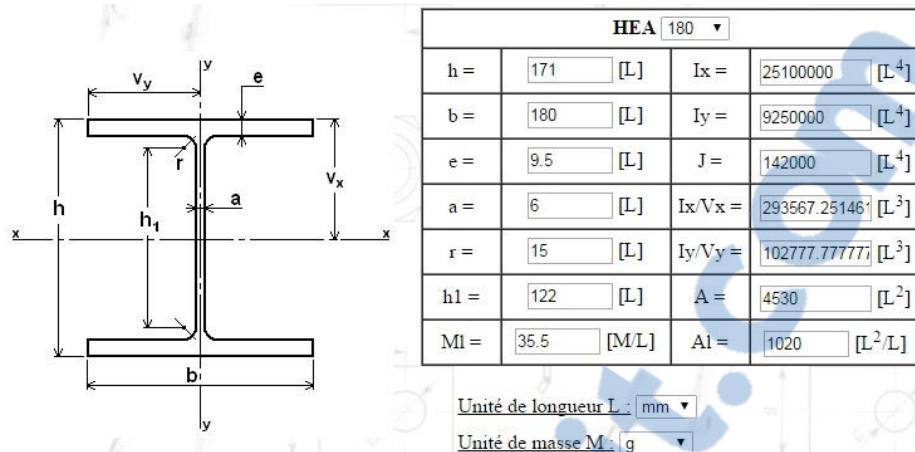


Figure 36: Caractéristiques du profilé HEA180

Par la suite, Je vais effectuer une analyse du comportement du profilé trouvé en utilisant le logiciel Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014

#### 4. Vérification du profilé avec Robot :

Pour vérifier le profilé barre avec la norme NF-EN 1993-1 on va appliquer une charge de 86.21 KN sur la surface la plus haut et encastrer la barre à l'autre côté.

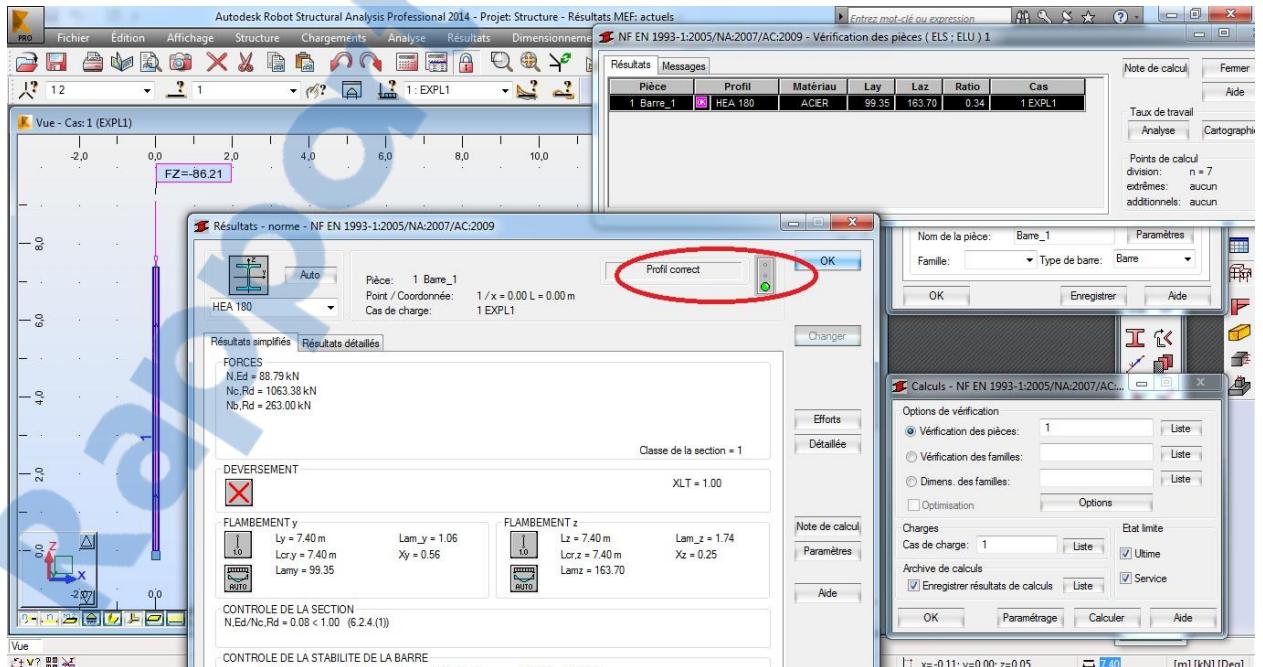


Figure 37: Validation finale du profilé HEA180

Le poteau HEA180 est bien validé avec Robot (Voir la note de calcul annexe 7)

## X. Dimensionnement des barres de contreventement :

La force horizontale longitudinale due à l'accélération ou au freinage du pont roulant, est transmise directement par la poutre de roulement au point fixe longitudinal. Celui-ci est en général réalisé par un contreventement longitudinal vertical. Le contreventement est dans un plan vertical passant par la poutre de roulement, c'est le cas lorsque la voie de roulement constitue une structure indépendante.

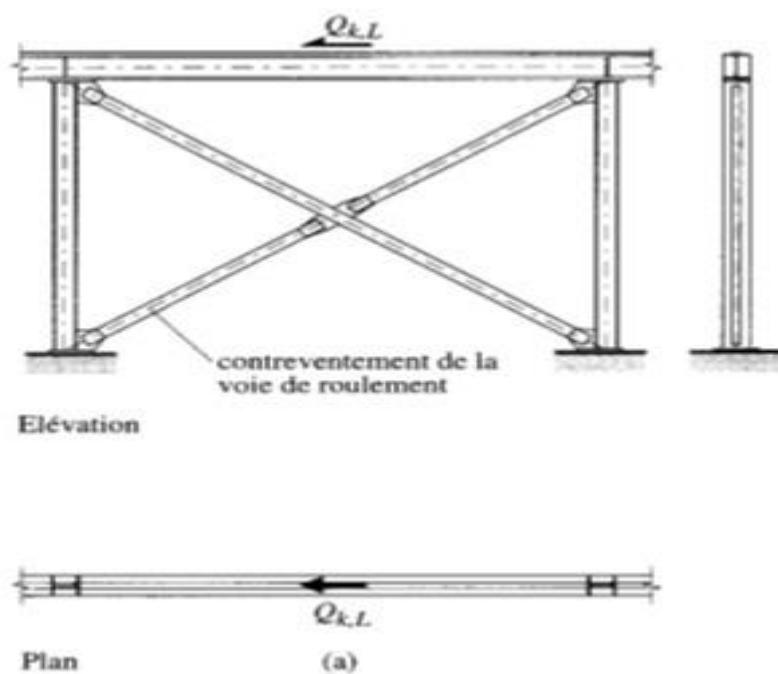
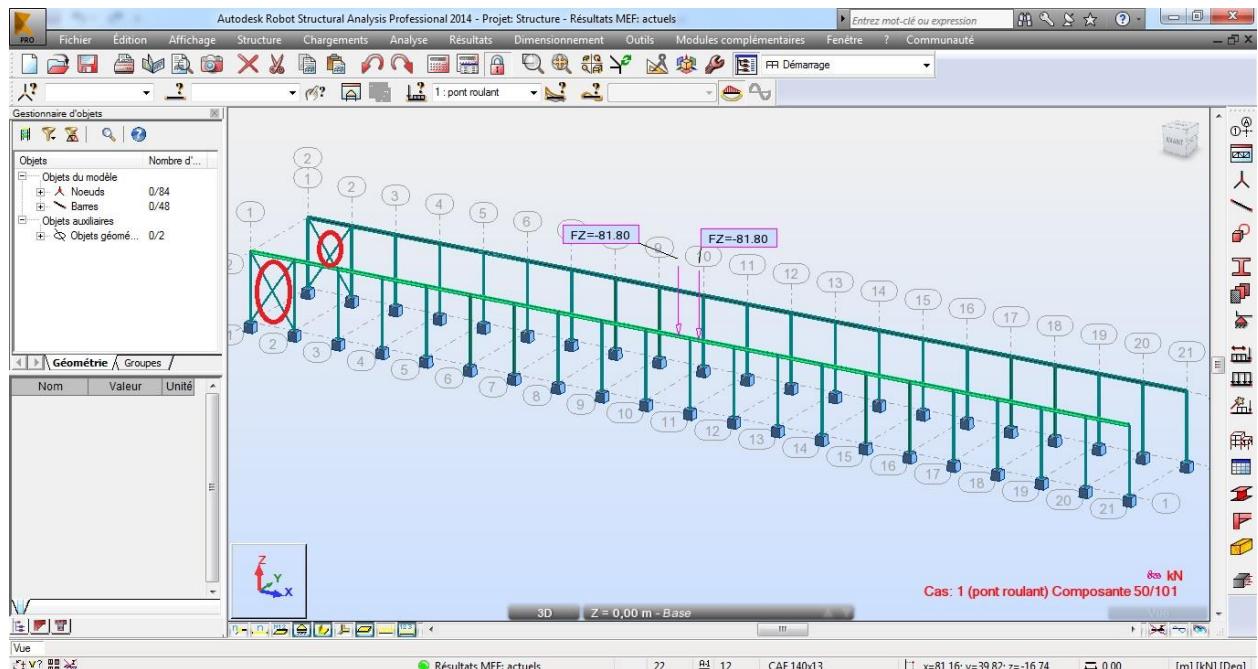


Figure 38: Cheminement des forces horizontales

- L'emplacement des contreventements dans l'ensemble de la structure

Pour renforcer la structure il suffit d'ajouter les cornières sous forme de crois une seul fois entre deux poteaux pour le long du chemin de roulement



**Figure 39: Les contreventements**

Le dimensionnement va être automatiquement avec Robot Structural analysis.

**b) Dimensionnement avec l'Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014**

Pour dimensionner les contreventements on va modéliser toute la structure en 3D et on va appliquer les charges roulantes des deux gales, puis on va appliquer le dimensionnement automatique du robot.

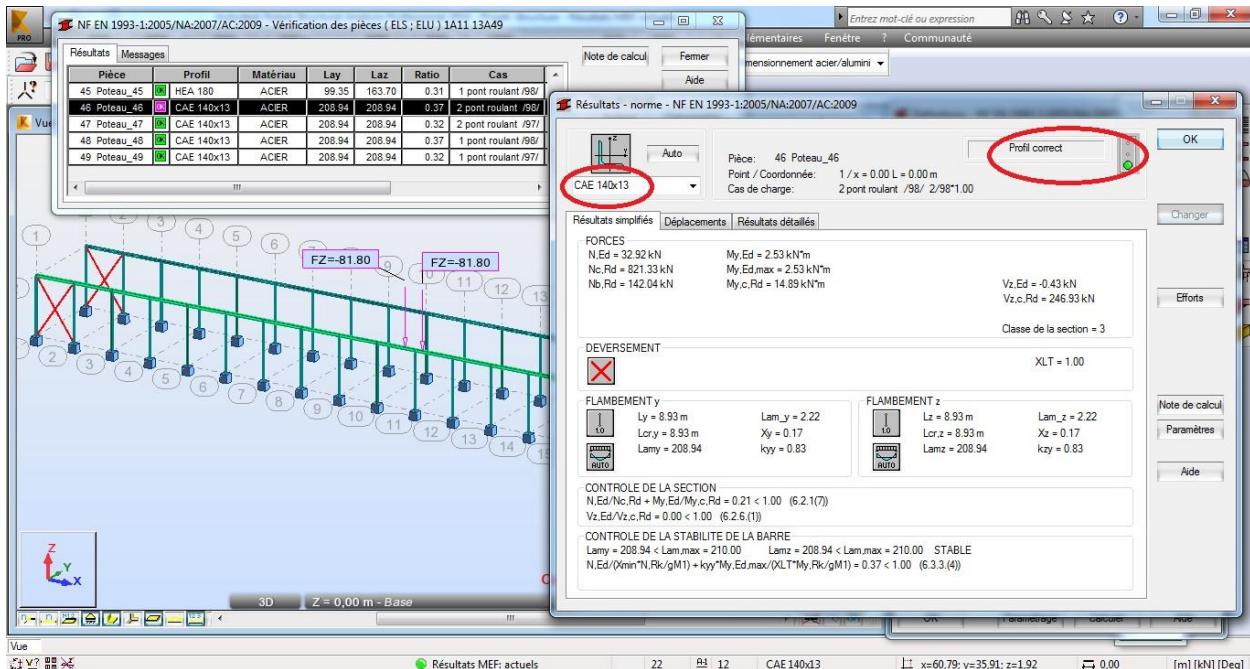


Figure 40: Calcul des barres de contreventement

Après les calculs du robot on a trouvé que la cornière de type CAE 140\*13 est la plus adaptée avec notre structure (Voir la note de calcul annexe 8)

## XI. ETUDE DES ASSEMBLAGES :

La conception et le calcul des assemblages revêtent, en construction métallique, une importance équivalente à celle du dimensionnement des pièces pour la sécurité finale de la construction. En effet, les assemblages constituent des points de passage obligés pour les sollicitations régnant dans les différents composants structurels ; en cas de défaillance d'un assemblage, c'est bien le fonctionnement global de la structure qui est remis en cause.

Un assemblage est un dispositif qui permet de réunir et de solidariser plusieurs pièces entre elles, en assurant la transmission et la répartition des diverses sollicitations entre les pièces, sans générer de sollicitation parasites, notamment de torsion.

On distingue parmi les assemblages :

- ❖ Les assemblages articulés ;
- ❖ Les assemblages encastrés (rigides).

Les principaux modes d'assemblages sont :

- le rivetage.

- Le boulonnage.
- Le soudage.
- Le collage.

Il existe plusieurs méthodes de calcul des assemblages et pour notre cas on aura à utiliser la norme EN 1993-1-8 :2005/AC : 2009.

## 1. Assemblages des rails et des poutres :

La forme du rail dépend de son système de fixation sur la poutre de roulement et de l'importance du pont roulant.

On peut distinguer trois types de rail selon le mode de fixation (fig.41) :

- ❖ Le rail en fer plat soudé, pour ponts roulants de classe (Q1 à Q3 ; U0 à U6)
- ❖ Le rail boulonné, pour ponts roulants de classe U5 à U9
- ❖ Le rail pincé, pour ponts roulants de classe U5 à U9

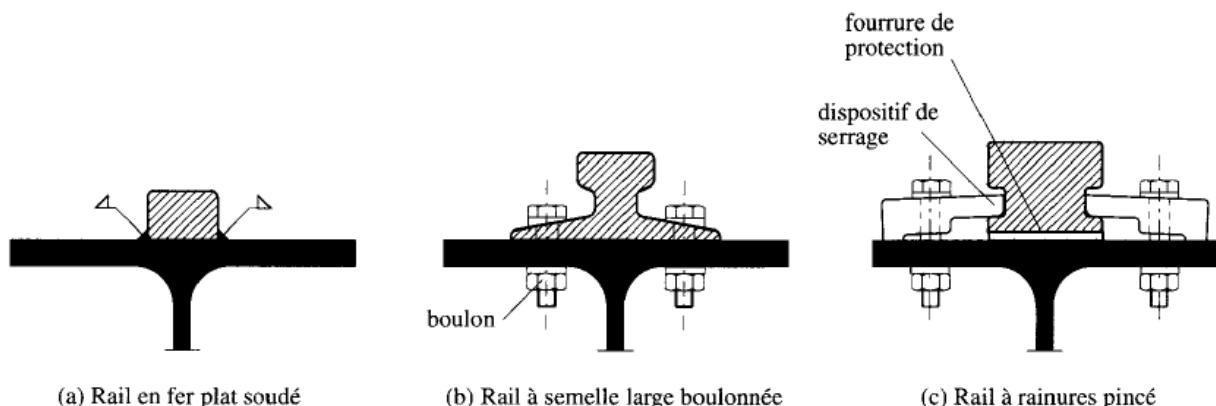


Figure 41: Les types de rails et leur fixation

Pour notre cas on a un état de chargement de  $Q_2$  à  $Q_3$  , donc Le rail en fer plat soudé est le plus adapté.

### - Tolérances

Pour assurer le bon fonctionnement du pont roulant, il est indispensable que des tolérances de construction (écart acceptables) soient fixées. Le tableau, donne les principales prescriptions de tolérance relatives à l'excentricité, pour la construction des voies de roulement de ponts roulants courants.

