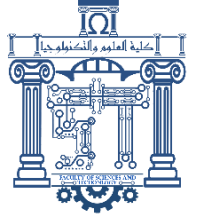




الجمهورية الجزائرية الديمقراطية  
الشعبية  
Republique Algerienne Democratique Et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث  
العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة العربي  
التبسي - تبسة

Université Larbi Tébessi – Tébessa –

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Genie Mecanique

## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique

En : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Par : DJEMEL Baha Eddine  
DELLOUL Abdelhakim

Sujet

# ETUDE ANALYTIQUE ET NUMERIQUE D'UN PONT ROULANT

Présenté et soutenu publiquement, le 12 / 06 / 2022 devant le jury composé de :

BELGHALEM Hadj  
HADJEB Abdelhakim  
YOUNES Ramdane

MCA  
MAA  
MCA

Président  
Rapporteur  
Examineur

Promotion : 2021/2022

# ***Remercîment***

*Je remercie Allah, le tout puissant, le miséricordieux, de m'avoir appris ce que j'ignorais, de m'avoir donné la santé et tout dont je nécessitais pour l'accomplissement de ce mémoire. Je remercie, en deuxième position, ma chère mère et mon chère père et mes sœurs et frères, sans lesquelles je n'aurai jamais pu arriver à terme dans la rédaction, et qui m'ont toujours entouré d'affection et de soutien dans les moments pénibles comme dans les moments de joie. Je remercie également, le directeur de mémoire **Dr-HADJAB Abdelhakim** pour son encadrement, ses directives et sa disponibilité. Aussi, je le remercie pour ses encouragements, son indulgence, et sa sympathie tout au long de la réalisation du présent. En outre, je remercie les nous*

*remercions*

*aussi tous les membres du jury **Dr-BELGHALEM Hadj, Dr-YOUNES Ramdane** et tous les enseignements qui m'ont aidé de proche ou de loin pour être un jour un ingénieur de génie de construction mécanique. Je remercie aussi, tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à ma formation du primaire à la poste graduation. Enfin, je ne peux pas oublier de remercier tous mes amis sans exception*

## • **Dédicace**

*Tout d'abord, Je rends mes profondes gratitudees à **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 la reine **MEKAHLIA.D**, ma raison d'être, ma raison de vivre, la lanterne qui éclaire mon chemin et m'illumine de douceur et d'amour ,et a mon père le roi **DJEMEL Lazhar**, en signe d'amour, de reconnaissance et de gratitude pour tous les soutiens et les sacrifices dont il a fait preuve à mon égard. Aussi a tous les membres de ma famille frère , sœurs*

*Sont oublier mes petits Schtroumpfs (**DADOU, MASHA, LAMOUNA**)*

*Je dédie ce Modeste travail à mon encadreur **Dr-HADJAB Abdelhakim** et nous remercions aussi tous les membres du jury **Dr-Belghalem Hadj** , **Dr-YOUNES Ramdane** et tous les enseignements qui m'ont aidé de proche ou de loin pour être un jour un ingénieur de génie de construction mécanique. Sans oublier mes chers amis **H.Anis** , **R.Gawawi** , **Z.Baha** , **G.Nadjemeddine** , **F.maamer** et je suis très désolés si je ne vais pas nommer tous mes amis car ils sont nombreux, je ne sais pas qui choisir , Je vous remercie tous votre soutien et vos encouragements me donnent la force de continuer.*

**DJEMEL Baha Eddine**

# *Liste des symboles*

**A** : la section

**C<sub>1</sub>** : Coefficient fonction de la vitesse de translation et le diamètre du galet

**C<sub>2</sub>** : Coefficient fonction du groupe du mécanisme de translation du pont

**D** : Le diamètre du galet de roulement

**H** : Hauteur de levage

**I<sub>Y</sub>** : Moment d'inertie

**L** : Portée

**M<sub>f</sub>** : moment fléchissant

**M<sub>f max</sub>** : La contrainte de flexion maximale

**M<sub>p</sub>** : La masse de la poutre.

**P** : charge concentre

**P<sub>L</sub>** : Pression limite fonction du matériau du galet et du rail

**P<sub>max</sub>** : Charge max au galet

**P<sub>min</sub>** : Charge statique minimale au galet

**P<sub>t</sub>** : Charge totale

**R** : Rayon de la center de graffiter

**R<sub>a</sub>** : réaction a l'appuis A

**R<sub>b</sub>** : Réaction a l'appui B

**R<sub>e</sub>** : Limite d'élasticité

**R<sub>i</sub>** : Rayon intérieur

**R<sub>N</sub>** : Rayon neutre

**R<sub>r</sub>** : Rayon extérieur

**S** : Facteur de sécurité

**S<sub>2</sub>**: coefficient de sécurité.

**T** : Effort tranchant

**Y** : La fléché

**Y<sub>adm</sub>** : La fléché admissible

**a** : Longueur du chariot

**b** : Largeurs utile du rail

**b<sub>e</sub>** : Base extérieur

**b<sub>i</sub>** : Base intérieur

**e** : Excentricité entre l'axe neutre et l'axe qui passe par le centre de gravité de section.

**h** : La hauteur

**h<sub>i</sub>** : La position de l'axe neutre par rapport a la base

**m<sub>t</sub>**: La masse totale

**q** : Charge répartie de chaque poutre

**r** : Rayon d'arrondi extérieur du champignon du rail

**φ<sub>1</sub>** : Coefficient dynamique excitation de la structure de l'appareil de levage due au décollage de la masse à lever du sol, applique à poids propre de l'appareil de levage.

**φ<sub>2</sub>**: Effets dynamiques du transfert de la masse à lever du sol à l'appareil de levage, applique à la masse à lever.

**φ<sub>4</sub>**: Effets dynamiques induits par le déplacement de l'appareil de levage applique à la masse à lever.

**σ<sub>eq</sub><sup>VM</sup>** : La contrainte équivalente de Von Mises

**θ** : La rotation

**τ<sub>max</sub>** : La contrainte de cisaillement maximale

**μ** : Masse linéique des poutres du pont

## ملخص

الرافعات العلوية عبارة عن آلات صناعية لازمة لرفع الأحمال الكبيرة التي تزيد عن 50 طنًا. لذلك، كان من الضروري عند تصميم هذه الرافعات التأكد من متانة الأجزاء الأساسية لهذه الماكينة مع عامل أمان مناسب، مثل الرافدة وخطاف الرفع وعجلات التدرج، مع مراعاة المواصفات والمعايير الدولية المعمول بها. استندت دراستنا إلى المحاكاة باستخدام برنامج SOLIDWORKS والذي زودنا بمخططات عزوم الانحناء وقوى القص ونظرة عامة على الضغوط والتوترات القريبة جدًا من النتائج التحليلية.

## *Abstract*

Overhead cranes are industrial machinery required for lifting large loads of more than 50 tons. Therefore, it was necessary when designing these cranes to ensure the durability of the basic parts of this machine with an appropriate safety factor, such as beams, lifting hook and rolling wheels, subject to applicable international specifications and standards. Our study was based on simulations using SOLIDWORKS software, which provided us with diagrams of bending moments, shear forces and an overview of stresses and strains very close to the analytical results.

## *Résumé*

Les ponts roulants sont des machines industrielles nécessaires pour soulever des charges importantes dépassant les tonnes 50. Par conséquent, il est nécessaire lors de la conception de ces grues d'assurer la résistance des pièces de base de cette machine avec un facteur de sécurité adéquat, telles que les poutres, crochets et galets, en tenant compte du cahier des charges et des normes internationales applicable. Cette étude s'est appuyée sur une simulation à l'aide du logiciel SolidWorks, qui nous a fourni des diagrammes de moments de flexion et d'efforts tranchants et un aperçu des contraintes et des déformations très proches des résultats analytiques.

# ***Sommaire***

Dédicaces	
Remerciements	
Liste des symboles	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Résumé	
Sommaire	
<b>Introduction générale</b>	
<b>Chapitre I : Généralité sur les ponts roulants</b>	<b>4</b>
I.1- Généralité	4
I.2-Définition	4
I.3-Mécanisme générale	4
I.4-Les principaux mouvements	5
I.5-Les types d'un pont roulant	6
I.5.1-Ponts roulants posés	7
I.5.2-Ponts roulants suspendus	7
I.5.3-Portiques	8
I.5.4-Semi-portiques	8
I.6-Classification du pont roulant	9
I.6.1-Classification selon l'état de chargement	9
I.6.2-Classification selon la fréquence d'utilisation	9
I.7-Commande des ponts roulants	9
I.7.1-Commande cabine	9
I.7.2-Commande au sol	10
I.7.3-Boite à boutons pendante	10
I.7.4-Radiocommandes	11
I.8-Accessoires de levage	11
I.8.1-Les palonniers	11
I.8.2-Les élingues	12
I.8.3-Les pinces de levage	13
I.8.4-Les crochets de levage	13
I.8.5-Les électroaimants de levage	14
I.8.6-Les ventouses de levage	14

I.8.7-Cés de levage.....	15
I.9-Organisation internationale de normalisation (iso) .....	16
I.10-Conclusion.....	16
<b>Chapitre II : Etude analytique du pont roulant.....</b>	<b>18</b>
II.1-Introduction.....	18
II.2- Caractéristique du pont roulant étudié .....	19
II. 3-vérification de la poutre .....	21
II.3.1-Réactions aux appuis <b>RA et RB</b> .....	22
II.3.2-La somme des moments.....	22
II.3.3-Les efforts tranchant et les moments fléchissant .....	23
II.3.4-diagramme de l'effort tranchante et moment fléchissant.....	27
II.3.4.1Vérification de la poutre à la résistance .....	27
II.3.5- équation de rotation et la flèche maximale .....	28
II.3.5.1-Méthode d'intégration directe :.....	28
II.3.5.2 Méthode de paramètres initiaux .....	29
II.3.6-vérification de la flèche.....	31
II.4-Vérification du galet.....	31
II.5vérificationsdu crochet .....	34
II.5.1-Propriétés mécaniques du matériau 1.2367 (X38CrMoV5-3) du crochet.....	35
II.5.2-Calcul de la contrainte normale admissible .....	36
II.5.3-Calcul de l'excentricité pour la section transversale.....	36
II.5.4-Calcul de la contrainte de flexion .....	37
II.5.5-Calcul de la contrainte de traction.....	38
II.5.6-Calcul de la capacité de charge en superposant les deux contraintes .....	38
Conclusion .....	39
<b>Chapitre III : Etude Numérique du pont roulant .....</b>	<b>41</b>
III.1-INTRODUCTION .....	41
III.2-Éléments de poutre à deux nœuds .....	41
III.2.1-Équation générale des poutres planes .....	41
III.2.2-Élément de poutre plane à 2 nœuds :.....	44
III.2.2.1-Matrices de rigidité élémentaire en repère local.....	44
III.2.2.2-Matrices de rigidité élémentaire en repère global.....	50
III.2.2.3 Vecteur Charges exprimé en repère local .....	52
III.3-Rapport de simulation.....	55
III.3.1-Le logiciel SOLIDWORKS .....	55



III.3.2 Les modules élémentaires de logiciel SOLIDWORKS .....	56
III.4-Rapport de l'étude de la poutre.....	58
III.4.1-Informations sur le modèle .....	58
III.4.2-Propriétés de l'étude .....	59
III.4.3-Propriétés du matériau .....	59
III.4.4-Actions extérieures .....	60
III.4.5-Informations sur le maillage .....	61
III.4.6-Forces résultantes.....	61
III.4.7-Forces dans les poutres .....	62
III.4.8-Contraintes dans les poutres .....	62
III.4.9-Résultat de l'étude .....	63
III.5-Rapport de l'étude de Crochet .....	65
III.5.1-Informations sur le modèle .....	65
III.5.2-Propriétés de l'étude .....	66
III.5.3-Propriétés du matériau .....	66
III.5.4- Actions extérieures .....	67
Type: Géométrie fixe .....	67
III.5.5-Informations sur le maillage .....	68
III.5.6-Forces résultantes.....	68
III.5.7-Résultats de l'étude .....	69
III.6-Conclusion .....	72
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>74</b>
<b>References bibliographie .....</b>	<b>76</b>
<b>Les annexes .....</b>	<b>77</b>
Annexe 1 .....	77
Annexe 2 .....	78
Annexe 3 .....	79
Annexe 4 .....	80

# ***INTRODUCTION GENERALE***

## **Introduction générale**

Il n'est pratiquement aucune activité humaine qui n'utilise à différents domaines des déplacements d'objets plus ou moins pondéreux. D'où l'importance que revêtent les appareils de levage et de manutention.

La manutention des charges exige des équipements de levage de haute performance opérant de manière sûre, précise et sécuritaire. La disponibilité, la fiabilité et la rentabilité de ces équipements représentent des facteurs cruciaux quelle que soit l'application, imposant des exigences de plus en plus strictes en termes de performance des grues et des ponts roulants. Ces performances sont exprimées sous la forme d'un compromis entre les critères de rapidité d'exécution, de précision et de sécurité des opérateurs.

Dans ce projet de fin d'études, nous allons appliquer et compléter les connaissances et les informations acquises le long de notre éducation .

L'objectif de ce projet est vérification analytique et numérique de la résistance pour un exemple de pont roulant bipoutre posé.

Le travail se fera principalement sur la base de documents existants. En effet, nous faudra réunir les différents textes règlementaires (Normes, réglementations et catalogues des fabricants des ponts roulants) concernant la conception et le dimensionnement des différents composants d'un pont roulant.

Ainsi, pour mener à bien notre étude, nous l'avons subdivisé en trois chapitres :

Le premier chapitre définit généralement le pont roulant, ses caractéristiques, ses types et les accessoires de levage.

Le deuxième chapitre présente l'étude analytique des ponts roulants qui comprend la flexion de la poutre, l'écrasement de galet et la déformation de crochet.

Le troisième chapitre présente l'étude numérique du pont roulant (poutre, crochet), la simulation faite avec le logiciel SOLIDWORKS.

# ***CHAPITRE I***

## ***Généralités sur les ponts roulants***

---

# Chapitre I : Généralités sur les ponts roulants

## I.1- Généralité

Le pont roulant est un moyen de levage indispensable dans de nombreux secteurs industriels. . Tels que les centrales hydrauliques, les constructions navales, l'armement, les cimenteries, la sidérurgie, les usines d'incinération d'ordures ménagères, etc. Il se compose généralement de :

- Une poutre simple ou composée appelée portée ou poutre porteuse;
- Deux sommiers sur lesquels se trouvent fixées les extrémités de la poutre porteuse et qui portent également les roues ou galets permettant au pont de se mouvoir longitudinalement ;
- Un chariot mobile le long de la poutre porteuse qui porte l'engin de levage.

Ces dispositifs permettent le déplacement ou le franchissement d'une charge en tout point d'un volume parallélépipédique à l'aide de mouvements de levage, de direction et de translation.

Avant d'entrer dans le vif du sujet, un glossaire est nécessaire pour comprendre les nombreux termes utilisés dans la technologie des ponts mobiles. [1.2]

## I.2-Définition

Un pont roulant est un appareil de manutention qui permet le levage et le transfert de charges lourdes en se déplaçant selon deux axes parallèles de roulement et qui possède en général trois degrés de liberté selon les trois axes orthogonaux. [1.2]

## I.3-Mécanisme générale

Les ponts roulants couvrent une zone rectangulaire, déplaçant une charge d'un côté à l'autre, vers l'arrière et vers l'avant. Le dispositif de levage, appelé palan, est monté sur un chariot pour le mouvement horizontal à travers une poutre de pont reliée à une ou plusieurs poutres horizontales qui sont supportées à chaque extrémité par des bogies. Ces dernières sont fixées perpendiculairement aux poutres et se déplacent sur des pistes fixes. Ils diffèrent des grues, des portiques, des semi-portiques, des potences et des monorails principalement par ses conceptions.

Ils sont constitués :

- D'une structure horizontale en acier se déplaçant sur deux voies de roulement.
- De treuils ou palans suspendus ou posés.

Ils vous permettent d'encercler le câble ou la chaîne de levage. Chaque axe de mouvement peut être alimenté manuellement ou électriquement. Le crochet de levage est monté à l'extrémité du câble, soit directement, soit par l'utilisation d'un moufle à poulie. (Fig. I.1) [4].

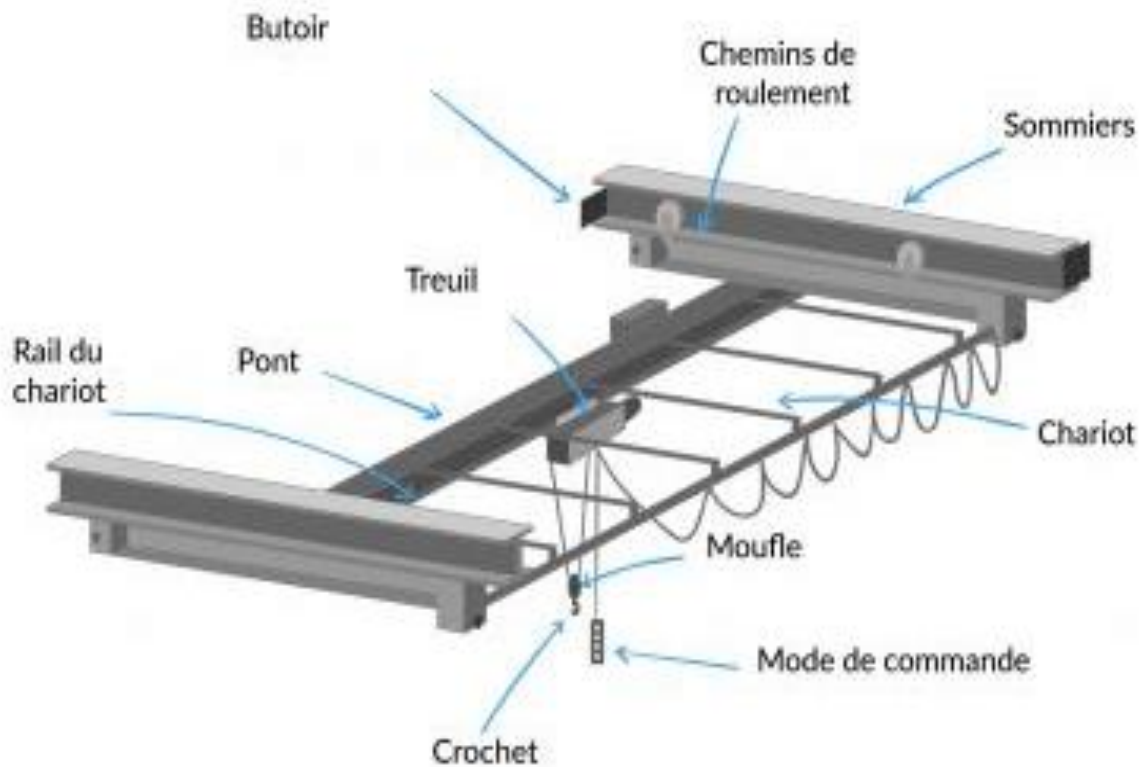


Figure I.1 Structure général du pont roulant

#### I.4-Les principaux mouvements

Tel que le montre le croquis de la (Fig. I.2), Les différents mouvements d'un pont roulant, translation, direction, levage, sont assurés par les mécanismes décrits [4].

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

**-Translation** : Le mécanisme de translation assure le mouvement du pont roulant sur les chemins de roulement. Ce mouvement est assuré :

Soit par un moteur commandant un arbre de transmission relié aux galets de roulement.

Soit par deux ou quatre moteurs synchronisés entraînant chacun un galet de roulement.

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

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

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

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

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

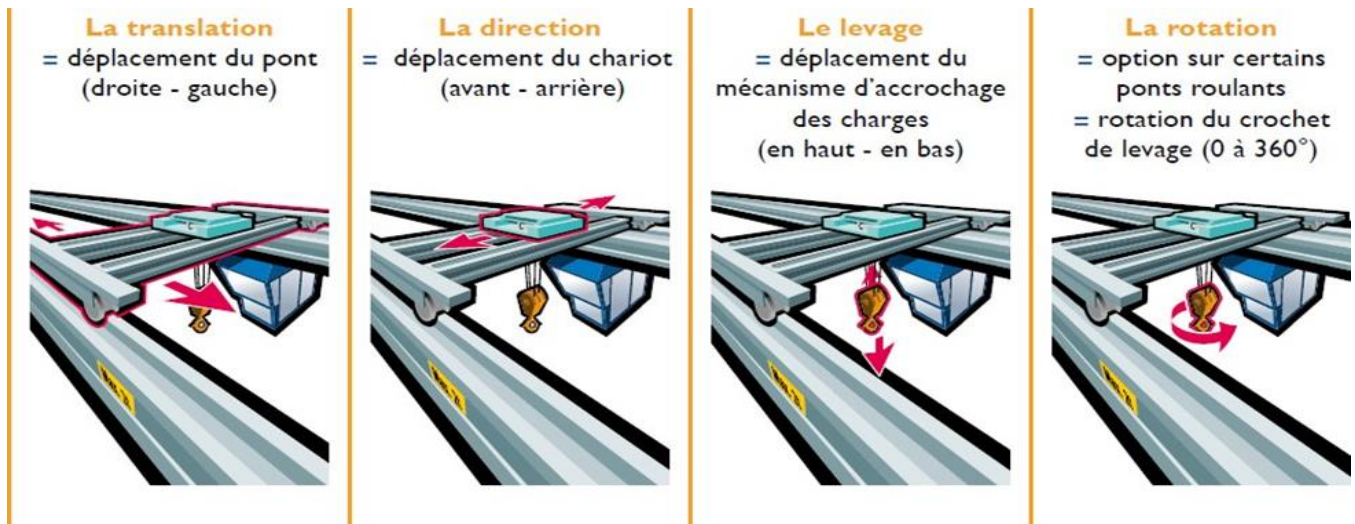


Figure 1.2 Principaux mouvements du pont roulant

## I.5-Les types des ponts roulants

Les ponts roulants sont de différents styles et on peut distinguer 4 familles principales d'appareils dont la construction peut être des deux types suivants :

- Le pont (ou le portique) (Fig. I.3) 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 [4].

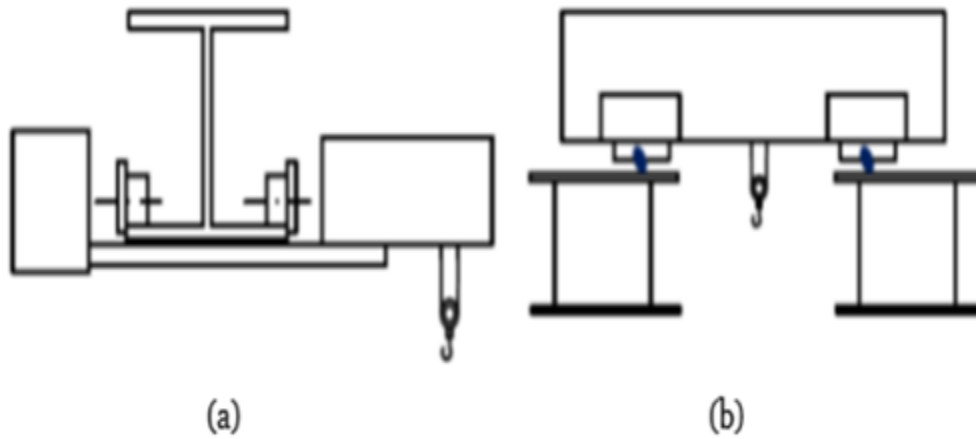


Figure I.3 Pont roulant avec: (a)mono poutre,(b)bipoutres

### I.5.1-Ponts roulants posés

La machine roule sur deux voies constituées chacune d'un rail qui repose sur une poutre roulement qui se répète sur les poteaux du bâtiment, de la zone de travail ou de stockage via l'utilisation de corbeaux (pièce en forme de un trapèze rectangle en métal ou en béton qui assure la liaison entre le chemin de roulement et le poteau) (Fig. I.4).

