



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Fès
Faculté de Sciences et Techniques de Fès-Saïss
Département de génie mécanique



Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention de la

Licence Sciences et Techniques

Spécialité : Conception et Analyse Mécanique

Thème :

Etude et dimensionnement d'un pont roulant

Lieu :

Office Chérifien des Phosphates

Youssoufia

Présenté par :

- Hamza ELOUARTI.
- Jaber DEBBAGH.

Encadré par :

- Khir-Eddine N'KHAILI.
- Abdelhamid TOUACHE.

Soutenu le 10/06/2016 devant le jury :

- Abdelhamid TOUACHE.
- Ahmed ABOUTAJDDINE

Remerciement

Au terme de ce simple travail, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements, en premier lieu, à notre parrain de stage M. N'KHAILI chef de section travaux neufs qui a bien eu l'amabilité de nous encadrer et de nous assister durant la période du stage, et nous tenons à exprimer nos profonde reconnaissance, pour son aide et surtout ses conseils qui nous ont permis d'aboutir à cette fin de manière agréable .

Merci également à M.LEBRIKI qui a mis à ma disposition tout le nécessaire pour accomplir ce travail dans les meilleures conditions.

Nos vifs remerciements vont à M. EL HAKOUMI pour sa disponibilité, et pour le temps qu'il a bien voulu nous accorder, de nous avoir assuré la documentation nécessaire sur l'étude du palan et du pont roulant.

Ainsi que tous les agents O.C.P YOUSSOUFIA et plus particulièrement, l'équipe du atelier mécanique: Monsieur RCHID, MOSTAFA et ESSAKET pour leur soutien, remarques et leurs conseils pertinentes.

Enfin nous tenons à présenter particulièrement nos profondes gratitude à nos professeurs à la FST et également à toute personne ayant contribué de près ou e loin à la réussite de cette expérience professionnelle.

Merci encore très profondément...

Dédicace

Nous avons le plaisir d'offrir ce modeste travail à tous ceux qui de près ou de loin ont aidé à sa réalisation :

A nos familles ...

Pour l'inspiration de notre vivacité, et la motivation de notre effort.

A nos chers parents ...

Pour leur générosité et leur présence permanentes.

A nos professeurs ...

Pour leur aide et soutien pendant toute notre période de formation.

A nos chers amis...

Pour témoigner de la fraternité qui nous associé.

SOMMAIRE

Introduction générale.....	6
Première partie.....	7
I. Présentation générale du groupe OCP.....	8
I.1 Présentation du groupe OCP	8
I.2 Fiche technique	8
II. Présentation du centre d'exploitation GANTOUR	10
II.1 Présentation.....	10
II.2 Organigramme.	10
III. Présentation des ateliers centraux.....	11
III.1 Présentation	11
III.2 Organigramme	11
III.3 Description des sections	12
Deuxième partie.....	13
I. Cotexte et objectifs du projet.....	14
II. Etude du pont roulant	14
II.1 Présentation.....	14
II.2 Description du pont roulant.	14
II.3 mouvements possibles.....	15
II.4 types du pont roulant.....	16
Troisième partie.....	19
I. Dimensionnement de la poutre principale.....	20
I.1 Modélisation	20
I.2 Choix du profilé adéquat.....	20
I.3 vérification du profilé choisi.	21
II. Choix des rails du roulement et vérification des galets.....	23

II.1 Calcul de vérification suivant les règles de la norme ISO 16881-1	24
II.2 Vérification des deux conditions.....	28
III. Dimensionnement de la poutre support du chemin de roulement	28
III.1 Choix du profilé adéquat	29
III.2 Analyse du comportement du profilé adopté	33
IV. Calcul de flambement des poteaux	35
IV.1 Introduction	35
IV.2 Calcul de l'effort normal sur un poteau	36
IV.3 Vérification de la résistance au flambage	36
V. vérification du système avec logiciel RDM6.....	37
CONCLUSION	39
ANNEXES.....	30
BIBLIOGRAPHIE	45

Introduction générale

La faculté des Sciences et Techniques de Fès offre la possibilité à ses étudiants d'effectuer un stage de fin d'étude dans des sociétés industrielles. Afin d'améliorer les connaissances de l'étudiant et apprendre des méthodes techniques de travail, et dans le but de lui permettre de prendre contact avec le monde des entreprises, de tester ses possibilités d'adaptation personnelle et de mettre en application toutes les connaissances acquises lors des études, et pour avoir une formation professionnelle, nous devons chercher le complément pratique de la théorie dans le monde de travail.

Une telle occasion nous a été offerte par l'Office Chérifien des Phosphates dans le service travaux neufs qui occupe une place importante tant à l'échelle nationale qu'à l'échelle internationale dans l'extraction et le traitement du phosphate brut pour le commercialiser et aussi la valorisation d'une partie à la production dans les usines chimiques, soit sous forme d'acide phosphorique, soit sous forme d'engrais.

Dans ce présent rapport, il nous a été demandé de faire une étude RDM d'un palan et un pont roulant de 5T pour la section chaudronnerie. Ce rapport est articulé autour de trois grandes parties:

Partie 1 : Présentation générale du groupe chérifien des phosphates.

Partie 2 : contexte et objectif du projet et une description du pont roulant (mouvements, types).

Partie 3 : Dimensionnement de principaux poutres et profilés utilisés.

Partie n°1 :

Présentation générale.

- I. Présentation générale du groupe OCP
 - I.1 Présentation du groupe OCP
 - I.2 Fiche technique
- II. Présentation du centre d'exploitation GANTOUR
 - II.1 Présentation
 - II.2 Organigramme.
- III. Présentation des ateliers centraux
 - III.1 Présentation
 - III.2 Organigramme
 - III.3 Description des sections.

I. Présentation générale du groupe OCP

I.1 Présentation du groupe OCP

Le Groupe OCP opère dans le domaine de l'industrie du phosphate et des produits dérivés. Le phosphate est une matière naturelle qui est utilisée principalement dans la fabrication des engrais : 85% du phosphate extrait dans le monde sont destinés à la production de fertilisants, les autres, 15% sont dirigés vers les usages techniques (Alimentation animale, détergence, traitement de surface, conservation des aliments, pharmacie...)

Le groupe OCP extrait le phosphate brut du sous-sol Marocain, au moyen de chantiers à ciel ouvert ou de mines souterraines. Le minerai est ensuite épierré et criblé, puis séché ou calciné. Parfois, il subit une opération de lavage ou de flottation pour une concentration de sa teneur en phosphore, avant d'être séché.

Le minerai traité est exporté tel quel ou livré aux industries chimiques du Groupe à Jorf- Lasfar ou à Safi pour être transformé en produits dérivés commercialisables : acide phosphorique de base, acide phosphorique purifié, engrais solides. Opérateur international, le Groupe OCP livre aux cinq continents de la planète ; ses exportations présentent 25% environ du commerce international du phosphate et ses dérivés. Une politique de partenariat industriel est également engagée au Maroc et à l'étranger.

A l'écoute du client et œuvrant en permanence pour la satisfaction de ses exigences techniques, le Groupe dispose de laboratoires de recherches et de stations d'essais pilotes, regroupés au sein de son Centre d'études et de recherches : le Cerphos.

Le Groupe OCP est présent dans cinq zones géographiques du pays (3 sites d'exploitation minière : Khouribga, Benguéir/Youssoufia, Boucraâ/Laâyoune et 2 sites de transformation chimique : Safi et Jorf-Lasfar). Il constitue un vecteur de développement régional et national important. Sa contribution dans le PIB est de 2 à 3 % et dans les exportations marocaines en valeur de 15% à 18%.

I.2 Fiche Technique :

- Dénomination : Groupe Office Chérifien des Phosphates.
- Date de création de l'OCP : 07 Août 1920.
- Date de création du groupe OCP : 1975.
- Siège social : 2, Rue Al Abtal, Hay Erraha, Casablanca 20100.
- Statut juridique : entreprise semi-publique.
- Activité du groupe : extraction, traitement et transformation du phosphate.
- Produits de l'OCP :
 - Phosphate brute.
 - Acide phosphorique

-Acide phosphorique purifié.

-Engrais phosphatés.

- Effectifs : 27400 agents dont 710 ingénieurs et assimilés.
- Sites de valorisation chimique : elle s'articule sur deux axes principaux :

Safi (1921).

Jorf Lasfar (1986).

- Centre de production : il existe quatre centres d'exploitation minière :

Khouribga (1921) .

Youssoufia (1931).

Boukraa (1975).

Bengruerir (1979).

- Les ports d'embarquement :

Casablanca.

Jorf Lasfar.

Safi.

Laayoune.

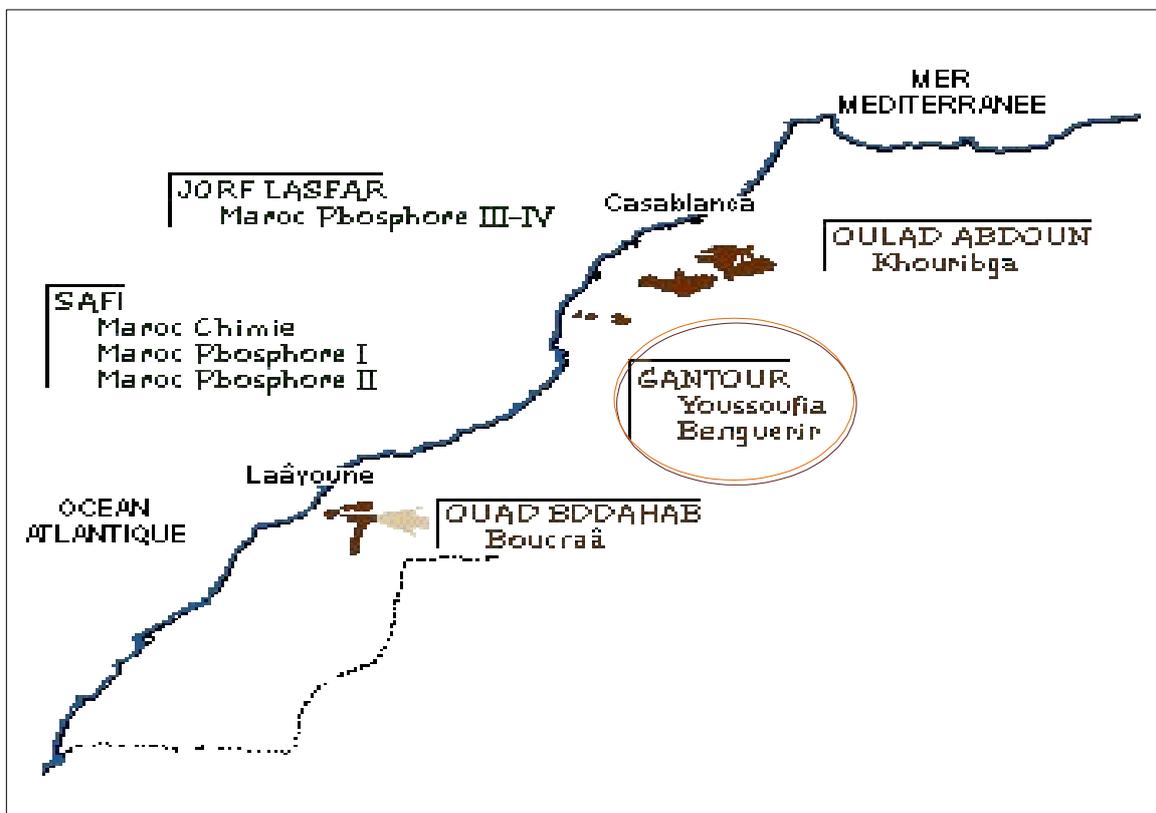


figure1.1 :différents sites OCP au maroc.

Nous avons effectué notre stage au sein du centre d'exploitation minière de GANTOUR (Youssoufia).

II. Présentation du centre d'exploitation GANTOUR

II.1 Présentation

La Direction des Exploitations Minières de GANTOUR est l'une des trois directions du Groupe OCP chargée de l'extraction et du traitement du phosphate. Elle dispose de deux centres de production :

- Le centre de Youssoufia qui est en exploitation depuis 1931.
- Le centre de Benguérir qui est en exploitation depuis 1980.

La politique qualité de la Direction des Exploitations Minières de GANTOUR vise la réalisation des trois objectifs fondamentaux suivants :

- La satisfaction totale des besoins des clients et l'anticipation de leurs attentes.
- Le développement et l'épanouissement du personnel, à travers une plus grande intégration dans la réalisation des objectifs de l'entreprise.
- L'amélioration soutenue des performances et résultats.

II.1 Organigramme

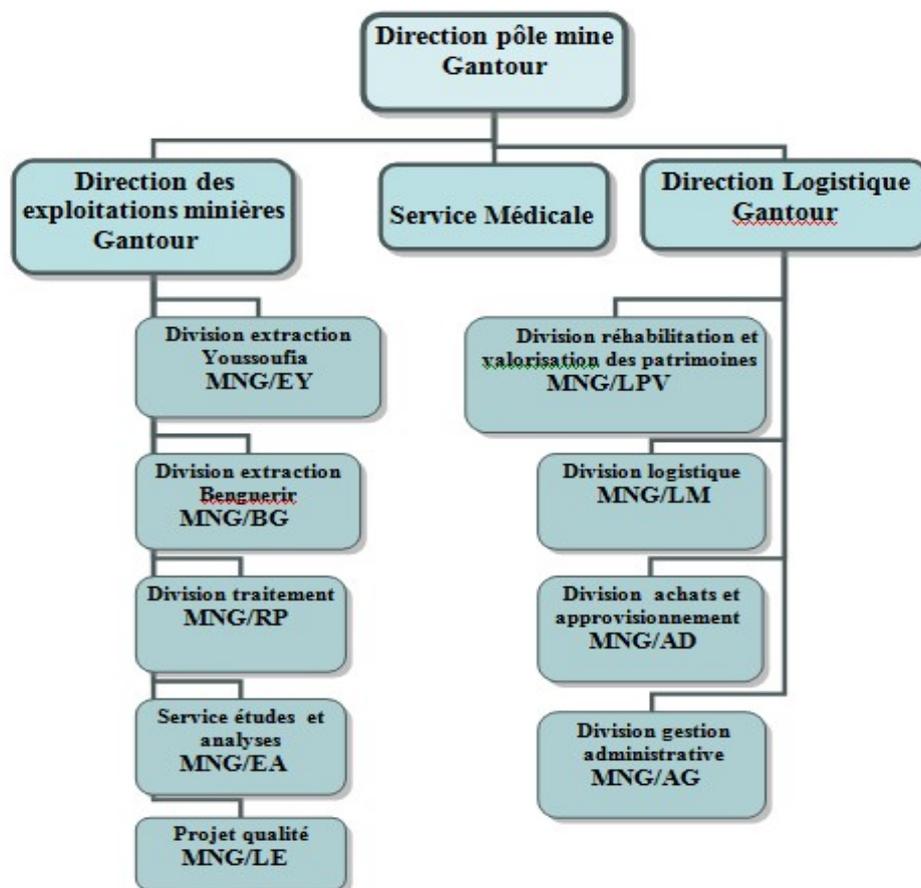


Figure1.2: Organigramme de site Gantour.

III. Présentation des Ateliers centraux

III.1 présentation

Les ateliers centraux se composent de trois entités :

Service mécanique.

Service électrique.

Service matériel de roulage.