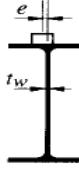
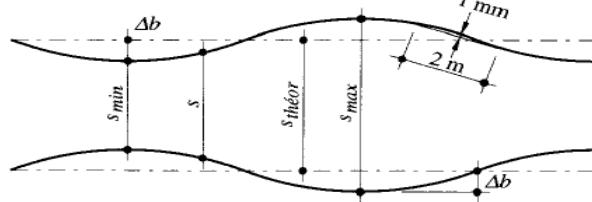
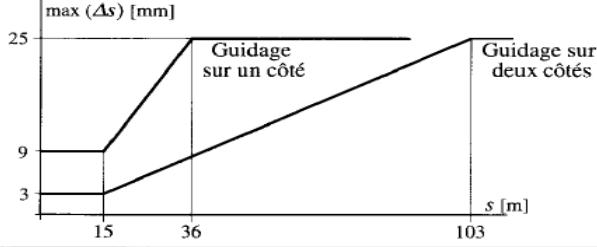
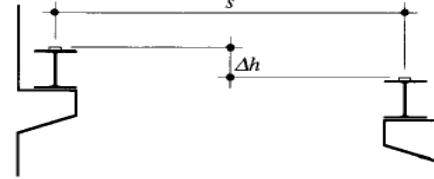
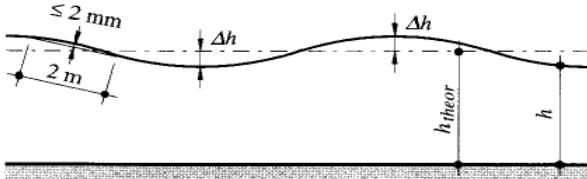
<p>(a) Excentricité du rail par rapport à l'axe théorique du plan de l'âme:  <math>e \leq t_w</math></p>	
<p>(b) Ecart du rail par rapport à son axe théorique:  <math>\Delta b \leq 10 \text{ mm}</math></p>	
<p>(c) Défaut de rectitude horizontal du rail:  <math>\leq 1 \text{ mm sur } 2 \text{ m de longueur}</math></p>	
<p>(d) Ecart entre l'écartement effectif des axes et l'écartement théorique prévu sur les plans:  <math>\Delta s = s_{\text{theor}} - s_{\min} \leq \max(\Delta s)</math>  <math>\Delta s = s_{\text{theor}} - s_{\max} \leq \max(\Delta s)</math></p>	
<p>(e) Dénivellation transversale entre les deux rails de la voie (dans chaque section):  <math>\Delta h \leq 10 \text{ mm}</math></p>	
<p>(f) Différence entre le niveau réel et le niveau théorique d'un rail:  <math>\Delta h \leq 10 \text{ mm}</math></p> <p>(g) Défaut de rectitude vertical d'un rail:  <math>\leq 2 \text{ mm sur } 2 \text{ m de longueur}</math></p>	

Tableau 24: Prescriptions des tolérances.

## 2. Assemblage poutre (HEA280) avec poteau (HEA180) :

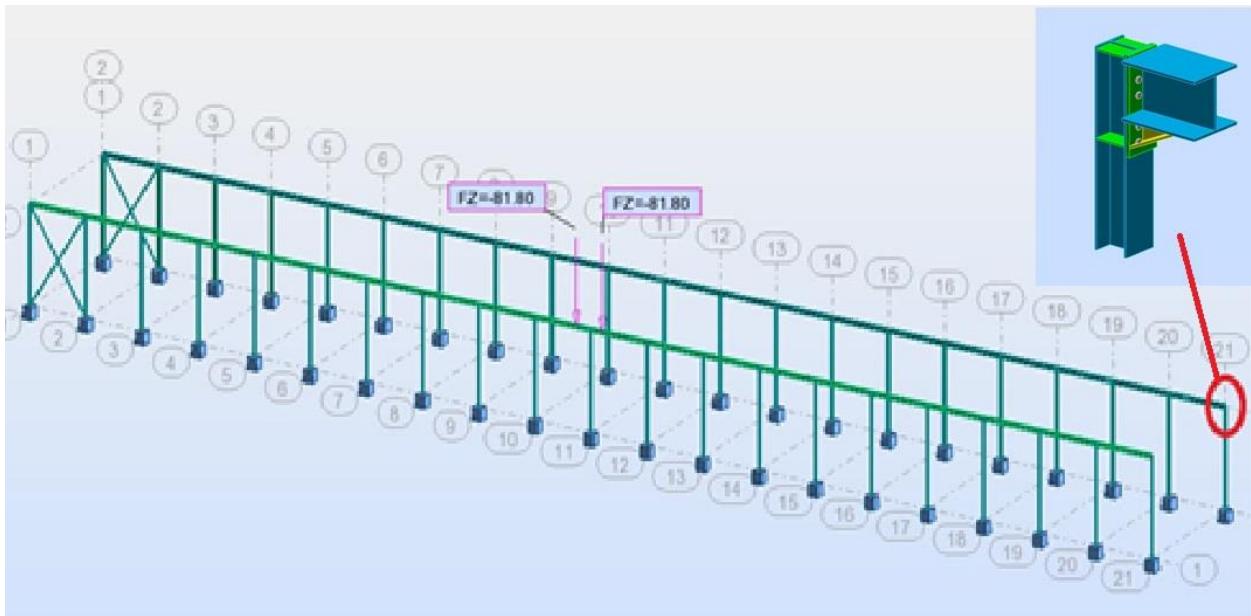


Figure 42: Vue d'assemblage poutre-poteau

Les poutres et les poteaux du chemin de roulement sont assemblés avec un assemblage boulonné. Le logiciel Robot permet de faire le calcul de cet assemblage avec la norme de l'Eurocode 3.

### Calcul d'assemblage

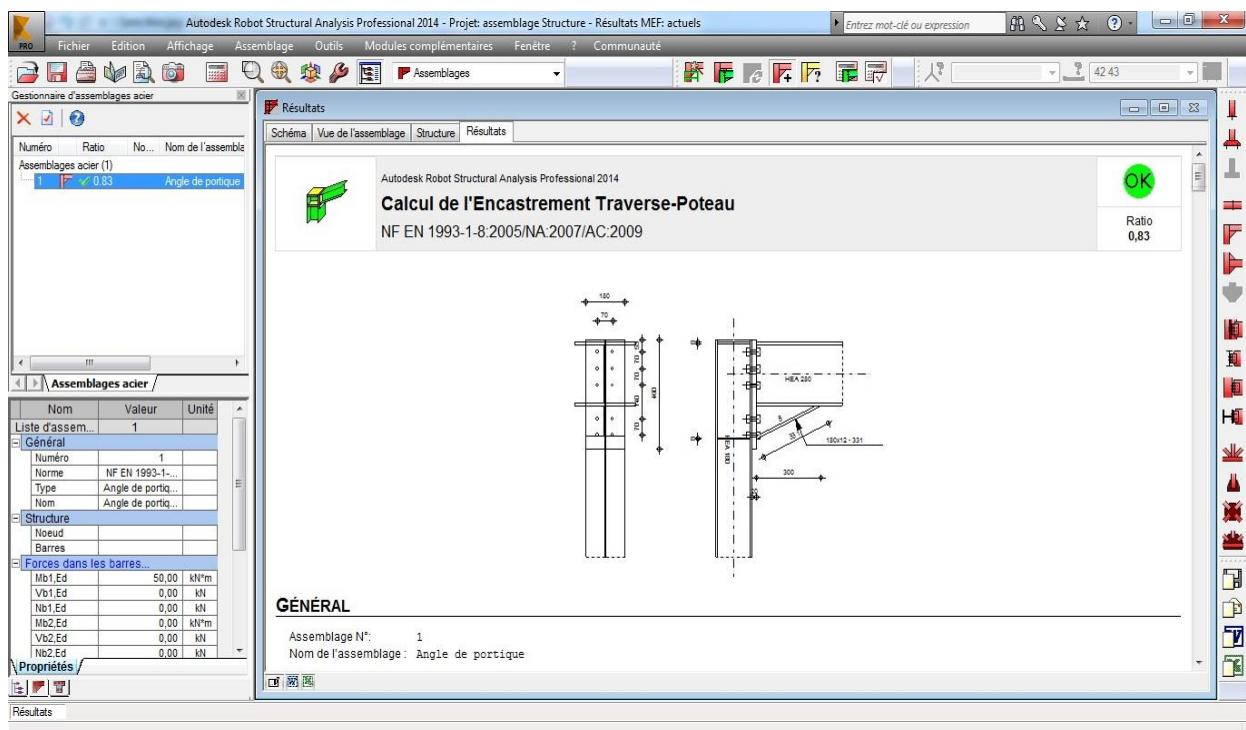


Figure 43: Calcul d'assemblage poutre-poteau

Les calculs du robot nous donnent les différents d'assemblage (Boulons, Platine, Jarret inférieur, Raidisseur poteau...) Voir la note de calcul annexe 9

### 3. Assemblage des contreventements (CAE 140\*13) :

L'assemblage se fait avec un gousset métallique qui est une pièce de charpente métallique reliant par assemblage une poutre et un élément de stabilité, donnant de la rigidité à cet ensemble.

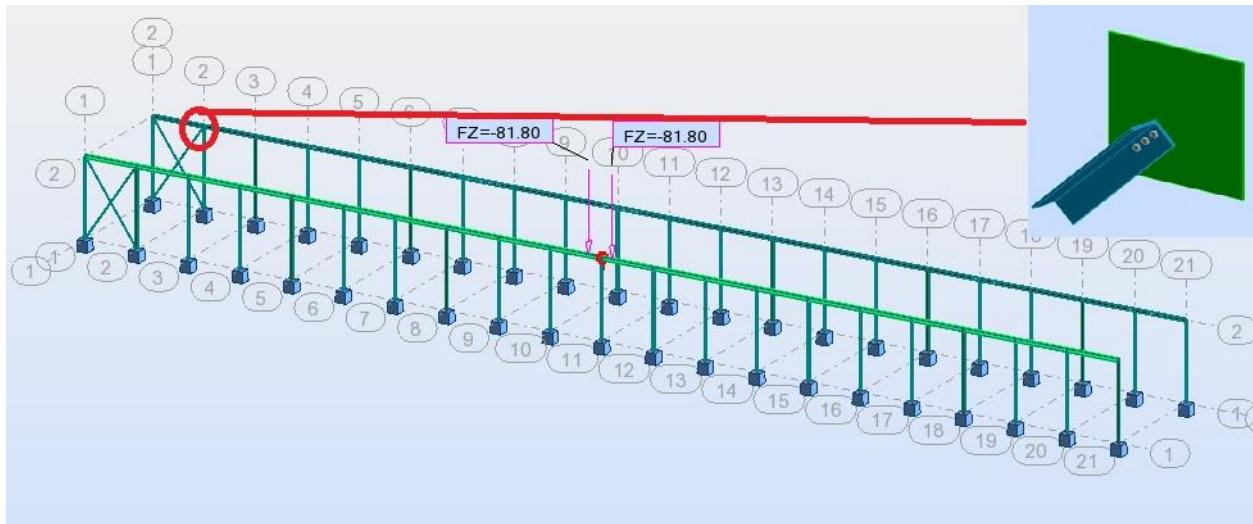


Figure 44: Vue d'assemblage de contreventement

Le calcul de cet assemblage des cornières ce fait avec Robot.

#### Calcul d'assemblage avec Robot

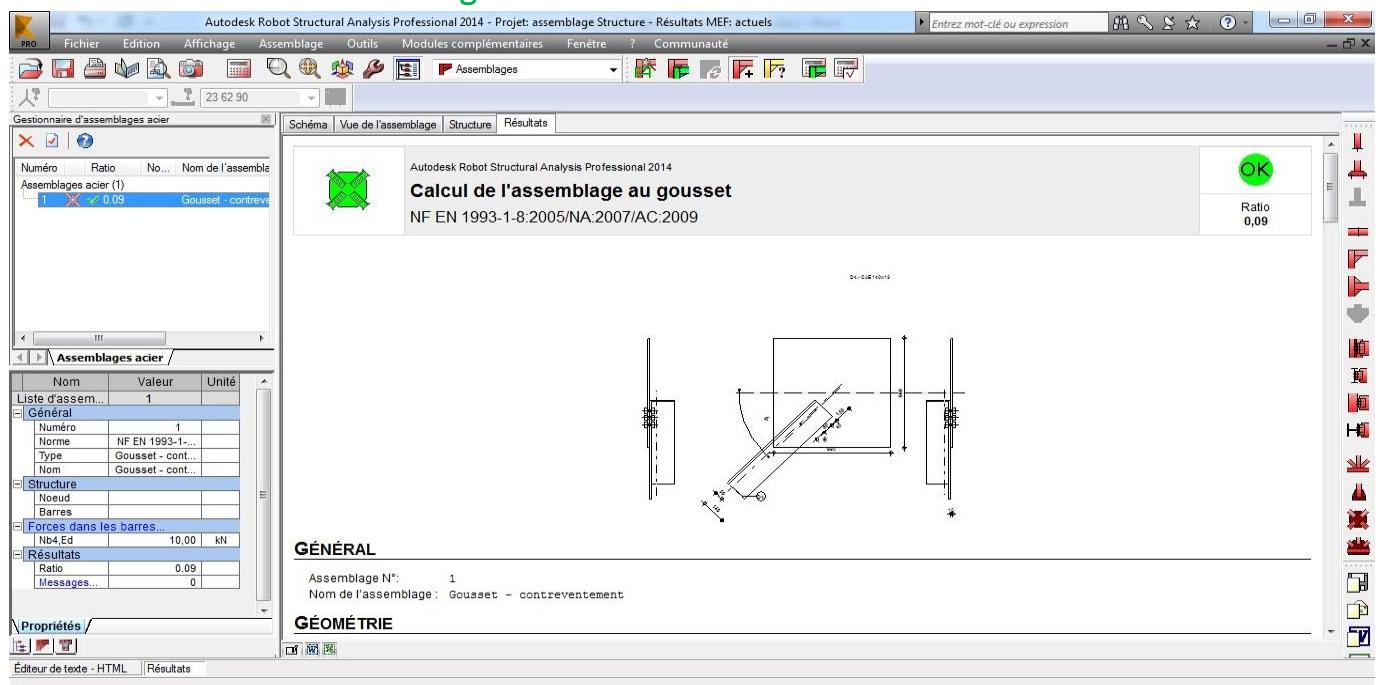


Figure 45: Calcul d'assemblage de contreventement

Les calculs du robot nous donnent les dimensions du gousset et le type des boulants utilisés  
Voir la note de calcul annexe 10.

#### 4. Fixation des pieds des poteaux :

Assemblage du pied de poteau se fait avec :

- Jarrets : soudés à partir d'un plat ou fabriqués à partir d'un profilé.
- Raidisseurs de platine : plaque soudée en bout de poteau dont le rôle essentiel est de répartir au maximum la pression sur le béton.
- Tiges d'ancrages : on les place pour prévenir tout décollement de la platine (force de soulèvement, moment d'encastrement) ; leur serrage peut d'ailleurs parfois engendrer des efforts dimensionnant pour la platine. Suivants les efforts on peut concevoir des tiges droites, courbes, avec plaques d'ancrages ou sur sommiers, le type plus courant étant les tiges avec courbures :



Figure 46: Vue d'assemblage du pied de poteau

Le calcul des éléments d'assemblage se fait avec Robot

## Calcul d'assemblage avec Robot

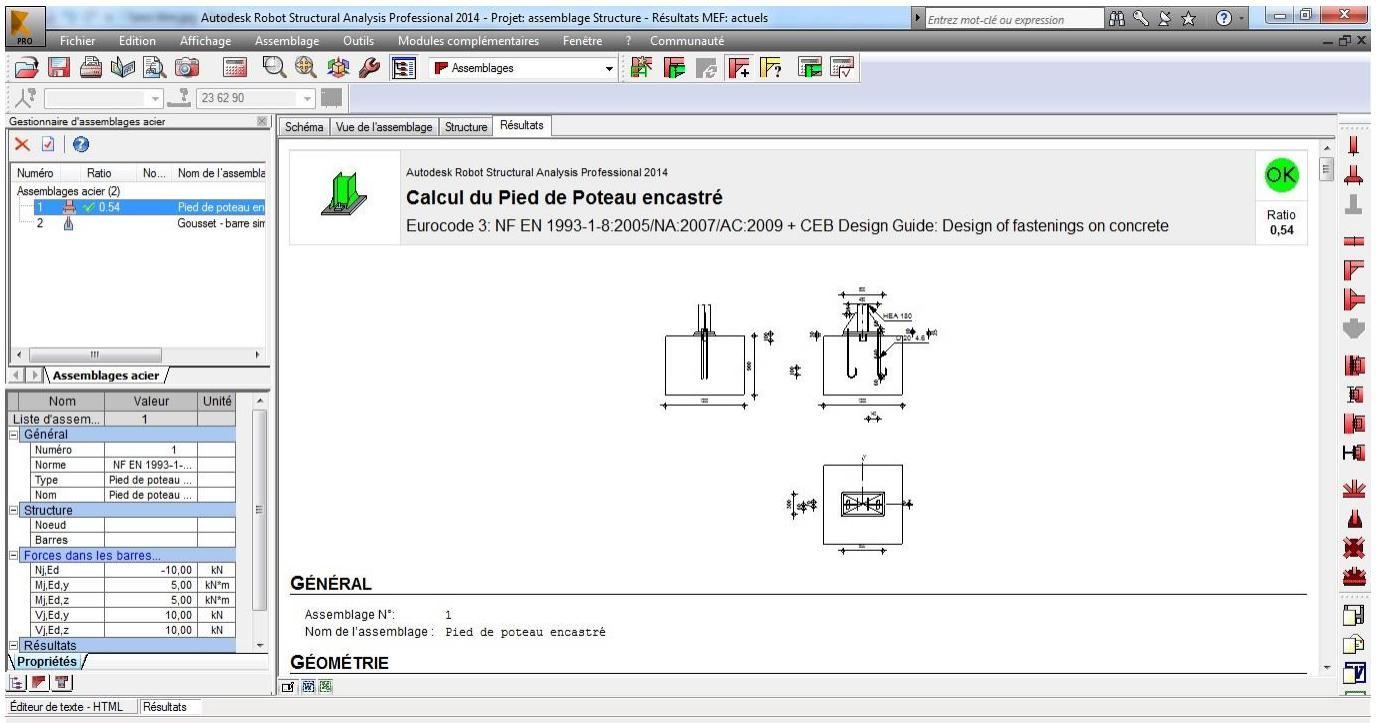


Figure 47: Calcul d'assemblage du pied de poteau

Les calculs du robot nous donnent les dimensions jarrets ; raidisseurs de platine ; tiges d'ancrages avec courbures utilisés Voir la note de calcul annexe 11.