Pour une certaine longueur (jusqu'à 30 m) et une hauteur sous ferme donnée, c'est le style de pont qui permet d'obtenir la meilleure hauteur de levage. [1,2].

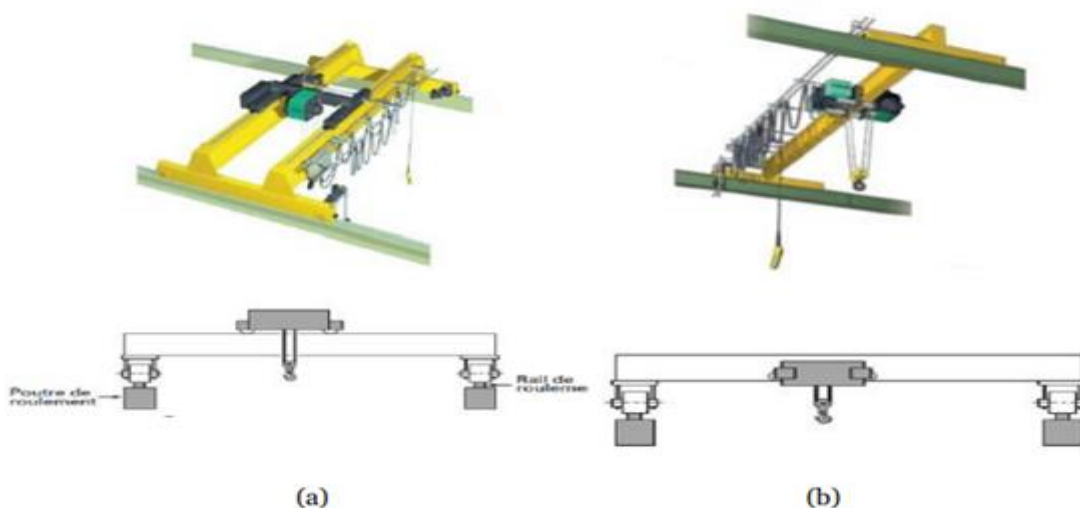


Figure I.4 (a) pont roulant bipoutres pose, (b) pont roulant mono poutre pose

### I.5.2-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 contenir plus de deux chemins de roulement. Ils peuvent également être équipés d'une variété de systèmes de levage pour desservir toute la surface de structure. Dans le cas d'une plage critique, ce type d'équipement sera installé. (Fig. I.5). [1,2].





Figure I.5 (a) mono poutre suspendu (b), bipoutres suspendu

### I.5.3-Portiques

L'appareil roule sur deux chenilles constituées d'une chenille fixée directement au sol. Ils sont reliés par deux pattes ou coudes (Fig. I.6). Installer ces portiques si le bâtiment ne supporte pas les réactions que provoquerait l'installation d'un pont roulant, ou si le réaménagement nécessaire s'avère d'un coût prohibitif, s'il n'y a pas de bâtiment du tout (parc extérieur). Le déport de la poutre de roulement permet de reprendre la charge à l'extérieur de la voie de roulement, dans ce cas on parle de portique de nez. [1,2].

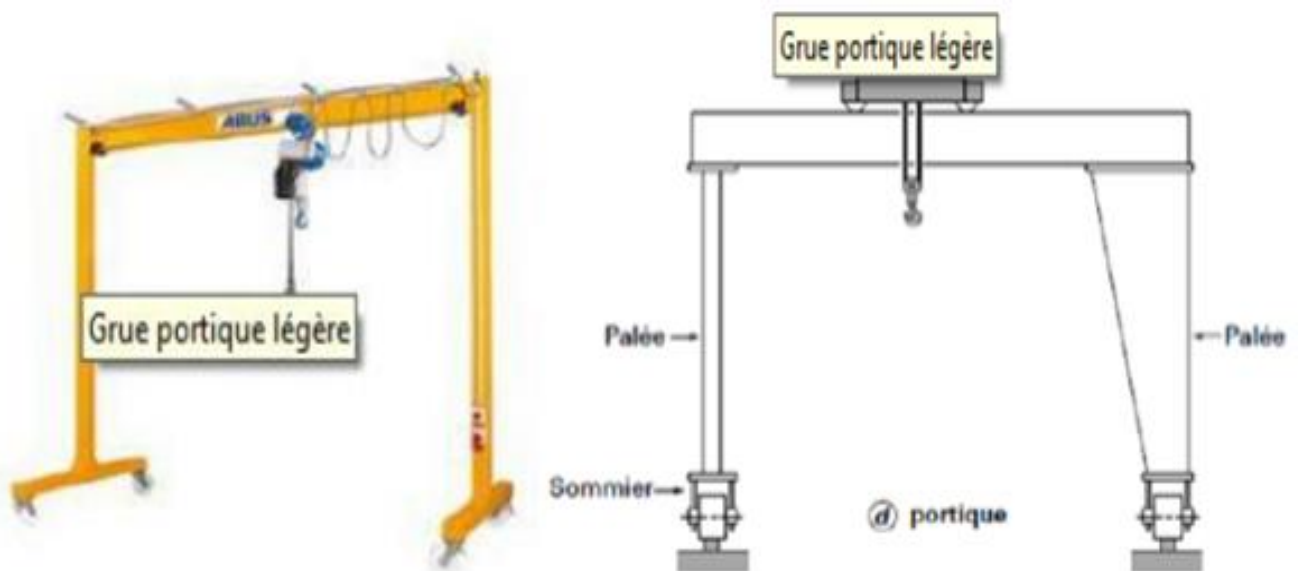


Figure I.6 Pont roulant portique

### I.5.4-Semi-portiques

L'appareil roule sur deux pistes. L'un se compose de rails au sol, tandis que l'autre repose sur la charpente du bâtiment et roule sur des rails aériens.

Cette formule est le plus souvent utilisée sauf pour les grandes traverses qui assurent les liaisons entre stations, chacune étant équipée d'un semi-portique (Fig I.7). [1,2].

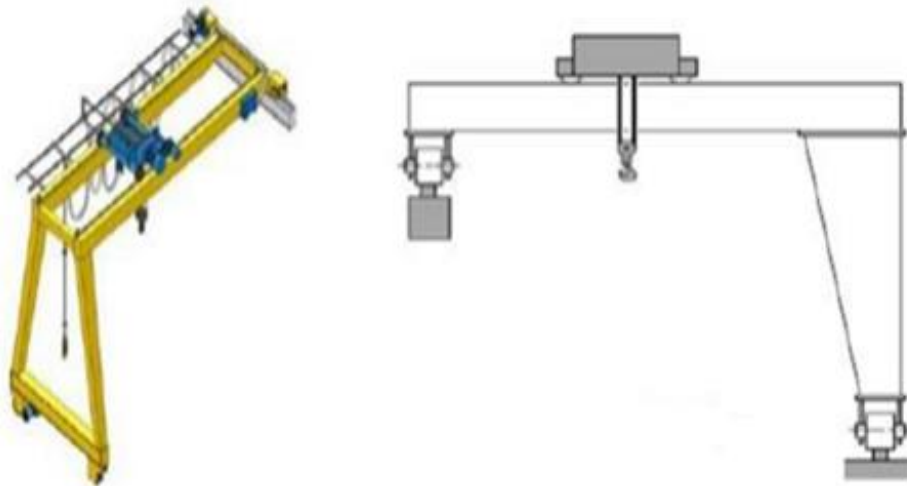


Figure I.7 Pont roulant semi portique.

## I.6-Classification du pont roulant

### I.6.1-Classification selon l'état de chargement

Du pont roulant le moins chargé au plus chargé, selon l'état de chargement du pont roulant. Ces états de chargement servent dans quelle proportion le pont roulant est utilisé à sa charge nominale ou à des charges plus faibles.

### I.6.2-Classification selon la fréquence d'utilisation

Du pont roulant le moins utilisé au plus utilisé, selon la fréquence d'utilisation, c'est-à-dire la durée effective de fonctionnement pendant la durée d'exploitation. De plus, le nombre de cycles de levage prévisible pendant cette durée, donc à considérer pour la vérification à la fatigue, y figure également.

## I.7-Commande des ponts roulants

Les ponts roulants peuvent être contrôlés de plusieurs manières : via la commande en cabine, la commande au sol ou la radiocommande. Si l'équipement de levage de l'installation comporte plusieurs postes de commande, pour assurer la sécurité de l'opérateur, un seul poste peut être actionné à la fois [5].

### I.7.1-Commande cabine

Les commandes en cabine permettent d'avoir une meilleure visibilité au pontier de la charge et de l'itinéraire à emprunter. Elles peuvent être fixes, mobiles ou orientables (Fig I.8).

Comme elles protègent le pontier contre les intempéries (chaleur, froid, courants d'air, averses de pluie) et les nuisances industrielles (rayonnements, poussières, vapeurs nocives) à condition d'être spécialement équipées. [5].

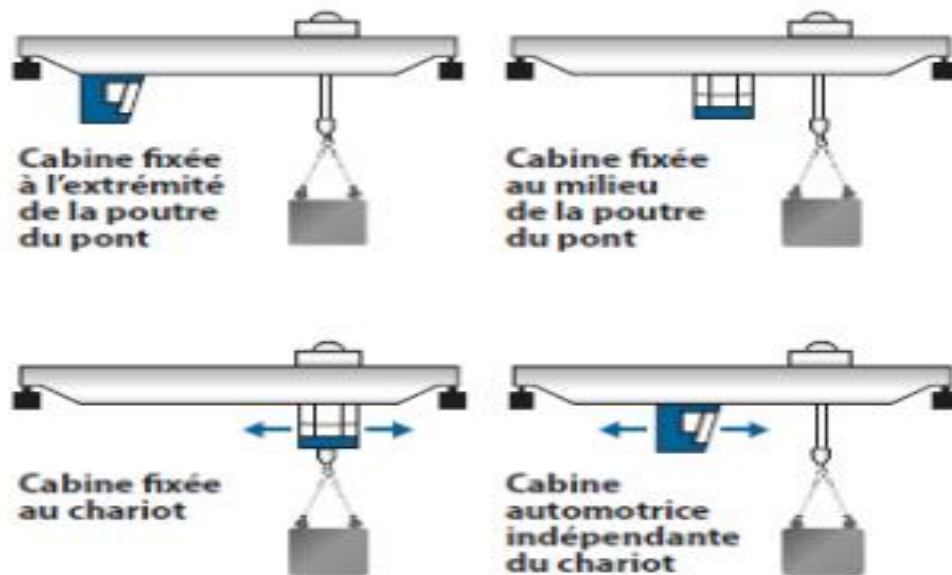


Figure I.8 Pont roulant avec commande cabine

### I.7.2-Commande au sol

Commande au sol à l'aide d'un panneau de commande suspendu ou d'une télécommande.

Elles sont admissibles pour des vitesses de direction et translation compatibles avec le déplacement d'un homme au pas et avec l'encombrement au sol. [5].

### I.7.3-Boîte à boutons pendante

La boîte à boutons poussoirs est suspendue au pont roulant ; elle peut être selon les cas suivants [5] :

- Fixée à l'extrémité de la poutre principale.
- Mobile le long de la poutre principale (cette disposition est particulièrement conseillée).
- Fixée au palan ou au chariot porte treuil. (Fig. I .9)

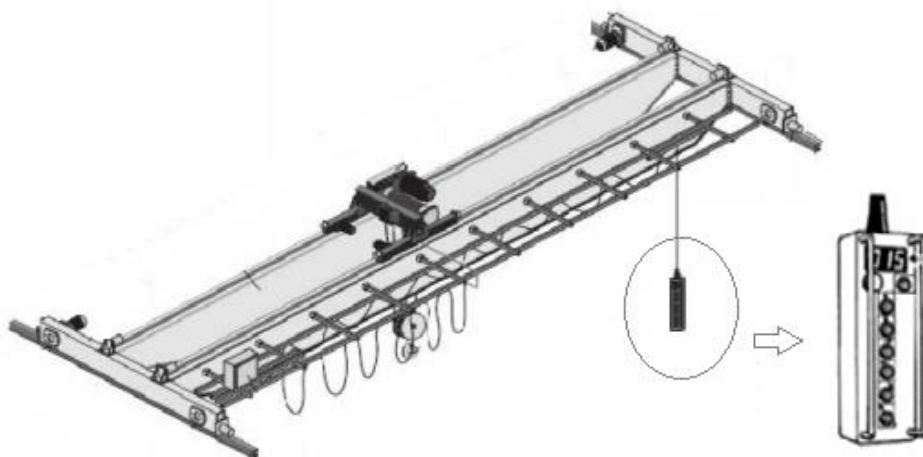


Figure I.9 Pont roulant avec boîte à boutons pendante

### I.7.4-Radiocommandes

Pour transmettre les ordres du boîtier de commande au pont roulant on peut utiliser :

-Voie hertzienne

-Rayonnement infrarouge

Chaque poste de commande devra désigner clairement le pont roulant commander et ne permettre la mise en mouvement que du ce dernier.

Si on a plus plusieurs sources de commande sans fil, seul un poste peut être active à la fois. (Fig I.10)

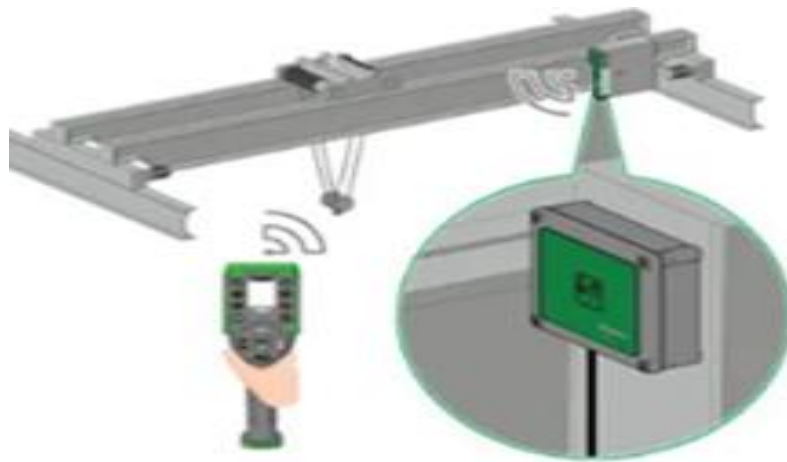


Figure I.10 Pont roulant avec radiocommande

## I.8-Accessoires de levage

On appelle accessoire de levage tout dispositif mécanique qui n'est pas directement intégré à la machine mais qui en relaie l'action en s'adaptant à la nature de la charge.

### I.8.1-Les palonniers

Les palonniers sont destinés à relier une charge à un engin de levage par l'intermédiaire d'une ou plusieurs poutres équipées elles-mêmes de crochets, de ventouses ou d'aimants.

Les palonniers sont utilisés pour la manutention de charges longues, encombrantes, flexibles, très lourdes.

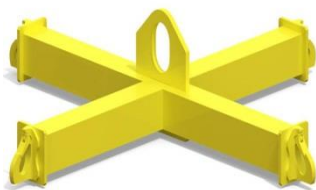
En fonction des différentes charges à saisir, les palonniers peuvent être

- ❖ Mono poutre (une seule poutre)
- ❖ en « H » (une poutre principale surmontée de plusieurs traverses)
- ❖ en croix (deux poutres croisées fixes ou tournantes)
- ❖ en cadre (en forme de carré ou de rectangle fermé) [6]



mono poutre

en « H »



en croix



en cadre

Figure I .11 Les palonniers de levage

### I.8.2-Les élingues

Les élingues sont des équipements amovibles souples fabriqués à partir de câbles, de chaînes, de sangles en fibre synthétique, etc., et de composants tels que anneaux, manilles, cosses, généralement équipés d'accessoires (crochets), qui assurent le maintien d'une charge au crochet d'un appareil de levage.

Comme tous les équipements de prise de charge, les élingues constituent un élément très important pour toutes les opérations de levage. On peut même dire que sans leur utilisation, beaucoup d'appareils de levage ne pourraient pas remplir leur fonction.

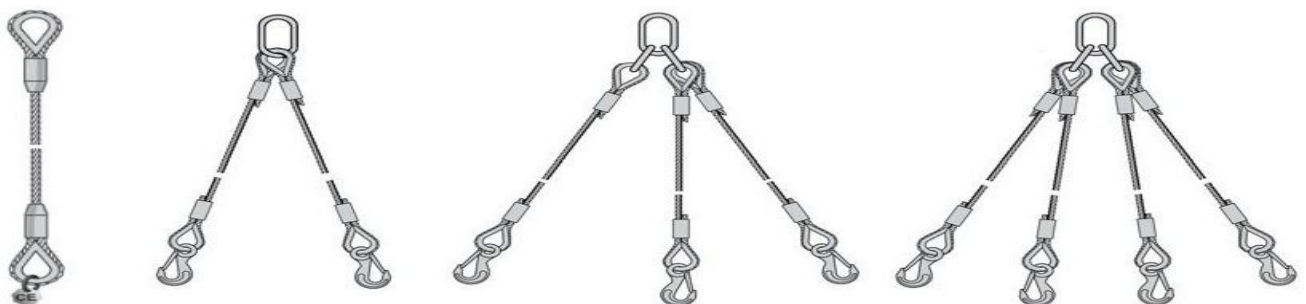


Figure I.12 Les élingues de levage

### I.8.3-Les pinces de levage

Les pinces ont pour but de relier une charge à un engin de levage par l'intermédiaire d'un mécanisme articulé qui utilise la gravité de la charge en tant qu'énergie de serrage.

À la différence des grappins, qui saisissent des charges en vrac, la pince est destinée à manutentionner des objets bien déterminés. L'effort de serrage peut être proportionnel au poids de la charge levée au crochet. Le mouvement relatif de pièces les unes par rapport aux autres et les bras de leviers, judicieusement dimensionnés, multiplient le poids de la charge afin de la serrer correctement.

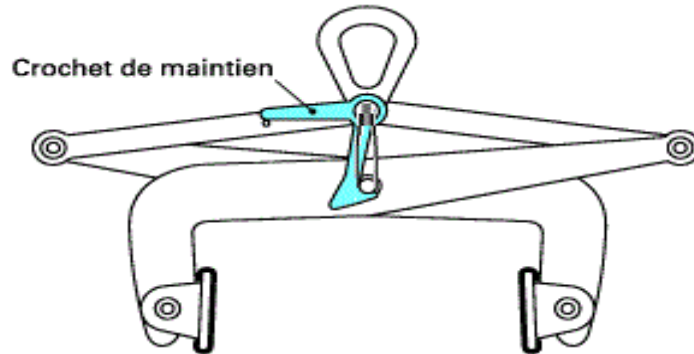


Figure I.13 Pince de levage

### I.8.4-Les crochets de levage

Un crochet est un outil constitué d'une longueur de matériau qui contient une partie courbée ou dentelée, de sorte que cette partie peut être utilisée pour maintenir un autre objet. Dans un certain nombre d'utilisations, une extrémité du le crochet est pointu.

Ils sont utilisés pour transférer les matériaux ayant de lourdes charges. Les crochets de pont roulant sont des composants susceptibles de subir des défaillances dues aux contraintes dues à l'accumulation de charges lourdes. La zone de section transversale, le matériau et le rayon du crochet de grue sont les paramètres de conception du crochet du pont roulant. La défaillance d'un crochet de grue dépend principalement de trois facteurs principaux, à savoir

Dimension, matière, surcharge. La conception du pont roulant crochet a été réalisée

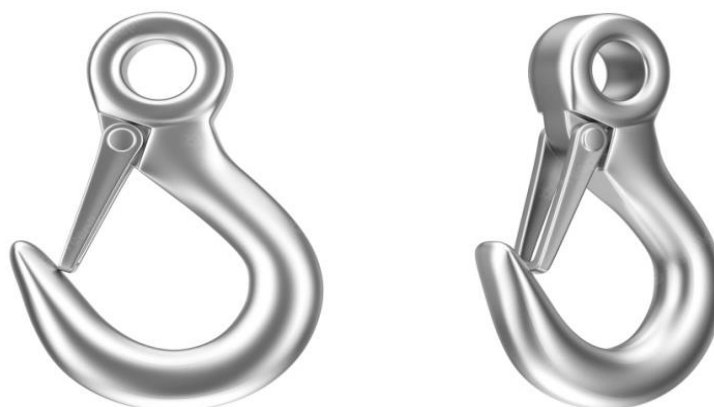


Figure I.14 Les crochets de levage

### I.8.5-Les électroaimants de levage

Un électroaimant de levage est un appareil de manutention permettant la prise de matières ferromagnétiques.

Un courant magnétique traversant le bobinage de l'électroaimant crée un champ magnétique qui lui-même génère une force magnétique assurant la préhension, le maintien et la manutention de la charge ferromagnétique

Un électroaimant de levage se compose de

- une ou plusieurs bobines ;
- une carcasse avec un bouclier de protection (qui a principalement un rôle de protection mécanique) ;
- une isolation avec une boîte à bornes
- des organes de suspension.



Figure I.15 Les électroaimants de levage

### I.8.6-Les ventouses de levage

La manutention par le vide (plus précisément en créant une force de réaction grâce à une dépression par rapport à l'atmosphère ambiante) est essentiellement valable pour les produits à surface majeure plane, sans point d'accrochage.

Aussi, le ou les points de préhension sont-ils obtenus par l'emploi de ventouses. C'est le domaine par excellence de la manutention de tous produits étanches au vide, présentant une surface de préhension suffisante par rapport à la masse. La technologie s'étend à la manipulation de produits souples ou poreux (tels que sacs, cartons ou bois).

Les manipulations peuvent être exécutées à l'horizontale ou à la verticale ; dans ce dernier cas, il y a lieu d'augmenter le nombre ou la taille des ventouses.

La technologie est adaptée à la manutention de charges isolées, de façon automatique ou non, jusqu'à des cadences élevées.

La manutention par le vide s'intègre de plus en plus dans la chaîne logistique



Figure I.16 Levage manutention par le vide

### I.8.7-Cés de levage

Les cés de levage sont des équipements en forme de « C » dont le bras inférieur, qui supporte la charge est reliée au bras supérieur par un montant vertical.

Le bras supérieur peut être également équipé d'un système d'autoéquilibrage ou de réglage pour concilier le centre de gravité à vide et celui en charge.

En fonction des différentes charges à saisir, les cés peuvent être :

- oxycoupés dans la masse
- en forme de caisson reconstitué
- avec contrepoids d'équilibrage
- avec anneau réglable ;
- avec système d'équilibrage à ressort.

Les avantages principaux d'un cé résident dans sa très grande polyvalence, dans sa simplicité d'utilisation et dans son immense diversité dimensionnelle.

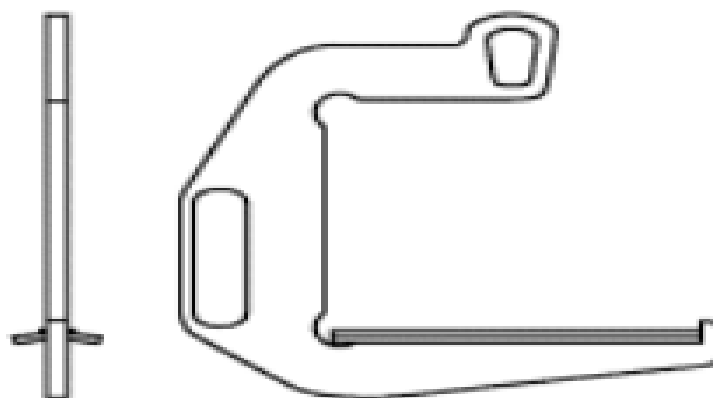


Figure I.16 cés de levage



**I.9-Organisation internationale de normalisation (iso)**

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

**I.10-Conclusion**

Notre objectif dans ce chapitre était d'introduire la structure des ponts roulants, présenter leurs différents types et les classer selon les besoins ainsi que le type de palonniers intégrés.