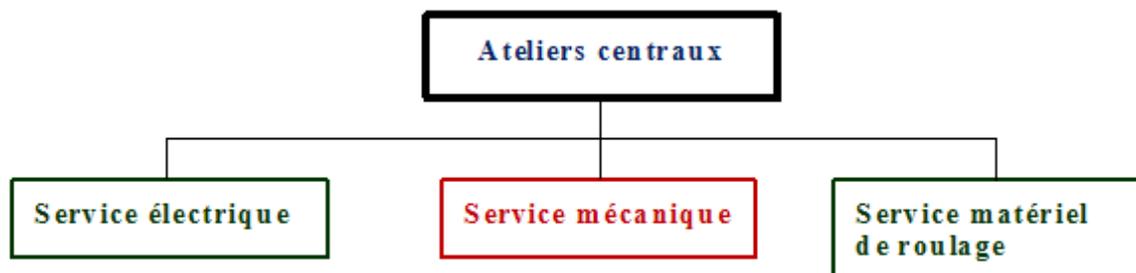


Figure1.3 : Services des ateliers centraux.

III.2 Organigramme

Le Département mécanique se divise en plusieurs sections, ayant pour objectif d'assurer une bonne maintenance des appareils et machines qui font usage d'une utilisation permanente dans les champs d'exploitation (la mine, les recettes...).

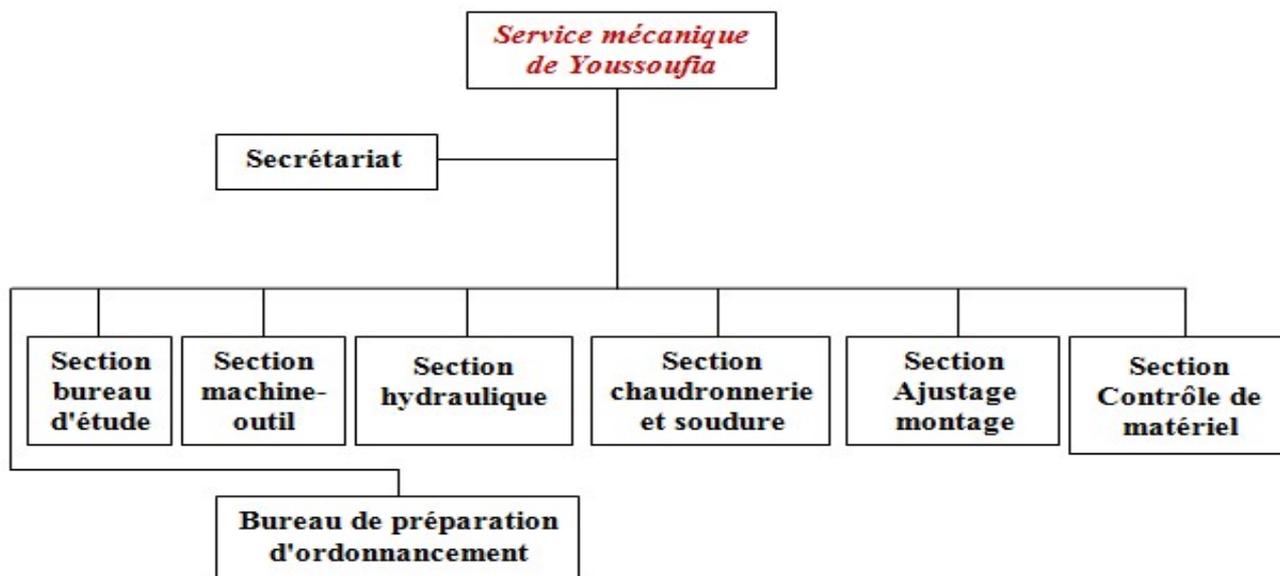


figure1.4 : Service mécanique de Youssoufia.

III.3 description des sections

III.3.1 Section bureau d'étude

C'est une section analytique qui se charge des dessins de confection et des plans de projets. Elle mène par ailleurs l'étude des pièces susceptibles d'être confectionnées localement ou traitées en vue d'être confectionnées à l'extérieur par l'intermédiaire d'autres organismes (fournisseurs). De plus, elle représente le bureau de documentation.

III.3.2 Bureau d'ordonnancement et de préparation

Il se charge des bons de travaux concernant chaque section exécutante.

III.3.3 Les Ateliers

Il regroupe les sections exécutantes :

Machine outils : Conception mécanique de matériel et de pièces. Cela se fait par le biais de différentes machines, à savoir la fraiseuse, la perceuse, la mortaiseuse etc.

Maintenance mécanique et hydraulique : se fait pour des appareils tels que :

- réducteurs, pompes hydrauliques, vérins hydraulique, moteur hydraulique...
- Chaudronnerie et soudure : On y utilise tous les différents types de soudage (par arc, par acétylène...).
- Ajustage : réparation des appareils tels que : le tambour, les réducteurs...etc.
- Contrôle de matériel : il se charge de la réception des bons de travaux avec ou sans matériel et du contrôle du matériel pour la reforme.

Partie n°2 :

Etude du pont roulant

- I.** Cotexte et objectifs du projet
- II.** Etude du pont roulant.
 - II.1** Présentation.
 - II.2** Description du pont roulant.
 - II.3** Mouvements possibles.
 - II.4** Types du pont roulant.

I. Cotexte et objectifs du projet

L'entité travaux neufs envisage d'installer un pont roulant et un palan à la section chaudronnerie et soudure, il nous est demandé alors de faire une étude RDM d'installation justifiant les profilés à installer, en respectant les exigences suivantes :

- Poids maximal estimée à 5 Tonnes.
- Utiliser la matière disponible au magasin (OCP) : acier S235.
- Une vitesse de translation de 2,54 m/min.
- Utiliser le galet à diamètre 200mm.

II. Etude du Pont roulant

II.1 Présentation

Un pont roulant est un appareil de manutention permettant le levage et le transfert des charges de grandes masses.

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.



II.2 Description du pont roulant

Un système de levage avec pont roulant et palan de levage comporte les éléments suivants:

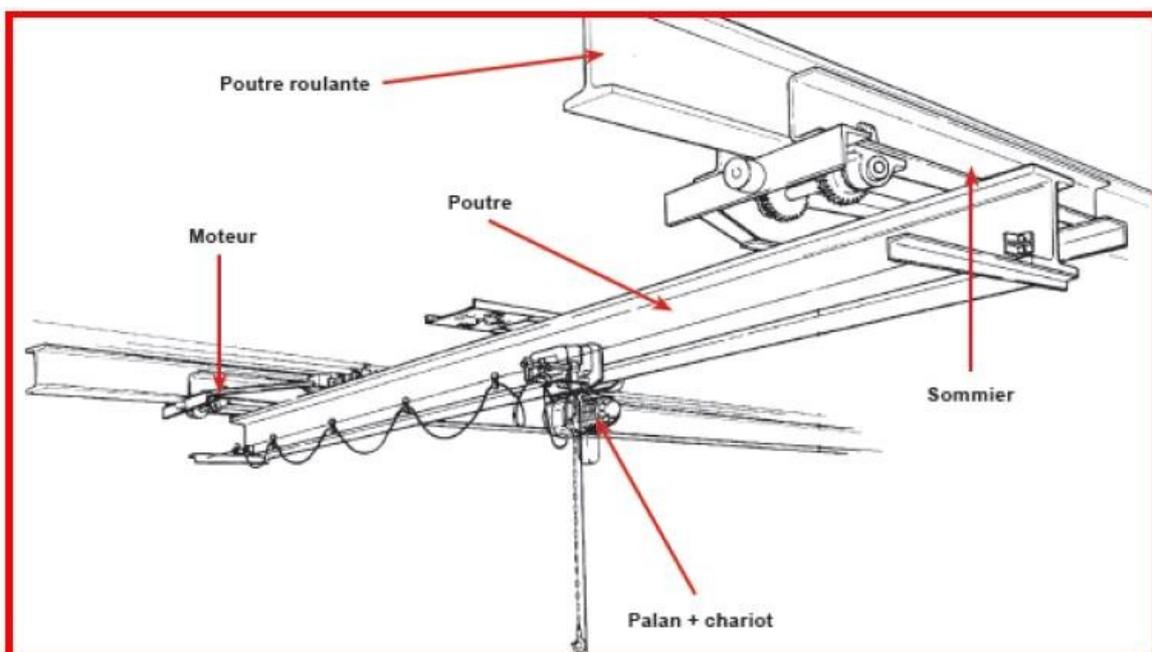


Figure2.1 : différents éléments d'un système de levage.

Poutre du pont :

Partie d'un pont roulant comprise entre les poutres de roulement de l'appareil de levage et les supports du chariot.

Système de guidage

Système servant à garder un appareil de levage dans l'axe d'une poutre de roulement grâce aux réactions horizontales entre l'appareil de levage et les poutres de roulement. Le système de guidage peut se composer de flasques sur les galets de l'appareil de levage ou un système séparé de galets de guidage roulant sur le côté des rails de l'appareil de levage ou sur le flanc des poutres de roulement.

Palan :

Machine destinée à soulever des charges.

Chariot porte-palan :

Chariot suspendu comprenant un palan et capable de se déplacer sur l'aile inférieure d'une poutre, soit sur un chemin de roulement fixe soit au-dessous de la poutre d'un pont roulant.

Sommier :

C'est la poutre qui comporte les galets de guidage qui permettent d'effectuer la translation du pont sur les rails de guidage.

II.3 Les mouvements possibles

Les éléments mobiles (crochet, chariot, pont) d'un engin de manutention permettant d'effectuer simultanément trois genres de mouvements.

- Levage : mouvement vertical de la charge levée.
- Direction : mouvement du chariot transversal à la halle.
- Translation : mouvement du pont roulant longitudinal à la halle.
- Rotation : rotation du crochet autour de l'axe Y.

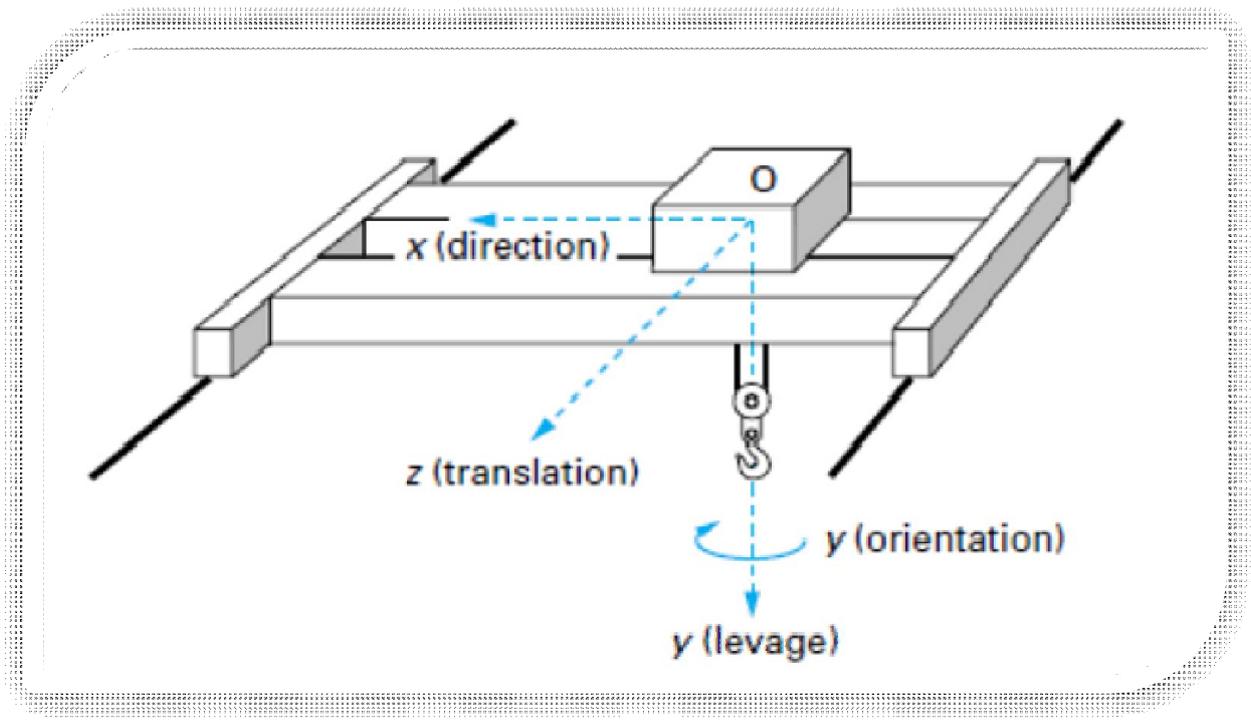


Figure2.2 : mouvements possibles du pont roulant.

II.4 type des ponts roulant



Pont roulant suspendu :

Le Pont roulant supporté par les ailles inférieures des poutres de roulement de l'appareil de levage.



Figure2.3 : Pont roulant suspendu.



Pont roulant posé :

Le pont roulant supporté par la partie supérieure de la poutre de roulement de l'appareil de levage. Il se déplace en général sur des rails mais parfois directement sur la partie supérieure des poutres.

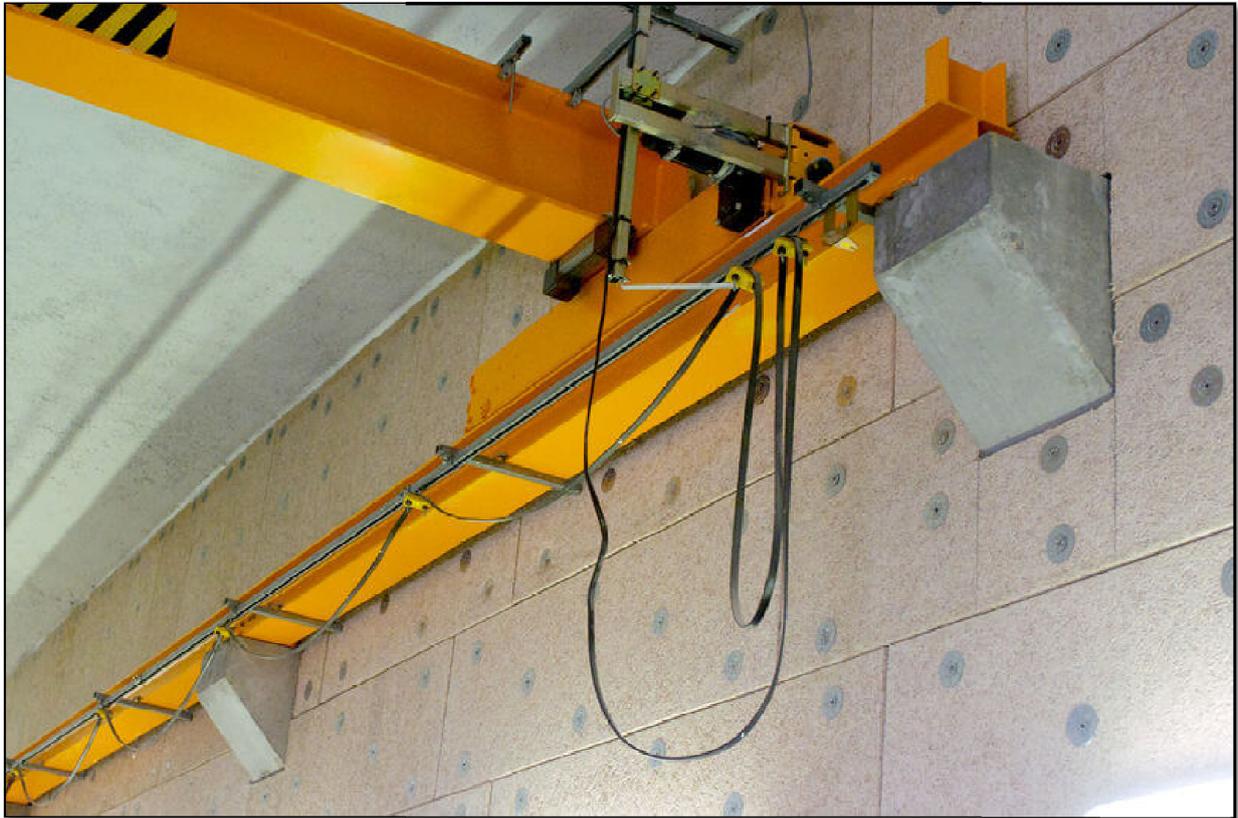


Figure2.4 : pont roulant posé.

