



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des sciences et de la technologie  
Département de Génie mécanique

# MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques  
Filière : **Génie Mécanique**  
Spécialité : **Construction Mécanique**

Réf. : Entrez la référence du document

---

Présenté et soutenu par :

Maamouli mohamed Essadek

Mouada Ahmed Ziyad

Le : jeudi 13 juin 2024

## Etude et conception d'un pont élévateur à deux colonnes de 3 tonnes pour voiture automobile

---

Jury :

Titre	BACI Lamine	MCA	Université de Biskra	Président
Titre	BENMACHICHE Messaoud	MCB	Université de Biskra	Rapporteur
Titre	MOHAMEDI Djemoui	MCB	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2023 - 2024

# ***REMERCIEMENT***

*Au nom de Dieu Clément et Miséricordieux, nous remercions Allah pour son aide et la volonté qu'il nous a donné pour surmonter tous les obstacles et toutes les difficultés le long de notre parcours et de nous avoir éclairé notre chemin afin de réaliser ce modeste travail.*

*Nos sincères remerciements vont en premier lieu à celui qui nous a dirigés, orienté et conseillé, tout au long de ce travail avec compétence et gentillesse : Dr M. Benmachiche*

*Nous adressons également nos remerciements aux membres du jury qui ont accepté et pris le soin de consulter notre travail.*

*Nous tenons à exprimer ici toute notre gratitude à tous nos enseignants de département de génie mécanique de Biskra.*

*Que tous ceux qui ont participé, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail, trouvent ici l'expression de nos sincères remerciements.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail modeste :*

*À celui qui me manque, mon cher père, qui me donnait  
l'espoir dans la vie, et surtout pour son amour et son sacrifice  
afin que rien n'entrave le déroulement de mes études. Que  
Dieu ait pitié de toi, père, Je t'aime papa.*

*À ma chère mère qui a toujours été un soutien pour moi et  
qui n'a jamais cessé de prier pour moi.*

*À ma chère grand-mère et à mon oncle qui a été comme un  
père pour moi, m'a soutenu, encouragé et guidé avec ses  
conseils.*

*À mes frères et sœurs (Omar, Riad, Abd al-Rahim, Abd al-  
Mohaimen, Khadidja, Ahlem, Latifa) qui m'ont fourni tous les  
moyens de confort.*

*À mon cher grand-père, que Dieu le protège.*

*À mes tantes, oncles, et toutes leurs filles et fils.*

*À mes chers amis (Moatez, Sami, Ayman, Houssam, Ziyad).*

*À mes collègues à l'université.*

*À mon collègue Ziyad et à sa famille.*

*Et à tous ceux qui m'ont aidé et consulté ce travail modeste.*

*Merci à vous tous, je vous aime tous.*

*Mohamed*

## *Dédicace*

*Je dédie ce fruit de mes années d'études les plus chère au monde à :*

*A la personne la plus chère pour moi dans se monde ma mère qui est la fleur de ma vie, le symbole de l'amour et la tendresse qui s'es sacrifier pour mon bonheur et ma réussite.*

*A mon père qui a fais de moi, ce que je suis aujourd'hui.*

*A mon frère : Zahid*

*A mes sœurs :Z,Z,Z,Z*

*Pour mes amis: « Aymen , Leghrab, Rami, Issam, Ahmed , Mohamed ,Anis ,Redouane »*

*À mes collègues à l'université.*

*À mon collègue et mon frère Mohamed et à sa famille.*

*Ziyad*

# ***TABLE DES MATIERES***

## Table des matières

### Introduction

## GENERALITES SUR LES MONTE-CHARGES

I- GENERALITES SUR LES MONTE-CHARGES .....	4
I- 1 Définition .....	4
I- 2 Le rôle des Appareils de levage et de manutention mécanique .....	4
I- 3 Différents types de monte-charges .....	5
I-3-1 Les monte-charges hydrauliques .....	5
I-3-2 Les monte-charges mécaniques .....	5
I-3-3 Les monte-charges électriques .....	6
II GENERALITES SUR LES PONTS ELEVATEURS .....	8
II - Domaines d'applications .....	8
II -1-1 Automobile .....	8
II -1-2 Industrie manufacturière .....	8
II -1-3 Logistique et entreposage .....	8
II -1-4 Construction .....	8
II -1-5 Aérospatiale .....	8
II -1-6 Agriculture .....	9
II -1-7 Médical .....	9
II -1-8 Événements et divertissement .....	9
II-2 Différents types de pont élévateur .....	9
II-2-1 Pont Elévateur à une colonne .....	10
II-2-2 Pont Elévateur à deux colonnes .....	10
II-2-3 Pont Elévateur à quatre colonnes .....	11
II-2-4 Pont Elévateur à ciseaux ou parallélogrammes .....	11

## DESCRIPTION DU PONT ELEVATEUR A DEUX COLONNES

I- LES PRINCIPAUX SYSTEMES DE TRANSMISSION DU PONT ELEVATEUR .....	8
I- 1 Système hydraulique .....	8
I- 2 Système à vis sans fin .....	8
I- 3 Système électromécanique .....	8
II -PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU PONT ELEVATEUR A DEUX COLONNES POUR VEHICULES LEGERS .....	9
II -1 Positionnement du moteur électrique .....	10
II -2 Rotation de la vis motrice .....	10
II -3 Dispositif de sécurité .....	10

II -4 Synchronisation avec la colonne réceptrice .....	10
II -5 Lubrification et entretien .....	11
III – DESCRIPTION DES ELEMENTS DU PONT ELEVATEUR A DEUX COLONNES .....	12
III -2- Description des éléments intérieurs du pont élévateur à deux colonnes .....	13
III-3 Transmissions par roues et chaînes .....	15
III-3 -1- Principales caractéristiques .....	15
III-3-3- Les inconvénients de ces transmissions sont .....	15
III-3-4- Chaînes à rouleaux .....	16
IV- LES ROULEMET .....	17
- Les différents types de roulements sont les suivants .....	17
V- LES MOTEURS ELECTRIQUES .....	18
Les courroies .....	18
VI- VIS DE TRANSMISSION .....	19
VI-1- Filet .....	19
VI-2- Différents types de filets .....	20
VII- PROBLEMATIQUE ET CONDUITE DES CALCULS .....	20
VII-1- Problématique .....	20
VII-2- Conduite des calculs .....	20
VII-2-1- Vérification par rapport à la rupture .....	21
VII-2-2- Vérification au flambement .....	21
VIII- CAHIER DES CHARGES .....	21

## **CALCULS ET DIMENSIONNEMENTS**

INTRODUCTION .....	28
I -CALCUL DES REACTIONS QUI S'EXERCENT SUR LES BRAS DU PONT ELEVATEUR .....	28
I -1-Détermination du centre de gravité d'un rectangle à soulever .....	28
I-2 -Détermination des réactions .....	30
I 1-3-Vérification des bras à la flexion .....	32
a/ Calcul des réaction pour les bras long .....	34
b/ Calcul des réaction pour les bras court .....	35
II-DIMENSIONNEMENT DE LA VIS DE TRANSMISSION .....	36
II -1-Dimensionnement du diamètre de la vis .....	36
a / La contrainte de compression .....	37
b / La contrainte de flexion .....	37
c / La contrainte de torsion .....	39
II -2- Vérification de la vis de transmission.....	39
a / Vérification à la flexion .....	39

b / Vérification à l'effort tranchant .....	40
c / Vérification au flambement .....	40
II -3-Le couple nécessaire pour actionner la vis .....	43
a / À la montée .....	43
b / A la descente.....	43
II -4-Le rendement de la vis de transmission.....	44
a / A la montée .....	44
b / À la descente .....	44
III-CALCUL DE L'ECROU PORTEUR.....	44
III-1-Les trois modes de faillite possible des filets sont .....	44
a / Le cisaillement à la base des filets de la vis .....	45
b /Le cisaillement à la base des filets de l'écrou: .....	45
c / L'usure des filets due à la pression de contact.....	46
III -2-Calcul de nombre de filet d'un écrou porteur .....	46
VI -CHOIX DU MOTEUR .....	47
-Vérification du couple moteur .....	47
V - CHOIX DES COURROIES .....	48
- CALCULS DES COURROIES .....	48
b / Diamètre primitif : .....	48
c / Entraxe a.....	49
d / Rapport de transmission.....	49
e / Vitesse linéaire de la courroie .....	49
f / Longueur primitif de courroie .....	50
g / Calcul de l'entraxe réel .....	50

## **ETUDE TECHNOLOGIQUE**

I – PRESENTATION DU LOGICIEL SOLIDWORKS.....	52
- Simulation numérique avec solidworks .....	53
Les étapes à suivre pour notre étude de simulation .....	53
Application aux bras du pont élévateur .....	53
- Pour les bras court .....	54
Résultats obtenus .....	54
a/ Contrainte de Von Mises .....	54
b / Les déplacements obtenus .....	55
Pour les bras long .....	56
Résultats de l'analyse.....	56
a/Contrainte de Von Mises.....	56

b / Les déplacements .....	58
----------------------------	----

## **Entretien du pont élévateur**

I MAINTENANCE ET ENTRETIEN DU PONT ELEVATEUR .....	60
II ENTRETIEN DU PONT ELEVATEUR .....	60
II -1- Utilisation de la maintenance préventive .....	60
a / Toutes les semaines .....	60
b /Tous les mois .....	60
II -2- Utilisation maintenance corrective .....	60
CONCLUSION GENERAL .....	61

## Liste des figures

Figure 1 : monte-charge hydraulique.....	5
Figure 2 : monte-charge mécanique .....	5
Figure 3 : monte-charge électrique.....	6
Figure 4 : pont élévateur à une colonne .....	10
Figure 5 : pont élévateur à deux colonnes .....	10
Figure 6 : pont élévateur à quatre colonnes .....	11
Figure 7 : pont élévateur à ciseaux.....	11
Figure 8 : Schéma cinématique .....	9
Figure 9:organes extérieurs du pont élévateur .....	12
Figure 10: Organes intérieurs du pont élévateur .....	13
Figure 11 : constituants des chaînes à rouleaux.....	16
Figure 12 :Constituants d'un roulement rigide à billes. ....	17
Figure 13 moteur électrique .....	18
Figure 14:Positionnement des courroies .....	18
Figure 15:châssis d'un véhicule posé sur quatre appuis. ....	29
Figure 16:longueur des bras télescopique .....	33
Figure 17:poutrelle creuse rectangulaire .....	35

# *Introduction*

# INTRODUCTION

L'utilisation d'une technologie qui parviens à soulever des poids et des volumes assez grands, est très important, ce qui va pousser les ingénieurs à penser pour trouver une solution efficace et économique, ce qui à mener à inventer les appareils de levages et de manutention.

