



*Ministère de l'enseignement supérieur  
et de la recherche scientifique*

*Université Mohamed Boudiaf - M'silla*

*Faculté de Technologie*

*Département de Génie civil*



## **MEMOIRE**

**Présenté pour l'obtention du diplôme de  
MASTER en Génie Civil**

**Spécialité: Structures**

**Thème :**

# **DIMENSIONNEMENT DES POUTRES DE ROULEMENT DES PONTS ROULANTS**

**Proposé et dirigé par :**

**Professeur: TITOU MESSAOUD**

**Présenté par :**

**Mr. BRAHIMI Ishak**

**Mr. REGUIG Ali**

**Devant le jury composé de :**

**Président: Mr. HAMITOUCHE Amar**

**Examineur: Mr. BOUGUERRA Kheiredine**

**Encadreur: Mr. TITOU Messaoud**

**Année universitaire : 2020/2021**

## Dédicace et Remerciements

Tout d'abord, je remercie ALLAH, le tout puissant de m'avoir donné la force, le courage et la volonté de mener à bien ce modeste travail.

Je dédie ce Modeste travail

A ma mère, ma raison d'être, ma raison de vivre, la lanterne qui éclaire mon chemin et m'illumine de douceur et d'amour.

A mon père, en signe d'amour, de reconnaissance et de gratitude pour tous les soutiens et les sacrifices dont il a fait preuve à mon égard.

A tous les membres de ma famille grande et petite. A mon encadreur professeur Titoum. M tous les enseignements qui m'ont aidé de proche ou de loin pour être un jour un ingénieur de génie civil.

A tous mes amis que je ne vais pas nommer car ils sont nombreux, je ne sais pas qui choisir.

A tous les étudiants de la faculté en génie civil surtout les étudiants de la 5ème année promotion 2021 structure.

Je vous remercie tous, votre soutien et vos encouragements me donnent la force de continuer.

## Résumé :

Les poutres de roulement de ponts roulants sont soumises à diverses sollicitations agissant en concomitance, qui exigent des calculs complexes et nécessitent une conception très soignée afin de se prémunir contre d'éventuels désordres liés notamment à des phénomènes de déversement, de voilement et de torsion. En outre, les déformations des chemins de roulement doivent être minimales.

Dans cette étude, nous avons présenté la conception des ponts roulants, ensuite, nous avons donné deux exemples d'application sur le calcul des poutres de roulement, enfin nous avons montré l'influence du pont roulant sur le comportement des portiques métalliques.

## الملخص

تخضع الروافد التي تسير عليها الرافعات العلوية لمجموعة متنوعة من الضغوط المصاحبة التي تتطلب حسابات معقدة وتتطلب تصميمًا دقيقًا جدًا من أجل السلامة من الاضطرابات المحتملة المرتبطة بطواهر الانحناء على وجه الخصوص ، الأمر يتعلق بالانبعاج والالتواء وبالإضافة إلى ذلك ، يجب أن تكون تشوهات الروافد ضئيلة للغاية. في هذه الدراسة، قدمنا تصميم الرافعات العلوية، ثم قدمنا مثالين للتطبيق على حساب الروافد الحاملة لرافعات، وأخيرا أظهرنا تأثير الرافعة العلوية على سلوك رافعات الحاملة المعدنية

## Summary:

Rolling beams of overhead cranes are subjected to a variety of concomitant stresses, which require complex calculations and require a very careful design in order to guard against possible disorders linked in particular to spill phenomena, It's about the warping and twisting. In addition, the deformations of the raceways must be minimal

In this study, we presented the design of overhead cranes, then we gave two examples of application on the calculation of running beams, and finally we showed the influence of the over Head crane on the behavior of metal gantry cranes.

## Table des matières

<b>Résumé</b> .....	I
<b>Table des matières</b> .....	II
<b>Liste des Figures</b> .....	III
<b>Liste des Tableaux</b> .....	IV
<b>Introduction générale</b> .....	10
<b>Chapitre 1 : Conception des ponts roulants</b> .....	11
1.1- Introduction .....	12
1.1.1-Ponts roulants .....	12
1.1.2 – Classification.....	13
1.1.2.1-Ponts roulants posé.....	13
1.1.2.2-Ponts roulants suspendus.....	14
1.2- Construction.....	15
1.2.1- Poutres.....	15
1.2.1.1- Poutres en profilé du commerce.....	15
1.2.1.2-Poutres mécano soudées.....	15
1.2.2- Sommiers ou boggies.....	16
1.2.2.1-Sommiers de ponts posés.....	16
1.2.2.2-Sommiers de ponts suspendus.....	16
1.2.3- Assemblage poutre-sommiers .....	16
1.3- Mécanismes permettant les mouvements.....	16
1.3.1- Mécanisme de translation.....	16
1.3.2- Mécanisme de direction (chariot) .....	17
1.3.3- Mécanisme de levage.....	17
1.1.4- Classification des ponts roulants .....	21
1.2- Détails de construction et tolérances.....	22
1.2.1- Rails de roulement.....	22
1.2.2- Joints de poutres.....	22
1.2.2.1-Les joints de montage.....	22
1.2.2.2-Les joints de dilatation.....	23
1.2.3- Tolérances.....	24
1.3- Cheminement des forces.....	24
1.3.1- Charges verticales.....	25
1.3.2. Forces horizontales.....	27
1.3.3. Forces longitudinales .....	29
1.4. Aptitude au service de la voie de roulement (ELS).....	30
1.4.1- Généralités.....	30
1.4.2 Calcul des déplacements de la poutre de roulement.....	30
1.4.3- Valeurs indicatives des flèches et vérification.....	31
1.5- Sécurité structurale de la poutre de roulement.....	32
1.5.1- Généralités.....	32
1.5.2- Vérifications.....	33
1.5.2.1- Résistance des sections transversales.....	33
1.5.2.2- Résistance des éléments.....	33
1.5.3- Effets locaux.....	33
1.5.4- Vérification selon RCCM97.....	34
1.5.4.1- Vérification de la résistance des sections transversales de classe 1, 2 ou 3.....	34
1.5.4.1.1-Flexion.....	34
1.5.4.1.2-Sollicitations combinées.....	34
1.5.4.1.3-Effet de cisaillement.....	35

1.5.5- Vérification de la résistance des éléments.....	35
1.5.5.1-Résistance au flambement-Elément comprimé et fléchi.....	35
1.5.5.2-Résistance au déversement – Elément comprimé et fléchi.....	36
1.5.5.3-Résistance des âmes au voilement par cisaillement.....	36
5.6- Résistance des âmes aux charges transversales.....	36
1.5.6.1-Résistance à l'écrasement.....	37
1.5.6.2-Résistance à l'enfoncement local.....	37
1.5.6.3-Résistance des assemblages.....	38
1.6- Considérations particulières.....	38
1.6.1- Soudures âme-semelle.....	38
1.6.2- Joints et raccords de rails.....	38
1.6.3- Dispositifs de fixation des rails.....	39
1.6.3.1-Modélisation.....	39
1.6.3.2-Fixation rigides de rail.....	39
1.6.3.3-Fixation crapaudes de rail.....	40
1.6.4- Consoles supports.....	40
1.6.5- Poutres horizontales.....	40
1.6.6- Dispositifs d'appuis horizontaux.....	41
<b>Chapitre 2 : Exemples d'application : Pont de 10 m et Pont de 14 m.....</b>	<b>42</b>
2.1- Pont roulant de portée $L=10m$ .....	43
2.1.1- Introduction.....	43
2.1.2- Ponts roulants.....	43
2.1.2.1- Différents types de ponts roulants.....	44
2.1.2.2- Eléments constitutifs du pont roulant.....	44
2.1.2.3- Différents mouvements possibles.....	44
2.1.2.4. Caractéristiques du pont roulant.....	45
2.1.2.5- Classement des ponts roulants.....	46
2.1.2.6- Les coefficients des ponts roulants.....	47
2.1.3- Description générale du calcul.....	47
2.1.3.1- Calcul de la poutre de roulement.....	48
2.1.3.1.1- Réactions d'un galet du pont roulant en charge.....	48
2.1.3.2- Choix du rail.....	51
2.1.3.2.1-Fixation du rail sur la poutre de roulement.....	52
2.1.3.3- Pré dimensionnement de la poutre de roulement.....	53
2.1.3.3.1- Condition de la flèche (z-z).....	54
2.1.3.3.2- Classe du profilé.....	55
2.1.3.3.2.1- Classe de l'âme fléchie.....	55
2.1.3.3.2.2-Classe de la semelle comprimée.....	56
2.1.4-Résistance du profilé sous charges verticales.....	56
2.1.4.1. Vérification à L'ELU (Effort tranchant + Moment fléchissant).....	56
2.1.5- Vérification sous charge horizontale.....	58
2.1.5.1- Résistance de l'âme au voilement par cisaillement.....	58
2.1.5.2- Résistance au déversement.....	58
2.1.5.3- Résistance de l'âme à la charge transversale.....	60
2.6- Calcul du support du chemin de roulement.....	63
2.6.1- Charges verticales.....	63
2.1.6.2- Charge horizontal.....	63
2.1.6.3- Dimensionnement du support de chemin de roulement.....	64
2.1.6.4- Vérification de la classe de la section transversale HEB20.....	65
2.1.6.5- Vérification du profilé au flambement de la semelle comprimée dans le plan de l'âme.....	65

2.2-Pont roulant de portée $L=14m$ .....	68
2.2.1-Introduction.....	68
2.2.2-Caractéristiques de pont roulant.....	68
2.2.2.1-Classification du pont.....	69
2.2.2.2.-Coefficients.....	69
2.2.3-Etude de la poutre de roulement « PDR ».....	69
2.2.3.1-Réactions d'un galet du pont roulant en charge.....	70
2.2.3.2-Réaction verticale.....	71
2.2.3.3-Réaction horizontale longitudinale.....	71
2.2.3.3.1-Réaction horizontale transversale.....	71
2.2.3.4-Les charges à considérer.....	72
2.2.3.4.1- Charge roulantes.....	72
2.2.3.4.2-Charges mobiles appliqués sur la passerelle.....	72
2.2.3.5-Pré-dimensionnement de la poutre de roulement.....	72
2.2.3.6-Choix du rail.....	73
2.2.4.1-Vérification de la flèche verticale.....	73
2.2.4.2-Vérification de la flèche horizontale.....	74
2.2.5-Détermination des efforts.....	75
2.2.5.1-Calcul des sollicitations internes.....	75
2.2.5.2-Calcul du moment fléchissant maximum.....	75
2.2.5.2.1-Moment du aux charges mobiles.....	75
2.2.5.2.2-Moment du au poids propre du chemin de roulement.....	76
2.2.5.2.3-Moment combinés pondérés.....	76
2.2.5.3-Calcul de l'Effort tranchant maximum.....	76
2.2.5.3.1-Effort tranchant dû aux charges mobiles.....	76
2.2.5.3.2-Efforts tranchants combinés pondérés.....	77
2.2.5.3.3-Calcul de l'Effort normal maximum.....	77
2.2.5.3-Verification de la flexion bi axial composée.....	77
2.2.5.3.1-Calcul de classe de HEB400.....	77
2.2.5.4-Vérification de la section transversale.....	77
2.2.5.4.1-Incidence de l'effort tranchant avec le moment fléchissant.....	77
2.2.5.4.2-Incidence de l'effort normal.....	77
2.2.5.5-Vérification de l'élément aux instabilités.....	78
2.2.5.5.1-Flambement par rapport à y-y.....	78
2.2.5.5.2-Flambement par rapport à z-z.....	78
2.2.5.5.3- Détermination des coefficients K.L.T.Z.....	79
2.2.5.5.4-Détermination du coefficient de réduction pour le déversement.....	79
2.2.6-Vérification de la flexion composée avec risque de flambement.....	79
2.2.6-Verification du cisaillement.....	80
2.2.6.1-Cisaillement sous l'effet de la charge horizontale.....	80
2.2.6.2-Cisaillement sous l'effet de la charge verticale.....	80
2.2.6.3-Calcul du support du chemin de roulement.....	80
2.2.6.4-Poids propre du chemin de roulement.....	81
2.2.6.5-Calcul des sollicitations internes.....	81
2.2.6.5-1-Sous charges vertical.....	81
2.2.6.6-Effort combinés pondérés.....	82
2.2.6.7-Vérification du déversement.....	82
2.2.6.7.1- Classification de la console.....	82
2.2.6.8-Vérification de la flèche.....	83
2.2.6.8-Sous charges verticales.....	83
2.2.6.8.2-Vérification du cisaillement.....	84

<b>Chapitre 3 : Effets du pont roulant sur le comportement des portiques métalliques ...</b>	<b>85</b>
3.1- Introduction.....	86
3.2- Présentation du Logiciel ANSYS.....	86
3.2.1-Définition de l'ansys.....	87
3.2.1-Titre.....	88
3.2.2- Définir les éléments .....	88
3.2.3-Définition Real Constants .....	89
3.2.4-Propriétés des matériaux .....	89
3.2.5-Création de la géométrie du modèle .....	90
3.2.6-Attribution des propriétés de chaque élément.....	90
3.2.7-Maillage .....	91
3.3-Solution.....	93
3.3.16 Type d'analyse.....	93
3.3.2-Tonditions aux limites.....	93
3.3.3Application des charges.....	94
3.3.4-Résolution du système.....	95
3.4- Post pressing .....	95
3.4-Define élément Table.....	95
3.4.2- Contraintes .....	95
3.5- Les résultats.....	96
3.6-Conclusion.....	95
<b>Conclusion Générale.....</b>	<b>96</b>
<b>Référence bibliographie.....</b>	<b>97</b>

**Liste des figures**

**Chapitre 1**

Figure 1.1 Exemples d'engins de manutention.....	12
Figure 1.2 Les deux types de construction de pont.....	13
Figure 1.3 Ponts roulants posés.....	14
Figure 1.3 Ponts roulants posés.....	14
Figure 1.3 Ponts roulants suspendus.....	14
Figure 1.4 Différents mouvements possibles d'un pont roulant.....	15
Figure 1.5 Deux types de galets.....	17
Figure 1.6 Exemple de pont roulant bipoutre.....	18
Figure 1.7 Différents types de rails et leur fixation sur la poutre de roulement.....	21
Figure 1.8 Joint d'une poutre de roulement à rail soudé avec changement de section.....	22
Figure 1.9 Exemples de réalisation d'un joint de dilatation.....	23
Figure 1.10 Poteaux et montants supportant une poutre de roulement .....	25
Figure 1.11 Exemple de support vertical d'une poutre de roulement.....	26
Figure 1.12 Cheminement des forces transversales du pont roulant.....	27
Figure 1.13 Exemples de supports horizontaux de la poutre de roulement.....	28
Figure 1.14 Cheminement des forces horizontales.....	28
Figure 1.15 Cheminement des forces horizontales.....	29
Figure 1.16 Exemples de renforcement de l'aile supérieure d'une poutre de roulement .....	30
Figure 1.17 Introduction des charges de galet pour ponts roulants usuels.....	33

**Chapitre 2**

Figure 2.1 Pont roulant.....	42
Figure 2.2 Différents mouvements d'un pont roulant.....	44
Figure 2.3 Schéma 3D du pont roulant.....	44
Figure 2.4 Moment Max pour deux charges égales (Théorème de barre).....	46
Figure 2.5 Réaction horizontales transversales.....	49
Figure 2.6 Dimensions et caractéristiques géométriques du rail.....	50
Figure 2.7 Schéma de la poutre de roulement avec le rail.....	50
Figure 2.8 Vue d'un rail et sa fixation.....	51
Figure 2.9 Lustrations des efforts appliqués sur la poutre de roulement par le galet avec P la réaction verticale max.....	52
Figure 2.10 schéma statique de la poutre de roulement sur deux appuis.....	53
Figure 2.11 Support de chemin de roulement.....	61
Figure 2.12 Schéma statique du support de roulement.....	62
Figure 2.13 Vérification de la flèche.....	64
Figure 2.14 Schéma d'un pont roulant de 14m.....	66
Figure 2.15 Réactions verticales aux galets.....	68
Figure 2.16 Galets.....	68
Figure 2.17 Récapitulatif des réactions sur les galets.....	69
Figure 2.18 Caractéristiques géométriques du rail.....	71
Figure 2.19 Récapitulatif des réactions sur les galets.....	72
Figure 2.20 Théorème de BARRE.....	73
Figure 2.21 L'Effort tranchant maximum.....	74
Figure 2.22 Détail support du chemin de roulement.....	78

**Chapitre 3**

Figure 3.1 Fenêtre du logiciel ANSYS.....	85
Figure 3.2 Enregistrer dans Ansys.....	86
Figure 3.3 Définition des types d'éléments.....	87
Figure 1.4 Définition des propriétés d'un matériau dans le domaine linéaire.....	88
Figure 3.5 Création de la géométrie du modèle.....	88
Figure 3.6 Attribution des propriétés à chaque élément.....	89
Figure 3.7 Mesh Tools.....	90
Figure 3.8 Définition du maillage (Size controls area).....	90
Figure 3.9 Définition du maillage (Size controls Line).....	90
Figure 3.10 Type d'analyse.....	91
Figure 3.11 Définition des conditions aux limites .....	91
Figure 3.12 Définition du chargement.....	92
Figure 3.13 les charges verticales sur le portique.....	92
Figure 3.14 Solve Current Load Step.....	92
Figure 3.15 Fin de la résolution.....	93
Figure 3.16 Defline Table.....	93
Figure 3.17 Liste élément Solution.....	93
Figure 3.18 Plot Line Element Results .....	94
Figure 3.19 les diagrammes de l'effort normal.....	94
Figure 3.20 les diagrammes de l'effort tranchant.....	95
Figure 3.21 les diagrammes de moment fléchissant.....	95

## Liste des Tableaux

### Chapitre 1

Tableau 1.1. Caractéristiques moyennes des ponts roulants usuels de type bipoutre.....	19
Tableau 1.2. Exemples de classification.....	20
Tableau 1.3. Prescriptions de tolérances relatives aux voies de roulement de ponts roulants...	23
Tableau 1.4. Valeurs limites des flèches verticales.....	31
Tableau 1.5. Valeurs limites des flèches horizontales.....	31

### Chapitre 2

Tableau 2.1. Caractéristiques du pont roulant.....	44
Tableau 2.2. Caractéristiques géométriques du pont roulant de 10m.....	45
Tableau 2.3. Tableau des groupes.....	45
Tableau 2.4. Les coefficients et classement de pont roulant.....	46
Tableau 2.5. Charges verticales.....	47
Tableau 2.6. Charges horizontales longitudinales.....	48
Tableau 2.7. Charges horizontales transversales ( $R_{h1}$ ).....	50
Tableau 2.8. Charges horizontales transversales ( $R_{h2}$ ).....	50
Tableau 2.9. Dimensions et caractéristiques du rail A55.....	51
Tableau 2.10. Dimensions du crapaud.....	52
Tableau 2.11. Les Caractéristiques de profile HEB340.....	53
Tableau 2.12. Les caractéristiques du profilé HEB 200.....	63
Tableau 2.13. Dimensions des ponts roulants de 14m.....	67
Tableau 2.14. Caractéristique du pont roulant équipant le hangar.....	67
Tableau 2.15. Réactions d'un galet en charge.....	70
Tableau 2.16. Caractéristiques de profile HEB400.....	71
Tableau 2.17. caractéristiques du rail A65.....	71

### Chapitre 3

Tableau 3.1. Key points géométriques du portique avec pont roulant.....	88
Tableau 3.2. Key points géométriques du portique sans pont roulant.....	88

## Introduction générale

### a) Définitions

Pont roulant ?

Un pont roulant, est un engin de levage mobile circulant sur un chemin de roulement.

Poutre de roulement ?

La poutre de roulement est l'élément porteur longitudinal du chemin (profilé laminé, poutre composée à âme pleine, poutre treillis).

### b) Problématique

Les poutres de roulement de ponts roulants sont soumises à diverses sollicitations agissant en concomitance, qui exigent des calculs complexes et nécessitent une conception très soignée afin de se prémunir contre d'éventuels désordres liés notamment à des phénomènes de déversement, de voilement et de torsion. En outre, les déformations des chemins de roulement doivent être minimales.

### c) Objectif

Dans cette étude, on présente la conception des ponts roulants, ensuite, on donne deux exemples d'application sur le dimensionnement des poutres de roulement à l'état limite ultime ELU et à l'état limite de service ELS, ainsi que la stabilité au déversement.

### d) Contenu du travail

Notre travail de recherche commence par une introduction générale suivie par trois chapitres et terminé par une conclusion générale :

- Introduction générale
- Chapitre 1 : Conception des ponts roulants
- Chapitre 2 : Exemples d'application sur le dimensionnement des poutres de roulement
- Chapitre 3 : Effet du pont roulant sur le comportement des portiques métalliques
- Conclusion générale.

**Chapitre 1 :**  
**Conception des ponts roulants**

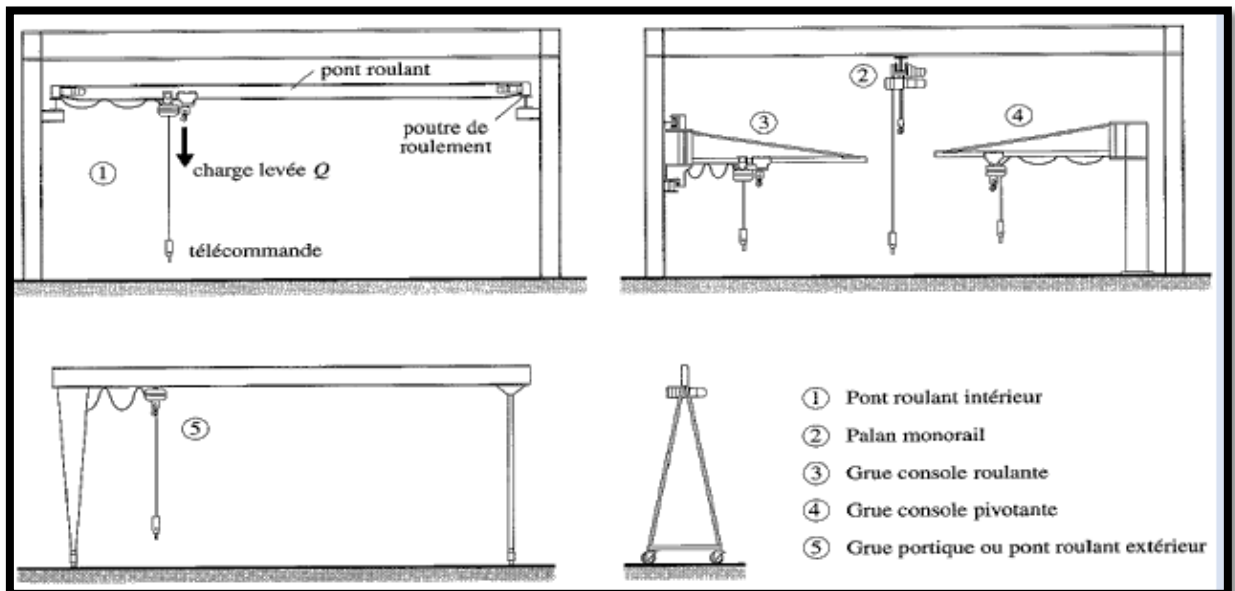
## Chapitre 1 : Conception des ponts roulants

### 1.1- Introduction

La manutention d'objets lourds dans une halle industrielle nécessite souvent l'emploi d'engins spéciaux dits engins de manutention ou de levage.

Parmi les plus courants (**fig1.1**), citons:

- Les ponts roulants, mono poutre et bipoutre.
- Le palan monorail.
- La grue console roulante.
- La grue console pivotante, la grue portique.



**Figure1.1- Exemples d'engins de manutention**

#### 1.1.1-Ponts roulants

Un pont roulant, est un engin de levage mobile circulant sur un chemin de roulement.

Il est constitué d'une ou plusieurs poutres sur lesquelles se déplace, transversalement au chemin de roulement, un chariot de transfert équipé d'un treuil pour le levage de la charge.

Si le pont est constitué d'une seule poutre, on parle de pont mono poutre. Dans les autres cas, on a affaire à un pont bipoutre.

Le chemin de roulement est la structure porteuse de l'engin de levage, constituée d'une ou deux poutres de roulement et ses supports.

Habituellement, le chemin est constitué de deux poutres parallèles surmontées d'un rail spécial et sur lesquelles circule le pont roulant.

Ce dernier peut également être suspendu aux poutres. On parle alors de pont roulant suspendu.

Si le treuil est suspendu directement à une poutre de roulement, on parle de palan monorail.

La poutre de roulement est l'élément porteur longitudinal du chemin (profilé laminé, poutre composée à âme pleine, poutre treillis).

Le pont roulant standard circule sur la poutre de roulement, munie alors d'un rail spécial. Le pont roulant suspendu ou le monorail circulent directement sur les ailes inférieures de la poutre de roulement.

Les poutres de roulement sont des poutres simples ou continues. Leurs appuis sont constitués par des poteaux indépendants ou par des corbeaux fixés sur les montants de cadres de halle.

### 1.1.2 - Classification

On distingue 2 familles principales d'appareils dont la construction peut être des deux types suivants:

- Le pont roulant (**figure 1.2**) est dit **mono poutre**, lorsque sa charpente est réalisée avec une seule poutre (le chariot de levage est alors monorail),
- Le pont est dit **bipoutre** lorsque sa charpente est constituée de deux poutres, le chariot de levage est alors du type bi rail

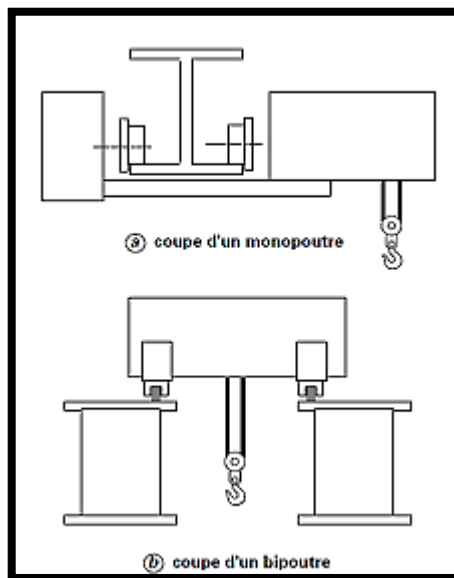


Figure1. 2 Les deux types de construction de pont

#### 1.1.2.1- Ponts roulants posés

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.

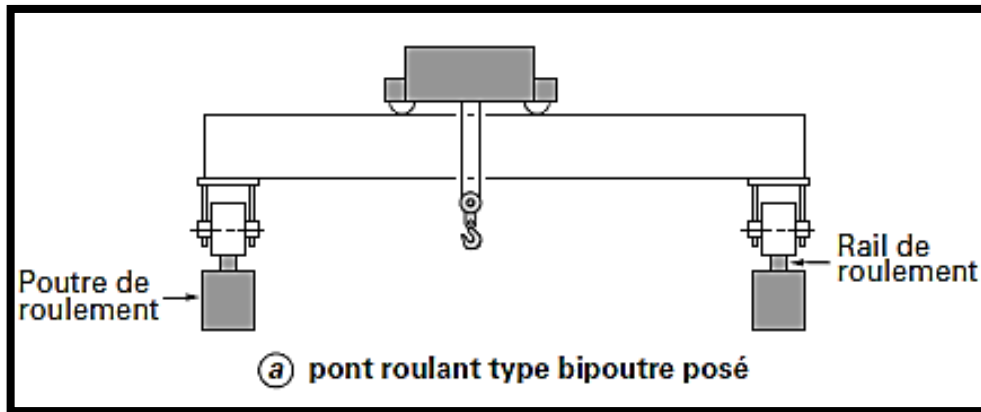


Figure1. 3a : Ponts roulants posés

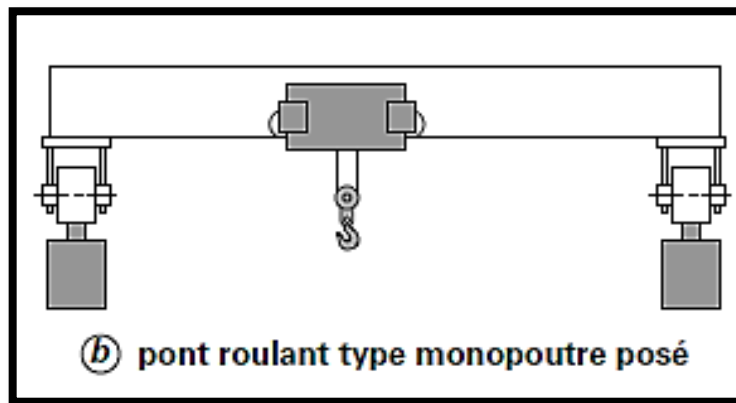


Figure1.3b : Ponts roulants posés

#### 1.1.2.2. Ponts roulants suspendus

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.

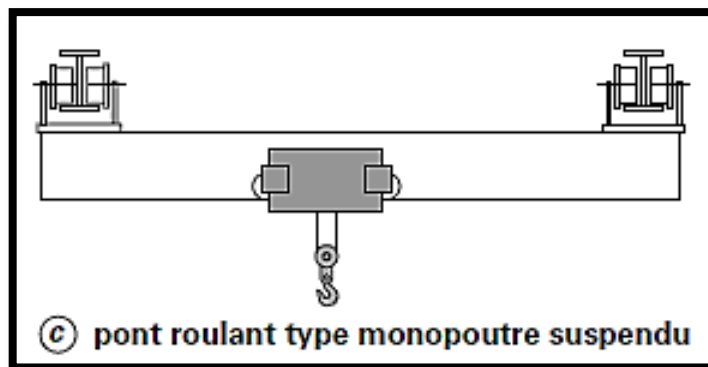


Figure1. 3c : Ponts roulants suspendus

Les éléments mobiles (crochet, chariot, pont) d'un engin de manutention permettent d'effectuer simultanément trois genres de mouvements (**figure 1.4**):

- **Levage** : mouvement vertical de la charge levée.
- **Direction** : mouvement du chariot transversal à la halle.
- **Translation** : mouvement du pont roulant longitudinal à la halle.

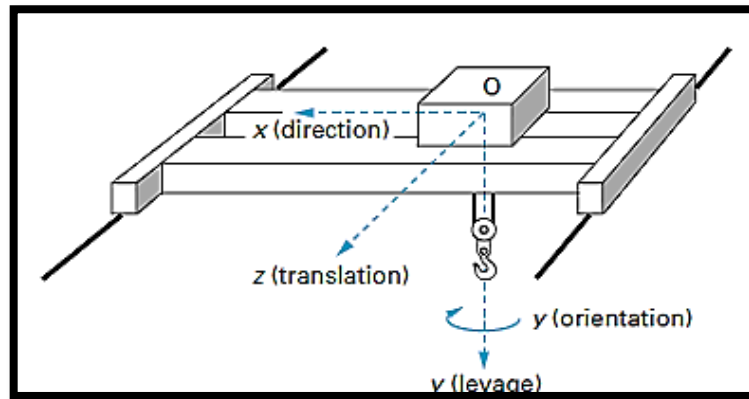


Figure1.4 – Les différents mouvements possibles d'un pont roulant

## 1.2- Construction

Un pont roulant est constitué par une ossature et par les mécanismes nécessaires à l'obtention des différents mouvements: levage et mouvements horizontaux.

Ces éléments sont calculés suivant les recommandations de la FEM, section 1.

L'ossature d'un pont roulant comprend: la ou les poutres principales, les sommiers ou boggies.

### 1.2.1- Poutres

#### 1.2.1.1- Poutres en profilé du commerce

Cette construction est économique, mais elle a un poids mort relativement élevé. On la rencontre surtout pour des ponts de portée et capacité de levage faibles. Les profilés utilisés sont principalement en acier du type HEA ou HEB.

#### 1.2.1.2- Poutres mécano soudées

Afin d'optimiser leurs caractéristiques mécaniques (horizontale et verticale), les poutres sont reconstituées par mécano soudure :

- en caisson: la poutre se compose de deux semelles supérieures et inférieures, deux tôles d'âme de faible épaisseur généralement renforcées par des cornières soudées, et des entretoises qui évitent le flambage des tôles d'âme.
- d'autres solutions intermédiaires sont parfois employées, notamment: construction à base de profilé renforcée par des poutres de rive ou des tôles d'âme verticales soudées sur les ailes des profilés (treillis) ou construction triangulée tubulaire.

On notera que la construction en treillis est en voie de disparition.

### **1.2.2- Sommier ou boggy**

Les sommiers sont les éléments de la charpente supportant les galets de roulement, ainsi que les mécanismes de translation du pont, deux constructions sont possibles: sommiers rigides ou boggy articulés.

La distance entre les points de contact sur le rail des deux galets d'un même sommier est appelée empattement, elle est déterminée en fonction de la portée du pont ou du portique et elle est généralement égale au 1/6 de la portée.

#### **1.2.2.1- Sommier de ponts posés:**

Ils sont constitués, soit par un caisson mécano soudé, soit par des profilés assemblés ou tubes de section rectangulaire; ils comportent des éléments usinés qui permettent le montage des sous-ensembles mécaniques et lorsque la charge est élevée, ils peuvent être multiples et sont appelés **boggy**.

#### **1.2.2.2- Sommier de ponts suspendus:**

Généralement constitué à partir de profilé (UPN par exemple), le sommier est en deux parties de manière à permettre le montage du pont sur son chemin de roulement.