Partie n°3 :

Dimensionnement

- I.** Dimensionnement de la poutre principale.
 - I.1** Modélisation.
 - I.2** Choix du profilé adéquat.
 - I.3** vérification du profilé choisi.
- II.** Choix des rails du roulement et vérification des galets.
 - II.1** Vérification suivant les règles de la norme ISO 16881-1.
 - II.2** Vérification des deux conditions :
- III** Dimensionnement de la poutre support du chemin de roulement :
 - III.1** Choix du profilé adéquat
 - III.2** Analyse du comportement du profilé adopté
- IV.** Calcul de flambement des poteaux
 - IV.1** Introduction.
 - IV.2** Calcul de l'effort normal sur un poteau
 - IV.3** Vérification de la résistance au flambage.
- V.** vérification du système avec logiciel RDM6

I. Dimensionnement de la poutre principale

D'après les exigences de client, la charge maximale à supporter par le pont roulant sera fixée à 5 Tonnes.

En outre, pour nous situer dans une marge de sécurité, les calculs qui viennent seront faits avec une charge de 7 T, ce qui veut dire un coefficient de sécurité de $s=1.4$.

I.1 Modélisation

La poutre principale est appuyée simplement sur ses deux coté comme le montre le figure suivante :

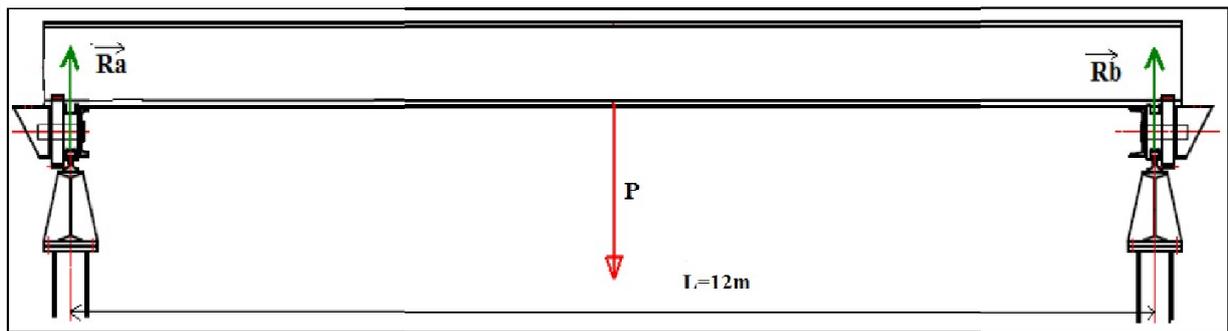


Figure 3.1 : montage de la poutre principale.

Le moment de flexion maximale est donnée par : $M_f = \frac{P \times L}{4} = \frac{7\,000 \times 12}{4} = 21\,000 \text{ N.m}$

I.2 Choix du profilé adéquat

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

$$\sigma_{max} < \sigma_{adm}$$

La contrainte maximale dans la poutre est donnée par: $\sigma_{max} = \frac{M_f}{I_z} \cdot y = \frac{M_f}{W_{Iz}}$ avec :

- ✓ M_f : Moment de flexion.
- ✓ I_z : Moment quadratique de la section.
- ✓ $W_{Iz} = \frac{I_z}{y_{max}}$: Module de flexion.
- ✓ σ_{adm} : La contrainte admissible du matériau.

Remarque : choix de matériau

Le matériau qui existe dans les ateliers est l'acier S235 laminé à chaud d'une contrainte admissible $\sigma = 235\text{Mpa}$.

Pour vérifier la condition de résistance, il faut que $W_{Iz} > \frac{M_f}{\sigma_{adm}}$

$$\text{AN : } W_{Iz} > \frac{210000}{235} \quad \text{Donc, il faut que } W_{Iz} > 839.6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Les profilés candidats sont cités dans le tableau suivant: (voir annexes 1 et 2)

Désignation	Masse (Kg/m)	Module de flexion (cm ³)
IPN 340	86	923
IPE 360	57.1	904

Tableau 1 : Profilés candidats.

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

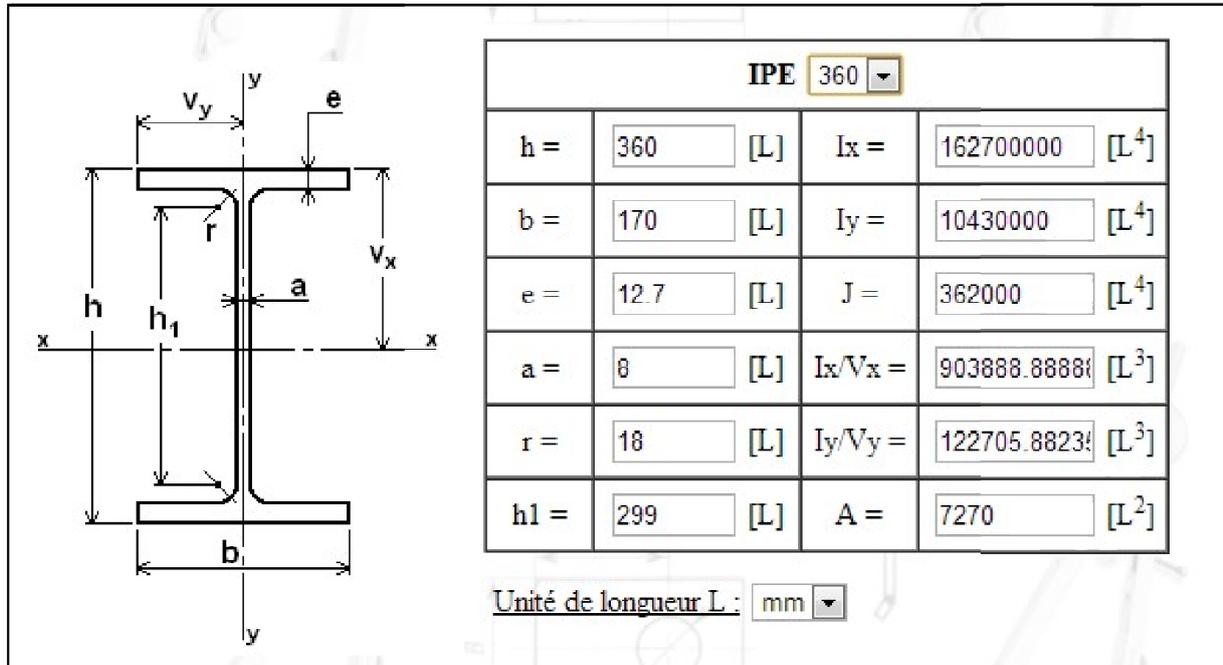


Figure 3.2 : dimensions du profilé choisi.

I.3 vérification du profilé choisi

Pour la vérification de la condition de résistance du profilé choisi et matériaux existant, nous allons effectuer une analyse dans le logiciel RDM6 les résultats sont présentés dans les figures suivantes :

La flèche :

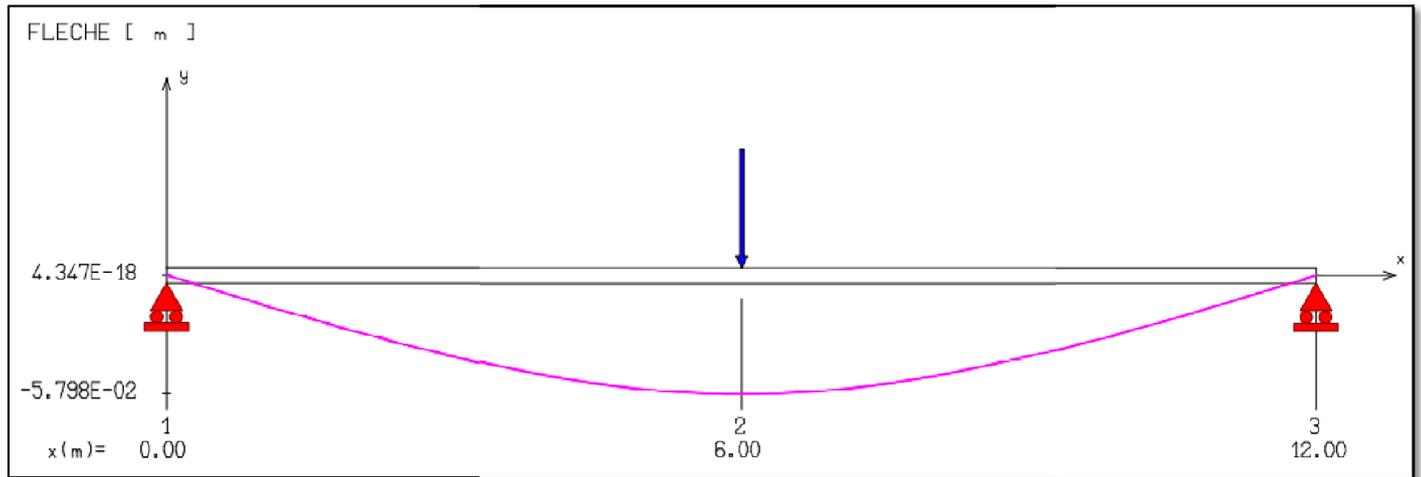


Figure 3.3 : flèche de la poutre IPE 360 avec une charge 7T.

La figure montre que la déformée est maximale au point d'application de la charge de 7T et qui est égale à 5,798 cm ; donc le dimensionnement va être fait en tenant compte de cette section critique.

Evolution du moment de flexion :

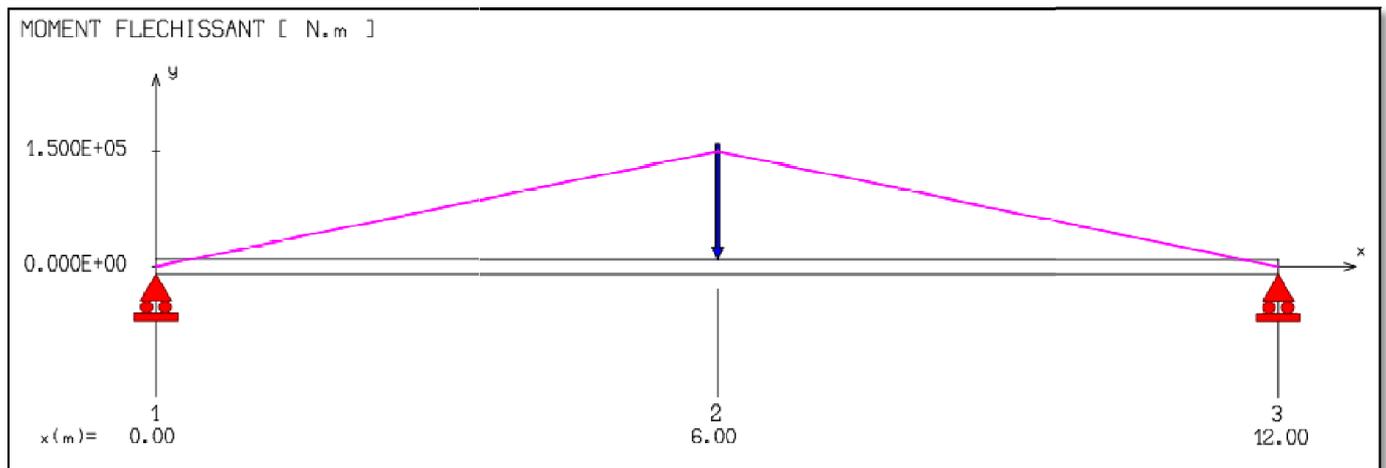


Figure 3.4 : Evolution du moment fléchissant.

Nous remarquons que la section critique se trouve dans le point de l'application de la charge ou le moment de flexion est maximal et égale à $1,5 \cdot 10^5$ N.m.

Distribution des contraintes normales :

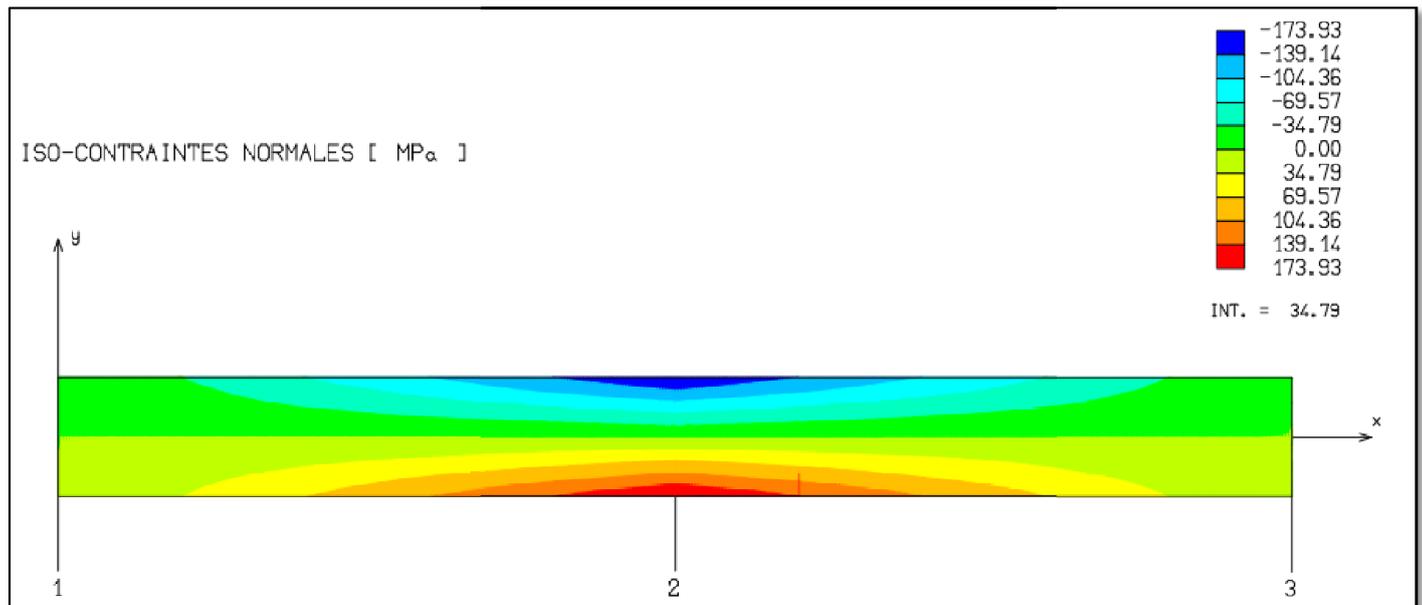


Figure 3.5 : Distribution des contraintes normales.