Le rôle des appareils de levage et de manutention devient de plus en plus important dans toutes les branches de l'industrie moderne. Leurs emplois est évidemment une nécessité dans l'industrie lourde, qui doit à tout instant, déplacer des charges importantes, mais l'amélioration du rendement de l'atelier, même modeste, qui dispose d'un système d'appareils surs, commodes et parfaitement adaptés, justifie leur installation et les dépenses qui en résulte.

Le pont élévateur de 3 tonnes pour voitures automobiles est un équipement essentiel dans le domaine de l'entretien automobile. Il est conçu pour soulever des véhicules d'une capacité maximale de 3 tonnes, permettant ainsi aux mécaniciens d'accéder facilement aux parties inférieures des voitures. Son utilisation nécessite une préparation minutieuse du véhicule, un positionnement correct sur le pont élévateur, un levage sécurisé et des travaux consciencieux pendant que le véhicule est en hauteur. Ce pont élévateur offre de nombreux avantages, tels que le gain de temps et d'efforts, sa polyvalence d'utilisation et une sécurité accrue.

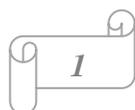
Cependant, son entretien régulier et le respect des recommandations de sécurité sont également essentiels pour garantir son bon fonctionnement.

Notre mémoire a pour objectif l'étude les principaux éléments constituant ce type de pont élévateur.

L'essentiel de notre travail se résume comme suit :

**Le premier chapitre** est consacré aux généralités dans lequel nous avons donné un aperçu sur *le rôle des appareils de levage et de manutention mécanique*

*Parmi ces appareils on retrouve les ponts élévateurs. Il existe Une multitude de types de ces machines. Nous avons consacré le deuxième chapitre pour décrire les types les plus fréquents*



**Le troisième chapitre** est une description détaillée des *principaux composants du pont élévateur à deux colonnes* destiné aux véhicules légers.

**Le quatrième chapitre** est consacré à l'étude analytique et dimensionnement des éléments chargés du pont élévateur.

L'étude technologique dans laquelle vous avons effectué une conception et simulation par ordinateur a été menée avec le logiciel SolidWorks, a fait l'objet du **chapitre Cinq**.

Enfin, au **sixième chapitre** nous avons abordé brièvement le sujet de l'entretien du pont élévateur

# *GENERALITES SUR LES MONTE-CHARGES*

## I- Généralités sur les monte-charges :

### I- 1 Définition :

Les monte-charges sont des dispositifs mécaniques ou électriques utilisés pour déplacer des charges lourdes verticalement à l'intérieur de bâtiments. Contrairement aux ascenseurs, ils transportent généralement des marchandises plutôt que des personnes. Ces équipements sont essentiels dans des environnements tels que les entrepôts, les usines et les hôpitaux pour un déplacement efficace des matériaux. Ils peuvent être actionnés manuellement ou automatiquement, et leur taille et capacité varient en fonction des besoins spécifiques de l'application. [1]

### I- 2 Le rôle des Appareils de levage et de manutention mécanique :

Le rôle des appareils de levage et de manutention devient de plus en plus important dans toutes les branches de l'industrie moderne.

Leur emploi est évidemment une nécessité dans l'industrie lourds qui doit, à tout instant, déplacer des charges importantes, mais l'amélioration du rendement de l'atelier, même modeste, qui dispose d'un système d'appareils surs, commodes et parfaitement adaptés, justifie leur installation et la dépense qui en résulte.

C'est un approvisionnement de l'atelier et des machines régulièrement assuré et, de ce fait, des pertes de temps réduites ; enfin, une fatigue moindre du personnel. [2]

## I -3 Différents types de monte-charges :

### I-3-1 Les monte-charges hydrauliques :

Au début du XIXème siècle, ce fut le premier monte-charge moderne conçu par l'homme. Dans ce dispositif la cage (ou la plateforme) était montée sur un piston creux en acier qui coulissait dans un réservoir cylindrique creusé dans le sol. On injectait de l'eau sous pression dans le cylindre. La pression augmentant, l'eau soulevait le piston et donc la cage va être élevée. Ceux-ci redescendaient sous l'action de leur propre poids quand l'eau était évacuée. Dans les premières installations, la valve principale de contrôle du flux d'eau est actionnée manuellement. [3]

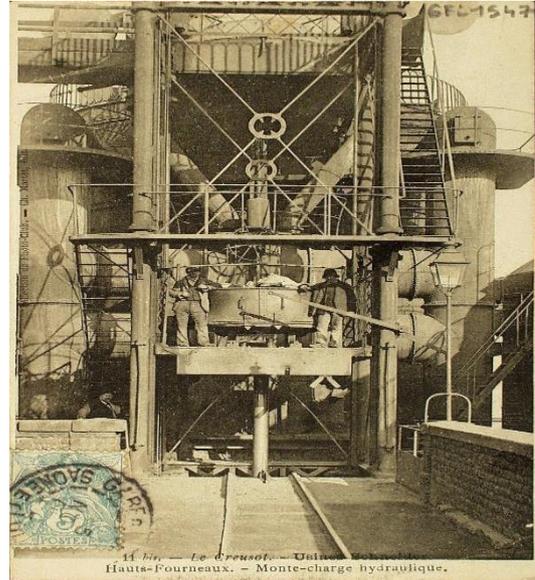


Figure 1 : monte-charge hydraulique

### I-3-2 Les monte-charges mécaniques :

Ce genre de monte-charge est généralement, utilisé dans des chantiers ; il est employé dans la construction de bâtiments. Cet appareil est actionné par un moteur thermique qui, et à l'aide d'un câble enroulé sur une poulie solidaire, soulève la plateforme, parfois on procède manuellement. [3]



Figure 2 : monte-charge mécanique

### I-3-3 Les monte-charges électriques :

Le principe de fonctionnement de ce type de monte-charge ne diffère pas du principe de fonctionnement du monte-charge mécanique. Avec l'avènement de l'énergie électrique, nombre d'appareils, les monte-charges compris, sont adaptés à l'utilisation de cette nouvelle source d'énergie.

Les moteurs électriques occupent les espaces réduits et leur utilisation devient générale, du petit monte- paquet au grand ascenseur. Leur inconvénient est que leur installation est fixe, on ne peut pas les utiliser dans divers endroits en l'absence d'électricité. Par contre ils sont plus économiques et silencieux. [3]



Figure 3 : monte-charge électrique

***GENERALITES SUR  
LES PONTS ELEVATEURS***

## II Généralités sur les ponts élévateurs : [3]

Le pont élévateur est un appareil de levage équipé de dispositifs supports de charges guidés, destinés au levage des moyens de transport terrestre tels que voiture, motocycles, camion, bus ,...etc. Un élévateur de véhicules offre la possibilité d'incliner les dispositifs supports de charge parallèlement ou perpendiculairement à l'axe principal du véhicule à soulever.

### II - Domaines d'applications : [3]

Les ponts élévateurs sont des équipements polyvalents largement utilisés dans divers domaines d'application, notamment

#### II -1-1 Automobile : [3]

Les ponts élévateurs sont largement utilisés dans l'industrie automobile pour soulever les véhicules à des fins d'entretien, de réparation, de peinture et de préparation à la vente. Les garages, les ateliers de réparation automobile et les concessionnaires automobiles en sont des utilisateurs fréquents

#### II -1-2 Industrie manufacturière : [3]

Dans les usines et les installations de fabrication, les ponts élévateurs sont utilisés pour déplacer des équipements lourds, des matériaux et des produits finis d'un endroit à un autre sur le site de production

#### II -1-3 Logistique et entreposage : [3]

Dans les centres de distribution, les entrepôts et les installations logistiques, les ponts élévateurs sont utilisés pour charger et décharger des palettes, des conteneurs et d'autres marchandises sur des rayonnages ou des camions, facilitant ainsi le stockage et la distribution efficaces des produits.

#### II -1-4 Construction : [3]

Sur les chantiers de construction, les ponts élévateurs sont utilisés pour déplacer des matériaux de construction lourds tels que les poutres en acier, les panneaux de béton préfabriqués et les équipements de construction vers les étages supérieurs des bâtiments en construction

#### II -1-5 Aérospatiale : [3]

Dans l'industrie aérospatiale, les ponts élévateurs sont utilisés pour soulever et déplacer des avions, des hélicoptères et d'autres équipements aéronautiques à des fins de maintenance, de réparation et de révision

**II -1-6 Agriculture : [3]**

Dans les exploitations agricoles et les installations de transformation des aliments, les ponts élévateurs sont utilisés pour manipuler des équipements agricoles lourds, des récoltes et des produits agricoles, facilitant ainsi les opérations de chargement et de déchargement.

**II -1-7 Médical : [3]**

Dans les hôpitaux, les cliniques et les établissements de soins de santé, les ponts élévateurs sont utilisés pour déplacer les patients d'un lit à un autre, pour faciliter les procédures médicales et pour assister le personnel médical dans la manipulation sécurisée des patients

**II -1-8 Événements et divertissement : [3]**

Dans l'industrie des événements et du divertissement, les ponts élévateurs sont utilisés pour installer et retirer des équipements de scène, des décors et des éclairages lors de concerts, de spectacles, de foires commerciales et d'autres événements en direct

**II-2 Différents types de pont élévateur : [3]**

- ✓ Les ponts élévateurs à une ou plusieurs colonnes
- ✓ Les ponts élévateurs à un ou plusieurs vérins
- ✓ Les ponts élévateurs à colonnes mobile
- ✓ Les ponts élévateurs à ciseaux ou parallélogrammes

### II-2-1 Pont Elévateur à une colonne : [4]

Le pont élévateur à vérins est dispositif de levage à un ou à deux vérins, d'une capacité de levage totale de 3,2 à 5 tonnes et une hauteur de levage de 1,9m.



Figure 4 : pont élévateur à une colonne

### II-2-2 Pont Elévateur à deux colonnes : [4]

Les ponts élévateurs à deux colonnes sont des ponts servant à soulever des véhicules automobiles d'un poids total compris entre 2,07 et 5 tonnes, sur une hauteur de levage de 2,07 à 2,10 m.