## ***CHAPITRE II***

### ***Etude analytique du pont roulant***

---

## Chapitre II : Etude analytique du pont roulant

### II.1-Introduction

D'abord, il est nécessaire de savoir à quoi le pont va-t-il servir. Quel poids le pont doit-il lever et combien de fois par jour. Sur la base de ces données, le groupe de pont peut être établi.

La détermination du groupe de pont est très importante pour concevoir le pont adapté à l'application.

Pour déterminer la capacité de levage, il faut non seulement tenir compte de la charge maximale à soulever, mais aussi avec le poids des appareils auxiliaires éventuels, qui servent à tenir la charge (comme palonniers, système ventouses ou avec électroaimants...)

La longueur de la pièce à soulever peut aussi jouer un rôle important dans le choix du type de pont. Si le pont roulant est utilisé surtout pour déplacer de longs tuyaux ou profils, il est parfois conseillé de choisir un pont avec 2 palans jumelés ou 2 ponts qui travaillent ensemble.

Le type de construction est déterminé par la portée et la capacité de levage.

Le critère de flexion verticale est le rapport de la flèche maximal (vertical) autorisé pour un dispositif de levage. La déviation verticale diffère de la déviation horizontale, mais les deux sont pris en compte pour les ponts à voie fermée. La déflexion verticale désigne le changement de position d'un pont, d'une voie ou d'une flèche d'un pont roulant le long de l'axe vertical.

La plupart des systèmes sont fabriqués à une flexion approximative, parce que les fabricants n'ont aucun contrôle sur l'installation, la rigidité de la fondation, ou la variation standard des tolérances d'épaisseur pour la tuyauterie, la tubulure, la plaque d'acier et la tôle. Cela signifie qu'une certaine variation au-dessus ou au-dessous des déviations définies par les fabricants devrait être considérée comme normale. Cela dit, lorsque les ponts roulants sont installés conformément au manuel d'installation standard et entretenus conformément au manuel d'entretien du fabricant, vous pouvez être assuré de la sécurité des produits de levage et de leur capacité à gérer les capacités nominales choisies et les normes de performance.

Pour les essais de fonctionnement et de fonctionnement des ponts roulants : « La flexion standard doit être mesurée avec une charge de 100 % de la capacité nominale et ne doit pas dépasser la flexion permise spécifiée par la norme de conception applicable. »

L'objectif de ce chapitre est d'étudier analytiquement un pont roulant bipoutre posé.

Vérification de la poutre avec 2 méthodes

Vérification de crochet de levage.

Vérification des galets avec les rails.

## II.2- Caractéristique du pont roulant étudié

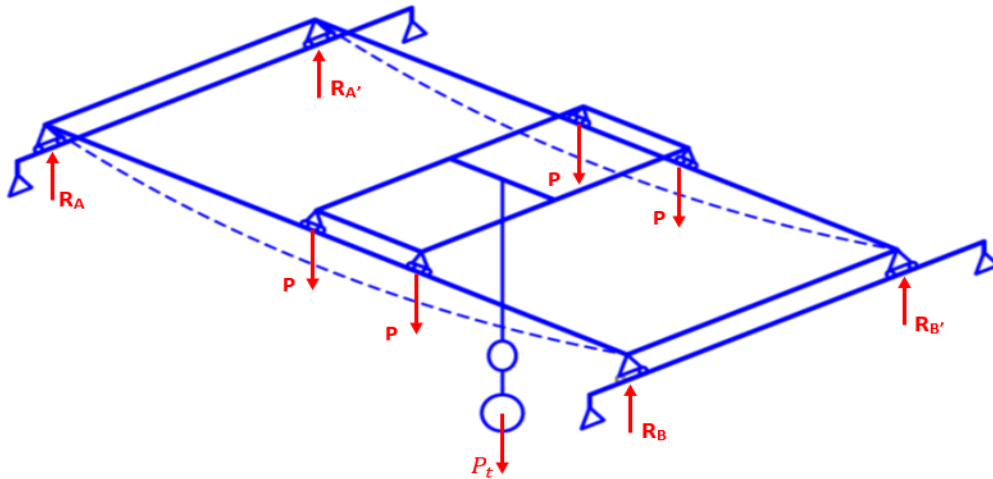


Figure II.1 Schéma caractéristique du pont roulant bipoutre

- $P_t$  : Charge max (capacité) :  $P_t = 50 t$

La charge  $P_t$  est répartie sur les quatre roues du chariot et la charge sur chaque roue est :

$$P = \frac{\frac{2 \cdot P_t}{3} * \varphi_2 * \varphi_4 * S_1 * g}{4} \quad (\text{II.1})$$

$$P = \left( \frac{2 \times 50}{3} \times 1,16 \times 1 \times 1,2 \times 9,81 \right) / 4 = 113,8 \text{ KN}$$

Pour plus de sécurité on mettre :

$$P = \frac{P_t \times g}{4} = \frac{50 \times 9,81}{4} = 122,62 \text{ KN} \quad (\text{II.2})$$

- $S_2$ : coefficient de sécurité.
- $\varphi_2$ : Effets dynamiques du transfert de la masse à lever du sol à l'appareil de levage, applique à la masse à lever.
- $\varphi_4$ : Effets dynamiques induits par le déplacement de l'appareil de levage applique à la masse à lever.
- Portée :  $L = 20 \text{ m}$ .
- Hauteur de levage :  $H = 10 \text{ m}$ .
- $M_p$ : la masse de la poutre.
- Masse linéique des poutres du pont

$$\mu = \frac{\varphi_1 M_p}{L} = \frac{1 \times 16000}{20} = 800 \text{ Kg / m} \quad (\text{II.3})$$

- $\varphi_1$  : Coefficient dynamique excitation de la structure de l'appareil de levage due au décollage de la masse à lever du sol, applique à poids propre de l'appareil de levage. (**Voir Annexe-2**)
- Charge répartie de chaque poutre  $q = \mu \times g = 7,848 \text{ KN/m}$
- Matériau utilisé pour les poutres du pont roulant

Matériau	$Re$ [Mpa]	$\sigma_R$ [Mpa]	HCR	E [Mpa]
42CrMo4	500	750-900	40-45	210000

Tableau II.1 Caractéristiques physique et mécanique du matériau

Vitesse de levage	2.1-11.5m / min
Vitesse de déplacement du chariot	27-40m / min
Vitesse de fonctionnement de la grue	42-75m / min

Tableau II.2 Les vitesses du pont roulant étudié

Section de la poutre :

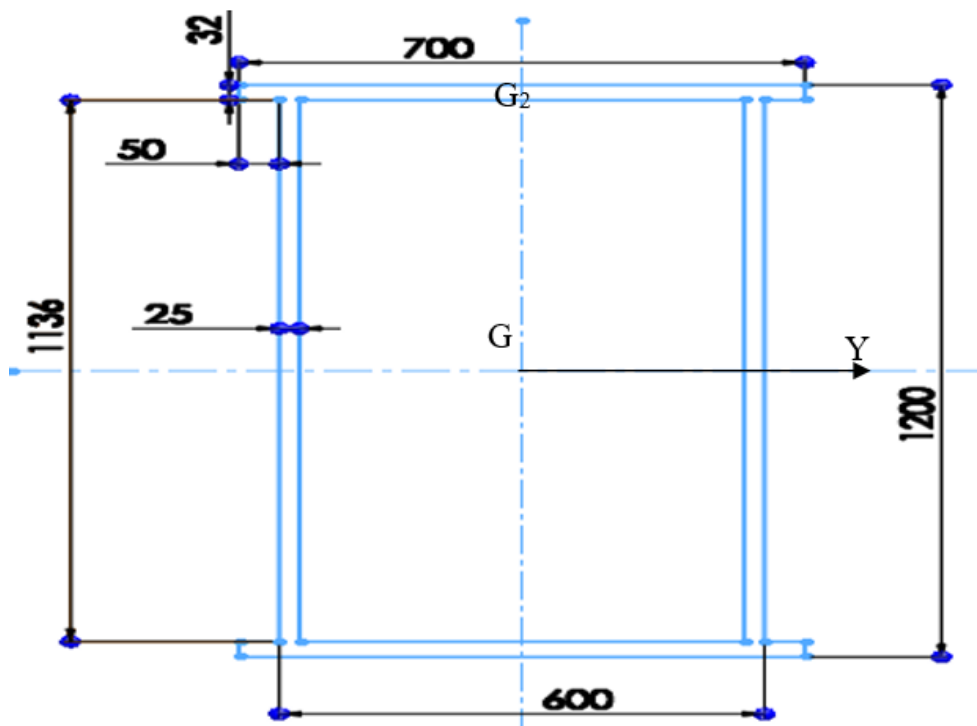


Figure II.2 Section de la poutre

$$b_1 = 25mm$$

$$b_2 = 700mm$$

$$h_1 = 1136mm$$

$$h_2 = 32mm$$

Moment d'inertie :

$$I_{Y1} = \frac{b_1 \times h_1^3}{12} \tag{II.4}$$

$$I_{Y1} = \frac{0,025 \times 1,136^3}{12} = 0,00305 m^4$$

$$I_{Y2} = \frac{b_2 \times h_2^3}{12} + h_2 \times b_2 \times G_2 G^2 \text{ Avec } G_2 G = 0,584 m \tag{II.5}$$

$$I_{Y2} = \frac{0,7 \times 0,032^3}{12} + 0,032 \times 0,7 \times 0,584^2 = 0,00766 m^4$$

$$I_Y = 2(I_{Y1} + I_{Y2}) = 0,02142 m^4 \tag{II.6}$$

Type de pont roulant étudié : (Voir Annexe-1)

Type d'appareil	Classe de levage	Classe S
Appareils de levage d'usine et entrepôt, fonctionnement intermittent	HC <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>

Tableau II.3 Type de pont roulant

### II. 3-vérification de la poutre

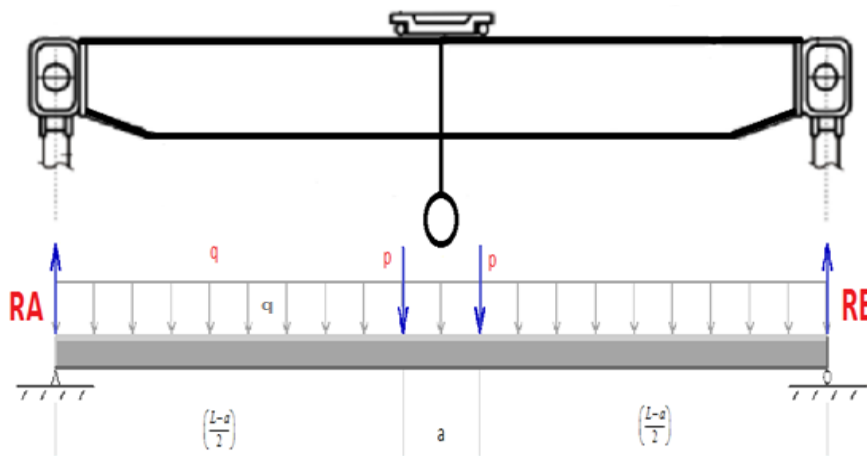


Figure II.3 Poutre simplement appuyée avec charge répartie et deux forces ponctuelles

Le pont roulant étudié de type bipoutre posé. Nous allons faire l'étude pour une seule poutre et généraliser les résultats pour l'autre.

Il est présenté comme une poutre isostatique simplement appuyée de caractéristique comme (Fig3).

Le poids du chariot et le poids enlevé sont présentés comme deux charges ponctuelles la distance entre eux c'est  $a = 3,4$  m.

Premièrement on va calculer la rotation et la flèche maximale :

### II.3.1-Réactions aux appuis $R_A$ et $R_B$

$$\sum F / y = 0$$

$$R_A - qL - P - P + R_B = 0$$

$$R_A = qL + 2P - R_B \quad (\text{II.7})$$

### II.3.2-La somme des moments

$$\sum M / A = 0$$

$$-qL \frac{L}{2} - P \left( \frac{L-a}{2} \right) - P \left( \frac{L+a}{2} \right) + R_B L = 0$$

$$R_B L = q \frac{L^2}{2} + PL$$

$$R_B = q \frac{L}{2} + P \quad (\text{II.8})$$

On remplace (II.8) dans (II.7)

$$R_A = qL + 2P - q \frac{L}{2} - P$$

$$R_A = q \frac{L}{2} + P \quad (\text{II.9})$$

Donc :

$$R_A = q \frac{L}{2} + P = 201.1 \text{KN}$$

$$R_B = q \frac{L}{2} + P = 201.1 \text{KN}$$

### II.3.3-Les efforts tranchant et les moments fléchissant

Pour le premier tronçon :  $0 < x < \frac{L-a}{2}$

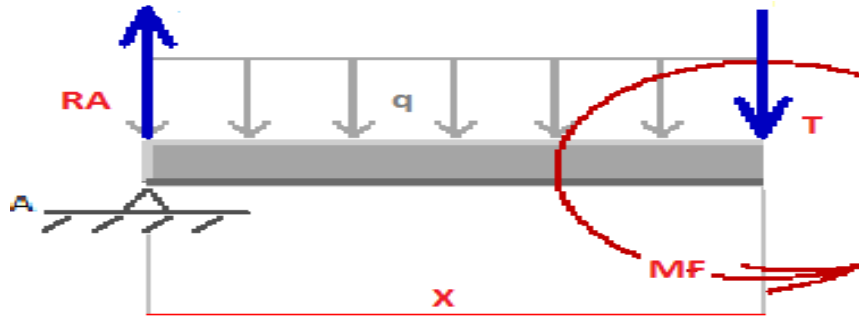


Figure II.4 Première tronçon de la poutre

$$T + qX - R_A = 0$$

$$T = R_A - qX$$

$$T = q \frac{L}{2} + P - qX \quad (\text{II.10})$$

$$X = 0 \rightarrow T = q \frac{L}{2} + P = 201,1 \text{KN}$$

$$X = \frac{L-a}{2} \rightarrow T = q \frac{a}{2} + P = 135,97 \text{KN}$$

$$M_f = R_A X - q \frac{X^2}{2}$$

$$M_f = \left( q \frac{L}{2} + P \right) X - q \frac{X^2}{2}$$

$$M_f = q \frac{LX}{2} + PX - q \frac{X^2}{2} \quad (\text{II.11})$$

$$X = 0 \rightarrow M_f = 0 \text{KN.m}$$

$$X = \frac{L-a}{2} \rightarrow M_f = q \frac{L^2 - a^2}{8} + P \frac{L-a}{2} = 1398,84 \text{KN.m}$$



Pour le deuxième tronçon :  $\frac{L-a}{2} \leq X \leq \frac{L}{2}$

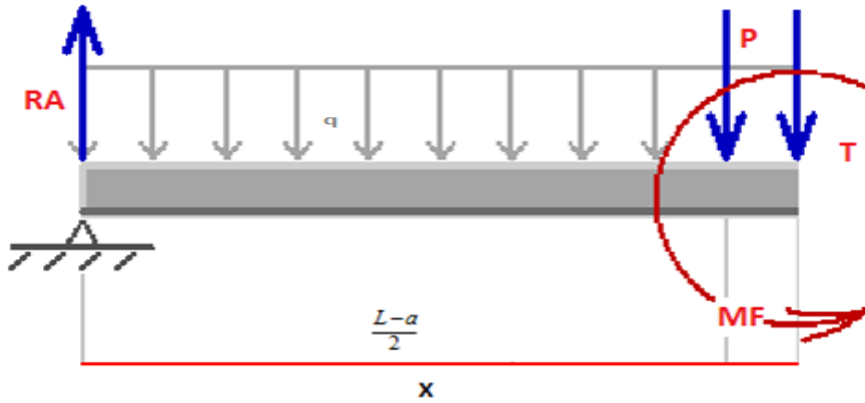


Figure II.5 Deuxième tronçon de la poutre

$$T + P + qX - R_A = 0$$

$$T = R_A - P - qX$$

$$T = q \frac{L}{2} + P - P - qX = q \frac{L}{2} - qX \quad (\text{II.12})$$

$$X = \frac{L-a}{2} \rightarrow T = q \frac{a}{2} = 13,34 \text{ KN}$$

$$X = \frac{L}{2} \rightarrow T = 0 \text{ KN}$$

$$M_f = R_A X - qX \frac{X}{2} - P \left( X - \frac{L-a}{2} \right)$$

$$M_f = \left( q \frac{L}{2} + P \right) X - q \frac{X^2}{2} - P \left( X - \frac{L-a}{2} \right) \quad (\text{II.13})$$

$$X = \frac{L-a}{2} \rightarrow M_f = q \frac{L^2 - a^2}{8} + P \frac{L-a}{2} = 1398,84 \text{ KN.m}$$

$$X = \frac{L}{2} \rightarrow M_f = q \frac{L^2}{8} + P \frac{L-a}{2} = 1410,2 \text{ KN.m}$$

Pour le troisième tronçon :  $\frac{L}{2} \leq X \leq \frac{L+a}{2}$

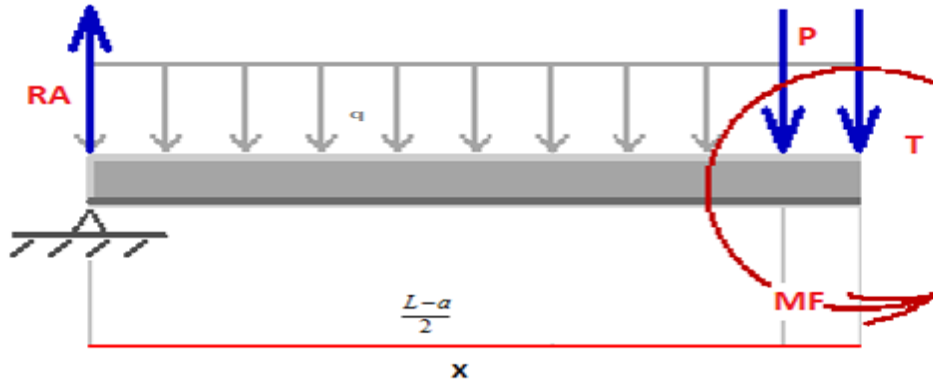


Figure II.6 Troisième tronçon de la poutre

$$T + P + qX - R_A = 0$$

$$T = R_A - P - qX$$

$$T = q \frac{L}{2} + P - P - qX = q \frac{L}{2} - qX \quad (\text{II.14})$$

$$X = \frac{L}{2} \rightarrow T = 0 \text{ KN}$$

$$X = \frac{L+a}{2} \rightarrow T = -q \frac{a}{2} = -13,34 \text{ KN}$$

$$M_f = R_A X - qX \frac{X}{2} - P \left( X - \frac{L-a}{2} \right)$$

$$M_f = q \frac{L}{2} X + PX - q \frac{X^2}{2} - P \left( X - \frac{L-a}{2} \right) \quad (\text{II.15})$$

$$X = \frac{L}{2} \rightarrow M_f = q \frac{L^2}{8} + P \frac{L-a}{2} = 1410,2 \text{ KN.m}$$

$$X = \frac{L+a}{2} \rightarrow M_f = q \frac{L^2 - a^2}{8} + P \frac{L-a}{2} = 1398,84 \text{ KN.m}$$

Pour le quatrième tronçon :  $\frac{L+a}{2} \leq X \leq L$

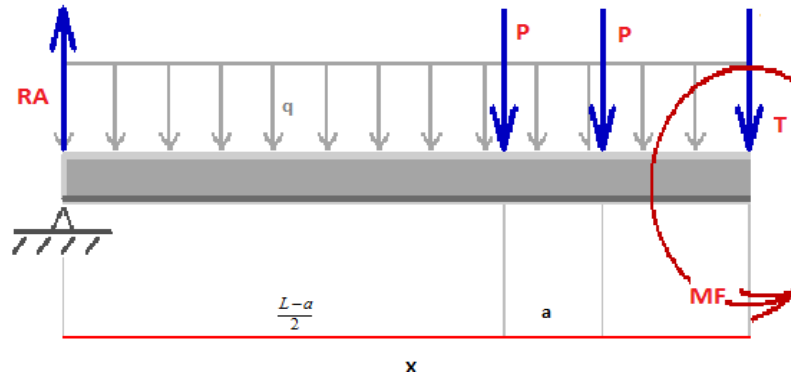


Figure II.7 Quatrième tronçon de la poutre

$$T + P + P + qX - R_A = 0$$

$$T = R_A - P - P - qX$$

$$T = q \frac{L}{2} + P - P - P - qX$$

$$T = q \left( \frac{L}{2} - X \right) - P \tag{II.16}$$

$$X = \frac{L+a}{2} \rightarrow T = -q \frac{a}{2} - P = -135,97 \text{ KN}$$

$$X = L \rightarrow T = -q \frac{L}{2} - P = -201,1 \text{ KN}$$

$$M_f = R_A X - P \left( X - \frac{L-a}{2} \right) - P \left( X - \frac{L+a}{2} \right) - qX \frac{X}{2}$$

$$M_f = q \frac{L}{2} X + PX - P \left( X - \frac{L-a}{2} \right) - P \left( X - \frac{L+a}{2} \right) - qX \frac{X}{2}$$

$$M_f = q \frac{L}{2} X - PX + PL - q \frac{X^2}{2} \tag{II.17}$$

$$X = \frac{L+a}{2} \rightarrow M_f = q \frac{L^2 - a^2}{8} + P \frac{L-a}{2} = 1398,84 \text{ KN.m}$$

$$X = L \rightarrow M_f = 0 \text{ KN.m}$$

### II.3.4-diagramme de l'effort tranchante et moment fléchissant

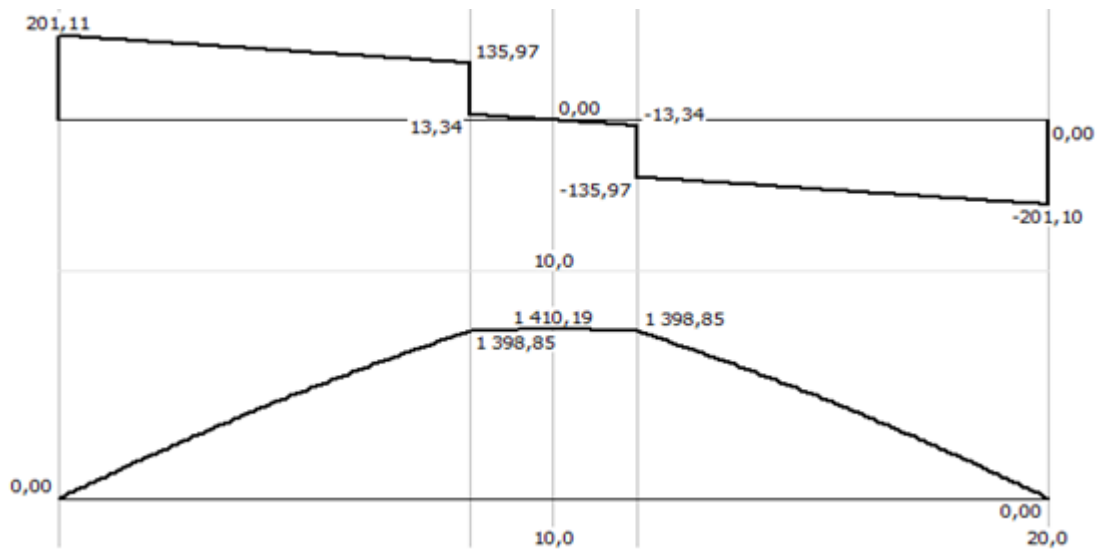


Figure II.8 Diagrammes des efforts tranchants et les moments fléchissant

Le diagramme représenté les valeurs max et min des efforts tranchants et les moments fléchissant