II. Choix des rails de roulement et vérification des galets

Dans cette partie, les galets et les rails seront calculés 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 ». Cette norme représente est une extension des Règles de la F.E.M.1.001 (fédération européenne de la manutention). Cette partie comprend une vérification du diamètre du galet à choisir en tenant compte de la pression appliquée par les rails.

Remarque :

Pour le choix du galet, les exigences de client nous imposent d'utiliser les mêmes galets que les autres ponts de l'entreprise. Dans cette partie nous allons choisir le rail adéquat pour les galets. La figure suivante présente les dimensions et la géométrie du notre galet.

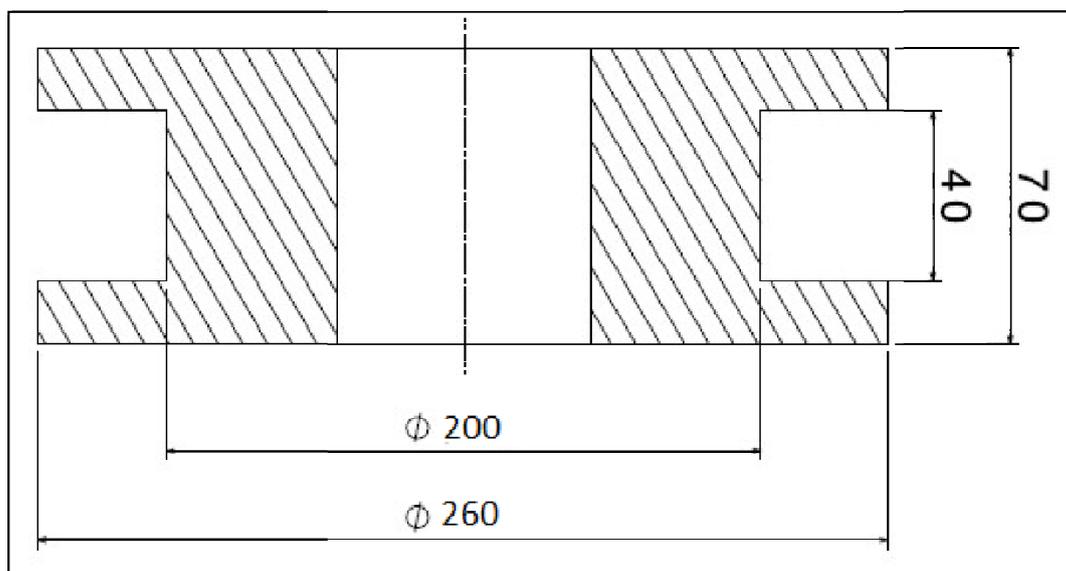


Figure 3.6 : dimension du galet existant.

II.1 Vérification suivant les règles de la norme ISO 16881-1.

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

- Résistance au chargement maximal auquel il sera objet.
- Usure minimal des chemins de roulements.

D'après la norme, ces deux vérifications sont assurées par les deux équations suivantes :

$$\frac{P_{max}}{b.D} < 1.9 P_l \quad (1)$$

$$\frac{P_{max}}{b.D} < C_1 * C_2 P_l \quad (2)$$

Avec :

D : le diamètre du galet de roulement (mm).

b : largeurs utile du rail (mm) - si la surface du champignon du rail plate $b = l - 2r$.

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

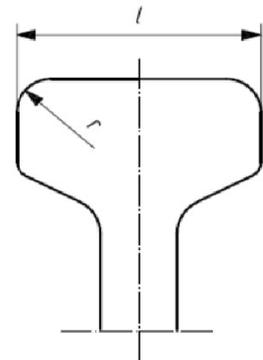
l : largeur du champignon du rail, en mm.

P_l : Pression limite fonction du matériau du galet et du rail, en MPa (voir tableau 2).

C_1 : coefficient fonction de la vitesse de rotation du galet (voir tableau 3).

C_2 : coefficient fonction du groupe du mécanisme de translation du pont (voir tableau 4).

P_{max} : charge maxi au galet.



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

🚧 Détermination du matériau :

Le galet qui existe actuellement est fabriqué à partir de l'acier DIN 1.6673 (36NiCrMo16), de limite de résistance en traction 800 MPa.

Le tableau suivant nous donne la valeur de la résistance à la traction du rail et la pression limite en fonction de la résistance à la traction du métal du galet :

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 2 : pression limite et résistance d'acier du rail.

Le galet qui existe est fabriqué d'un acier avec une résistance à la traction de 200 MPa, donc la pression limite correspondante est $P_l = 7,2 \text{ MPa}$, et la résistance minimale de l'acier du rail est 510 MPa .

✚ Choix de la largeur du rail :

D'après les dimensions du galet il faut que la largeur du rail soit inférieure à 40mm afin d'avoir un bon fonctionnement. En utilisant les catalogues on va choisir le rail ASCE 25 suivant :

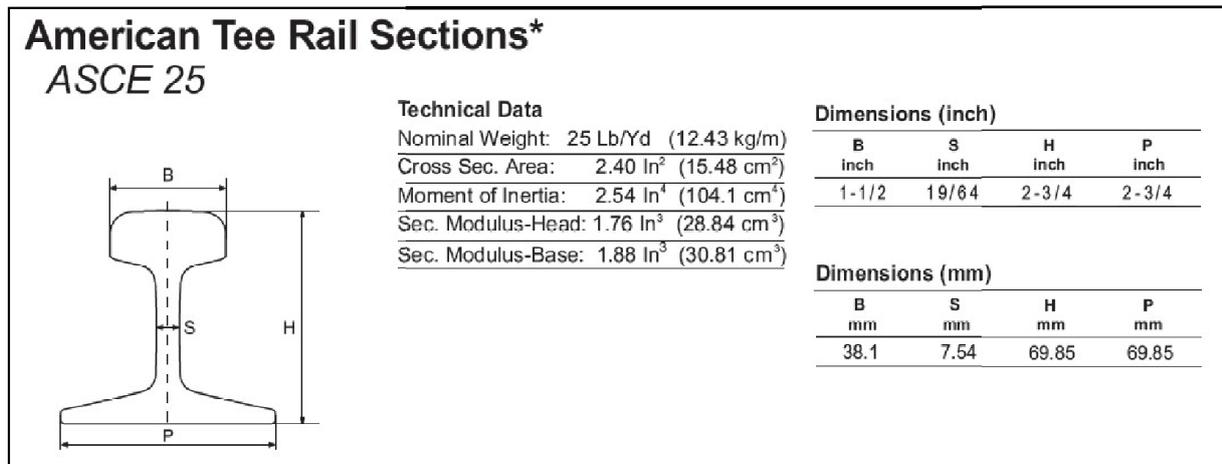


Figure 3.7 : Dimension du rail utilisé.

Largeur utile du rail b :

Pour le rail ASCE 25 (rayon=5), $b=B-2r=38.1-2*5$, on trouve $b=28.1 \text{ mm}$.

b) Calcul de la charge maximale

Pour trouver la charge maximale sur le galet, nous présenterons un calcul statique. Sur chaque côté du pont roulant, il existe un sommier qui comporte 2 galets, comme le montre la figure suivante :

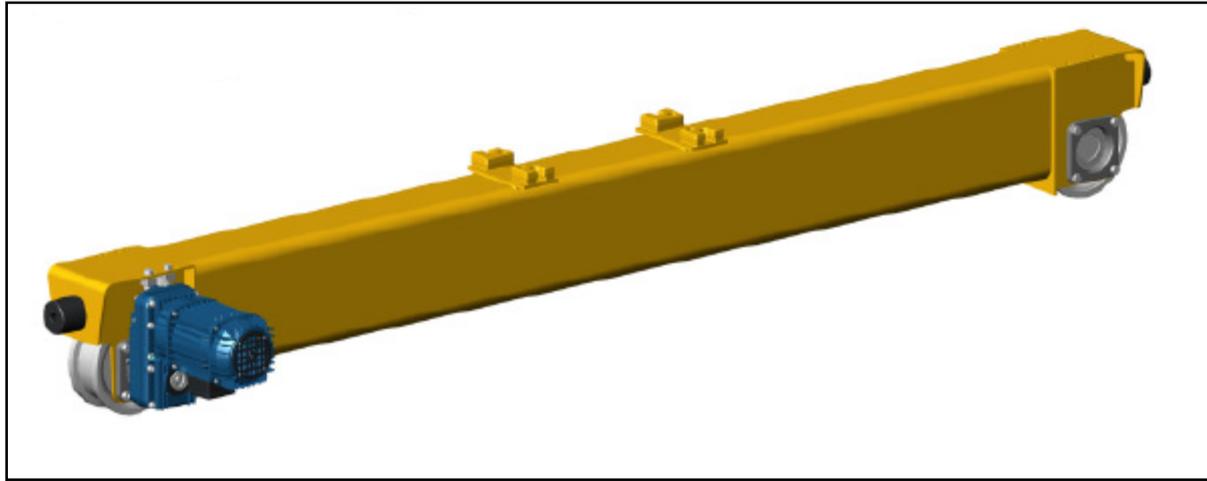


Figure 3.8 : Sommier du pont roulant.

La charge sur les deux galets correspond à la réaction R_a ou R_b .

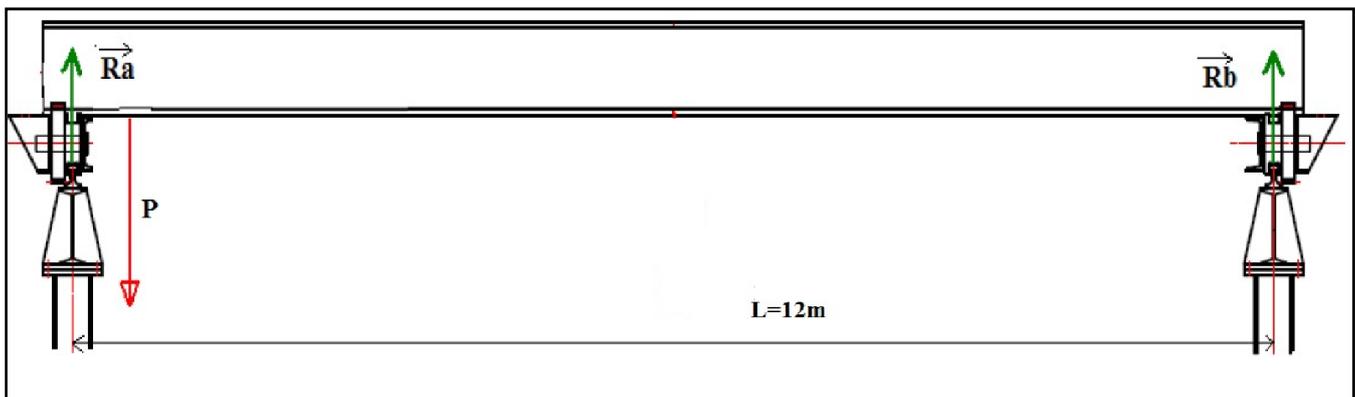


Figure 3.9 : force maximal

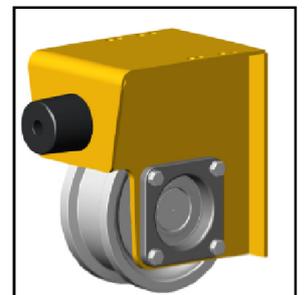
Tout calcul fait, nous obtenons $R_a \approx P$ avec P la charge à transporter ($P=7$ tonnes)

Remarque :

à cette charge il faut ajouter le poids propre de la poutre principale qui a été calculé dans le paragraphe du choix de ce profilé ($m=57.1\text{kg/m}$ ce qui correspond à un poids total de $M=57,1 \cdot 12=685.2$ Kg), ce poids est répartie sur les deux côtés de la poutre principale.

La charge totale sur les deux galets est donc : $P_{\text{total}} = \frac{M}{2} + P$ ce qui correspond à une force $F=73430\text{N}$.

Donc, la charge maximale sur un galet correspond à une valeur de $P_{\text{max}}=F/2=36700$ N.



c) Détermination des coefficients C_1 et C_2

o Coefficient C_1

Le pont que nous avons, fonctionne avec la vitesse 2.54m/min , selon les exigences de client. Du tableau suivant on prend la vitesse la plus proche à la vitesse proposé et qu'est égale à 10 m/min.

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	100
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 3 : C_1 en fonction du diamètre du galet et la vitesse de translation du pont roulant en m/min.

Pour la vitesse 10 m/min et le diamètre 200 mm, le coefficient que nous obtenons est de valeur de $C_1 = 1.09$

○ Coefficient C_2 :

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. Ce qui donne en utilisant le tableau 3, un mécanisme de niveau L3, M5.

L4										MECANISME OU ELEMENTS DE MECANISME SOUMIS REGULIEREMENT A DES SOLLICITATIONS VOISINES DE LA SOLLICITATION MAXIMALE										L4									
L3										MECANISMES OU ELEMENTS DE MECANISME SOUMIS FREQUEMMENT A LA SOLLICITATIONS MAXIMALES ET COURAMMENT A DES SOLLICITATIONS MOYENNES										L3									
L2										MECANISMES OU ELEMENTS DE MECANISME SOUMIS ASSEZ SOUVENT A LA SOLLICITATIONS MAXIMALE ET COURAMMENT A DES SOLLICITATIONS FAIBLES										L2									
L1										MECANISMES OU ELEMENTS DE MECANISME SOUMIS ASSEZ SOUVENT A LA SOLLICITATIONS MAXIMALE ET COURAMMENT A DES SOLLICITATIONS TRES FAIBLES										L1									
M3	M2	M1		T1	Au dessous de 0h15		400 heures	VO1,2		1Dm	1Cm	1Bm																	
M4	M3	M2	M1	T2	de 0h15 à 0h30		800 heures	VO2,5	1Dm	1Cm	1Bm	1Am																	
M5	M4	M3	M2	T3	De 0h30 à 1h		1600 heures	VO0,5	1Cm	1Bm	1Am	2m																	
M6	M5	M4	M3	T4	De 1h à 2h		3200 heures	V1	1Bm	1Am	2m	3m																	
M7	M6	M5	M4	T5	De 2h à 4h		6300 heures	V2	1Am	2m	3m	4m																	
M8	M7	M6	M5	T6	De 4h à 8h		12 500 heures	V3	2m	3m	4m	5m																	
	M8	M7	M6	T7	De 8h à 16h		25 000 heures	V4	3m	4m	5m																		
		M8	M7	T8	Au dessus de 16h		50 000 heures	V5	4m	5m																			
CLASSEMENT SUIVANT LA NORME ISO					TEMPS MOYENS DE FONCTIONNEMENT QUOTIDIEN					DUREE TOTALE D'UTILISATION					CLASSEMENT SUIVANT REGLES FEM														

Tableau 4 : Groupe du mécanisme selon la norme FEM et ISO.

Le tableau 5 donne une valeur de C_2 correspond à $C_2=1$.

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 5 : Facteur C_2 en fonction du niveau du mécanisme.

II.2 Vérification des deux conditions

- **Première condition :**

La première condition exige la vérification de la condition suivante :

$$\frac{P_{\max}}{b.D} < 1.9 P_l$$

$$P_l = 7.2 \text{Mpa} \quad b = 28.1 \text{ mm}$$

Tout calcul fait, on trouve que le diamètre minimal du galet doit vérifier la condition

$D_{\min} = 49.98 \text{ mm}$. Ce qui est bien le cas pour notre galet avec un diamètre de 200 mm.