Ils sont utilisés pour la manutention des véhicules légers



Figure 5 : pont élévateur à deux colonnes

### II-2-3 Pont Elévateur à quatre colonnes : [4]

Les ponts élévateurs à quatre colonnes sont des ponts servant à soulever des véhicules automobiles dont la charge totale est comprise entre 4 et 10 tonnes, sur une hauteur de levage de 1,75 à 2,13 m.

ils sont utilisés pour les véhicules lourds



Figure 6 : pont élévateur à quatre colonnes

### II-2-4 Pont Elévateur à ciseaux ou parallélogrammes : [4]

Le pont élévateur à ciseaux est destiné à lever les véhicules légers et utilitaires d'un poids total compris entre 3 et 4,2 tonnes, et une hauteur allant jusqu'à 1,95m.



Figure 7 : pont élévateur à ciseaux

***DESCRIPTION DU PONT  
ELEVATEUR A DEUX  
COLONNES***

## **I- Les principaux systèmes de transmission du pont élévateur [5]**

### **I -1 Système hydraulique : [5]**

Utilise la force hydraulique pour actionner les vérins et lever ou abaisser le pont élévateur. Ce système est couramment utilisé en raison de sa fiabilité et de sa capacité à soulever des charges lourdes.

### **I -2 Système à vis sans fin : [5]**

Ce système utilise une vis sans fin et un écrou pour transformer le mouvement rotatif en mouvement linéaire, ce qui soulève ou abaisse le pont élévateur. Il est souvent utilisé dans les ponts élévateurs à ciseaux et offre une bonne précision de positionnement.

### **I -3 Système électromécanique : [5]**

Ce système utilise un moteur électrique pour actionner des poulies et des câbles qui soulèvent ou abaissent le pont élévateur. Il est souvent utilisé dans les ponts élévateurs de petite à moyenne taille et offre une facilité d'utilisation. Ces systèmes peuvent varier en fonction de la conception spécifique du pont élévateur et des besoins de l'application

## II -Principe de fonctionnement du pont élévateur à deux colonnes pour véhicules légers : [4]

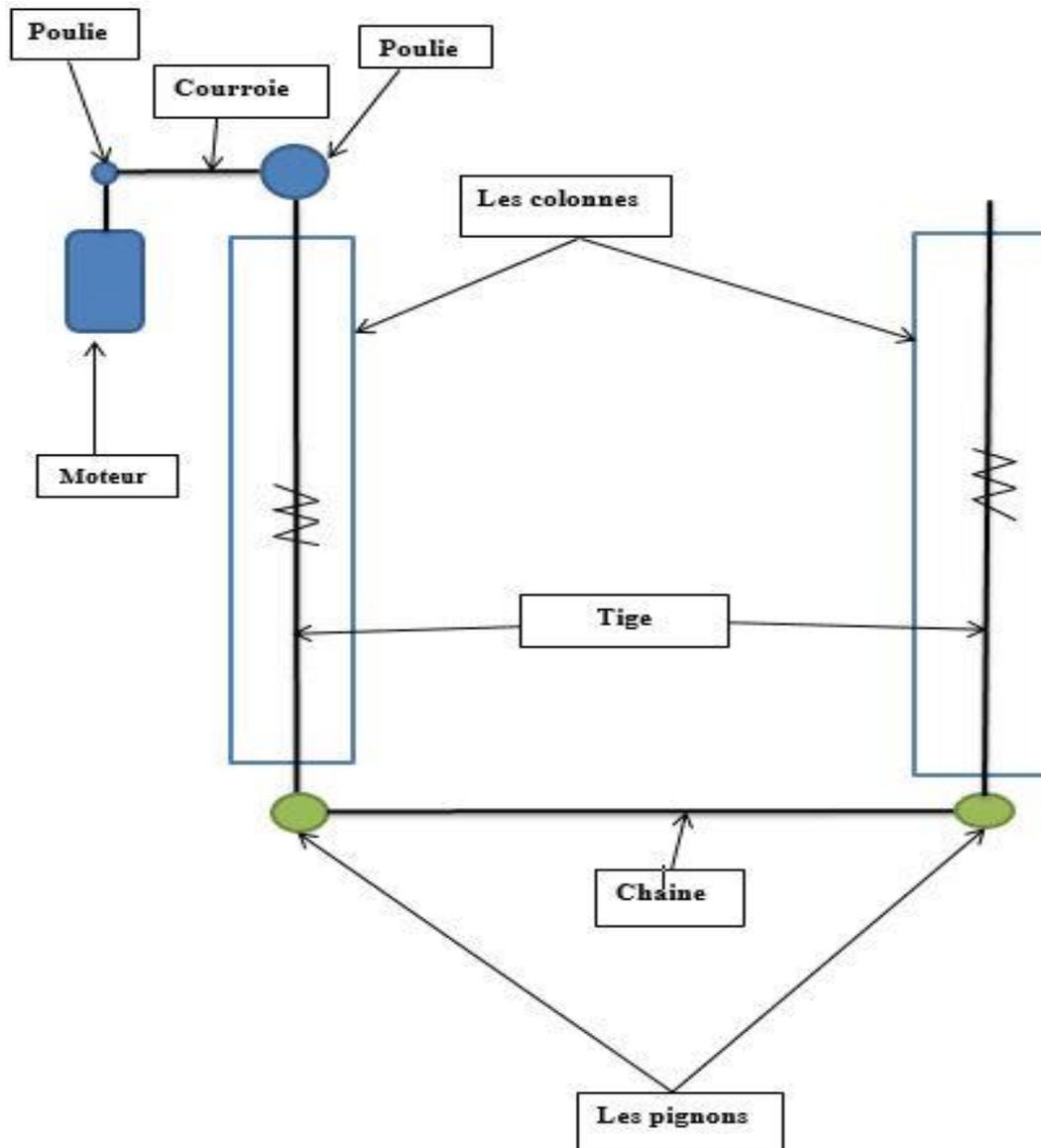


Figure 8 : Schéma cinématique

L'objet de notre étude est d'étudier un pont élévateur à deux colonnes pour véhicules légers.

Bien que ces mécanismes aient la même fonction (élévation d'une charge), ils diffèrent cependant dans leur principe de fonctionnement qui dépend lui-même de la disposition des mécanismes d'entraînement utilisés (transmission et transformation de mouvement,....)

### **II -1 Positionnement du moteur électrique : [4]**

Dans notre cas, le moteur électrique est placé en haut de la colonne principale également appelée colonne motrice

### **II -2 Rotation de la vis motrice : [4]**

La rotation de la vis motrice de la colonne principale est assurée par le moteur via une poulie de réduction et une courroie. Cette rotation entraîne l'élévation de l'écrou porteur, responsable du levage du chariot.

### **II -3 Dispositif de sécurité : [4]**

Un écrou de sécurité est situé en dessous de l'écrou porteur pour assurer la sécurité en cas de rupture de ce dernier. Dans ce cas improbable, l'écrou de sécurité prendra entièrement en charge la charge, permettant ainsi de descendre le chariot en toute sécurité. L'élévateur doit ensuite être mis hors service et l'interrupteur sectionneur doit être cadenassé en position "off" jusqu'à ce qu'il soit remis en conformité.

### **II -4 Synchronisation avec la colonne réceptrice : [4]**

Un dispositif similaire est installé dans la colonne réceptrice et est synchronisé avec l'assemblage de la colonne motrice par l'intermédiaire d'une chaîne de transmission passant à l'intérieur du châssis de liaison.

**II -5 Lubrification et entretien : [4]**

Des tampons en feutre montés sur chacun des chariots de levage et un réservoir d'huile au bas de chaque colonne assurent la lubrification des vis motrices et des écrous à chaque fois que l'élévateur est soulevé depuis sa position basse.

L'objet de notre étude est d'étudier un pont élévateur à deux colonnes pour véhicules légers qui a les caractéristiques suivantes :

- ✓ portée maximale : 3200 kg.
- ✓ hauteur maximale du pont : 2600 mm.
- ✓ largeur maximale du pont élévateur : 3170 mm.

Pour cela on va étudier les principaux organes qui constituent notre pont élévateur, et qui sont nécessaires à son fonctionnement.

### III – Description des éléments du pont élévateur à deux colonnes :

#### III -1- Description des éléments extérieurs du pont élévateur à deux colonnes [4]

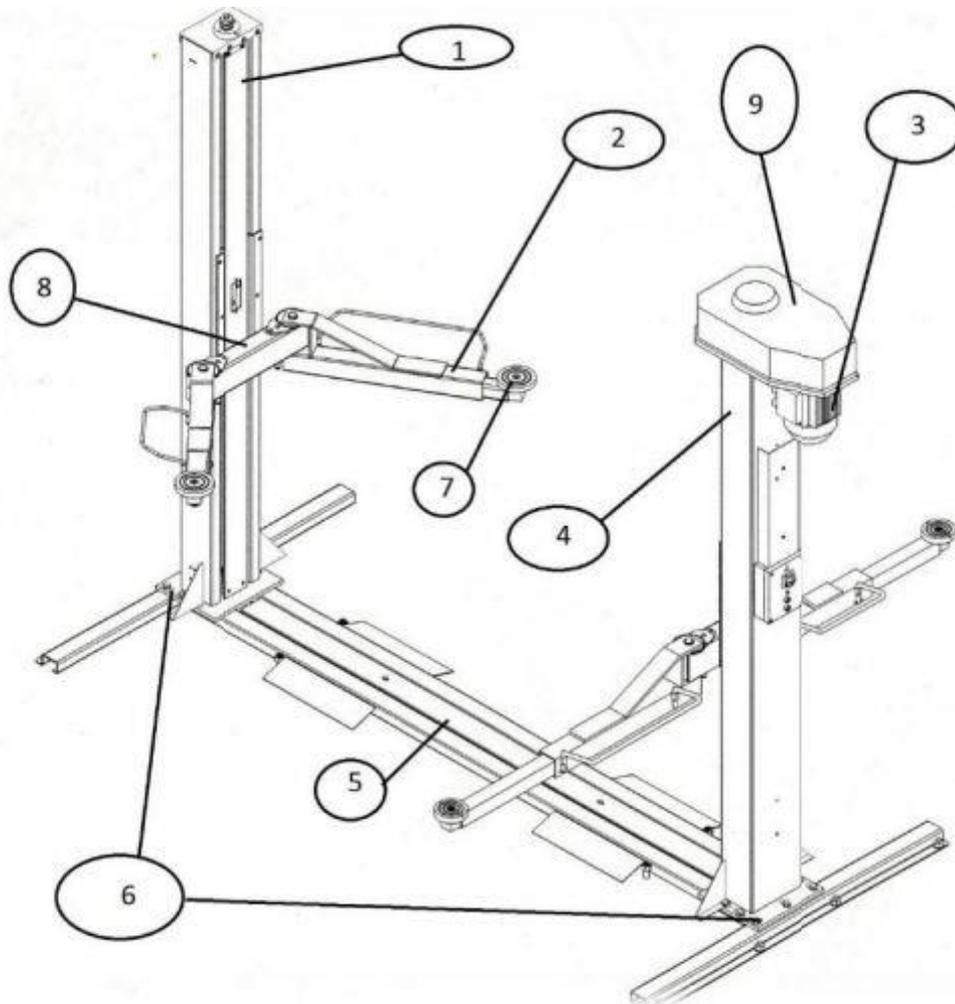


Figure 9:organes extérieurs du pont élévateur

#### Nomenclature :

1- colonne réceptrice	4- colonne motrice	7- tampon en caoutchouc
2- bras télescopique	5- carter de protection de la chaîne	8- chariot
3- moteur électrique	6- châssis	9- carter de protection des poulies