Des dispositifs appropriés permettent de régler l'écartement des deux demi sommiers en fonction de la taille des fers du chemin de roulement.

Si la portée est importante (hangar d'aviation par exemple), les ponts suspendus peuvent comporter plus de deux sommiers.

La poutre de pont roulant est alors articulée au droit de chaque sommier intermédiaire de telle sorte que le système reste isostatique.

Cette solution est particulièrement intéressante, car elle permet de réduire l'inertie de la poutre principale et par conséquent son encombrement vertical et son poids.

### **1.2.3- Assemblage poutre-sommier :**

Pour des raisons de facilité de transport, les sommiers sont généralement démontables, et de ce fait, l'assemblage poutre-sommier revêt une grande importance, car il détermine la géométrie du pont.

L'assemblage s'effectue au moyen de deux plaques assemblées par boulonnage.

L'une est solidaire de l'extrémité de la poutre, l'autre est soudée sur le sommier, soit en partie supérieure (l'extrémité poutre repose sur le sommier), soit sur la face intérieure (montage par boulons à haute résistance).

## **1.3- Mécanismes permettant les mouvements**

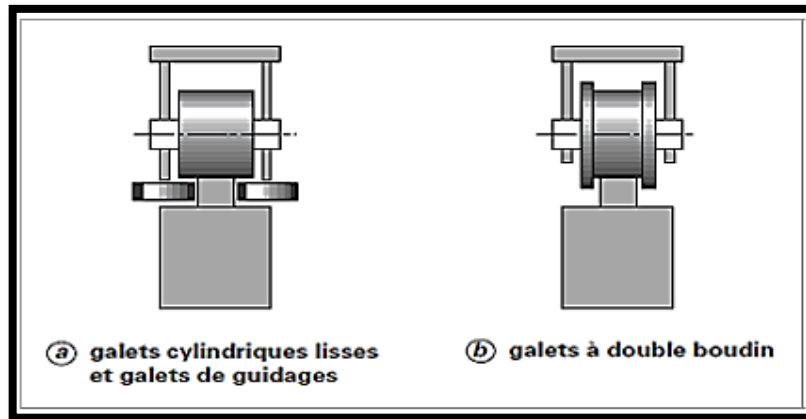
### **1.3.1- Mécanisme de translation**

Le mécanisme de translation se compose de galets porteurs montés sur le sommier qui sont des pièces de révolution cylindriques ou coniques permettant les déplacements sur les

diverses voies de roulement (**figure 1.5**).

Les galets peuvent être :

- à double boudin (**figure 1.5b**) ;
- à simple boudin (principalement utilisés sur les sommiers de ponts roulants suspendus)
- lisses qui sont toujours accompagnés de galets de guidage (**figure 1.5a**).



**Figure1. 5b – Deux types de galets**

### 1.3.2- Mécanisme de direction (chariot)

Cet ensemble de charpente sert de support à l'appareil de levage, ainsi qu'aux mécanismes de direction.

Il est généralement réalisé au moyen de profilés assemblés par mécano soudure.

Il est du type monorail ou bi-rail selon que le pont ou le portique est mono poutre ou bipoutre.

Le mouvement de direction est réalisé au moyen d'un chariot associé au palan et se déplace soit sur la voie de roulement de la poutre du pont ou du portique, soit sur l'aile inférieure de la poutre (cas mono poutre), ou sur les deux rails positionnés sur les poutres (cas bipoutre), ou encore, parfois, sur l'aile supérieure d'une poutre caisson née (torsion).

### 1.3.3- Mécanisme de levage

L'unité de levage peut être de deux types :

- soit elle est issue d'une fabrication standardisée et appelée palan (cas le plus courant: capacité de 0,5 t à 80 t) ;
- soit elle est réalisée par association d'éléments standards du marché: moteur, réducteurs, frein, et appelée treuil de levage.

Dans tous les cas, l'unité de levage définira la capacité de levage du pont roulant. Un mécanisme de levage est composé des éléments suivants

- ✓ Une moufle.
- ✓ Un câble de levage.
- ✓ Un tambour.

Il est habituellement mécano soudé et usiné.

La virole sur laquelle est enroulé le câble est filetée.

Les extrémités de la virole sont fonction du mode d'entraînement du tambour et de la disposition de ses paliers.

La figure 6 montre l'exemple d'un pont roulant de type bipoutre.

Les deux poutres du pont sont constituées de caissons raidis intérieurement par des diaphragmes. La portée des ponts roulants peut atteindre 40 m et la charge levée nominale au crochet varie entre 50 et 320 kN pour les ponts standard, peut s'élever jusqu'à 3000 kN.

A titre d'exemple également, nous résumons dans le tableau 1 les caractéristiques moyennes des ponts roulants usuels de type bipoutre pour différentes portées et charges nominales soulevées  $Q_{nom}$ .

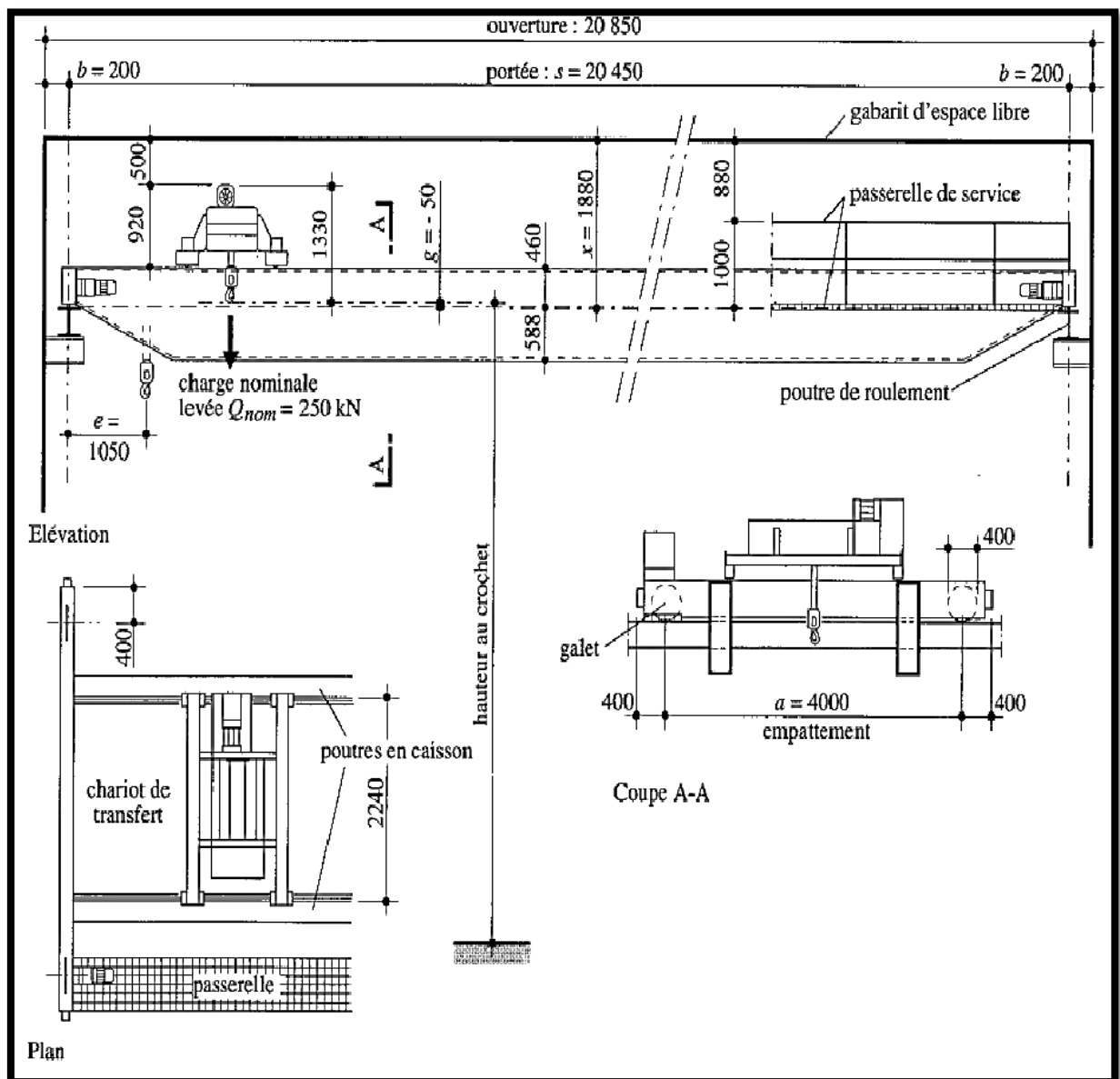


Figure1. 6- Exemple de pont roulant bipoutre

Parmi les données nécessaires au constructeur 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 indications, le constructeur fournit à l'ingénieur responsable du projet de la halle les données suivantes :

- ❖ types et dimensions du chariot.
- ❖ position extrêmes du chariot ( $e$ ) et du crochet ( $g$ ).
- ❖ empattement (écartement ( $a$ ) des galets).
- ❖ diamètre des galets.
- ❖ charges extrêmes des galets du pont roulant sur la poutre de roulement.
- ❖ Type de rail nécessaire.
- ❖ Longueur du pont hors tout.
- ❖ Effort de tamponnement sur le butoir.

Les ponts roulants peuvent être intégrés dans les halles de fabrication, de montage ou de centrales de production d'énergie.

Ils peuvent également circuler à l'air libre.

Dans ce cas, la voie de roulement et ses supports constituent une structure porteuse indépendante de la halle.

**Tableau 1.1- Caractéristiques moyennes des ponts roulants usuels de type bipoutre**

Charge nominale $Q_{nom}$	Portée $s$	Positions extrêmes		Dimensions			Course du crochet	Vitesses de levage <sup>1)</sup> $v_v$	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]	[mm]	[m/min]	[kN]	[kN]
50	10	-20	700	200/300	1320	2300	6000	5/0.8	36.70	8.45
	12	-20			1320	2300			38.75	9.95
	15	-20			1320	2800			43.90	14.50
	18	-60			1360	3300			48.25	18.50
	20	-60			1360	3300			45.45	15.55
	25	-120			1420	4000			51.90	21.65
	30	-120			1420	4800			59.60	29.10
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
	30	-115			1480	4800			77.10	31.60
100	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
	25	-115			1480	4000			81.45	25.30
	30	-115			1480	4800			89.70	33.15

## Dimensionnement des poutres de roulement des ponts roulants

Charge nominale $Q_{nom}$	Portée $s$	Positions extrêmes		Dimensions			Course du crochet	Vitesses de levage <sup>1)</sup> $v_v$	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]	[mm]	[m/min]	[kN]	[kN]
125	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
	20	80			1600	3300			88.50	19.30
	25	80			1600	4000			96.60	26.45
	30	80			1600	4800			105.80	35.10
160	10	80	900	200/300	1600	2300	6000	4/0.6	102.80	18.15
	12	80			1600	2300			108.10	20.95
	15	80			1600	2800			117.70	27.25
	18	80			1600	3300			111.60	19.85
	20	80			1600	3300			114.90	22.03
	25	80			1600	4000			124.50	29.40
	30	80			1600	4800			134.60	37.70
200	10	55	1050	200/300	1770	2300	6000	3.2/0.5	129.60	19.60
	12	55			1770	2300			131.80	21.70
	15	-55			1880	2800			132.85	19.05
	18	-55			1880	3300			136.50	21.25
	20	-55			1880	3300			140.70	24.30
	25	-55			1880	4000			151.00	32.15
	30	-55			1880	4800			163.60	42.80
250	10	-50	1050	200/300	1880	3100	6000	5/0.5	151.95	24.95
	12	-50			1880	3100			157.40	26.50
	15	-50			1880	3100			159.05	22.95
	18	-50			1880	3300			164.05	26.15
	20	-50			1880	4000			167.85	28.35
	25	-50			1880	4000			179.10	36.50
	30	-50			1880	4800			190.45	45.45

### 1.1.4- 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)
- 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 1.2** 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.

**Tableau1. 2 Exemples de classification**

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

## 1.2- Détails de construction et tolérances

### 1.2.1- Rails de roulement

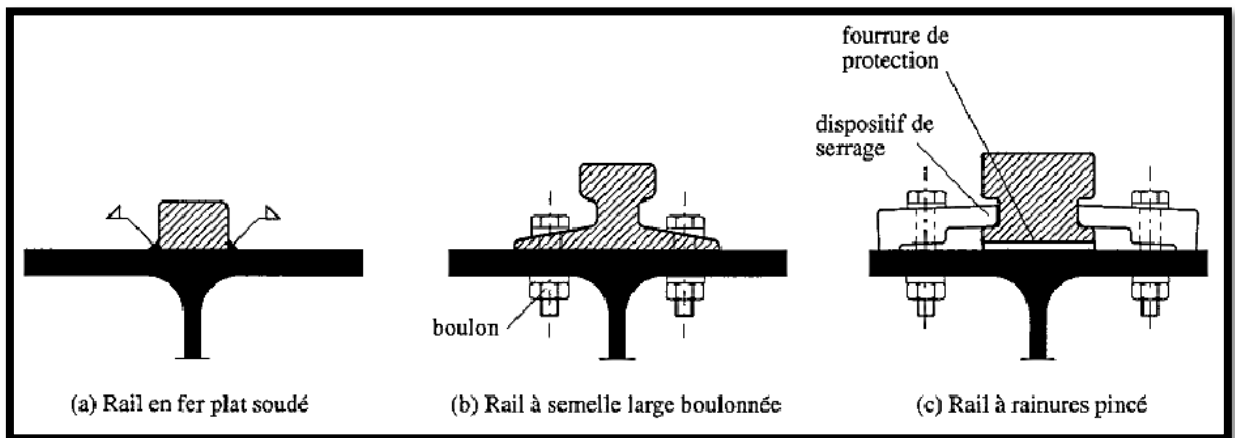
Les rails des ponts roulants équipant les poutres de roulement sont en général constituées par de simples fers plats ou alors par des profils spéciaux pour ponts roulants.

La largeur minimale du rail et le type d'acier sont définis par le fabricant du pont roulant, notamment en fonction des réactions d'appui des galets.

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 (figure 7) :

- ✓ 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 1.7** Différents types de rails et leur fixation sur la poutre de roulement

### 1.2.2- Joints de poutres

Deux types de joints de poutres de roulement doivent être considérés :

- Les joints de montage, avec éventuellement un changement de section,
- Les joints de dilatation.

#### 1.2.2.1- Les joints de montage:

Les joints de montage des poutres de roulement en profilés laminés avec rails soudés en atelier sont réalisés par soudage bout à bout des ailes et de l'âme des profilés (**figure 1.8**).

Le rail, coupé à 45°, est interrompu en retrait de part et d'autre du joint de montage.

Le tronçon de rail manquant est soudé après réalisation du joint de la poutre.

Dans les joints avec changement de section de la poutre, la transition doit être effectuée de façon progressive par réduction de la section la plus grande, comme le montre l'exemple de la (**figure 1.8**)

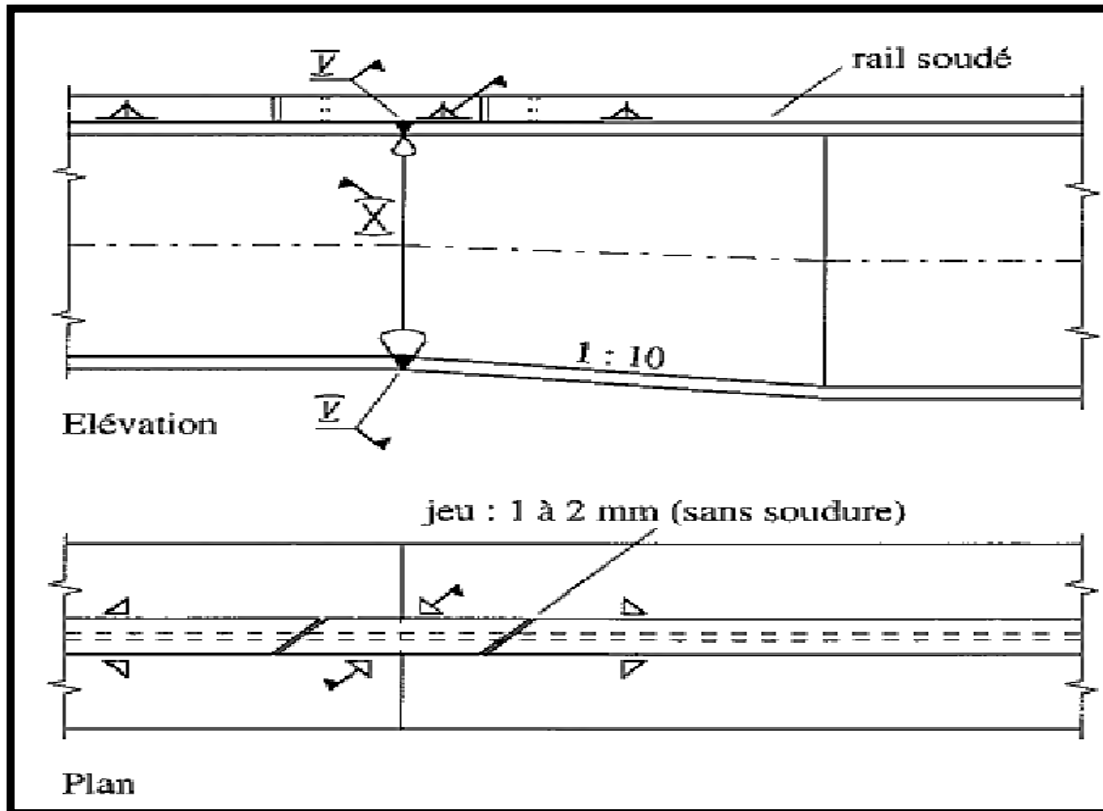


Figure 1.8 Joint d'une poutre de roulement à rail soudé avec changement de section.

### 1.2.2.2- Les joints de dilatation:

Les joints de dilatation ont leur utilité dans des ponts roulants équipant des halles de grande longueur.

Le joint de la poutre de roulement est normalement situé au droit d'un appui, le joint du rail étant alors décalé par rapport au joint de la poutre.

La **figure 1.9** montre un exemple de réalisation de joint de dilatation, l'un avec rail soudé et l'autre avec rail boulonné.

Le passage des galets au droit des joints de dilatation provoque une usure rapide des rails (chocs).

La solution du rail boulonné permet de changer facilement les deux parties de rail situées de part et d'autre du joint de dilatation.

Il faut encore remarquer que les âmes de ces rails sont renforcées au droit du joint de dilatation.

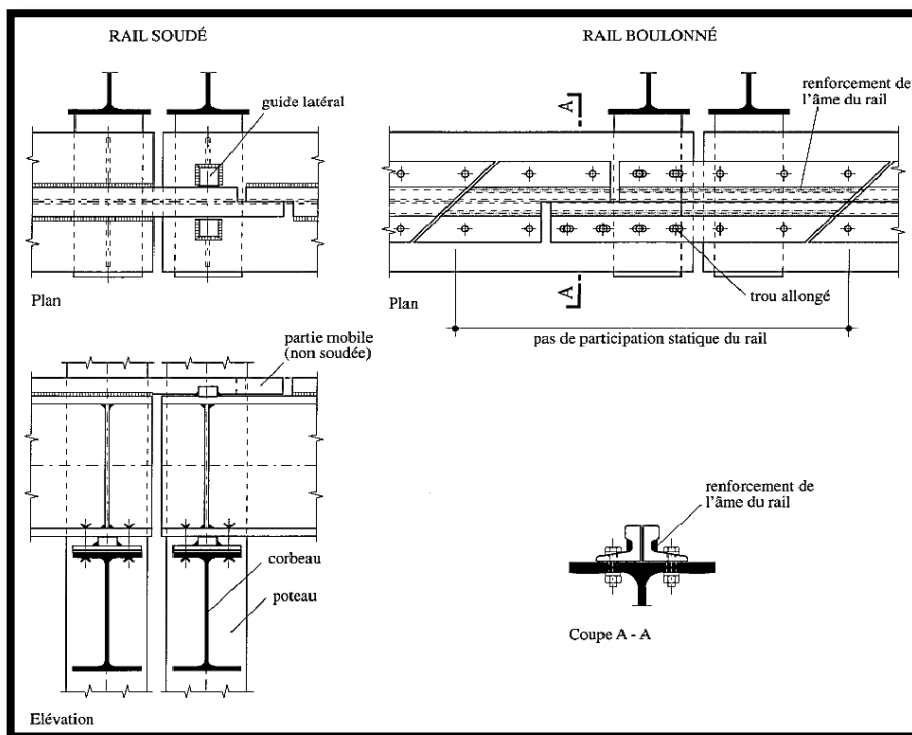



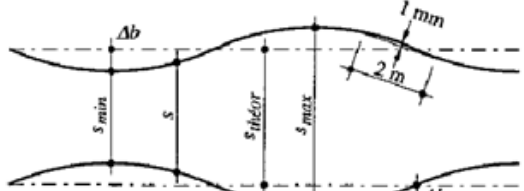

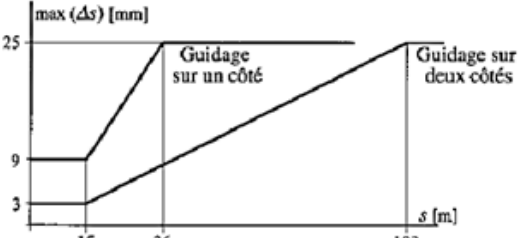
Figure1. 9 Exemples de réalisation d'un joint de dilatation

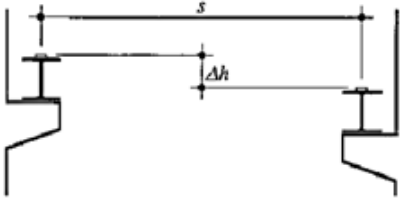
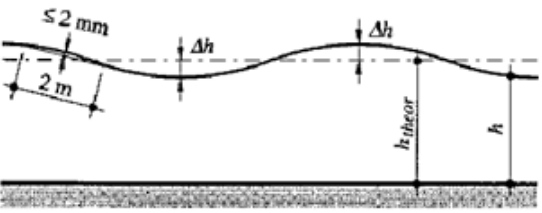
### 1.2.3- Tolérances

Pour assurer le bon fonctionnement du pont roulant, il est indispensable que des tolérances de construction (écarts acceptables) soient fixées.

Le **tableau 3**, donne les principales prescriptions de tolérance relatives à l'excentricité, pour la construction des voies de roulement de ponts roulants courants.

Tableau 1.3- Prescriptions de tolérances relatives aux voies de roulement de ponts roulants

<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_{theor} - s_{min} \leq \max(\Delta s)</math> <math>\Delta s = s_{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>	

### 1.3- Cheminement des forces

L'étude des actions dues à un pont roulant sur la voie de roulement nécessite la décomposition du cheminement des forces à partir de leur point d'application jusqu'aux appuis de la poutre et aux fondations de la structure porteuse.

A cet effet, le système statique doit être déterminé successivement pour les trois directions d'application des charges, à savoir:

- Verticalement.
- Transversalement.
- Longitudinalement.

Nous considérons ici dans cette section uniquement le cas d'un pont roulant circulant sur une voie de roulement intérieure à une halle et composée de deux poutres de roulement appuyées au droit des montants de cadre (sur des corbeaux ou des poteaux indépendants, avec d'éventuels poteaux intermédiaires en cas d'espacement des cadres trop important).

Les autres cas peuvent être traités par analogie.

Une poutre de roulement étant une structure porteuse sollicitée dynamiquement et de façons répétées, la méthode de calcul élastique-élastique est généralement appliquées (calcul élastique des efforts intérieurs et calcul élastique de la résistance des sections). Les déformations sont bien sûr aussi calculées élastiquement.

#### 1.3.1- Charges verticales

Le système statique d'une poutre de roulement est normalement la poutre continue ou la poutre isostatique.

Etant donné que le pont roulant présente une charge mobile pouvant en principe occuper n'importe quelle position sur la poutre de roulement, les efforts intérieurs sollicitant une section sont obtenus par l'intermédiaire des méthodes RDM.

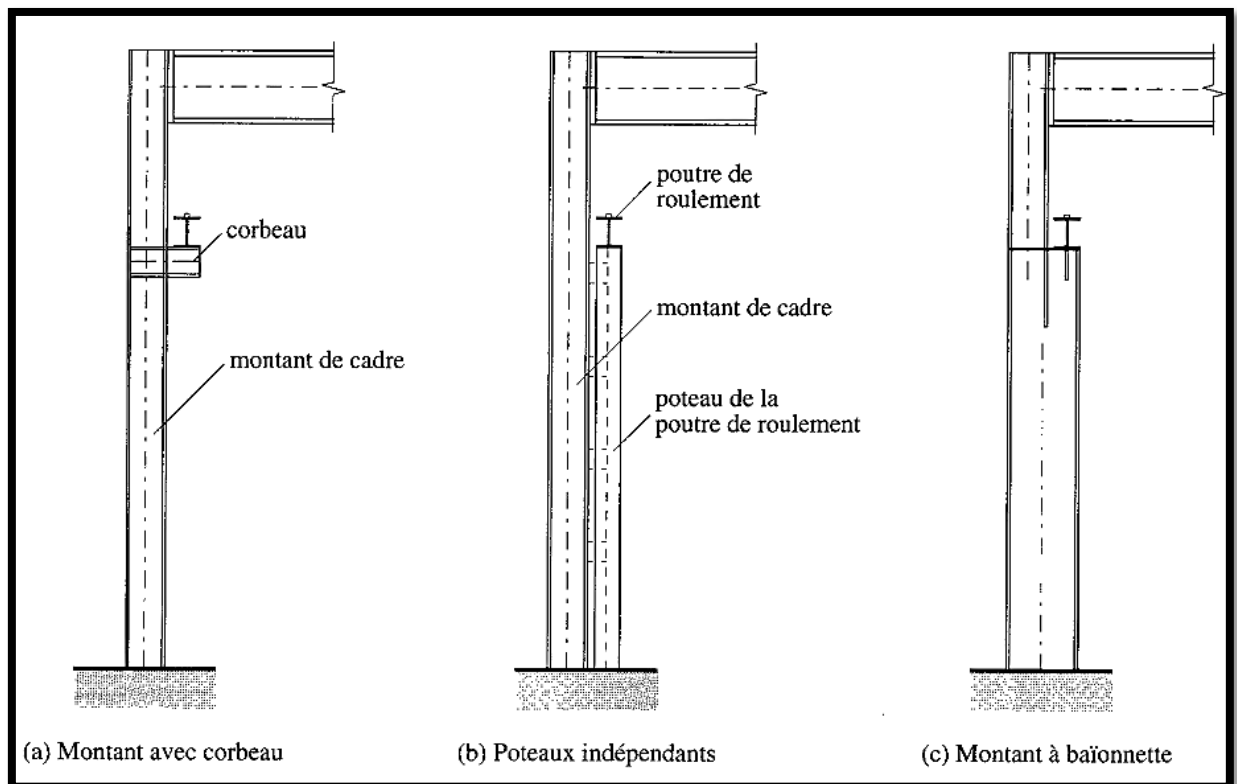
Dans les cas courants, les poutres de roulement sont appuyées verticalement et horizontalement au droit de chaque poteau. Le cheminement des forces transmises par cette poutre peut ensuite se faire soit par l'intermédiaire de l'ossature de la halle, soit par l'intermédiaire d'une structure porteuse indépendante.

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 10.

- 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 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 1.10 Poteaux et montants supportant une poutre de roulement**

La **figure 1.11**, montre un exemple d'appui des poutres de roulement sur corbeau, couramment utilisé pour les ponts de petite et moyenne capacité.

Cet élément porteur en porte-à-faux doit être vérifié dans sa section la plus sollicitée, c'est -à-dire au droit de l'encastrement dans le montant.

Les efforts intérieurs à considérer sont:

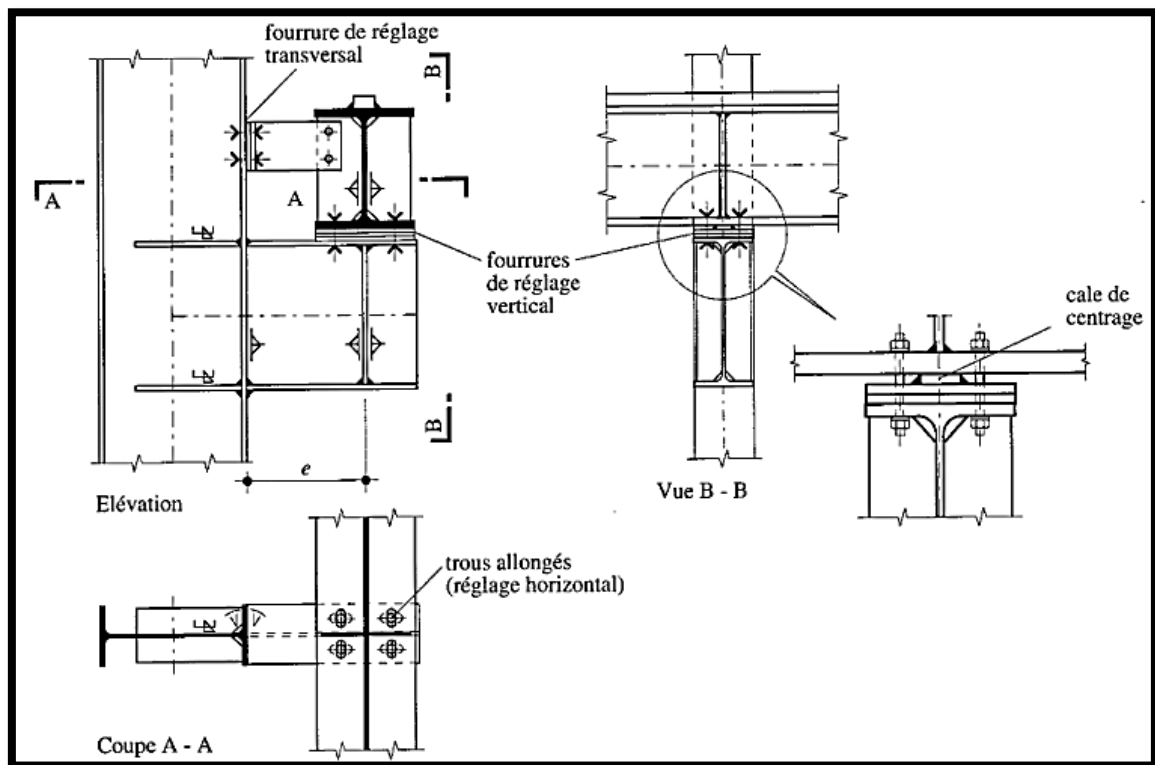
- un effort tranchant  $V$ .
- un moment fléchissant  $M=V.e$

Où  $e$  est l'excentrement de la poutre de roulement par rapport au nu du montant.

Si la condition d'introduction locale des forces l'exige, les âmes du corbeau, de la poutre de roulement et du montant doivent être munies de raidisseurs.

Lors du montage de la voie de roulement, il est indispensable de prévoir des possibilités de réglage de la position des poutres sur appuis, de façon que les prescriptions de tolérance (écarts acceptables) soient respectées et que le bon fonctionnement du pont roulant soit assuré.

Les moyens utilisés consistent souvent en fourrures pour le calage vertical et le réglage transversal, et en trous allongés pour le réglage longitudinal.



**Figure 1.11 Exemple de support vertical d'une poutre de roulement**

### 1.3.2. Forces horizontales

Les forces transversales à la voie de roulement sont dues:

- au freinage du chariot.
- au levage oblique de la charge.
- aux irrégularités de la voie de roulement.
- à la marche en crabe du pont roulant.

Elles sont transmises à la poutre par les galets du pont roulant au travers du rail de roulement.