#### II.3.4.1 Vérification de la poutre à la résistance

La contrainte de flexion maximale dans la poutre est donnée par :

$$\sigma_{fmax} = \frac{M_{fmax}}{W_y} = \frac{M_{fmax}}{I_y/Z_{max}} \quad (\text{II.18})$$

$$M_{fmax} = 1410,19 \text{ kN.m}$$

$$I_y = 0,02142 \text{ m}^4$$

$$Z_{max} = \frac{h}{2} = \frac{1,2}{2} = 0,6 \text{ m}$$

$$\sigma_{fmax} = \frac{M_{fmax}}{I_y/Z_{max}} = \frac{1410,19 \times 10^3}{0,02142/0,6} = 39\,501\,120,4 \text{ N/m}^2 \approx 39,5 \text{ MPa}$$

La contrainte de cisaillement maximale dans la poutre est donnée par :

$$\tau_{max} = \frac{T_{max}}{A} \quad (\text{II.19})$$

$$\tau_{max} = \frac{T_{max}}{A} = \frac{201110}{101600} = 1,97 \text{ MPa}$$

La contrainte équivalente de Von Mises est donnée par :

$$\sigma_{eq}^{VM} = \sqrt{\sigma_{fmax}^2 + 3 \cdot \tau_{max}^2}$$

$$\sigma_{eq}^{VM} = \sqrt{\sigma_{fmax}^2 + 3 \cdot \tau_{max}^2} = \sqrt{39,5^2 + 3 \cdot 1,97^2} = 39,64 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{R_e}{s} = \frac{500}{8} = 62,5 \text{ MPa}$$

$\sigma_{eq}^{VM} \leq \sigma_{adm}$  La résistance est vérifiée

### II.3.5- équation de rotation et la flèche maximale :

#### II.3.5.1-Méthode d'intégration directe :

La flèche atteint son maximum au milieu de la poutre Dans (II.41) :

$$M_f = -\frac{q}{2} X^2 + \frac{qL}{2} X + P \left( \frac{L-a}{2} \right)$$

$$EIY''(X) = -M_f \quad (\text{II.20})$$

$$EIY''(X) = +\frac{q}{2} X^2 - \frac{qL}{2} X - P \left( \frac{L-a}{2} \right)$$

$$Y''(X) = +\frac{q}{2EI} X^2 - \frac{qL}{2EI} X - \frac{P}{EI} \left( \frac{L-a}{2} \right) \quad (\text{II.21})$$

$$Y'(X) = +\frac{q}{6EI} X^3 - \frac{qL}{4EI} X^2 - \frac{P}{EI} \left( \frac{L-a}{2} \right) X + C_1 \quad (\text{II.22})$$

$$Y(X) = +\frac{q}{24EI} X^4 - \frac{qL}{12EI} X^3 - \frac{P}{2EI} \left( \frac{L-a}{2} \right) X^2 + C_1 X + C_2 \quad (\text{II.23})$$

Conditions aux limites :

$$Y(0) = 0$$

$$C_2 = 0$$

$$Y(L) = 0$$

$$\frac{q}{24EI}L^4 - \frac{qL}{12EI}L^3 - \frac{P}{2EI}\left(\frac{L-a}{2}\right)L^2 + C_1L = 0$$

$$C_1 = -\frac{q}{24EI}L^3 + \frac{qL}{12EI}L^2 + \frac{P}{2EI}\left(\frac{L-a}{2}\right)L = 0,0093 \quad (\text{II.24})$$

Donc :

La rotation :

$$\theta = Y'(X) = +\frac{q}{6EI}X^3 - \frac{qL}{4EI}X^2 - \frac{P}{EI}\left(\frac{L-a}{2}\right)X + 0,0093 \quad (\text{II.25})$$

$$\theta(0) = 0,0093 \text{ RAD}$$

$$\theta(L) = -0,0093 \text{ RAD}$$

La flèche :

$$Y(X) = +\frac{q}{24EI}X^4 - \frac{qL}{12EI}X^3 - \frac{P}{2EI}\left(\frac{L-a}{2}\right)X^2 + 0,0093X \quad (\text{II.26})$$

La flèche atteint son maximum au niveau milieu de la poutre

$$Y_{max} = Y\left(\frac{L}{2}\right) = 0,01067 \text{ m} = 10,67 \text{ mm} \quad (\text{II.27})$$

### II.3.5.2 Méthode de paramètres initiaux

Equation général de rotation :

$$EI\theta(X) = EI\theta_0 + \sum M \frac{(X-a)}{1!} + \sum P \frac{(X-b)^2}{2!} + \sum q_c \frac{(X-c)^3}{3!} + \sum q_d \frac{(X-d)^3}{3!} + \sum q_{c'} \frac{(W-c)^4}{4!} + \sum q_{d'} \frac{(W-d)^4}{4!} \quad (\text{II.28})$$

Equation de rotation :

$$EI\theta(X) = EI\theta_0 - R_A \frac{X^2}{2} + P \frac{\left[X - \left(\frac{L-a}{2}\right)\right]^2}{2} + P \frac{\left[X - \left(\frac{L+a}{2}\right)\right]^2}{2} + q \frac{X^3}{6} \quad (\text{II.29})$$

$$EI\theta(X) = EI\theta_0 - 201,11 \frac{X^2}{2} + 122,625 \frac{(X-8,3)^2}{2} + 122,625 \frac{(X-11,7)^2}{2} + 7,848 \frac{X^3}{6}$$

Equation général de déformation :

$$EIY(X) = EIY_0 + EI\theta_0 \frac{X}{1!} + \sum M \frac{(X-a)^2}{2!} + \sum P \frac{(X-b)^3}{3!} + \sum q_c \frac{(X-c)^4}{4!} + \sum q_d \frac{(X-d)^4}{4!} \quad (\text{II.30})$$

$$+ \sum q_{c'} \frac{(X-c)^5}{5!} + \sum q_{d'} \frac{(X-d)^5}{5!}$$

Equation de déformation :

$$EIY(X) = EIY_0 + EI\theta_0 X - R_A \frac{X^3}{6} + P \frac{\left[X - \left(\frac{L-a}{2}\right)\right]^3}{6} + P \frac{\left[X - \left(\frac{L+a}{2}\right)\right]^3}{6} + q \frac{X^4}{24} \quad (\text{II.31})$$

$$EIY(X) = EIY_0 + EI\theta_0 X - 201,11 \frac{X^3}{6} + 122,625 \frac{(X-8,3)^3}{6} + 122,625 \frac{(X-11,7)^3}{6} + 7,848 \frac{X^4}{24}$$

Conditions aux limites :

$$X = 0 \rightarrow Y = 0$$

$$EIY_0 + EI\theta_0(0) - 201,11 \frac{0^3}{6} + 7,848 \frac{0^4}{24} = 0 \quad (\text{II.32})$$

$$EIY_0 = 0$$

$$X = 20 \rightarrow Y(20) = 0$$

$$EIY_0 + EI\theta_0(20) - 201,11 \frac{(20)^3}{6} + 122,625 \frac{(20-8,3)^3}{6} + 122,625 \frac{(20-11,7)^3}{6} + 7,848 \frac{20^4}{24} = 0 \quad (\text{II.33})$$

$$EIY_0 = 0$$

$$EI\theta_0(20) - 171407,81 = 0$$

$$\theta_0 = \frac{171407,81}{20EI} = 0,006$$

Donc

$$\theta(0) = 0,006 \text{ RAD}$$

$$\theta(20) = -0,006 \text{ RAD}$$

La flèche atteint son maximum au niveau milieu de la poutre

$$Y_{max} = Y\left(\frac{L}{2}\right) = 0,0116 \text{ m} = 11,65 \text{ mm}$$

### II.3.6-vérification de la flèche

Pour vérifier la flèche maximale on a la règle :

$$Y_{max} < Y_{adm}$$

La flèche admissible est déterminée selon la NF P22-615 (**Voir Annexe-3**)

GRUPE UTILISATION HC	FLECHE ADMISSIBLE
1-2	L / 500
3-4	L / 750
5-6	L / 1000

Tableau II.4 Flèche admissible pour poutre de roulement

Le pont roulant étudié est de classe 2 donc la flèche admissible est :

$$L / 500 = 40 \text{ mm}$$

Pour la première méthode :

$$10,67 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

$$Y_{max} < Y_{adm} \text{ Condition vérifiée}$$

Pour la deuxième méthode :

$$11,65 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

$$Y_{max} < Y_{adm} \text{ Condition vérifiée}$$



## II.4-Vérification du galet

Dans cette partie, les galets et les rails seront vérifiés en conformité avec la norme ISO 16881-1 ‘ Appareils de levage à charge suspendue ‘

Cette partie comprend une vérification du diamètre de galet en tenant compte de la pression entre le galet et les rails.

Pour calculer la charge maximale et la charge minimale sur le galet on doit mettre le chariot à  $x=0$  et calculer les réactions d’appuis.

$R_A$  représentée la charge max.

$R_B$  représentée la charge min.

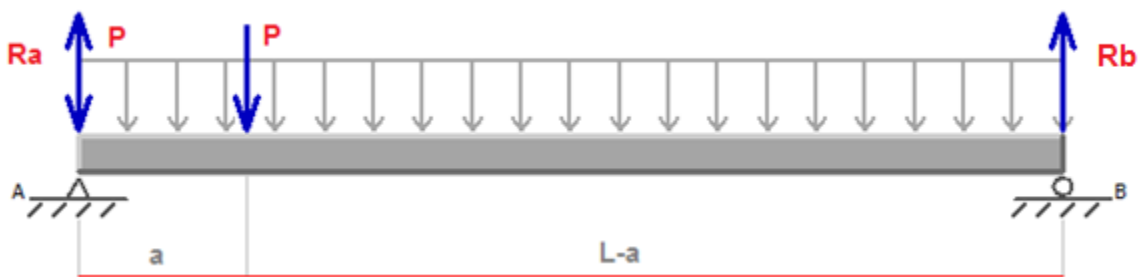


Figure II.9 Pont roulant avec chariot à  $x = 0$

$$\sum F / Y = 0$$

$$R_A - P - P - qL + R_B = 0$$

$$R_A = 2P + q - R_B \quad (\text{II.34})$$

$$\sum M / A = 0$$

$$R_A (0) - P(0) - P(a) - qL \frac{L}{2} + R_B L = 0$$

$$R_B L = q \frac{L^2}{2} + Pa$$

$$R_B = q \frac{L}{2} + P \frac{a}{L} \quad (\text{II.35})$$

$$R_A = 2P + qL - q\frac{L}{2} - P\frac{a}{L}$$

$$R_A = q\frac{L}{2} + P\left(\frac{2L-a}{L}\right)$$

$$R_A = 302.88KN$$

$$R_B = 99.32KN$$

Pour vérifier la pression sur les galets on a les deux conditions suivantes :

(Calcul de vérification suivant les règles de la norme ISO 16881-1 et la norme FEM)

$$\frac{P_{max}}{D \times b} \leq 1,9P_L \quad (\text{II.36})$$

$$\frac{P_{mean}}{D \times b} \leq C_1 \times C_2 \times P_L \quad (\text{II.37})$$

D : Le diamètre du galet de roulement =50mm

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

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

(Dans notre exemple  $r = 0$ )

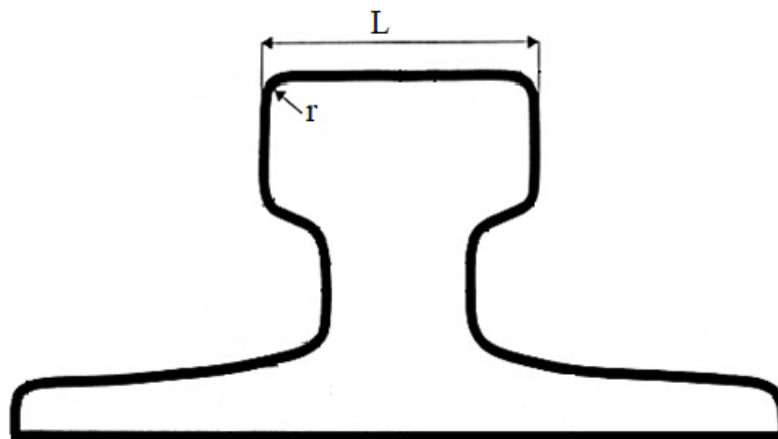


Figure II.10 Section du rail

$P_L$  : Pression limite fonction du matériau du galet et du rail

$$P_L = 7.8N/mm^2 (\text{Voir Annexe-4})$$

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

$$C_1 = 1 (\text{Voir Annexe-4})$$

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

Le groupe du mécanisme de translation c'est 2

$$C_2 = 1.25 \text{ (Voir Annexe-4)}$$

$P_{\max}$ : Charge max au galet

$$R_A = 302880N$$

$P_{\min}$  = charge statique minimale au galet =  $R_B = 99320N$

$P_{mean}$  : est déterminée par  $P_{\min}$  et  $P_{\max}$  ;  $P_{mean} = (P_{\min} + 2 P_{\max}) / 3$

$$\frac{P_{\max}}{D \times b} \leq 1.9 P_L$$

$6N / mm^2 \leq 14.8N / mm^2$  Condition vérifiée

$$\frac{P_{mean}}{D \times b} \leq C_1 \times C_2 \times P_L$$

$$P_{mean} = \frac{P_{\min} + 2P_{\max}}{3} = 235026.7N \quad (\text{II.38})$$

$4.7N / mm^2 \leq 9.75N / mm^2$  Condition vérifiée

## II.5-vérifications du crochet

Les crochets de grue, les maillons de chaîne, divers anneaux et de nombreux autres éléments structurels incurvés sont largement utilisés dans les structures de génie mécanique. La procédure d'analyse des contraintes de ce groupe d'éléments structuraux comprend deux étapes : la définition des propriétés géométriques de la section et la détermination des contraintes. Les sections transversales de forme rectangulaire et circulaire sont analysées en détail et l'analyse des contraintes d'un crochet de grue industrielle

mt (t)	be	d1	d2	h1	h2	Ri	Kg
50	89	130	50,5	135	116	79	51

Tableau II.5 Dimensionnement du crochet

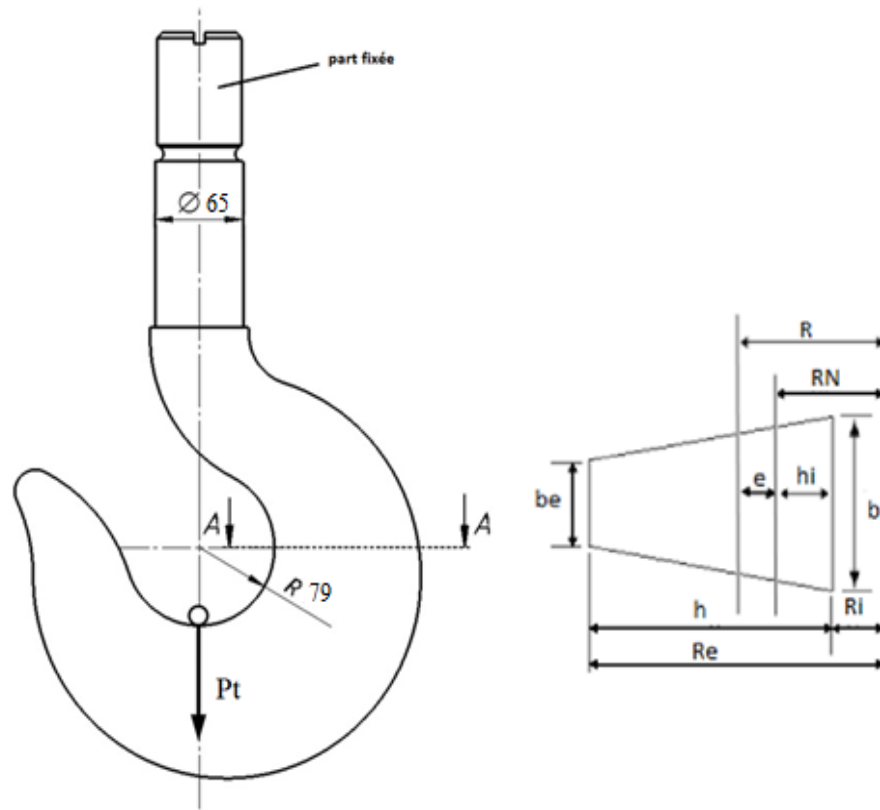


Figure II.11 La section de crochet

**II.5.1-Propriétés mécaniques du matériau 1.2367 (X38CrMoV5-3) du crochet**

Le crochet du pont roulant étudié ayant une section trapézoïdale approximative est illustré à la (Fig. II.11) Il est fabriqué en acier fortement allié X38CrMoV5-3 ( $R_e = 380 N/mm^2$ ) et le facteur de sécurité est de 3,5, les propriétés mécaniques de ce matériau sont les suivantes

Propriétés de l'alliage 1.2367(X38CrMoV5-3)	
Densité ( $\times 1000 \text{ kg/m}^3$ )	7,7-8,03
Module élastique (GPa)	212
Résistance à la traction (Mpa)	2300
Limite d'élasticité (Mpa)	2120
Coefficient de Poisson	0,28
Facteur de sécurité	2,5

Tableau II.6 Propriétés de l'alliage

**II.5.2-Calcul de la contrainte normale admissible**

$$\sigma_{adm} = \frac{R_e}{S} = \frac{2120}{2,5} = 848 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{II.39})$$

$R_e$  : Limite d'élasticité

$S$  : Facteur de sécurité

**II.5.3-Calcul de l'excentricité pour la section transversale**

$R_N$  : Rayon neutre

$b_i$  : Base intérieur

$b_e$  : Base extérieur

$h$  : La hauteur

$R_r$  : Rayon extérieur

$R_i$  : Rayon intérieur

$R$  : Rayon de la center de graffiter

$$R_N = \frac{\frac{(b_i+b_e)h}{2}}{\left(\frac{b_i R_e - b_e R_i}{h}\right) \ln\left(\frac{R_e}{R_i}\right) - (b_i - b_e)} \quad (\text{II.40})$$

$$R_N = \frac{\left(\frac{89+52}{2}\right)135}{\left(\frac{89*214-52*79}{135}\right) \ln\left(\frac{214}{79}\right) - (89 - 52)}$$

$$R_N = \frac{9517,5}{109,54 - 37}$$

$$R_N = \frac{9517,5}{72,54}$$

$$R_N = 130,84 \text{ mm}$$

$$R = R_i + \frac{h(b_i + 2b_e)}{3(b_i + b_e)} \quad (\text{II.41})$$

$$R = 79 + \frac{135(89 + 2 * 52)}{3(89 + 52)}$$

$$R = 79 + 61,6$$

$$R = 140,6 \text{ mm}$$

$e$  : excentricité entre l'axe neutre et l'axe qui passe par le centre de gravité de section.

$$e = R - R_N \quad (\text{II.42})$$

$$e = 140,6 - 130,84$$

$$e = 9,76 \text{ mm}$$

$h_i$  : la position de l'axe neutre par rapport a la base

$$h_i = R_N - R_i \quad (\text{II.43})$$

$$h_i = 130,84 - 79$$

$$h_i = 51,84 \text{ mm}$$

#### II.5.4-Calcul de la contrainte de flexion

A : la section

$$A = \frac{1}{2} [h(b_i + b_e)] \quad (\text{II.44})$$

$$A = \frac{1}{2} [135(89 + 52)]$$

$$A = 9517,5 \text{ mm}^2$$

$M_f$  : Moment fléchissant

$$M_f = P \times R \quad (\text{II.45})$$

$P_t$  : Poids total

$m_t$ : La masse total

$$P_t = m_t \times g \quad (\text{II.46})$$

$$P_t = 50000 \times 9,81$$

$$P_t = 490,5 \times 10^3 N$$

$$M_f = 490,5 \times 10^3 \times 140,6$$

$$M_f = 68964,3 \times 10^3 N \cdot mm$$

$$\sigma_{f_i} = \frac{M_f h_i}{AeR_i} = \frac{68964,3 \times 10^3 \times 51,84}{9517,5 \times 9,76 \times 79}$$

$$\sigma_{f_i} = 487,2 N/mm^2$$

### II.5.5-Calcul de la contrainte de traction

$$\sigma_t = \frac{P_t}{A} = \frac{50000 * 9.81}{9517,5} N/mm^2 \quad (\text{II.47})$$

$$\sigma_t = 51,53 N/mm^2$$

### II.5.6-Calcul de la capacité de charge en superposant les deux contraintes

$$\sigma_{max} = \sigma_{f_i} + \sigma_t \quad (\text{II.48})$$

$$\sigma_{max} = 487,2 + 51,53$$

$$\sigma_{max} = 538,7 N/mm^2 < \sigma_{adm}$$

La résistance est vérifiée

**Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons étudié analytiquement un exemple du pont roulant bipoutre posé

Il faut :

- Tracé les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissant
- Vérifié la résistance de la poutre.
- Calculé la flèche maximale et les rotations de poutre avec deux méthodes (méthode d'intégration direct et méthode des paramètres initiaux)
- Calculé la force maximale exercée sur les galets de roulement.
- Vérifié la résistance du crochet.

Les valeurs obtenues sont comparées avec les normes iso et les résultats sont acceptables.



# ***CHAPITRE III***

## ***Etude Numérique du pont roulant***

## Chapitre III : Etude Numérique du pont roulant

### III.1-INTRODUCTION

Le calcul par éléments finis nécessitant le maniement de nombreuses valeurs numériques, il est plus aisé d'exprimer celles-ci sous forme matricielle. En regroupant des termes de même nature au sein d'une seule et même variable, cette écriture plus synthétique permet en effet une meilleure compréhension des différentes phases de construction de la méthode. Ceci nécessite néanmoins la maîtrise des opérations de base associées à ce type de calcul : l'addition ou le produit de plusieurs matrices, la résolution de systèmes linéaires, etc.