III -2- Description des éléments intérieurs du pont élévateur à deux colonnes [4]

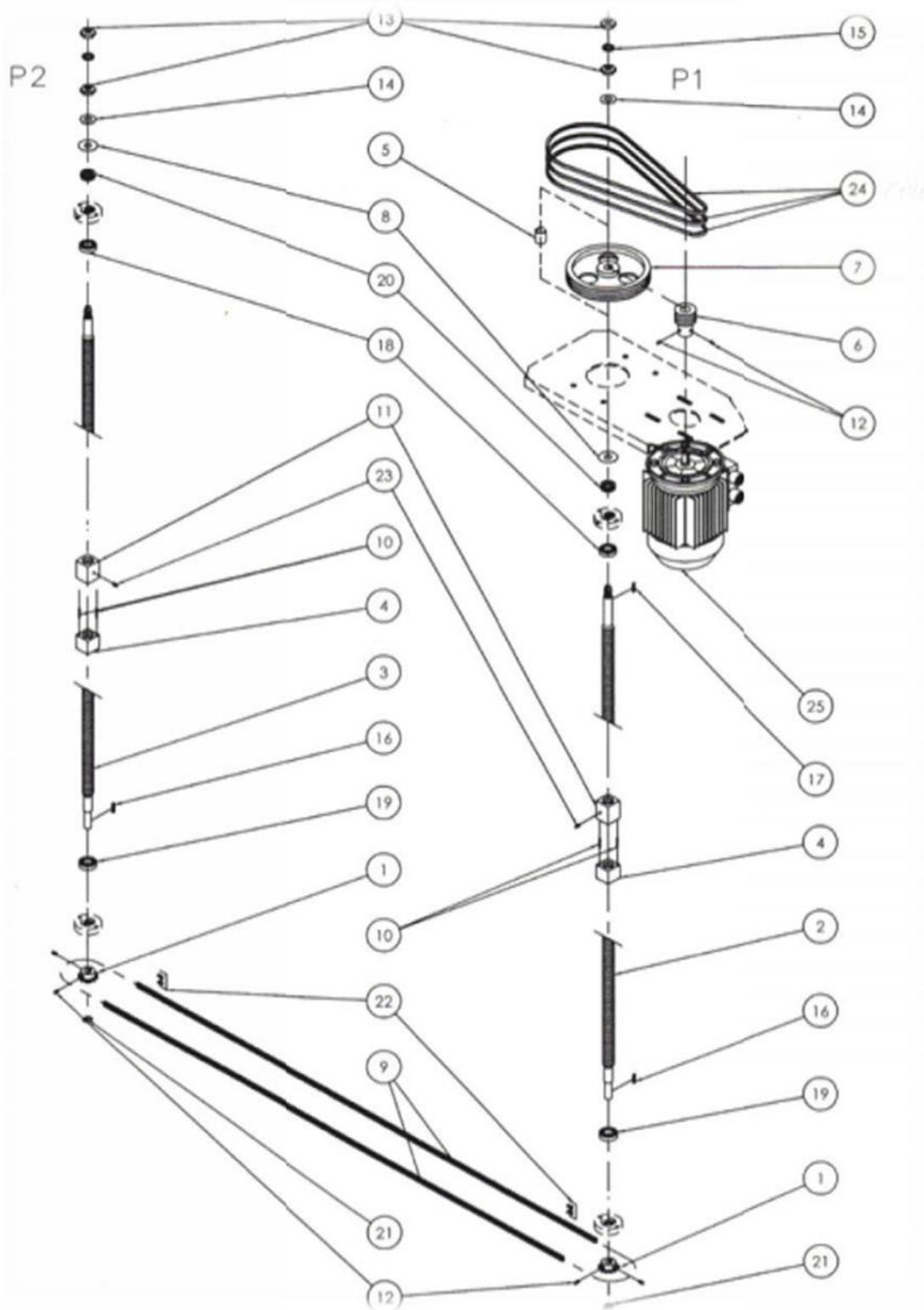


Figure 10: Organes intérieurs du pont élévateur

**Nomenclature :**

<b>1</b>	Pignon	<b>10</b>	Goupille	<b>19</b>	Tourillon
<b>2</b>	Arbre, tige	<b>11</b>	Vis de guidage	<b>20</b>	Tourillon
<b>3</b>	Arbre, tige	<b>12</b>	Vis	<b>21</b>	Organe de sécurité
<b>4</b>	Ecrous de sécurité	<b>13</b>	Ecrou	<b>22</b>	liaison
<b>5</b>	Canule	<b>14</b>	Rondelle	<b>23</b>	Graisser
<b>6</b>	Poulie	<b>15</b>	Rondelle	<b>24</b>	Courroie
<b>7</b>	Poulie	<b>16</b>	Clé parallèle	<b>25</b>	Moteur
<b>8</b>	Rondelle	<b>17</b>	Clé parallèle	<b>P1</b>	colonne motrice
<b>9</b>	Chaine	<b>18</b>	Tourillon	<b>P2</b>	colonne réceptrice

### **III-3 Transmissions par roues et chaînes [6]**

Les chaînes sont utilisées en transmission de puissance mais aussi en manutention et convoyage et dans de nombreuses réalisations

#### **III-3 -1- Principales caractéristiques : [7]**

- ✓ Sont essentiellement utilisées aux « basses » vitesses (moins de 13 m/s pour les chaînes à rouleaux, moins de 20 m/s pour les chaînes silencieuses).
- ✓ Aptitude à entraîner plusieurs arbres récepteurs en même temps à partir d'une même source.
- ✓ Longues durées de vie.
- ✓ Montage et entretien plus simples que celui des engrenages et prix de revient moins élevé.
- ✓ Rapport de transmission constant (pas de glissement).

#### **III-3-3- Les inconvénients de ces transmissions sont : [7]**

- ✓ La nécessité d'un montage et d'un entretien soigneux.
- ✓ Une certaine irrégularité de marche.
- ✓ Leur inaptitude au renversement de marche en service.
- ✓ Leur prix relativement élevé.

### III-3-4- Chaines à rouleaux : [6]

Les chaines à rouleaux sont les plus utilisées en transmission de puissance ; elles ont des vitesses limites de 12 à 15 m/s ; leur rapports limites de transmission vont de 6 à 9.

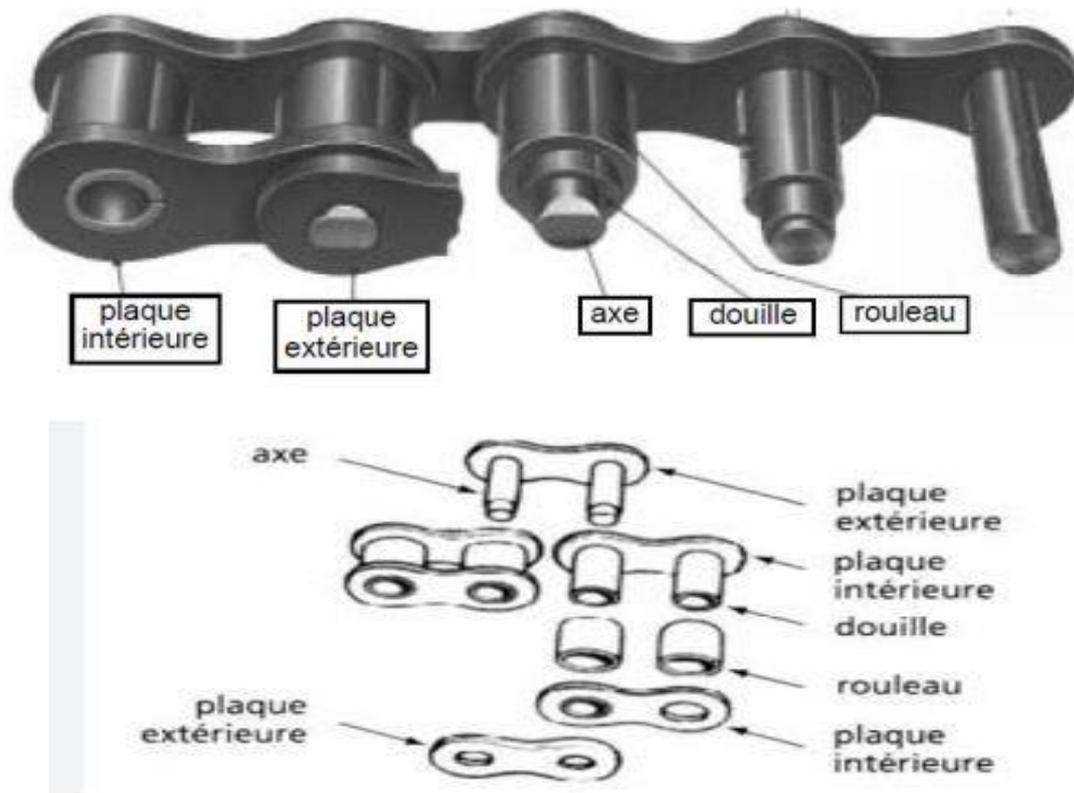


Figure 11 : constituants des chaines à rouleaux

#### IV- Les roulements:

Les pertes d'énergie résultant du roulement de deux pièces l'une sur l'autre sont beaucoup moins élevées que l'énergie résultant du glissement de ces pièces l'une sur l'autre. De plus la situation de roulement est beaucoup moins sensible aux variations des vitesses et des charges.