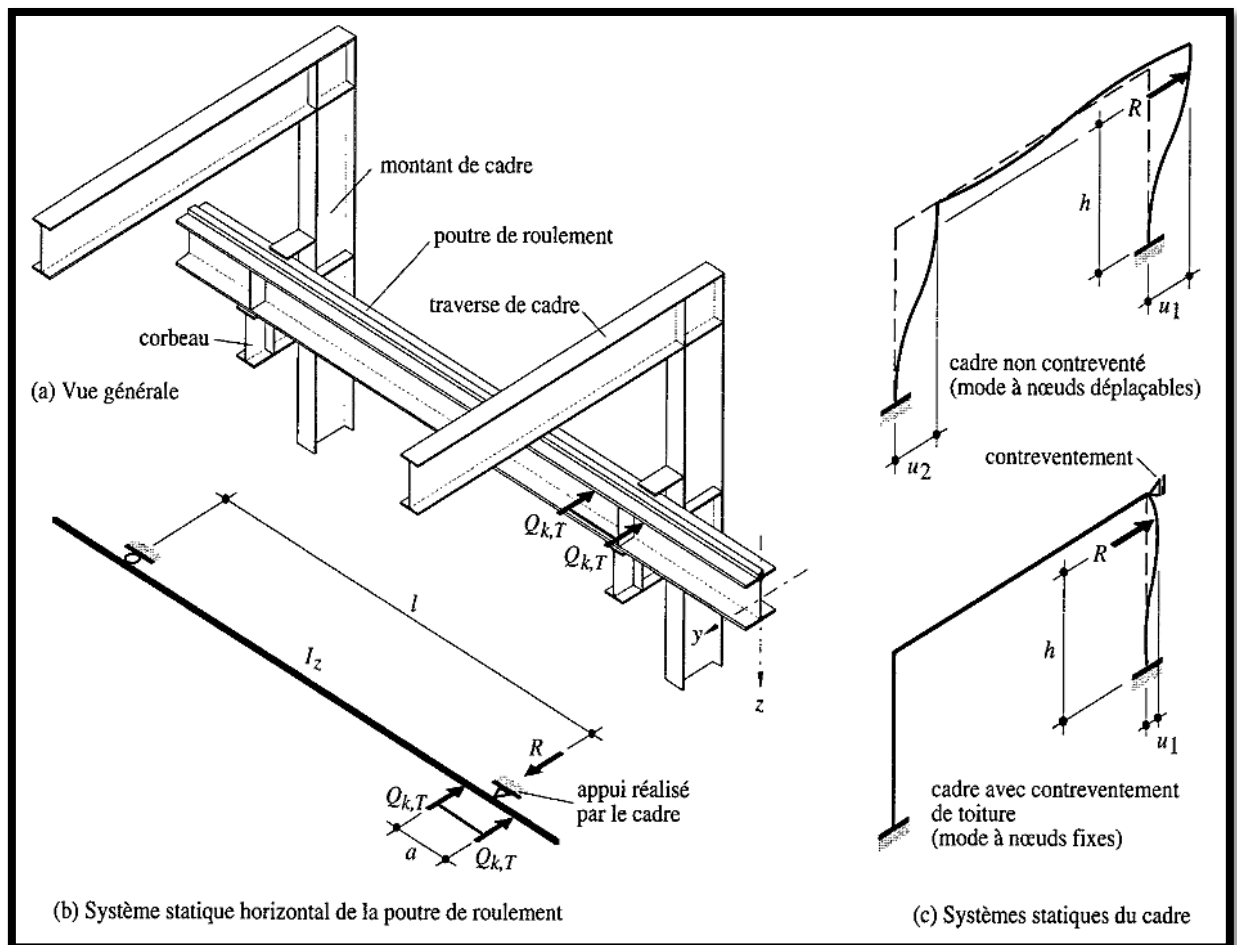
Un tronçon de poutre de roulement et une partie des deux cadres de la halle sont représentés schématiquement à la **figure 1.12(a)**, ainsi que le système statique horizontal de la poutre de roulement **figure 1.12(b)**.

Sur la base de ce système, les réactions transversales sont déterminées de façon analogue aux réactions verticales.

La réaction d'appui transversale agit sur la structure porteuse de la halle, dans laquelle elle engendre des efforts intérieurs et des déformations.

Les efforts intérieurs doivent être combinés avec ceux dus aux autres actions agissant sur la halle, suivant les cas de charge considérés.

Comme pour tout autre force transversale appliquée sur un cadre, le cheminement des forces jusqu'aux fondations peut se faire directement par le cadre, ou par l'intermédiaire d'un contreventement transversal.



**Figure 1.12 Cheminement des forces transversales du pont roulant**

Le système d'appui pour les forces transversales mérite d'être soigneusement étudié.

En effet, étant donné la force transversale agit au niveau du rail, la poutre de roulement doit être appuyée au niveau de l'aile supérieure. **La figure 1.13,**

Nous montre quelques possibilités de réaliser l'attache de l'aile supérieure de la poutre de roulement au poteau.

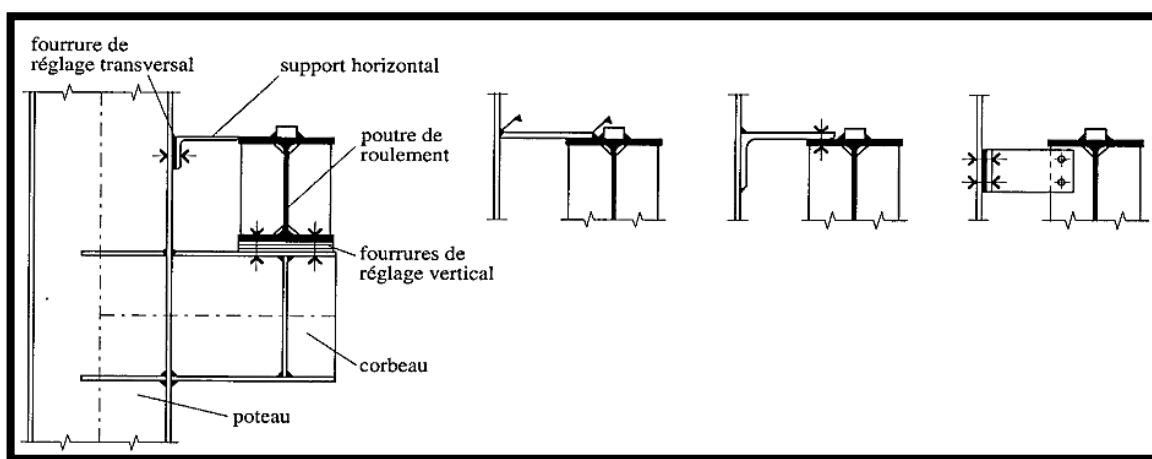


Figure1. 13 Exemples de supports horizontaux de la poutre de roulement

### 1.3.3. Forces longitudinales

La force horizontale longitudinale est due à :

- l'accélération du pont roulant.
- le freinage du pont roulant.
- tamponnement sur le butoir.

Cette force est transmise directement par la poutre de roulement au point fixe longitudinal. Celui-ci est en général réalisé par un contreventement longitudinal vertical.

On peut envisager deux cas **figure1.14**:

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 1.14(a)**.

Le contreventement est excentré par rapport à la poutre de roulement, c'est en général le cas si l'on utilise le contreventement longitudinal de la halle **figure 1.14(b)**.

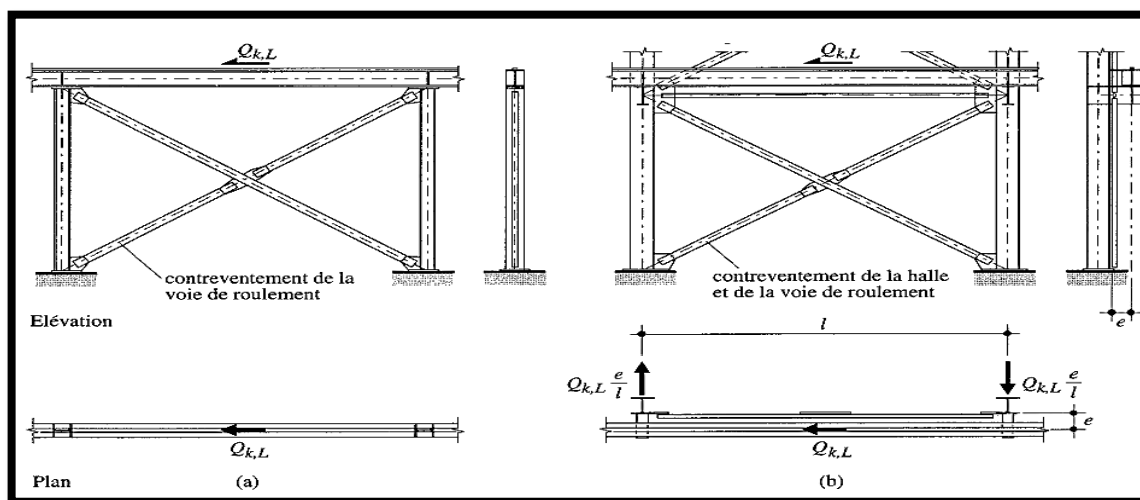


Figure1.14 Cheminement des forces horizontales

Dans un premier cas, l'effort normal agissant dans la poutre de roulement est transmis directement dans le contreventement.

Dans le deuxième cas, l'excentricité de la force horizontale longitudinale, engendre un moment qui doit équilibrer par un couple de force agissant dans les deux poteaux adjacents au contreventement **figure 1.14 (b)**.

Ces derniers peuvent également être sollicités en torsion s'il n'y a pas de contreventement horizontal.

Il faut également vérifier que les corbeaux soient à même de transmettre la force horizontale longitudinale

Si ce n'est pas le cas, il faut prévoir un contreventement horizontal de freinage.

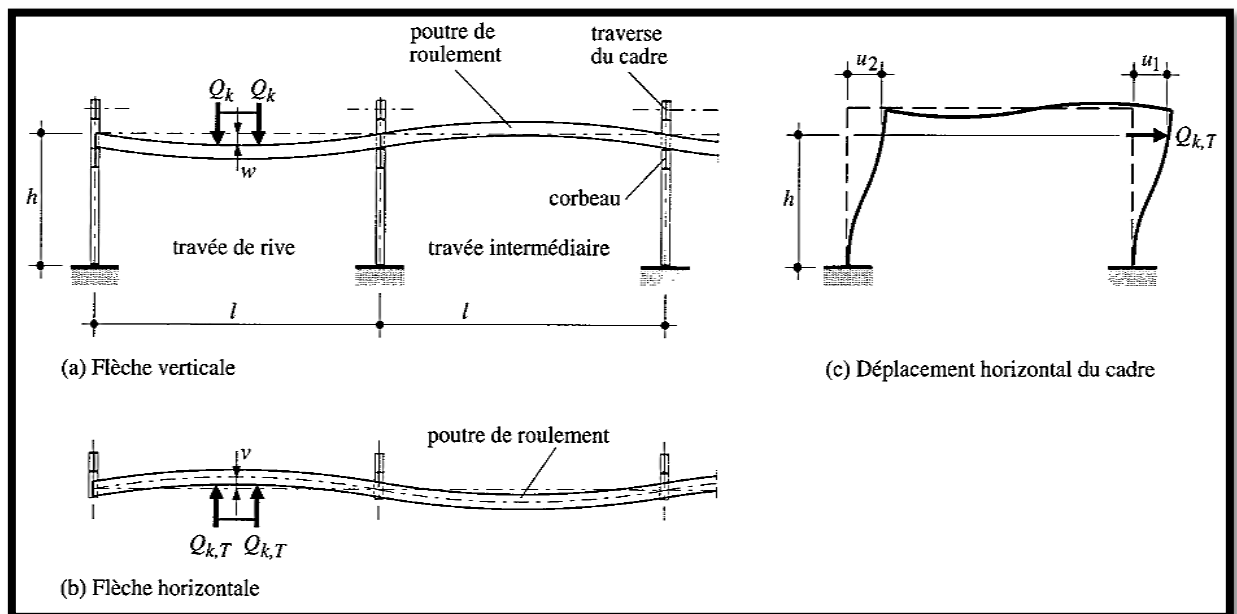
### 1.4. Aptitude au service de la voie de roulement (ELS)

#### 1.4.1- Généralités

Le choix des dimensions d'une poutre de roulement est souvent déterminé par les conditions de déformation de la voie de roulement et non pas par la résistance ultime des éléments porteurs.

IL faudra donc s'assurer, dès le début des vérifications, que les valeurs limites des flèches et déplacements ne sont pas dépassées.

- ❖ La flèche verticale  $w$  de la poutre de roulement.
- ❖ La flèche horizontale  $v$  de la poutre de roulement.
- ❖ La flèche horizontale  $u$  des supports de la voie.



**Figure 1.15 Cheminement des forces horizontales**

#### 1.4.2 Calcul des déplacements de la poutre de roulement

Les déplacements déterminants sont les flèches maximales dans la direction considérée, verticale ou horizontale.

Ces flèches s'obtiennent, sous l'effet des actions pour l'état limite de service considéré, par un calcul élastique.

Les valeurs caractéristiques des actions à considérer sont :

- Les forces verticales des galets, pour la flèche verticale.
- Les forces horizontales pour la flèche horizontale.

Les flèches dues aux charges verticales sont calculées sans coefficient dynamique.

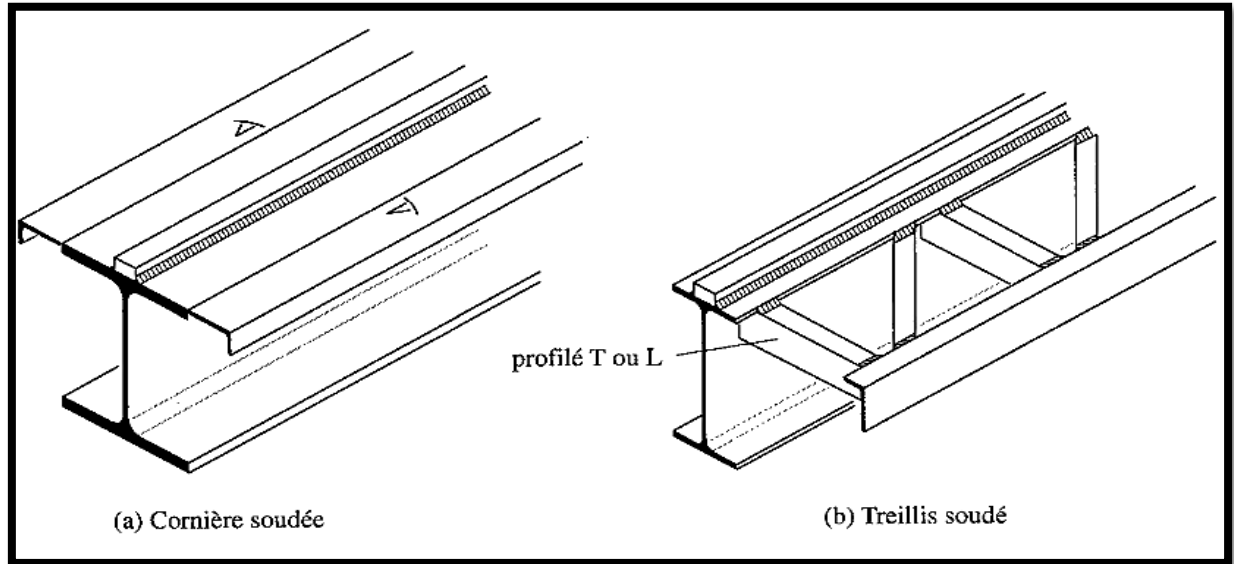
Nous avons vu au paragraphe précédent qu'il est possible, dans certains cas, de tenir compte de la participation du rail lors de la détermination du moment d'inertie en flexion verticale (selon l'axe fort) de la poutre de roulement.

Pour le calcul du **déplacement horizontal** en revanche, on doit en générale considérer uniquement le **moment d'inertie en flexion horizontale de l'aile supérieure** de la poutre, étant donné que la force est appliquée au niveau de l'aile supérieure.

Cette aile constitue souvent l'élément faible de la poutre.

On a donc avantage à la renforcer, ce qui peut être réalisé par exemple en soudant longitudinalement des cornières au bout des ailes ou en créant une poutre à treillis dans le plan horizontal figure 16.

Ces assemblages soudés peuvent cependant constituer des détails défavorables du point de vue de la sécurité à la fatigue.



**Fig1. 16**Exemples de renforcement de l'aile supérieure d'une poutre de roulement.

#### 1.4.3- Valeurs indicatives des flèches et vérification

Les normes ou recommandations donnent des valeurs indicatives des flèches (verticale et horizontale) de la poutre et de déplacement horizontal de la structure porteuse de la halle.

La limitation de la flèche verticale des poutres de roulement garantit une certaine rigidité de la voie, et par là un bon fonctionnement mécanique du pont roulant, évitant ainsi des phénomènes de vibration.

Les limitations de la flèche horizontale et du déplacement horizontal des appuis de la poutre sont destinées à réduire la probabilité de déraillement du pont roulant.

Les structures supports d'appareils de levage doivent être dimensionnées afin que les flèches restent dans les limites convenues entre le client, le concepteur, le fournisseur de pont roulant et l'autorité compétente.

Sauf spécification contraire, il convient que les actions de pont roulant incluent des coefficients d'amplification dynamique appropriés.

En l'absence d'autres informations, pour les chemins de roulement, on peut adopter les valeurs limites recommandées données dans le **Tableau 1.4** pour les flèches verticales et dans le **Tableau 1.5** pour les flèches horizontales.

Des valeurs plus faibles peuvent leur être substituées si nécessaire pour des raisons de fonctionnement suivant accord entre le client, le concepteur et le fournisseur de ponts roulants.

Dans le cas d'une poutre de roulement destinée à un ensemble treuil-chariot de monorail, on peut adopter la valeur limite recommandée donnée dans le **Tableau 1.7** pour la déformation verticale par rapport à ses appuis.

**Tableau1. 4 - Valeurs limites des flèches verticales**

Description de la flèche (déformation ou déplacement)	Diagramme
<p>a) Déformation verticale <math>\delta_z</math> d'une poutre de roulement :</p> <p align="center"><math>\delta_z \leq L/600</math> et <math>\delta_z \leq 25</math> mm</p> <p>Il convient de prendre la déformation verticale <math>\delta_z</math> égale à la déformation totale provoquée par les charges verticales, diminuée de la contreflèche préalable, comme pour <math>\delta_{max}</math> dans la Figure 4.1 de l'ENV 1993-1-1.</p>	
<p>b) Différence <math>\Delta h_c</math> entre les déformations verticales de deux poutres formant un chemin de roulement :</p> <p align="center"><math>\Delta h_c \leq s/600</math></p>	
<p>c) Déformation verticale <math>\delta_{pay}</math> d'une poutre de roulement destinée à un ensemble treuil-chariot de monorail, par rapport à ses appuis, provoquée par la charge utile uniquement, sans aucun coefficient d'amplification dynamique :</p> <p align="center"><math>\delta_{pay} \leq L/500</math></p>	

**Tableau1.5 - Valeurs limites des flèches horizontales**

Description de la flèche (déformation ou déplacement)	Diagramme
<p>d) Déformation horizontale <math>\delta_y</math> d'une poutre de roulement, mesurée au niveau de la partie supérieure du rail de pont roulant :</p> <p align="center"><math>\delta_y \leq L/600</math></p>	
<p>e) Déplacement horizontal <math>\delta_y</math> d'une ossature (ou d'un poteau) au niveau de l'appui du pont roulant :</p> <p align="center"><math>\delta_y \leq h_c/400</math></p> <p>où <math>h_c</math> représente la hauteur du niveau de l'appui du pont roulant (sur un rail ou sur une semelle).</p>	
<p>f) Différence <math>\Delta \delta_y</math> entre les déplacements horizontaux d'ossatures (ou de poteaux) adjacentes supportant les poutres d'un chemin de roulement de pont roulant situé à l'intérieur :</p> <p align="center"><math>\Delta \delta_y \leq L/600</math></p>	
<p>g) Différence <math>\Delta \delta_y</math> entre les déplacements horizontaux de poteaux (ou d'ossatures) adjacents supportant les poutres d'un chemin de roulement de pont roulant situé à l'extérieur :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- provoquée par la combinaison d'efforts latéraux de pont roulant et de l'action du vent de service :</li> <p align="center"><math>\Delta \delta_y \leq L/600</math></p> <li>- provoquée par la charge du vent hors service :</li> <p align="center"><math>\Delta \delta_y \leq L/400</math></p> </ul>	

## 1.5- Sécurité structurale de la poutre de roulement

### 1.5.1- Généralités

Toutes les parties des structures supports d'appareils de levage doivent être dimensionnées de telle sorte que les exigences fondamentales de calcul pour les états limites ultimes données dans Les règles CCM97 soient satisfaites.

- Le **coefficient partiel** pour la résistance  $\gamma_M$  des **ossatures** et des **éléments** doit être pris égal aux valeurs suivantes:
  - résistance d'une section transversale à la plastification excessive  $\gamma_{M0} = 1,10$
  - résistance d'une section transversale au voilement local  $\gamma_{M1} = 1,10$
  - résistance d'un élément au flambement global  $\gamma_{M1} = 1,10$
  - résistance d'une section nette à la rupture en traction (au droit des trous de boulons etc.):  $\gamma_{M2} = 1,25$

Tous les assemblages doivent posséder une résistance de calcul telle que la structure soit capable de satisfaire les exigences fondamentales de calcul données dans Les règles CCM97.

- Le **coefficient partiel**  $\gamma_M$  pour la résistance des **assemblages** doit être pris égal aux valeurs suivantes:
  - résistance des assemblages boulonnés  $\gamma_{Mb} = 1,25$
  - résistance des assemblages rivés  $\gamma_{Mr} = 1,25$
  - résistance des assemblages articulés  $\gamma_{Mp} = 1,25$
  - résistance des assemblages soudés  $\gamma_{Mw} = 1,25$
  - résistance au glissement des assemblages précontraints  $\gamma_{Mw}$

### 1.5.2- Vérifications

Dans le calcul, les points suivants doivent être vérifiés:

- résistance des éléments.
- effets locaux.
- résistance des assemblages
- stabilité dynamique sous charges de vent

#### 1.5.2.1- Résistance des sections transversales

Pour la vérification de la résistance des sections transversales, il convient de se reporter aux règles CCM97.

Lorsque les charges des galets sont introduites avec des excentrement par rapport au centre de torsion, il convient de vérifier également la résistance à la torsion de la section transversale.

#### 1.5.2.2- Résistance des éléments

Pour la vérification de la stabilité des éléments, il convient de se reporter aux règles CCM97.

### 1.5.3- Effets locaux

Il convient de vérifier les âmes des poutres de roulement au moyen des règles CCM97 en ce qui concerne les effets suivants des charges verticales des galets:

- contraintes locales de compression entraînant un écrasement
- enfoncement local
- voilement de l'âme **figure 1.17**

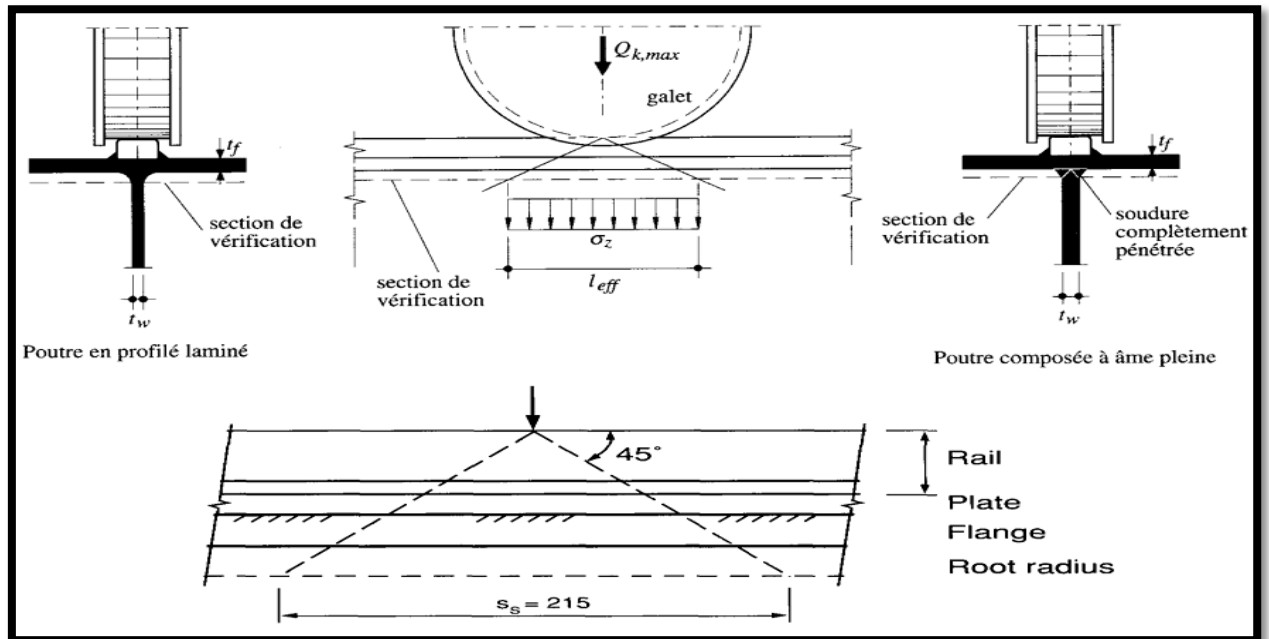


Figure 1.17. Introduction des charges de galet pour ponts roulants usuels

#### 1.5.4- Vérification selon RCCM97

##### 1.5.4.1- Vérification de la résistance des sections transversales de classe 1, 2 ou 3.

###### 1.5.4.1.1- Flexion

La valeur de calcul du moment  $M_{Ed}$  dans chaque section transversale doit satisfaire la condition suivante (RCCM97):

- Pour les sections transversales de classe 1 ou 2:

$$M_{Ed} \leq M_{el,Rd} = \frac{M_{el} \cdot f_y}{Y_{M0}}$$

- pour les sections transversales de classe 3:

$$M_{Ed} \leq M_{el,Rd} = \frac{M_{el} \cdot f_y}{Y_{M0}}$$

Où  $W_{pl}$  et  $W_{el}$  sont les modules de flexion plastique et élastique de la section.

###### 1.5.4.1.2- Sollicitations combinées

Les éléments d'un portique sont généralement sollicités par une combinaison de l'effort normal et de moment de flexion.

Comme approximation plaçant en sécurité pour toutes les classes de section transversale, nous pouvons utiliser une sommation linéaire des rapports sollicitation/résistance propre à chaque sollicitation agissante.

Ainsi, pour les sections de classe 1, 2 ou 3 soumises à une combinaison de  $N_{Ed}$ ,  $M_{y,Ed}$  et  $M_{z,Ed}$  (y et z sont les axes principaux de la section) on peut utiliser le critère suivant :

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1.0$$

Où  $N_{Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$  et  $M_{z,Rd}$  sont les valeurs de la résistance dépendant de la classe de section transversale et comprenant toute réduction éventuelle pouvant résulter des effets de cisaillement.

#### 1.5.4.1.3- Effet de cisaillement

La valeur de calcul  $V_{Ed}$  de l'effort tranchant dans chaque section transversale doit satisfaire la condition:

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd} = \frac{A_v(f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd} = \frac{A_v(f_y/3^{0.5})}{\gamma_{M0}}$$

$A$  : est l'aire de cisaillement.

Pour une Section laminée en I et H et pour une charge de direction parallèle à l'âme, l'aire de cisaillement est :

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$$

Où :

- $b$  est la largeur de la section.
- $r$  est le rayon de congé.
- $t_f$  est l'épaisseur de semelles.
- $t_w$  est l'épaisseur d'âme.

Lorsque l'effort tranchant est inférieur à la moitié de la résistance plastique au cisaillement, son effet sur le moment résistant peut être négligé.

Dans le cas contraire, il convient de considérer un moment résistant réduit

### 1.5.5- Vérification de la résistance des éléments

#### 1.5.5.1- Résistance au flambement – Élément comprimé et fléchi

Le flambement est le mode de ruine prépondérant et le plus dangereux des composants comprimés.

Il se traduit par une déformation de flexion brutale du composant à partir d'un niveau donné de l'effort de compression.

Une barre comprimée doit donc être vérifiée vis-à-vis du flambement de la façon suivante:

$$N_{Ed}/N_{b,Rd} \leq 0,1$$

Où  $N_{b,Rd}$  est la valeur de calcul de la résistance de la barre comprimée au flambement.

Pour des sections transversales de classe 1, 2 ou 3 on a :

$$\text{Où : } N_{b,Rd} = \frac{\chi^A F_Y}{\gamma_{M1}}$$

$\gamma_{M1}$  est le coefficient partiel de sécurité de résistance,

$\chi$  est le coefficient de réduction pour le mode de flambement.

Il est donné par la formule :

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 + \lambda^2}}$$

$\chi \leq 1$

$$\phi = 0.5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2)\bar{\lambda}^2 \right]$$

- $\alpha$  est un facteur d'imperfection
- $\lambda$  est l'élancement réduit donné par :

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

$$\lambda_1 = \pi \left( \frac{E}{f_y} \right)^{0.5}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i}$$

$L_{cr}$  est la longueur de flambement dans le plan considéré;

$i$  est le rayon de giration par rapport à l'axe approprié, déterminé en utilisant les propriétés de section transversale brute.

Pour une section d'un profilé ayant deux plans de flambement possibles,  $\chi$  doit être déterminé pour chacun des deux plans et la valeur la plus faible doit être retenue pour le dimensionnement de l'élément.

Lorsqu'un élément est comprimé ( $N_{Ed} > 0$ ) et fléchi ( $M_{iEd} > 0$ ,  $i = y$  ou  $z$ ), il peut périr par excès de flexion dans un mode d'instabilité additionnant les effets de la flexion due à l'instabilité à ceux des moments de flexion proprement dits et il y a lieu de vérifier la condition suivante :

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{min} A f_y / \gamma_{M1}} + k_y \frac{M_{y,Ed}}{\beta_y W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1}} + k_z \frac{M_{z,Ed}}{\beta_z W_{pl,z} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

#### 1.5.5.2- Résistance au déversement – Élément comprimé et fléchi

Le déversement est un phénomène d'instabilité géométrique des poutres fléchies qui survient lorsque la partie comprimée de la section droite se dérobe latéralement, entraînant la section dans un mouvement de translation horizontale orthogonale à l'âme et de rotation autour du centre de cisaillement.

Lorsqu'un élément est comprimé et fléchi, il peut périr par flambement par flexion et torsion et il y a lieu de vérifier la condition suivante:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{A F_y}{\gamma_{M1}}} + k_{LT} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{\beta_y W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}}} + k_z \frac{M_{z,Ed}}{\beta_z W_{pl,z} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

#### 1.5.5.3- Résistance des âmes au voilement par cisaillement

La résistance au voilement par cisaillement doit être vérifiée pour :

- Les **âmes non raidies** ayant un rapport  $d/t_w$  supérieur à  $69^e$
- Les **âmes raidies** lorsque ce rapport est supérieur à  $30\epsilon\sqrt{K_\tau}$

#### 5.6- Résistance des âmes aux charges transversales

La résistance d'une âme non raidie aux charges transversales transmises à travers une semelle est gouvernée par l'un des modes de ruine suivants:

- **Écrasement de l'âme**, à proximité immédiate de la semelle, accompagné d'une déformation plastique de la semelle,
- **enfouissement local de l'âme** sous forme de voilement localisé et écrasement de l'âme à proximité immédiate de la semelle accompagné d'une déformation plastique de celle-ci
- **voilement de l'âme** sur la plus grande partie de sa hauteur.

### 1.5.6.1- Résistance à l'écrasement

La résistance de calcul à l'écrasement  $R_{y,Rd}$  de l'âme d'une section en I, H ou U est obtenue par la formule:

$$R_{y,Rd} = (S_s + S_y)t_w f_{yw} / Y_{M1}$$

Dans laquelle  $s_y$  est donnée par :

$$S_y = 2t_f \left( \frac{b_f}{t_w} \right)^{0.5} \left[ \frac{f_{yf}}{f_{yw}} \right] \left[ 1 - \left( Y_{M0} \frac{\sigma_{f.Ed}}{f_{yf}} \right)^2 \right]^{0.5}$$

Avec :

$\sigma_{f.Ed}$  est la contrainte longitudinale dans la semelle

$$b_f \leq 25t_f$$

Pour un profil laminé en I, H ou U, on peut aussi déterminer  $s_y$  par :

$$S_y = \frac{2.5(h-d) \left[ 1 - \left( Y_{M0} \frac{\sigma_{f.Ed}}{f_{yf}} \right)^2 \right]^{0.5}}{1 + \frac{0.8 S_s}{h-d}}$$

Pour les charges de galets de pont roulant transmises à travers un rail reposant sur une semelle sans y être soudé, la résistance de calcul de l'âme à l'écrasement  $R_{y,Rd}$  est prise égale à:

$$R_{y,Rd} = S_y t_w t_{yw} / Y_{M1}$$

Avec :

$$S_y = K_R \left[ \frac{I_R + I_f}{t_w} \right]^{\frac{1}{3}} \left[ 1 - \left( Y_{M0} \frac{\sigma_{f.Ed}}{f_{yf}} \right)^2 \right]^{0.5}$$

Ou, d'une façon plus approximative:

$$S_y = 2(h_R + t_f) \left[ 1 - \left( Y_{M0} \frac{\sigma_{f.Ed}}{f_{yf}} \right)^2 \right]^{0.5}$$

Avec  $h_R$  hauteur du rail

- ✓  $I_f$  moment d'inertie de flexion de la semelle suivant son axe principal horizontal
- ✓  $I_R$  moment d'inertie de flexion du rail suivant son axe principal horizontal

et  $k_R$  une constante dont la valeur est prise comme suit:

- lorsque le rail du pont est monté directement sur la semelle:  $k_R = 3,25$
- lorsqu'une fourrure élastique d'une épaisseur minimale de 5 mm est interposée entre le rail et la semelle de la poutre:  $k_R = 4,0$ .

### 1.5.6.2- Résistance à l'enfoncement local

La résistance de calcul  $R_{a,Rd}$  à l'enfoncement local d'une âme de section en I, H ou U est déterminée par la formule :

$$R_{a,Rd} = 0.5 t_w^2 (E \cdot f_{yw})^{0.5} \left[ \left( \frac{t_f}{t_w} \right)^{0.5} + 3 \left( \frac{t_w}{t_f} \right) \left( \frac{s_s}{d} \right) \right] / \gamma_{M1}$$

Où  $s_s$  est la longueur de l'appui rigide déterminée en 5.7.2(3), mais  $s_s/d$  ne doit pas être pris supérieur à 0,2.