## XII. Protection de la structure du pont roulant :

Comme tout autre matériau, l'acier présente quelques inconvénients, notamment la mauvaise résistance à la corrosion et au feu. C'est pourquoi chaque élément doit subir un traitement spécifique contre ces deux facteurs.

Il existe divers types de protections, ces types diffèrent selon l'usage et l'implantation.

### 1. La corrosion :

En présence d'eau et d'oxygène et plus particulièrement dans le milieu marin, l'acier a tendance à se dégradé et perdre ainsi de sa résistance et de ces caractéristiques mécaniques.

Les techniques de prévention contre la corrosion sont diverses : la protection par peinture ou autre revêtement de surface, ou la protection cathodique. Le choix de la technique adéquate dépend

essentiellement de l'agressivité du milieu ambiant, la durée de protection envisagée, et les possibilités de mise en œuvre et d'entretien.

### Protection par peinture

Le système de protection anticorrosion le plus courant est la mise en peinture sur acier nu, il est plus particulièrement utilisé en milieu marin. Ce système à l'avantage d'être mis en œuvre facilement, généralement elle est réalisée en partie en atelier puis en partie sur chantier.

La durabilité de cette protection dépend du milieu ambiant, de la maintenance, mais aussi de la préparation des surfaces à peindre.

### 2. Le feu :

Le principe de développement du feu est selon un processus, et il repose sur la présence de trois éléments :

- Le combustible,
- Le carburant,
- La source de chaleur.

Matériau incombustible, l'acier n'en est pas moins un bon conducteur de chaleur. Non protégées, les sections en acier s'échauffent alors rapidement au cours d'un incendie, causant ainsi leurs déformation et par suit la ruine de la structure. Donc une protection de ces éléments s'impose.

La durée de stabilité au feu d'un profilé métallique sans traitement spécifique n'excède que rarement la demi-heure lorsqu'il est placé sous une charge courante.

Pour augmenter le délai et ainsi satisfaire aux exigences, il est donc nécessaire de limiter l'échauffement des profilés en acier, pour cela divers techniques existent, on site parmi elles : le refroidissement par eau, le flocage, la peinture intumescente...etc

### La peinture intumescente

La peinture intumescente permet d'atteindre la résistance au feu requise tout en conservant les qualités esthétiques de la structure. Sous l'action de la chaleur, cette peinture forme une mousse microporeuse isolante appelée "meringue", elle peut être appliquée par projection, à la brosse ou au rouleau.

Dans ce projet le choix est tombé sur la peinture Aithon A90, qui résiste jusqu'à 120min à la température allant de 270 C 300 C.

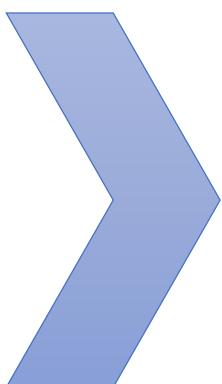
## Conclusion :

Pour conclure, le dimensionnement du pont roulant a respecté la plupart des normes applicables dans le domaine de levage et manutention.

Dans le prochain chapitre, la préparation de la mise en œuvre des calculs sera effectuée.

# 4ème Chapitre

## Préparation pour la mise en œuvre des calculs



### Introduction

- I. Développement des applications pour la société
- II. Préparation des éléments du dossier d'appel d'offre

### Conclusion

## Introduction :

Le but de ce chapitre est de programmer un logiciel qui permet de faciliter les calculs et de préparer le plan du pont roulant et aussi le bordereau du prix pour répondre au dossier d'appel d'offre.

## I. Développement des applications pour la société :

### 1. Fonctions des applications :

Ces application doit en premier lieu permettre de faire tous les calculs de dimensionnement d'une façon simple et vite.

### 2. Langages et outils utilisé pour la création du logiciel :

Les applications sont développées et testées sous VB.NET grâce à Visual basic 2010 express, sous WINDOWS SEVEN (figure 48).

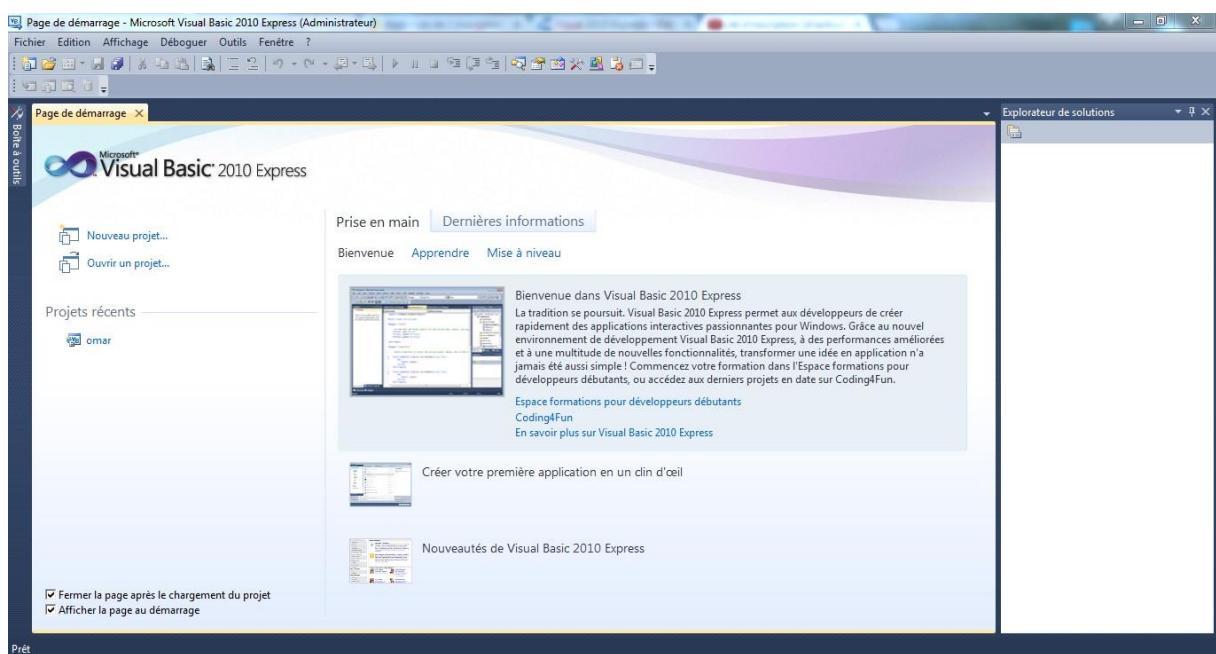


Figure 48: Fenêtre principale de visual basic 2010 express

### 3. Crédit des interfaces :

La fonction principale que doit fournir une interface utilisateur est de faciliter la manipulation des différentes fonctions du programme. La création de l'interface a été faite grâce à l'utilisation de **Visual basic 2010 express**.

❖ Fenêtre du logiciel de dimensionnement de la poutre principale

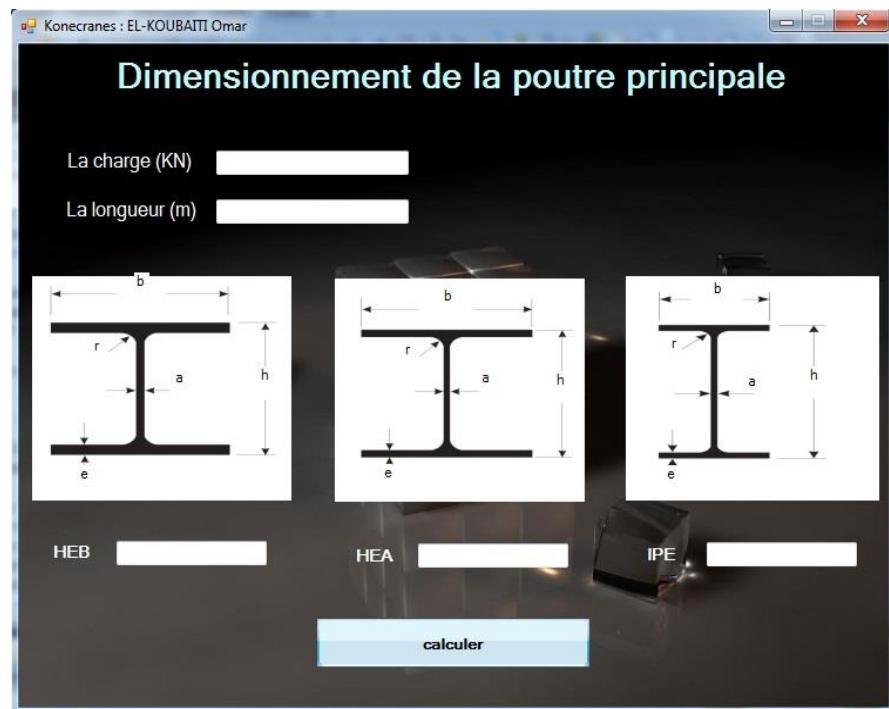


Figure 49: Fenêtre du logiciel de dimensionnement de la poutre principale

❖ Fenêtre du logiciel de dimensionnement des galets

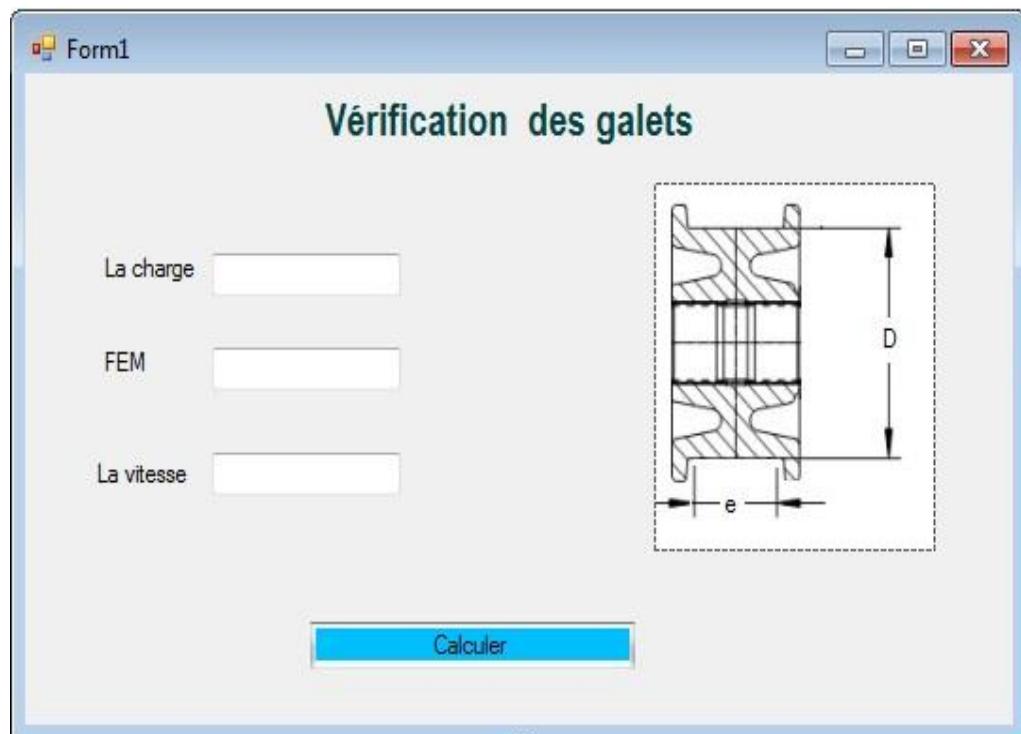


Figure 50: Fenêtre du logiciel de dimensionnement des galets

❖ **Fenêtre du logiciel de dimensionnement de chemin de roulement**



Figure 51: Fenêtre du logiciel de dimensionnement de chemin de roulement

❖ **Fenêtre du logiciel de dimensionnement de poteaux**

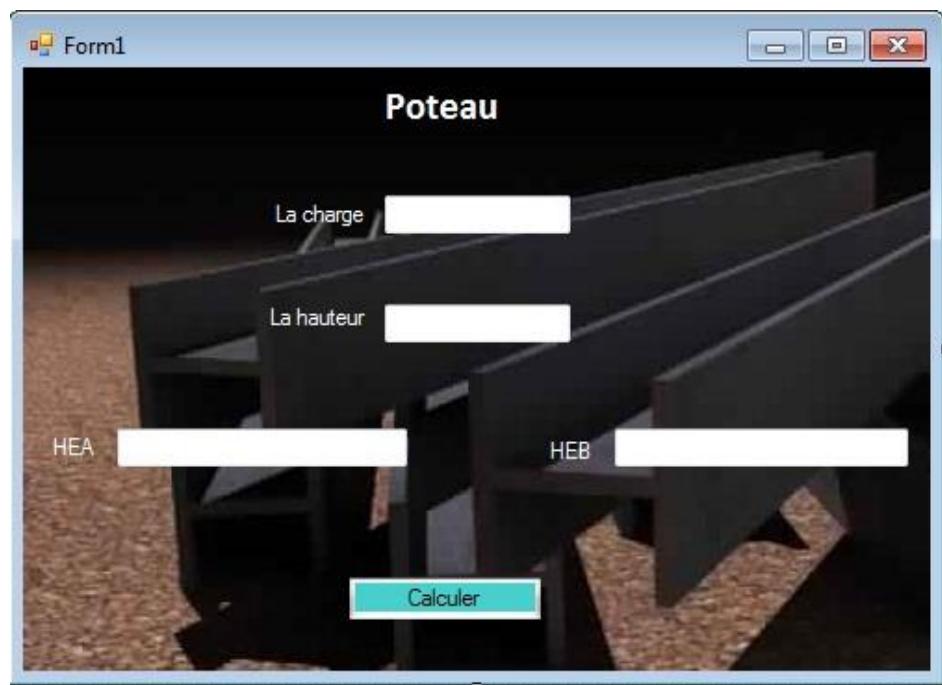


Figure 52: Fenêtre du logiciel de dimensionnement de poteaux

Le principe de ces applications est de calculer les différents types des profilés et des galets qui sont validés par le calcul normalisé après avoir fournir les valeurs d'entrer qu'on a en tant que données.

## II. Préparation des éléments du dossier d'appel d'offre :

Le dossier d'appel d'offre contient les éléments suivant : le plan du pont roulant et le bordereau du prix.

### 1. Plan du pont roulant :

Avant de préparer le plan du pont roulant, il faut d'abord dessiner le pont roulant en 3D sur le logiciel de DAO SolidWorks, ce logiciel permet de faire la mise en plan.