C'est cette raison qui a poussé les constructeurs à adapter sur les arbres tournant des roulements destinés à les supporter et les guider dans leur mouvement tout en réduisant considérablement le coefficient de frottement. [4]

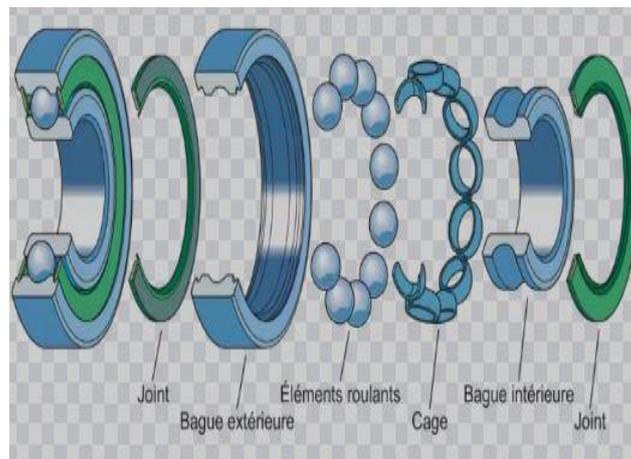


Figure 12 : Constituants d'un roulement rigide à billes.

- Les différents types de roulements sont les suivants : [8]

- ✓ Le roulement à billes
- ✓ Le roulement à rouleaux
- ✓ Le roulement à rouleaux coniques
- ✓ Le roulement à rouleaux cylindriques
- ✓ Le roulement à rouleaux sphériques
- ✓ Le roulement à rotule sur rouleaux
- ✓ Le roulement à aiguilles

## V- Les moteurs électriques [9]

L'entraînement en rotation d'éléments de machines est fréquemment réalisé par des moteurs électriques. La fonction d'un moteur électrique est de convertir une puissance électrique fournie en une puissance mécanique caractérisée par un couple moteur  $M$  et vitesse angulaire  $\omega$  (ou une fréquence de rotation  $n$ ). Pour notre étude on va utiliser un moteur électrique triphasé asynchrone

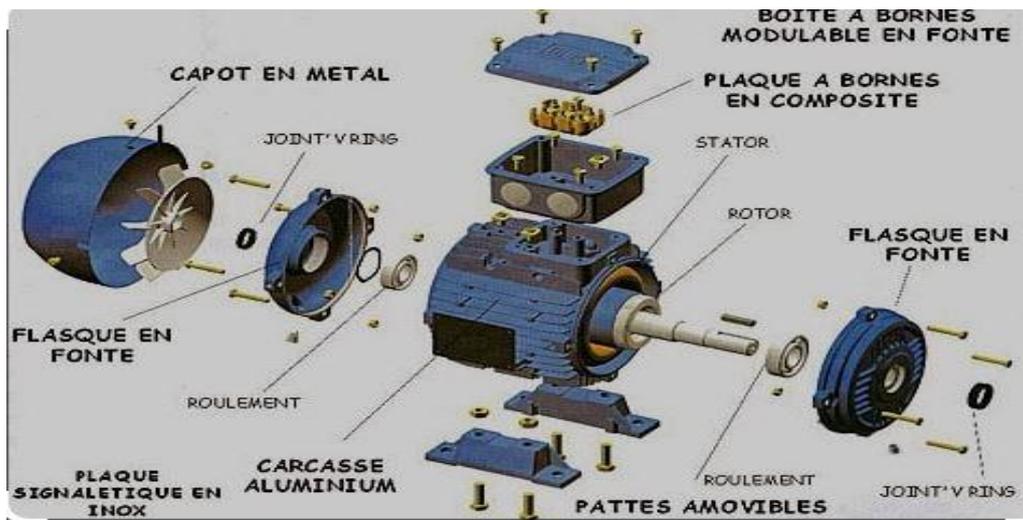


Figure 13 moteur électrique

### Les courroies

La courroie est une pièce utilisée pour la transmission du mouvement. Elle est construite d'un matériau souple. Par rapport à d'autres systèmes, elle présente les avantages suivants :

- ✓ une grande souplesse, donc un montage facile,
- ✓ économique
- ✓ amortit les vibrations, chocs et à-coups de transmission

Cependant, elle présente une durée de vie limitée, aussi bien en termes de cycles que de temps, et doit être changée régulièrement. Par ailleurs la puissance



Figure 14: Positionnement des courroies

transmissible est limitée, ce qui est parfois un avantage (par exemple comme

limiteur de couple), et sa souplesse lui permet d'alimenter des accessoires placés dans des endroits exigus.

## **VI- Vis de transmission [7]**

Il existe deux types de systèmes à vis et écrou :

Dans un premier cas c'est la vis qui joue le rôle d'organe moteur. le mouvement de rotation de la vis se transforme en mouvement de translation pour l'écrou

Dans d'autres systèmes, c'est plutôt l'écrou qui constitue l'organe moteur. Dans ce cas, le mouvement de rotation de l'écrou se transforme en mouvement de translation pour la vis.

### **VI-1- Filet : [7]**

Un filet est une structure hélicoïdale utilisée pour la transformation rotation / translation. Cette structure peut se trouver enroulée autour d'un cylindre plein (tige filetée, par exemple une vis) ou creux (trou taraudé, par exemple un écrou). Le pas de vis mesure la distance entre une forme de la structure et sa plus proche répétition trouvée par translation selon l'axe du cylindre.

Dans un système vis-écrou, selon la valeur du pas de vis, le diamètre du cylindre et le coefficient de frottement des matériaux utilisés,

- ✓ soit la rotation seule peut entraîner la translation (vis d'assemblage)
- ✓ soit la translation seule peut entraîner la rotation (manche de tournevis  
« Automatique »)
- ✓ soit le système est réversible

Le choix du pas de vis (ainsi que des autres paramètres) dépend donc de l'utilisation envisagée. Le plus grand nombre des applications se trouve dans la première catégorie (la rotation produit la translation, de manière irréversible)

### **VI-2- Différents types de filets: [7]**

Il existe plusieurs types de filetage. Le choix se fait en fonction de plusieurs critères : fabrication, résistance et encombrement :

- ✓ Filet unifié
- ✓ Filet métrique ISO
- ✓ Filet métrique trapézoïdal
- ✓ Filet carré
- ✓ Filet rond
- ✓ Filet gaz
- ✓ Filet lustrerie

## **VII- Problématique et conduite des calculs :**

### **VII-1- Problématique :**

Dans le cadre de l'étude d'un pont élévateur à deux colonnes destiné à soulever des véhicules légers, nous analyserons les principaux éléments qui composent ce pont, les forces agissant sur chacun d'eux, et les types de matériaux utilisés. Notre étude commencera par une approche analytique, suivie d'une vérification des résultats par simulation numérique à l'aide du logiciel Solidworks.

### **VII-2- Conduite des calculs :**

Les éléments du mécanisme sont calculés en s'assurant qu'ils offrent une sécurité suffisante face aux causes potentielles de défaillance, telles que la rupture, le flambement et l'usure excessive. En outre, d'autres considérations peuvent intervenir, notamment la nécessité d'éviter les échauffements excessifs ou les déformations susceptibles de perturber le bon fonctionnement des mécanismes.

### **VII-2-1- Vérification par rapport à la rupture :**

La vérification des éléments du mécanisme par rapport à la rupture se fait en s'assurant que la contrainte calculée ne dépasse pas une contrainte admissible, laquelle dépend de la charge à la rupture du matériau utilisé. Relation entre les contraintes calculées et les contraintes limites admissibles : En fonction du type de contrainte, les relations suivantes doivent être vérifiées :

- ✓  $\sigma_t$  : contrainte calculée à la traction.
- ✓  $\sigma$  : contrainte calculée à la flexion.
- ✓  $\sigma_c$  : contrainte calculée à la compression.
- ✓  $\sigma_f$  : contrainte calculée au flambement.
- ✓  $\tau$  : contrainte calculée à la torsion.

### **VII-2-2- Vérification au flambement :**

Les organes qui sont sollicités, sont les vis de transmission, que nous allons vérifier au flambement

## **VIII- cahier des charges :**

Les données techniques du pont élévateur à deux colonnes pour véhicules légers, qui fait l'objet de cette étude, sont obtenues du catalogue **OMCN** :

- ✓ Portée maxi : 3200 Kg.
- ✓ Durée de montée chargée : 60 Sec.
- ✓ Hauteur max. utile : 1975 mm.
- ✓ Distance int. Colonnes : 2500 mm.
- ✓ Hauteur maxi. Du pont élévateur : 2600 mm.
- ✓ Largeur maxi du pont élévateur : 3170 mm.
- ✓ Moteur électrique triphasé.
- ✓ Puissance moteur : 3KW

# ***CALCULS ET DIMENSIONNEMENTS***

## Introduction :

Le calcul des éléments de notre pont élévateur sera limité au dimensionnement de certains éléments soumis à des charges importantes. Les principes de calcul de RDM seront appliqués dans le but de la détermination :

-Des dimensions d'un organe mécanique dont on connaît la nature et les efforts qui lui sont appliqués.

-Des déformations et des contraintes d'un organe mécanique dont on connaît les dimensions, les formes et la nature du matériau.

Le coefficient de sécurité utilisé pour les appareils de levage et de manutention varie entre [1,5 à 10].

Pour des raisons de sécurité et le facteur d'économie, on choisit un coefficient de sécurité  $K_s=5$ .

## I -Calcul des réactions qui s'exercent sur les bras du pont élévateur :

On considère le véhicule sur le pont élévateur comme un rectangle posé sur quatre appuis. Avec les caractéristiques suivantes :

P : le poids maximal du véhicule  $P=3200$  da N.