- **Deuxième condition :**

$$\frac{P_{\max}}{b.D} < C_1 * C_2 P_l \quad \rightarrow \quad D_{\min} > \frac{P_{\max}}{C_1 * C_2 * b * P_l}$$

L'application numérique donne une valeur de diamètre correspond à $D_{\min}=167,7\text{mm}$.

Conclusion : on constate que les deux conditions sont vérifiées, donc :

- ✓ 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.

III. Dimensionnement de la poutre support du chemin de roulement

Dans un premier lieu, nous allons considérer que cette poutre à une longueur de 40m est encadrée des 2 cotés, La section de cette poutre est la section d'un profilé en I qui résiste bien à la flexion et dont les dimensions vont être trouvées pour vérifier la condition de résistance.



Figure 3.10 : exemple du poutre chemin de roulement.

La charge sur la poutre : cette poutre supporte les charges suivantes :

- o Le poids propre du rail de roulement $P_r=497.2$ Kg.
- o $\frac{1}{2}$ du poids de la poutre principale $P_p=342.2$ Kg.
- o la charge à transporter $P_{ch} \approx 5$ tonnes.

La charge totale es donc $P_{tot}= 5839.4$ Kg, ce qui correspond à une force $F=58394$ N.

III.1 Choix du profilé adéquat

La figure 10 nous présente le modèle adopté avec une force $F=58394$ N:

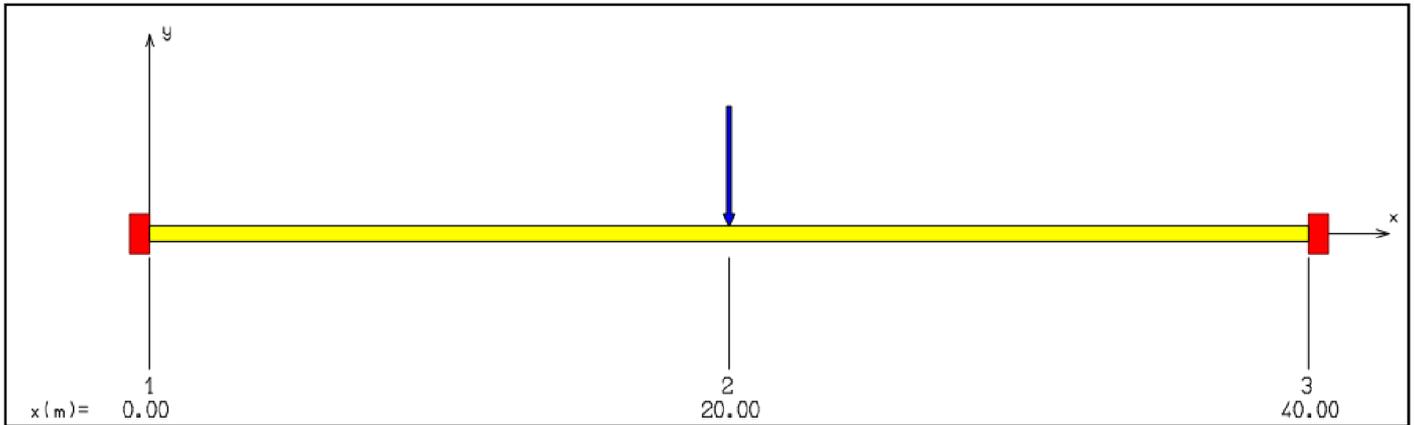


Figure 3.11 : modèle adopté.

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

$$\sigma_{max} < \sigma_{adm}$$

La contrainte normal maximale dans la poutre est donnée par : $\sigma_{max} = \frac{M_f}{I_z} \cdot y = \frac{M_f}{W_{Iz}}$

Remarque : choix de matériau

Le matériau qui existe dans les ateliers est l'acier S235 laminé à chaud d'une contrainte admissible $\sigma = 235 \text{ Mpa}$.

Pour vérifier la condition de résistance, il faut que $W_{Iz} > \frac{M_f}{\sigma_{adm}}$

Le logiciel RDM 6 donne la variation du moment de flexion :

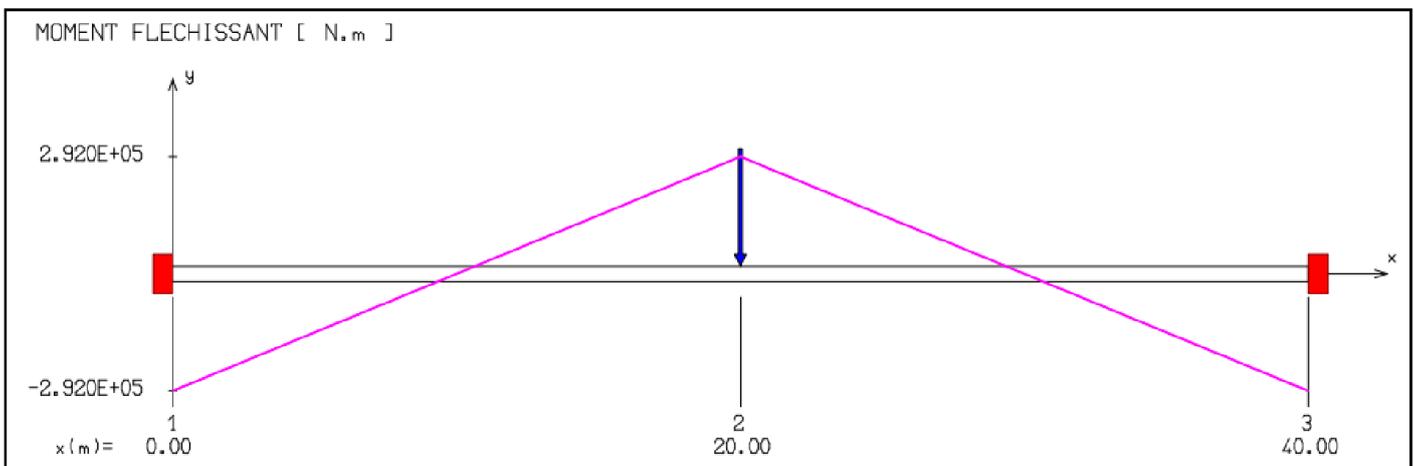


Figure 3.12 : moment fléchissant.

Le moment fléchissant maximal est $M_f = 2.91 \times 10^8 \text{ N.m}$

AN : $W_{Iz} > \frac{2.91 \times 10^8}{235}$ Donc, il faut que $W_{Iz} > 1238 \times 10^3 \text{ mm}^3$

Les profilés candidats sont cités dans le tableau suivant:

Désignation	Masse (Kg/m)	Module de flexion (cm ³)
IPN 400	92.4	1460
IPE 450	77.7	1500

Tableau 6 : Profilés candidas.

Le profilé qui permet une minimisation de la masse est le profilé **IPE 450**.

Par la suite, nous allons effectuer une analyse du profilé trouvé en utilisant le logiciel RDM 6

Résultats :

La flèche

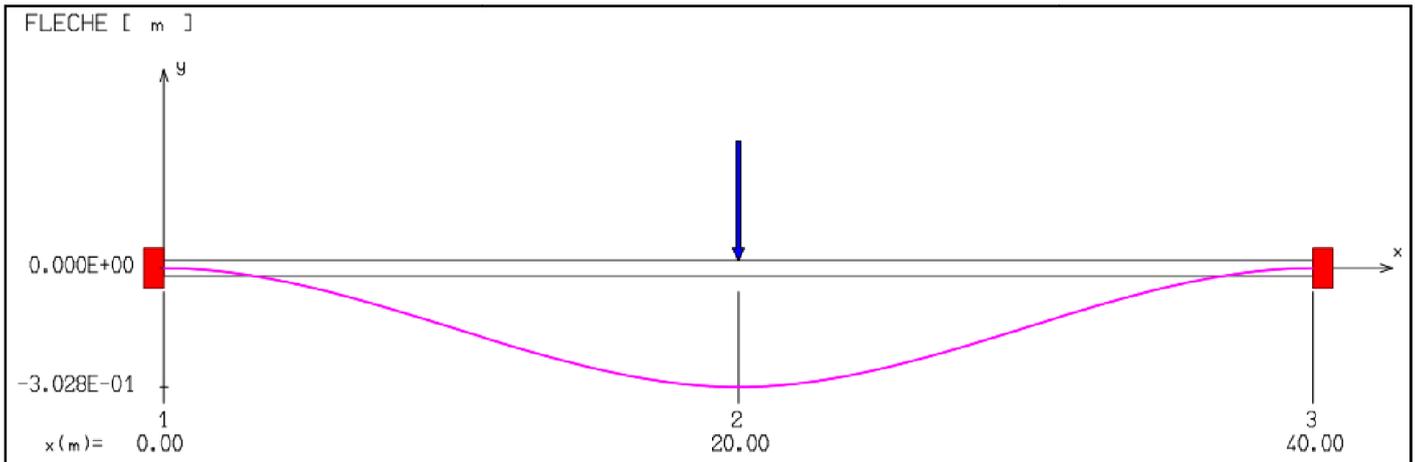


Figure 3.13 : flèche de la poutre IPE 450.

Remarque :

On constate que la valeur de la flèche est importante, en effet, la valeur de la flèche admissible pour les poutres du pont roulant est de $f_{adm} = \frac{L}{300}$ (voir annexe 3), et en tenant compte du coefficient de sécurité $s=1.4$, on aura une flèche admissible $f_{adm} = \frac{L}{420} = 95.23 \text{ mm}$.

On constate donc que la flèche trouvée est largement supérieur à la flèche admissible, ce qui va influencer sur le fonctionnement du système, La solution est de diminuer la longueur de la poutre en ajoutant des poteaux support pour mieux supporter la charge appliquée.

Trouvons alors la longueur adéquate entre deux poteaux successifs. La flèche maximale est obtenue par la formule suivante :

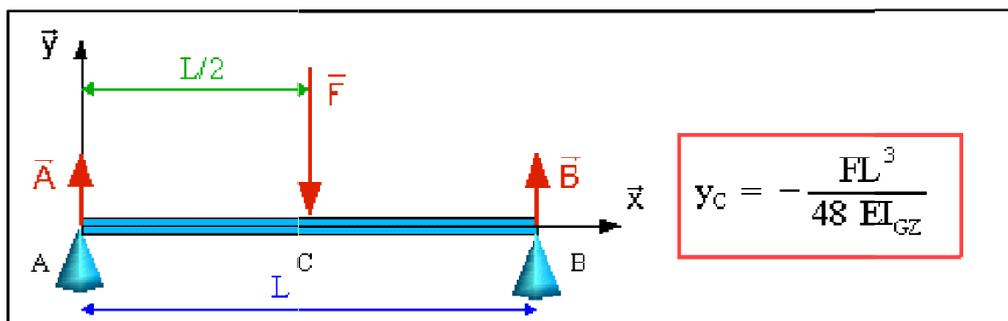


Figure 3.14 : flèche maximale entre deux appuis simples.

Pour trouver la longueur optimale, nous allons procéder par itérations, chaque itération comprend :

1. Calculer le moment de flexion maximal avec le logiciel RDM6
2. Trouver le profilé adéquat
3. Calculer la flèche admissible
4. Calculer la flèche maximale par le logiciel RDM6
5. Comparer les deux flèches.
6. S'assurer que la flèche est admissible. Sinon, on subdivise chaque intervalle en deux et recommencer à l'étape 1

Itération 1 : L=20m (voir paragraphe précédente)

1. Moment de flexion maximale $M_f=1,82. 10^8$ N.mm
2. Profilé adéquat : IPE 450
3. $f_{adm} = \frac{L}{420} = 47,6$ mm
4. $f_{max} = 52,6$ mm
5. $f_{max} > f_{adm}$
6. Choix de la nouvelle longueur L=10m

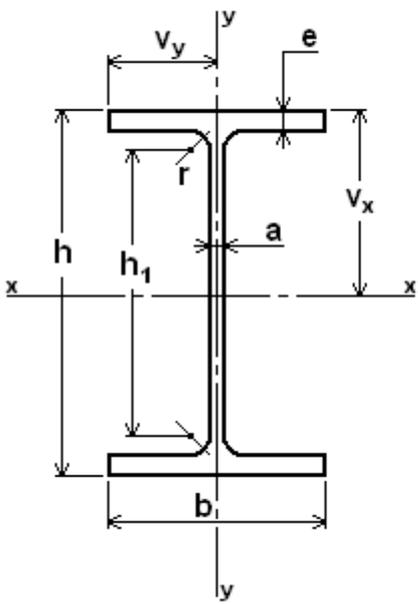
Itération 2 : L=10m (voir paragraphe précédente)

1. Moment de flexion maximale $M_f=0,984. 10^8$ N.mm
2. Profilé adéquat : IPE 360
3. $f_{adm} = \frac{L}{420} = 23,8$ mm
4. $f_{max} = 20$ mm
5. $f_{max} < f_{adm}$

Conclusion : Nous allons adopter donc une longueur de 10m entre 2 poteaux, c'est à-dire que le nombre de poteau est $n=5$ poteaux, Avec un profilé IPE360.

III.2 vérification à l'aide de RDM6

Le profilé IPE a les caractéristiques suivantes :



IPE 360			
h =	360 [L]	I _x =	162700000 [L ⁴]
b =	170 [L]	I _y =	10430000 [L ⁴]
e =	12.7 [L]	J =	362000 [L ⁴]
a =	8 [L]	I _x /V _x =	903888.888 [L ³]
r =	18 [L]	I _y /V _y =	122705.882 [L ³]
h ₁ =	299 [L]	A =	7270 [L ²]
M _I =	57.1 [M/L]	A _I =	1350 [L ² /L]

Unité de longueur L : mm

Unité de masse M : g

Deux cas peuvent exister :

1. La force est entre un encastrement et un appui simple.
2. La force est entre deux appuis simples successifs.

Le cas où le moment et la flèche et les contraintes vont être plus élevés sera le cas le plus important et c'est le premier cas dans cette situation, les figure suivantes nous montre les comportements du profilé choisi.

Premier cas :

Distribution du moment de flexion

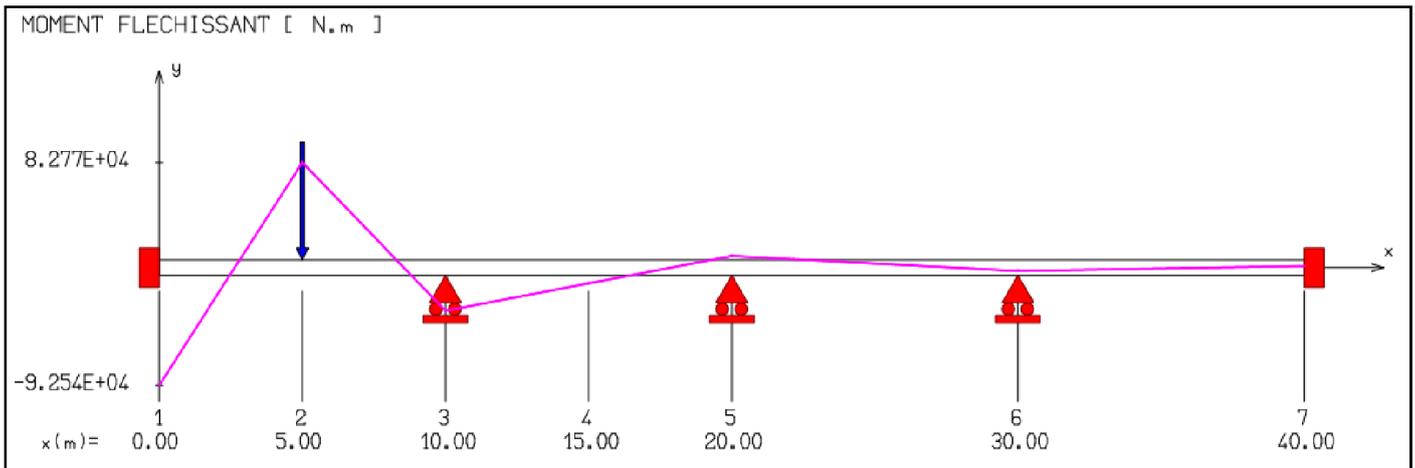


Figure 3.15 : distribution du moment fléchissant.