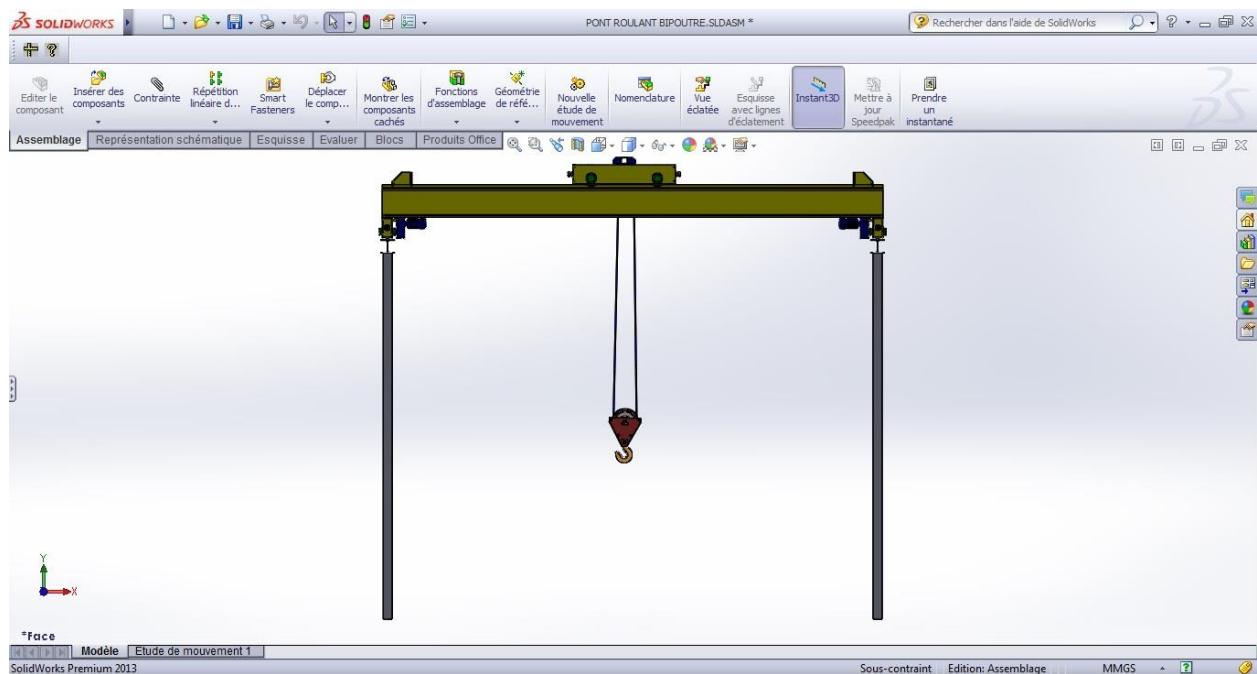


Figure 53: Le dessin du pont roulant sous Solidworks

Après le dessin 3D on crée une mise en plan du pont roulant sous format A4 voir annexe 12.

### 2. Bordereau du prix :

Une étude financière est nécessaire lors de la réalisation d'un projet.

En effet c'est un outil d'estimation du prix de revient, c'est-à-dire vérifier de près la rentabilité ou non du projet.

Dans le but de clôturer mon travail et lui donner son aspect industriel, une étude technico-économique paraît nécessaire afin de donner un coût estimatif du projet.

## Calcul du coût :

N° des prix	Désignation des ouvrages	Qté	PU en Dhs HT en chiffres	PU en Dhs HT en lettres	Montant en Dhs HT
1	Etude, fourniture et installation d'un pont roulant 10tonnes conformément aux prescriptions de l'article 6, y compris tous les travaux de génie civil et toutes sujétions pour une installation complète en parfait état de marche	1	902 560,00	neuf cent deux mille cinq cent soixante dirhams	902 560,00
2	Fourniture d'un lot de pièces de rechange pour l'entretien courant du pont roulant de 10tonnes décrit en annexe- <b>Les pièces de rechange</b>	1	50 980,00	cinquante mille neuf cent quatre vingt dirhams	50 980,00
Total (Hors TVA)					<b>953 540,00</b>
Montant TVA 20%:					<b>190 708,00</b>
Montant total (TTC)					<b>1 144 248,00</b>

Arrêté le présent bordereau des prix à la somme de: un million cent quarante quatre mille deux cent quarante-huit dirhams (TVA 20% comprise)

**Annexe- Les pièces de rechange :**

N° des prix	Désignation des ouvrages	Qté	PU en Dhs HT en chiffres	PU en Dhs HT en lettres	Montant en Dhs HT
1	câble de levage	1	128,00	Cent vingt huit dhs	128,00
2	Guide câble	1	18 280,00	dix huit mille deux cent quatre vingt dhs	18 280,00
3	Disque frein de levage	1	6 340,00	Six mille trois cent quarante dhs	6 340,00
4	Contacteur de limiteur de charge	1	2 115,00	Deux mille cent quinze dhs	2 115,00
5	Linguet de sécurité	1	560,00	Cinq cent soixante dhs	560,00
6	Jeu de contacteur de levage	1	3 700,00	Trois mille sept cent dhs	3 700,00
7	Redresseur de frein de levage	1	2 200,00	Deux mille deux cent dhs	2 200,00

8	Lot de joint	1	1 300,00	mille trois cent dhs	1 300,00
9	Lot de roulement	1	4 050,00	quatre mille cinquante dhs	4 050,00
10	kit réparation frein	1	19 450,00	dix neuf mille quatre cent cinquante dhs	19 450,00
11	variateur (01 kit de deux variateurs)	1	16 900,00	Seize mille neuf cent dhs	16 900,00
Total (Hors TVA) :					75 023,00
Montant TVA 20%:					15 004,60
Montant total (TTC)					90 027,60

Arrêté le présent bordereau des prix à la somme de: quatre vingt dix mille vingt sept dirhams soixante Centimes

*Tableau 25: Bordereau du prix*

Comme l'étude technologique ait une importance l'étude financière aussi a une grande importance vue l'estimation qu'on prélève pour pouvoir investir dans le projet.

## Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté la mise en œuvre des calculs avec la programmation et la préparation des pièces du dossier d'appel d'offre

## Conclusion et perspectives

Dans une discipline bien définie, la formation n'est jamais complète, elle est toujours à parfaire. Quant à mon stage au sein de TechniPlus, il m'a permis de faire une fusion entre mes connaissances théoriques et pratiques en confrontant des situations professionnelles réelles dans le sens où j'ai eu l'occasion en premier lieu , d'étudier les différents types des ponts roulants, et les normes de Fédération Européenne de la Manutention, d'analyser l'appel d'offre de l'ONCF, et d'y répondre en choisissant la solution la plus conforme au cahier de charge correspondant à cet appel d'offre . Ensuite j'ai fait les calculs théoriques pour le dimensionnement du pont roulant et je les ai vérifié avec Robot Structural Analysis, puis j'ai préparé un plan du pont roulant avec SolidWorks et un bordereau du prix et enfin j'ai programmé un logiciel pour calculer la structure de n'importe quel pont roulant bipoutre.

En termes de perspectives, l'utilisation du logiciel que j'ai développé va améliorer le processus du calcul des structures des ponts roulants bipoutre, ainsi on recommande et on signale l'intérêt d'opter pour la programmation des logiciels de calcul pour les autres types des ponts roulants et outils de manutentions.

# Annexes

- Annexe 1 : Catalogues des profilés Szs (poutre principale)
- Annexe 2 : Analyse des contraintes dans la barre
- Annexe 3 : Validation de la poutre principale
- Annexe 4 : Catalogues des profilés Szs (chemin de roulement)
- Annexe 5 : Validation du chemin de roulement
- Annexe 6 : Catalogues des profilés Szs (poteau)
- Annexe 7 : Validation du profilé poteau
- Annexe 8 : Validation du profilé contreventement
- Annexe 9 : Calcul d'assemblage poutre-poteau
- Annexe 10 : Calcul d'assemblage de contreventement
- Annexe 11 : Fixation des pieds des poteaux
- Annexe 12 : Plan du pont roulant

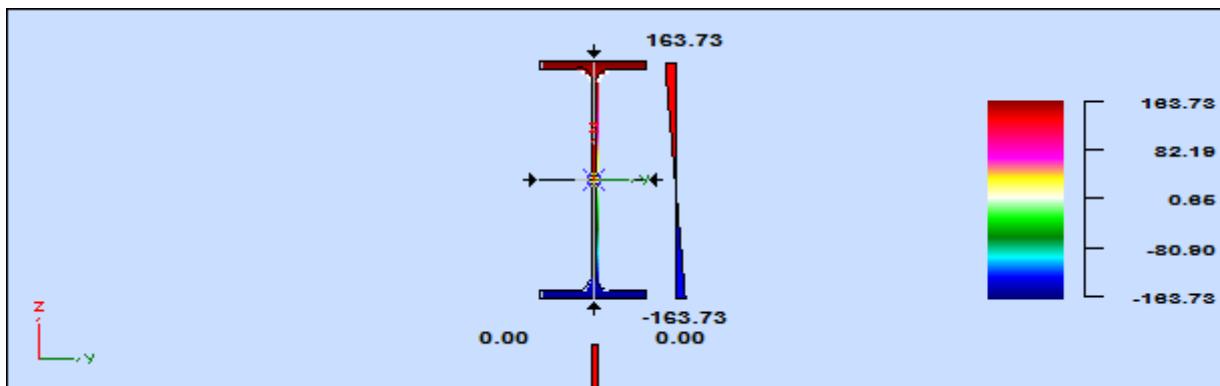
## Annexe 1 : Catalogues des profilés Szs (poutre principale)

IPE	m kg/m	Statische Werte / Valeurs statiques												
		A mm <sup>2</sup>	A <sub>v</sub> mm <sup>2</sup>	A <sub>w</sub> mm <sup>2</sup>	I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>ely</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>y</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>ply</sub> mm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> mm	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>elz</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> mm <sup>3</sup>	i <sub>z</sub> mm	K = I <sub>x</sub> mm <sup>4</sup>
						x 10 <sup>6</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>					x 10 <sup>6</sup>
80*	6,0	764	358	284	0,801	20,0	21,4	23,2	32,4	0,085	3,69	5,8	10,5	0,0067
100*	8,1	1030	508	387	1,71	34,2	36,3	39,4	40,7	0,159	5,79	9,2	12,4	0,0115
120*	10,4	1320	631	500	3,18	53,0	55,9	60,8	49,0	0,277	8,65	13,6	14,5	0,0169
140*	12,9	1640	764	626	5,41	77,3	81,3	88,4	57,4	0,449	12,3	19,2	16,5	0,0240
160*	15,8	2010	966	763	8,69	109	114	124	65,8	0,683	16,7	26,1	18,4	0,0353
180*	18,8	2390	1125	912	13,2	146	154	166	74,2	1,01	22,2	34,6	20,5	0,0472
200*	22,4	2850	1400	1070	19,4	194	203	220	82,6	1,42	28,5	44,7	22,4	0,0685
220*	26,2	3340	1588	1240	27,7	252	263	286	91,1	2,05	37,3	58,0	24,8	0,0898
240*	30,7	3910	1914	1430	38,9	324	338	366	99,7	2,84	47,3	74,0	26,9	0,127
270*	36,1	4590	2214	1710	57,9	429	446	484	112	4,20	62,2	97,0	30,2	0,157
300*	42,2	5380	2568	2050	83,6	557	578	628	125	6,04	80,5	125	33,5	0,198
330*	49,1	6260	3081	2390	117,7	713	739	804	137	7,88	98,5	154	35,5	0,276
360*	57,1	7270	3514	2780	162,7	904	937	1020	150	10,4	123	191	37,9	0,371
400*	66,3	8450	4269	3320	231,3	1160	1200	1310	165	13,2	146	229	39,5	0,504
450*	77,6	9880	5085	4090	337,4	1500	1550	1700	185	16,8	176	275	41,2	0,661
500*	90,7	11600	5987	4940	482,0	1930	1990	2200	204	21,4	214	336	43,1	0,886
550	106	13400	7234	5910	671,2	2440	2520	2780	223	26,7	254	401	44,5	1,22
600	122	15600	8378	6970	920,8	3070	3170	3520	243	33,9	308	486	46,6	1,65
HEA	m kg/m	Statische Werte / Valeurs statiques												x 10 <sup>6</sup>
		A mm <sup>2</sup>	A <sub>v</sub> mm <sup>2</sup>	A <sub>w</sub> mm <sup>2</sup>	I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>ely</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>y</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>ply</sub> mm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> mm	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>elz</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> mm <sup>3</sup>	i <sub>z</sub> mm	
						x 10 <sup>6</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>					
100*	16,7	2120	756	440	3,49	73	79	83	40,6	1,34	26,8	41,2	25,1	0,0520
120*	19,9	2530	846	530	6,06	106	114	119	48,9	2,31	38,5	58,9	30,2	0,0596
140*	24,7	3140	1012	685	10,3	155	166	173	57,3	3,89	55,6	84,7	35,2	0,0803
160*	30,4	3880	1321	858	16,7	220	234	246	65,7	6,16	76,9	118	39,8	0,118
180*	35,5	4530	1447	969	25,1	294	311	324	74,5	9,25	103	157	45,2	0,147
200*	42,3	5380	1808	1170	36,9	389	410	430	82,8	13,4	134	204	49,8	0,204
220*	50,5	6430	2067	1390	54,1	515	544	568	91,7	19,5	178	271	55,1	0,281
240*	60,3	7680	2518	1640	77,6	675	712	744	101	27,7	231	352	60,0	0,410
260*	68,2	8680	2876	1780	104,5	836	881	920	110	36,7	282	430	65,0	0,520
280*	76,4	9730	3174	2060	136,7	1010	1060	1110	119	47,6	340	518	70,0	0,614
300*	88,3	11300	3728	2350	182,6	1260	1320	1380	127	63,1	421	642	74,9	0,842
320*	97,6	12400	4113	2650	229,3	1480	1560	1630	136	69,9	466	710	74,9	1,09
340*	105	13300	4495	2980	276,9	1680	1770	1850	144	74,4	496	756	74,6	1,29
360*	112	14300	4896	3320	330,9	1890	1990	2080	152	78,9	526	803	74,3	1,51
400*	125	15900	5733	4080	450,7	2310	2430	2560	168	85,6	571	873	73,4	1,91
450	140	17800	6578	4820	637,2	2900	3040	3220	189	94,7	631	966	72,9	2,49
500	155	19800	7472	5600	869,7	3550	3730	3940	210	103,7	691	1060	72,4	3,18
550	166	21200	8372	6450	1119	4150	4340	4620	230	108,2	721	1110	71,5	3,61
600	178	22600	9321	7340	1412	4790	5000	5360	250	112,7	751	1160	70,5	4,08
650	190	24200	10320	8290	1752	5470	5710	6140	269	117,2	782	1200	69,7	4,59
700	204	26000	11700	9610	2153	6240	6490	7040	288	121,8	812	1260	68,4	5,23
800	224	28600	13880	11400	3034	7680	7960	8700	326	126,4	843	1310	66,5	6,10
900	252	32100	16330	13800	4221	9480	9820	10800	363	135,5	903	1420	65,0	7,51
1000	272	34700	18460	15800	5538	11190	11550	12800	400	140,0	934	1470	63,5	8,37
HEB	m kg/m	Statische Werte / Valeurs statiques												x 10 <sup>6</sup>
		A mm <sup>2</sup>	A <sub>v</sub> mm <sup>2</sup>	A <sub>w</sub> mm <sup>2</sup>	I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>ely</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>y</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>ply</sub> mm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> mm	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>elz</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> mm <sup>3</sup>	i <sub>z</sub> mm	
						x 10 <sup>6</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>					
100*	20,4	2600	904	540	4,50	90	100	104	41,6	1,67	33	51	25,3	0,0931
120*	26,7	3400	1096	708	8,64	144	158	165	50,4	3,18	53	81	30,6	0,139
140*	33,7	4300	1308	896	15,1	216	236	246	59,3	5,50	79	120	35,8	0,202
160*	42,6	5430	1759	1180	24,9	311	339	354	67,8	8,89	111	170	40,5	0,312
180*	51,2	6530	2024	1410	38,3	426	461	482	76,6	13,6	151	231	45,7	0,422
200*	61,3	7810	2483	1660	57,0	570	616	642	85,4	20,0	200	306	50,7	0,596
220*	71,5	9100	2792	1940	80,9	736	793	828	94,3	28,4	258	394	55,9	0,770
240*	83,2	10600	3323	2230	112,6	938	1010	1050	103	39,2	327	499	60,8	1,04
260*	93,0	11800	3759	2420	149,2	1150	1230	1280	112	51,3	395	603	65,8	1,26
280*	103	13100	4109	2750	192,7	1380	1470	1530	121	65,9	471	718	70,9	1,45
300*	117	14900	4743	3090	251,7	1680	1790	1870	130	85,6	571	871	75,8	1,87
320*	127	16100	5177	3440	308,2	1930	2060	2140	138	92,4	616	940	75,7	2,29
340*	134	17100	5609	3820	366,6	2160	2300	2400	146	96,9	646	986	75,3	2,62
360*	142	18100	6060	4220	431,9	2400	2560	2680	155	101	676	1030	74,9	2,98
400*	155	19800	6998	5080	576,8	2880	3070	3240	171	108	721	1100	74,0	3,61
450*	171	21800	7966	5940	798,9	3550	3770	3980	191	117	781	1200	73,3	4,49
500	187	23900	8982	6840	1072	4290	4540	4820	212	126	842	1290	72,7	5,50
550	199	25400	10010	7820	1367	4970	5250	5600	232	131	872	1340	71,7	6,12
600	212	27000	11080	8840	1710	5700	6000	6420	252	135	902	1390	70,8	6,80
650	225	28600	12200	9900	2106	6480	6800	7320	271	140	932	1440	69,9	7,52