$L \times l$  : dimensions du châssis d'un véhicule ; supposons

$L \times l = 1900 \times 1100$  (mm<sup>2</sup>)

### I -1-Détermination du centre de gravité d'un rectangle à soulever :

Le centre de gravité est différent d'un véhicule à un autre, et il dépend de la géométrie et le poids du véhicule; selon le catalogue de Constructeur des ponts élévateurs OMCN, le centre de gravité doit être situé entre les deux colonnes. On va déterminer le centre de gravité selon le catalogue OMCN et le schéma suivant : Nous avons supposé que le châssis du véhicule est rectangulaire, et de dimensions :

$L \times l = 1900 \times 1100 \text{ mm}^2$

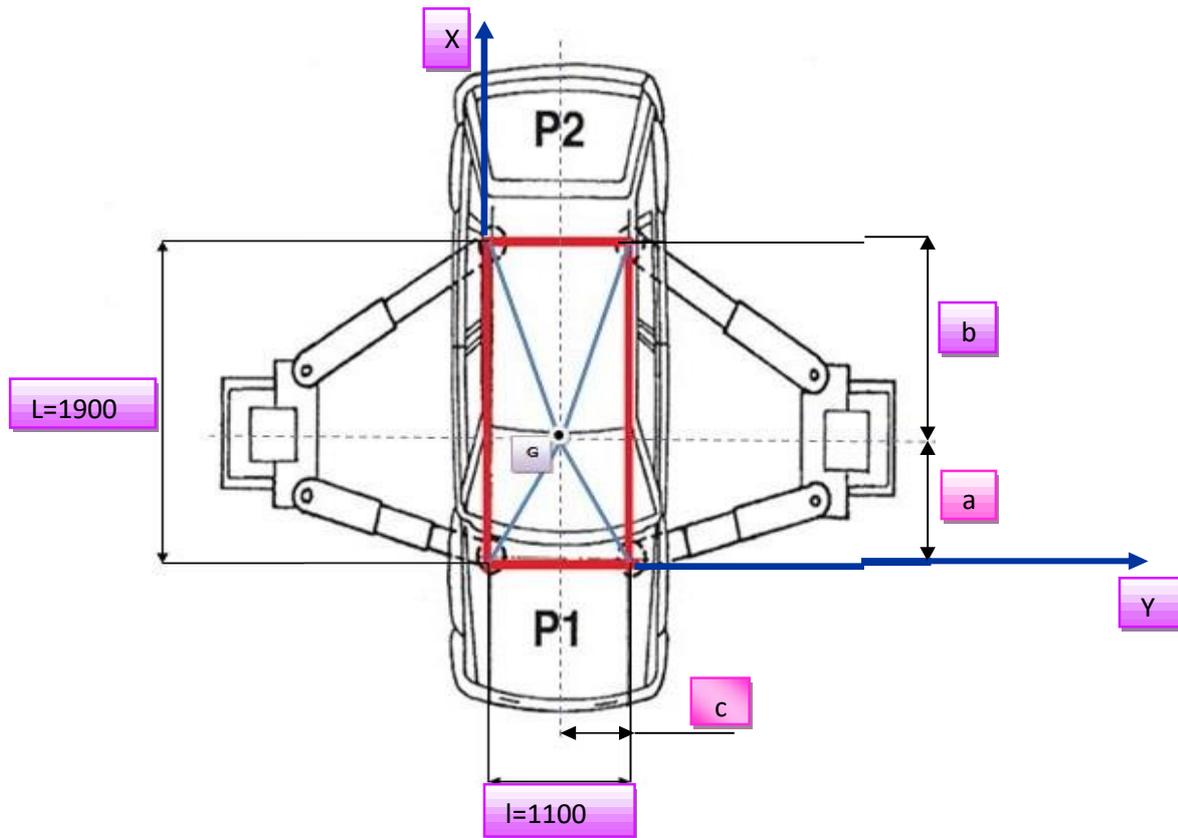


Figure 15: châssis d'un véhicule posé sur quatre appuis.

Avec :

$$\vec{OG} = X_G \cdot \vec{i} + Y_G \cdot \vec{j}$$

$$\vec{OG} = \frac{1}{2} l \cdot \vec{i} + a \cdot \vec{j}$$

D'où :

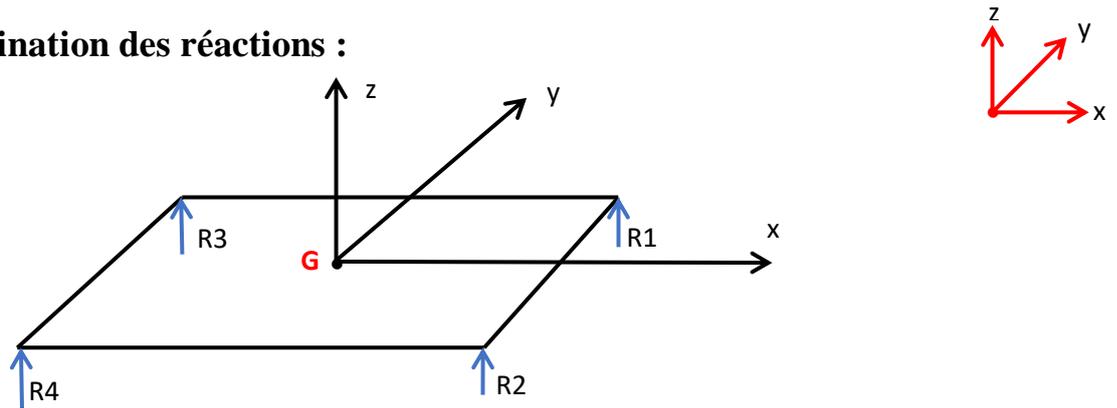
$$\vec{OG} = 550 \cdot \vec{i} + 700 \cdot \vec{j}$$

$a = 700 \text{ mm}$ .

$b = 1200 \text{ mm}$

$c = 550 \text{ mm}$

I-2 -Détermination des réactions :



Les réactions  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  et  $R_4$  sont respectivement perpendiculaires aux longueurs  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  et  $L_4$

Pour déterminer les réactions aux niveaux des appuis, on applique les équations d'équilibres suivantes:

$$\sum \vec{F}/_Y = \vec{0} :$$

Avec la projection des forces selon l'axe ( $yy'$ ) on trouve :

$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = P \dots \dots \dots (1)$$

En appliquant la somme des moments par-rapport à G :

$$\sum \vec{M}/_G = \vec{0} :$$

$$R_1 L_1 + R_2 L_2 - R_3 L_3 - R_4 L_4 = 0 \dots \dots \dots (2)$$

Par symétrie, on a:

$$R_1 = R_2 \text{ et } L_1 = L_2$$

Ainsi:

$$R_3 = R_4 \text{ et } L_3 = L_4$$

On fait remplacer les réactions « R » et les longueurs « L » dans l'équation(1) et (2), ce qui vient :

$$2R_1 + 2R_3 = P \Rightarrow R_1 + R_3 = \frac{P}{2}$$

$$R_3 = \frac{P}{2} \left( \frac{L_1}{L_1 + L_3} \right) \dots \dots \dots (3)$$

$$R_1 = \frac{P}{2} \left( \frac{L_3}{L_1 + L_3} \right) \dots \dots \dots (4)$$

Calcul des longueurs L<sub>1</sub> et L<sub>3</sub> :

On a :

$$L_1 = \sqrt{c^2 + a^2}$$

$$L_3 = \sqrt{b^2 + c^2}$$

Donc :

$$\sqrt{(550)^2 + (700)^2} = 890,285 \text{ mm}$$

$$\sqrt{(1200)^2 + (550)^2} = 1320,038 \text{ mm}$$

Calcul des réactions R<sub>1</sub> et R<sub>3</sub> :

$$R_1 = (P/2) \times (L_3 / (L_1 + L_3))$$

$$R_3 = (P/2) \times (L_1 / (L_3 + L_1))$$

AN:

$$R_1 = \frac{3200}{2} \left( \frac{1320,038}{1320,038 + 890,285} \right) = 955,5 \text{ daN}$$

$$R_2 = \frac{3200}{2} \left( \frac{890,285}{890,285 + 1320,038} \right) = 644,4 \text{ daN}$$

### I 1-3-Vérification des bras à la flexion :

Selon le catalogue fourni par le constructeur du pont étudié, le type de matériau utilisé pour les bras du pont est en acier non allié E360 (A70), qui a des caractéristiques suivantes :

- ✓ La limite d'élasticité :  $[\sigma_e] = 360 \text{ N/mm}^2$
- ✓ La contrainte admissible :  $[\sigma_{adm}] = (\sigma_e/K_s) = 90 \text{ N/mm}^2$
- ✓ Module d'élasticité (module de young) :  $E = 2,1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

$K_s$  : est le coefficient de sécurité, et pour des raisons de sécurité. On va prendre  $K_s = 4$

Les bras du pont élévateur sont profilés rectangle de section creuse et de longueur L :

- ✓ La longueur du bras long d'un pont élévateur :  $L_{max} = 1325 \text{ mm}$  ;

$$L_{min} = 900 \text{ mm}$$

- ✓ La longueur du bras court d'un pont élévateur :  $L_{max} = 830 \text{ mm}$  ;

$$L_{min} = 525 \text{ mm}$$

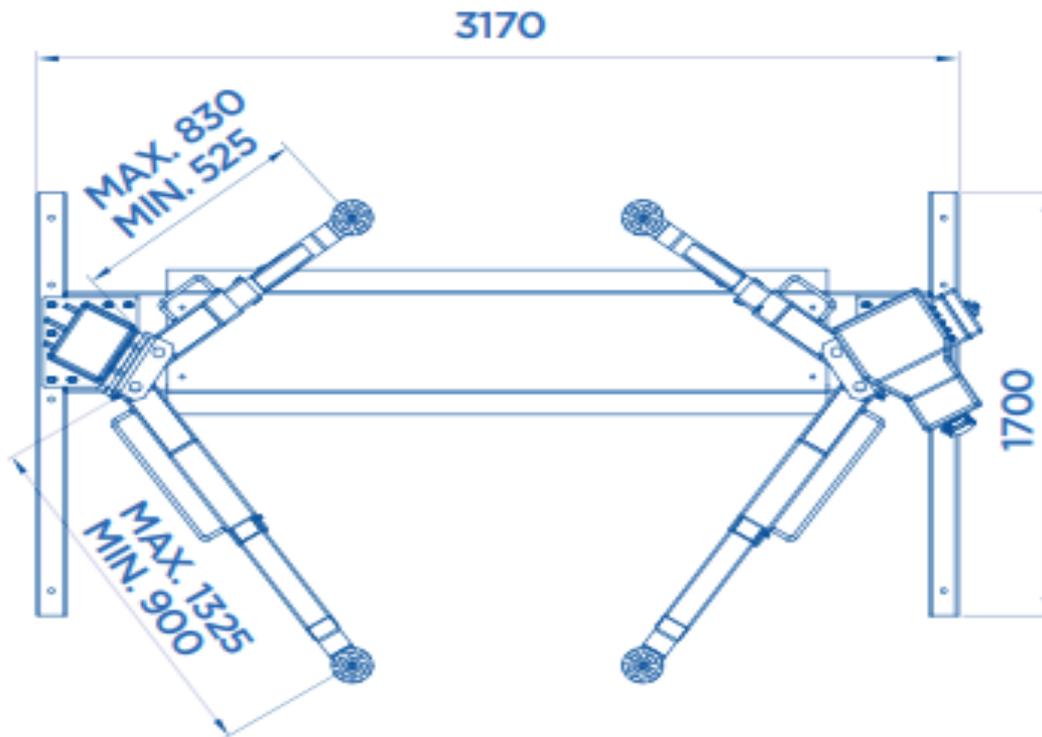


Figure 16: longueur des bras télescopique

Condition de résistance : [10]