### III.2-Éléments de poutre à deux nœuds

#### III.2.1-Équation générale des poutres planes

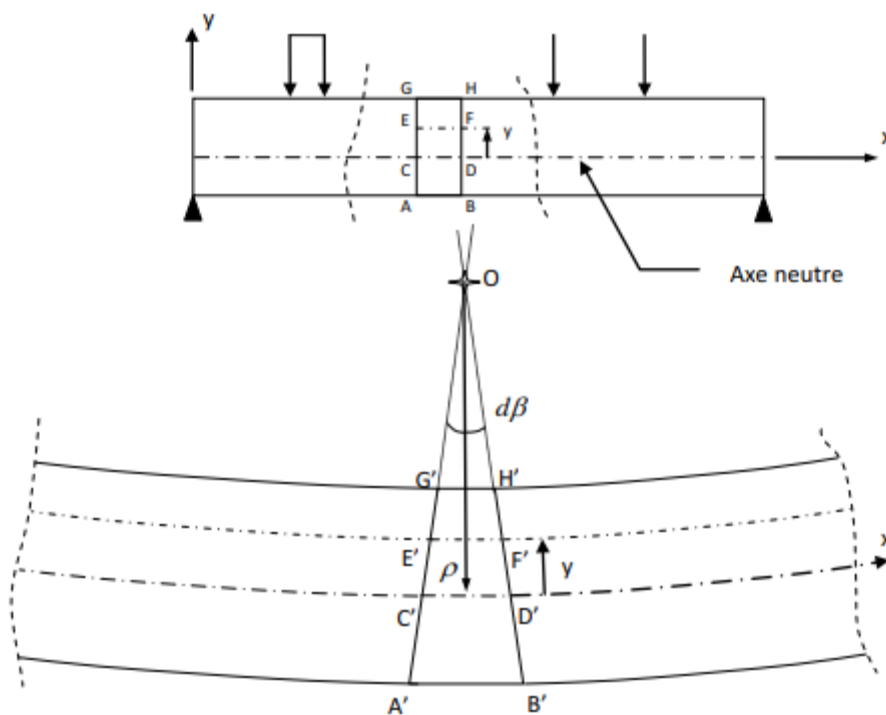


Figure III.1 Déformation d'une poutre en flexion

Les sections droites d'une poutre en flexion restant droites après déformations (principe de Navier-Bernoulli), l'étude des déformations longitudinales sur un tronçon ABGH permet d'établir une relation linéaire entre la déformation longitudinale et le rayon de courbure  $\rho$ .

$$\varepsilon_{xx} = \frac{E'R' - EF}{EF} \quad (III. 1)$$

Comme  $EF = CD$  et  $CD = C'D'$ , on déduit que :

$$\varepsilon_{xx} = \frac{E'F' - EF}{EF} = \frac{(\rho - y) * d\beta - \rho * d\beta}{\rho * d\beta} = -\frac{y}{\rho} \quad (III. 2)$$

Enfin et en combinant l'équation d'équilibre de la section à celle liant contrainte et déformation, on retrouve la relation moment-courbure de la théorie des poutres :

$$\left. \begin{array}{l} \int_s \sigma_{xx} * y * dS - M_z = 0 \\ \sigma_{xx} = E * \varepsilon_{xx} = -\frac{E}{\rho} * y \end{array} \right\} \Rightarrow M_z = -\frac{E}{\rho} \int_s y^2 * dS \Leftrightarrow -\frac{M_z}{EI_z} = \frac{1}{\rho} \quad (III. 3)$$

Avec  $I_z = \int_s y^2 * dS$  : moment d'inertie autour de l'axe z (perpendiculaire au plan xy). De plus et sous l'effet des charges extérieures, le point situé sur l'axe neutre à l'abscisse  $x$  subira un déplacement vertical  $v(x)$  et une rotation  $\beta(x)$ . par ailleurs et d'après la figure 6.2, on sait que  $dx = \rho * d\beta \Rightarrow \frac{d\beta}{dx} = \frac{1}{\rho}$  mais également que  $\beta = \frac{dv}{dx}$  ce qui permet de déduire :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d\beta}{dx} = \frac{d^2v}{dx^2} \quad (III. 4)$$

En égalisant (III.3) et (III.4), les relations moment-courbure et déformation-courbure deviennent :

$$\frac{1}{\rho} = -\frac{M_z}{EI_z} = \frac{d^2v}{dx^2} \quad (III. 5)$$

$$\varepsilon_{xx} = -\frac{y}{\rho} = -y \frac{d^2v}{dx^2} \quad (III. 6)$$

Sachant que l'effort tranchant correspond à la dérivée du moment fléchissant  $\left[ \left( \frac{dM_z}{dx} = T_y \right) \right]$  et que celle de l'effort tranchant est équivalente à la charge répartie  $\left[ \frac{dT_y}{dx} = -q_y(x) \right]$ , on obtient finalement :

$$EI_z \frac{d^2 v}{dx^2} = -M_z(x) \quad (\text{III. 7})$$

$$EI_z \frac{d^3 v}{dx^3} = -T_y(x) \quad (\text{III. 8})$$

$$EI_z \frac{d^4 v}{dx^4} = -q_y(x) \quad (\text{III. 9})$$

Les relations (III.7) et (III.9) sont les formes les plus connues de l'équation générale des poutres

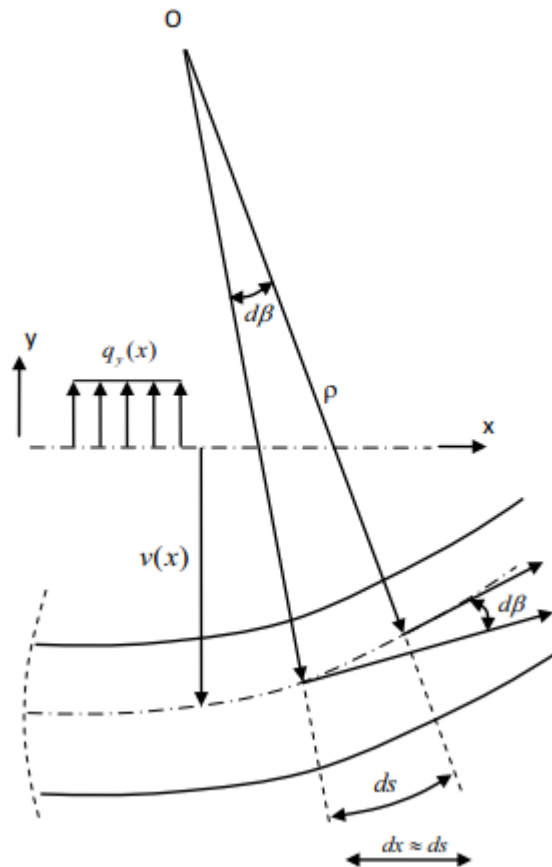


Figure III.2 Rotation et courbure

### III.2.2-Élément de poutre plane à 2 nœuds :

Soit un élément de poutre plane de longueur  $L$ , de section  $S$  et d'inertie  $I$  constantes et dont le matériau a un module d'élasticité longitudinal  $E$ . Cet élément à deux nœuds destiné au calcul des

réseaux de poutres chargés dans leur plan fait appel à la théorie des poutres qui permet de ramener le problème tridimensionnel à un problème unidimensionnel en condensant ses caractéristiques au niveau de sa fibre moyenne. Chacun de ses nœuds possède trois degrés de liberté  $u_i$ ,  $v_i$  et  $\frac{dv_i}{dx}$  qui permettent de reconstituer les fonctions de déplacements axial  $u(x)$  est transversal  $v(x)$ . Ses caractéristiques sont donc :

L : Longueur.

E : Module d'élasticité longitudinal.

S : Section axiale.

$I + I_z$  : Moment d'inertie suivant l'axe z (perpendiculaire au plan xy).

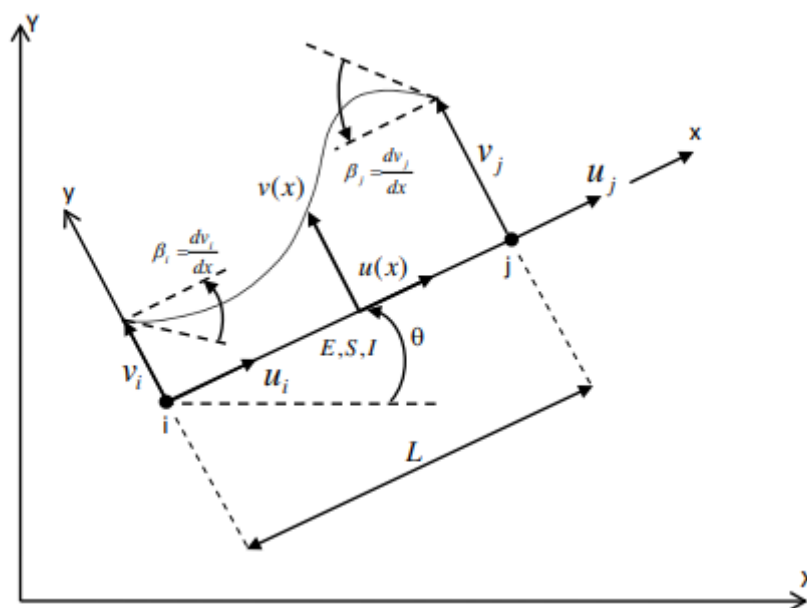


Figure III.3 Élément de poutre plane

Les inconnues étant les déplacements en i et en j, la première opération consistera à exprimer ces champs de déplacement en fonction des valeurs nodales  $u_i, v_i, \frac{dv_i}{dx}$  et  $u_j, v_j, \frac{dv_j}{dx}$ .

### III.2.2.1-Matrices de rigidité élémentaire en repère local

#### ■ Champ de déplacement axial $u(x)$

En l'absence de flexion, l'élément du fait de son raccourcissement ou de son allongement, a un comportement identique à celui d'une barre  $u(x)$  est donc encore une fois une fonction linéaire de la forme  $u(x) = a_0 + a_1x$ . La déformation associée est bien évidemment homogène sur la section

$$\varepsilon_{xx} = \frac{du}{dx} = a_1.$$

De plus et comme  $u(0) = u_i$  en  $i$  et  $u(L) = u_j$  en  $j$  on obtient comme pour l'élément barre, la fonction de déplacement:

$$u(x) = \left(1 - \frac{x}{L}\right)u_i + \frac{x}{L}u_j \quad (\text{III. 10})$$

### ■ Champ de déplacement transversal $v(x)$

En flexion, chacun des nœuds de cet élément possède deux degrés de liberté, un en translation dans la direction transversale  $v$  et un associé à la rotation  $\beta$  autour de l'axe  $z$  perpendiculaire au plan  $xy$ . Quatre conditions aux limites  $(v_i, \beta_i, v_j, \beta_j)$  peuvent donc être utilisées pour définir sa fonction d'approximation ce qui explique l'expression de  $v(x)$  sous la forme d'un polynôme de degré 3.

$$v(x) = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 = \{1 \ x \ x^2 \ x^3\} \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} \quad (\text{III. 11})$$

Cette approche revient en fait à intégrer la forme (III.9) de l'équation générale des poutres avec une charge répartie nulle. L'équation du moment fléchissant sera alors d'après (III.7) une fonction linéaire. À partir des conditions aux limites de  $(x)$  (*i.e.*  $v(0) = v_i, v'(0) = \beta_i, v(L) = v_j, v'(L) = \beta_j$ ), le vecteur des déplacements nodaux s'écrit :

$$\begin{pmatrix} v_i \\ \beta_i \\ v_j \\ \beta_j \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & L & L^2 & L^2 \\ 0 & 1 & 2L & 3L^2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = [R] \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} \quad (\text{III. 12})$$

Soit en injectant (III.12) dans (III.11),

$$v(x) = \{1 \ x \ x^2 \ x^3\} \cdot [R]^{-1} \cdot \begin{pmatrix} v_i \\ \beta_i \\ v_j \\ \beta_j \end{pmatrix}$$

$$v(x) = \{1 \ x \ x^2 \ x^3\} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -3 & 3 & 3 & -1 \\ \frac{2}{L^2} & \frac{1}{L^2} & -\frac{2}{L^2} & \frac{1}{L^2} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} v_i \\ \beta_i \\ v_j \\ \beta_j \end{Bmatrix} \quad (\text{III. 13})$$

D'où finalement :

$$v(x) = \left\{ 1 - \frac{3x^2}{L^2} + \frac{2x^3}{L^3} \quad x - \frac{2x^2}{L} + \frac{x^3}{L^2} \quad \frac{3x^2}{L^2} - \frac{2x^3}{L^3} \quad -\frac{x^2}{L} + \frac{x^3}{L^2} \right\} \cdot \begin{Bmatrix} v_i \\ \beta_i \\ v_j \\ \beta_j \end{Bmatrix} \quad (\text{III. 14})$$

C'est d'ailleurs grâce à cette relation que certains logiciels arrivent à tracer la déformée entre les nœuds. Ils calculent les valeurs de  $v(x)$  en certains points intermédiaires<sup>1</sup> et reconstituent ensuite la déformée. Ceci permet de se limiter à la géométrie de la structure et donc de réduire le nombre de nœuds.

### ■ Champ de déformation

En regroupant les résultats (III.10) et (III.14) dans (III.15), le champ de déplacement complet de l'élément s'écrit :

$$\begin{Bmatrix} u(x) \\ v(x) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 - \frac{x}{L} & 0 & 0 & \frac{x}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 1 - \frac{3x^2}{L^2} + \frac{2x^3}{L^3} & x - \frac{2x^2}{L} + \frac{x^3}{L^2} & 0 & \frac{3x^2}{L^2} - \frac{2x^3}{L^3} & -\frac{x^2}{L} + \frac{x^3}{L^2} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ \beta_i \\ u_j \\ v_j \\ \beta_j \end{Bmatrix} \quad (\text{III. 15})$$

$$\begin{Bmatrix} u(x) \\ v(x) \end{Bmatrix} = [N] \cdot \{q_e\}$$

La déformation de la poutre résultant de la concomitance de la flexion (III.6) et des variations de longueur

$$\varepsilon_{xx} = \frac{du}{dx} - y \frac{d^2v}{dx^2} \quad (\text{III. 16})$$

Le champ de déformation devient alors :

$$\varepsilon_{xx} = \left\{ -\frac{1}{L} \left( \frac{6}{L^2} - \frac{12x}{L^3} \right) \cdot y \quad \left( \frac{4}{L} - \frac{6x}{L^2} \right) \cdot y \quad \left( \frac{1}{L} \right) \left( -\frac{6}{L^2} + \frac{12x}{L^3} \right) \left( \frac{2}{L} - \frac{6x}{L^2} \right) \cdot y \right\} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ \beta_i \\ u_j \\ v_j \\ \beta_j \end{Bmatrix}$$

$$\varepsilon_{xx} = [B] \cdot \{q_e\} \quad (\text{III. 17})$$

1. Au quart, à la moitié et aux trois quarts de la longueur de l'élément par exemple :

### ■ Matrice de rigidité élémentaire

Reprenant l'expression de l'énergie de déformation élémentaire (4.11),

$$W_e = \frac{1}{2} \int_{V_e} \{\varepsilon\}^T \cdot \{\sigma\} \cdot dV_e = \frac{1}{2} \int_{V_e} \{q_e\}^T \cdot [B]^T \cdot [H] \cdot [B] \cdot \{q_e\} \cdot dV_e$$

$$W_e = \frac{1}{2} \{q_e\}^T \cdot [k_e] \cdot \{q_e\} \quad (\text{III. 18})$$

et sachant que la matrice  $[H]$ , les vecteurs contrainte et déformation se réduisent respectivement aux seuls termes  $E$ ,  $\sigma_{xx}$  et  $\varepsilon_{xx}$ ,  $W_e$  s'écrit :

$$W_e = \frac{1}{2} \int_{V_e} \sigma_{xx} \cdot \varepsilon_{xx} \cdot dV_e = \frac{1}{2} \int_{V_e} ([B] \cdot \{q_e\})^T E [B] \cdot \{q_e\} \cdot dV_e$$



$$w_e = \frac{1}{2} \{q_e\}^T \cdot \left( E \int_{V_e} [B]^T \cdot dV_e \right) \cdot \{q_e\} \quad (\text{III. 19})$$

On a :

$$k = E \int_{V_e} [B]^T \cdot dV_e$$

d'où l'expression finale de la matrice de rigidité élémentaire :

$$[k_e] = E \int_{V_e} [B]^T \cdot [B] \cdot dV_e = E \int_0^L \left( \int_{S_e} dS_e \right) \cdot [B]^T \cdot [B] \cdot dx \quad (\text{III. 20})$$

$$[k_e] = E \int_0^L \left( \int_{S_e} dS_e \right) \cdot \left\{ \begin{array}{c} -\frac{1}{L} \\ \left( \frac{6}{L^2} - \frac{12x}{L^3} \right) \cdot y \\ \left( \frac{4}{L} - \frac{6x}{L^2} \right) \cdot y \\ \frac{1}{L} \\ \left( -\frac{6}{L^2} + \frac{12x}{L^3} \right) \cdot y \\ \left( \frac{2}{L} - \frac{6x}{L^2} \right) \cdot y \end{array} \right\} \cdot dx$$

$$\left\{ -\frac{1}{L} \left( \frac{6}{L^2} - \frac{12x}{L^3} \right) \cdot y \quad \left( \frac{4}{L} - \frac{6x}{L^2} \right) \cdot y \quad \frac{1}{L} \left( \frac{6}{L^2} - \frac{12x}{L^3} \right) \cdot y \quad \left( \frac{2}{L} - \frac{6x}{L^2} \right) \cdot y \right\} \cdot dx$$

$$[k_e] = \begin{bmatrix} \frac{ES}{L} & 0 & 0 & -\frac{ES}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{ES}{L} & 0 & 0 & \frac{ES}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \quad (\text{III. 21})$$

La rigidité de nœud  $i$  :

$$\begin{bmatrix} \frac{ES}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}$$

Facteur de transmission du nœud  $j$  vers  $i$  :

$$\begin{bmatrix} -\frac{ES}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \end{bmatrix}$$

Facteur de transmission du nœud  $i$  vers  $j$  :

$$\begin{bmatrix} -\frac{ES}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \end{bmatrix}$$

Rigidité du nœud  $j$  :

$$\begin{bmatrix} \frac{ES}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}$$

Avec :

$$\int_{S_e} dS_e = S \text{ (Section constante).}$$

$$\int_{S_e} y^2 \cdot dS_e = I \text{ (Inertie constante).}$$

$\int_{S_e} \cdot dS_e = 0$  (Moment statique nul par rapport à la fibre moyenne).

On notera que les termes en « EI » sont bien liés aux degrés de liberté associés à la flexion de l'élément poutre.

### III.3.2.2-Matrices de rigidité élémentaire en repère global

L'élément de poutre plane possédant deux nœuds à trois degrés de liberté, la matrice de changement de base s'écrit en vertu

$$\{q_e\} = [R_e]\{Q_e\} \Leftrightarrow \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ \beta_i \\ u_j \\ v_j \\ \beta_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_i \\ V_i \\ B_i \\ U_j \\ V_j \\ B_j \end{Bmatrix} \quad (\text{III. 22})$$

On notera cependant l'ajout du «1» associé aux rotations autour des axes z et Z qui sont colinéaires dans le cas plan. La matrice de rigidité élémentaire en repère global est ensuite obtenue en appliquant soit :

$$[K_e] = [R_e]^T [K_e] [R_e] =$$

$$\begin{bmatrix} \frac{ES}{L} \cos^2 \theta + \frac{12EI}{L^3} \sin^2 \theta & \left( \frac{ES}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right) \cos \theta \sin \theta & -\frac{6EI}{L^2} \sin \theta & -\frac{ES}{L} \cos^2 \theta - \frac{12EI}{L^3} \sin^2 \theta & \left( -\frac{ES}{L} + \frac{12EI}{L^3} \right) \cos \theta \sin \theta & -\frac{6EI}{L^2} \sin \theta \\ \left( \frac{ES}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right) \cos \theta \sin \theta & \frac{ES}{L} \sin^2 \theta + \frac{12EI}{L^3} \cos^2 \theta & \frac{6EI}{L^2} \cos \theta & \left( -\frac{ES}{L} + \frac{12EI}{L^3} \right) \cos \theta \sin \theta & -\frac{ES}{L} \sin^2 \theta - \frac{12EI}{L^3} \cos^2 \theta & \frac{6EI}{L^2} \cos \theta \\ -\frac{6EI}{L^2} \sin \theta & \frac{6EI}{L^2} \cos \theta & \frac{4EI}{L} & \frac{6EI}{L^2} \sin \theta & -\frac{6EI}{L^2} \cos \theta & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{ES}{L} \cos^2 \theta - \frac{12EI}{L^3} \sin^2 \theta & \left( -\frac{ES}{L} + \frac{12EI}{L^3} \right) \cos \theta \sin \theta & \frac{6EI}{L^2} \sin \theta & \frac{ES}{L} \cos^2 \theta + \frac{12EI}{L^3} \sin^2 \theta & \left( \frac{ES}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right) \cos \theta \sin \theta & \frac{6EI}{L^2} \sin \theta \\ \left( -\frac{ES}{L} + \frac{12EI}{L^3} \right) \cos \theta \sin \theta & -\frac{ES}{L} \sin^2 \theta - \frac{12EI}{L^3} \cos^2 \theta & -\frac{6EI}{L^2} \cos \theta & \left( \frac{ES}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right) \cos \theta \sin \theta & \frac{ES}{L} \sin^2 \theta + \frac{12EI}{L^3} \cos^2 \theta & -\frac{6EI}{L^2} \cos \theta \\ -\frac{6EI}{L^2} \sin \theta & \frac{6EI}{L^2} \cos \theta & \frac{2EI}{L} & \frac{6EI}{L^2} \sin \theta & -\frac{6EI}{L^2} \cos \theta & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \quad (III.2)$$

III.2.2.3 Vecteur Charges exprimé en repère local

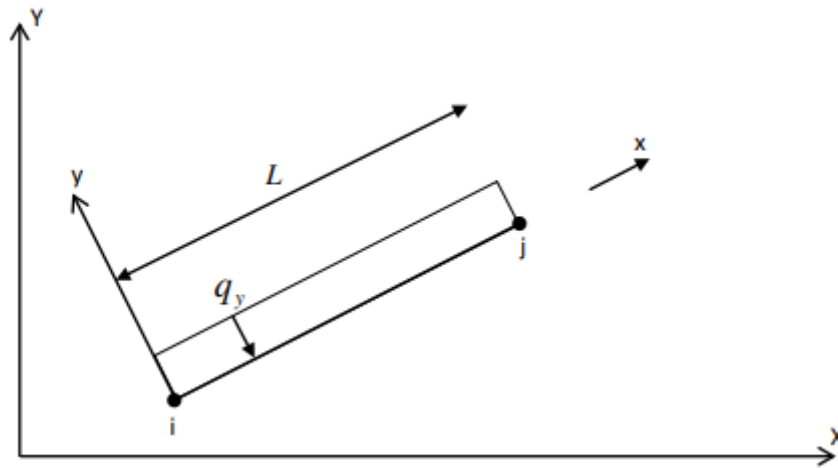


Figure III.4 Élément de poutre plane chargé uniformément

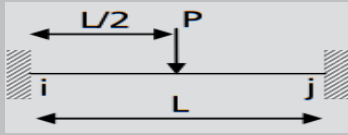
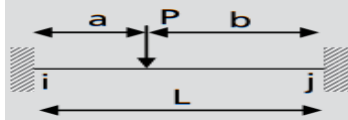
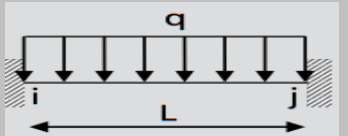
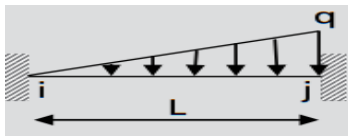
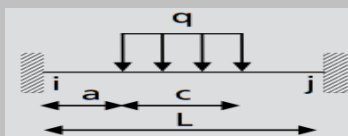
Considérant une poutre plane chargée uniformément, le vecteur charges  $\{f_e\}$  se réduit à celui des forces nodales de surface

$$\{f_e^s\} = \int_{S_e} [N]^T \cdot \{f^s\} \cdot dS_e$$

$$\{f_e\} = \{f_e^s\} = \int_{S_e} [N]^T \cdot \{f^s\} \cdot dS_e = \int_0^L [N]^T \cdot \begin{Bmatrix} 0 \\ -q_y \end{Bmatrix} dx$$

$$\{f_e\} = \begin{Bmatrix} F_{iy} \\ M_{iz} \\ F_{jy} \\ M_{jz} \end{Bmatrix} = \int_0^L \begin{Bmatrix} 1 - \frac{3x^2}{L^2} + \frac{2x^2}{L^3} \\ x - \frac{2x^2}{L} + \frac{x^3}{L^2} \\ \frac{3x^2}{L^2} - \frac{2x^3}{L^3} \\ -\frac{x^2}{L} + \frac{x^3}{L^3} \end{Bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} 0 \\ -q_y \end{Bmatrix} dx = \begin{Bmatrix} -\frac{q_y L}{2} \\ \frac{q_y L^2}{12} \\ -\frac{q_y L}{2} \\ \frac{q_y L^2}{12} \end{Bmatrix} \tag{III. 24}$$

D'une manière générale et dans le cas de forces orientées dans le sens  $y$  négatif, le vecteur charges d'un élément de poutre plane soumis à un système de charges transversales est égal à l'inverse des réactions et moments d'encastrement de la poutre bi-encastree subissant le même chargement. En d'autres termes, ce vecteur traduit les actions nodales équivalentes au chargement appliqué sur la poutre (cf. tableau III.1 des charges nodales équivalentes).