Lorsque l'élément est également soumis à des moments fléchissant, il convient de satisfaire au critère suivant :

$$\begin{aligned} F_{sd} &\leq R_{a,Rd} \\ M_{sd} &\leq M_{c,Rd} \end{aligned}$$

Et

$$\frac{F_{sd}}{R_{a,Rd}} + \frac{M_{sd}}{M_{c,Rd}} \leq 1.50$$

Contraintes locales de cisaillement au niveau de la liaison âme semelle supérieure.

Il convient de vérifier la résistance d'une poutre de roulement de pont roulant suspendu ou d'un ensemble treuil-chariot de monorail en ce qui concerne les effets des charges des galets sur la semelle inférieure et la partie inférieure de l'âme.

### 1.5.6.3- Résistance des assemblages

Pour la vérification de la résistance des assemblages, il convient de se reporter aux chapitres spécifiques.

## 1.6- Considérations particulières

### 1.6.1- Soudures âme-semelle

Il convient que les soudures liant l'âme et la semelle supérieure d'une poutre de roulement supportant un pont roulant posé soient calculées pour résister aux effets locaux des actions verticales et horizontales transversales de pont roulant transmises à l'âme, ainsi qu'à leurs effets globaux.

Il convient que les soudures liant l'âme et la semelle inférieure d'une poutre de roulement supportant un ensemble treuil-chariot de monorail ou un pont roulant suspendu soient calculées pour résister aux effets locaux des charges des galets transmises à l'âme, ainsi qu'aux effets globaux des actions verticales et horizontales de pont roulant.

### 1.6.2- Joints et raccords de rails

Il convient d'opérer une distinction entre :

- Les raccords de rails destinés à raccorder des longueurs élémentaires de rails.
- Les joints de dilatation destinés à absorber les mouvements longitudinaux.
- Selon le type de rail et l'utilisation exigée, les raccords de rails peuvent être réalisés par soudures bout-à-bout à pleine pénétration, assemblages boulonnés par éclisses ou joints simples sans continuité directe entre rails.

Il convient que les raccords et les joints de dilatation de rails soient normalement situés à faible distance des joints des poutres de roulement.

Afin de limiter les impacts au niveau des raccords et joints de dilatation de rails, il convient que les rails soient alignés tant horizontalement que verticalement de façon à réduire autant que possible les ressauts.

Au niveau des raccords et des joints de dilatation de rails, il convient de prévoir le bon fonctionnement des dispositifs de guidage (comme les galets à boudins ou les galets de guidage), particulièrement si les raccords de rails ne sont pas soudés bout-à-bout.

Les joints de rail simples peuvent être des joints droits ou des joints biais

Il convient que le choix des joints de rails soit basé sur les considérations suivantes:

- ✓ les raccords de rails destinés à raccorder des longueurs élémentaires de rails.
- ✓ les joints de dilatation destinés à absorber les mouvements longitudinaux.
- ✓ Selon le type de rail et l'utilisation exigée, les raccords de rails peuvent être réalisés par soudures bout-à-bout à pleine pénétration, assemblages boulonnés par éclisses ou joints simples sans continuité directe entre rails.

Il convient que les raccords et les joints de dilatation de rails soient normalement situés à faible distance des joints des poutres de roulement.

Afin de limiter les impacts au niveau des raccords et joints de dilatation de rails, il convient que les rails soient alignés tant horizontalement que verticalement de façon à réduire autant que possible les ressauts.

Au niveau des raccords et des joints de dilatation de rails, il convient de prévoir le bon fonctionnement des dispositifs de guidage (comme les galets à boudins ou les galets de guidage), particulièrement si les raccords de rails ne sont pas soudés bout-à-bout.

Les joints de rail simples peuvent être des joints droits ou des joints biais

Il convient que le choix des joints de rails soit basé sur les considérations suivantes:

- ❖ avec des joints droits, un certain niveau de choc est inévitable.
- ❖ les joints biais permettent une transition continue, avec moins de choc qu'avec les joints droits.
- ❖ le jeu séparant les rails dans un joint droit évolue en fonction des variations de température, entraînant une augmentation du choc.
- ❖ les pressions de contact plus élevées au droit du joint provoquent une augmentation locale de l'usure pour les deux types de joint.
- ❖ les pressions de contact sont plus faibles au droit des joints biais, provoquant une usure moindre qu'au niveau des joints droits.
- ❖ les joints droits sont plus faciles à usiner, à poser et à remplacer.

### **1.6.3- Dispositifs de fixation des rails**

#### **1.6.3.1- Modélisation**

Quel que soit le type de dispositif de fixation de rail utilisé, les fixations de rails doivent être déterminées pour transmettre les efforts de cisaillement longitudinaux et transversaux entre le rail et la poutre.

En fonction de leurs détails, les fixations de rails de ponts roulants peuvent être modélisées pour l'analyse de structure de l'une des façons suivantes.

- ❖ Rigides.
- ❖ Crapaudes.
- ❖ Indépendantes.

Il convient que chaque fixation mécanique de rail soit normalement déterminée pour résister à l'effort horizontal transversal maximal provoqué par un seul galet de roulement. Si l'écartement des galets est inférieur à l'espacement des fixations de rail, il convient d'augmenter leur résistance en conséquence.

### 1.6.3.2- Fixations rigides de rail

- ❖ Une fixation de rail peut être modélisée comme rigide si elle est capable de transmettre le cisaillement et la traction entre le rail de pont roulant et la poutre de roulement.
- ❖ Il convient de traiter les types de fixations de rail suivants comme rigides.
- ❖ rails soudés sur les poutres de roulement.
- ❖ rails assemblés sur les poutres de roulement au moyen de boulons ajustés ou de boulons précontraints traversant la semelle du rail.
- ❖ rails assemblés sur les poutres de roulement au moyen de crapauds boulonnés rigides.
- ❖ Les rails maintenus par des fixations rigides peuvent être inclus dans la section transversale de la poutre.

### 1.6.3.3- Fixations crapaudes de rail

Il convient qu'une fixation de rail soit modélisée comme crapaud s'il existe un matériau d'assise élastique entre le rail de pont roulant et la poutre de roulement et que les crapauds empêchent tout soulèvement éventuel du rail.

Il convient que le rail soit bloqué en position latéralement par les crapauds ou par des plaques de maintien. · Les rails de ponts roulants crapaudes peuvent être traités comme faisant partie de la section transversale de la poutre, si un tel comportement est confirmé par des essais.

### 1.6.4- Consoles supports ·

- ❖ En général, il convient que les assemblages entre consoles supports de poutres de roulements et poteaux soient rigides.
- ❖ Ces assemblages peuvent être calculés en utilisant les RCCM97. ·
- ❖ Il convient de ne pas utiliser d'assemblages semi-rigides sauf si leur adéquation est confirmée par des essais.

### 1.6.5- Poutres horizontales.

- Il convient d'utiliser des poutres horizontales lorsque cela est exigé (en général pour de grandes portées ou de fortes charges utiles de ponts roulants). ·
- Il convient que les poutres horizontales, lorsqu'elles sont utilisées, soient calculées pour résister à l'effort latéral total au niveau de la semelle supérieure. ·
- Comme alternative simple à une analyse détaillée, la section transversale efficace d'une poutre horizontale fabriquée à partir de plaques peut être considérée comme comprenant la semelle supérieure de la poutre de roulement ainsi que le 1/5 adjacent de sa hauteur d'âme.
- Il convient d'analyser les poutres horizontales à treillis selon la méthode élastique, sans tenir aucun compte de la redistribution plastique.
- Les poutres horizontales à treillis peuvent être modélisées comme des poutres sur appuis simples, même si la poutre de roulement est continue.
- Les poutres horizontales à treillis peuvent être calculées au moyen de règles d'application similaires à celles utilisées pour les autres poutres à treillis.
- Si l'on utilise la partie supérieure de la poutre de roulement pour former membrure d'une poutre horizontale à treillis, il convient de prendre en compte les moments fléchissant provoqués par le chargement latéral entre les nœuds. ·
- Si la poutre de roulement, ou la poutre horizontale, supporte ou comprend une passerelle, il convient de calculer les semelles ou les membrures de la poutre

horizontale pour qu'elles résistent aux effets du chargement vertical s'exerçant sur la passerelle, ainsi qu'aux effets des actions horizontales de pont roulant. ·

- Il convient de calculer et de concevoir les détails des poutres horizontales en prenant dûment en compte la rotation d'extrémité de la poutre de roulement, tant dans le plan horizontal que dans le plan vertical.

#### **1.6.6- Dispositifs d'appuis horizontaux.**

- ❖ Il convient de calculer les dispositifs d'appuis horizontaux reliant la semelle supérieure d'une poutre de roulement à la structure support pour qu'ils résistent aux réactions provoquées par la force latérale. ·
- ❖ Il convient que les dispositifs d'appuis horizontaux soient capables de supporter :
  - Les mouvements générés par la rotation d'extrémité de la poutre de roulement provoquée par le chargement vertical.
  - Les mouvements générés par la rotation d'extrémité de la semelle supérieure de la poutre de roulement provoquée par les forces latérales de pont roulant.
  - Les mouvements verticaux associés à la compression verticale de la poutre de roulement et de ses appuis plus l'usure et le tassement des supports de la poutre de roulement.
- ❖ Il convient que la conception détaillée des dispositifs d'appuis horizontaux et de leurs assemblages prenne en compte la possibilité d'un réglage latéral des poutres de roulement destiné à conserver l'alignement du chemin de roulement, tout en respectant également la tolérance de position du rail par rapport à l'axe de l'âme de la poutre de roulement.

**Chapitre 2 :**  
**Exemples d'application :**  
**Pont de 10 m et Pont de 14 m**

## Chapitre 2 : Exemples d'application : Pont de 10 m et Pont de 14 m

### 2.1-Pont roulant de portée L= 10m

#### 2.1.1- Introduction :

La manutention d'objet lourds dans une halle industrielle nécessite souvent l'utilisation d'engins spéciaux dits engins de levage, parmi les plus courants il y a les ponts roulants bipoutres. L'objectif de ce chapitre est de définir le pont roulant et ces caractéristiques pour garantir une fonctionnalité parfaite lors du déplacement longitudinal du pont en prenant compte des charges qu'il soulève.

#### 2.1.2- Ponts roulants :

Le pont roulant est un appareil de levage mobile circulant sur une voie de roulement. Il est constitué d'une ou plusieurs poutres sur lesquelles se déplace, transversalement à la voie principale, un chariot de transfert équipé d'un treuil pour le levage de la charge. Si le pont est constitué d'une seule poutre, on parle de pont roulant mono poutre si non on parle d'un pont bipoutre

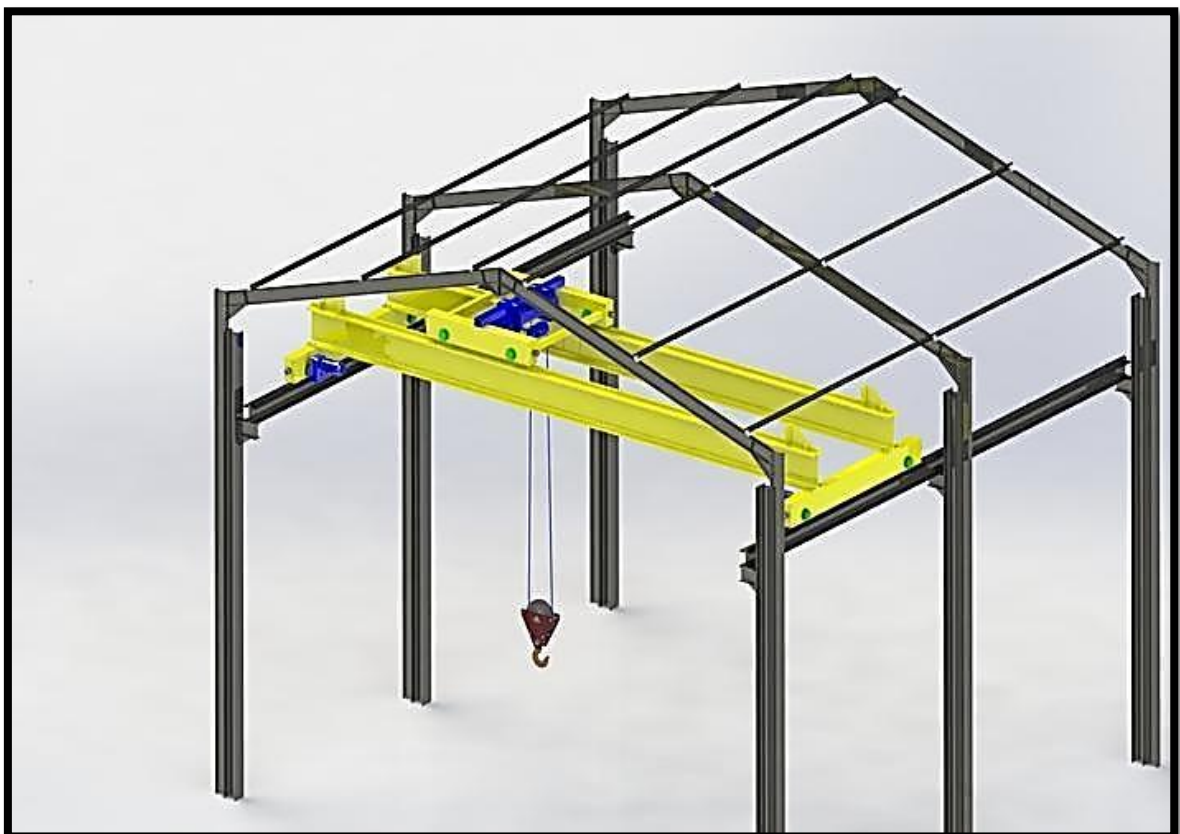


Figure 2.1. Pont roulant

#### 2.1.2.1- Différents types de ponts roulants :

Un pont roulant peut-être du type mono-poutre, bipoutre ou multi-poutre et peut avoir diverses configurations. (Voir Fig. 1.3)

### **2.1.2.2- Eléments constitutifs du pont roulant :**

- **Ossature :**

C'est l'ensemble de charpente il contient les éléments suivants : Poutres principales (passerelle plus garde-corps) et Sommier.

- **Chariot :**

C'est l'ensemble auquel est suspendu le mécanisme de préhension, il contient les éléments suivants : Galet de roulement ; Tambour ; Moteur de levage ; Moteur de direction ; Moufle.

- **Chemin de roulement :**

Le chemin ou la voie de roulement est la structure porteuse de l'engin de levage, constituée d'une ou deux poutres de roulement et ses supports. Il est supporté par une console qui sollicitée par les efforts suivant :

- ❖ Le poids propre de la poutre de roulement et du rail ;
- ❖ Les actions verticales et horizontales des galets du pont roulant ;
- ❖ Le poids propre de la console elle-même.

- **La poutre de roulement :**

La poutre de roulement est l'élément porteur longitudinal de la voie (profilé laminé, poutre composée à âme pleine, poutre treillis), les poutres de roulement sont des poutres simples ou continues. Leurs appuis sont constitués par corbeaux fixés sur les montants de cadres de halle.

### **2.1.2.3- Différents mouvements possibles :**

- **Mouvement de levage :**

Mouvement vertical du crochet ou des accessoires de levage (avec ou sans charge) selon l'axe (OY).

- **Mouvement de direction :**

Déplacement du chariot par rapport à l'ossature du pont selon l'axe (OX).

- **Mouvement de translation :**

Déplacement de l'ensemble, de l'appareil sur le chemin de roulement selon l'axe (OZ)

- **Orientation :**

Rotation autour de l'axe (Oy). (Voir Fig. 1.4)

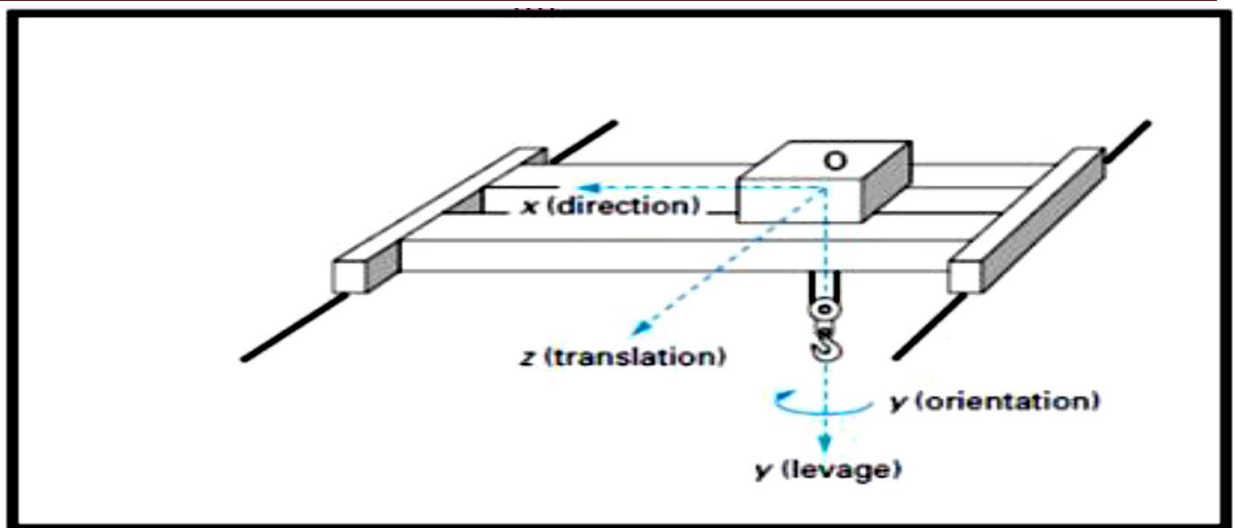


Figure 2.2. Différents mouvements d'un pont roulant

#### 2.1.2.4. Caractéristiques du pont roulant :

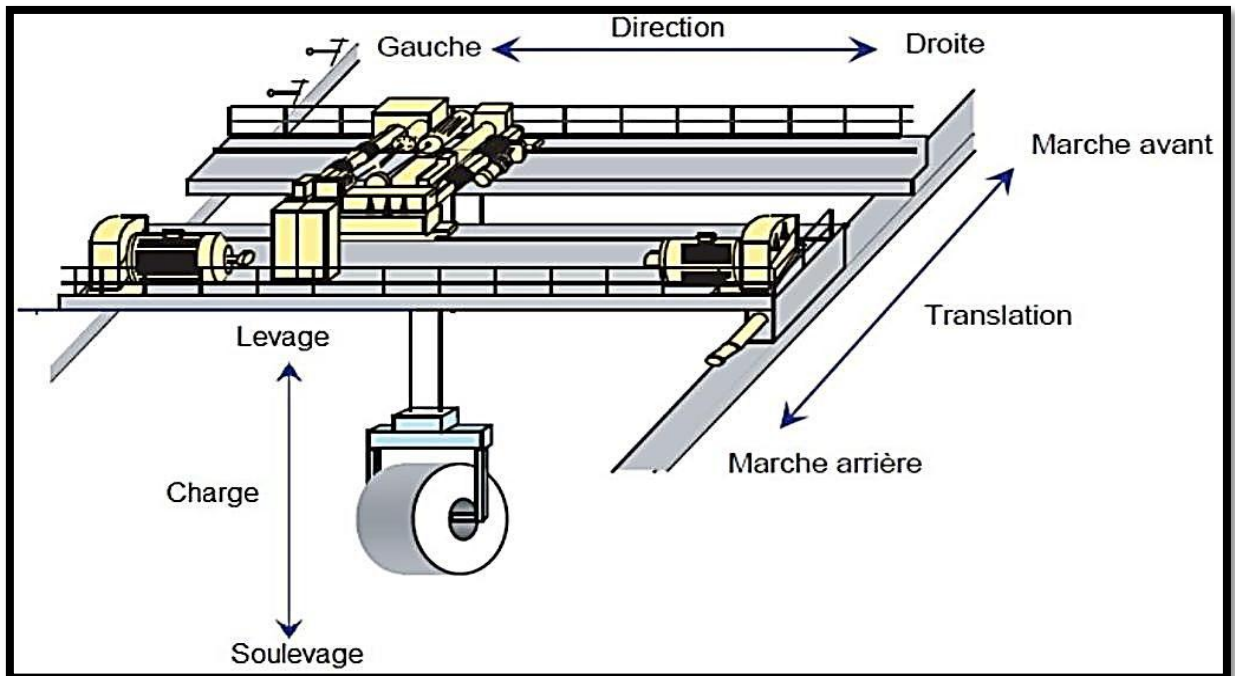


Figure 2.3. Schéma 3D du pont roulant

Les ponts roulants ont des caractéristiques qui sont fournies par le constructeur :

Tableau 2.1. Caractéristiques du pont roulant.

Puissance (t)	Portée L(m)	Vitesse (m/min)			Poids (t)			Réaction(t)	
		Levage	Direction	Translation	Pont B(t)	Chariot K(t)	Charge tot B+K(t)	$R_{max}$	$R_{min}$
5	10	7	30	100	6	3.5	9	5.4	1.8

Les ponts roulants ont des caractéristiques qui sont fournies par le constructeur :

**Tableau 2.2. Caractéristiques géométriques du pont roulant de 10m**

Puissance (t)	L(m)	$a_{min}$ (m)	b (m)	c(m)	d(m)	e(m)
5	10	0.8	0.25	0.5	1.8	2.2

### 2.1.2.5- Classement des ponts roulants

Les actions exercées par un pont roulant sur ses chemins de roulement dépendent non seulement des caractéristiques du pont roulant, mais encore de ses conditions d'utilisation et son état de charge, c'est-à-dire du groupe appartient le pont roulant. Les ponts roulants sont répartis en 4 groupes, cette répartition a été établie par la Fédération Européenne de la Manutention F.E.M (édition juin 1962).

• **Conditions d'utilisation :**

Ces conditions caractérisent la durée effective de fonctionnement au cours du service :

- A : utilisation occasionnelle non régulière suivie de périodes de repos.
- B : utilisation régulière en service intermittent.
- C : utilisation régulière en service intensif.

• **Etats de charge :**

Ces états de charge précisent dans quelle mesure le pont est utilisé à sa charge nominale ou à des charges réduites :

- ✓ Soulèvement exceptionnel de la charge nominale et manutention courante de faibles charges.
- ✓ Soulèvement de charges variant de zéro à la charge nominale.
- ✓ Soulèvement régulier de charges voisines de la charge nominale

• **Groupes de ponts roulants :**

Les groupes sont définis en fonction des conditions d'utilisation des états de charges

**Tableau 2.3. Tableau des groupes**

I	A-1	A-2	B-1	C-1
II	A-3	B-2		C-2
III		B-3		C-3

### 2.1.2.6- Les coefficients des ponts roulants :

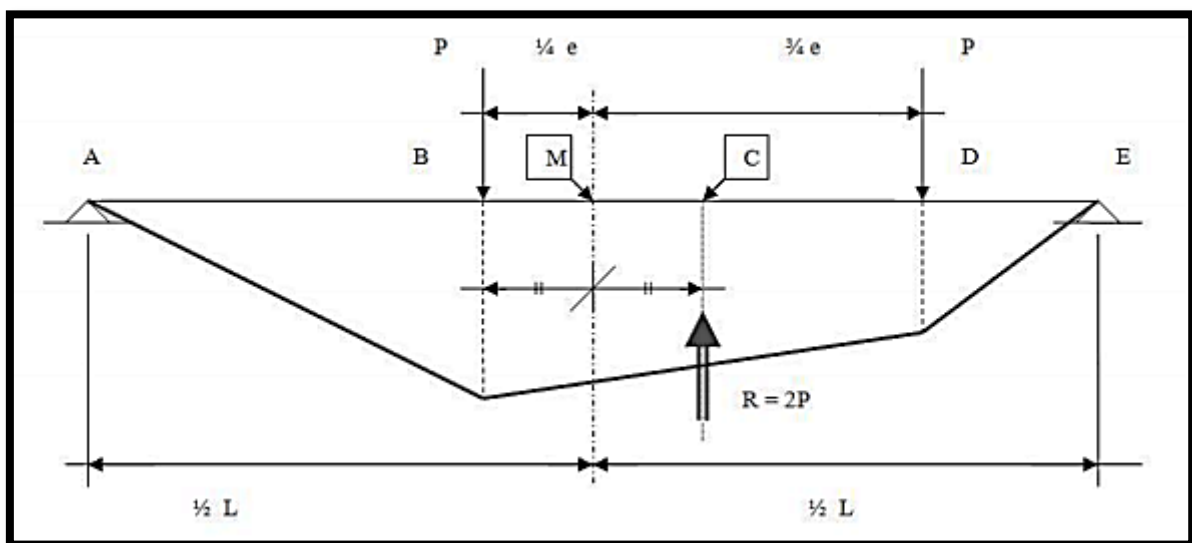
Le tableau suivant donne les valeurs pratiques du coefficient, à considérer pour le calcul de chemins de roulement et de leurs supports. Ces valeurs sont fonction du groupe auquel appartient le pont roulant considéré et elles supposent que les voies de roulement et les galets sont en bon état et que les manœuvres s'effectuent normalement.

**Tableau. 2.4. Les coefficients et classement de pont roulant.**

Groupe du pont roulant	C	Coefficient de majoration dynamique		Classement			
		Support du chemin de roulement: $\psi_1$	Support du chemin de roulement: $\psi_2$				
I	0.2	1.05	1	$A_1$	$A_2$	$B_1$	$C_1$
II		1.15	1.05	$A_3$	$B_2$		$C_2$
III		1.25	1.1		$B_2$		$C_3$
IV		1.35	1.15				

### 2.1.3- Description générale du calcul :

En général, les poutres de roulements sont conçues sur deux appuis particulièrement celles destinées à recevoir les ponts de type A, pour que l'alternance de sollicitations  $M(+)$ ,  $M(-)$  conduit à réduire les contraintes admissibles en fatigue. Le moment maximum est déterminé par le théorème de barré, il est défini comme suit :



**Figure 2.3. Moment Max pour deux charges égales (Théorème de barre)**

### 2.1.3.1. Calcul de la poutre de roulement :

Le pont roulant utilisé est de type B classe 2 groupe II

#### 2.1.3.1.1. Réactions d'un galet du pont roulant en charge :

- **Les réactions Max et Min :**

$R_{max}$ : Réaction maximale statique (pont immobile).

$R_{min}$ : Réaction minimale statique (pont immobile).

D'après le CTICM article 2.2 tableau II :

$$R_{max}=5,4 \text{ Tonne} = 54 \text{ KN}$$

$$R_{min}=1,8 \text{ Tonne} = 18 \text{ KN}$$

- **Réactions verticales :**

Elles sont généralement données par les constructeurs du pont ; elles sont affectées d'un coefficient de majoration dynamique

$$R_{1max} = R_{max} \times \psi_1$$

$$R_{1max} = 5,4 \times 1,15$$

$$R_{1max} = 62,1 \text{ KN}$$

$$R_{1min} = R_{min} \times \psi_1$$

$$R_{1min} = 1,8 \times 1,15$$

$$R_{1min} = 20,7 \text{ KN}$$

Avec :

$\psi_1$  : coefficient de la majoration dynamique des réactions verticales

**Tableau 2.5. Charges verticales**

Efforts	$R_{1max}$ (KN)	$R_{1min}$ (KN)
<b>Pont roulant</b>	62.1	20.7

**Tableau 2.5. Charges verticales**

- **Réactions horizontales longitudinales :**

Elles sont dues aux effets de freinage du pont; on les estime à 1/7<sup>o</sup> de la réaction verticale des seuls galets moteurs

$R2_{max}$  : Réaction maximale (pont en freinage).

$R2_{min}$ : Réaction minimale (pont en freinage).

- **Réactions appliquées aux butées d'arrêt :**

Les dispositifs destinés à limiter la course du pont roulant (butées et sécurités électriques complémentaires) doivent être montrés à la demande du maitre d'œuvre de l'ouvrage.

Les réactions correspondant au choc des sommiers du pont roulant sur les butées de fin de course sont fonction de la vitesse de translation du pont et de l'élasticité des butées.

Par suite, leurs valeurs sont à déterminer en accord par les constructeurs du pont et des butées.

- **Réactions appliquées aux rails de translation :**

Ces réactions ne s'exercent qu'au droit des galets moteurs. Elles sont dues à l'accélération ou au freinage du mouvement de translation. On obtiendra la valeur maximale de la réaction horizontale longitudinale d'un galet moteur en multipliant la réaction verticale maximale statique de ce galet par le coefficient d'adhérence du galet sur son rail :

$$R_{max} = C \times R$$

Avec :  $C=0,2$

C: coefficient d'adhérence d'un galet sur son rail.

$$R2_{max} = C \times R_{max}$$

$$R2_{max} = 0,2 \times 5,4$$

$$R2_{max} = 10,8 \text{ KN}$$

$$R2_{min} = C \times R_{min}$$

$$R2_{min} = 0,2 \times 1,8$$

$$R2_{min} = 3,6 \text{ KN}$$

Efforts	$R2_{max}$ (KN)	$R2_{min}$ (KN)
<b>Pont roulant</b>	10.8	3.6

**Tableau 2.6 .Charges horizontales longitudinales.**

- **Réactions horizontales transversales :**

Elles résultent des effets de freinage du chariot et de roulement. On les estime à 1/10° des charges verticales sans majoration dynamique.

L'accélération ou le freinage des mouvements de direction du chariot et de translation du pont roulant ont pour effet de provoquer la marche en crabe du pont qui provient de multiples causes et notamment les suivantes :

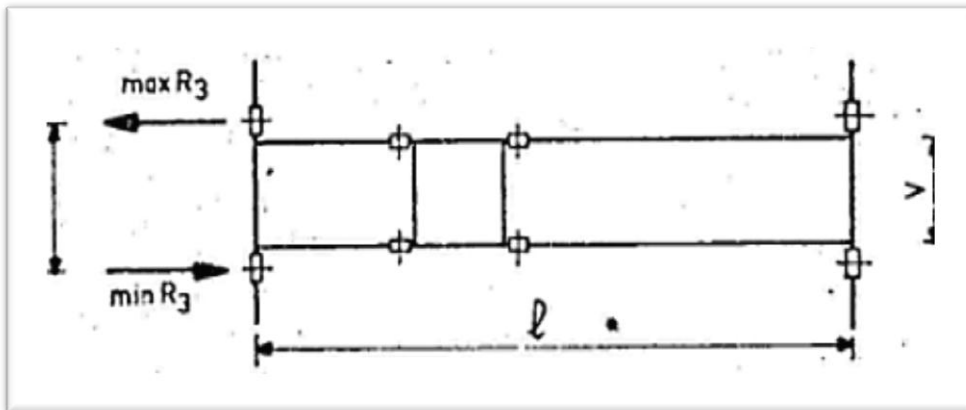
**a) Imperfection de l'installation :**

Irrégularités dans l'alignement et le parallélisme des rails de roulement ;

- ❖ Présence des joints de rails ;
- ❖ Usure des rails et des galets ;
- ❖ Différence des diamètres des galets ;
- ❖ Inégalité des couples moteurs sur galets opposés ;
- ❖ Dénivellations des supports, entraînant des pentes inégales des chemins de roulement.

**b) Actions des charges, des frottements et des déformations :**

- Inégalités des réactions des galets sur les deux files de rails de roulement, dues au déplacement du chariot sur le pont ;
- Frottements inégaux des galets sur leurs rails ;
- Déformations élastiques en plan du pont roulant.



**Figure 2.7. Réaction horizontales transversales**

Des considérations qui précèdent, et conformément à des essais effectués sur des installations en service, il résulte que les deux galets de translation du pont roulant exercent sur leur rail de roulement deux réactions horizontales qui sont inégales et de sens contraire.

Ces réactions sont maximales lorsque le chariot est au voisinage du milieu de la portée du pont roulant, et elles sont minimales lorsque le chariot est à sa distance minimale du chemin de roulement considéré.

$R3_{max}$ : Charge maximale.

$R3_{min}$ : Charge minimale.