Elle est donnée par la formule suivante :

$$\sigma = \frac{M_{fmax}}{\frac{I}{V}} \leq [\sigma_{adm}]$$

Avec :

$$W_x = \frac{I}{V} \geq \frac{M_{fmax}}{[\sigma_{adm}]}$$

- $W_x$  : module d'élasticité de flexion
- $I$  : moment d'inertie
- $M_{fmax}$  : moment fléchissant max

**a/ Dimensionnement les bras longs :**

pour  $L_{max}$  :

$$R_{1V} = F_1 = -955,543 \text{ daN}$$

- Calcul l'effort tranchant :

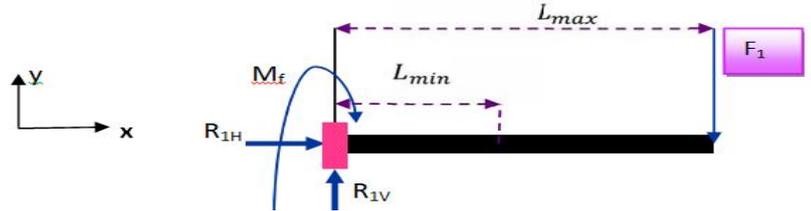
$$T(x) = F_1 = -955,543 \text{ daN}$$

- Calcul de moment fléchissant :

$$M_f(x) = F_1 \cdot x$$

Avec :  $x = L_{max} = 1325 \text{ mm}$

$$M_{fmax} = -1,266 \times 10^6 \text{ daN.mm}$$



$$W_x = \frac{I}{V} \geq \frac{F_1 \cdot L_{max}}{[\sigma_{adm}]}$$

AN :

$$W_x = \frac{I}{V} \geq 140,66 \text{ cm}^3$$

D'après le formulaire de la résistance des matériaux pour les poutrelles creuses rectangulaire. (Voir annexe , tableau 1), on va prendre  $W_x=144,6 \text{ cm}^3$  et les dimensions suivantes : [11]

$$b \times h = 200 \times 100 ; e = 5 \text{ mm} ; A = 28,23 \text{ cm}^2$$

Avec :

b : la base (mm)

h : la hauteur (mm)

e : épaisseur (mm)

A : aire de section ( $\text{cm}^2$ ),

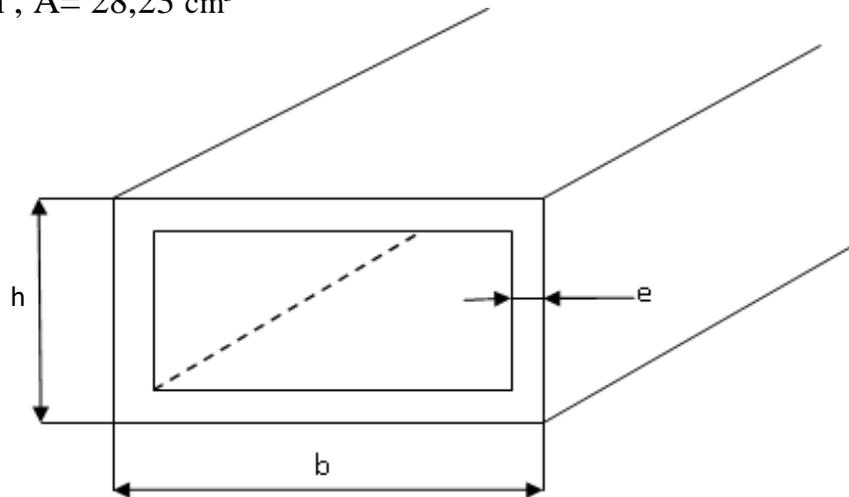


Figure 17: poutrelle creuse rectangulaire

**b/ Dimensionnement les bras court :**

Pour  $L_{max}$  :

$$R_{3V} = F_2 = -644,456 \text{ daN}$$

calcul de l'effort tranchant :

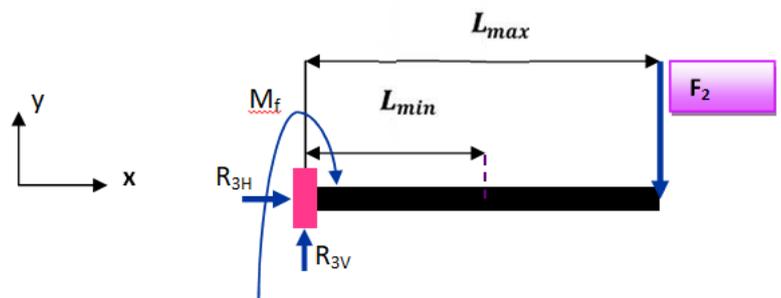
$$T(x) = F_2 = -644,456 \text{ daN}$$

Calcul le moment fléchissant :

$$M_f(x) = F_2 \cdot x$$

Avec :  $x = L_{max} = 830 \text{ mm}$

$$M_{f \max} = -5,348 \times 10^5 \text{ daN.mm}$$



$$W_x = \frac{I}{V} \geq \frac{F_2 \cdot L_{max}}{[\sigma_{adm}]}$$

AN :

$$W_x = \frac{I}{V} \geq 59,42 \text{ cm}^3$$

D'après le formulaire de la résistance des matériaux pour les poutrelles creuses rectangulaire. (Voir annexe , tableau 1), on va prendre  $W_x=59,22 \text{ cm}^3$  et les dimensions suivantes :

$$b \times h= 150*50 \text{ mm}^2; e= 5 \text{ mm}; A= 18,14 \text{ cm}^2.$$

### II-Dimensionnement de la vis de transmission :

La vis de transmission est une pièce de machine utilisée pour transformer un mouvement de rotation en un mouvement de translation et, en général pour transmettre de la puissance.

L'étude de la vis implique l'analyse des contraintes relatives aux filets et au corps de la vis.

#### II -1-Dimensionnement du diamètre de la vis : [12]

Les forces agissant sur la vis de transmission engendrent des contraintes de compression, de torsion et de flexion dans le corps de la vis.

Pour calculer ces contraintes, on utilise une barre cylindrique de diamètre égal au diamètre de la racine ( $d_r$ ) de la vis.

La vis est en acier faiblement alliée **30CrNiMo8 (30CND8)**, de caractéristiques suivantes : [12]

- ✓ La charge limite de rupture par traction :  $\sigma_r=145 \text{ daN/mm}^2$
- ✓ La limite d'élasticité :  $\sigma_e=105 \text{ daN/mm}^2$
- ✓ Le module de Young :  $E= 2 \times 10^5 \text{ MPa}$
- ✓ Contrainte admissible à la rupture :  $[\sigma_{adm}] = 70 \text{ daN/mm}^2$
- ✓ Contrainte admissible au cisaillement :  $[\tau_{adm}] = 35 \text{ daN/mm}^2$

**a / La contrainte de compression:**

On a:  $F = -F_1 - F_2$

D'où:

$$|F| = 1500 \text{ da N.}$$

**Condition de résistance à la compression : [13]**

La contrainte de compression induite dans la vis est donnée par :

$$\sigma = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d_r^2} \leq [\sigma]_{\text{comp}}$$

Avec ;

F : la charge axiale qui s'applique sur la vis.

$d_r$  : diamètre à la racine des filets.

On a:

$$[\sigma]_{\text{comp}} = [\sigma_{\text{adm}}] \cdot K_s$$

Avec :  $K_s$  le coefficient de sécurité.

$$d_r \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F}{[\sigma]_{\text{comp}} \cdot \pi}}$$

AN :

$$d_r \geq 4,60 \text{ mm}$$

**b / La contrainte de flexion : [10]**

Pour bras long :

Le moment fléchissant au niveau de l'axe de la vis est donné par la formule suivante :

$$M_{f1\text{max}} = F_1 \cdot (L_1 + e)$$

Avec :

e : L'épaisseur de l'écrou porteur du diamètre d , avec e=135 mm

D'où :

$$M_{f1\max} = 955,543 \times (1325 + 135)$$

$$M_{f1\max} = 1,395 \times 10^6 \text{ daN.mm}$$

**Pour les bras court :**

$$M_{f2\max} = F_2 (L_2 + e)$$

D'où:

$$M_{f1\max} = 644,456 \times (830 + 135)$$

$$M_{f1\max} = 6,219 \times 10^5 \text{ daN.mm}$$

**Calcul le moment résultant à l'axe de la vis:**

✓ Le moment fléchissant équivalent donné par :

$$M_{f\text{éq}} = \sqrt{M_{f1\max}^2 + M_{f2\max}^2}$$

D'où:

$$M_{f\text{éq}} = 1334,487 \times 10^3 \text{ daN.mm}$$

✓ La contrainte de flexion est donné par :

$$\sigma_f \frac{32 \cdot F \cdot e}{\pi \cdot d^3} \leq [\sigma_{\text{adm}}]$$

Si la charge est excentrique, avec ; e : l'excentricité de la charge par-rapport à l'axe

de la vis, tel que :  $e = \frac{d_r}{2}$

On a :

$$d_r \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot F}{2\pi \cdot [\sigma_{\text{adm}}]}}$$

$$d_r \geq 10,45 \text{ mm}$$

**c / La contrainte de torsion : [10]**

Le diamètre de l'arbre donné par formule suivante :

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot [\tau_{adm}]}}$$

Tel que :  $M_t = \frac{D_{pr}}{2}$

Avec :

$D_{pr}$  : Diamètre du noyau à la racine des filets, et on prend:

$D_{pr} = 55 \text{ mm}$

D'où :

$$d \geq 18,17 \text{ mm}$$

Pour des raisons de conception et un maximum de sécurité, nous adoptons

un diamètre : **D=58mm**

**II -2- Vérification de la vis de transmission: [13]**

**a / Vérification à la flexion :**

La condition de résistance pour l'arbre à la flexion est donnée par la formule suivante :

$$\sigma_{MAX} = \frac{M_{fmax}}{\frac{I}{V}} \leq [\sigma_{adm}]$$

Avec :

$\frac{I}{V}$  : Module de résistance de l'arbre.

$$\frac{I}{V} = 0,1d^3 = 19,511 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

AN :

$$\sigma_{MAX} = \frac{1334,487 \times 10^3}{19,511 \times 10^3}$$

$$\sigma_{\text{MAX}} = 68,39 \text{ daN/mm}^2 < [\sigma_{\text{adm}}]$$

Donc ; La condition de résistance à la flexion est vérifiée.