Type de chargement	$F_{iy}$	$M_{iz}$	$F_{jy}$	$M_{jy}$
	$-\frac{P}{2}$	$-\frac{PL}{8}$	$-\frac{P}{2}$	$\frac{PL}{8}$
	$-\frac{Pb^2}{L^3}(2a + L)$	$-\frac{Pab^2}{L^2}$	$-\frac{Pb^2}{L^3}(2b + L)$	$\frac{Pba^2}{L^2}$
	$-\frac{qL}{2}$	$-\frac{qL^2}{12}$	$-\frac{qL}{2}$	$\frac{qL^2}{12}$
	$-\frac{3qL}{20}$	$-\frac{qL^2}{30}$	$-\frac{7qL}{20}$	$\frac{qL^2}{20}$
	$-q \left\{ \begin{array}{l} -\frac{[(a+c)^3 - a^3]}{L^2} \\ +\frac{[(a+c)^4 - a^4]}{2L^3} \end{array} \right\}$	$-\frac{q}{12L^2} \cdot \left\{ \begin{array}{l} 6L^2[(a+c)^2 - a^2] \\ -8L[(a+c)^3 - a^3] \\ 3[(a+c)^4 - a^4] \end{array} \right\}$	$-q \left\{ \begin{array}{l} -\frac{[(a+c)^3 - a^3]}{L^2} \\ +\frac{[(a+c)^4 - a^4]}{2L^3} \end{array} \right\}$	$\frac{q}{12L^2} \cdot \left\{ \begin{array}{l} 4L[(a+c)^3 - a^3] \\ -3[(a+c)^4 - a^4] \end{array} \right\}$

### III.3-Rapport de simulation

#### III.3.1-Le logiciel SOLIDWORKS

Est un modéleur volumique permettant de créer des pièces complexes en 3 dimensions. Ces pièces peuvent être ensuite utilisées pour créer des mises en plan en 2D et des assemblages de plusieurs pièces entre elles. SOLIDWORKS est un système à cotation piloté. On peut spécifier des côtes et rapports géométriques entre les éléments. Un changement de cote entraîne un changement de taille de la pièce, tout en préservant l'intention de conception. Un modèle SOLIDWORKS est constitué de pièces, d'assemblages et de mise en plan. Les pièces, les assemblages et les mises en plan affichent le même modèle dans des documents différents. Les changements opérés sur le modèle dans l'un des documents se propagent aux autres documents contenant ce modèle

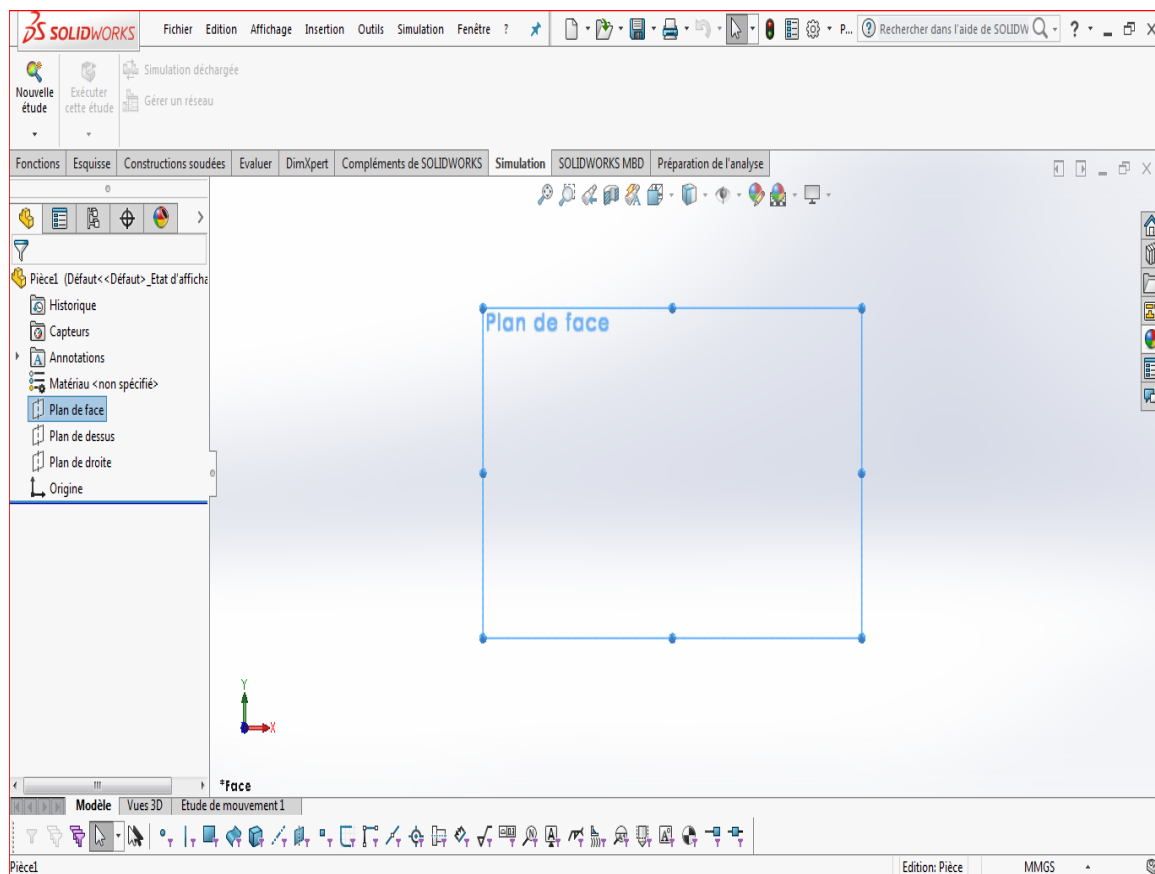


Figure III.5 Mise en plan de SOLODWORKS



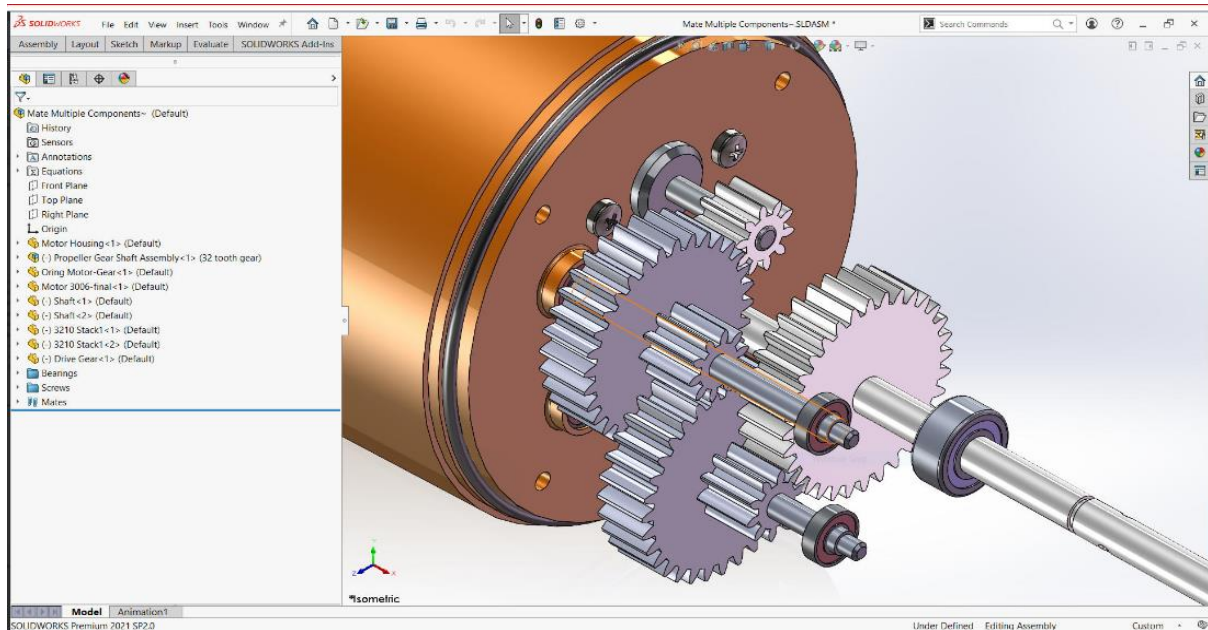


Figure III.6 Assemblage des pièces au SOLODWORS

### III.3.2 Les modules élémentaires de logiciel SOLIDWORKS

Comprend Trois modules élémentaires : Pièce, Assemblage, Mise en plan (Fig. III.1). En fonction du type de licence, d'autres compléments peuvent être implémenté. Dans la version SOLIDWORKS Premium sont disponible les compléments suivants : SOLIDWORKS Simulation, SOLIDWORKS FLOWSIMULATION, PHOTO VIEW 360, SOLIDWORKS Motion. SOLIDWORKS

- LE MODULE PIÈCE : Le module pièce est le premier module élémentaire de SOLIDWORKS, servant à élaborer le modèle numérique
- LE MODULE ASSEMBLAGE : Le module assemblage est le deuxième module élémentaire de SOLIDWORKS, permettant d'effectuer l'assemblage des pièces que l'on a élaboré préalablement dans le module pièce (Fig III.2)
- LE MODULE MISE EN PLAN : Le module Mise en Plan est le troisième module élémentaire de SOLIDWORKS, servant à effectuer la mise en plan d'une pièce ou d'un assemblage, que l'on a élaboré préalablement dans le module Pièce ou le module Assemblage

La barre d'outils d'annotation permet d'insérer des cotes diverses, du texte, des hachures et des axes à la mise en plan

SOLIDWORKS Simulation

Est un portefeuille d'outils d'analyse structurelle faciles à utiliser qui font appel à la méthode d'analyse par éléments finis (FEA) pour prédire le comportement physique réel d'un produit en testant virtuellement des modèles de CAO. Le portefeuille propose des fonctionnalités d'analyse dynamique et statique non linéaire et linéaire.

SOLIDWORKS Simulation permet de tester le comportement mécanique des pièces et des assemblages modélisés dans SOLIDWORKS. SOLIDWORKS Simulation permet de faire une étude : Statique, Fréquentielle, Flambement, Thermique, Test de chute, Fatigue et Dynamique (Modale, harmonique, spectrale et aléatoire)

#### PHOTO VIEW 360

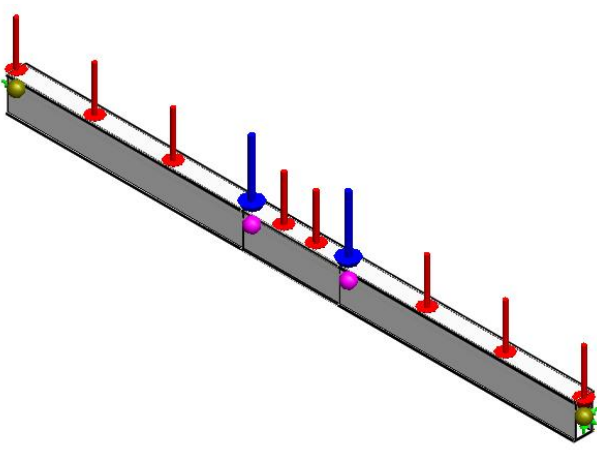
Permet de créer des rendus d'images au réalisme photographique des pièces et assemblages de SOLIDWORKS. Pour un rendu d'image réaliste d'un modèle de SOLIDWORKS, vous pouvez choisir parmi un nombre d'effets avancés de rendu, et vous pouvez préciser vos préférences de traitement, y compris: Matériaux, lumière, image de fond, qualité de l'image, format de sortie du rendu. Ces informations sont groupées pour former une scène PHOTO VIEW 360

#### SOLIDWORKS Motion

Avec SOLIDWORKS Motion, vous pouvez animer et capturer le mouvement d'assemblages SOLIDWORKS. SOLIDWORKS Motion peut générer des animations basées sur Windows (fichiers .avis). Conjointement avec PHOTO VIEW 360, SOLIDWORKS Motion peut produire des animations au réalisme photographique. Après avoir créé votre animation, SOLIWORKS Motion vous permet d'enregistrer l'animation en tant que fichier .avis pour être ensuite jouée séparément du logiciel SOLIDWORKS

### III.4-Rapport de l'étude de la poutre

#### III.4.1-Informations sur le modèle



Nom du modèle: **beam bending simulation**

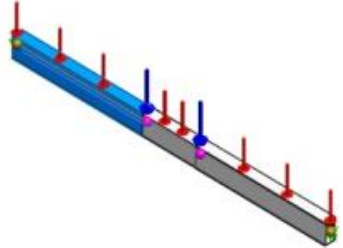
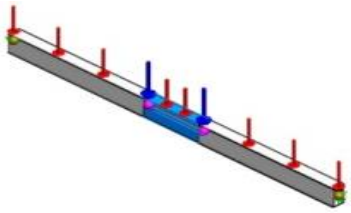
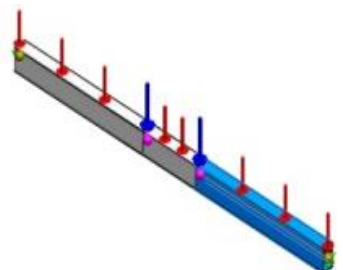
Section	Formulation	Propriétés
<p><b>Section-1</b></p> 	<p><b>Poutre à inertie constante</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Section Standard-iso/sec pnt/SEC 12</li> <li>-Aire de la section: 0.101557m<sup>2</sup></li> <li>-Longueur:8300mm</li> <li>-Volume:0.842924m<sup>3</sup></li> <li>-Masse volumique:7800kg/m<sup>3</sup></li> <li>-Masse:6574.81kg</li> <li>-Poids:64433.1N</li> </ul>
<p><b>Section-2</b></p> 	<p><b>Poutre à inertie constante</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Section Standard-iso/sec pnt/SEC 12</li> <li>-Aire de la section: 0.101557m<sup>2</sup></li> <li>-Longueur:3400mm</li> <li>-Volume:0.345294m<sup>3</sup></li> <li>-Masse volumique:7800kg/m<sup>3</sup></li> <li>-Masse:2693.29kg</li> <li>-Poids:26394.3N</li> </ul>
<p><b>Section-3</b></p> 	<p><b>Poutre à inertie constante</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Section Standard-iso/sec pnt/SEC 12</li> <li>-Aire de la section: 0.101557m<sup>2</sup></li> <li>-Longueur:8300mm</li> <li>-Volume:0.842924m<sup>3</sup></li> <li>-Masse volumique:7800kg/m<sup>3</sup></li> <li>-Masse:6574.81kg</li> <li>-Poids:64433.1N</li> </ul>

Tableau III.1 Présentation de la poutre

## III.4.2-Propriétés de l'étude

Nom d'étude	Static de poutre
Type d'analyse	Static
Type de maillage	Maillage de poutre
Vérifier les forces externes	Activé (e)
Système d'unités:	SI (MKS)
Longueur/Déplacement	Mm
Pression/Contrainte	N/m <sup>2</sup>

Tableau III.2 Les paramètres de l'étude (poutre)

## III.4.3-Propriétés du matériau

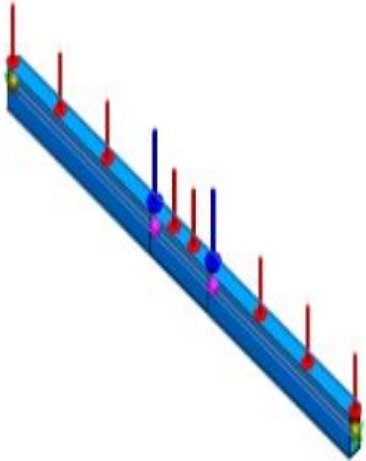
Référence du modèle	Propriétés	Composants
	-Nom : <b>1.7045 (42Cr4)</b>	-Corps volumique 1(Sec pnt SEC 12 (1)[1])(Pièce1)
	-Type de modèle : <b>Linéaire élastique isotropique</b>	-Corps volumique 2(Sec pnt SEC 12 (1)[2])(Pièce1)
	-Limite d'élasticité : <b>5e+008 N/m<sup>2</sup></b>	-Corps volumique 3(Sec pnt SEC 12 (1)[3])(Pièce1)
	-Limite de traction : <b>8.8e+008 N/m<sup>2</sup></b>	
	-Module d'élasticité : <b>2.1e+011 N/m<sup>2</sup></b>	
	-Coefficient de Poisson : <b>0.28</b>	
	-Masse volumique : <b>7800 kg/m<sup>3</sup></b>	
	-Module de cisaillement : <b>7.9e+010 N/m<sup>2</sup></b>	

Tableau III.3 Les caractéristique du matériau : 1.7045 (42Cr4)

**III.4.4-Actions extérieures**

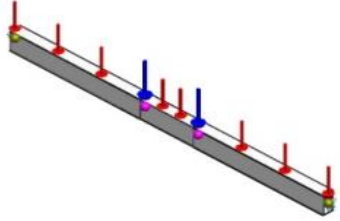
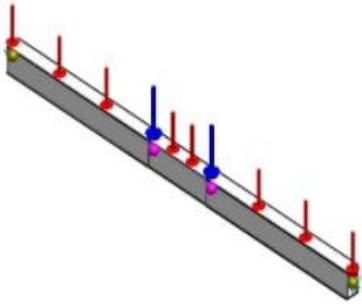
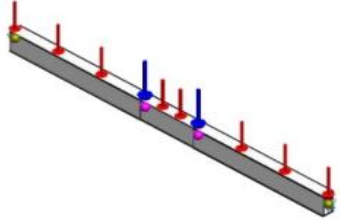
Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé
<b>Immobile-2</b>		-Entités: <b>2 Joint(s)</b> -Type: <b>Immobile (pas de translation)</b>
Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement
<b>Force-1</b>		-Entités: <b>1 plan(s), 3 Poutre (s)</b> -Référence: <b>Plan de face</b> -Type: <b>Force</b> -Valeurs: ---, <b>-7848</b> , --- N -Moments: ---, ---, --- N.m
<b>Force-2</b>		-Entités: <b>1 plan(s), 2 Poutre (s)</b> -Référence: <b>Plan de face</b> -Type: <b>Force</b> -Valeurs: ---, <b>-122625</b> , --- N -Moments: ---, ---, --- N.m

Tableau III.4 Les actions appliquée (poutre)

**III.4.5- Informations sur le maillage**

Type de maillage	Maillage de poutre
Nombre total de nœuds	86
Nombre total d'éléments	82

Nom du modèle: beam bending simulation 2  
 Nom de l'étude: Static 2 à partir de [Static 1]- Défaut-<Brut d'usinage>-)  
 Type de maillage:

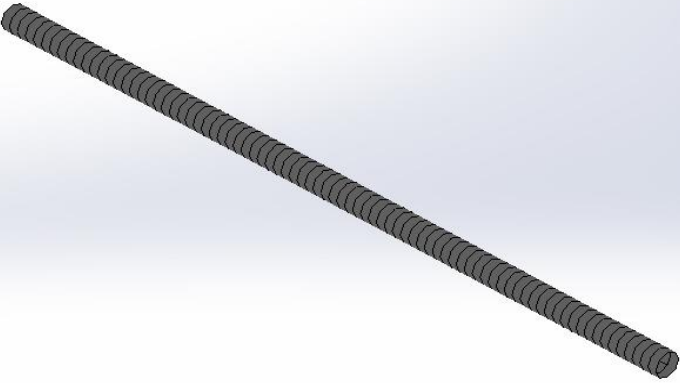


Tableau III.5 Les caractéristique de maillage (poutre)

**III.4.6- Forces résultantes**

Ensemble de sélections	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultante
Modèle entier	N	0	402210	1.61796e-021	402210
Ensemble de sélections	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultante
Modèle entier	N.m	0	0	0	1e-033

Tableau III.6 Les forces et les moments de réaction

**III.4.7-Forces dans les poutres**

Nom de la poutre	Connexions	Axial(N)	Cisaillement1(N)	Moment2(N.m)	Couple(N.m)
SEC (1)	1	-5.5727e-010	-201105	-2.83122e-007	0
	2	5.49293e-010	135967	1.39885e+006	-2.91038e-011
SEC (2)	1	-4.8983e-010	-13341.6	-1.39885e+006	-6.7339e-009
	2	5.32642e-010	-13341.6	1.39885e+006	-5.45697e-011
SEC (3)	1	5.32642e-010	-201105	2.83122e-007	0
	2	3.28561e-011	135967	-1.39885e+006	-3.15413e-009

Tableau III.7 Les différent forces dans la poutre

**III.4.8-Contraintes dans les poutres**

SECTIONS	Connexions	Axial(N/m <sup>2</sup> )	Dir . de flexion 1(N/m <sup>2</sup> )	Dir . de flexion 2(N/m <sup>2</sup> )	Torsion (N/m <sup>2</sup> )	Contrainte axiale et de flexion limite supérieure(N/m <sup>2</sup> )
SEC (1)	1	-5.48726e-009	3.49443e-019	7.94661e-006	0	7.95209e-006
	2	-5.40871e-009	2.60088e-007	3.92625e+007	-1.42054e-009	3.92625e+007
SEC (2)	1	-4.8232e-009	-5.4755e-006	3.92625e+007	-3.28681e-007	3.92625e+007
	2	-5.24475e-009	2.60088e-007	3.92625e+007	-2.66354e-009	3.92625e+007
SEC (3)	1	-5.24475e-009	-3.26715e-020	7.94661e-006	0	7.95185e-006
	2	3.23523e-010	-4.40628e-006	3.92625e+007	-1.53951e-007	3.92625e+007

Tableau III.8 Les contraintes dans chaque section

III.4.9-Résultat de l'étude

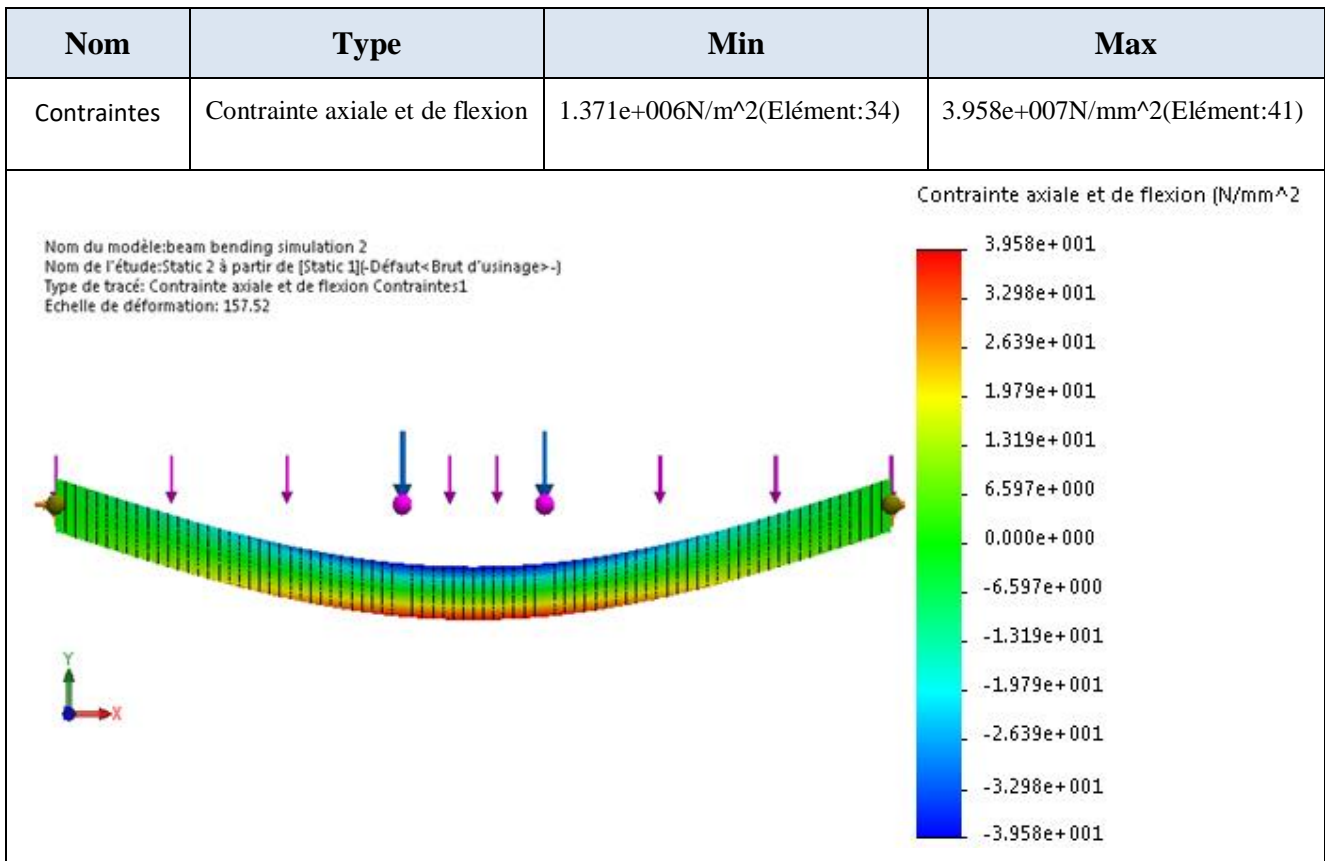


Tableau III.9 Les résultat de contraintes (poutre)