**• Chariot au milieu de la portée du pont :**

$$R_{h1max} = \pm \left[ 0.024(K+N+B)\frac{L}{e} + 0.021(N+K) \right] = 17.6 \text{ KN}$$

$$R_{h1min} = \pm \left[ 0.024(K+N+B)\frac{L}{e} + 0.021(N+K) \right] = 14 \text{ KN}$$

**Tableau 2.7.Charges horizontales transversales ( $R_{h1}$ )**

Efforts	$R_{h1max}$ (KN)	$R_{h1min}$ (KN)
Pont roulant	17.6	14

- Chariot au milieu de la portée du pont :

$$R_{h2max}=\pm\left[(N+K+5B)\times\frac{L}{e}+0.021(N+K)\right]=1.09 KN$$

$$R_{h2min}=\pm\left[(N+K+5B)\times\frac{L}{e}-0.021(N+K)\right]=0.73 KN$$

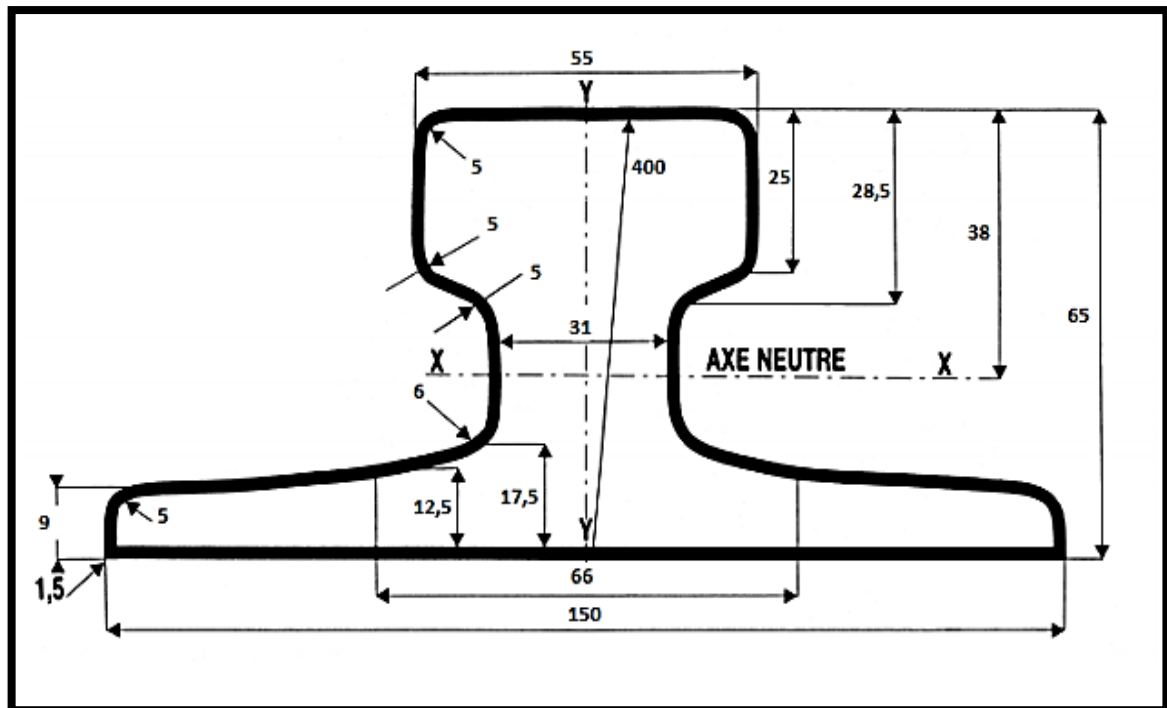
**Tableau 2.8 .Charges horizontales transversales ( $R_{h2}$ )**

Efforts	$R_{h2max}$ (KN)	$R_{h2min}$ (KN)
Pont roulant	1.09	0.73

**Tableau 2.8 .Charges horizontales transversales ( $R_{h2}$ )**

### 2.1.3.2. Choix du rail:

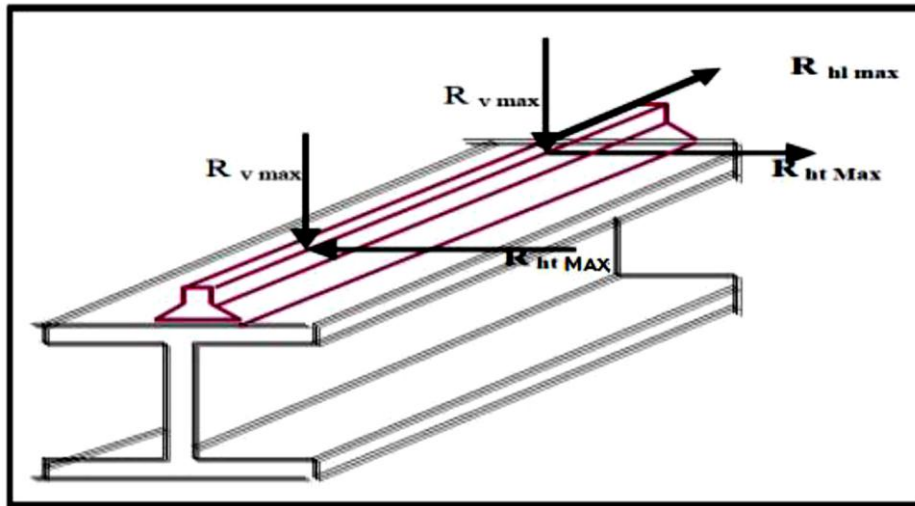
On a un pont roulant de 5 Tonne, on va choisir le type de rail A55 à partir del'EC3 partie6 :



**Figure 2.9 .Dimensions et caractéristiques géométriques du rail**

**Tableau 2.9. Dimensions et caractéristiques du rail**

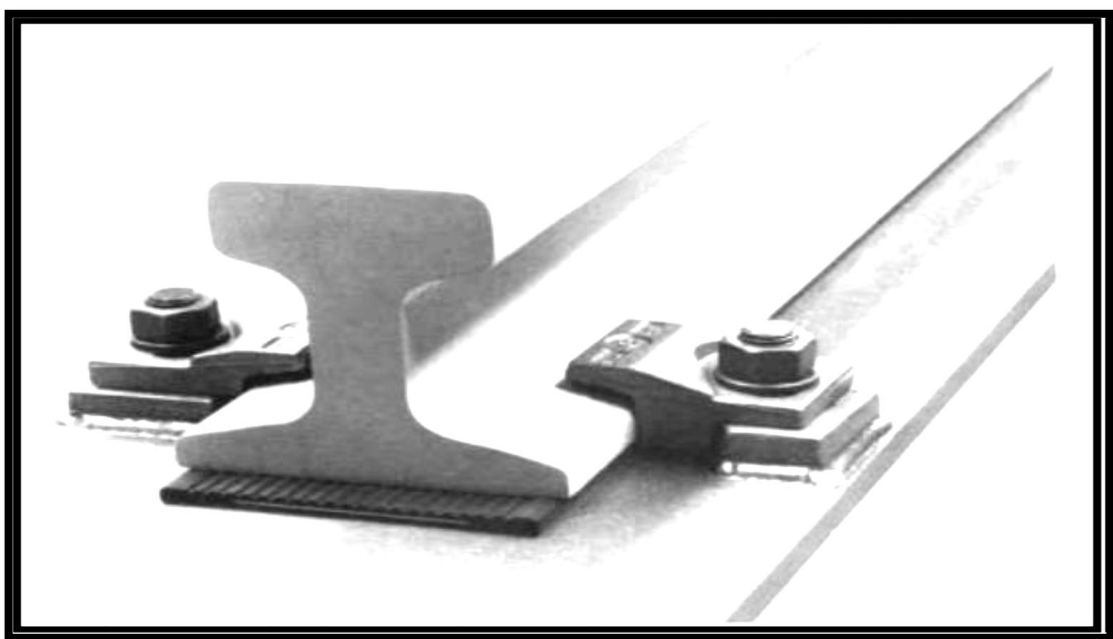
Puissance N(t)	Poids (kg/m)	B (mm)	H (mm)	P (mm)	A ( $cm^2$ )	$I_x$ ( $cm^4$ )	$I_y$ ( $cm^4$ )
5	31.8	55	65	150	40.7	178	377



**Figure 2.7. Schéma de la poutre de roulement avec le rail**

### 2.1.3.2.1. Fixation du rail sur la poutre de roulement :

Le rail est fixé sur la poutre de roulement à l'aide d'une attache appelée crapaud, figure Ci-dessus :



**Figure 2.8. Vue d'un rail et sa fixation**

**Tableau 2 .10. Dimensions du crapaud.**

Désignation	2 trous		B mm	A mm	b mm	c mm	D mm	g mm	h mm	g mm	k mm
	Long (mm)	Poids (g)									
<b>A55</b>	120	740	85	60	22	38	17	7	24	20	29

### 2.1.3.3. Pré dimensionnement de la poutre de roulement :

Le dimensionnement de la poutre du chemin de roulement se fait selon le règlement « **CCM97** », et le calcul se fait avec les charges les plus défavorables.

#### 2.1.3.3.1. Condition de la flèche (z-z) :

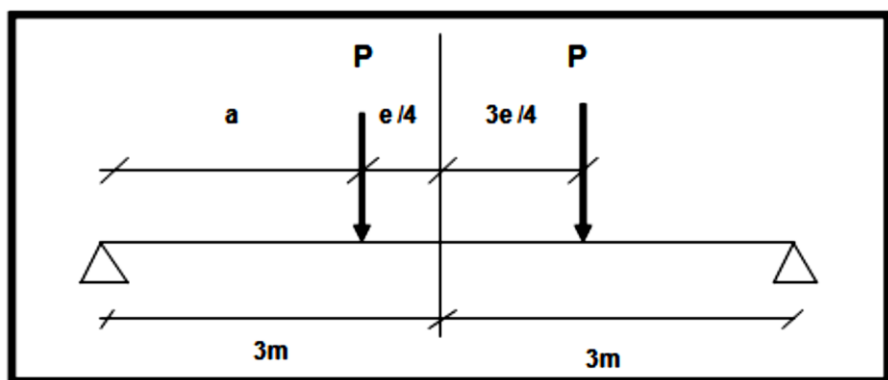
Le **CTICM** exige la vérification de flèche pour le dimensionnement de la poutre de roulement. La flèche admissible est obtenue quand les deux charges sont en position symétrique par rapport au milieu de la poutre.

$$f \leq f_{adm} = \frac{L}{750} = \frac{600}{750} = 0.8 \text{ cm}$$

La méthode consiste à superposer les flèches causées par :

- Les deux charges sur galets :

$$a = \frac{L}{2} - \frac{e}{4} = 2450 \text{ mm}$$



**Figure 2.9. Illustrations des efforts appliqués sur la poutre de roulement par le galet avec P la réaction verticale max**

$$f_1 = \frac{P \times a \times L^2}{24 \times E \times I_y} \times \left( 3 - \frac{4 \times a^2}{L^2} \right)$$

Avec :

a = 2450 mm  
 L = 6000 mm  
 P = 62100 N  
 E = 21.104 N/mm<sup>2</sup>

$$I_y \geq \frac{p \times a \times L^2 \times (3L^2 - 4a^2)}{f \times 24 \times E \times L^2}$$

$$I_y = \frac{62100 \times 2450 \times 6000^2 \times (3 \times 6000^2 - 4 \times 2450^2)}{8 \times 24 \times 2,1 \times 10^5 \times 6000^5}$$

$I_y = 31693,10 \text{ mm}^4$

Donc **HEB340** vérifie la condition de la flèche

**Tableau 2 .11 Les Caractéristiques de profile HEB340**

profilé	poids	section	Dimensions				Caractériels			
	G Kg/m	A Cm <sup>2</sup>	h mm	B Mm	t <sub>f</sub> mm	t <sub>w</sub> mm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>ply</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> cm <sup>3</sup>
<b>HEB340</b>	134	170.9	340	300	21.5	12	36660	9690	2408	985.7

• **Vérification de la flèche :**

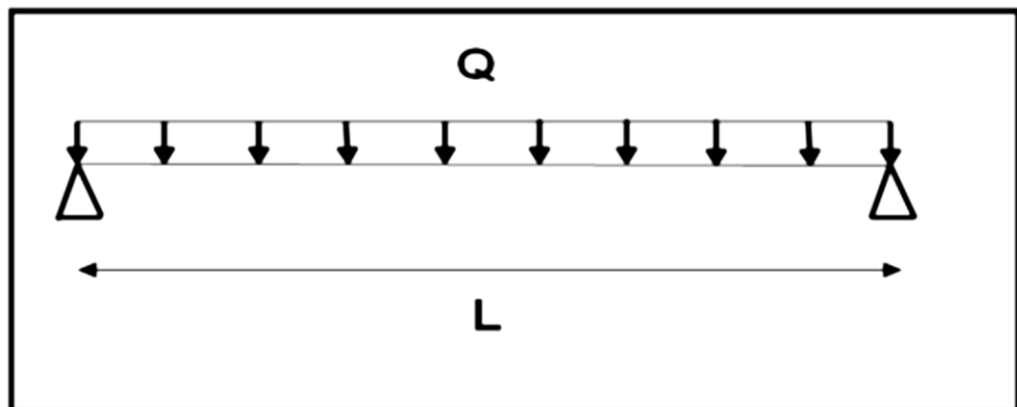
$$f \leq f_{adm} = \frac{L}{750} = \frac{600}{750} = 0.8 \text{ cm}$$

Avec :  $f = f_1 + f_2$

- Les deux charges sur galets :

$$f_1 = \frac{P \times a \times L^2}{24 \times E \times I_y} \times \left( 3 - \frac{4 \times a^2}{L^2} \right)$$

- Le poids propre de la poutre :



**Figure 2.10. Schéma statique de la poutre de roulement sur deux appuis**

$$f_2 = \frac{5 \times Q \times L^4}{384 \times E \times I}$$

Avec :

Q = poids propre de la poutre + poids propre du rail

$$f_1 = \frac{P \times a \times L^2}{24 \times E \times I_y} \times \left( 3 - \frac{4 \times a^2}{L^2} \right) + \frac{5 \times Q \times L^4}{384 \times E \times I}$$

Avec :

a = 2450 mm

L = 6000 mm

P = 62100 N

E = 21.10<sup>4</sup> N/mm<sup>2</sup>

$$F = \frac{62100 \times 2450 \times 6000^2}{24 \times 2,1 \times 10^5 \times 36660 \times 10^4} \times \left( 3 - \frac{4 \times 2450^2}{6000^2} \right) + \frac{5 \times (31,8 \times 10^{-2} + 134 \times 10^{-2}) \times 6000^4}{384 \times 2,1 \times 10^5 \times 36660 \times 10^4}$$

$$f = 7,24 \text{ mm} = 0,724 \text{ cm} < f_{adm} = 0,8 \text{ cm} \rightarrow \text{La condition est vérifiée}$$

### 2.1.3.3.2. Classe du profilé :

#### 2.1.3.3.2.1. Classe de l'âme fléchie : *Tableau 53.1CCM97*

$$\frac{d}{t_w} = 72\varepsilon$$

Avec :

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

\* d = 243 mm

\* t<sub>w</sub> = 12 mm

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{t_w} = \frac{243}{12} = 20,25 \\ 72\varepsilon = 72 \sqrt{\frac{235}{235}} = 72 \end{array} \right. \Leftrightarrow \frac{d}{t_w} \leq 72\varepsilon \Leftrightarrow \text{Donc l'âme est de classe I}$$

#### 2.1.3.3.2.2. Classe de la semelle comprimée :

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} \leq 10\varepsilon$$

Avec :

- c = 150 mm

- b = 300 mm

- t<sub>f</sub> = 21,5 mm

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{c}{t_f} = \frac{150}{21,5} = 6,98 \\ 10\varepsilon = 10 \sqrt{\frac{235}{235}} = 10 \end{array} \right. \Leftrightarrow \frac{c}{t_f} \leq 10\varepsilon \Leftrightarrow \text{donc la semelle est de classe I}$$

Donc la section globale du profilé **HEB340** est de classe I

## 2.1.4. Résistance du profilé sous charges verticales:

### 2.1.4.1. Vérification à L'ELU (Effort tranchant + Moment fléchissant) :

$$V_{sd} \leq 0,5 \times V_{plrd}$$

Avec :

$V_{plrd}$  : Résistance ultime au cisaillement

$$V_{plrd} = \frac{0,58 \times A_v \times f_y}{\gamma_{m0}}$$

$A_v$  : Aire de cisaillement

$$A_v = 170,9 \times 102 - 300 \times 21,5 + (12 + 2 \times 27) \times 21,5$$

$$A_v = 12059 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_{m0} = 1,1$$

D'où :

$$V_{plrd} = \frac{0,58 \times 12059 \times 235}{1,1} = 1494,22 \text{ kN}$$

-  $V_{sd}$  : Effort tranchant sollicitant dû à  $R_v$  et au poids propre du chemin de roulement.

$$V_{sd} = V_v + V_{pp}$$

-  $V_v$  : Effort tranchant dû à la réaction  $R_v$  :

$$V_v = V_{vmax} \times \frac{4a}{L} = 62,1 \times \frac{4 \times 2,45}{6} = 101,43$$

-  $V_{pp}$  : Effort tranchant dû au poids propre (HEB340 + A55)

$$V_{pp} = \frac{G \times L}{4} = \frac{1,658 \times 6}{4} = 2,487 \text{ KN}$$

Alors :

$$V_{sd} = V_v + V_{pp} = 101,43 + 2,487 = 103,917 \text{ KN}$$

$$V_{sd} = 103,917 \text{ KN} < V_{plrd} = 0,5 \times 1494,22 = 747,11 \text{ KN} \Leftrightarrow \text{condition vérifiée}$$

Donc : il n'y a pas lieu de vérifier l'effort tranchant et la condition devient.

$$M_{ysd} < M_{crd}$$

Avec :

-  $M_{crd}$  : Moment résistant de la section transversale à la flexion :

$$M_{crd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{2408 \times 10^3 \times 235}{1.1} = 514,44 \text{ KN.m}$$

$M_{ysd}$  : Moment sollicitant dû à  $R_v$  et au poids propre du chemin de roulement :

$$M_{ysd} = 1.35M_{pp} + 1.5M_v$$

$M_v$  : Moment dû à la réaction  $R_v$  :

$$M_v = \frac{2 \times R_{vmax}}{L} \times \left(\frac{L}{2} - \frac{e}{4}\right)^2 = \frac{2 \times 62.1}{6} \times \left(\frac{6}{2} - \frac{2.2}{4}\right)^2 = 124,25 \text{ KN.m}$$

-  $M_{pp}$  : Moment dû au poids propre (HEB340 + A55) :

$$M_{pp} = \frac{G \times L^2}{8} = \frac{1,658 \times 6^2}{8} = 7,461 \text{ KN.m}$$

$$M_{ysd} = 1,35 \times 7,461 + 1,5 \times 124,25 = 196,45 \text{ KN.m}$$

$$M_{ysd} = 196,45 \text{ KN.m} < M_{crd} = 514,44 \text{ KN.m} \Leftrightarrow \text{condition vérifiée}$$

### 2.1.5. Vérification sous charge horizontale :

$$M_{sd} < M_{crd}$$

Avec :

-  $M_{crd}$  : Moment résistant de la section transversale à la flexion:

$$M_{crd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{985.7 \times 10^3 \times 235}{1.1} = 210,58 \text{ kN.m}$$

-  $M_{sd}$  : Moment sollicitant due à  $R_h$  :

$$M_v = \frac{2 \times R_{vmax}}{L} \times \left(\frac{L}{2} - \frac{e}{4}\right)^2 = \frac{2 \times 17.6}{6} \times \left(\frac{6}{2} - \frac{2.2}{4}\right)^2 = 35.21 \text{ KN.m}$$

$$M_{ysd} = 35.21 \text{ KN.m} < M_{crd} = 210.58 \text{ KN.m} \Leftrightarrow \text{condition vérifiée}$$

#### 2.1.5.1. Résistance de l'âme au voilement par cisaillement :

Si :  $\frac{d}{t_w} \leq 69\epsilon$  , il n'est pas nécessaire de vérifier le voilement par cisaillement

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{235}{12} = 20.25 < 69\varepsilon$$

Donc il n'y a pas lieu de vérifier le voilement par cisaillement.

### 2.1.5.2. Résistance au déversement :

Selon le CCM97, le moment résistant est donné par la formule suivante :

$$M_{brd} = \frac{X_{lt} \times \beta_w \times W_{ply} \times f_y}{\gamma_{m1}}$$

Avec :

$\beta_w$ : 1 Section de classe I

$W_{ply} = 2408 \text{ cm}^3$

$f_y = 235 \times 10^2 \text{ N/cm}^2$

$\gamma_{m1} = 1,1$

-  $X_{lt}$  : (facteur de réduction pour le déversement)

$$X_{lt} = \frac{1}{\phi_{lt} + \sqrt{\phi_{lt}^2 - \gamma_{lt}^2}}$$

Avec :

$$\begin{cases} \phi_{lt} = 0.5[1 + \alpha_{lt}(\lambda_{lt} - 0.2) + \lambda_{lt}] \\ \alpha_{lt} = 0.21 \text{ pour les profilés lominés} \end{cases}$$

$\alpha_{lt} = 0,21$  : Facteur d'imperfection

$$\lambda_{lt} = \frac{L \times \left[ \frac{W_{ply}^2}{I_z \times I_y} \right]^{0.25}}{C_1^{0.5} \times \left[ 1 + \frac{L^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_w} \right]^{0.25}}$$

-  $\lambda_{lt}$  : Elancement réduit.

-  $C_1$  : Facteur dépendant de condition de charge et d'appui  $C_1 = 1$ ,

$$G = \frac{E}{2(1+r)} = \frac{21 \times 10^6}{2(1+0.3)} = 8.08 \times 10^6 \text{ N/cm}^2$$

-  $I_t$ : Moment d'inertie de torsion =  $257,2 \text{ cm}^4$

-  $I_w$ : Moment d'inertie de gauchissement =  $2454 \text{ cm}^4$

-  $I_z$  : Moment d'inertie de flexion suivant l'axe de faible inertie =  $9690 \text{ cm}^4$

-  $L$  : Longueur de la poutre =  $6 \text{ m}$

$$\lambda_{lt} = \frac{6 \times 10^2 \left[ \frac{2408^2}{9690 \times 2454} \right]^{0.25}}{1.132^{0.5} \times \left[ 1 + \frac{6 \times 10^2 \times 8.08 \times 10^6 \times 257.2}{\pi^2 \times 21 \times 10^2 \times 2454} \right]^{0.25}} = 63.98$$

$$\lambda_{lt}' = \left[ \frac{\lambda_{lt}}{\lambda_1} \right] \times \sqrt{\beta_w}$$

$$\lambda_1 = 93 \quad \varepsilon = 93$$

$$\lambda_{lt}' = \left[ \frac{63.98}{93} \right] \times \sqrt{1} = 0.688 > 0.4 \text{ donc il y a de risque de déversement}$$

$$\phi_{lt} = 0,5 [ 1 + 0,21 \times (0,688 - 0,2) + 0,688^2 ] = 0,788$$

Donc :

$$X_t = \frac{1}{0.788 + \sqrt{0.788^2 - 0.688^2}} = 0.858$$

$$M_{sd} = \frac{0,853 \times 1 \times 2408 \times 10^3 \times 235}{1} = 438.81 \text{ KN.m}$$

$$M_{sd} = 35,21 \text{ kN.m} < M_{brd} = 438,81 \text{ kN.m} \Rightarrow \text{condition vérifiée}$$

### 2.1.5.3. Résistance de l'âme à la charge transversale :

#### • Résistance à l'écrasement :

Selon le CCM97, la résistance de calcul,  $R_{y,rd}$  à l'enfoncement local d'une âme de section en **I**, **H** ou **U** est déterminée par la formule :

$$R_{y,rd} = S_y \times t_w \times \frac{f_{yw}}{\gamma_{m1}}$$

Avec :

-  $R_{y,rd}$  : l'effort résistant à l'écrasement.

-  $S_y$  : La longueur d'appui rigide :

$$S_y = 2(h_r + t_f) \sqrt{\left[1 - \left(\gamma_{m0} \times \frac{\alpha_{f,ed}}{f_{yf}}\right)^2\right]}$$

-  $h_r$  : la hauteur du rail  $\rightarrow h_r = 65$  mm

-  $t_f$  : La largeur de l'âme du profilé  $\rightarrow t_f = 21,5$  mm

-  $\alpha_{f,ed}$  : la contrainte longitudinale dans la semelle

$$\alpha_{f,ed} = \frac{M_{ysd}}{W_{ely}} = \frac{196,45 \times 10^6}{2156 \times 10^3} = 91.118 \text{ N/mm}^2$$

$$S_y = 2(65 + 21.5) \sqrt{\left[1 - \left(1.1 \times \frac{91.118}{235}\right)^2\right]} = 0,1564 \text{ m}$$

D'où :

$$R_{y,rd} = 156.476 \times 12 \times \frac{235}{1.1} = 401.148 \text{ KN}$$

$f_{sd} = R_{vmax} = 62,1$  KN  $R_y = 401,148$  KN  $\rightarrow$  condition vérifiée

• **Résistance à l'enfoncement local :**

Selon le CCM97, la résistance de calcul à  $R_{a,rd}$  l'enfoncement local d'une âme de section en I, H ou U est déterminée par la formule :

$$R_{a,rd} = \frac{0.5 \times t_w^2 \times (E \times f_{yw})^{0.5} \left[ \left(\frac{t_f}{t_w}\right)^{0.5} + 3 \left(\frac{t_w}{t_f}\right) \times \left(\frac{S_s}{d}\right) \right]}{\lambda_{m1}}$$

Où  $S_s$  est la longueur de l'appui rigide déterminée selon l'article mais le rapport

$$\frac{S_s}{d} = \frac{86.83}{235} = 0.35 \text{ ne doit pas être pris supérieur } 0.2$$

Lorsque l'élément est également soumis à des moments fléchissant, il convient de satisfaire le critère suivant :

$$f_{sd} \leq R_{a,rd}$$

$$M_{sd} \leq M_{c,rd}$$

$$\frac{f_{sd}}{R_{a,rd}} + \frac{M_{sd}}{M_{c,rd}} \leq 1.5$$

$$R_{a,rd} = \frac{0.5 \times 12^2 \times (210000 \times 235)^{0.5} \left[ \left( \frac{21.5}{12} \right)^{0.5} + 3 \left( \frac{12}{21.5} \right) \times (0.2) \right]}{1.1} = 769,46 \text{ kN}$$

$$M_{crd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{2408 \times 10^3 \times 235}{1.1} = 514,436 \text{ kN.m}$$

Donc :

$f_{sd} = Rh_{max} = 17,6 \text{ kN} \ll R_a = 769,46 \text{ kN} \rightarrow$  condition vérifiée

$M_{sd} = 35,2 \text{ kN.m} \ll M_{crd} = 514,436 \text{ kN.m} \rightarrow$  condition vérifiée

$$\frac{f_{sd}}{R_{a,rd}} + \frac{M_{sd}}{M_{c,rd}}$$

$$\frac{f_{sd}}{R_{a,rd}} + \frac{M_{sd}}{M_{c,rd}} = \frac{17.6}{769.46} + \frac{35.2}{514.436} = 0.091 \leq 1.5 \text{ OK condition vérifiée}$$

Le profilé de la poutre de roulement choisi vérifier les conditions de l'enfoncement local.

• **Résistance au voilement de l'âme :**

$$b_{eff} \leq b$$

Selon le règlement **CCM97** , la résistance de calcul  $R_{b,rd}$  au voilement d'âme d'un profilé **I,H** ou **U** est déterminé en étudiant le flambement de l'âme

Considérée comme un élément virtuel comprimé ayant une largeur efficace  $b_{eff}$

Obtenue par la formule :

$$b_{eff} = \sqrt{(h^2 + S_s^2)}$$

- $b_{eff} = 340 \text{ mm}$

Donc :

$b_{eff} = 340 \text{ mm} > b = 300 \text{ mm} \rightarrow$  condition vérifiée

L'âme ne résiste pas au voilement local, dans ce cas on rajoute des raidisseurs transversaux intermédiaires d'une épaisseur de 10 mm, soudés avec des cordons de 8mm, chaque 1m le long du chemin de roulement.

• **Flambement de la semelle comprimée dans le plan de l'âme :**

Pour empêcher la possibilité de flambement de la semelle comprimée dans le plan de l'âme, le rapport ( $d / t_w$ ) de l'âme doit satisfaire le critère suivant :

$$\frac{d}{t_w} \leq K \times \frac{E}{f_{yt}} \times \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

Avec :

-  $A_w$  : L'aire de l'âme.

$$A_w = t_w \times (h - 2t_f)$$

$$A_w = 12 \times (340 - 2 \times 21,5) = 3564 \text{ mm}^2$$

-  $A_{fc}$  : L'aire de la semelle comprimée

$$A_{fc} = b \times t_f$$

$$A_{fc} = 300 \times 21,5 = 6450 \text{ mm}^2$$

$f_{yt}$ : La limite élastique de la semelle comprimée.

$$f_{yt} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$k$  : Le coefficient pris égale à 0,3 pour une semelle de classe I

$$\left\{ \begin{array}{l} K \times \frac{E}{f_{yt}} \times \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}} = 0,3 \times \frac{21 \times 10^4}{235} \times \sqrt{\frac{3564}{6450}} = 199,28 \\ \frac{d}{t_w} = \frac{243}{12} = 20,64 < 199,28 \end{array} \right.$$

Donc :

Il n'y a pas risque de flambement de la semelle comprimée dans le plan de l'âme.

**2.6. Calcul du support du chemin de roulement :**

Le chemin de roulement est supporté par une console qui est sollicité par les efforts suivants:

- Le poids propre de la poutre de roulement et du rail ;
- Les actions verticales et horizontales des galets du pont roulant ;
- Le poids propre de la console elle-même.

**2.6.1. Charges verticales :**

• **ELS :**

$$P_1 = G_T \times L + R_{vmax} \times \left(2 - \frac{e}{L}\right)$$

$$P_1 = (1,34+0,318) \times 6 + 62,1 \times \left(2 - \frac{2,2}{6}\right) = 110,238 \text{ KN}$$

• ELU :

$$P_2 = 1,35(G_T \times L) + 1,5 \left[ R_{vmax} \times \left(2 - \frac{e}{L}\right) \right]$$

$$P_2 = 1,35 \times (1,34 + 0,318) \times 6 + 1,5 \times [62,1 \times 1,05 \times \left(2 - \frac{2,2}{6}\right)] = 164,0358 \text{ KN}$$

2.1.6.2. Charge horizontale:

$$P_H = 1,5 \times R_H \times \left(1 - \frac{e}{L}\right) \Psi^2$$

$$P_H = 1,5 \times 17,6 \times \left(1 - \frac{2,2}{6}\right) \times 1,05 = 17,556 \text{ KN}$$

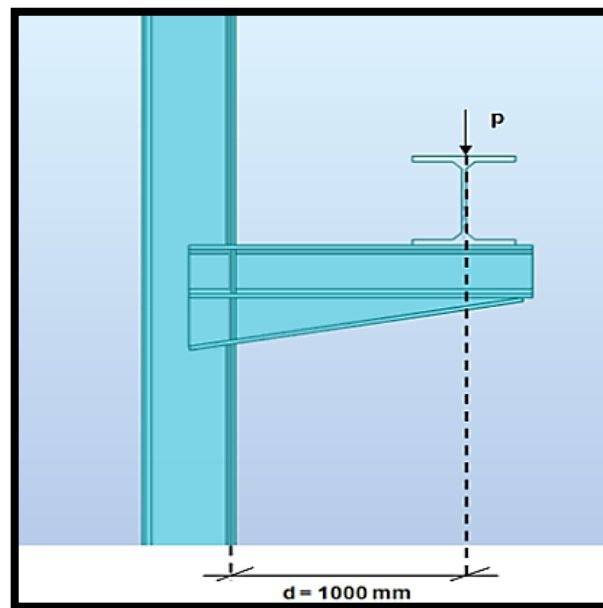


Figure 2.11. Support de chemin de roulement

2.1.6.3. Dimensionnement du support de chemin de roulement :

La flèche du support de roulement est limitée à  $\frac{a}{500}$

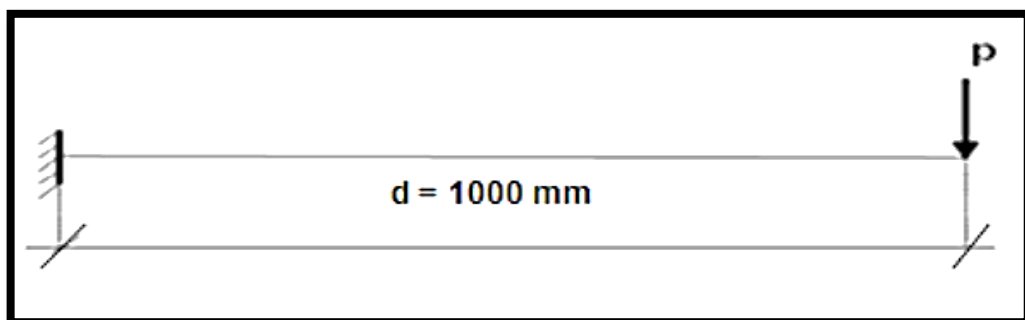


Figure 2.12. Schéma statique du support de roulement

$$f = P_1 \times \frac{d^3}{3EI} \leq \frac{d}{500}$$

$$I_y > \frac{P_1 \times d^2 \times 500}{3 \times E}$$

$$I_y > \frac{110238 \times 1000^2 \times 500}{3 \times 21 \times 10^4} = 4921.339 \text{ cm}^4$$

Selon le moment d'inertie obtenu, on choisira un HEB200

Tableau 2.12. Les caractéristiques du profilé HEB 200.

profilé	poids G Kg/m	section A Cm <sup>2</sup>	Dimensions				Caractéristiques			
			h mm	B mm	t <sub>f</sub> mm	t <sub>w</sub> mm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>ply</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> cm <sup>3</sup>
HEB200	61,3	78,1	200	200	15	9	5696	2003	642.5	305.8

#### 2.1.6.4. Vérification de la classe de la section transversale HEB20 :

$$\frac{d}{t_w} = 72\varepsilon \qquad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Avec :

$$* d=134 \text{ mm}$$

$$* t_w=9 \text{ mm}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{t_w} = \frac{134}{9} = 14.89 \\ 72\varepsilon = 72 \sqrt{\frac{235}{235}} = 72 \end{array} \right. \Leftrightarrow \frac{d}{t_w} \leq 72\varepsilon \Leftrightarrow \text{Donc l'âme est de classe I}$$

• Classe de la semelle comprimée :

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} \leq 10\varepsilon$$

Avec :

$$- c=100\text{mm}$$

$$- b=200 \text{ mm}$$

$$- t_f = 15 \text{ mm}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{c}{t_f} = \frac{100}{15} = 6.67 \\ 10\varepsilon = 10 \sqrt{\frac{235}{235}} = 10 \end{array} \right. \Leftrightarrow \frac{c}{t_f} = 7.43 \leq 10\varepsilon \Leftrightarrow \text{donc la semelle est de classe I}$$

Donc la section globale du profilé HEB200 est de classe I.