## Annexe 2 : Analyse des contraintes dans la barre

Section : IPE  
 Elément N° : 1  
 Longueur : 1130.0 cm

### SECTION TRANSVERSALE



Cas de charge : "EXPL1"  
 Type d'analyse des contraintes (hypothèse) : Normales

**Efforts internes pris en compte :** Fx Fy Fz Mx My Mz

**Efforts internes pris en compte :** Fx Fy Fz Mx My Mz

#### Contraintes extrêmes dans la barre

	<b>S<sub>x</sub> max</b>	<b>S<sub>x</sub> min</b>	<b>  t   max</b>	<b>S<sub>i</sub> max</b>
Contraintes	163.73 MPa	-163.73 MPa	11.62 MPa	163.73 MPa
Position relative	0.50	0.50	0.00	0.00
Position absolue	565.0 cm	565.0 cm	0.0 cm	565.0 cm

### RESULTATS DANS LA SECTION

Coordonnées de la section      x/l = 0.50      (Relatives)      x = 565.0 cm      (Absolues)

#### Forces appliquées à la section

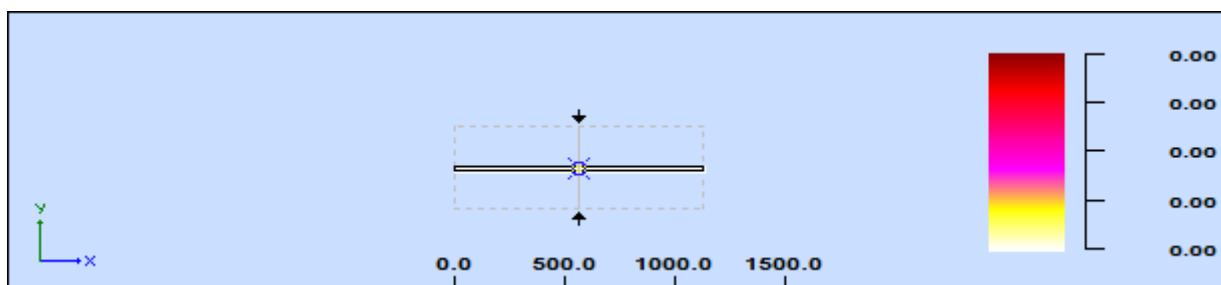
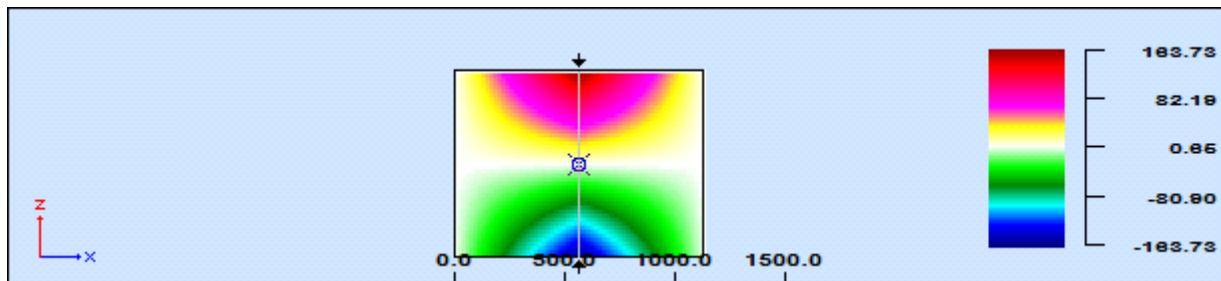
<b>F<sub>x</sub></b>	=	0.00 kN	<b>M<sub>x</sub></b>	=	0.00 kN*m
<b>F<sub>y</sub></b>	=	0.00 kN	<b>M<sub>y</sub></b>	=	189.35 kN*m
<b>F<sub>z</sub></b>	=	-31.68 kN	<b>M<sub>z</sub></b>	=	0.00 kN*m

#### Contraintes extrêmes dans la section

	<b>S<sub>x</sub> max</b>	<b>S<sub>x</sub> min</b>	<b>  t<sub>xy</sub>   max</b>	<b>  t<sub>xz</sub>   max</b>
Contraintes	163.73 MPa	-163.73 MPa	0.00 MPa	0.00 MPa
Y local	-9.0 cm	-9.0 cm	-9.0 cm	-9.0 cm

Z local	20.0 cm	-20.0 cm	-20.0 cm	-20.0 cm
		<b> t  max</b>	<b>S<sub>i</sub> max</b>	
Contraintes		10.41 MPa	163.73 MPa	
Y local		-0.4 cm	-9.0 cm	
Z local		-0.2 cm	20.0 cm	

### SECTION LONGITUDINALE



### RESULTATS DANS LA SECTION

PLAN XZ	S <sub>x</sub> max	S <sub>x</sub> min	t <sub>xz</sub>   max	S <sub>i</sub> max
Contraintes	163.73 MPa	-163.73 MPa	11.62 MPa	163.73 MPa
Position relative	0.50	0.50	0.00	0.50
Position absolue	565.0 cm	565.0 cm	0.0 cm	565.0 cm

PLAN XY	S <sub>x</sub> max	S <sub>x</sub> min	t <sub>xy</sub>   max	S <sub>i</sub> max
Contraintes	0.00 MPa	0.00 MPa	11.62 MPa	20.12 MPa
Position relative	0.50	0.00	0.00	0.00
Position absolue	565.0 cm	0.0 cm	0.0 cm	0.0 cm

# Annexe 3 : Validation de la poutre principale

## CALCUL DES STRUCTURES ACIER

**NORME:** *NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.*

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

**FAMILLE:**

**PIECE:** 1 Barre\_1

**POINT:** 1

**COORDONNEE:**  $x = 0.50 \text{ L} = 5.65 \text{ m}$

**CHARGEMENTS:**

*Cas de charge décisif:* 1 EXPL1

**MATERIAU:**

ACIER  $f_y = 235.00 \text{ MPa}$



**PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 400**

$h=40.0 \text{ cm}$	$gM_0=1.00$	$gM_1=1.00$
$b=18.0 \text{ cm}$	$A_y=55.99 \text{ cm}^2$	$A_z=42.69 \text{ cm}^2$
$t_w=0.9 \text{ cm}$	$I_y=23128.40 \text{ cm}^4$	$I_z=1317.82 \text{ cm}^4$
$t_f=1.4 \text{ cm}$	$W_{p,y}=1307.15 \text{ cm}^3$	$W_{p,z}=229.00 \text{ cm}^3$

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

$$M_y,Ed = 189.35 \text{ kN*m}$$

$$M_y,pl,Rd = 307.18 \text{ kN*m}$$

$$M_y,c,Rd = 307.18 \text{ kN*m}$$

$$V_z,Ed = -31.68 \text{ kN}$$

$$V_z,c,Rd = 579.22 \text{ kN}$$

Classe de la section = 1



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**



en y:



en z:

**FORMULES DE VERIFICATION:**

*Contrôle de la résistance de la section:*

$$M_y,Ed/M_y,c,Rd = 0.62 < 1.00 \quad (6.2.5.(1))$$

$$V_z,Ed/V_z,c,Rd = 0.05 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

**Profil correct !!!**

## Annexe 4 : Catalogues des profilés Szs (chemin de roulement)

HEA +KSN	m kg/m	Statische Werte / Valeurs statiques													
		A mm <sup>2</sup>	I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>el1</sub> mm <sup>3</sup>	e <sub>1</sub> mm	W <sub>elo</sub> mm <sup>3</sup>	e <sub>o</sub> mm	W <sub>elu</sub> mm <sup>3</sup>	e <sub>u</sub> mm	W <sub>u</sub> mm <sup>3</sup>	e <sub>2</sub> mm	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>elz</sub> mm <sup>3</sup>	S'' <sub>y</sub> mm <sup>3</sup>	F <sub>Rd</sub> kN
<b>KSN 50-30</b>			<b>x 10<sup>6</sup></b>	<b>x 10<sup>3</sup></b>		<b>x 10<sup>3</sup></b>		<b>x 10<sup>3</sup></b>		<b>x 10<sup>3</sup></b>		<b>x 10<sup>6</sup></b>	<b>x 10<sup>3</sup></b>	<b>x 10<sup>3</sup></b>	
180	<b>47,3</b>	5530	32,6	478	68,2	370	88,2	317	103	331	98,2	9,46	105	196	134
200	<b>54,1</b>	6380	46,2	588	78,5	470	98,5	415	111	436	106	13,6	136	251	146
220	<b>62,3</b>	7430	65,6	733	89,5	600	109	545	121	568	116	19,7	179	327	160
240	<b>72,1</b>	8680	91,4	910	101	760	121	706	129	743	123	27,9	233	412	175
260	<b>80,0</b>	9680	<b>120,9</b>	1090	111	922	131	870	139	909	133	36,9	284	498	179
280	<b>88,2</b>	10700	<b>155,8</b>	1280	121	1100	141	1050	149	1090	142	47,8	342	592	191
300	<b>100</b>	12300	<b>204,7</b>	1550	132	1350	152	1300	158	1360	151	63,3	422	727	207
320	<b>109</b>	13400	<b>254,5</b>	1790	143	1570	163	1520	167	1600	159	70,1	468	846	226
340	<b>117</b>	14300	<b>305,4</b>	2000	153	1770	173	1720	177	1810	169	74,6	498	953	241
360	<b>124</b>	15300	<b>362,9</b>	2230	163	1990	183	1940	187	2040	178	79,1	528	1060	257
400	<b>137</b>	16900	<b>490,2</b>	2680	183	2410	203	2360	207	2480	198	85,8	573	1280	286
450	<b>152</b>	18800	<b>687,3</b>	3310	208	3020	228	2960	232	3100	222	94,9	633	1570	312
500	<b>167</b>	20800	<b>931,6</b>	4000	233	3680	253	3620	257	3790	246	103,9	693	1900	340
550	<b>178</b>	22200	<b>1194</b>	4640	257	4300	277	4230	283	4410	271	108,4	724	2170	359
600	<b>190</b>	23600	<b>1501</b>	5320	282	4970	302	4870	308	5080	296	112,9	753	2540	378
650	<b>202</b>	25200	<b>1856</b>	6040	307	5680	327	5580	333	5800	320	117,4	784	2790	398

HEB +KSN	m kg/m	Statische Werte / Valeurs statiques													
		A mm <sup>2</sup>	I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>el1</sub> mm <sup>3</sup>	e <sub>1</sub> mm	W <sub>elo</sub> mm <sup>3</sup>	e <sub>o</sub> mm	W <sub>elu</sub> mm <sup>3</sup>	e <sub>u</sub> mm	W <sub>u</sub> mm <sup>3</sup>	e <sub>2</sub> mm	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>elz</sub> mm <sup>3</sup>	S'' <sub>y</sub> mm <sup>3</sup>	F <sub>Rd</sub> kN
<b>KSN 50-30</b>			<b>x 10<sup>6</sup></b>	<b>x 10<sup>3</sup></b>		<b>x 10<sup>3</sup></b>		<b>x 10<sup>3</sup></b>		<b>x 10<sup>3</sup></b>		<b>x 10<sup>6</sup></b>	<b>x 10<sup>3</sup></b>	<b>x 10<sup>3</sup></b>	
180	<b>63,0</b>	7530	47,0	613	76,7	485	96,7	455	103	488	96,3	13,8	153	274	195
200	<b>73,1</b>	8810	67,8	774	87,5	630	107,5	602	112	646	105	20,2	202	357	212
220	<b>83,3</b>	10100	93,9	958	98,1	795	118	770	122	824	114	28,6	260	450	229
240	<b>95,0</b>	11600	128,1	1180	109	995	129	977	131	1050	122	39,4	328	561	246
260	<b>105</b>	12800	<b>167,3</b>	1410	119	1200	139	1190	141	1270	132	51,5	396	675	252
280	<b>115</b>	14100	<b>213,6</b>	1650	129	1430	149	1420	151	1500	142	66,1	472	797	267
300	<b>129</b>	15900	<b>275,7</b>	1970	140	1720	160	1720	160	1830	150	85,8	572	961	286
320	<b>139</b>	17100	<b>335,2</b>	2230	150	1970	170	1970	170	2100	160	92,6	617	1100	308
340	<b>146</b>	18100	<b>397,2</b>	2480	160	2210	180	2210	180	2350	169	97,1	647	1220	326
360	<b>154</b>	19100	<b>466,1</b>	2740	170	2450	190	2450	190	2610	179	101,6	677	1340	344
400	<b>167</b>	20800	<b>618,9</b>	3260	190	2950	210	2950	210	3130	198	108,4	723	1590	378
450	<b>183</b>	22800	<b>851,8</b>	3960	215	3630	235	3620	235	3840	222	117,4	783	1930	408
500	<b>199</b>	24900	<b>1137</b>	4750	240	4380	260	4360	260	4620	246	126,4	843	2290	439
550	<b>211</b>	26400	<b>1445</b>	5470	264	5080	284	5060	286	5320	272	131,0	873	2610	460
600	<b>224</b>	28000	<b>1803</b>	6240	289	5830	309	5800	311	6090	296	135,2	901	2950	482
650	<b>237</b>	29600	<b>2215</b>	7050	314	6640	334	6580	336	6910	320	140,0	933	3300	504

# Annexe 5 : Validation du chemin de roulement

## CALCUL DES STRUCTURES ACIER

**NORME:** *NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.*

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

**FAMILLE:**

**PIECE:** 1 Barre\_1

**POINT:** 3

**COORDONNEE:** x = 1.00 L = 5.00 m

**CHARGEMENTS:**

*Cas de charge décisif:* 1 pont roulant /2/ 1/2\*1.00

**MATERIAU:**

ACIER fy = 235.00 MPa



### PARAMETRES DE LA SECTION: HEA 280

ht=27.0 cm	Ay=72.80 cm <sup>2</sup>	Az=21.60 cm <sup>2</sup>	Ax=97.26 cm <sup>2</sup>
bf=28.0 cm	Iy=13673.30 cm <sup>4</sup>	Iz=4762.64 cm <sup>4</sup>	Ix=62.37 cm <sup>4</sup>
ea=0.8 cm			
es=1.3 cm	Wely=1012.84 cm <sup>3</sup>	Welz=340.19 cm <sup>3</sup>	

**CONTRAINTE:**

$$\text{SigFy} = -83.56/1012.84 = -82.50 \text{ MPa}$$



### PARAMETRES DE DEVERSEMENT:



### PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en z:

**FORMULES DE VERIFICATION:**

$$\text{SigFy} = |-82.50| < 235.00 \text{ MPa} \quad (3.212)$$

$$1.54 * \text{Tauz} = |1.54 * -44.09| = |-67.90| < 235.00 \text{ MPa} \quad (1.313)$$