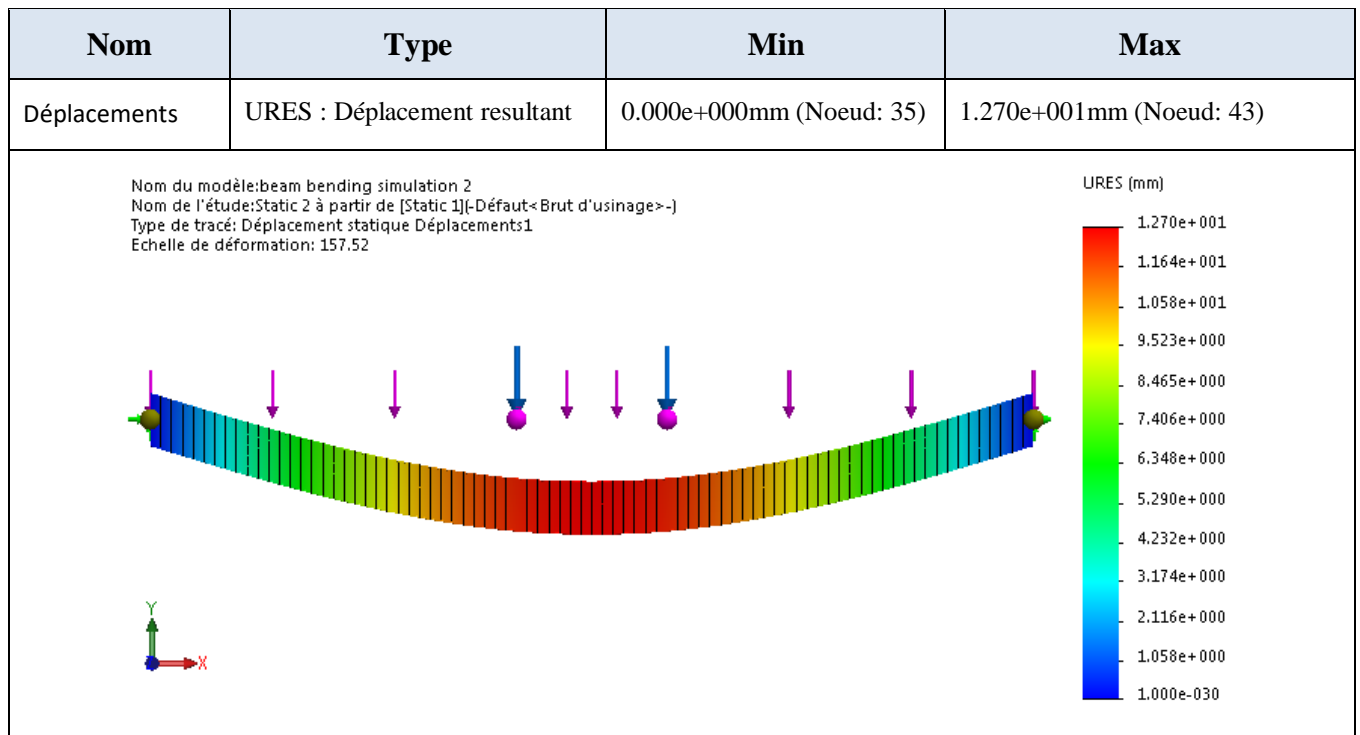


Tableau III.10 Les résultats de le déplacement (poutre)



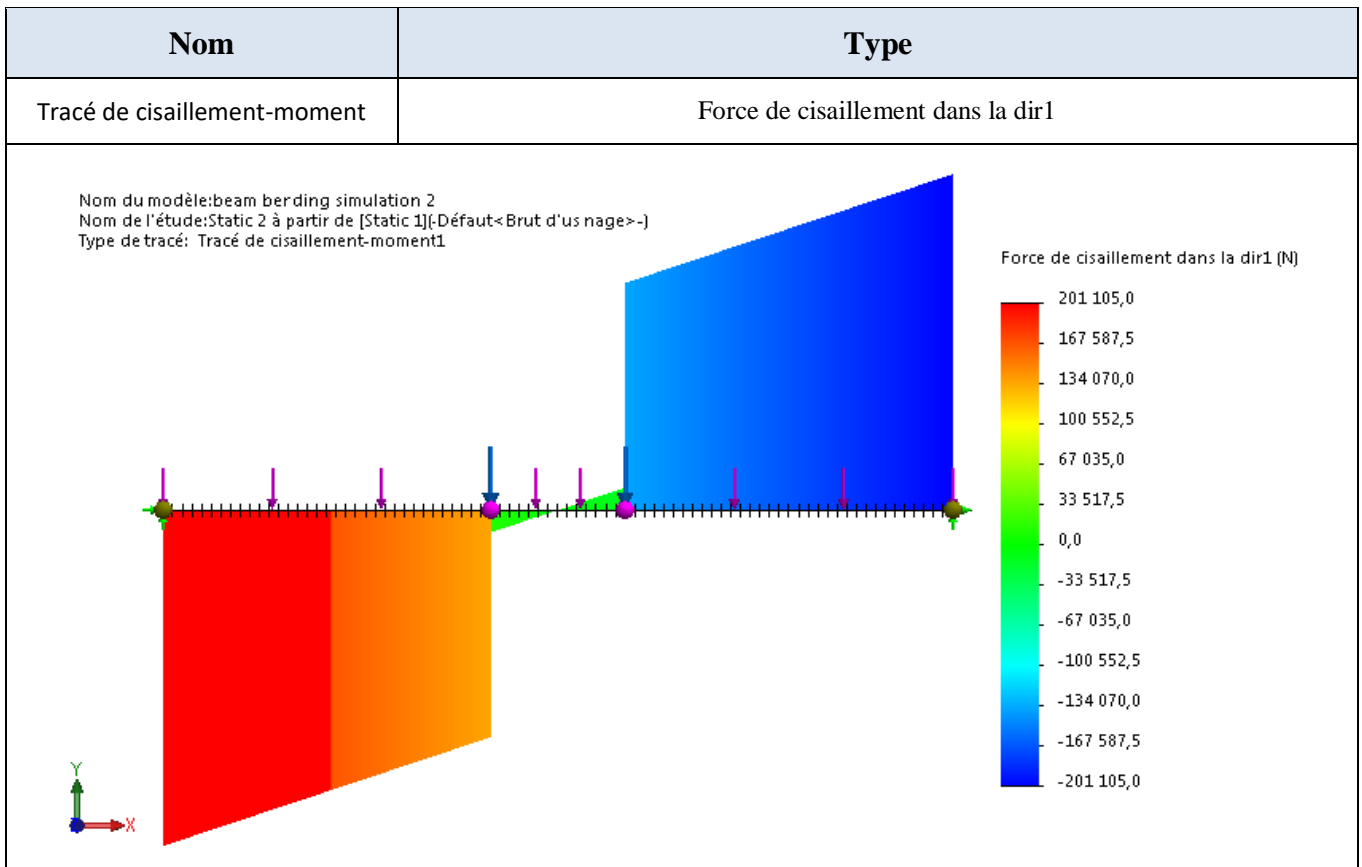


Tableau III.11 Diagramme des efforts tranchants

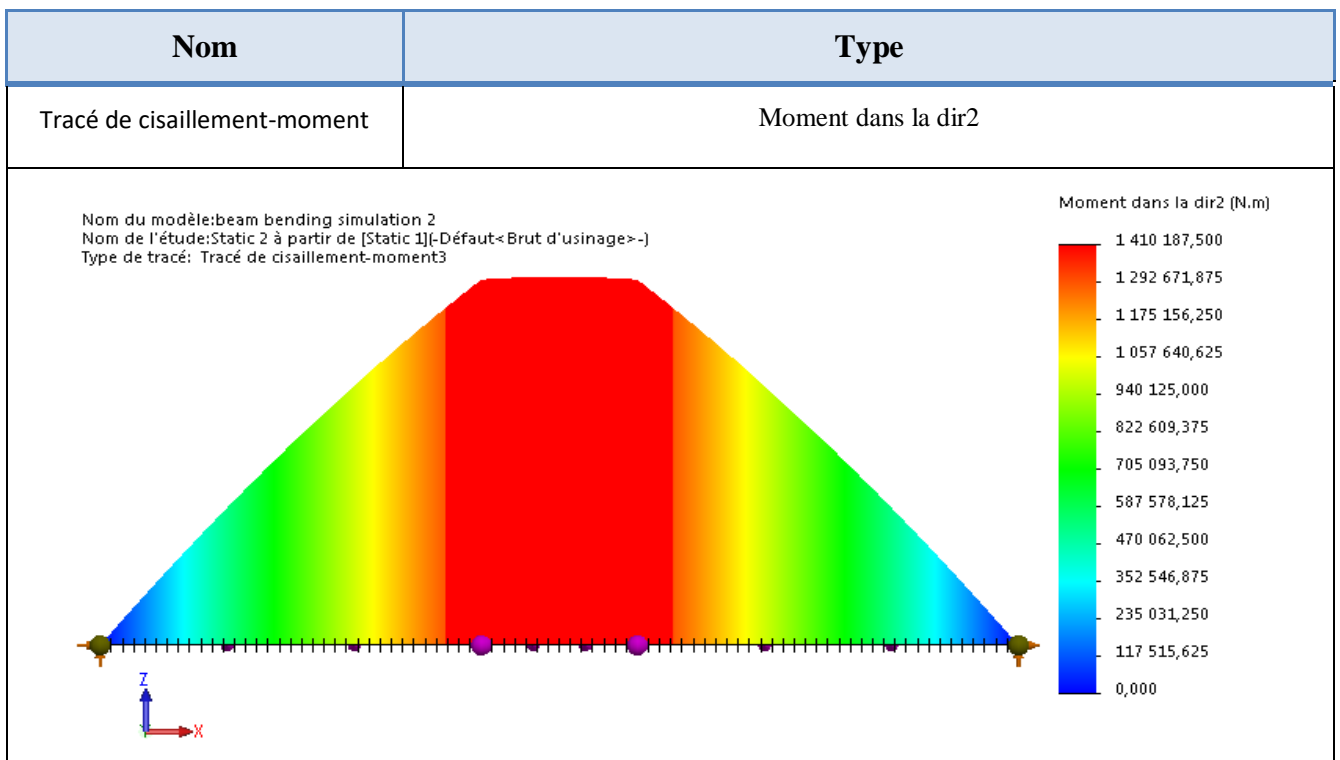


Tableau III.12 Diagramme de les moments fléchissant

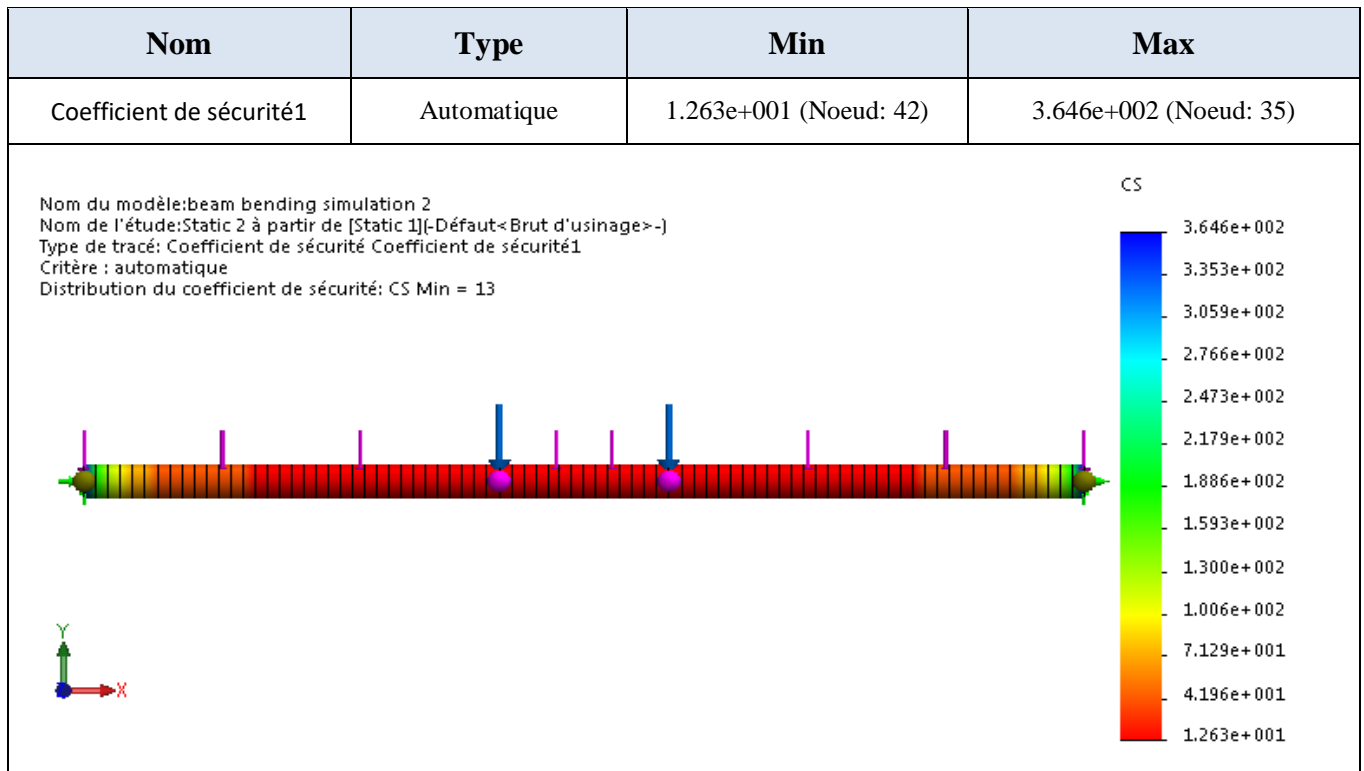


Tableau III.13 Les résultats de coefficient de sécurité (poutre)

### III.5-Rapport de l'étude de Crochet

#### III.5.1-Informations sur le modèle

Nom du modèle: Hook simulation

piece	Traité comme	Propriétés volumétriques
	Corps volumique	Masse:79.5143 kg Volume:0.0101298 m <sup>3</sup> Masse volumique:7849.55 kg/m <sup>3</sup> Poids:779.24 N

Tableau III.14 Présentation de crochet

## III.5.2-Propriétés de l'étude

Nom d'étude	Statique 2 à partir de [Statique 2]
Type d'analyse	Static
Type de maillage	Maillage volumique
Vérifier les forces externes	Active(e)
Système d'unités:	SI (MKS)
Longueur/Déplacement	Mm
Pression/Contrainte	N/m <sup>2</sup>

Tableau III.15 Les paramètres de l'étude (Crochet)

## III.5.3-Propriétés du matériau


Référence du modèle	Propriétés	Composants
	<p>-Nom : 1.2367 (X38CrMoV5-3)</p> <p>-Type de modèle: Linéaire élastique isotropique</p> <p>-Limite d'élasticité: 2.12e+009 N/m<sup>2</sup></p> <p>-Limite de traction: 2.12e+009 N/m<sup>2</sup></p> <p>-Module d'élasticité: 2.15e+011 N/m<sup>2</sup></p> <p>-Limite de traction: 2.12e+009 N/m<sup>2</sup></p> <p>-Masse volumique: 7850 kg/m<sup>3</sup></p> <p>-Module de cisaillement: 7.9e+010 N/m<sup>2</sup></p>	<p><b>Corps volumique(crochet)</b></p>

Tableau III.16 Les caractéristique du matériau :1.2367 (X38CrMoV5-3) (Crochet)

**III.5.4-Actions extérieures**


Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé			Détails du déplacement imposé
Section (1) Fixe				Entités: <b>1 face(s)</b> Type: <b>Géométrie fixe</b>
Forces resultants				
Composants	X	Y	Z	Résultante
Force de réaction(N)	-25.5669	490491	0.478267	490491
Moment de réaction(N.m)	0	0	0	0

Tableau III.17 Les actions appliquée (Crochet)

**III.5.5-Informations sur le maillage**

Type de maillage	Maillage volumique
Mailleur utilisé:	Maillage basé sur la courbure
Points de Jacobien	4 Points
Taille d'élément maximum	27.7306 mm
Taille d'élément minimum	5.54612 mm
Tracé de qualité du maillage	Haute
Nombre total de noeuds	24463
Nombre total d'éléments	15068

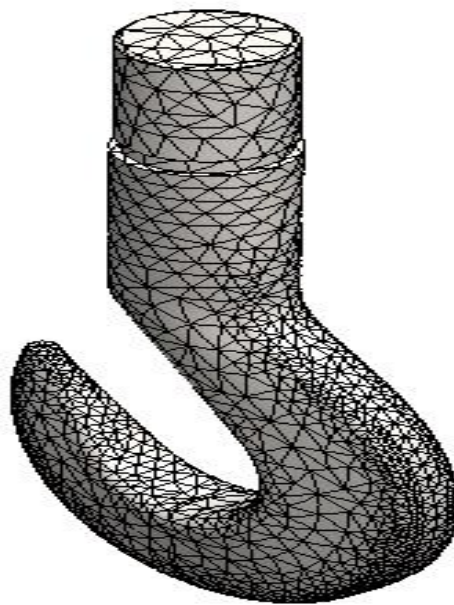


Tableau III.18 Les caractéristique de maillage (Crochet)

**III.5.6-Forces résultantes**

Ensemble de sélections	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultante
Modèle entier	N	-25.5669	490491	0.478267	490491

Tableau III.19 Les forces et les moments de réaction (Crochet)

**III.5.7-Résultats de l'étude**

Nom	Type	Min	Max
Déplacements	URES : Déplacement résultant	0.000e+000mm (Nœud : 9)	2.480e+000mm (Nœud : 7671)

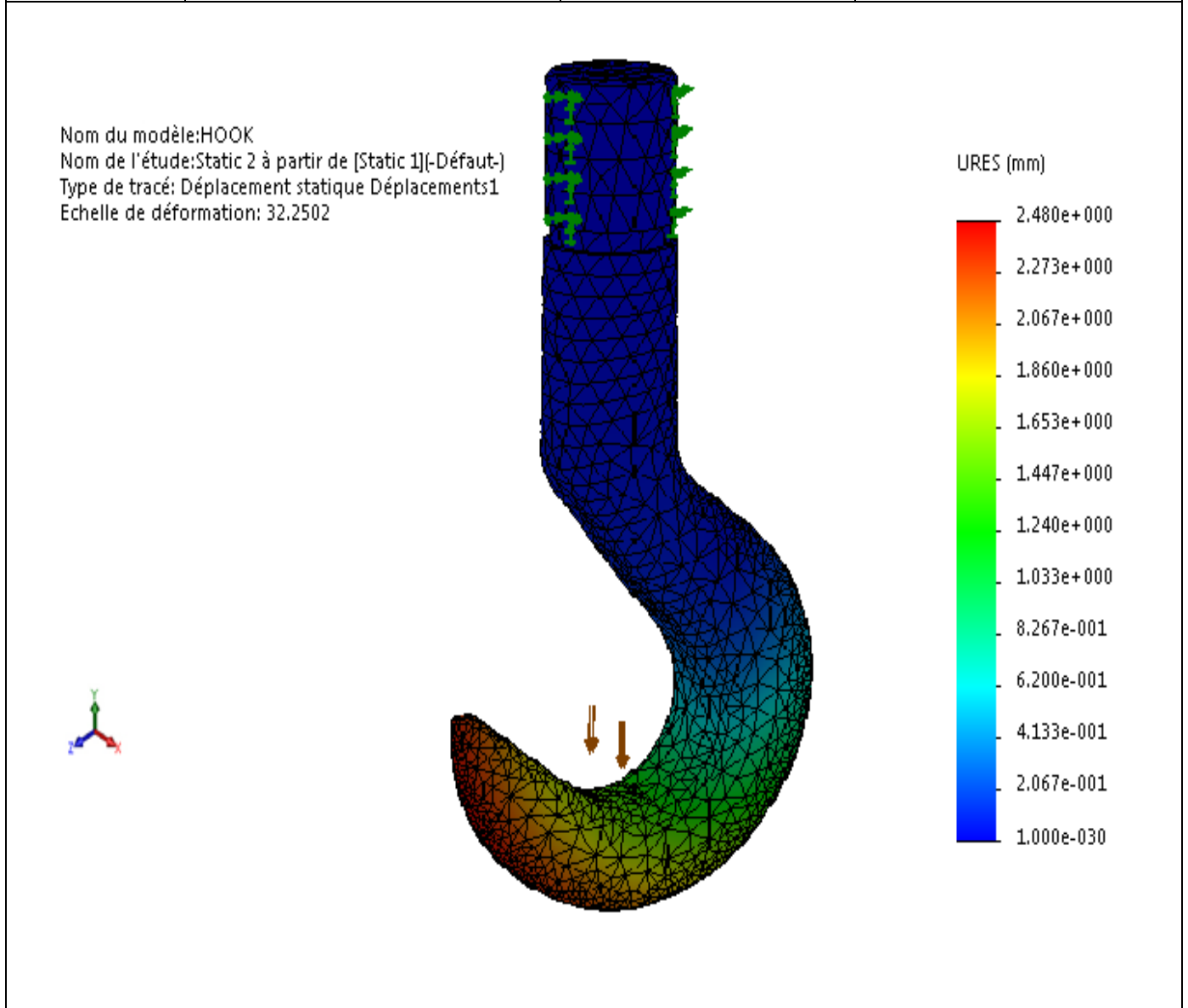


Tableau III.20 Les résultat de déplacement (Crochet)