Distribution des contraintes normales :

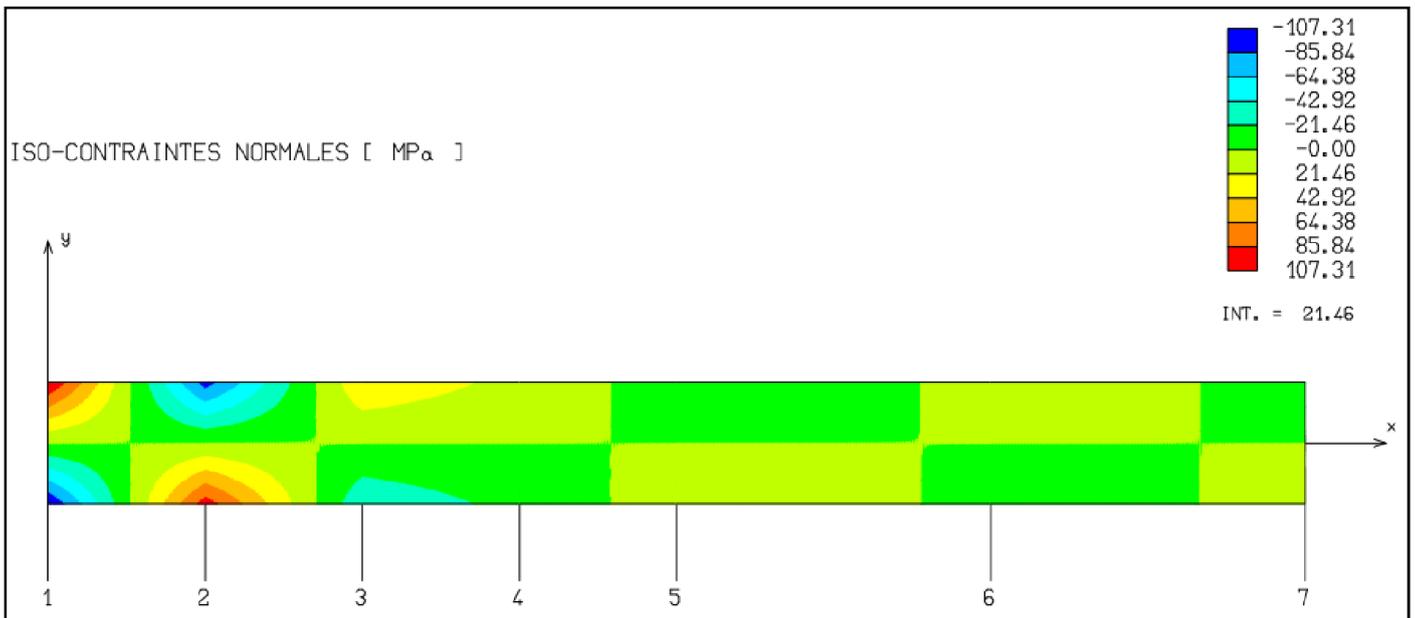


Figure 3.16 : distribution des contraintes normales.

Dans ce cas, nous remarquons que La contrainte maximale est bien inférieure à la contrainte admissible.

Deuxième cas :

Distribution du moment de flexion

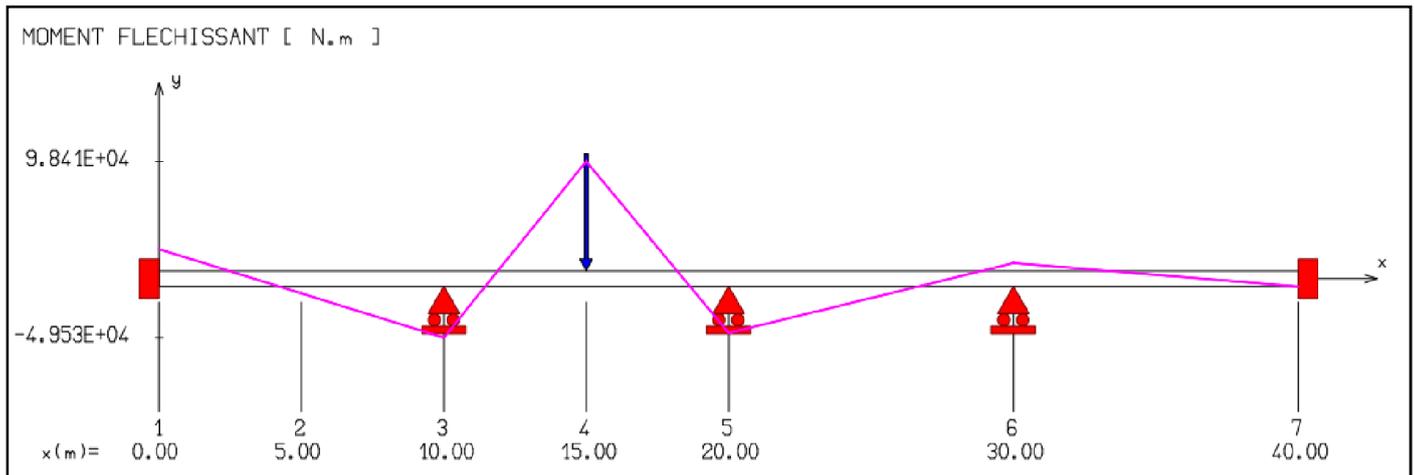


Figure 3.17 : distribution du moment fléchissant.

Distribution des contraintes normales :

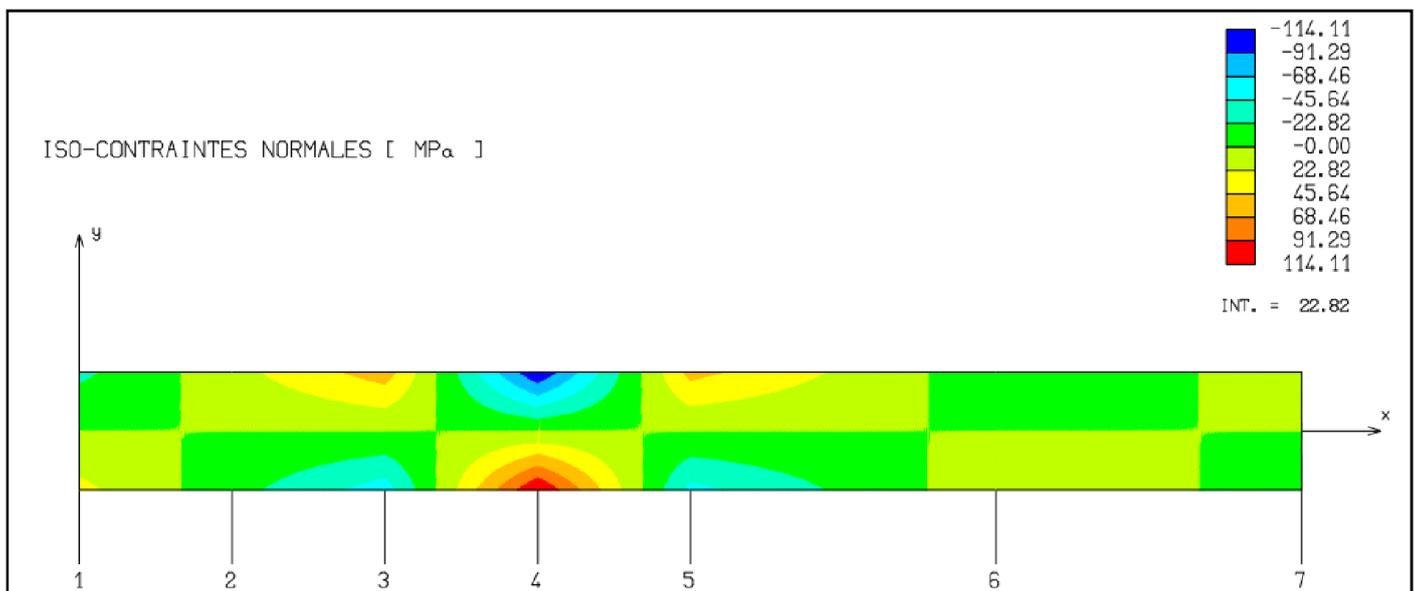


Figure 3.18 : distribution des contraintes normales.

Conclusion :

La contrainte maximale est bien inférieure à la contrainte admissible dans les deux cas donc la structure est bien adoptée à notre problème avec une barre IPE360 et 5 poteaux.

IV. Calcul de flambement des poteaux

IV.1 Introduction

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

IV.2 Calcul de l'effort normal sur un poteau

Chaque poteau supporte les charges suivantes :

- 1/2 du poids propre du pont roulant.
- La charge maximale à transporter
- 1/5 du (poids de la poutre support des chemins du roulement+ poids du rail)

La force normale maximale est $F=54577 \text{ N}$

IV.3 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)

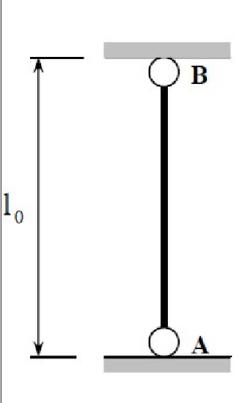
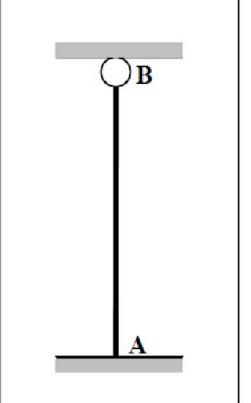
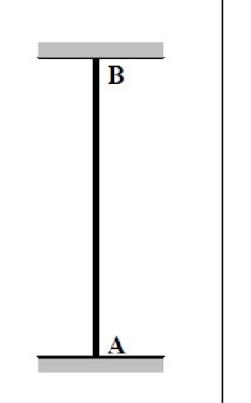
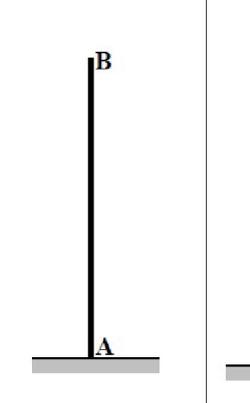
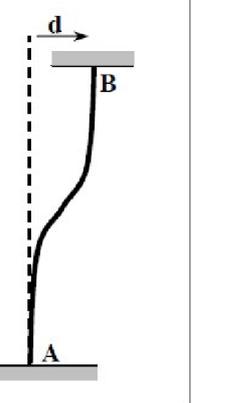
Longueur de flambement l_f en fonction des liaisons aux appuis				
A et B sont sur la même verticale			Déplacement de B en tête de poteau	
				
$l_f = l_0$	$l_f = \frac{\sqrt{2}}{2} l_0$	$l_f = \frac{l_0}{2}$	$l_f = 2 l_0$	$l_f = l_0$

Figure 3.19 : Longueur de flambement l_f

Dans notre cas, La longueur de flambement est $l_f = \frac{\sqrt{2}}{2} l_0$

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

C'est-à-dire : $N < \frac{2 * \pi^2 * E * I_{gz}}{l_0^2}$

D'où le moment quadratique minimale : $I_{gz} > \frac{l_0^2 * N}{2 * \pi^2 * E}$

Application numérique : $N=58290 \text{ N}$

$l_0 = 4 \text{ m}$.

$E=200000 \text{ MPa}$

Donc il faut un moment quadratique $I_{gz} > 236240.4 \text{ mm}^4$

Nous allons utiliser le profilé IPE 120 avec $I_{gz} = 277000 \text{ mm}^4$.

V. vérification du système avec logiciel RDM6

Nous avons fait une simulation du tout le système avec le logiciel RDM6, afin de vérifier qu'il va résister à la charge maximale et accomplir sa fonction requise. Les résultats sont présentées dans les figures 20,21 et 22

Module de la contrainte normale

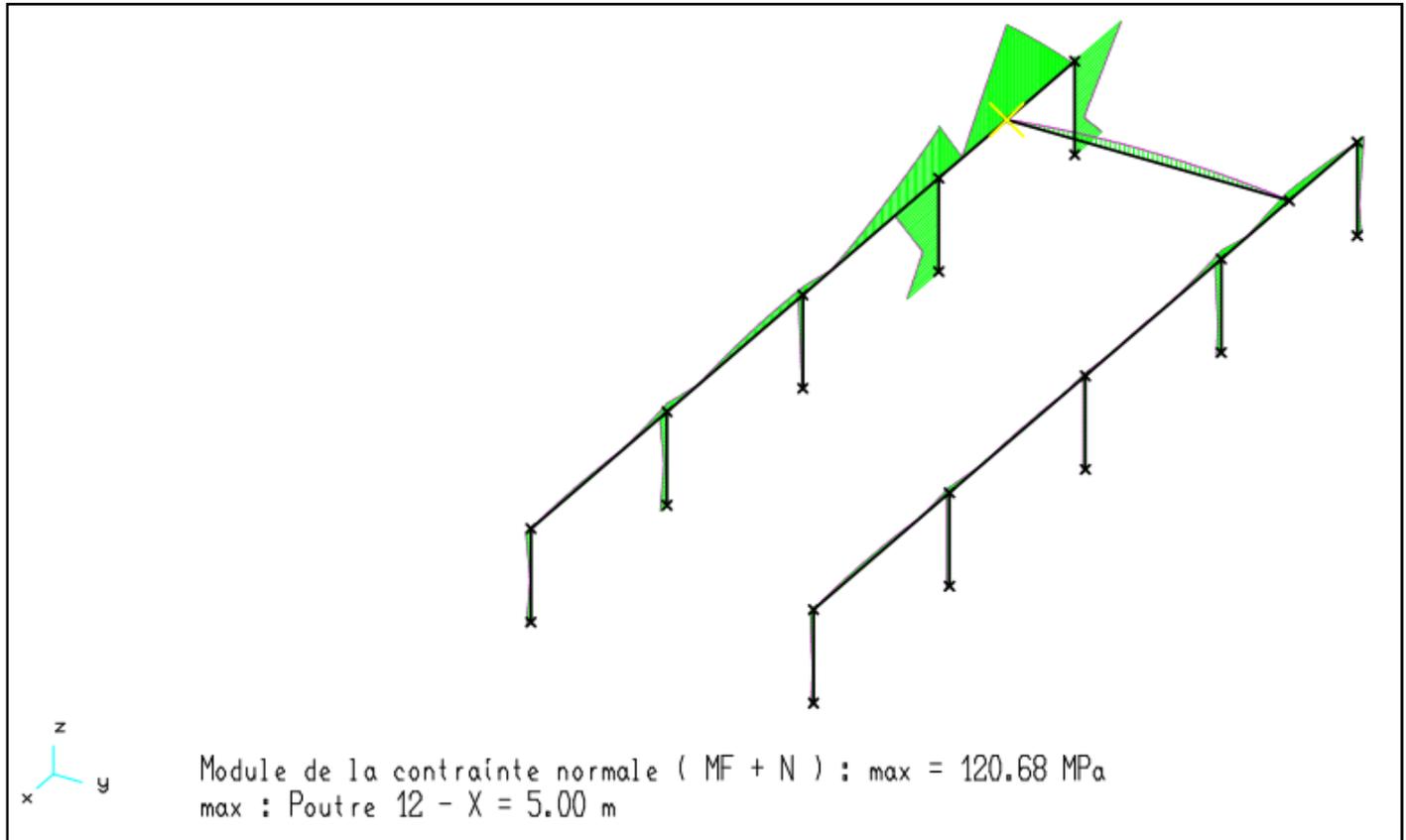


Figure 3.20 : module de la contrainte.