**2.1.6.5. Vérification du profilé au flambement de la semelle comprimée dans le plan de l'âme :**

$$\frac{d}{t_w} \leq K \times \frac{E}{f_{yt}} \times \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

Avec :

$A_w$ : L'aire de l'âme.

$$A_w = t_w \times (h - 2t_f)$$

$$A_w = t_w \times (h - 2t_f) = 9 \times (200 - 2 \times 15) = 1530 \text{ mm}^2$$

$A_{fc}$  : L'aire de la semelle comprimée

$$A_{fc} = b \times t_f$$

$$A_{fc} = 200 \times 15 = 3000 \text{ mm}^2$$

$f_{yt}$ : La limite élastique de la semelle comprimée.

$$f_{yt} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$k$  : Le coefficient pris égale à 0,3 pour une semelle de classe I

$$\left\{ \begin{array}{l} K \times \frac{E}{f_{yt}} \times \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}} = 0.3 \times \frac{21 \times 10^4}{235} \times \sqrt{\frac{1530}{3000}} = 191.45 \\ \frac{d}{t_w} = \frac{134}{9} = 14.89 < 191.45 \end{array} \right.$$

Donc le profilé HEB200 satisfait la stabilité au flambement de la semelle comprimée.

**• Vérification à l'effort tranchant :**

$$V_{plrd} = \frac{A_v \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{m0}} \quad \text{Art 5.4.6(1) CCM97}$$

$A_v$  : L'aire de cisaillement pour les profilés en H

$$A_v = A - 2b \times t_f + (t_w + 2r) \times t_f$$

$$A_v = 78,1 \times 10^2 - 2 \times 200 \times 15 + (9 + 2 \times 18) \times 15$$

$$A_v = 2485 \text{ mm}^2$$

Alors :

$$V_{plrd} = \frac{2485 \times \left(\frac{235}{\sqrt{3}}\right)}{1.2} = 306.51 \text{ KN}$$

$$V_{Sd} = P_1 = 110,238 \leq 0,5 V_{plrd} = 153,25$$

$$\Rightarrow M_{Sd} \leq M_{c.rd}$$

$$M_{c.rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{642.5 \times 10^3 \times 235}{1.1} = 137.26 \text{ KN.m}$$

$$M_{Sd} = P_2 \times L = 164,0358 \times 10^3 \times 1000$$

$$M_{Sd} = 123,03 \text{ KN.m} < M_{c.rd} = 137,26 \text{ KN.m} \quad \text{OK condition vérifiée}$$

Le profilé du support **HEB 200** résiste au moment plastique de cisaillement.

- **Vérification de la flèche :**

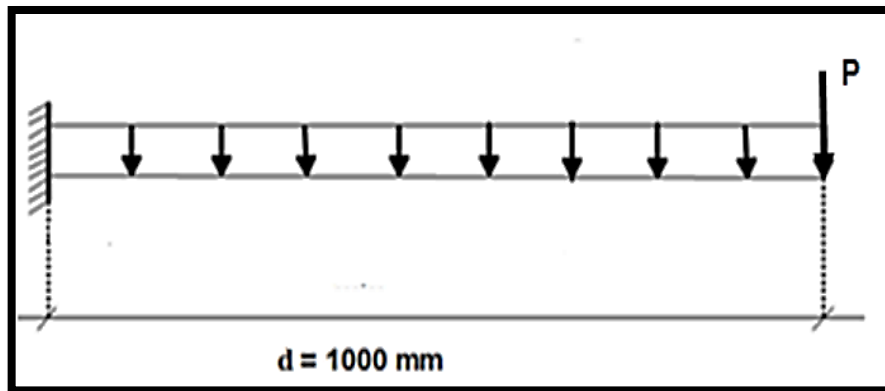


Figure 2.13. Vérification de la flèche

$$f_{max} < f_{adm} = \frac{d}{500} = \frac{1000}{500} = 0.2 \text{ cm}$$

$$f_{max} = \frac{p \times d^3}{3 \times E \times I} = \frac{110.238 \times 10^3 \times 1000^3}{3 \times 21 \times 10^4 \times 5696 \times 10^4} = 1.29 \text{ mm}$$

$$f_{max} = 0,129 \text{ cm} < f_{adm} = 0,2 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad \text{OK} \quad \Rightarrow \quad \text{La condition de la flèche est vérifiée}$$

## 2.2- Pont roulant de portée $L= 14m$

### 2.2.1- Introduction :

Ce chapitre représente le calcul de la voie de roulement d'une halle de 14 m de portée pour halle équipée de pont roulant de 5 T (de puissance),

#### ➤ Définition de pont roulant :

**Le pont roulant** : est un engin de levage mobile circulant sur une voie de roulement.

Il est constitué d'une ou plusieurs poutres sur lesquelles se déplace, transversalement à la voie principale, un chariot de transfert équipé d'un treuil pour le levage de la charge.

**La voie de roulement** : est la structure porteuse de l'engin de levage, constituée de deux poutres de roulement et ses supports, les deux poutres parallèles surmontées d'un rail spécial et sur lesquelles circule le pont roulant.

**La poutre de roulement** : est l'élément porteur longitudinal de la voie, les poutres de roulement sont des poutres simples ou continues. Leurs appuis sont constitués par des poteaux en treilles.

### 2.2.2Caractéristiques de pont roulant :

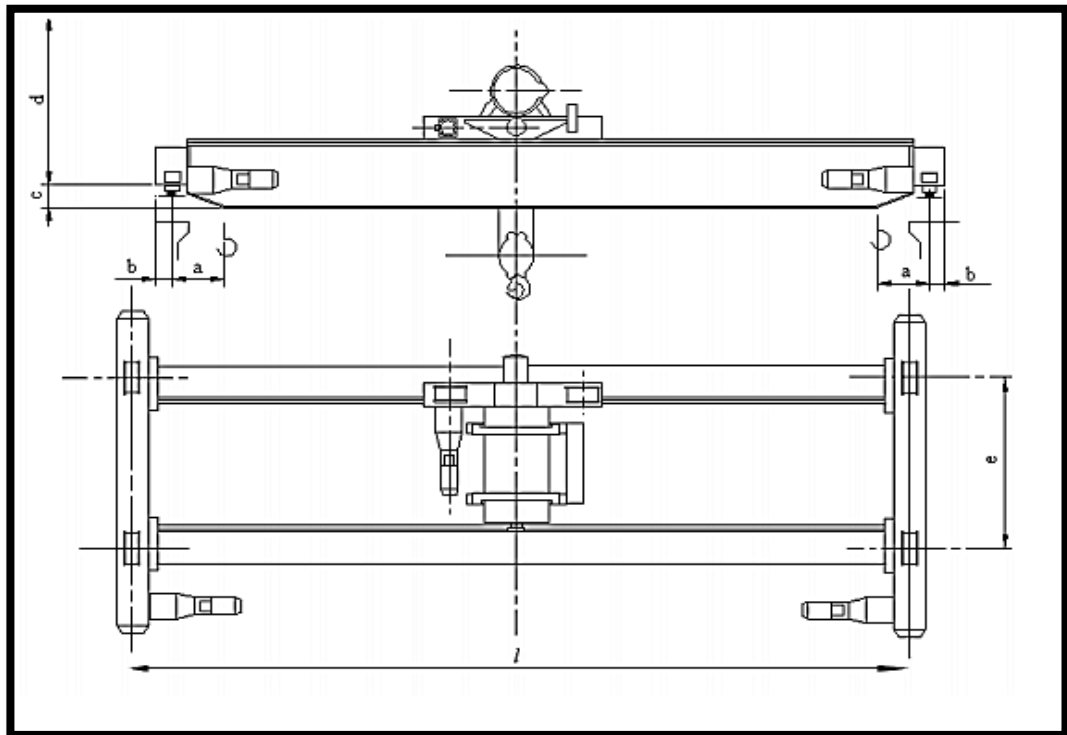


Figure 2.14. Schéma d'un pont roulant de 14m

**Tableau 2 -13 : Dimensions des ponts roulants de 14m**

Puissance (t)	l (m)	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)	e (m)
05	14	1	0,35	0,6	2	3

- ✓ B : Poids du pont et de son équipement.
- ✓ K : Poids du chariot et de son équipement.
- ✓ N : Poids de la charge nominale (puissance du pont).
- ✓  $V_l$  : Vitesse de levage de la charge.
- ✓  $V_d$  : Vitesse de direction du chariot.
- ✓  $V_t$  : Vitesse de translation du pont

**Tableau 2 -14 : Caractéristique du pont roulant équipant le hangar**

Puissance (t)	Portée L(m)	Vitesse (m/min)			Poids (t)		
		Levage	Direction	Translation	Pont B(t)	Chariot K(t)	Charge N(t)
5	15	5	30	80	14,5	5	5

### 2.2.2.1. Classification du pont

- Utilisation régulière au service intermittent >> Pont de classe B.
- Soulèvement des charges moyennes >> état de charge >> Pont de group II.

### 2.2.2.2. Coefficients

Coefficient d'adhérence d'un galet  $C = 0.2$ .

Coefficient de majoration dynamique des réactions verticales :

- Sur le chemin de roulement  $\psi_1 = 1.15$
- Sur le support du chemin de roulement  $\psi_2 = 1.05$ .

### 2.2.3. Etude de la poutre de roulement « PDR »

Les poutres de roulement constituent la partie de la charpente destinée à assurer le déplacement d'un pont roulant, et repose généralement sur les poteaux de portique.

Dans les deux cas les poutres de roulement peuvent être posées soit en travées indépendantes, soit en continuité. Dans notre étude, nous avons opté, pour des travées indépendantes, afin d'avoir des poutres isostatique. Les conditions d'exploitation des poutres de roulements sont caractérisées par les facteurs suivants :

- La surcharge verticale mobile provenant du pont roulant, qui exerce une action dynamique sur la poutre.
- Les galets de roulement du pont produisent de fortes pressions concentrées, qui sont transmises à l'âme de la poutre qui se déforme
- Les forces de freinage latérales provoquent une flexion de la membrure supérieure de la poutre dans le plan horizontal.

### 2.2.3.1. Réactions d'un galet du pont roulant en charge

Charge statique (réaction verticale) :

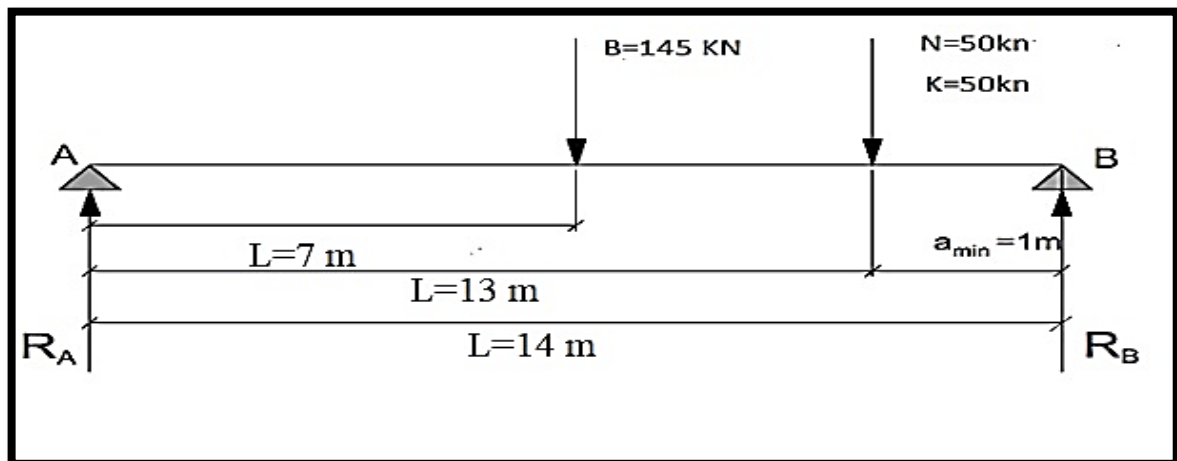


Figure 2.15: Réactions verticales aux galets

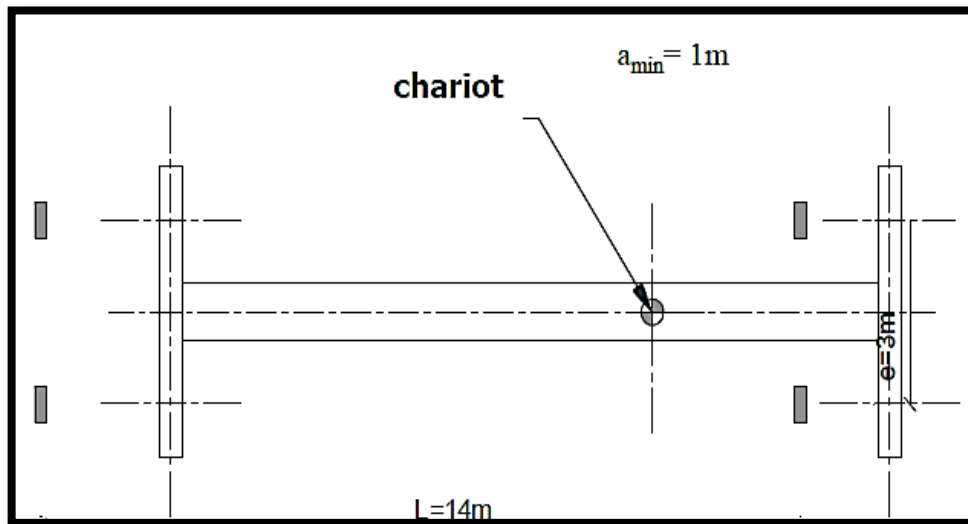


Figure 3.16. Galets

$$\sum M/A = 0 \gg R_B \times L - \left\{ (K + N) \times (L - a_{min}) + B \times \left(\frac{L}{2}\right) \right\} = 0$$

$$R_B = 166,95KN$$

$$R_A = 78,05KN$$

n= nombre de galet par appuis n=4

$$R_{max} = \frac{166,95}{2} = 83,48KN$$

$$R_{min} = \frac{78,05}{2} = 39,03KN$$

### 2.2.3.2. Réaction verticale

- ✓  $R_{Max}$  : Réaction maximale statique (pont immobile)
- ✓  $R_{Min}$  : Réaction minimale statique (pont immobile)
- ✓  $R_{V_{Max}} = R_{Max} \psi_1$  : Réaction maximale dynamique (pont en mouvement)
- ✓  $R_{V_{Min}} = R_{Min} \psi_1$  : Réaction minimale dynamique (pont en mouvement).

### 2.2.3.3. Réaction horizontale longitudinale

$R_{Lmax} = R_{Max} \times C$  : Réaction maximale (pont en freinage).

$R_{Lmin} = R_{Min} \times C$  : Réaction minimale (pont en freinage).

#### 2.2.3.3.1. Réaction horizontale transversale

- **Chariot au milieu du pont**

$$R_{H1max} = \pm \left[ 0,024(N + K + B) \times \frac{L}{e} + 0,02(N + K) \right] / n$$

$$R_{H1max} = 9,35 \text{ KN}$$

$$R_{H1min} = \pm \left[ 0,024(N + K + B) \times \frac{L}{e} - 0,02(N + K) \right] / n$$

$$R_{H1min} = 8,3KN$$

- **Chariot à l'extrémité du pont**

$$R_{H1max} = \pm \left[ 0,0052(N + K + 5B) \times \frac{L}{e} + 0,021(N + K) \right] / n$$

$$R_{H1max} = 7,4KN$$

$$R_{H2min} = \pm \left[ 0,0052(N + K + 5B) \times \frac{L}{e} - 0,021(N + K) \right] / n$$

$$R_{H2min} = 3,65KN$$

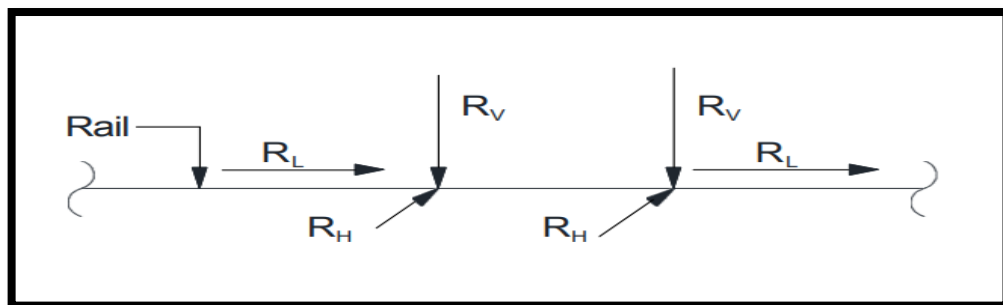


Figure 2.17. Récapitulatif des réactions sur les galets

**Tableau 2.15. Réactions d'un galet en charge.**

Réaction	R(KN)	RV (KN)	RL (KN)	R H1 (KN)	R H2 (KN)
<b>Max</b>	83,48	96,00	33,4	9,35	7,4
<b>Min</b>	39,03	44,88	15,6	8,3	3,65

#### 2.1.3.4. Les charges à considérer

##### 2.2.3.4.1. Charges permanentes

Elle comprend tous les poids propre de tous les éléments constituant le chemin de roulement :

Rail de roulement, poutre verticale de roulement, passerelle, poutre verticale latérale à la console supportant la passerelle.

##### 2.2.3.4.2. Charges roulantes

Toutes les réactions verticales et horizontales des galets de roulement et éventuellement de guidage du pont.

Ces réactions sont fonction de :

- ✓ Poids du pont et son équipement
- ✓ Poids du chariot et son équipement
- ✓ La charge à lever et de ses accessoires

##### 2.2.3.4. Charges mobiles appliqués sur la passerelle

Elles sont dues à la circulation du personnel assurant la manœuvre d'entretien du pont ainsi qu'au poids du matériel nécessaire à la réparation éventuelle

##### 2.2.3.5. Pré-dimensionnement de la poutre de roulement

La flèche admissible est obtenue quand les deux charges sont en position symétrique par rapport au milieu de la poutre.

Limite de la flèche admissible :  $f_{ad} = L/750$

$$f_{ad} = \frac{6}{750} = 8 \times 10^{-3} \text{m} \quad \text{et} \quad f_{\max} = \frac{R_{V\max}(L-e)[3L^2-(L-e)^2]}{48 \times E \times I_y} \leq f_{ad}$$

$$f_{\max} \geq \frac{96 \times (6-3) \times [3 \times 6^2 - (6-3)^2] \times 750}{48 \times 2,1 \times 10^8 \times 6}$$

$$I_y \geq 3,5357 \times 10^{-4} \text{ m}^4 \Rightarrow I_y \geq \mathbf{35357 \text{ cm}^4}$$

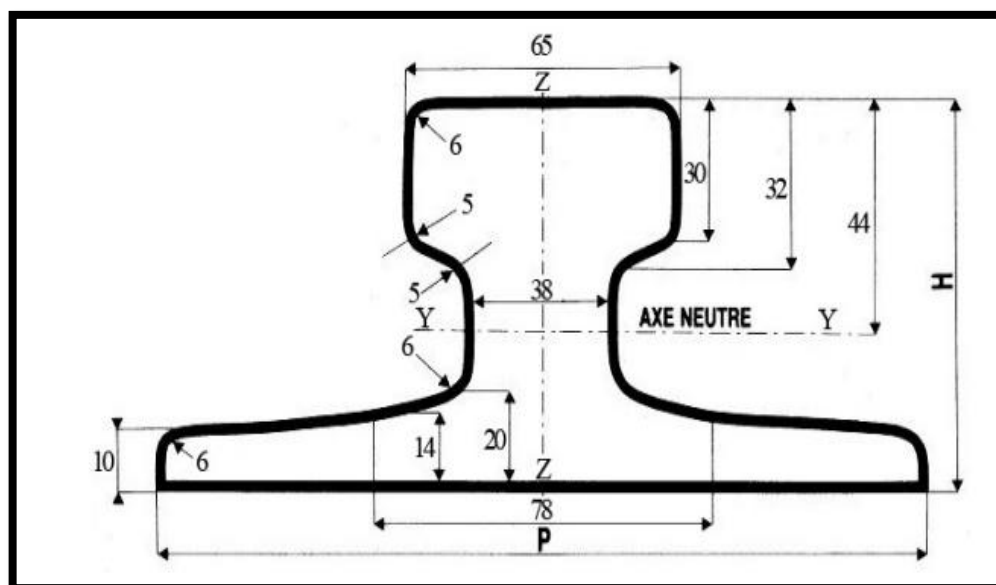
La poutre de roulement choisi est **HEB400**  $I_y = 57680 \text{ cm}^4$  **S235**

**Tableau 2.16 : caractéristiques de profile HEB400**

HEB 400	$I_y$ ( $cm^4$ )	$I_z$ ( $cm^4$ )	$W_{ply}$ ( $cm^3$ )	$W_{plz}$ ( $cm^3$ )	$t_f$ ( $mm$ )	A ( $cm^2$ )	p ( $Kg/ml$ )	h ( $mm$ )	B ( $mm$ )	$t_w$ ( $mm$ )
	57680	10820	3232	1104	19	159	125	390	300	11

### 2.2.3.6. Choix du rail :

Le tableau de surcharges admissible sur les galets nous donne en fonction du diamètre des galets les caractéristiques du rail, on prend comme rail du pont roulant A65.


**Figure 2.18: Caractéristiques géométriques du rail A65**
**Tableau 2. 17. caractéristiques du rail A65**

A6 5	A( $cm^2$ )	P ( $dan/m$ )	$I_y(cm^4)$	$W_y(cm^3)$	$I_z(cm^4)$	$W_z(cm^3)$	K ( $mm$ )	hr ( $mm$ )
	55,4	43,5	327	73,7	609	69,6	65	75

### 2.2.4.1. Vérification de la flèche verticale

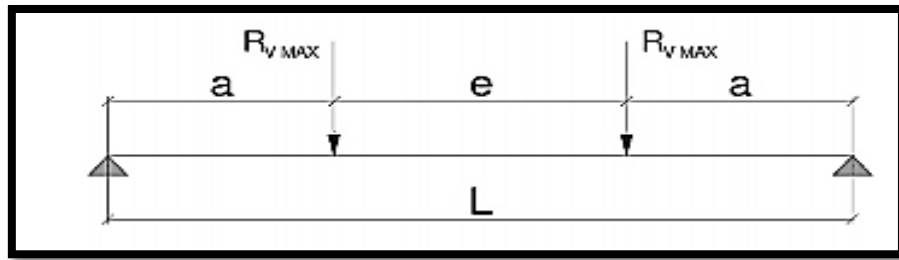
La vérification de la flèche sera faite pour les deux directions (horizontal et verticale).

La flèche maximale sera obtenue en plaçant les deux galets du pont roulant symétriquement par rapport au milieu de la poutre de roulement.

La flèche admissible  $\delta$  max pour un pont roulant de classe B.2 groupe II est égale à  $L/750$  (CTICM)

**a. Vérification de la flèche verticale**

- Le poids propre de la PDR :  $P_p = 1,55 \text{ KN/ml}$
- Le poids du rail :  $P_r = 0,435 \text{ KN/ml}$


**Figure 2.19. Récapitulatif des réactions sur les galets**

$$q = P_p + P_r = 1,985 \text{ KN/ml}$$

$$q = 1,985 \times 6 = 11,91 \text{ KN}$$

1. Charge répartie :

$$f_{1\max} = \frac{5 \times q \times L^4}{384 \times E \times I_y}$$

$$f_{1\max} = \frac{5 \times 11,91 \times 6^4}{384 \times 2,1 \times 10^8 \times 57680 \times (10^{-2})^4} = 1,65 \times 10^{-3} \text{ m}$$

. Charge roulante :

$$f_{2\max} = \frac{R_{v\max}(L-e)(3L^2 - (L-e)^2)}{48 \times E \times I_y}$$

$$f_{2\max} = \frac{96 \times (6-3) \times (3 \times 6^2 - (6-3)^2)}{48 \times 2,1 \times 57680 \times (10^{-2})^4} = 4,90 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Condition à vérifier

$$f_{\max} = f_{1\max} + f_{2\max} \leq f_{\text{ad}}$$

$$f_{\max} = 4,90 \times 10^{-3} + 1,65 \times 10^{-3} = 6,55 \times 10^{-3} \text{ m} \leq f_{\text{ad}} = 8 \times 10^{-3} \text{ m}$$

La flèche verticale est vérifiée

**2.2.4.2 Vérification de la flèche horizontale**

$$f_{\max} = \frac{R_{H1 \max} (L - e)(3L^2 - (L - e)^2)}{48 \times E \times I_{se}}$$

$I_{se}$ . Inertie de la semelle supérieure de la PDR/y. Puisque l'axe y-y est un axe de symétrie, on peut donc écrire que:

$$I_{se} = \frac{t_f \times b^3}{12} = \frac{1.9 \times (30)^3}{12} = 247 \text{ km}^4 = 0.2475 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$f_{max} = \frac{R_{H \max} (L - e)(3L^2 - (L - e)^2)}{48 \times E \times I_{se}} = \frac{10.71 \times (6 - 3) \times (3 \times (6)^2 - (6 - 3)^2)}{48 \times 2.1 \times 10^8 \times 0.2475 \times 10^{-4}}$$

$$f_{\max} = 0.001275 \text{ m} < \frac{l}{750} = 0.008 \text{ m}$$

La flèche horizontale est vérifiée

## 2.2.5. Détermination des efforts :

### 2.2.5.1 Calcul des sollicitations internes

Comme indiqué au paragraphe tançons de 6m de long supportés par deux appuis (isostatique)

### 2.2.5.2. Calcul du moment fléchissant maximum

#### 2.2.5.2.1. Moment dû aux charges mobiles :

Le moment fléchissant maximum dû aux charges mobile Théorème de BARRE est défini comme suite :

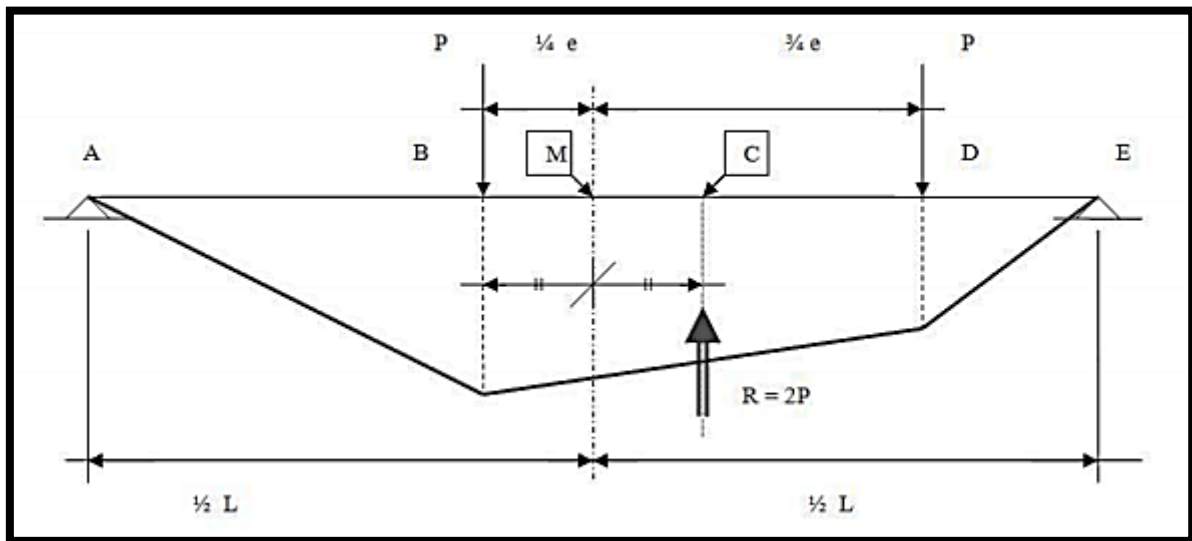


Figure 2.20. Théorème de BARRE

$$M_{y\max} = R_{v\max} \cdot \frac{\left(L - \frac{e}{2}\right)^2}{2L} = 162 \text{ kN.m (obtenu au point E)}$$

$$M_{z\max} = R_{H1\max} \cdot \frac{\left(L - \frac{e}{2}\right)^2}{2L} = 15.77 \text{ kN.m (obtenu au point E)}$$

#### 2.2.5.2.2. Moment dû au poids propre du chemin de roulement

Le moment maximum dû au poids propre du chemin de roulement sera déterminé en /considérant le poids de la poutre de roulement ainsi que le poids du rail.

$$q = P_p + Pr$$

$$q = 1.55 + 0.435 = 1.985 \text{ KN/m}$$

$$M_{q \text{ max}} = \frac{q \times L^2}{8}$$

$$M_{q \text{ max}} = \frac{1.985 \times 6^2}{8} = 8.932 \text{ kn.m}$$

### 2.2.5.2.3. Moments combinés pondérés:

$$M_{y.sd} = 1.35 \times M_{q \text{ max}} + 1.5 \times M_{y \text{ max}}$$

$$M_{y.sd} = 1.35 \times (8.932) + 1.5 \times (25054) = 38787 \text{ KN.m}$$

$$M_{z.sd} = 1.5 \times M_{z \text{ max}}$$

$$M_{z.sd} = 1.5 \times (18.1) = 27.15 \text{ KN.m}$$

### 2.2.5.3. Calcul de l'Effort tranchant maximum :

#### 2.2.5.3.1. Effort tranchant dû aux charges mobiles

L'effort tranchant maximum dû aux charges mobiles est obtenu en plaçant ces charges le plus proche possible des appuis.

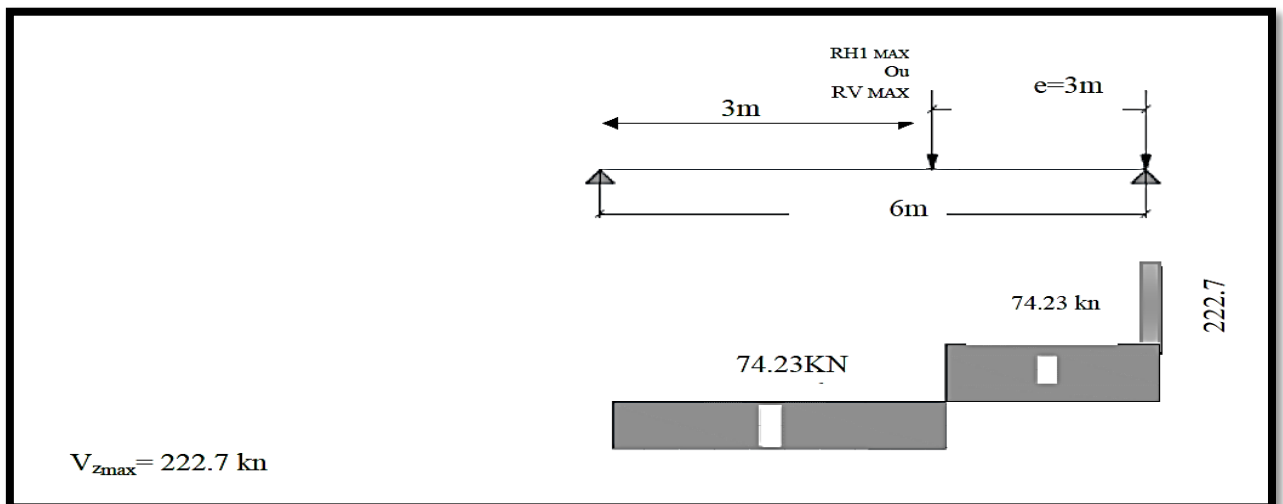


Figure2.21. l'Effort tranchant maximum

$$y_{y \text{ max}} = \frac{y_{z \text{ max}}}{R_{v \text{ max}}} \times R_{H1 \text{ max}}$$

$$V_{y \text{ max}} = \frac{222.7}{148.465} \times 10.71$$

$$V_{y \text{ max}} = 16.06 \text{ KN}$$

Effort tranchant dû au poids propre du chemin de roulement

$$V_{q \max} = \frac{q \times L}{2} = \frac{1.985 \times 6}{2} = 5.955 \text{ KN}$$

**2.2.5.3.2. Efforts tranchants combinés pondérés :**

$$V_{z.sd} = 1.35 \times V_{qmax} + 1.5 \times M_{zmax}$$

$$V_{z.sd} = 1.35 \times (5.955) + 1.5 \times (222.7) = 342.1 \text{KN}$$

$$V_{y.sd} = 1.5 \times V_{ymax}$$

$$V_{y.sd} = 1.5 \times (16.06) = 24.1 \text{KN}$$

**2.2.5.3.3. Calcul de l'Effort normal maximum :**

Les charges horizontales longitudinales du aux effets du freinage du pont roulant impliqueront dans la poutre la poutre de roulement un effort normal de compression

$$N_{sd} = 1.5 \times 2 \times R_{LReject}$$

$$N_{sd} = 1.5 \times 2 \times 25.52 = 77.4 \text{kn}$$

**2.2.5.3. Vérification de la flexion bi-axiale composée**

Les éléments à section transversale sollicités en flexion bi-axiale et en compression axiale doivent satisfaire les deux conditions suivantes :

**2.2.5.3.1. Calcul de classe de HEB400:**

- L'âme:  $d/t_w = 298/13.5 = 22.074 \leq 72\xi \rightarrow$ classe I
- Semelle :  $c/t_f = 117.5/24 = 4.89 \leq 10\xi \rightarrow$ classe I
- Donc: le profile HEB400 EST de classe I

**2.2.5.4. Vérification de la section transversale:**

**2.2.5.4.1. Incidence de l'effort tranchant avec le moment fléchissant:**

$$V_{zsd} \leq 0.5V_{pl.rdz}$$

$$y_{pT.rdz} = A_{vz} \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma'_{m0}}$$

$$V_{pl.rdz} = [69.98 \times 10^2 \times \frac{235}{\sqrt{3}}] / 1.1 = 863.15 \text{kn}$$

$$V_{pl.rdz} = 342.1 \text{ KN} \leq 0.5 \times 863.15 \text{ KN} = 431.575$$

Il n'y a pas d'interaction entre le moment fléchissant et l'effort tranchant.