**Profil correct !!!**

## Annexe 6 : Catalogues des profilés Szs (poteau)

IPE	m kg/m	Statische Werte / Valeurs statiques												
		A mm <sup>2</sup>	A <sub>v</sub> mm <sup>2</sup>	A <sub>w</sub> mm <sup>2</sup>	I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>ely</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>y</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>ply</sub> mm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> mm	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>elz</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> mm <sup>3</sup>	i <sub>z</sub> mm	K = I <sub>x</sub> mm <sup>4</sup>
80*	6,0	764	358	284	0,801	20,0	21,4	23,2	32,4	0,085	3,69	5,8	10,5	0,0067
100*	8,1	1030	508	387	1,71	34,2	36,3	39,4	40,7	0,159	5,79	9,2	12,4	0,0115
120*	10,4	1320	631	500	3,18	53,0	55,9	60,8	49,0	0,277	8,65	13,6	14,5	0,0169
140*	12,9	1640	764	626	5,41	77,3	81,3	88,4	57,4	0,449	12,3	19,2	16,5	0,0240
160*	15,8	2010	966	763	8,69	109	114	124	65,8	0,683	16,7	26,1	18,4	0,0353
180*	18,8	2390	1125	912	13,2	146	154	166	74,2	1,01	22,2	34,6	20,5	0,0472
200*	22,4	2850	1400	1070	19,4	194	203	220	82,6	1,42	28,5	44,7	22,4	0,0685
220*	26,2	3340	1588	1240	27,7	252	263	286	91,1	2,05	37,3	58,0	24,8	0,0898
240*	30,7	3910	1914	1430	38,9	324	338	366	99,7	2,84	47,3	74,0	26,9	0,127
270*	36,1	4590	2214	1710	57,9	429	446	484	112	4,20	62,2	97,0	30,2	0,157
300*	42,2	5380	2568	2050	83,6	557	578	628	125	6,04	80,5	125	33,5	0,198
330*	49,1	6260	3081	2390	117,7	713	739	804	137	7,88	98,5	154	35,5	0,276
360*	57,1	7270	3514	2780	162,7	904	937	1020	150	10,4	123	191	37,9	0,371
400*	66,3	8450	4269	3320	231,3	1160	1200	1310	165	13,2	146	229	39,5	0,504
450*	77,6	9880	5085	4090	337,4	1500	1550	1700	185	16,8	176	275	41,2	0,661
500*	90,7	11600	5987	4940	482,0	1930	1990	2200	204	21,4	214	336	43,1	0,886
550	106	13400	7234	5910	671,2	2440	2520	2780	223	26,7	254	401	44,5	1,22
600	122	15600	8378	6970	920,8	3070	3170	3520	243	33,9	308	486	46,6	1,65
HEA	m kg/m	Statische Werte / Valeurs statiques												
		A mm <sup>2</sup>	A <sub>v</sub> mm <sup>2</sup>	A <sub>w</sub> mm <sup>2</sup>	I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>ely</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>y</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>ply</sub> mm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> mm	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>elz</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> mm <sup>3</sup>	i <sub>z</sub> mm	K = I <sub>x</sub> mm <sup>4</sup>
100*	16,7	2120	756	440	3,49	73	79	83	40,6	1,34	26,8	41,2	25,1	0,0520
120*	19,9	2530	846	530	6,06	106	114	119	48,9	2,31	38,5	58,9	30,2	0,0596
140*	24,7	3140	1012	685	10,3	155	166	173	57,3	3,89	55,6	84,7	35,2	0,0803
160*	30,4	3880	1321	858	16,7	220	234	246	65,7	6,16	76,9	118	39,8	0,118
180*	35,5	4530	1447	969	25,1	294	311	324	74,5	9,25	103	157	45,2	0,147
200*	42,3	5380	1808	1170	36,9	389	410	430	82,8	13,4	134	204	49,8	0,204
220*	50,5	6430	2067	1390	54,1	515	544	568	91,7	19,5	178	271	55,1	0,281
240*	60,3	7680	2518	1640	77,6	675	712	744	101	27,7	231	352	60,0	0,410
260*	68,2	8680	2876	1780	104,5	836	881	920	110	36,7	282	430	65,0	0,520
280*	76,4	9730	3174	2060	136,7	1010	1060	1110	119	47,6	340	518	70,0	0,614
300*	88,3	11300	3728	2350	182,6	1260	1320	1380	127	63,1	421	642	74,9	0,842
320*	97,6	12400	4113	2650	229,3	1480	1560	1630	136	69,9	466	710	74,9	1,09
340*	105	13300	4495	2980	276,9	1680	1770	1850	144	74,4	496	756	74,6	1,29
360*	112	14300	4896	3320	330,9	1890	1990	2080	152	78,9	526	803	74,3	1,51
400*	125	15900	5733	4080	450,7	2310	2430	2560	168	85,6	571	873	73,4	1,91
450	140	17800	6578	4820	637,2	2900	3040	3220	189	94,7	631	966	72,9	2,49
500	155	19800	7472	5600	869,7	3550	3730	3940	210	103,7	691	1060	72,4	3,18
550	166	21200	8372	6450	1119	4150	4340	4620	230	108,2	721	1110	71,5	3,61
600	178	22600	9321	7340	1412	4790	5000	5360	250	112,7	751	1160	70,5	4,08
650	190	24200	10320	8290	1752	5470	5710	6140	269	117,2	782	1200	69,7	4,59
700	204	26000	11700	9610	2153	6240	6490	7040	288	121,8	812	1260	68,4	5,23
800	224	28600	13880	11400	3034	7680	7960	8700	326	126,4	843	1310	66,5	6,10
900	252	32100	16330	13800	4221	9480	9820	10800	363	135,5	903	1420	65,0	7,51
1000	272	34700	18460	15800	5538	11190	11550	12800	400	140,0	934	1470	63,5	8,37
HEB	m kg/m	Statische Werte / Valeurs statiques												
		A mm <sup>2</sup>	A <sub>v</sub> mm <sup>2</sup>	A <sub>w</sub> mm <sup>2</sup>	I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>ely</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>y</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>ply</sub> mm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> mm	I <sub>z</sub> mm <sup>4</sup>	W <sub>elz</sub> mm <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> mm <sup>3</sup>	i <sub>z</sub> mm	K = I <sub>x</sub> mm <sup>4</sup>
100*	20,4	2600	904	540	4,50	90	100	104	41,6	1,67	33	51	25,3	0,0931
120*	26,7	3400	1096	708	8,64	144	158	165	50,4	3,18	53	81	30,6	0,139
140*	33,7	4300	1308	896	15,1	216	236	246	59,3	5,50	79	120	35,8	0,202
160*	42,6	5430	1759	1180	24,9	311	339	354	67,8	8,89	111	170	40,5	0,312
180*	51,2	6530	2024	1410	38,3	426	461	482	76,6	13,6	151	231	45,7	0,422
200*	61,3	7810	2483	1660	57,0	570	616	642	85,4	20,0	200	306	50,7	0,596
220*	71,5	9100	2792	1940	80,9	736	793	828	94,3	28,4	258	394	55,9	0,770
240*	83,2	10600	3323	2230	112,6	938	1010	1050	103	39,2	327	499	60,8	1,04
260*	93,0	11800	3759	2420	149,2	1150	1230	1280	112	51,3	395	603	65,8	1,26
280*	103	13100	4109	2750	192,7	1380	1470	1530	121	65,9	471	718	70,9	1,45
300*	117	14900	4743	3090	251,7	1680	1790	1870	130	85,6	571	871	75,8	1,87
320*	127	16100	5177	3440	308,2	1930	2060	2140	138	92,4	616	940	75,7	2,29
340*	134	17100	5609	3820	366,6	2160	2300	2400	146	96,9	646	986	75,3	2,62
360*	142	18100	6060	4220	431,9	2400	2560	2680	155	101	676	1030	74,9	2,98
400*	155	19800	6998	5080	576,8	2880	3070	3240	171	108	721	1100	74,0	3,61
450*	171	21800	7966	5940	798,9	3550	3770	3980	191	117	781	1200	73,3	4,49
500	187	23900	8982	6840	1072	4290	4540	4820	212	126	842	1290	72,7	5,50
550	199	25400	10010	7820	1367	4970	5250	5600	232	131	872	1340	71,7	6,12
600	212	27000	11080	8840	1710	5700	6000	6420	252	135	902	1390	70,8	6,80
650	225	28600	12200	9900	2106	6480	6800	7320	271	140	932	1440	69,9	7,52
700	241	30600	13710	11400	2569	7340	7690	8320	290	144	963	1490	68,7	8,42
800	262	33400	16180	13400	3591	8980	9360	10220	328	149	994	1550	66,8	9,62
900	291	37100	18880	16000	4941	10980	11400	12580	365	158	1050	1660	65,3	11,5
1000	314	40000	21250	18300	6447	12890	13400	14860	401	163	1090	1710	63,8	12,7

## Annexe 7 : Validation du profilé poteau

### CALCUL DES STRUCTURES ACIER

**NORME:** *NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.*

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

**FAMILLE:**

**PIECE:** 1 Barre\_1

**POINT:** 1

**COORDONNEE:**  $x = 0.00$   $L = 0.00$  m

**CHARGEMENTS:**

*Cas de charge décisif:* 1 EXPL1

**MATERIAU:**

ACIER  $f_y = 235.00$  MPa



#### PARAMETRES DE LA SECTION: HEA 180

$h = 17.1$ cm	$gM0 = 1.00$	$gM1 = 1.00$
$b = 18.0$ cm	$Ay = 37.93$ cm <sup>2</sup>	$Az = 14.47$ cm <sup>2</sup>
$tw = 0.6$ cm	$Iy = 2510.29$ cm <sup>4</sup>	$Iz = 924.61$ cm <sup>4</sup>
$tf = 0.9$ cm	$W_{p,y} = 324.85$ cm <sup>3</sup>	$W_{p,z} = 156.49$ cm <sup>3</sup>

#### EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

$N,Ed = 88.79$  kN

$Nc,Rd = 1063.38$  kN

$Nb,Rd = 263.00$  kN

Classe de la section = 1



#### PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

#### PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

$Ly = 7.40$ m	$Lam_y = 1.06$
$L_{cr,y} = 7.40$ m	$X_y = 0.56$
$L_{am,y} = 99.35$	



en z:

$Lz = 7.40$ m	$Lam_z = 1.74$
$L_{cr,z} = 7.40$ m	$X_z = 0.25$
$L_{am,z} = 163.70$	

#### FORMULES DE VERIFICATION:

*Contrôle de la résistance de la section:*

$N,Ed/Nc,Rd = 0.08 < 1.00$  (6.2.4.(1))

*Contrôle de la stabilité globale de la barre:*

$\Lambda_{max,y} = 99.35 < \Lambda_{max} = 210.00$        $\Lambda_{max,z} = 163.70 < \Lambda_{max} = 210.00$  STABLE

$N,Ed/Nb,Rd = 0.34 < 1.00$  (6.3.1.1.(1))

**Profil correct !!!**

## Annexe 8 : Validation du profilé contreventement

### CALCUL DES STRUCTURES ACIER

**NORME:** *NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.*

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

**FAMILLE:**

**PIECE:** 49

**POINT:** 1

**COORDONNEE:**  $x = 0.00 \text{ L} = 0.00 \text{ m}$

**CHARGEMENTS:**

*Cas de charge décisif: 1 pont roulant /97/ 1/97\*1.00*

**MATERIAU:**

ACIER  $f_y = 235.00 \text{ MPa}$



#### PARAMETRES DE LA SECTION: CAE 140x13

$h = 14.0 \text{ cm}$	$gM_0 = 1.00$	$gM_1 = 1.00$
$b = 14.0 \text{ cm}$	$A_y = 18.20 \text{ cm}^2$	$A_z = 18.20 \text{ cm}^2$
$t_w = 1.3 \text{ cm}$	$I_y = 638.54 \text{ cm}^4$	$I_z = 638.54 \text{ cm}^4$
$t_f = 1.3 \text{ cm}$	$W_{ly} = 63.35 \text{ cm}^3$	$W_{lz} = 63.35 \text{ cm}^3$

#### EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

$N_{Ed} = 31.80 \text{ kN}$	$M_{y,Ed} = 1.78 \text{ kN*m}$	$V_{z,Ed} = -0.30 \text{ kN}$
$N_{c,Rd} = 821.33 \text{ kN}$	$M_{y,Ed,max} = 1.78 \text{ kN*m}$	$V_{z,c,Rd} = 246.93 \text{ kN}$
$N_{b,Rd} = 142.04 \text{ kN}$	$M_{y,c,Rd} = 14.89 \text{ kN*m}$	Classe de la section = 3



#### PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

#### PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

$L_y = 8.93 \text{ m}$	$Lam_y = 2.22$	$L_z = 8.93 \text{ m}$	$Lam_z = 2.22$
$L_{cr,y} = 8.93 \text{ m}$	$X_y = 0.17$	$L_{cr,z} = 8.93 \text{ m}$	$X_z = 0.17$
$L_{amy} = 208.94$	$k_{yy} = 0.84$	$L_{amz} = 208.94$	$k_{zy} = 0.84$



en z:

$L_y = 8.93 \text{ m}$	$Lam_y = 2.22$	$L_z = 8.93 \text{ m}$	$Lam_z = 2.22$
$L_{cr,y} = 8.93 \text{ m}$	$X_y = 0.17$	$L_{cr,z} = 8.93 \text{ m}$	$X_z = 0.17$
$L_{amy} = 208.94$	$k_{yy} = 0.84$	$L_{amz} = 208.94$	$k_{zy} = 0.84$

#### FORMULES DE VERIFICATION:

*Contrôle de la résistance de la section:*

$$My,Ed/My,c,Rd = 0.12 < 1.00 \quad (6.2.5.(1))$$

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} + My,Ed/My,c,Rd = 0.16 < 1.00 \quad (6.2.1(7))$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

*Contrôle de la stabilité globale de la barre:*

$$\Lambda_{y,Ed} = 208.94 < \Lambda_{y,max} = 210.00 \quad \Lambda_{z,Ed} = 208.94 < \Lambda_{z,max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed}/(X_{min} \cdot N_{Rk}/gM_1) + k_{yy} \cdot My,Ed,max/(X_{LT} \cdot My_{Rk}/gM_1) = 0.32 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_{min} \cdot N_{Rk}/gM_1) + k_{zy} \cdot My,Ed,max/(X_{LT} \cdot My_{Rk}/gM_1) = 0.32 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

#### DEPLACEMENTS LIMITES



*Flèches Non analysé*



*Déplacements*

$$v_x = 0.1 \text{ cm} < v_x \text{ max} = L/150.00 = 6.0 \text{ cm}$$

Vérifié

$$\text{Cas de charge décisif: 1 pont roulant /94/ 1/94*1.00}$$

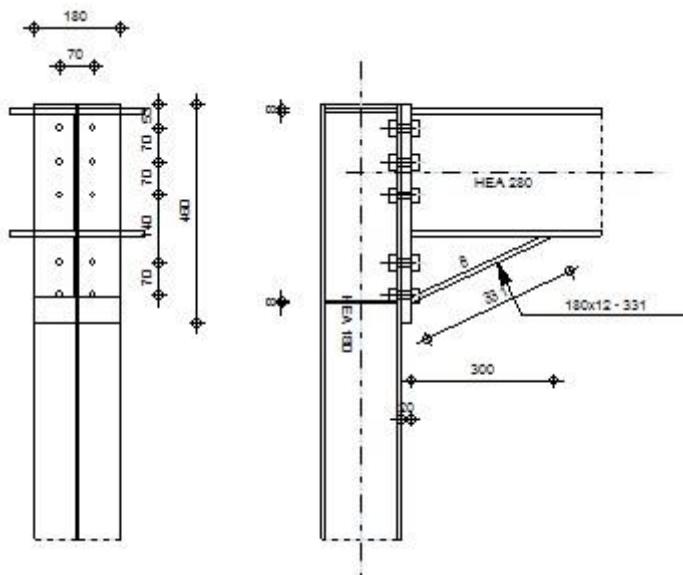
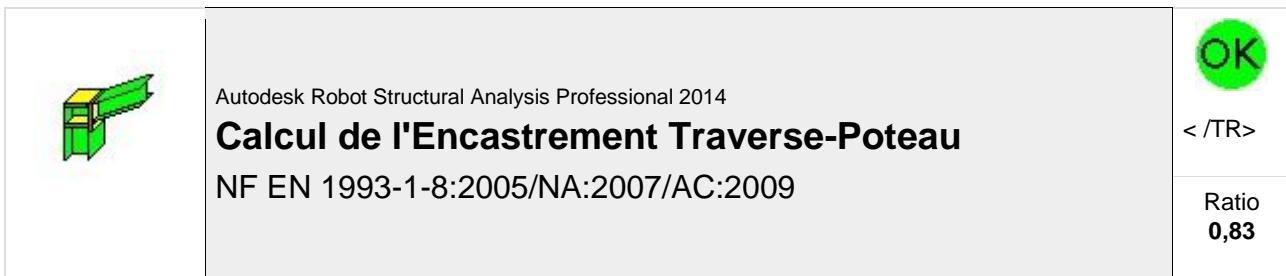
$vy = 0.0 \text{ cm} < vy \text{ max} = L/150.00 = 6.0 \text{ cm}$   
*Cas de charge décisif:* 1 pont roulant /1/ 1/1\*1.00

Vérifié

**Profil correct !!!**

Rapport Gratuit.Com

## Annexe 9 : Calcul d'assemblage poutre-poteau



### Général

Assemblage N°: 1

Nom de l'assemblage : Angle de portique

### Géométrie

#### Poteau

Profilé: HEA 180

$\alpha = -90,0$  [Deg] Angle d'inclinaison

$h_c = 171$  [mm] Hauteur de la section du poteau

$b_{fc} = 180$  [mm] Largeur de la section du poteau

$t_{wc} = 6$  [mm] Epaisseur de l'âme de la section du poteau

$t_{fc} = 10$  [mm] Epaisseur de l'aile de la section du poteau

$r_c = 15$  [mm] Rayon de congé de la section du poteau

Profilé: HEA 180

$\alpha = -90,0$  [Deg] Angle d'inclinaison

$A_c = 45,25$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section du poteau