Contrainte dans la barre chemin du pont roulant

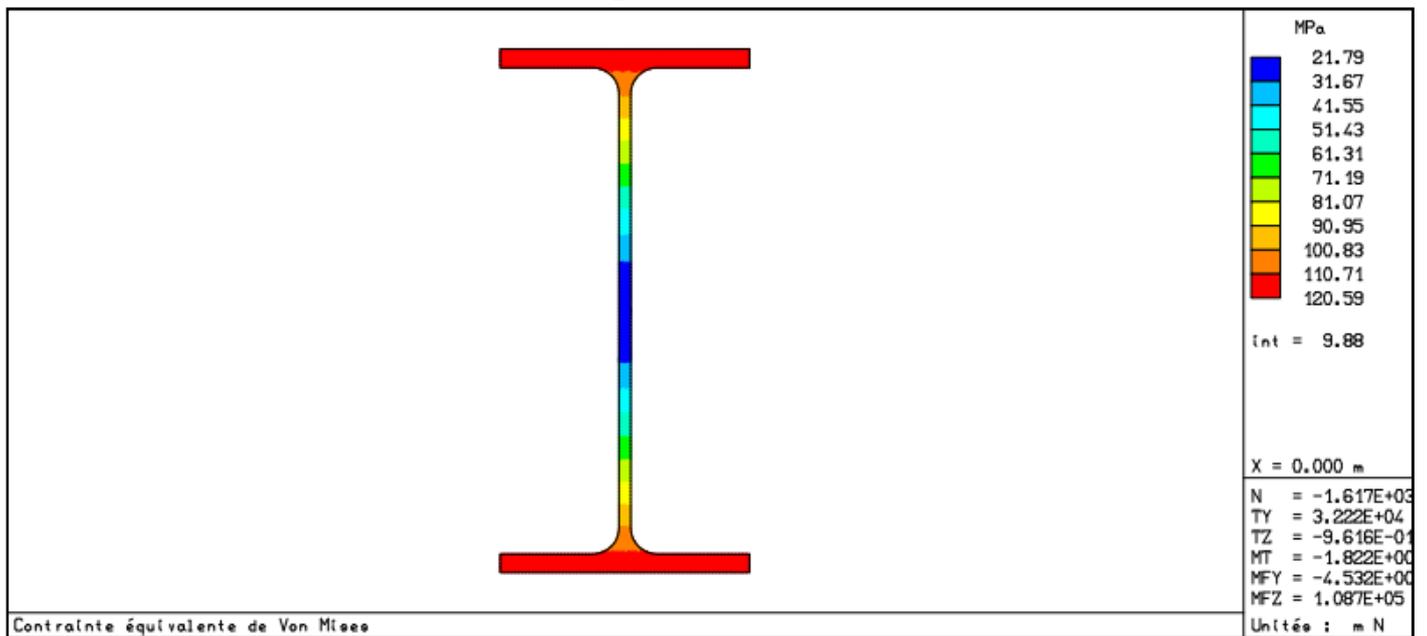


Figure 3.21 : contrainte équivalente de la poutre chemin du pont roulant.

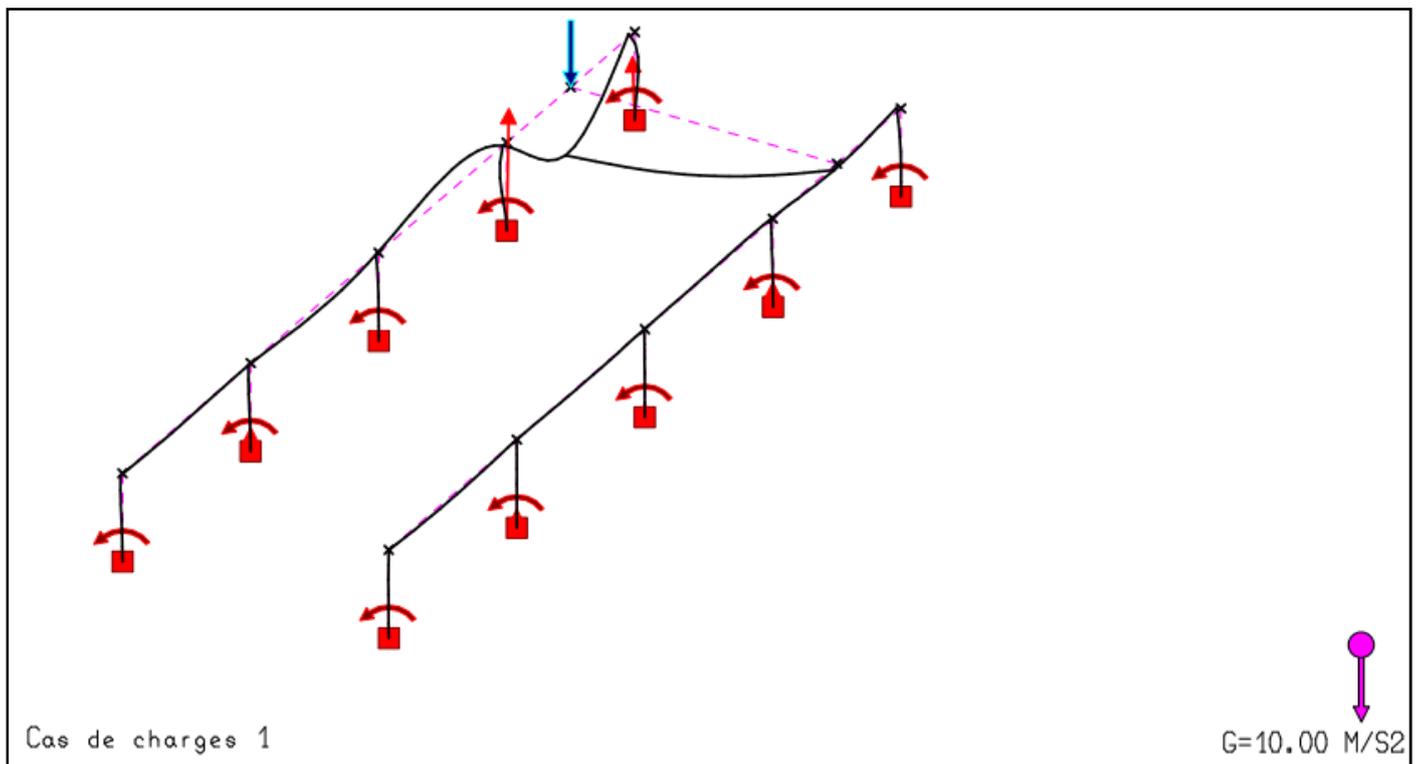


Figure3.22 : la déformé du système.

Conclusion :

La contrainte maximale est largement inférieure à la contrainte admissible, donc le système va accomplir sa fonction sans risque de déformation plastique.

Conclusion

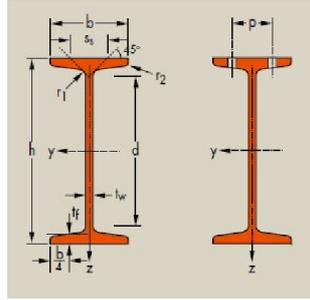
L'objectif général de ce travail était l'étude de remplacement d'un pont roulant de 5 tonnes au niveau de l'unité maintenance mécanique des ateliers centraux. Nous avons commencé par une présentation du Groupe OCP. Cette première partie nous a permis d'avoir une idée générale sur le groupe et le service d'accueil.

La deuxième partie, qui a été consacrée au sujet d'étude, nous a permis d'étudier le pont roulant et de choisir les solutions adéquates pour les pièces constituant la charpente métallique. Nous avons commencé par le dimensionnement de la poutre principale, ensuite par un choix du rail de guidage et la vérification de la pression entre les rails et les galets en adoptant la méthodologie proposée par 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— ». Après, nous avons fait le dimensionnement de la poutre support des rails tout en choisissant le nombre de poteaux supportant cette poutre qui permettent d'avoir une flèche conforme à la flèche admissible pour ce type de système. Enfin, nous avons fait un choix des poteaux adéquats en utilisant un calcul de vérification de flambement.

Cette période de stage nous a permis également d'appliquer des outils utilisés dans le cadre de notre formation à la Faculté des Sciences et Techniques, ainsi de matérialiser le baguage technique appris tout au long de la période de formation.

ANNEXES

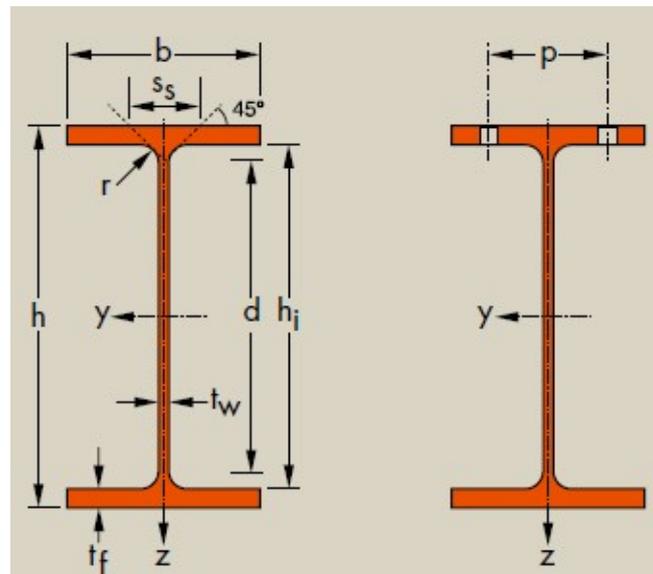
Annexe 1 : Extrait du catalogue des profilés IPN



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						A mm ² x10 ²	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße				Surface Oberfläche		
	G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r ₁ mm		r ₂ mm	d mm	∅	p _{min} mm	p _{max} mm	A _L m ² /m	A _C m ² /t
IPN 80*	5,94	80	42	3,9	5,9	3,9	2,3	7,57	59	-	-	-	0,304	51,09
IPN 100*	8,34	100	50	4,5	6,8	4,5	2,7	10,6	75,7	-	-	-	0,370	44,47
IPN 120*	11,1	120	58	5,1	7,7	5,1	3,1	14,2	92,4	-	-	-	0,439	39,38
IPN 140*	14,3	140	66	5,7	8,6	5,7	3,4	18,2	109,1	-	-	-	0,502	34,94
IPN 160*	17,9	160	74	6,3	9,5	6,3	3,8	22,8	125,8	-	-	-	0,575	32,13
IPN 180*	21,9	180	82	6,9	10,4	6,9	4,1	27,9	142,4	-	-	-	0,640	29,22
IPN 200*	26,2	200	90	7,5	11,3	7,5	4,5	33,4	159,1	-	-	-	0,709	27,04
IPN 220*	31,1	220	98	8,1	12,2	8,1	4,9	39,5	175,8	M 10	50	56	0,775	24,99
IPN 240*	36,2	240	106	8,7	13,1	8,7	5,2	46,1	192,5	M 10	54	60	0,844	23,32
IPN 260*	41,9	260	113	9,4	14,1	9,4	5,6	53,3	208,9	M 12	62	62	0,906	21,65
IPN 280*	47,9	280	119	10,1	15,2	10,1	6,1	61,0	225,1	M 12	68	68	0,966	20,17
IPN 300*	54,2	300	125	10,8	16,2	10,8	6,5	69,0	241,6	M 12	70	74	1,03	19,02
IPN 320*	61,0	320	131	11,5	17,3	11,5	6,9	77,7	257,9	M 12	70	80	1,09	17,87
IPN 340*	68,0	340	137	12,2	18,3	12,2	7,3	86,7	274,3	M 12	78	86	1,15	16,90
IPN 360*	76,1	360	143	13	19,5	13	7,8	97,0	290,2	M 12	78	92	1,21	15,89
IPN 380*	84,0	380	149	13,7	20,5	13,7	8,2	107	306,7	M 16	84	86	1,27	15,12

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte													Classification EN 1993-1-1: 2005				EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z						Pure bending y-y		Pure compression					
	G	I_y	W_{ely}	W_{ply}	i_y	A_{ez}	I_z	W_{elz}	W_{plz}	i_z	s_z	I_w	I_w	S235	S355	S235	S355			
kg/m	mm^4 $\times 10^4$	mm^3 $\times 10^3$	mm^3 $\times 10^3$	mm $\times 10$	mm^2 $\times 10^2$	mm^4 $\times 10^4$	mm^3 $\times 10^3$	mm^3 $\times 10^3$	mm $\times 10$	mm	mm^4 $\times 10^4$	mm^6 $\times 10^9$								
IPN 80	5,94	77,8	19,5	22,8	3,20	3,41	6,29	3,00	5,00	0,91	21,6	0,87	0,09	1	1	1	1	✓		
IPN 100	8,34	171	34,2	39,8	4,01	4,85	12,2	4,88	8,10	1,07	25,0	1,60	0,27	1	1	1	1	✓		
IPN 120	11,1	328	54,7	63,6	4,81	6,63	21,5	7,41	12,4	1,23	28,4	2,71	0,69	1	1	1	1	✓		
IPN 140	14,3	573	81,9	95,4	5,61	8,65	35,2	10,7	17,9	1,40	31,8	4,32	1,54	1	1	1	1	✓		
IPN 160	17,9	935	117	136	6,40	10,83	54,7	14,8	24,9	1,55	35,2	6,57	3,14	1	1	1	1	✓		
IPN 180	21,9	1450	161	187	7,20	13,35	81,3	19,8	33,2	1,71	38,6	9,58	5,92	1	1	1	1	✓		
IPN 200	26,2	2140	214	250	8,00	16,03	117	26,0	43,5	1,87	42,0	13,5	10,5	1	1	1	1	✓		
IPN 220	31,1	3060	278	324	8,80	19,06	162	33,1	55,7	2,02	45,4	18,6	17,8	1	1	1	1	✓		
IPN 240	36,2	4250	354	412	9,59	22,33	221	41,7	70,0	2,20	48,9	25,0	28,7	1	1	1	1	✓		
IPN 260	41,9	5740	442	514	10,40	26,08	288	51,0	85,9	2,32	52,6	33,5	44,1	1	1	1	1	✓		
IPN 280	47,9	7590	542	632	11,1	30,18	364	61,2	103	2,45	56,4	44,2	64,6	1	1	1	1	✓		
IPN 300	54,2	9800	653	762	11,9	34,58	451	72,2	121	2,56	60,1	56,8	91,8	1	1	1	1	✓		
IPN 320	61,0	12510	782	914	12,7	39,26	555	84,7	143	2,67	63,9	72,5	129	1	1	1	1	✓		
IPN 340	68,0	15700	923	1080	13,5	44,27	674	98,4	166	2,80	67,6	90,4	176	1	1	1	1	✓		
IPN 360	76,1	19610	1090	1276	14,2	49,95	818	114	194	2,90	71,8	115	240	1	1	1	1	✓		
IPN 380	84,0	24010	1260	1482	15,0	55,55	975	131	221	3,02	75,4	141	319	1	1	1	1	✓		