### 2.2.5.4.2. Incidence de l'effort normal:

$$N_{plz.rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = 197.8 \times 10^2 \times 235 = 4225.727 \text{ kn}$$

$$N_{sd} = 77.46 \text{ kn} \leq 0.25 N_{plzrd} = 1056431 \text{ kn}$$

$$N_{sd} = 77.46 \text{ kn} \leq 0.5 \times A_w \times f_y = 0.5 \times 197.8 \times 10^2 - (2 \times 300 - 24) \times 235 = 574.68$$

Les deux conditions sont vérifiées alors il n'y a pas d'interaction entre le fléchissant et l'effort normal

### 2.2.5.5. Vérification de l'élément aux instabilités

#### 2.2.5.5.1. Flambement par rapport à y - y:

$$\lambda_y = \frac{l_y}{I_y} = \frac{6}{17.08 \times 10^{-2}} = 35.13$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_v}{\lambda_1} = 0.3763513939$$

Courbe de flambement

$$\frac{h}{b} = \frac{400}{300} = 1.33 \geq 1.2400300$$

$$t_f = 24 \text{ nm} < 40 \text{ mm} \Rightarrow \text{axe de flambement } y - y \Rightarrow \text{courbe } a = \alpha = 0.21$$

$$\theta_y = 0.51 + 0.21 \times (0.376 - 0.2) + (0.376)^2 = 0.59$$

$$\chi_y = \frac{1}{0.59 + [0.59^2 - 0.376^2]^{0.5}} = 0.96$$

#### 2.2.5.5.2. Flambement par rapport à z - z:

$$\lambda_z = \frac{l_z}{I_z} = \frac{6}{7.40 \times 10^{-2}} = 81.1$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_v}{\lambda_1} = \frac{81.1}{93.9} = 0.864$$

Courbe de flambement

$$\frac{h}{b} = \frac{400}{300} = 1.33 \geq 1.2$$

$$t_f = 24 \text{ nm} < 40 \text{ mm} \Rightarrow \text{axe de flambement } z - z \Rightarrow \text{courbe } b = \alpha = 0.34$$

$$\theta_z = 0.5[1 + 0.34 \times (0.864 - 0.2) + (0.864)^2] = 1$$

$$\chi_z = \frac{1}{1 + [1^2 - 0.864^2]^{0.5}} = 0.665$$

$$\chi_{min} = \min[\chi_y, \chi_z] = [0.9, 0.665] = 0.665$$

**2.2.5.5.3. Détermination des coefficients \*,  $K_{LT}$ ,  $K_Z$ :**

$$\beta_{mz} = 1.4, \beta_{my} = 1.4$$

$$\mu_z = 0.864 \times [2 \times 1.4 - 4] + \left[ \frac{1104 - 721.3}{721.3} \right] = -0.51$$

$$K_Z = 1 - \left[ \frac{-0.51 \times 77.46}{0.665 \times 1978 \times 10^2 \times 235 \times 10^{-3}} \right] = 1.013$$

$$\mu_{Lt} = 0.15 \times 0.864 \times 1.4 - 0.15 = 0.031$$

$$K_{Lt} = 1 - \left[ \frac{0.031 \times 77.46}{0.665 \times 197.8 \times 10^2 \times 235 \times 10^{-3}} \right] = 1$$

$$\mu_y = 0.376 \times [2 \times 1.4 - 4] + \left[ \frac{3232 - 2884}{2884} \right] = -0.330$$

$$q = 1 - \left( \frac{-0.330 \times 77.46}{0.96 \times 1978 \times 10^2 \times 235 \times 10^{-3}} \right) = 1$$

**2.2.5.5.4. Détermination du coefficient de réduction pour le déversement  $\chi_{Lt}$ ,**

$$c_1 = 1.046$$

$$\overline{\lambda}_{Lt} = \frac{\lambda_{Lt}}{\lambda_1} = \frac{65.22}{93.9} = 0.7 > 0.4 \Rightarrow \text{il y a risque de déversement}$$

$\alpha_{Lt} = 021$  Profilé laminé

$$\varphi_{Lt} = 0.5 \times (1 + 0.21 \times (0.7 - 0.2) + 0.7^2) = 0.8$$

$$\chi_{Lt} = \frac{1}{0.8 + (0.8^2 - 0.7^2)^{0.5}} = 0.842 < 1$$

**2.2.6. Vérification de la flexion composée avec risque de flambement:**

$$\frac{77.46}{(0.665 \times 197.8 \times 10^{-4} \times 235 \times 10^3) / 1.1} + \frac{1 \times 387.87}{(3232 \times 10^{-6} \times 235 \times 10^3) / 1.1} + \frac{1.013 \times 27.15}{(1104 \times 10^{-6} \times 235 \times 10^3) / 1.1} = 0.678$$

La flexion composée avec risque de flambement est vérifiée

Vérification de la flexion composée avec risque de déversement:

$$\frac{77.46}{(0.665 \times 197.8 \times 10^{-4} \times 235 \times 10^3) / 1.1} + \frac{1 \times 387.87}{(0.842 \times 3232 \times 10^{-6} \times 235 \times 10^3) / 1.1} + \frac{1.013 \times 27.15}{(1104 \times 10^{-6} \times 235 \times 10^3) / 1.1} = 0.8$$

La flexion La flexion composée avec risque de déversement est vérifiée

**2.2.6. Vérification du cisaillement**

**2.2.6.1. Cisaillement sous l'effet de la charge horizontale:**

$$V_{vsd} \leq V_{plrdv}$$

$$A_{\gamma y} = A - A_{vz} = (197.8 - 69.98) \times 10^2 = 127.82 \times 10^2 \text{mm}^2$$

$$y_{pl.rdy} = A_{vy} \times \left( \frac{f_1/\sqrt{3}}{\gamma_{m0}} \right)$$

$$24.1 \text{KN} \leq \frac{127.82 \times (23y\sqrt{3}) \times 10^2}{1.1} = 157657 \text{KN}$$

$$V_{y\text{sd}} \leq V_{pT.rdy} \Rightarrow \text{c'est V\u00e9rifi\u00e9}$$

### 2.2.6.2. Cisaillement sous l'effet de la charge verticale:

$$V_{z\text{sd}} \leq V_{pT.rdz}$$

$$y_{pL.rdz} = A_{vz} \times \left( \frac{f_y/\sqrt{3}}{\gamma_{m0}} \right)$$

$$119.39 \text{KN} \leq 863.15 \text{KN}$$

$$V_{z\text{sd}} \leq V_{pT.rdz} \Rightarrow \text{C'est V\u00e9rifi\u00e9}$$

### 2.2.6.3. Calcul du support du chemin de roulement:

- Pr\u00e9 dimensionnement du support:

Pour le support du chemin de roulement nous choisissons le profil\u00e9 HEA400

$P_c$  : Poids propre de HEA400 u

$$P_c = 1.25 \text{kn/ml}$$

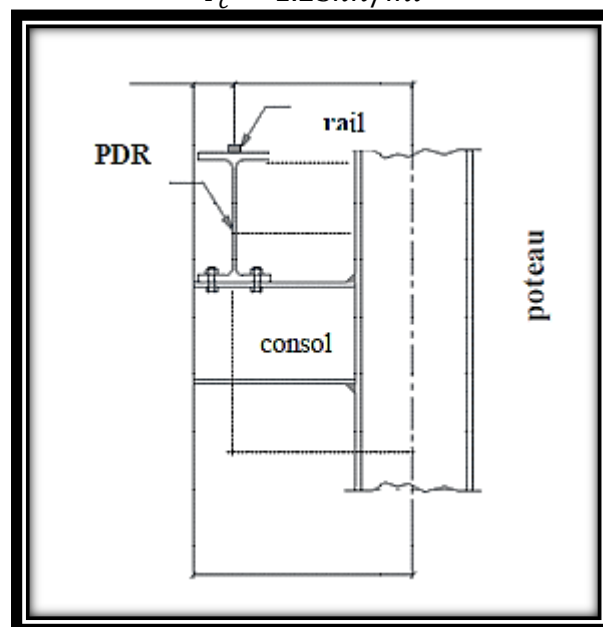


Figure 2.22 d\u00e9tails support du chemin de roulement

### 2.2.6.4. Poids propre du chemin de roulement $p_{cr}$ :

$$P_{Cr} = q \times \frac{L}{2}$$

$q$ : Le poids propre de la poutre + rail de roulement 0.170

$L$ : La longueur de la travée du chemin de roulement

$$P_{Cr} = 1.985 \times \frac{6}{2} = 5.955kn$$

Charges verticales:

$$P_{v \max} = 2 \times 148.465 \times \left(\frac{6 - 1.5}{6}\right) = 222.7kn$$

Charges horizontales:

$$P_{H \max} = 2 \times R_{L \max} = 2 \times 25.82 = 51.64kn$$

### 2.2.6.5. Calcul des sollicitations internes:

#### 2.2.6.5.1. Sous charges vertical:

$$M_{y1} = P_{cr} \times l + \frac{P_{Cr} \times l^2}{2}$$

$$M_{y1} = 5.955 \times 0.5 + \frac{1.25 \times 0.67^2}{2}$$

$$M_{y1} = 3.26kn.m$$

$$V_{z1} = P_c + P_c \times l$$

$$V_{z1} = 5.955 + 1.25 \times 0.67 \quad V_{z1} = 6.8kn$$

$$M_{y2} = P_{T \max} \times l$$

$$M_{y2} = 2227 \times 0.5$$

$$M_{y2} = 111.35kn.m$$

$$V_{z2} = P_{I \max} = 222.7kn$$

#### 2.2.6.6. Effort combines pondérés :

$$M_{vsd} = 1.35M_{y1} + 1.5M_{y2} = 171.42kn.m$$

$$V_{zsd} = 135V_{z1} + 15V_{z2} = 34323kn$$

- Sous charges horizontales:

$$M_{z2} = P_{H \max} \times l = 5164 \times 05 = 2582kn.m$$

$$V_{y2} = P_{H \max} = 51.64kn$$

- Efforts combinés pondérés:

$$M_{z2} = 1.5 \times M_{z2} = 38.73 \text{ kn.m}$$

$$V_{zsd} = 15 \times V_{z2} = 7746 \text{ kn}$$

· Vérification de la flexion déviée (flexion bi axiale)

$$\left(\frac{M_{y.sd}}{M_{ply.rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z.sd}}{M_{pl.rd}}\right)^\beta \leq 1$$

$$\beta = \alpha = 1$$

$$M_{plz.rd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{872.9 \times 10^{-6} \times 235 \times 10^3}{11} = 186.48 \text{ KN.m}$$

$$M_{ply.rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{2562 \times 10^{-6} \times 235 \times 10^3}{11} = 547.34 \text{ KN.m}$$

$$\frac{171.426}{547.34} + \frac{38.73}{186.48} = 0.521 \leq 1 \text{ C'est Vérifié}$$

### 2.2.6.7. Vérification du déversement:

#### 2.2.6.7.1. Classification de la console:

**Ame fléchie**

$$\frac{d}{t_w} = \frac{298}{11} = 27.1 \leq 72\varepsilon = 72$$

L'âme est de classe 1

**Paroi en compression:**

$$\frac{c}{t_f} = \frac{150}{19} = 7.89 \leq 10\varepsilon = 10 \Rightarrow \text{La semelle est de classe 1}$$

➤ HEA400 est de classe 1

$$\frac{M_{y.sd}}{\chi_{Lt} \times \beta_w \times W_{ply} \times \frac{f_y}{\gamma_{m1}}} + \frac{M_{zsd}}{W_{p,z} \times \frac{f_y}{\gamma_{m1}}} \leq 1$$

$\beta_w = 1$  La section est de classe 1

$$c_1 = 1.88$$

$$\lambda_{Lt} = \frac{0.67 \times 10^3 / 7.34 \times 10}{(1.88)^{0.5} \times \left(1 + \frac{1}{20} \times \left(\frac{0.67 \times 10^3 / 7.34 \times 10}{390/19}\right)^2\right)^{0.25}} = 6.64$$

$$\lambda_1 = 93.9 \times \varepsilon = 93.9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_{Lt}}{\lambda_1} \times [\beta_w]^{0.5}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{6.6.4}{939} \times [1]^{0.5} = 0.071$$

$\alpha_{Lt} = 021$  Profilé laminé

$$\varphi_{Lt} = 0.5 \times (1 + 0.21 \times (0.071 - 0.2) + (0.071)^2) = 0.49$$

$$\chi_{Lt} = \frac{1}{0.49 + (0.49^2 - 0.071^2)^{0.5}} = 1.026$$

$$\frac{171.426 \times 10^6}{1.026 \times 1 \times 2562 \times 10^3 \times \frac{235}{1.1}} + \frac{3.8.82 \times 10^6}{8729 \times 10^3 \times \frac{235}{1.1}} = 0.51 \leq 1$$

Le déversement est vérifié

### 2.2.6.8. Vérification de la flèche

#### 2.2.6.8.1. Sous charges verticales:

Charge de  $P_{v \max}$  et  $P_{cr}$

$$(P_{T \max} + P_{cr}) \times \frac{l^3}{3 \times E \times I_y} < \frac{l}{750}$$

$$\frac{(222.7 + 5.955) \times 0.5^3}{3 \times 2.1 \times 10^8 \times 45070 \times 10^4} = 10^{-16} m < \frac{0.68}{750} = 0.000966 m$$

#### .Charge du poids propre de HEA400:

$$\frac{5 \times q \times l^3}{384 \times E \times I_y} = \frac{5 \times 1.25 \times 0.67 \times 0.67^3}{384 \times 21 \times 10^8 \times 45070 \times 10^4} = 3.465 \times 10^{-20} \text{ Sous charge horizontale}$$

$$\frac{P_{H \max} \times l^3}{3 \times E \times I_z} < \frac{l}{750}$$

$$\frac{51.64 \times 0.5^3}{3 \times 2.1 \times 10^8 \times 8564 \times 10^4} = 1.19 \times 10^{-16} m < \frac{0.68}{750} = 0.000966 m$$

⇒ La Flèche est vérifiée

**2.2.6.8.2. Vérification du cisaillement:**

$$V_{sd} < V_{pl.rd} = A_v \times \frac{(f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{m0}}$$

$$A_{vy} = A - V_{vz}$$

$$A_w = (159 - 65.78) \times 10^2 = 9322 \text{ nm}^2$$

$$y_{sdy} = 233.235 \text{ kn} \leq \frac{65.78 \times 10^2 \times \left(\frac{235}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = 811350 \text{ N} = 811.35 \text{ KN}$$

$$y_{sdy} = 343.5 \text{ kn} \leq \frac{159 \times 10^2 \times (235/\sqrt{3})}{1.1} = 1961153 \text{ N} = 1961.15 \text{ N}$$

Le cisaillement est vérifié.

**Chapitre 3 :**  
**Effet du pont roulant sur le comportement  
des portiques métalliques**

## **Chapitre 3 :**

# **Effet du pont roulant sur le comportement des portiques métalliques**

### **3.1- Introduction**

Dans ce chapitre, nous étudierons l'effet du pont roulant sur le comportement des portiques métalliques. L'aide d'un programme de simulation numérique appelé **ANSYS**. Ensuite nous comparons les diagrammes de moment fléchissant et de l'effort tranchant et l'effort normale pour un portique métallique de 16 m sans pont roulant avec le même portique avec un pont roulant de puissance de 5t avec une charge totale 8t. Arriver à un résultat général sur l'effet du pont roulant sur le comportement des portiques métalliques.

### **3.2- Présentation du Logiciel ANSYS**

ANSYS est un logiciel de simulation numérique FEM leader de son marché utilisé dans le développement de produits industriels. Il couvre toutes les étapes nécessaires à une: simulation le traitement géométrique, le maillage, la résolution, le traitement de résultats et l'optimisation. ANSYS offre une plateforme de calcul multi-physique intégrant la mécanique des fluides et des structures, l'électromagnétisme, la thermique ainsi que la simulation de systèmes et de circuits.

ANSYS, créé en 1970 aux Etats-Unis, est un code éléments finis d'usage général dédié à la résolution numérique d'une large variété de problèmes physique en général et de mécanique en particulier. Ces problèmes portent notamment : analyse structurale en statique et en dynamique (linéaire et non linéaire), transfert de chaleur, dynamique des fluides, acoustique, électromagnétique.

Pour mener notre étude par modalisation numérique, on a utilisé le logicielle numérique ANSYS, ce logicielle comprend plusieurs composantes telles que : ANSYS/Professionnel, ANSYS/ Multiphysics...etc. Chaque composante est destinée à l'un des domaines d'ingénierie, et son choix met automatiquement à la disposition de l'utilisateur les processus adéquats (type d'élément, conditions à limites, tracées...etc.). Dans notre analyse, on a utilisé les modules structural dans ANSYS/ Multiphysics, qui permet de traiter la majorité des problèmes de mécanique. Il offre des outils puissants pour l'analyse en deux et trois dimensions, On trouve dans le manuel d'aide de « ANSYS » toutes les instructions qui permettent son exploitation à travers son interface utilisateur graphique "Graphical User Interface" ainsi que toute la documentation nécessaire. De nombreux processus de calcul sont disponibles dans ce code et chaque processus est une sorte d'ensemble de fonctions qui effectuent une tâche spécifique.

De façon générale, une résolution par éléments finis comporte trois étapes :

Préparation des données ou Pré-processing :

définir le problème ; les étapes majeures sont données ci-dessous :

- ❖ Définition des points clés (keypoints) /lignes/surfaces/volumes ;

- ❖ Définir le type d'élément fini, ses propriétés géométriques et les propriétés physiques des matériaux
- ❖ Maillage des lignes /surfaces/volume si cela est requis.

Les données nécessaires dépendent évidemment de là de la dimension du problème. (1D, 2D, axisymétrique, 3D).

Traitement ou Processing : assigner les charges, contraintes (conditions aux limites) et résolution ; on spécifie notamment la nature des charges (localisées et/ou distribuées), contraintes ou conditions aux limites (translation et rotation) et, finalement, on résout le système d'équations.

Post-processing : analyse et visualisation des résultats ; lors de cette étape, on peut examiner :

- ❖ La liste des déplacements nodaux ;
- ❖ Les forces et des moments au niveau des éléments ;
- ❖ Tracé des Déformées ;
- ❖ Tracé des Iso contours des contraintes.

### 3.2.1 Définition de l'ANSYS

Avant de commencer, il est indispensable de présenter la fenêtre du logiciel ANSYS :

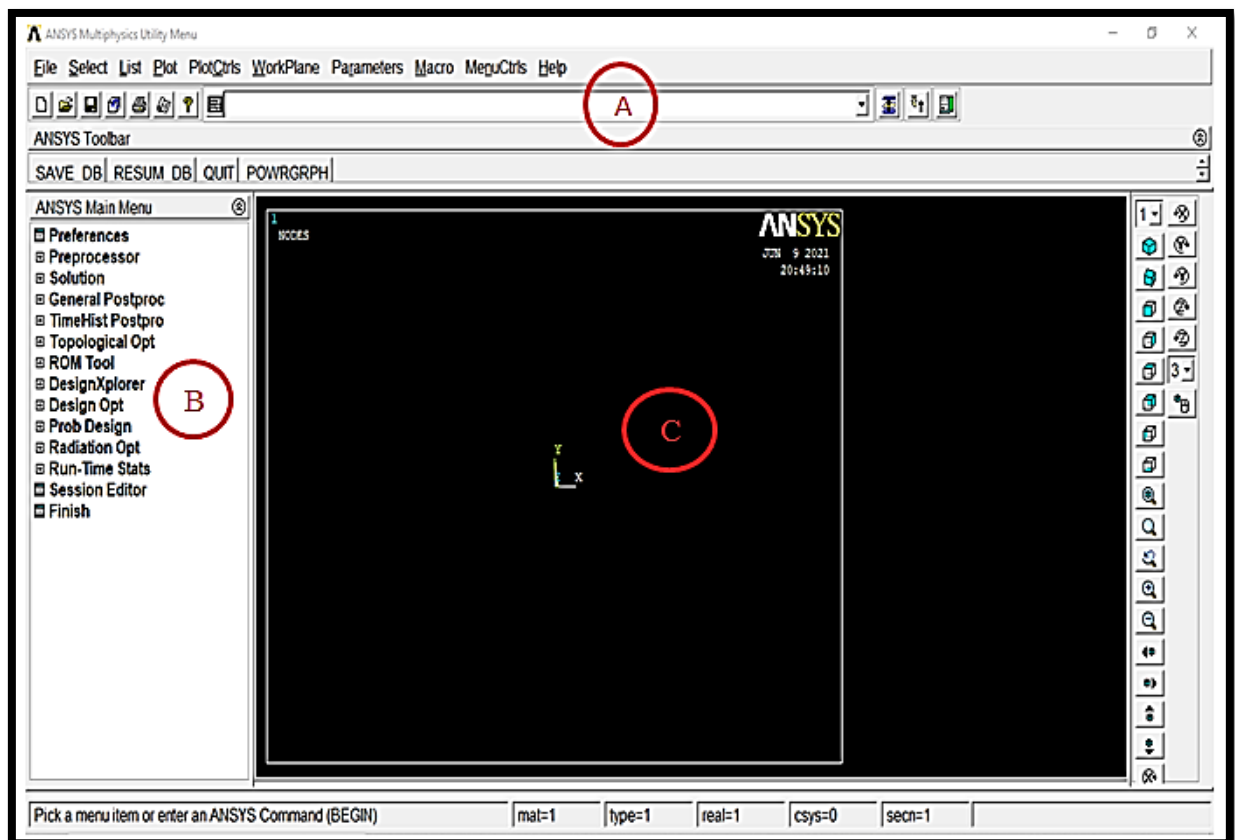


Figure1.3 Fenêtre du logiciel ANSYS

(A) Utility Menu : contient des fonctions comme les contrôles des fichiers des sélections, des graphiques et des paramètres.

(B) Main Menu : contient les fonctions de base de Ansys comme Preprocessor, Solution, General Postprocessor et autres c'est-à-dire la majorité des fonctions de modélisation.

(C) Fenêtre graphique : est l'endroit où le graphique est affiché, où la sélection du graphique est possible, où on peut voir le modèle dans ses différentes étapes de construction et là où on peut afficher les résultats de l'analyse.

### 3.2.1 - Titre

Il s'agit de nommer le fichier.

Dans l'Utility Menu, cliquer sur File > Change title : (**Portique-avec pont roulant**) par exemple.

Il est très important d'enregistrer le travail à chaque étape de sa création. Pour enregistrer le modèle :

Dans l'Utility Menu, cliquer sur File > Save as Jobname.db

Le fichier sera enregistré sous le nom de « Jobname.db » et pour le mettre à jour, il suffit de cliquer sur Save.

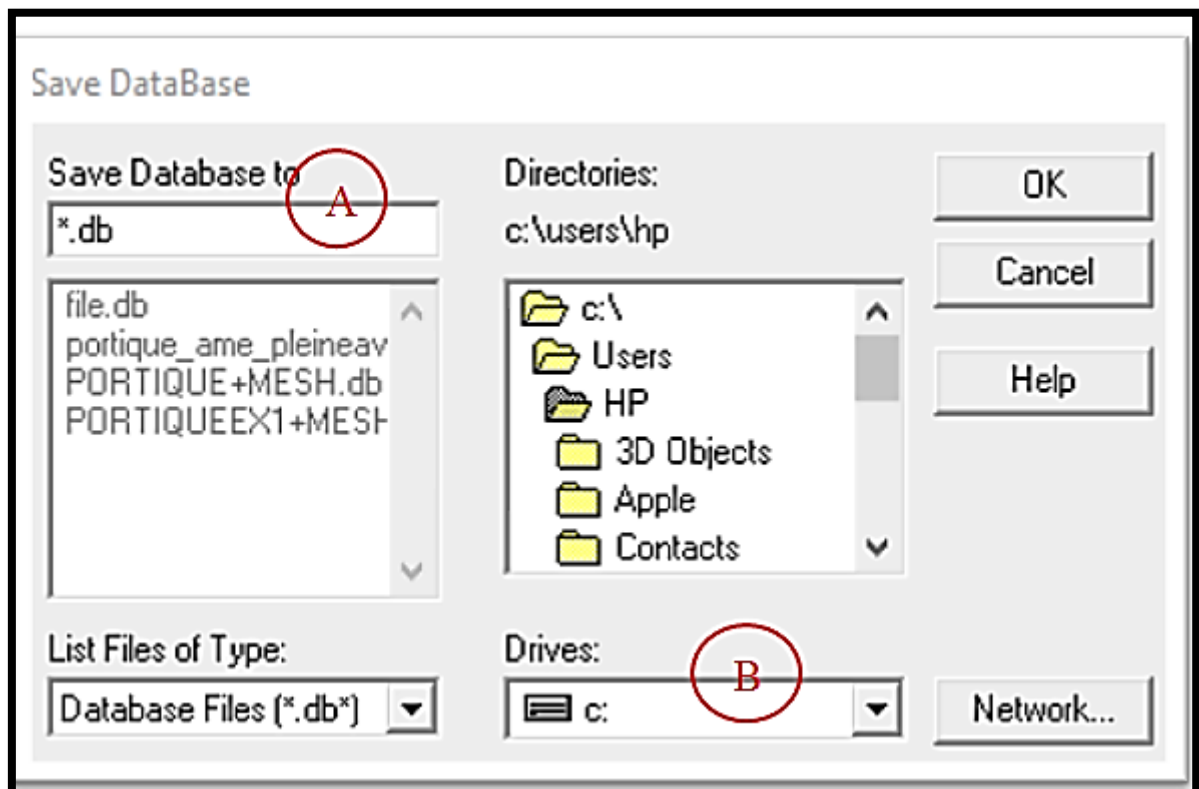


Figure 2 – Enregistrer dans Ansys.

(A) Donner le Jobname.db.

(B) La partition du disque où l'on enregistre le fichier.

Remarque :

- Il est indispensable de spécifier à l'avance la méthode : dans Main Menu > Préférence > h – method ou p – method.

- A l'avance, nous devons spécifier les unités à utiliser pendant la modélisation : dans Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Library > Select Units.

### 3.2.2 – Définir les éléments :

Comme le titre l'indique, il s'agit de définir les types d'éléments finis à utiliser.

Dans Main Menu > Preprocessor > Elément Type > Add/Edit/Delete > Choisir les éléments LINK1 et BEAM3

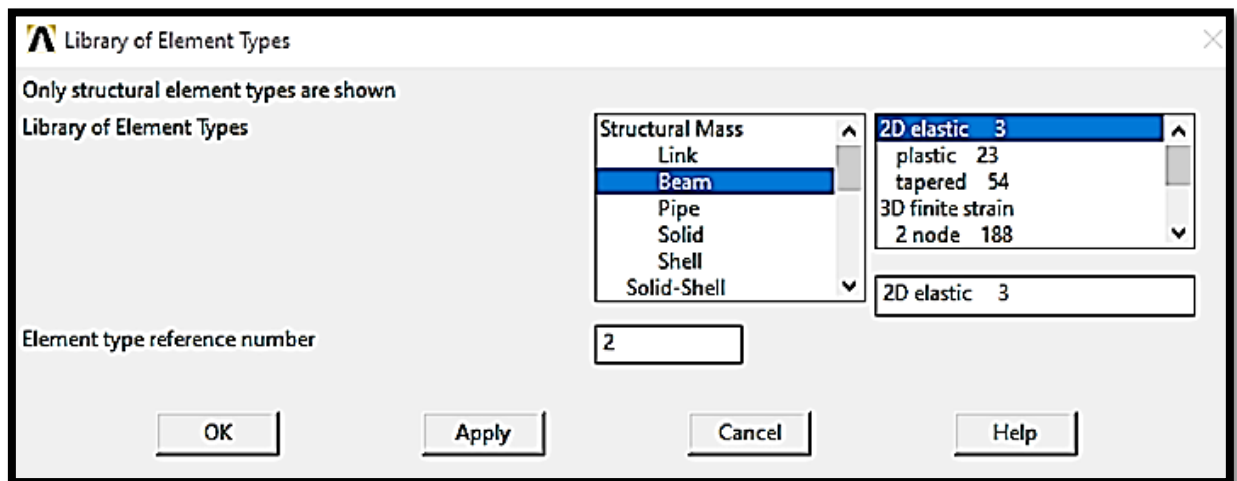


Figure 3 Définition des types d'éléments.

### 3.2.3 – Définition Real Constants :

Dans Main Menu > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete > OK.

Des successions de fenêtres apparaissent et on doit définir les caractéristiques géométriques des profilés utilisés.

### 3.2.4 – Propriétés des matériaux :

On définit la courbe de comportement de chaque matériau constituant le modèle dans le domaine linéaire ainsi que dans le modèle non linéaire.

Pour définir le comportement d'un matériau dans le domaine linéaire :

Main Menu > Preprocessor > Material Props (Material properties) > Material Models > Double cliquer sur Structural > Linear > Elastic > Isotropic.

On définit les propriétés de chaque matériau, par exemple :

- Matériau 1 :  $E = 210000000$  (Module d'élasticité)
- $\nu = 0.3$  (Coefficient de Poisson)

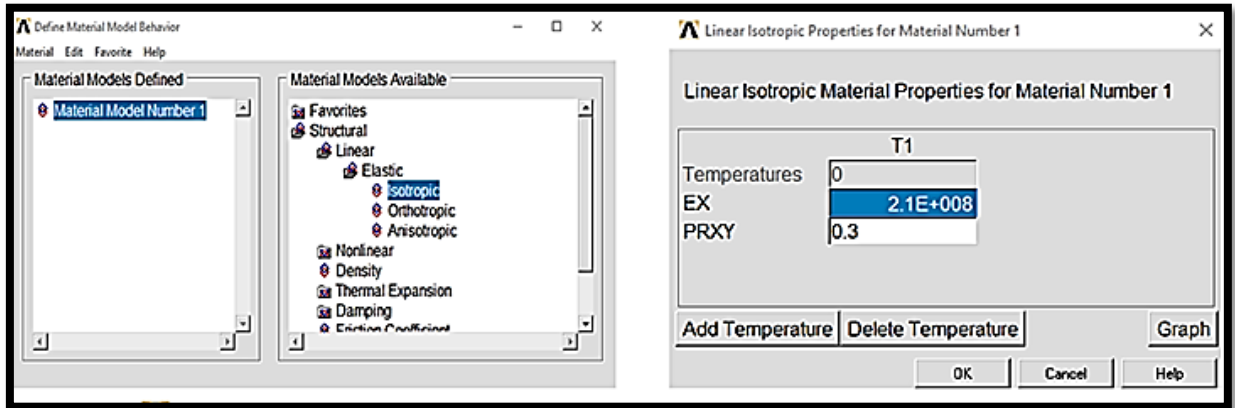


Figure 4 Définition des propriétés d'un matériau dans le domaine linéaire

### 3.2.5 – Création de la géométrie du modèle :

D'une manière générale, la géométrie du modèle est constituée par un ensemble de lignes.. Cela revient à dire qu'on doit les dessiner l'une après l'autre et ainsi de suite.