$I_{xc} = 2510,29$  [cm<sup>4</sup>] Moment d'inertie de la section du poteau

Matériaux: ACIER

$f_{yc} = 235,00$  [MPa] Résistance

### Poutre

Profilé: HEA 280

$\alpha = 0,0$  [Deg] Angle d'inclinaison

$h_b = 270$  [mm] Hauteur de la section de la poutre

$b_f = 280$  [mm] Largeur de la section de la poutre

$t_{wb} = 8$  [mm] Epaisseur de l'âme de la section de la poutre

$t_{fb} = 13$  [mm] Epaisseur de l'aile de la section de la poutre

$r_b = 24$  [mm] Rayon de congé de la section de la poutre

$r_b = 24$  [mm] Rayon de congé de la section de la poutre

$A_b = 97,26$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section de la poutre

$I_{xb} = 13673,30$  [cm<sup>4</sup>] Moment d'inertie de la poutre

Matériaux: ACIER

$f_{yb} = 235,00$  [MPa] Résistance

### Boulons

Le plan de cisaillement passe par la partie NON FILETÉE du boulon

$d = 16$  [mm] Diamètre du boulon

Classe = 10.9 Classe du boulon

$F_{tRd} = 113,04$  [kN] Résistance du boulon à la traction

$n_h = 2$  Nombre de colonnes des boulons

$n_v = 5$  Nombre de rangées des boulons

$h_1 = 53$  [mm] Pince premier boulon-extrémité supérieure de la platine d'about

Ecartement  $e_i = 70$  [mm]

Entraxe  $p_i = 70; 70; 140; 70$  [mm]

**Platine**

$h_p = 460$  [mm] Hauteur de la platine

$b_p = 180$  [mm] Largeur de la platine

$t_p = 20$  [mm] Epaisseur de la platine

Matériaux: ACIER

$f_{yp} = 235,00$  [MPa] Résistance

**Jarret inférieur**

$w_d = 180$  [mm] Largeur de la platine

$t_{fd} = 12$  [mm] Epaisseur de l'aile

$h_d = 140$  [mm] Hauteur de la platine

$t_{wd} = 8$  [mm] Epaisseur de l'âme

$l_d = 300$  [mm] Longueur de la platine

$\alpha = 25,0$  [Deg] Angle d'inclinaison

Matériaux: ACIER

$f_{ybu} = 235,00$  [MPa] Résistance

**Raidisseur poteau****Supérieur**

$h_{su} = 152$  [mm] Hauteur du raidisseur

$b_{su} = 87$  [mm] Largeur du raidisseur

$t_{hu} = 8$  [mm] Epaisseur du raidisseur

Matériaux: ACIER

$f_{ysu} = 235,00$  [MPa] Résistance

**Inférieur**

$h_{sd} = 152$  [mm] Hauteur du raidisseur

$b_{sd} = 87$  [mm] Largeur du raidisseur

$t_{hd} = 8$  [mm] Epaisseur du raidisseur

Matériaux: ACIER

$f_{ysu} = 235,00$  [MPa] Résistance

**Soudures d'angle**

$a_w = 5$  [mm] Soudure âme

$a_f = 8$  [mm] Soudure semelle

$a_s = 5$  [mm] Soudure du raidisseur

$a_w = 5$  [mm] Soudure âme  
 $a_{fd} = 5$  [mm] Soudure horizontale

## Résultats

### Résistances de la poutre

#### FLEXION - MOMENT PLASTIQUE (SANS RENFORTS)

$W_{plb} = 1112,22$  [cm<sup>3</sup>] Facteur plastique de la section EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]  
 $M_{b,pl,Rd} = W_{plb} f_{yb} / \gamma_{M0}$   
 $M_{b,pl,Rd} = 261,37$  [kN\*m] Résistance plastique de la section à la flexion (sans renforts) EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

#### FLEXION AU CONTACT DE LA PLAQUE AVEC L'ELEMENT ASSEMBLE

$W_{pl} = 1440,46$  [cm<sup>3</sup>] Facteur plastique de la section EN1993-1-1:[6.2.5]  
 $M_{cb,Rd} = W_{pl} f_{yb} / \gamma_{M0}$   
 $M_{cb,Rd} = 338,51$  [kN\*m] Résistance de calcul de la section à la flexion EN1993-1-1:[6.2.5]

#### AILE ET AME EN COMPRESSION

$M_{cb,Rd} = 338,51$  [kN\*m] Résistance de calcul de la section à la flexion EN1993-1-1:[6.2.5]  
 $h_f = 397$  [mm] Distance entre les centres de gravité des ailes [6.2.6.7.(1)]  
 $F_{c,fb,Rd} = M_{cb,Rd} / h_f$   
 $F_{c,fb,Rd} = 852,93$  [kN] Résistance de l'aile et de l'âme comprimées [6.2.6.7.(1)]

#### AME OU AILE DU RENFORT EN COMPRESSION - NIVEAU DE L'AILE INFÉRIEURE DE LA POUTRE

Pression diamétrale:

$\beta = 0,0$  [Deg] Angle entre la platine d'about et la poutre  
 $\gamma = 25,0$  [Deg] Angle d'inclinaison du renfort  
 $b_{eff,c,wb} = 236$  [mm] Largeur efficace de l'âme à la compression [6.2.6.2.(1)]  
 $A_{vb} = 31,74$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]  
 $\omega = 0,83$  Coefficient réducteur pour l'interaction avec le cisaillement [6.2.6.2.(1)]  
 $\sigma_{com,Ed} = 35,84$  [MPa] Contrainte de compression maximale dans l'âme [6.2.6.2.(2)]  
 $k_{wc} = 1,00$  Coefficient réducteur dû aux contraintes de compression [6.2.6.2.(2)]

$\beta = 0,0$  [Deg] Angle entre la platine d'about et la poutre

$$F_{c,wb,Rd1} = [\omega k_{wc} b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$$

$F_{c,wb,Rd1} = 786,86$  [kN] Résistance de l'âme de la poutre

[6.2.6.2.(1)]

Flambement:

$d_{wb} = 196$  [mm] Hauteur de l'âme comprimée

[6.2.6.2.(1)]

$\lambda_p = 0,84$  Elancement de plaque

[6.2.6.2.(1)]

$\rho = 0,91$  Coefficient réducteur pour le flambement de l'élément

[6.2.6.2.(1)]

$$F_{c,wb,Rd2} = [\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M1}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$$

$F_{c,wb,Rd2} = 714,77$  [kN] Résistance de l'âme de la poutre

[6.2.6.2.(1)]

Résistance de l'aile du renfort

$$F_{c,wb,Rd3} = b_b t_b f_{yb} / (0.8 * \gamma_{M0})$$

$F_{c,wb,Rd3} = 987,00$  [kN] Résistance de l'aile du renfort

[6.2.6.7.(1)]

Résistance finale:

$$F_{c,wb,Rd,low} = \text{Min} (F_{c,wb,Rd1}, F_{c,wb,Rd2}, F_{c,wb,Rd3})$$

$F_{c,wb,Rd,low} = 714,77$  [kN] Résistance de l'âme de la poutre

[6.2.6.2.(1)]

## Résistances du poteau

### PANNEAU D'AME EN CISAILLEMENT

$M_{b1,Ed} = 50,00$  [kN\*m] Moment fléchissant dans la poutre droite

[5.3.(3)]

$M_{b2,Ed} = 0,00$  [kN\*m] Moment fléchissant dans la poutre gauche

[5.3.(3)]

$V_{c1,Ed} = 0,00$  [kN] Effort tranchant dans le poteau inférieur

[5.3.(3)]

$V_{c2,Ed} = 0,00$  [kN] Effort tranchant dans le poteau supérieur

[5.3.(3)]

$z = 326$  [mm] Bras de levier

[6.2.5]

$$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}) / z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}) / 2$$

$V_{wp,Ed} = 153,53$  [kN] Panneau d'âme en cisaillement

[5.3.(3)]

$A_{vs} = 14,47$  [cm<sup>2</sup>] Aire de cisaillement de l'âme du poteau

EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]

$A_{vc} = 14,47$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section au cisaillement

EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]

$d_s = 432$  [mm] Distance entre les centres de gravités des raidisseurs

[6.2.6.1.(4)]

$A_{vs} = 14,47 \text{ [cm}^2\text{]}$	Aire de cisaillement de l'âme du poteau	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$M_{pl,fc,Rd} = 0,95 \text{ [kN*m]}$	Résistance plastique de l'aile du poteau en flexion	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,stu,Rd} = 0,68 \text{ [kN*m]}$	Résistance plastique du raidisseur transversal supérieur en flexion	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,stl,Rd} = 0,68 \text{ [kN*m]}$	Résistance plastique du raidisseur transversal inférieur en flexion	[6.2.6.1.(4)]
$V_{wp,Rd} = 0,9 ( A_{vs} * f_{y,wc} ) / (\sqrt{3} \gamma_{M0}) + \text{Min}(4 M_{pl,fc,Rd} / d_s, (2 M_{pl,fc,Rd} + M_{pl,stu,Rd} + M_{pl,stl,Rd}) / d_s)$		
$V_{wp,Rd} = 184,24 \text{ [kN]}$	Résistance du panneau d'âme au cisaillement	[6.2.6.1]

$$V_{wp,Ed} / V_{wp,Rd} \leq 1,0 \quad 0,83 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,83)$$

### AME EN COMPRESSION TRANSVERSALE - NIVEAU DE L'AILE INFÉRIEURE DE LA POUTRE

Pression diamétrale:

$t_{wc} = 6 \text{ [mm]}$	Epaisseur efficace de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(6)]
$b_{eff,c,wc} = 198 \text{ [mm]}$	Largeur efficace de l'âme à la compression	[6.2.6.2.(1)]
$A_{vc} = 14,47 \text{ [cm}^2\text{]}$	Aire de la section au cisaillement	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$\omega = 0,73$	Coefficient réducteur pour l'interaction avec le cisaillement	[6.2.6.2.(1)]
$\sigma_{com,Ed} = 0,00 \text{ [MPa]}$	Contrainte de compression maximale dans l'âme	[6.2.6.2.(2)]
$k_{wc} = 1,00$	Coefficient réducteur dû aux contraintes de compression	[6.2.6.2.(2)]
$A_s = 13,92 \text{ [cm}^2\text{]}$	Aire de la section du raidisseur renforçant l'âme	EN1993-1-1:[6.2.4]

$$F_{c,wc,Rd1} = \omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} + A_s f_{ys} / \gamma_{M0}$$

$$F_{c,wc,Rd1} = 531,14 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance de l'âme du poteau} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

Résistance finale:

$$F_{c,wc,Rd,low} = \text{Min} (F_{c,wc,Rd1}, F_{c,wc,Rd2})$$

$$F_{c,wc,Rd} = 517,06 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance de l'âme du poteau} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

### RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE A LA FLEXION $M_{j,Rd}$

$$M_{j,Rd} = \sum h_j F_{ij,Rd}$$

$$M_{j,Rd} = 62,88 \text{ [kN*m]} \quad \text{Résistance de l'assemblage à la flexion} \quad [6.2]$$

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,80 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,80)$$

### Résistance des soudures

$A_w = 112,28 \text{ [cm}^2\text{]}$	Aire de toutes les soudures	[4.5.3.2(2)]
$A_{wy} = 80,00 \text{ [cm}^2\text{]}$	Aire des soudures horizontales	[4.5.3.2(2)]

## Résistance des soudures

$A_w =$	112,28	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de toutes les soudures	[4.5.3.2(2)]
$A_{wz} =$	32,28	[cm <sup>2</sup> ]	Aire des soudures verticales	[4.5.3.2(2)]
$I_{wy} =$	25990,18	[cm <sup>4</sup> ]	Moment d'inertie du système de soudures par rapport à l'axe horiz.	[4.5.3.2(5)]
$\sigma_{\perp max}=\tau_{\perp max} =$	31,01	[MPa]	Contrainte normale dans la soudure	[4.5.3.2(5)]
$\sigma_{\perp}=\tau_{\perp} =$	25,44	[MPa]	Contraintes dans la soudure verticale	[4.5.3.2(5)]
$\tau_{\parallel} =$	0,00	[MPa]	Contrainte tangentielle	[4.5.3.2(5)]
$\beta_w =$	0,80		Coefficient de corrélation	[4.5.3.2(7)]

$\sqrt{[\sigma_{\perp max}^2 + 3*(\tau_{\perp max}^2)]} \leq f_u/(\beta_w * \gamma_{M2})$	62,03 < 365,00	vérifié	(0,17)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3*(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u/(\beta_w * \gamma_{M2})$	50,87 < 365,00	vérifié	(0,14)
$\sigma_{\perp} \leq 0,9*f_u/\gamma_{M2}$	31,01 < 262,80	vérifié	(0,12)

## Rigidité de l'assemblage

$t_{wash} =$	4	[mm]	Epaisseur de la plaquette	[6.2.6.3.(2)]
$h_{head} =$	12	[mm]	Hauteur de la tête du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$h_{nut} =$	16	[mm]	Hauteur de l'écrou du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$L_b =$	52	[mm]	Longueur du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$k_{10} =$	5	[mm]	Coefficient de rigidité des boulons	[6.3.2.(1)]

## Remarques

Boulon face à la semelle ou trop proche de la semelle. 4 [mm] < 8 [mm]

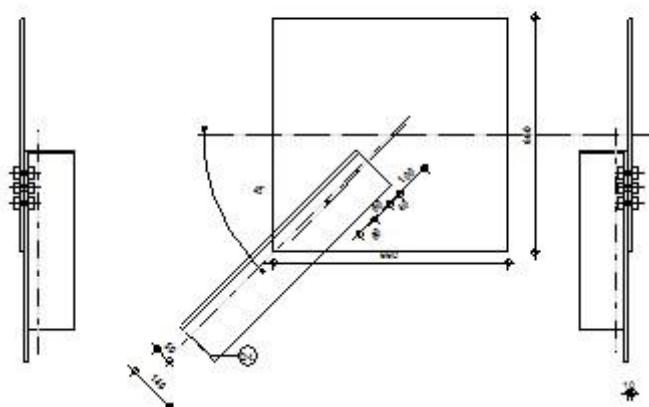
Entraxe des boulons trop grand. 140 [mm] > 133 [mm]

Epaisseur de l'aile de la contreplaqué inférieure à l'épaisseur de l'aile de la poutre 12 [mm] < 13 [mm]

<b>Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme</b>	<b>Ratio</b>	<b>0,83</b>
--	--------------	-------------

## Annexe 10 : Calcul d'assemblage de contreventement

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014 <b>Calcul de l'assemblage au gousset</b> NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009	 Ratio 0,09
---	---	--



### Général

Assemblage N°: 2

Nom de l'assemblage : Gousset - contreventement

### Géométrie

### Barres

			Barre 4	
<b>Profilé:</b>			CAE 140x13	
h			140	mm
b <sub>f</sub>			140	mm
t <sub>w</sub>			13	mm
t <sub>f</sub>			13	mm
r			15	mm
A			34,95	cm <sup>2</sup>

				Barre 4		
<b>Matériaux:</b>				ACIER		
	$f_y$			235,00		MPa
	$f_u$			365,00		MPa
<b>Angle</b>	$\alpha$			45,0		Deg

## Boulons

### Barre 4

Le plan de cisaillement passe par la partie NON FILETÉE du boulon

Classe = 4.8 Classe du boulon

$d = 16$  [mm] Diamètre du boulon

$d_0 = 18$  [mm] Diamètre du trou de boulon

$A_s = 1,57$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section efficace du boulon

$A_v = 2,01$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section du boulon

$f_{yb} = 280,00$  [MPa] Limite de plasticité

$f_{ub} = 400,00$  [MPa] Résistance du boulon à la traction

$n = 3$  Nombre de colonnes des boulons

Espacement des boulons 60; 60 [mm]

$e_1 = 40$  [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre

$e_2 = 50$  [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre

$e_c = 100$  [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

## Gousset

$l_p = 660$  [mm] Longueur de la platine

$h_p = 660$  [mm] Hauteur de la platine

$t_p = 10$  [mm] Epaisseur de la platine

## Paramètres

$h_1 = 0$  [mm] Grugeage

$v_1 = 0$  [mm] Grugeage

$h_2 = 0$  [mm] Grugeage

$h_1 = 0$  [mm] Grugeage  
 $v_2 = 0$  [mm] Grugeage  
 $h_3 = 0$  [mm] Grugeage  
 $v_3 = 0$  [mm] Grugeage  
 $h_4 = 0$  [mm] Grugeage  
 $v_4 = 0$  [mm] Grugeage

Centre de gravité de la tôle par rapport au centre de gravité des barres (0 ; 0)

$e_v = 330$  [mm] Distance verticale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres

$e_H = 330$  [mm] Distance horizontale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres