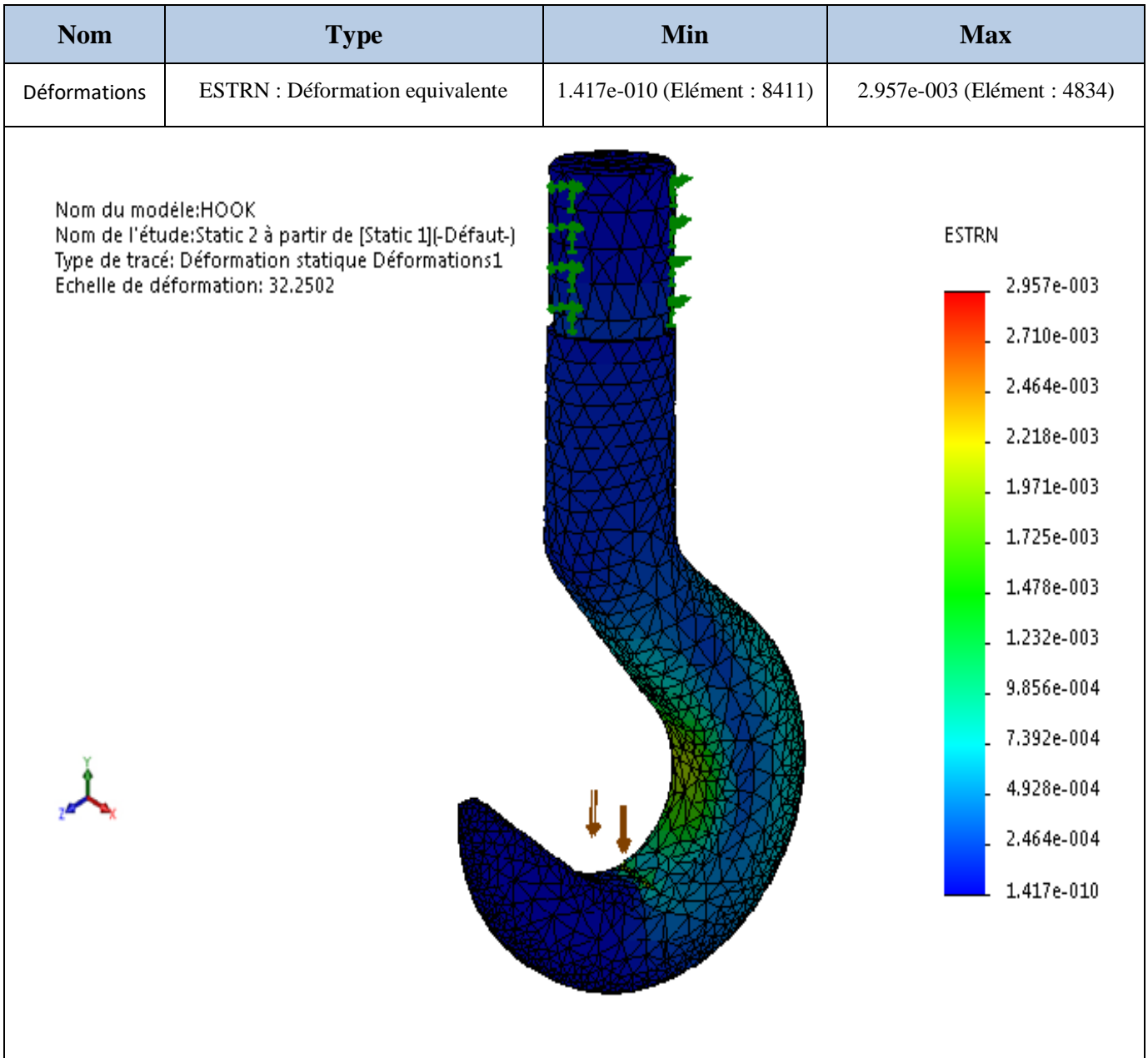


Tableau III.21 Les résultat de Déformations (Crochet)

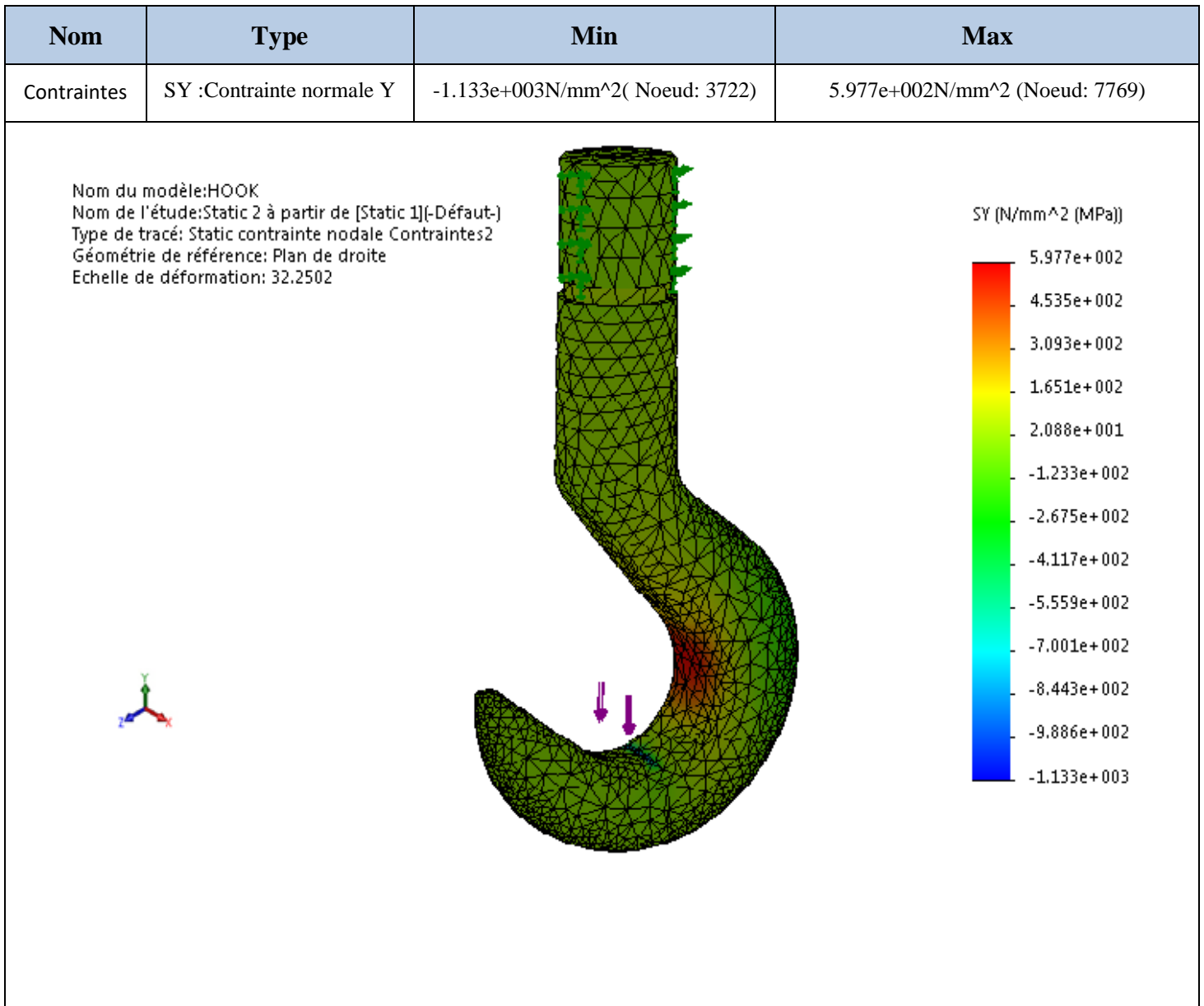


Tableau III.22 Les résultat de Contraintes (Crochet)



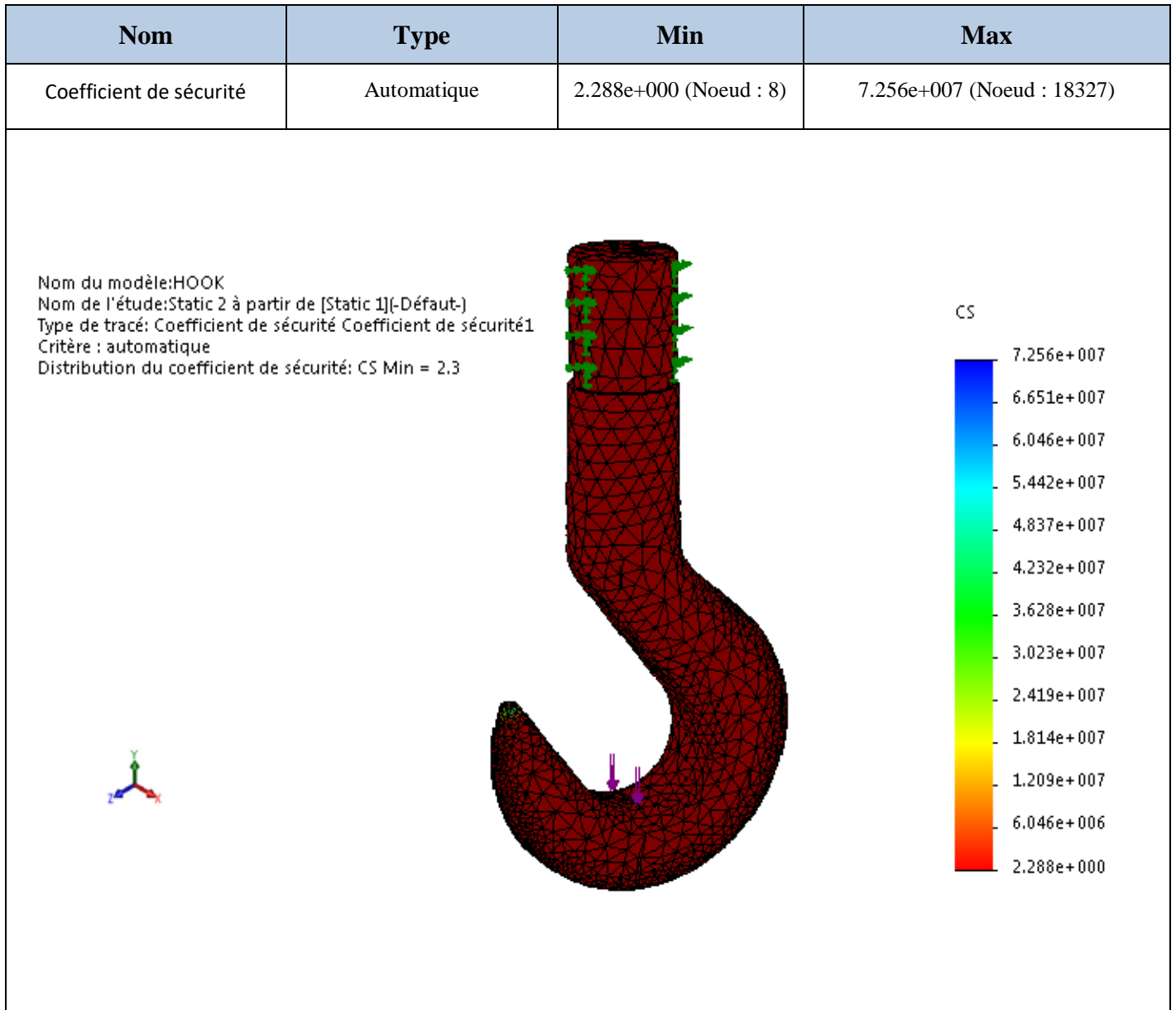


Tableau III.23 Les résultat de Coefficient de sécurité (Crochet)

### III.6-Conclusion

Dans ce chapitre on a étudié par la méthode numérique deux principales composantes du pont roulant que nous avons présenté dans l'étude analytique (poutre, crochet)

Les résultats de cette étude sont simulés par le logicielle SOLIDWORKS.

Le calcul de poutre et de crochet obtenus sont satisfaisants en les comparants avec les résultats de l'étude analytique du chapitre 2

# ***CONCLUSION GENERALE***

## **Conclusions générale**

L'étude que nous avons accompli, nous a permis de nous instruire à la conception mécanique assistée par ordinateur en tant que discipline scientifique et technique. Nous avons approfondi notre savoir dans un domaine de la construction mécanique, celui des ponts roulants.

Le calcul des réactions max et min nous a permis de vérifier la pression admissible sur les galets.

Le calcul de la flèche des poutres est effectué par deux méthodes analytiques : méthodes d'intégration et méthode des paramètres initiaux qui sont en bonne concordance avec le résultat de simulation sous SOLIDWORKS.

Le crochet a été vérifié à la résistance de flexion avec un coefficient de sécurité acceptable de 2,5 et qui est proche de celui obtenu par la simulation.

Ces résultats ne peuvent être confirmés qu'après des essais mécaniques, car les contraintes admissibles adoptées dans le mode de calcul sont des valeurs approchées.

Nous pensons que cette étude pourra constituer un modèle ou un avant-projet de construction d'un pont roulant, susceptible d'aider les constructeurs qui s'intéresseront aux engins de levage et de manutention.

# *Références*

## Chapitre-I : Généralité sur les ponts roulants

- [1] C. Pelletier, Appareils de levage : Généralités, Techniques de l'ingénieur. L'Entreprise industrielle, AG7010, 2000.
- [2] C. Pelletier, Ponts roulants et portiques, Techniques de l'ingénieur. L'Entreprise industrielle, AG7020, 2000
- [3] O. Sawodny, H. Aschemann and S. Lahres, An automated gantry crane as a large workspace robot, Control Engineering Practice, 10, 1323-1338, 2002
- [4] Site web : « <https://www.pololu.com/product/2128> , » consulté le 27/02/2022.
- [5] Site web : « <https://www.techniques-ingenieur.fr/> » consulté le 27/10/2021.

## Chapitre-II : Etude analytique du pont roulant

- [6] DE CASTRO, E. (2012). *Fiabilisation et déploiement d'un système d'auscultation robotisé dédié à la caractérisation de voies de roulement de ponts industriels* (Doctoral dissertation, INSA de Strasbourg).
- [7] Euro code 1 – Actions sur les structures - Partie 3: Actions induites par les appareils de levage et les machines: 2006 et prNBN EN 1991-3 ANB:2009 (F)
- [8] Norme ISO Appareils de levage a charge suspendu 16881-1:2005
- [9] Norme ISO CALCULS DES PONTS ROULANTS NF P22-615
- [10] Book of crane hook irizar-forge-product-guide \_2021\_ metric
- [11] -BHANDARI, V. B. *Design of machine elements*. Tata McGraw-Hill Education, 2010.
- [12] CHUNKAWAN, Yadav Bhola et SUBRAMANIYAM, R. Siva. Static structural analysis of crane hook. *Int. Res. J. Eng. Technol*, 2017, vol. 4, no 7, p. 2265-2274

## Chapitre-III : Etude Numérique du pont roulant

- [13] CAZENAVE, Michel. *Méthode des éléments finis-2e éd.: Approche pratique en mécanique des structures*. Dunod, 2013.

## *Les annexes*

### Annexe 1

#### 1- classement ressortant des recommandations du CTICM

<b>Classes d'utilisation</b>	
<b>Classe A</b>	Utilisation occasionnelle avec longue périodes de repos
<b>Classe B</b>	Utilisation régulière en service intermittent
<b>Classe C</b>	Utilisation régulière avec service intensif
<b>Classe D</b>	Service intensif sévère (période de travail >8h)

<b>Etats de charges</b>	
<b>0 (très léger)</b>	Charges très faibles soulevées couramment Charge nominale soulevée exceptionnellement
<b>1 (léger)</b>	Charges de l'ordre du tiers de la charge nominale courante Charge nominale soulevée rarement
<b>2 (moyen)</b>	Charges entre le tiers et les deux tiers de la charge nominale courante Charge nominale assez fréquente
<b>3 (lourd)</b>	Charges régulièrement au voisinage de la charge nominale

## Annexe 2

Coefficients dynamiques	Effets à prendre en compte	A appliquer à
$\varphi_1$	excitation de la structure de l'appareil de levage due au décollage de la masse à lever du sol	poids propre de l'appareil de levage
$\varphi_2$ ou $\varphi_3$	effets dynamiques du transfert de la masse à lever du sol à l'appareil de levage  effets dynamiques d'une libération brutale de la charge utile, par exemple en cas d'utilisation d'un grappin ou d'un aimant	masse à lever
$\varphi_4$	effets dynamiques induits par le déplacement de l'appareil de levage sur des rails ou des chemins de roulement	poids propre de l'appareil de levage et de la masse à lever
$\varphi_5$	effets dynamiques provoqués par des forces d'entraînement	forces d'entraînement
$\varphi_6$	effets dynamiques d'une charge d'essai mue par les systèmes d'entraînement suivant le mode d'utilisation de l'appareil de levage	charge d'essai
$\varphi_7$	effets élastiques dynamiques de l'impact sur les tampons	charges des tampons

Valeurs des coefficients dynamiques	
$\varphi_1$	$0,9 < \varphi_1 < 1,1$ Les deux valeurs 1,1 et 0,9 reflètent les valeurs supérieure et inférieure des impulsions vibratoires.
$\varphi_2$	$\varphi_2 = \varphi_{2,\min} + \beta_2 \times v_h$ $v_h$ - vitesse constante de levage en [m/s] $\varphi_{2,\min}$ et $\beta_2$ voir Tableau 2.5
$\varphi_3$	$\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta m}{m} (1 + \beta_3)$ où $\Delta m$ est la partie libérée ou tombée de la masse de levage $m$ est la masse de levage totale et $\beta_3 = 0,5$ pour les appareils de levage équipés de grappins ou de dispositifs similaires à largage non instantané $\beta_3 = 1,0$ pour les appareils de levage équipés d'aimants ou de dispositifs similaires à largage rapide
$\varphi_4$	$\varphi_4 = 1,0$ à condition de respecter les tolérances prescrites dans l'EN 1993-6 pour les rails.
NOTE Si les tolérances applicables aux rails prescrites dans l'EN 1993-6 ne sont pas respectées, le coefficient dynamique $\varphi_4$ peut être déterminé à l'aide du modèle fourni par l'EN 13001-2.	

Classe de levage de l'appareil	$\beta_2$	$\varphi_{2,\min}$
HC1	0,17	1,05
HC2	0,34	1,10
HC3	0,51	1,15
HC4	0,68	1,20

NOTE Les appareils de levage sont répartis dans les classes de levage HC1 à HC4 pour tenir compte des effets dynamiques du transfert de la charge du sol à l'appareil de levage. La sélection dépend du type particulier de l'appareil de levage, voir les recommandations de l'annexe B.

### Annexe 3

#### 2- classement ressortant des règles de la FEM de 1970 :

charges levées par le pont roulant :

Charges levées par le pont roulant	$p$
— Exceptionnellement la charge nominale $N$ et couramment des charges très faibles . . . . .	0
— Rarement la charge nominale et couramment des charges de l'ordre $\frac{N}{3}$ . . . . .	$\frac{1}{3}$
— Rarement la charge nominale et couramment des charges de l'ordre de $\frac{2N}{3}$ . . . . .	$\frac{2}{3}$
— Toujours la charge nominale . . . . .	1



classement suivant la charge et le nombre de cycles :

$\frac{n}{p}$	$n < 10^5$	$10^5 < n < 6 \times 10^5$	$6 \times 10^5 < n < 2 \times 10^6$	$2 \times 10^6 < n$
0	1	2	3	4
$\frac{1}{3}$	2	3	4	5
$\frac{2}{3}$	3	4	5	6
1	4	5	6	6

## Annexe 4

### 4 Requirements

#### 4.1 Selection of rail wheels

##### 4.1.1 Rail wheel size

To determine the size of a rail wheel, the following checks shall be made:

- a) verify that the wheel is capable of withstanding the maximum load to which it will be subjected;
- b) verify that the wheel will allow the appliance to perform its normal duty without abnormal wear.

These verifications are made by means of the following two equations:

$$\frac{P_{\max}}{b \cdot D} \leq 1,9P_L \quad (1)$$

$$\frac{P_{\text{mean}}}{b \cdot D} \leq P_L \cdot c_1 \cdot c_2 \quad (2)$$

where

$D$  is the wheel diameter, in millimetres;

$b$  is the useful width of the rail, in millimetres;

$P_L$  is a limiting pressure dependent upon the metal used for the wheel, in newtons per square millimetre (N/mm<sup>2</sup>), see Table 1;

$c_1$  is a coefficient depending on the speed of rotation of the wheel, see Table 2;

$c_2$  is a coefficient depending on the group of the mechanism, see Table 3;

$P_{\max}$  is the maximum load on the wheel resulting from load combinations A, B or C, including consideration of both dynamic and static test loadings (load combinations are defined in ISO 8686-1 to ISO 8686-5);

$P_{\text{mean}}$  is the higher mean load value resulting from Equation (3) when considering both load combinations A and B.

The mean wheel load takes into account variations of the wheel loading, including, where applicable, positional changes of the handled load in relation to the supporting wheels during a working cycle. Equation (3) gives an approximate value of the resultant cubic mean loading.

When the work process is well known, the cubic mean load can be calculated more accurately using the wheel loads resulting from the actual positions of the handled load. In this calculation, the maximum lifted load shall be used, coefficient  $c_2$  taking into account the variation of the load.

#### 4.1.2 Determining the mean load

In order to determine the mean loads, the procedure is to consider the maximum and minimum loads withstood by the wheel in the loading cases considered, i.e. with the appliance in normal duty but omitting the dynamic coefficients  $\phi$  when determining  $P_{\text{mean}}$ . The values of  $P_{\text{mean}}$  are determined by the Equation (3) in the load combinations A and B.

$$P_{\text{mean}} = \frac{P_{\text{min,A,B}} + 2P_{\text{max,A,B}}}{3} \quad (3)$$

#### 4.1.3 Determining the useful rail width $b$

For rails having a flat or slightly convex bearing surface, of total width,  $l$ , with rounded corners of radius,  $r$ , at each side (see Figure 1), the useful width,  $b$ , shall be calculated using Equation (4):

$$b = l - 2r \quad (4)$$

For rails or wheels with a slightly convex bearing surface, the limiting pressure  $P_L$  may be increased by 10 %. This allows for the improved contact of a rail to the rolling motion of the wheel.

#### 4.1.4 Détermination de la pression limite $P_L$

La valeur de  $P_L$  est donnée dans le Tableau 1 en fonction de la charge de rupture finale du métal composant le galet.

Tableau 1 — Valeurs de  $P_L$

Charge de rupture finale du métal composant le galet $f_u$ N/mm <sup>2</sup>	$P_L$ N/mm <sup>2</sup>	Charge de rupture finale minimale du rail N/mm <sup>2</sup>
> 500	5,00	350
> 600	5,60	350
> 700	6,50	510
> 800	7,20	510
> 900	7,80	600
> 1 000	8,50	700

Les qualités de métal correspondent à des aciers moulés, forgés, laminés et à de la fonte sphéroïdale.

Le durcissement de la table de roulement du galet à la profondeur de  $0,01D$  peut être pris en compte lors du choix de la valeur  $P_L$ .

Dans le cas de galets avec bandage, il faut bien évidemment considérer la qualité de celui-ci, et il doit être suffisamment épais pour ne pas se laminer.

#### 4.1.5 Détermination du coefficient $c_1$

Les valeurs de  $c_1$  dépendent de la vitesse de rotation du galet et sont données dans le Tableau 2.

**Tableau 2 — Valeurs de  $c_1$**

Vitesse de rotation du galet r/min	$c_1$	Vitesse de rotation du galet r/min	$c_1$	Vitesse de rotation du galet r/min	$c_1$
200	0,66	50	0,94	16	1,09
160	0,72	45	0,96	14	1,10
125	0,77	40	0,97	12,5	1,11
112	0,79	35,5	0,99	11,2	1,12
100	0,82	31,5	1	10	1,13
90	0,84	28	1,02	8	1,14
80	0,87	25	1,03	6,3	1,15
71	0,89	22,4	1,04	5	1,16
63	0,91	20	1,06		
56	0,92	18	1,07		

#### 4.1.6 Détermination du coefficient $c_2$

Le coefficient  $c_2$  dépend de la classification du groupe du mécanisme, et il est donné dans le Tableau 3.

**Tableau 3 — Valeurs de  $c_2$**

Groupe de mécanisme	$c_2$
M1 et M2	1,25
M3 et M4	1,12
M5	1,00
M6	0,90
M7 et M8	0,80

Les formules s'appliquent seulement aux galets dont les diamètres n'excèdent pas 1,25 m. Pour les diamètres supérieurs, l'expérience montre que les pressions admissibles entre le rail et le galet doivent être diminuées. L'utilisation des galets de diamètre plus grand n'est pas recommandée.

NOTE La méthode de sélection du galet présentée ici est basée sur la FEM 1.001-1988, livret 4, révisé dans le livret 9 de 1998. Cette méthode est basée sur la classification de groupe de mécanismes (classes M1 à M8) qui est équivalente à la classification de l'ISO 4301-1.