Annexe 2 : Extrait du catalogue des profilés IPE



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche		
	G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r mm	A mm ² x10 ²	h _s mm	d mm	Ø	p _{max} mm	p _{min} mm	A _s m ² /m	A _c m ² /ft
IPE AA 80*	4,9	78	46	3,2	4,2	5,0	6,31	69,6	59,6	-	-	-	0,325	65,62
IPE A 80-/*	5,0	78	46	3,3	4,2	5,0	6,38	69,6	59,6	-	-	-	0,325	64,90
IPE 80*	6,0	80	46	3,8	5,2	5,0	7,64	69,6	59,6	-	-	-	0,328	54,64
IPE AA 100*	6,7	97,6	55	3,6	4,5	7,0	8,56	88,6	74,6	-	-	-	0,396	58,93
IPE A 100-/*	6,9	98	55	3,6	4,7	7,0	8,8	88,6	74,6	-	-	-	0,397	57,57
IPE 100*	8,1	100	55	4,1	5,7	7,0	10,3	88,6	74,6	-	-	-	0,400	49,33
IPE AA 120*	8,4	117	64	3,8	4,8	7,0	10,7	107,4	93,4	-	-	-	0,470	56,26
IPE A 120-	8,7	117,6	64	3,8	5,1	7,0	11,0	107,4	93,4	-	-	-	0,472	54,47
IPE 120	10,4	120	64	4,4	6,3	7,0	13,2	107,4	93,4	-	-	-	0,475	45,82
IPE AA 140*	10,1	136,6	73	3,8	5,2	7,0	12,8	126,2	112,2	-	-	-	0,546	54,26
IPE A 140-	10,5	137,4	73	3,8	5,6	7,0	13,4	126,2	112,2	-	-	-	0,547	52,05
IPE 140	12,9	140	73	4,7	6,9	7,0	16,4	126,2	112,2	-	-	-	0,551	42,70
IPE AA 160*	12,1	156,4	82	4,0	5,6	7,0	15,4	145,2	131,2	-	-	-	0,621	50,40
IPE A 160-	12,7	157	82	4,0	5,9	9,0	16,2	145,2	127,2	-	-	-	0,619	48,70
IPE 160	15,8	160	82	5,0	7,4	9,0	20,1	145,2	127,2	-	-	-	0,623	39,47
IPE AA 180*	14,9	176,4	91	4,3	6,2	9,0	19,0	164,0	146,0	M 10	48	48	0,693	46,37
IPE A 180-	15,4	177	91	4,3	6,5	9,0	19,6	164,0	146,0	M 10	48	48	0,694	45,15
IPE 180	18,8	180	91	5,3	8,0	9,0	23,9	164,0	146,0	M 10	48	48	0,698	37,13
IPE O 180+	21,3	182	92	6,0	9,0	9,0	27,1	164,0	146,0	M 10	50	50	0,705	33,12
IPE AA 200*	18,0	196,4	100	4,5	6,7	12,0	22,9	183,0	159,0	M 10	54	58	0,763	42,51
IPE A 200-	18,4	197	100	4,5	7,0	12,0	23,5	183,0	159,0	M 10	54	58	0,764	41,49
IPE 200	22,4	200	100	5,6	8,5	12,0	28,5	183,0	159,0	M 10	54	58	0,768	34,36
IPE O 200+	25,1	202	102	6,2	9,5	12,0	32,0	183,0	159,0	M 10	56	60	0,779	31,05
IPE AA 220*	21,2	216,4	110	4,7	7,4	12,0	27,0	201,6	177,6	M 12	60	62	0,843	39,78
IPE A 220-	22,2	217	110	5,0	7,7	12,0	28,3	201,6	177,6	M 12	60	62	0,843	38,02
IPE 220	26,2	220	110	5,9	9,2	12,0	33,4	201,6	177,6	M 12	60	62	0,848	32,36
IPE AA 240*	24,9	236,4	120	4,8	8,0	15,0	31,7	220,4	190,4	M 12	64	68	0,917	36,86
IPE A 240-	26,2	237	120	5,2	8,3	15,0	33,3	220,4	190,4	M 12	64	68	0,918	35,10
IPE 240	30,7	240	120	6,2	9,8	15,0	39,1	220,4	190,4	M 12	66	68	0,922	30,02
IPE O 240+	34,3	242	122	7,0	10,8	15,0	43,7	220,4	190,4	M 12	66	70	0,932	27,17
IPE A 270-	30,7	267	135	5,5	8,7	15,0	39,2	249,6	219,6	M 16	70	72	1,037	33,75
IPE 270	36,1	270	135	6,6	10,2	15,0	45,9	249,6	219,6	M 16	72	72	1,041	28,86
IPE O 270+	42,3	274	136	7,5	12,2	15,0	53,8	249,6	219,6	M 16	72	72	1,051	24,88
IPE A 300-	36,5	297	150	6,1	9,2	15,0	46,5	278,6	248,6	M 16	72	86	1,156	31,65
IPE 300	42,2	300	150	7,1	10,7	15,0	53,8	278,6	248,6	M 16	72	86	1,160	27,46
IPE O 300+	49,3	304	152	8,0	12,7	15,0	62,8	278,6	248,6	M 16	74	88	1,174	23,81
IPE A 330-	43,0	327	160	6,5	10,0	18,0	54,7	307,0	271,0	M 16	78	96	1,250	29,09
IPE 330	49,1	330	160	7,5	11,5	18,0	62,6	307,0	271,0	M 16	78	96	1,254	25,52
IPE O 330+	57,0	334	162	8,5	13,5	18,0	72,6	307,0	271,0	M 16	80	98	1,268	22,24
IPE A 360-	50,2	357,6	170	6,6	11,5	18,0	64,0	334,6	298,6	M 22	86	88	1,351	26,91
IPE 360	57,1	360	170	8,0	12,7	18,0	72,7	334,6	298,6	M 22	88	88	1,353	23,70
IPE O 360+	66,0	364	172	9,2	14,7	18,0	84,1	334,6	298,6	M 22	90	90	1,367	20,69
IPE A 400-	57,4	397	180	7,0	12,0	21,0	73,1	373,0	331,0	M 22	94	98	1,464	25,51
IPE 400	66,3	400	180	8,6	13,5	21,0	84,5	373,0	331,0	M 22	96	98	1,467	22,12
IPE O 400+	75,7	404	182	9,7	15,5	21,0	96,4	373,0	331,0	M 22	96	100	1,481	19,57
IPE A 450-	67,2	447	190	7,6	13,1	21,0	85,6	420,8	378,8	M 24	100	102	1,603	23,87
IPE 450	77,6	450	190	9,4	14,6	21,0	98,8	420,8	378,8	M 24	100	102	1,605	20,69
IPE O 450+	92,4	456	192	11,0	17,6	21,0	118	420,8	378,8	M 24	102	104	1,622	17,56

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte												Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001	
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z						Pure bending y-y			Pure compression						
	G	I_y	W_{ey}	W_{py}	i_y	A_x	I_z	W_{ez}	W_{pz}	i_z	s_x	I_t	I_w	S235	S355	S460	S235	S355				S460
kg/m	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ² x10 ²	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm	mm ⁴ x10 ⁴	mm ⁶ x10 ⁹										
IPE AA 80	4,9	64,1	16,4	18,9	3,19	3,00	6,85	2,98	4,7	1,04	17,5	0,40	0,09	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE A 80	5,0	64,4	16,5	19,0	3,18	3,07	6,85	2,98	4,7	1,04	17,6	0,42	0,09	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE 80	6,0	80,1	20,0	23,2	3,24	3,58	8,49	3,69	5,8	1,05	20,1	0,70	0,12	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE AA 100	6,7	136	27,9	31,9	3,98	4,40	12,6	4,57	7,2	1,21	20,8	0,73	0,27	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE A 100	6,9	141	28,8	33,0	4,01	4,44	13,1	4,77	7,5	1,22	21,2	0,77	0,28	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE 100	8,1	171	34,2	39,4	4,07	5,08	15,9	5,79	9,2	1,24	23,7	1,20	0,35	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE AA 120	8,4	244	41,7	47,6	4,79	5,36	21,1	6,59	10,4	1,41	21,6	0,95	0,66	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE A 120	8,7	257	43,8	49,9	4,83	5,41	22,4	7,00	11,0	1,42	22,2	1,04	0,71	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE 120	10,4	318	53,0	60,7	4,90	6,31	27,7	8,65	13,6	1,45	25,2	1,74	0,89	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE AA 140	10,1	407	59,7	67,6	5,64	6,14	33,8	9,27	14,5	1,63	22,4	1,19	1,46	1	1	-	1	2	-	✓		
IPE A 140	10,5	435	63,3	71,6	5,70	6,21	36,4	10,0	15,5	1,65	23,2	1,36	1,58	1	1	1	1	2	3	✓	✓	✓
IPE 140	12,9	541	77,3	88,3	5,74	7,64	44,9	12,3	19,3	1,65	26,7	2,45	1,98	1	1	1	1	1	2	✓	✓	✓
IPE AA 160	12,1	646	82,6	93,3	6,47	7,24	51,6	12,6	19,6	1,83	23,4	1,57	2,93	1	1	-	1	3	-	✓		
IPE A 160	12,7	689	87,8	99,1	6,53	7,80	54,4	13,3	20,7	1,83	26,3	1,96	3,09	1	1	1	1	3	4	✓	✓	✓
IPE 160	15,8	869	109	124	6,58	9,66	68,3	16,7	26,1	1,84	30,3	3,60	3,96	1	1	1	1	1	2	✓	✓	✓
IPE AA 180	14,9	1020	116	131	7,32	9,13	78,1	17,2	26,7	2,03	27,2	2,48	5,64	1	1	-	2	3	-	✓		
IPE A 180	15,4	1063	120	135	7,37	9,20	81,9	18,0	28,0	2,05	27,8	2,70	5,93	1	1	1	2	3	4	✓	✓	✓
IPE 180	18,8	1317	146	166	7,42	11,3	101	22,2	34,6	2,05	31,8	4,79	7,43	1	1	1	1	2	3	✓	✓	✓
IPE O 180	21,3	1505	165	189	7,45	12,7	117	25,5	39,9	2,08	34,5	6,76	8,74	1	1	1	1	1	2	✓	✓	✓
IPE AA 200	18,0	1533	156	176	8,19	11,4	112	22,4	35,0	2,21	32,0	3,84	10,1	1	1	-	2	4	-	✓		
IPE A 200	18,4	1591	162	182	8,23	11,5	117	23,4	36,5	2,23	32,6	4,11	10,5	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte												Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001	
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z						Pure bending y-y			Pure compression						
	G	I_y	W_{ey}	W_{py}	i_y	A_x	I_z	W_{ez}	W_{pz}	i_z	s_x	I_t	I_w	S235	S355	S460	S235	S355				S460
kg/m	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ² x10 ²	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm	mm ⁴ x10 ⁴	mm ⁶ x10 ⁹										
IPE AA 240	24,9	3154	267	298	9,97	15,3	231	38,6	60,0	2,70	38,4	7,33	30,1	1	1	-	3	4	-	✓		
IPE A 240	26,2	3290	278	312	9,94	16,3	240	40,0	62,4	2,68	39,4	8,35	31,3	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
IPE 240	30,7	3892	324	367	9,97	19,1	284	47,3	73,9	2,69	43,4	12,9	37,4	1	1	1	1	2	4	✓	✓	✓
IPE O 240	34,3	4369	361	410	10,0	21,4	329	53,9	84,4	2,74	46,2	17,2	43,7	1	1	1	1	2	3	✓	✓	✓
IPE A 270	30,7	4917	368	413	11,2	18,8	358	53,0	82,3	3,02	40,5	10,3	59,5	1	1	1	3	4	4	✓	✓	✓
IPE 270	36,1	5790	429	484	11,2	22,1	420	62,2	97,0	3,02	44,6	15,9	70,6	1	1	1	2	3	4	✓	✓	✓
IPE O 270	42,3	6947	507	575	11,4	25,2	514	75,5	118	3,09	49,5	24,9	87,6	1	1	1	1	2	3	✓	✓	✓
IPE A 300	36,5	7173	483	542	12,4	22,3	519	69,2	107	3,34	42,1	13,4	107	1	1	1	3	4	4	✓	✓	✓
IPE 300	42,2	8356	557	628	12,5	25,7	604	80,5	125	3,35	46,1	20,1	126	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
IPE O 300	49,3	9994	658	744	12,6	29,1	746	98,1	153	3,45	51,0	31,1	158	1	1	1	1	3	4	✓	✓	✓
IPE A 330	43	10230	626	702	13,7	27,0	685	85,6	133	3,54	47,6	19,6	172	1	1	1	3	4	4	✓	✓	✓
IPE 330	49,1	11770	713	804	13,7	30,8	788	98,5	154	3,55	51,6	28,2	199	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
IPE O 330	57	13910	833	943	13,8	34,9	960	119	185	3,64	56,6	42,2	246	1	1	1	1	3	4	✓	✓	✓
IPE A 360	50,2	14520	812	907	15,1	29,8	944	111	172	3,84	50,7	26,5	282	1	1	1	4	4	4	✓	✓	✓
IPE 360	57,1	16270	904	1019	15,0	35,1	1043	123	191	3,79	54,5	37,3	314	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
IPE O 360	66	19050	1047	1186	15,1	40,2	1251	146	227	3,86	59,7	55,8	380	1	1	1	1	3	4	✓	✓	✓

Annexe 3 : Les flèches admissibles.

FLECHE admissible

A défaut de spécification particulière, la flèche totale doit rester inférieure aux valeurs suivantes :

- 150^{ème} : pour les parties d'ouvrage en console n'ayant pas à supporter couramment une circulation
auvents, débords de toiture
- 200^{ème} : pour les pièces supportant directement des éléments de couverture (*chevrons, liteaux*)
Les pannes pourront être dimensionnées au 200^{ème} si humidité à la pose $\leq 17\%$.
- 300^{ème} : pour les pannes,
pour les pièces supportant directement des matériaux verriers,
pour les consoles supportant une circulation (\neq montage ou entretien),
pour les poteaux avec ponts roulants,
pour les poteaux avec remplissage en maçonnerie prenant appui sur le poteau,
pour les poteaux destinés à recevoir un vitrage sur plus de la moitié de leur hauteur ;
pour les éléments fléchis reposant sur deux ou plusieurs appuis, et ne supportant pas d'éléments de remplissage ;
- 400^{ème} : pour les ouvrages fléchis, autres que les consoles, supportant une circulation (\neq montage ou entretien) ou un remplissage ;
- 500^{ème} : linteau de menuiserie
relativement à la portée de la pièce.

Une pièce de 4,40m dimensionnée au 1/300^{ème} devra avoir une flèche totale $< 4,40/300 = 14,7\text{mm}$

Bibliographie & web graphie

- Guide technique : SYSTEME DE BLOC GALET POUR SOMMIERS
- Revue de construction métallique- Chemin de roulement de pont roulant
- Notes de cours de RDM 6
- Documents interne du bureau d'étude des ateliers centraux OCP.

- <http://www.mecatools.free.fr>
- http://www.constructalia.com/francais/produits/structures/profiles_lamines_a_chaud
- www.google.com/ Pont roulant.