Dans Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > in active C S > OK

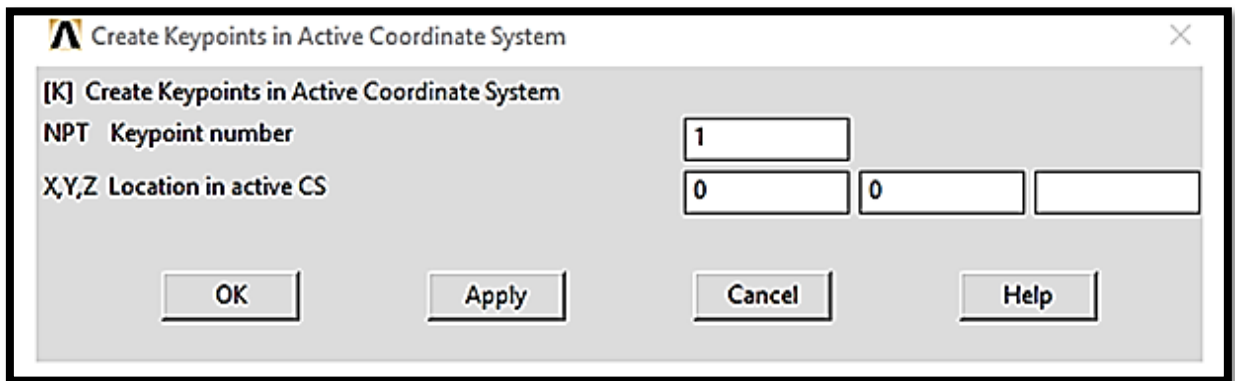


Figure3.5 Création de la géométrie du modèle

Tableau 3.1. Key points géométriques du portique avec pont roulant

Key point		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cordonnés	X	0	0	0	8	16	16	16	1	15
	Y	0	4.5	6	7.5	6	4.5	0	4.5	4.5

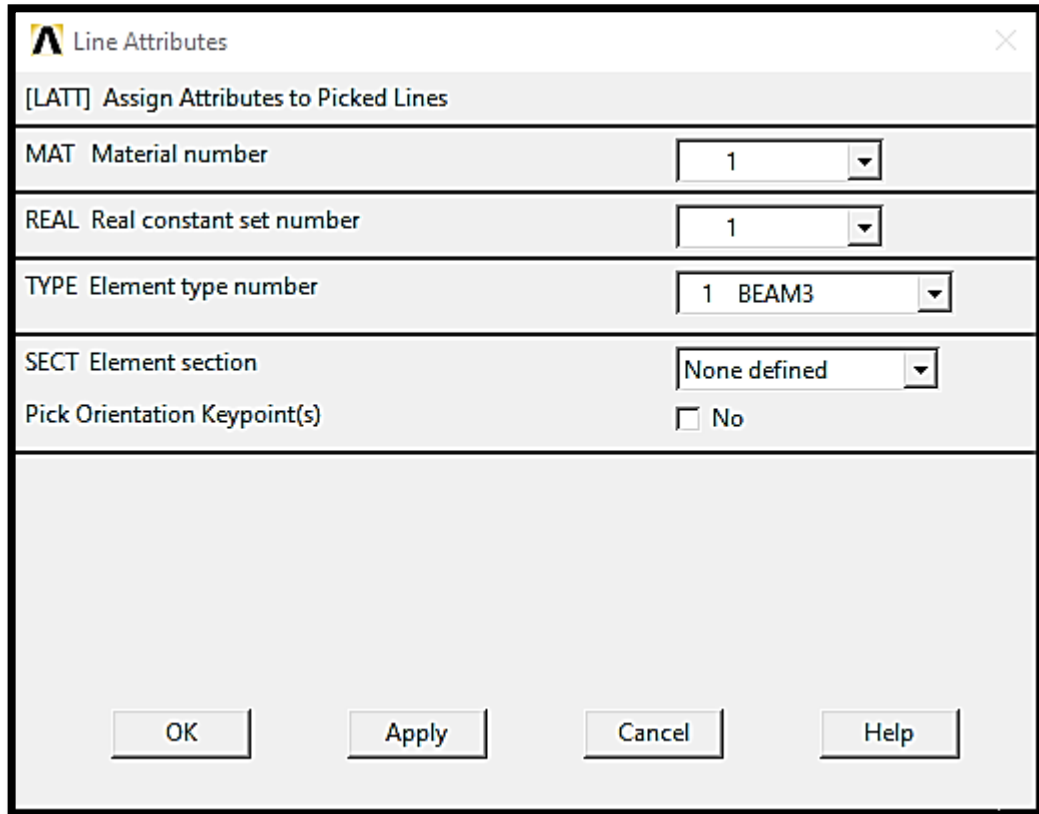
Tableau 3.2. Key points géométriques du portique sans pont roulant

Key point		1	2	3	4	5
Cordonnés	X	0	0	8	16	16
	Y	0	6	7.5	6	0

### 3.2.6 Attribution des propriétés de chaque élément :

Cette partie consiste à attribuer à chaque élément géométrique ses propriétés à savoir : le type de matériau, son épaisseur et le type d'élément.

*Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Attribute > Picked Lines >*



**Figure 3.6 Attribution des propriétés à chaque élément.**

### 3.2.7 – Maillage :

Cette rubrique consiste à définir le maillage de chaque surface sélectionnée en divisant les lignes formant cette surface ou en divisant directement la surface concernée.

a) En utilisant le deuxième cas : *Main Menu > Preprocessor > Meshing > Meshtools > Size Controls > Line > Set >*

b) Si la longueur de la maille est différente de sa largeur, il est plus sûr de définir le maillage de la surface en divisant les lignes qui le constituent. La procédure est presque la même, la nuance survient au niveau de :

*Size Controls > Line > Set > Sélectionner les lignes qui vont être divisées avec les mêmes valeurs > Donner la dimension de la maille ou le nombre de division voulue > Apply > Sélectionner les autres lignes > Donner la dimension de la maille ou le nombre de division voulue > Apply > ...*

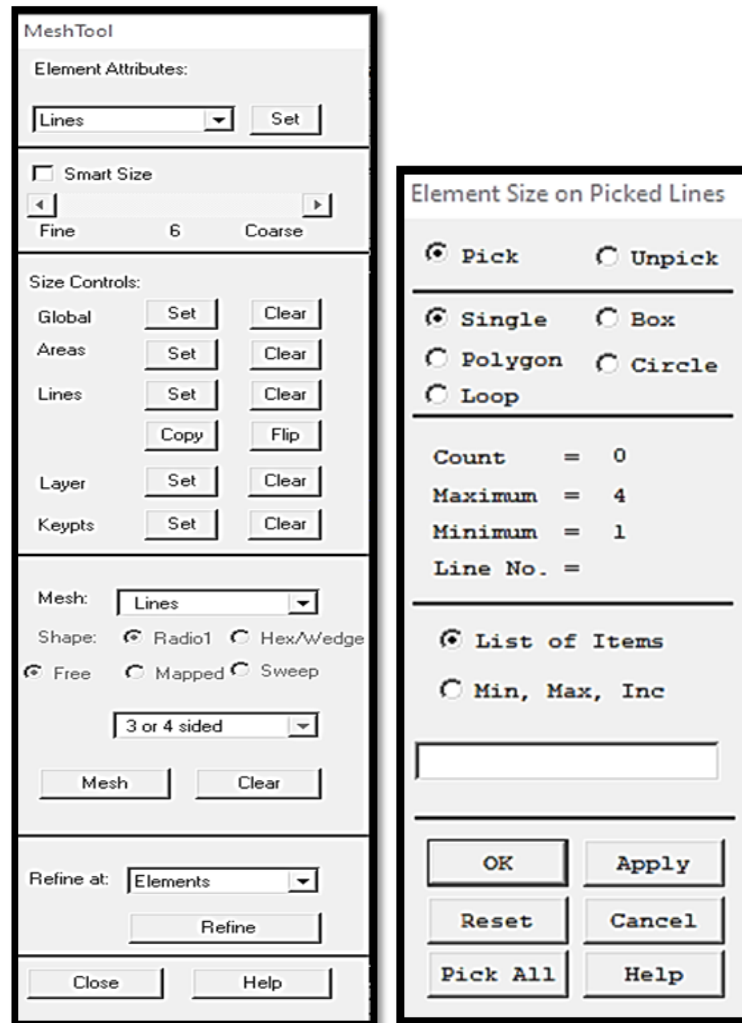


Figure 3.7 Mesh Tools Figure 3.8 Définition du maillage

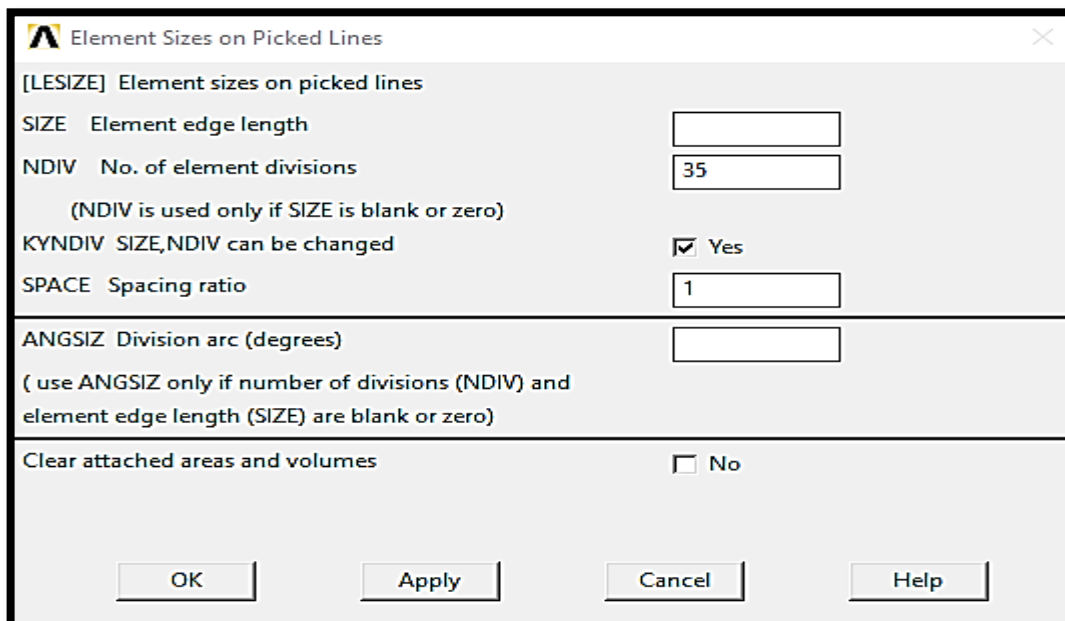


Figure 5 Définition du maillage (Size controls Line)

SIZE : Donner la taille d'un côté de la maille,

NDIV : Nombre de division sur la ligne. Elle est prise en considération quand SIZE est vide ou nulle,

SPACE : égale à 1.

### 3.3 Solution

#### 3.3.1 Type d'analyse

Avant de commencer la résolution des systèmes d'équations, il est nécessaire de définir le type d'analyse (statique dans notre cas), et régler les paramètres de résolution.

Main Menu> Solution> Analysis type> New analysis> Static.

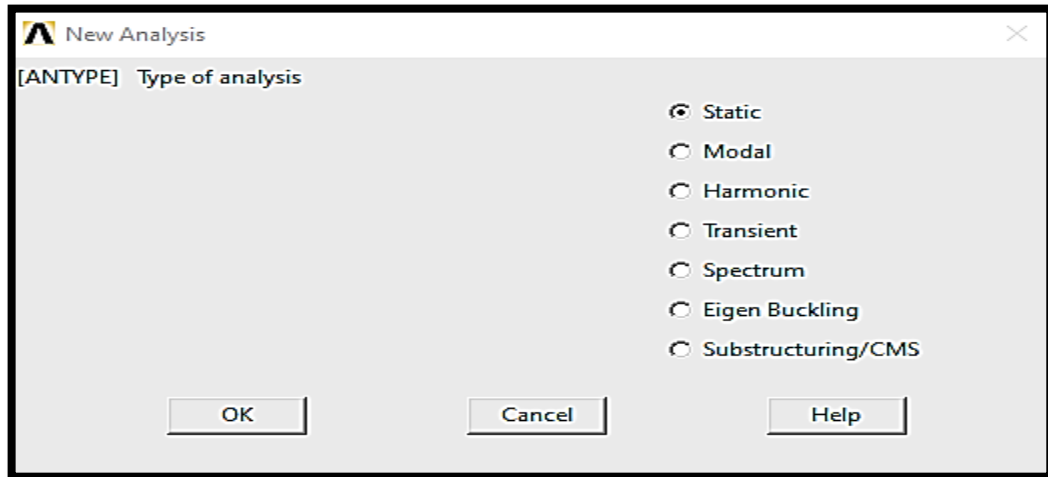


Figure 6.10 Type d'analyse.

#### 3.3.2- Conditions aux limites

Les nœuds à la base du bloc de béton sont bloqués dans les deux directions x et y pour traduire le fait que le bloc de béton repose sur une plateforme.

Par symétrie, on ne représente que la moitié de la structure modélisée, ceci implique que les nœuds du profilé par lesquels passe l'axe de symétrie sont bloqués horizontalement (dans la direction x)

Pour cela : Sélectionner les keypoints concernés >Main Menu> Solution> Define Loads> Apply> Structural> Displacement> On Keypoints > Sélectionner les keypoints et spécifier les conditions aux limites.

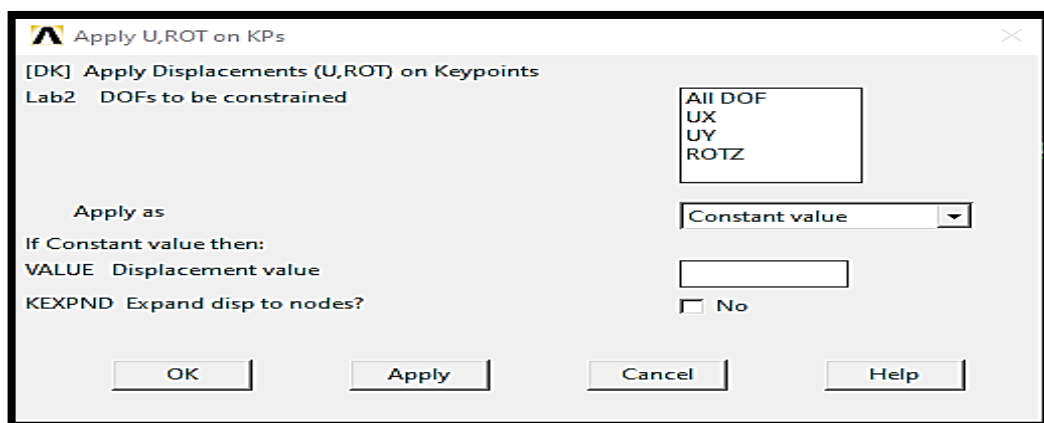
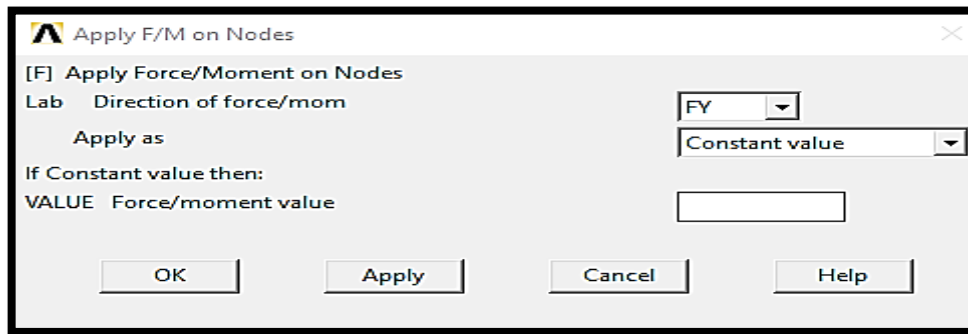


Figure 7 Définition des conditions aux limites.

### 3.3.3 – Application des charges

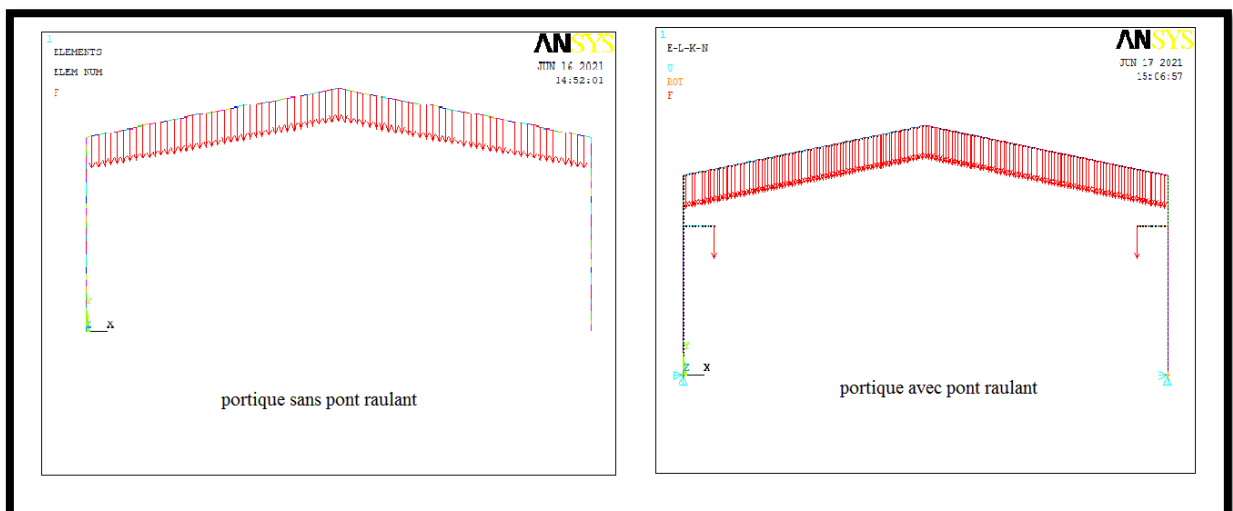
Sélectionner les nœuds où les charges sont appliquées> Main Menu> Solution> Define Loads> Apply> Structural> Force/Moment> On Nodes> Sélectionner un nœud> Donner la direction, le sens et la valeur de la charge comme indiqué sur la figure suivante :



**Figure 8 Définition du chargement.**

Pour la suite, cliquer sur Apply> Sélectionner le nœud suivant> Donner la direction, le sens et la valeur de la charge > Apply ...

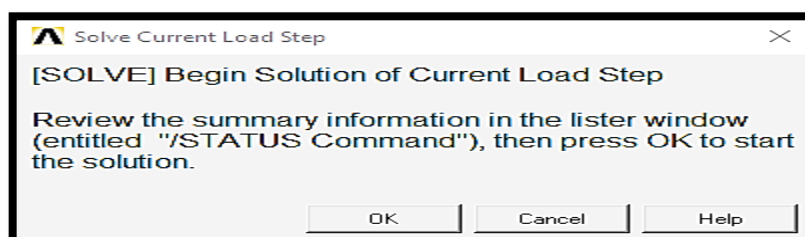
Remarque : les nœuds dont la valeur de la charge appliquée est la même valeur peuvent être sélectionnés ensemble afin d'éviter les répétitions.



**Figure 9 les charges verticales sur le portique**

### 3.3.4 – Résolution du système

Main Menu> Solution> Solve > Current LS> OK.



**Figure 10 Solve Current Load Step**

Le logiciel procède alors à la résolution du système même dans le domaine non linéaire, après résolution la fenêtre de la figure ci-dessous apparaît.

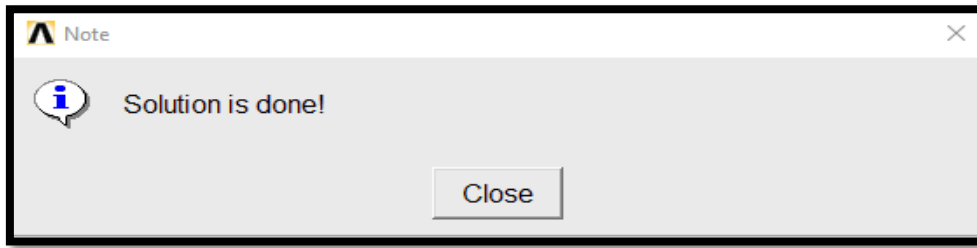


Figure 11 Fin de la résolution

### 3.4- Postprocessing

#### 3.4.1-Define element Table

Main Menu > General Postprocessing > Element Table > Define Table.

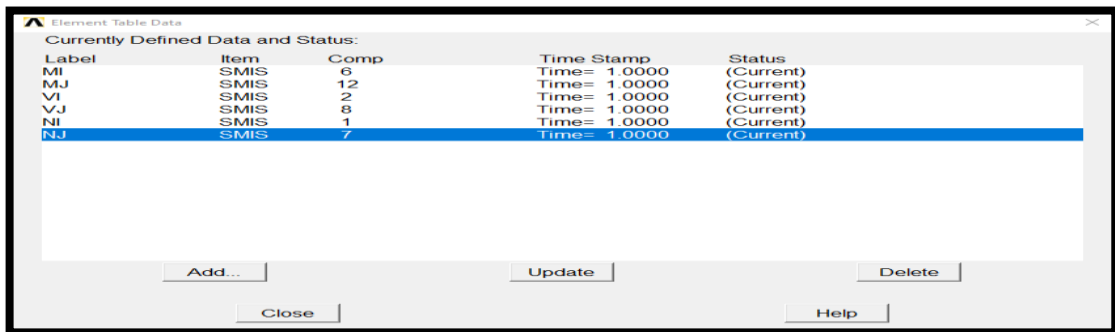


Figure 12 Define Table

Cette rubrique nous permet d'afficher tous les résultats

A partir de là, il est possible divers types de résultat :

Main Menu > General Postprocessing > List Result > Element Solution > Structural Moments  
> Z-Component of moment

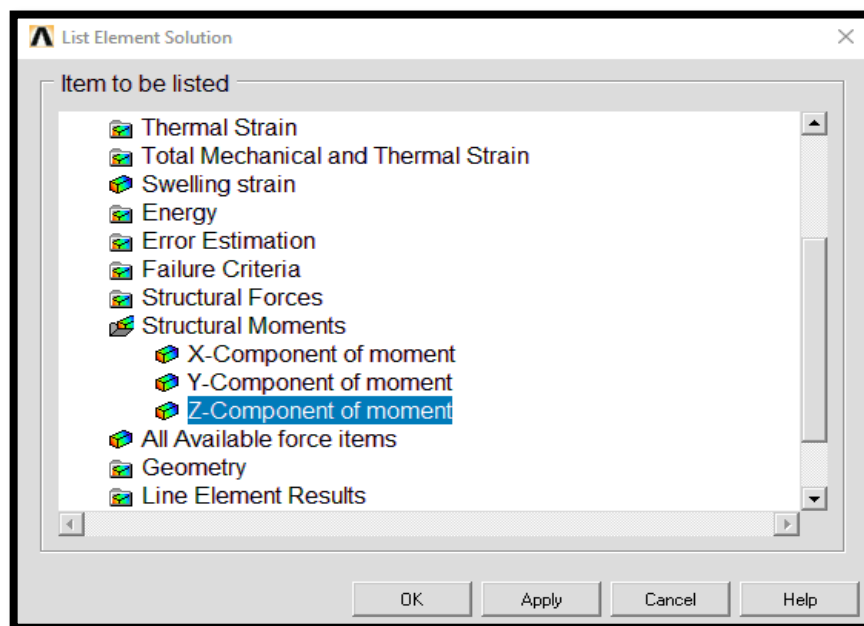


Figure 13 Liste élément Solution

### 3.4.2- Contraintes :

Il est aussi possible d'obtenir la distribution des contraintes.

Main Menu > General Postprocessing > Plot Results > Contour Plot > Line Element Results > Ok.

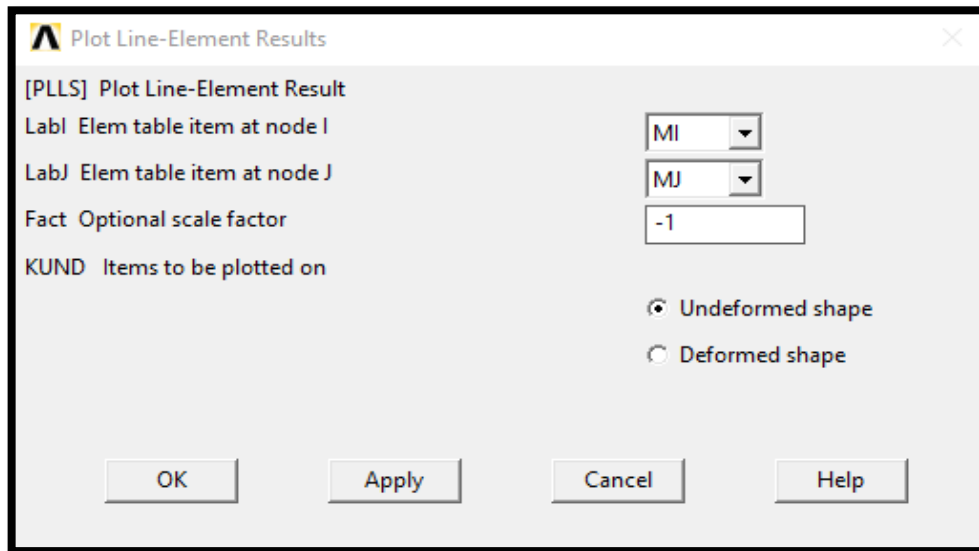


Figure 3.18 Plot Line Element Results

### 3.5- Les résultats

Nous présenterons les diagrammes de moment fléchissant, effort tranchant et effort normal du portique sans pont roulant.

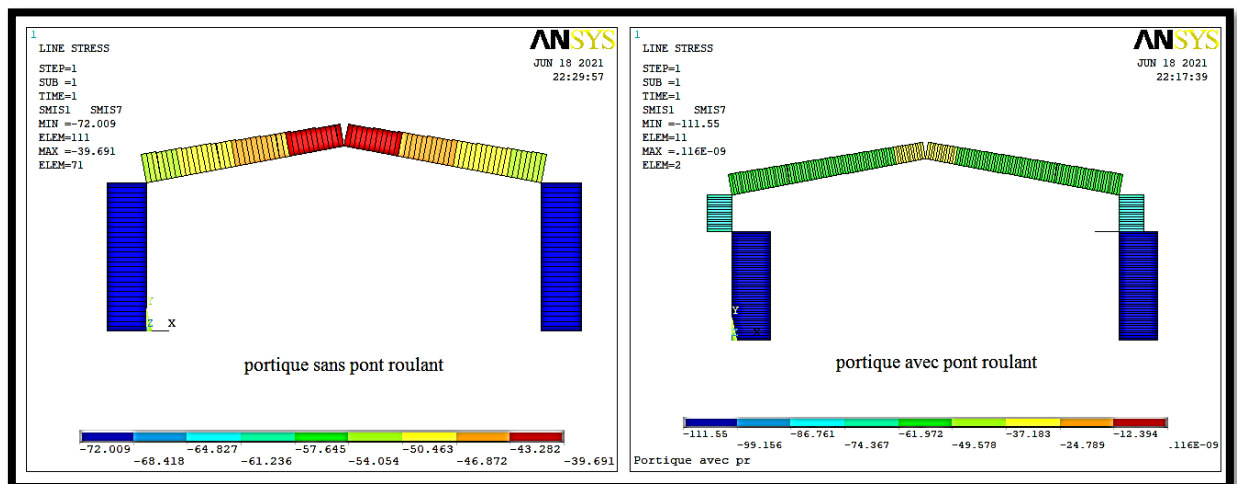


Figure 3.19 les diagrammes de l'effort normal

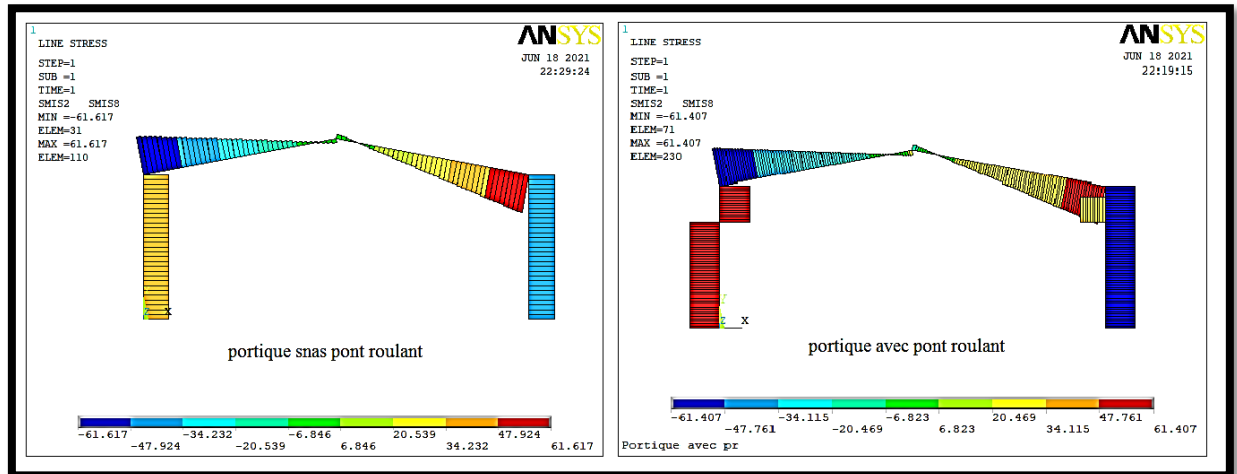


Figure 3.20 les diagrammes de l'effort tranchant

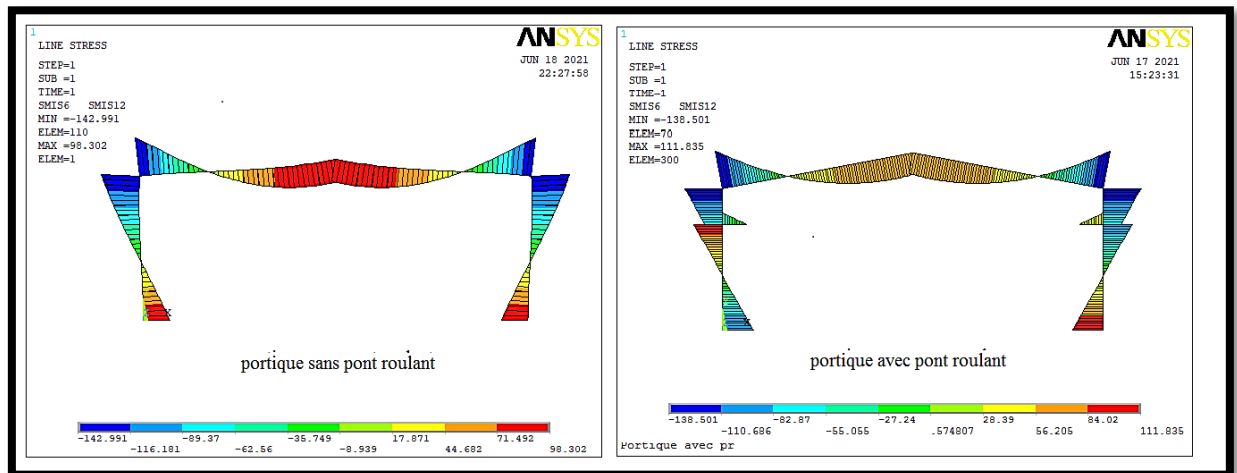


Figure 3.21 les diagrammes de moment fléchissant

### 3.6-Conclusion

De ce chapitre nous concluons que le pont roulant a une grande influence sur les portiques métalliques et nous devons renforcer les poteaux par d'autres poteaux indépendantes ou montant a baïonnette ou Treillis avec appui pour une poutre de roulement.

## **Conclusion Générale**

Notre projet de fin d'étude fut une expérience enrichissante qui nous a permis d'approfondir et d'acquérir de nouvelles connaissances tout en mettant en pratique sur un cas réel les notions fondamentales de dimensionnement. Ça nous a permis d'utiliser logiciel de calculs pour ce type d'ouvrage «ANSYS»

Ce projet, réalisé en binôme sous l'encadrement de prof TITOU MESSAOUD, nous a donné l'occasion de s'initier au travail d'équipe. Il fut une très bonne expérience avant le début de notre vie professionnelle.

En effet, nous avons su progresser, à la fois dans l'apprentissage des méthodes de travail d'un ingénieur, mais également, dans l'étude des règlements l'Euro code 3 et l'Euro code 1 et CTICM 97 concernant le dimensionnement des poutres de roulement des ponts roulants.

L'organisation et les bases de dimensionnement de ces types de poutres calculées dans les chapitres précédents a rendu possible l'élaboration de l'étude comparative de ces variantes, en passant par le calcul des charges jusqu'à la vérification des éléments de le pont roulant.

Grâce à notre étude des effets du pont roulant sur le comportement des ponts métalliques, il a été constaté qu'ils ont un effet significatif, et en conséquence, les poteaux doivent être renforcées afin d'assurer la stabilité de portique

A partir de cette étude, on peut tirer la conclusion suivant :

- La méthode de dimensionnement des ponts roulants est très compliquée
- Il n'existe pas des règles algérien pour le calcul des ponts roulants
- On propose pour suivre l'étude des ponts roulants pour la méthode simplifiée et facile à expliquer pour les ingénieurs du génie civil dans des bureaux d'étude algériens

**Référence bibliographie**

- [1] Jean Morel – Calcul des structures selon l’Eurocode 3 - Edition EYROLLES 1999
- [2] Manfred A. Hirt, Rolf Bez – Construction Métallique- volume 10 - PPUR 2005
- [3] Manfred A. Hirt, Michel Crisinel – Construction Métallique- volume 11 -PPUR 2005.
- [4] APK - Construction métallique et mixte acier béton - tome1 - EYROLLES 1996
- [5] APK - Construction métallique et mixte acier béton – tome2 - EYROLLES 1996
- [6] Euro codes 1-5, 3-6.
- [7] Calcul et exécution des chemins de roulement ‘Recommandations **CTICM**’
- [8] Site web [www.CMEC3.com](http://www.CMEC3.com)
- [9] le règlement du calcul «**CCM97** »
- [10] Présentation des outils ANSYS – ANSYS Inc., [ansys.com](http://ansys.com).
- [11] Y. NAKASONE, S. YOSHIMOTO et T. A. STOLARSKI- Engineering Analysis with ANSYS Soft aware. Elsevier, [elsevier.com](http://elsevier.com).