Matériaux: ACIER

$f_y = 235,00$  [MPa] Résistance

## Efforts

Cas: Calculs manuels

$N_{b4,Ed} = 10,00$  [kN] Effort axial

## Résultats

### Barre 4

#### RESISTANCE DES BOULONS

$F_{v,Rd} = 38,60$  [kN] Résistance de la tige d'un boulon au cisaillement

$F_{v,Rd} = 0.6 * f_{ub} * A_v * m / \gamma_M$

#### Pression du boulon sur la barre

Direction x

$k_{1x} = 2,50$  Coefficient pour le calcul de  $F_{b,Rd}$   $k_{1x} = \min[2.8 * (e_2 / d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1x} > 0.0$   $2,50 > 0,00$  vérifié

$\alpha_{bx} = 0,74$  Coefficient dépendant de l'espacement des boulons  $\alpha_{bx} = \min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0)-0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bx} > 0.0$   $0,74 > 0,00$  vérifié

$F_{b,Rd1x} = 112,47$  [kN] Résistance de calcul à l'état limite de plastification de la paroi du trou  $F_{b,Rd1x} = k_{1x} * \alpha_{bx} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

Direction z

$k_{1z} = 2,50$  Coefficient pour le calcul de  $F_{b,Rd}$   $k_{1z} = \min[2.8*(e_1/d_0)-1.7, 1.4*(p_1/d_0)-1.7, 2.5]$

$\alpha_{bz} > 0.0$   $2,50 > 0,00$  vérifié

$\alpha_{bz} = 0,93$  Coefficient pour le calcul de  $F_{b,Rd}$   $\alpha_{bz} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bz} > 0.0$   $0,93 > 0,00$  vérifié

$F_{b,Rd1z} = 140,59$  [kN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale  $F_{b,Rd1z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

### Pression du boulon sur la platine

Direction x

$k_{1x} = 2,50$  Coefficient pour le calcul de  $F_{b,Rd}$   $k_1 = \min[2.8*(e_2/d_0)-1.7, 2.5]$

$\alpha_{bx} > 0.0$   $2,50 > 0,00$  vérifié

$\alpha_{bx} = 0,86$  Coefficient dépendant de l'espacement des boulons  $\alpha_{bx} = \min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0)-0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bx} > 0.0$   $0,86 > 0,00$  vérifié

$F_{b,Rd2x} = 100,58$  [kN] Résistance de calcul à l'état limite de plastification de la paroi du trou  $F_{b,Rd2x} = k_1 * \alpha_{bx} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

Direction z

$k_{1z} = 2,50$  Coefficient pour le calcul de  $F_{b,Rd}$   $k_{1z} = \min[2.8*(e_1/d_0)-1.7, 1.4*(p_1/d_0)-1.7, 2.5]$

$\alpha_{bz} > 0.0$   $2,50 > 0,00$  vérifié

$\alpha_{bz} = 1,00$  Coefficient pour le calcul de  $F_{b,Rd}$   $\alpha_{bz} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bz} > 0.0$   $1,00 > 0,00$  vérifié

$F_{b,Rd2z} = 116,80$  [kN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale  $F_{b,Rd2z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

<b>Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme</b>	Ratio	0,09
--	-------	------

## Annexe 11 : Fixation des pieds des poteaux



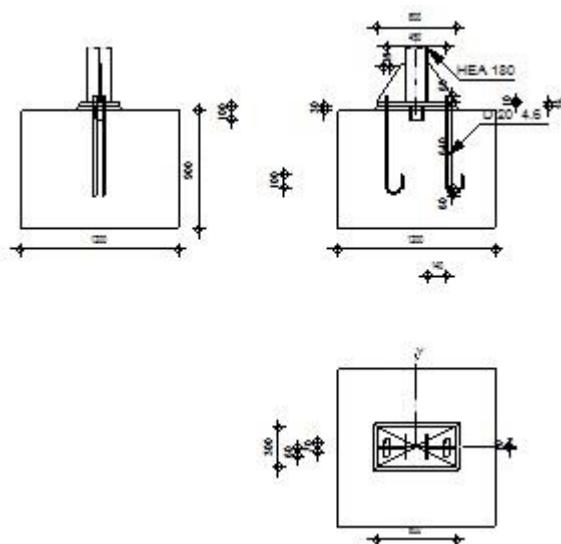
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014

**Calcul du Pied de Poteau encastré**

Eurocode 3: NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009 + CEB Design Guide: Design of fastenings on concrete



Ratio  
**0,54**



### Général

Assemblage N°: 1

Nom de l'assemblage : Pied de poteau encastré

### Géométrie

#### Poteau

Profilé: HEA 180

$L_c =$	5,00	[m]	Longueur du poteau
$\alpha =$	0,0	[Deg]	Angle d'inclinaison
$h_c =$	171	[mm]	Hauteur de la section du poteau
$b_{fc} =$	180	[mm]	Largeur de la section du poteau
$t_{wc} =$	6	[mm]	Epaisseur de l'âme de la section du poteau
$t_{fc} =$	10	[mm]	Epaisseur de l'aile de la section du poteau
$r_c =$	15	[mm]	Rayon de congé de la section du poteau
$A_c =$	45,25	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section du poteau
$I_{yc} =$	2510,29	[cm <sup>4</sup> ]	Moment d'inertie de la section du poteau

$L_c = 5,00$  [m] Longueur du poteau

Matériaux: ACIER

$f_{yc} = 235,00$  [MPa] Résistance

$f_{uc} = 365,00$  [MPa] Résistance ultime du matériau

### Platine de prescellement

$l_{pd} = 600$  [mm] Longueur

$b_{pd} = 300$  [mm] Largeur

$t_{pd} = 25$  [mm] Epaisseur

Matériaux: ACIER

$f_{ypd} = 235,00$  [MPa] Résistance

$f_{upd} = 365,00$  [MPa] Résistance ultime du matériau

### Ancrage

Le plan de cisaillement passe par la partie NON FILETÉE du boulon

Classe = 4.6 Classe de tiges d'ancrage

$f_{yb} = 240,00$  [MPa] Limite de plasticité du matériau du boulon

$f_{ub} = 400,00$  [MPa] Résistance du matériau du boulon à la traction

$d = 20$  [mm] Diamètre du boulon

$A_s = 2,45$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section efficace du boulon

$A_v = 3,14$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section du boulon

$n_H = 2$  Nombre de colonnes des boulons

$n_V = 2$  Nombre de rangées des boulons

Ecartement  $e_{Hi} = 450$  [mm]

Entraxe  $e_{Vi} = 70$  [mm]

### Dimensions des tiges d'ancrage

$L_1 = 60$  [mm]

$L_2 = 640$  [mm]

$L_3 = 120$  [mm]

$L_4 = 100$  [mm]

**Platine** $l_{wd} = 50$  [mm] Longueur $b_{wd} = 60$  [mm] Largeur $t_{wd} = 10$  [mm] Epaisseur**Bêche**

Profilé: IPE 100

 $l_w = 100$  [mm] Longueur

Matériau: ACIER

 $f_{yw} = 235,00$  [MPa] Résistance**Raidisseur** $l_s = 600$  [mm] Longueur $h_s = 300$  [mm] Hauteur $t_s = 10$  [mm] Epaisseur $d_1 = 20$  [mm] Grugeage $d_2 = 20$  [mm] Grugeage**Semelle isolée** $L = 1200$  [mm] Longueur de la semelle $B = 1200$  [mm] Largeur de la semelle $H = 900$  [mm] Hauteur de la semelle**Béton**

Classe BETON20

 $f_{ck} = 20,00$  [MPa] Résistance caractéristique à la compression**Mortier de calage** $t_g = 30$  [mm] Epaisseur du mortier de calage $f_{ck,g} = 12,00$  [MPa] Résistance caractéristique à la compression $C_{f,d} = 0,30$  Coef. de frottement entre la plaque d'assise et le béton**Soudures**

$a_p =$	4	[mm]	Plaque principale du pied de poteau
$a_w =$	4	[mm]	Bêche
$a_s =$	4	[mm]	Raidisseurs

### Contrôle de la résistance de l'assemblage

$$N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0 \text{ (6.24)} \quad 0,00 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,00)$$

$e_y =$	500	[mm]	Excentricité de l'effort axial	[6.2.8.3]
$Z_{c,y} =$	132	[mm]	Bras de levier $F_{C,Rd,y}$	[6.2.8.1.(2)]
$Z_{t,y} =$	225	[mm]	Bras de levier $F_{T,Rd,y}$	[6.2.8.1.(3)]
$M_{j,Rd,y} =$	42,48	[kN*m]	Résistance de l'assemblage à la flexion	[6.2.8.3]

$$M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} \leq 1,0 \text{ (6.23)} \quad 0,12 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,12)$$

$e_z =$	500	[mm]	Excentricité de l'effort axial	[6.2.8.3]
$Z_{c,z} =$	69	[mm]	Bras de levier $F_{C,Rd,z}$	[6.2.8.1.(2)]
$Z_{t,z} =$	35	[mm]	Bras de levier $F_{T,Rd,z}$	[6.2.8.1.(3)]
$M_{j,Rd,z} =$	11,78	[kN*m]	Résistance de l'assemblage à la flexion	[6.2.8.3]

$$M_{j,Ed,z} / M_{j,Rd,z} \leq 1,0 \text{ (6.23)} \quad 0,42 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,42)$$

$$M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} + M_{j,Ed,z} / M_{j,Rd,z} \leq 1,0 \quad 0,54 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,54)$$

### CONTROLE DU CISAILLEMENT

$$V_{j,Rd,y} = n_b * \min(F_{1,vb,Rd,y}, F_{2,vb,Rd}, F_{v,Rd,sm}, F_{v,Rd,cp}, F_{v,Rd,c,y}) + F_{v,Rd,wg,y} + F_{f,Rd}$$

$$V_{j,Rd,y} = 208,39 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance de l'assemblage au cisaillement} \quad \text{CEB [9.3.1]}$$

$$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} \leq 1,0 \quad 0,05 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,05)$$

$$V_{j,Rd,z} = n_b * \min(F_{1,vb,Rd,z}, F_{2,vb,Rd}, F_{v,Rd,sm}, F_{v,Rd,cp}, F_{v,Rd,c,z}) + F_{v,Rd,wg,z} + F_{f,Rd}$$

$V_{j,Rd,z} = 124,39$  [kN] Résistance de l'assemblage au cisaillement CEB [9.3.1]

$V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$   $0,08 < 1,00$  vérifié (0,08)

$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} + V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$   $0,13 < 1,00$  vérifié (0,13)

### Contrôle des raidisseurs

$\max(\sigma_g, \tau / (0.58), \sigma_z) / (f_{yp}/\gamma_{M0}) \leq 1.0$  (6.1)  $0,12 < 1,00$  vérifié (0,12)

#### Soudures entre le poteau et la plaque d'assise

$\sigma_{\perp} / (0.9*f_u/\gamma_{M2}) \leq 1.0$  (4.1)  $0,17 < 1,00$  vérifié (0,17)

$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0(\tau_{y||}^2 + \tau_{\perp}^2)) / (f_u/(\beta_w^*\gamma_{M2}))} \leq 1.0$  (4.1)  $0,26 < 1,00$  vérifié (0,26)

$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0(\tau_{z||}^2 + \tau_{\perp}^2)) / (f_u/(\beta_w^*\gamma_{M2}))} \leq 1.0$  (4.1)  $0,02 < 1,00$  vérifié (0,02)

#### Soudures verticales des raidisseurs

##### Raidisseur parallèle à l'âme (sur le prolongement de l'âme du poteau)

$\max(\sigma_{\perp}, \tau_{||} * \sqrt{3}, \sigma_z) / (f_u/(\beta_w^*\gamma_{M2})) \leq 1.0$  (4.1)  $0,20 < 1,00$  vérifié (0,20)

#### Soudures horizontales des raidisseurs

##### Raidisseur parallèle à l'âme (sur le prolongement de l'âme du poteau)

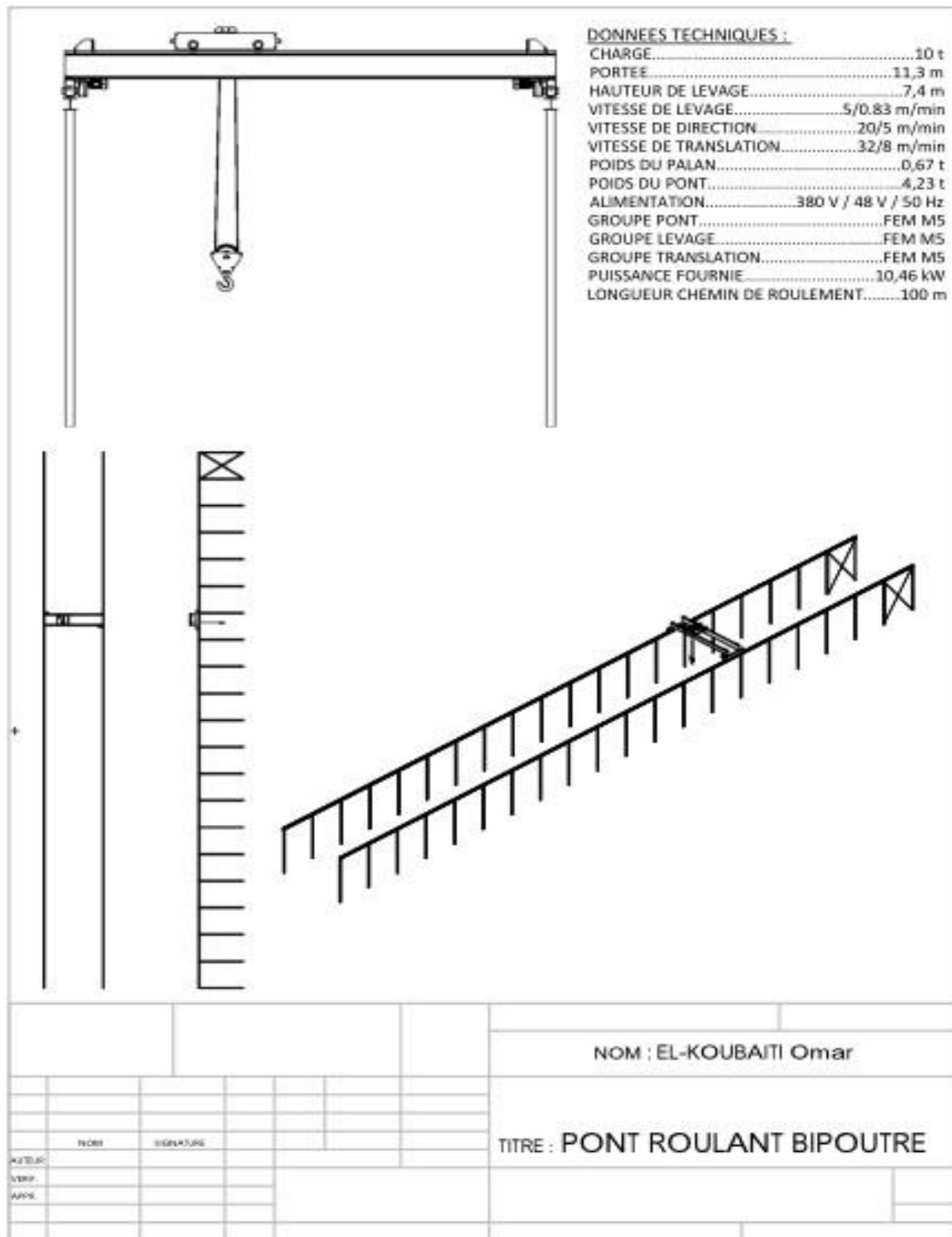
$\max(\sigma_{\perp}, \tau_{||} * \sqrt{3}, \sigma_z) / (f_u/(\beta_w^*\gamma_{M2})) \leq 1.0$  (4.1)  $0,19 < 1,00$  vérifié (0,19)

#### Composant le plus faible:

BOULON D'ANCRAGE A LA RUPTURE

**Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme** Ratio 0,54

## Annexe 12 : Plan du pont roulant



## Bibliographie

### Ouvrage :



- ❖ Eurocodes 3 : La norme européenne de calcul des structures en acier (EN 1993)
- ❖ FEM : La Fédération Européenne de la Manutention
- ❖ Construction Métallique Vol 11 : Charpentes métalliques (TGC volume 11) Conception et dimensionnement des halles et bâtiments De Manfred A. Hirt et Michel Crisinel
- ❖ Konstruktionstabellen Steelwork C5/05(SZS) : Tables de construction» et tient compte de la nouvelle norme SIA
- ❖ Les documents du service Approvisionnement.

### Sites web :



- ❖ [www.wikipédia.com](http://www.wikipédia.com)
- ❖ [www.konecranes.com](http://www.konecranes.com)
- ❖ [www.techniplus.ma](http://www.techniplus.ma)
- ❖ [www.mecatools.free.fr/](http://www.mecatools.free.fr/)