**b / Vérification à l'effort tranchant : [13]**

La résistance de l'arbre à l'effort tranchant, pour les sections circulaires, est donné par la formule suivante:

$$\tau_{\text{max}} = \frac{4}{3} \times \tau_{\text{moyenne}}$$
$$\tau_{\text{moyenne}} = 4 \times \frac{T}{\pi \cdot d_r^2}$$

Avec :

T : Effort tranchant maximal , T= 955,543 daN

D'où :

$$\tau_{\text{max}} = \mathbf{0,406 \text{ daN/mm}^2}$$

**c / Vérification au flambement : [14]**

**Vérification de la vis au flambement :**

Si la charge en compression est trop grande, il y aura flambage de la vis. il s'agit donc de déterminer quelle est la charge critique au-delà de laquelle cette instabilité mécanique se produira.

$\frac{L}{d_r}$  : Un des facteurs importants relatifs à cette analyse est le rapport d'élanement

Avec :

L = 2200 mm ; longueur de la vis entre les supports.

$d_r = 53 \text{ mm}$  ; diamètre à la racine.

D'où :

$$\frac{L}{d_r} = 41,5 \text{ mm}$$

$\frac{L}{d_r} > 6$  ; On doit vérifier le flambage, avec deux cas possible :

**Premier cas** : on applique la formule de Johnson suivante :

$$\frac{P_{cr}}{A_r} = \sigma_e \cdot \left[ 1 - \frac{\sigma_e}{4\pi^2} \cdot \frac{1}{c \cdot E} \cdot \left( \frac{L^2}{K^2} \right) \right]$$

Si :

$$\frac{L}{K} < \sqrt{\frac{2 \cdot c \cdot \pi^2 \cdot E}{\sigma_e}}$$

**Deuxième cas** : on applique la formule d'Euler suivante :

$$\frac{P_{cr}}{A_r} = \frac{c \cdot \pi^2 \cdot E}{\left( \frac{L}{K} \right)^2}$$

Si :

$$\frac{L}{K} \geq \sqrt{\frac{2 \cdot c \cdot \pi^2 \cdot E}{\sigma_e}}$$

Avec :

$K = \sqrt{\frac{I_r}{A_r}}$  : Le rayon de giration à la racine de la vis.

$I_r$  : Moment d'inertie central principal  $I_r = \frac{\pi d_r^4}{32} = 77,42 \times 10^4 \text{ mm}^4$

$A_r$  : Section à la racine de la vis;  $A_r = \frac{\pi d_r^2}{4} = 2,205 \times 10^2 \text{ mm}^2$

$E$  : Module d'élasticité du matériau ;  $E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$

$c$  : Tient compte du montage, une extrémité est fixe et l'autre libre ;  $c = 0,25$

AN :

$$\sqrt{\frac{2 \cdot c \cdot \pi^2 \cdot E}{\sigma_e}} = 30,64.$$

$$\frac{L}{K} = 117,4.$$

$$\frac{L}{K} > \sqrt{\frac{2 \cdot c \cdot \pi^2 \cdot E}{\sigma_e}}$$

Donc, on applique la formule d'Euler, avec :

$$\frac{P_{cr}}{A_r} = \frac{c \cdot \pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L}{K}\right)^2}$$

$P_{cr}$  : La charge critique.

D'où :

$$P_{cr} = 78891,4 \text{ N}$$

$$F < P_{cr}$$

$$15000 \text{ N} < 78891,4 \text{ N}$$

Donc, la vis est vérifiée au flambement.

### II -3-Le couple nécessaire pour actionner la vis:

Le couple nécessaire pour effectuer la montée et la descente est calculé par les équations suivantes : [15]

#### a / À la montée :

Le couple nécessaire est donné par :

$$T_M = P_M \cdot \frac{d_r}{2}$$

AN :

$$T_M = 9647,88 \text{ daN} \cdot \text{mm}$$

#### b / A la descente :

$$T_D = P_D \cdot \frac{d_r}{2}$$

AN :

$$T_D = 4702,16 \text{ daN} \cdot \text{mm}$$

## II -4-Le rendement de la vis de transmission: [16]

**a / A la montée :**

Le rendement de la vis est donné par :  $\eta_{vis} = \frac{F \cdot L_a}{2 \cdot \pi \cdot T_M}$

$$\text{AN : } \eta_{vis} = \frac{1500 \times 10}{2\pi \cdot 9647,88}$$

$$\eta_{vis} = 0,24 = 24 \%$$

**b / À la descente :**

$$\text{AN : } \eta_{vis} = \frac{F \cdot L_a}{2 \cdot \pi \cdot T_D}$$

$$\eta_{vis} = \frac{1500 \times 10}{2\pi \cdot 4702,16}$$

$$\eta_{vis} = 0,50 = 50\%$$

Le rendement de la vis est très faible.

## III-Calcul de l'écrou porteur:

Pour le calcul de l'écrou porteur de chaque vis de transmission, on calcul un seul écrou celui de la vis motrice qui est identique avec l'écrou porteur au niveau de la vis réceptrice.

L'écrou porteur est en bronze (alliage de cuivre CuSn4), ce qui va permettre de réduire les frottements avec la vis de transmission qui est en acier.

### III-1-Les trois modes de faillite possible des filets sont :

Si en prenant un écrou suffisamment long que l'on évite à la faillite. Par conséquent, on choisira la longueur la plus grande parmi ces trois modes de faillite qu'on va calculer .

**a / Le cisaillement à la base des filets de la vis: [16]**

La longueur nécessaire de l'écrou, afin d'éviter le cisaillement des filets de la vis  $L_{ev}$  est donnée par la formule suivante :

$$L_{ev} = \frac{P.F.F}{0,577 \cdot S_y \cdot \pi \cdot d_n \cdot t}$$

Avec :

P : le pas de la vis

$F_s$  : le facteur de sécurité

$S_y$  : la limite d'écoulement du matériau de vis

t : l'épaisseur de filet à la racine

$d_n$  : diamètre nominal de la vis

$$L_{ev} = \frac{10 \times 1500 \times 6}{0,577 \times 180 \times 3,14 \times 58 \times 3}$$

$$L_{ev} = \mathbf{15,86 \text{ mm}}$$

**b /Le cisaillement à la base des filets de l'écrou: [16]**

La longueur nécessaire de l'écrou, afin d'éviter le cisaillement des filets de l'écrou est donnée par la formule suivante :

$$L_{ee} = \frac{P.F.F_s}{0,577 \cdot S_y \cdot \pi \cdot d \cdot t}$$

AN :

$$L_{ee} = \frac{10 \times 1500 \times 6}{0,577 \times 180 \times 3,14 \times 59 \times 3}$$

$$L_{ee} = \mathbf{15,59 \text{ mm}}$$

**c / L'usure des filets due à la pression de contact: [16]**

La longueur nécessaire de l'écrou  $L_{eu}$ , pour éviter l'usure est donnée par la formule suivante: [16]

$$L_{eu} = \frac{4.P.F}{\pi.(d^2-d_n^2).S_p}$$

$$L_{eu} = \frac{4 \times 10 \times 15000}{3,14.(59^2-58^2).17}$$

$$L_{eu} = \mathbf{96,06 \text{ mm}}$$

En pratique, pour avoir un bon design, on choisira  $L_e = \max(L_{ev}, L_{ee}, L_{eu})$  égal à plus ou moins  $1,5d$  (vis).

Donc, on prend:

$$L_e = L_{eu} = \mathbf{96,06 \text{ mm}}$$

Soit :

$L_e = \mathbf{97 \text{ mm}}$
--------------------------------

**III -2-Calcul de nombre de filet d'un écrou porteur:**

Il est donné par la formule suivante : [16]

$$\frac{L_e}{P}$$

$n$  : nombre de filet d'un écrou

$L_e$  : longueur d'un écrou

$P$  : le pas d'un écrou

**AN :**

$$n = 9,7$$

L'écrou devrait donc compter 10 filets.

## VI -Choix du moteur : [17]

Nous avons choisi dans le catalogue SEW, un moteur DV132S6 dont les caractéristiques sont les suivantes :

- ✓  $P_n$  : Puissance nominale ;  $P_n=3$  KW.
- ✓  $N_n$  : vitesse de rotation nominale ;  $N_n =940$  tr/min.
- ✓  $C_n$  : couple nominale ;  $C_n =30,5$  N.m.

### VI -1-Vérification du couple moteur : [18]

Il faut vérifier que le couple nécessaire est inférieur au couple nominal :

$$C_m \leq C_n$$

Le couple nécessaire est donné par la formule suivante :  $C_m = \frac{9550 \cdot P}{N_n}$

D'où :

$$C_m = 30,4 \text{ N.m}$$

$$30,4 < C_n$$

**Donc le choix du moteur est satisfaisant .**

## V - Choix des courroies : [19]

Le type de courroies utiliser est courroie trapézoïdale

### Cahier de charge :

- ✓ Vitesse de la petite poulie : 940tr/mn.
- ✓ Puissance réelle à transmettre :  $P=3KW$ .
- ✓ Vitesse de la grande poulie : 220tr/mn

### IV-1- calculs des courroies :

#### a / Calcul de la puissance de service : [19]

Elle est donnée par la formule suivante :  $P_s = P \cdot K_s$

Avec :

$P_s$  Puissance de service ou puissance corrigé.

$K_s=1,3$  coefficient de service.

D'où : =  $P_s=3,9KW$ .

#### b / Diamètre primitif : [19]

$d_p = 85mm$ , est imposé pour la petite poulie.

- Pour la grande poulie :

On a :  $\frac{D_p}{d_p} > 3 \Rightarrow a \geq D_p$

D'où :  $D_p = \frac{d_p \cdot N_d}{N_D} = 363,18mm$ .

Alors le diamètre égal

$$D_p = 364 \text{ mm.}$$

**c / Entraxe a :** [19]

L'entraxe est donné par la formule  $\frac{D_p}{d_p} > 3 \Rightarrow a \geq D_p$  suivante:

On prend :  $a = 400 \text{ mm}$

**d / Rapport de transmission:** [19]

Il est donné par la formule suivante :  $K^* = \frac{N_1}{N_2}, \text{ si } N_1 > N_2$

D'où:  $K^* = \frac{940}{220} = 4,27$

**e / Vitesse linéaire de la courroie :** [19]

Elle est donnée par la formule suivante :  $V = \frac{d_p \cdot N_1}{19100}$

Donc  $V = \frac{85.940}{19100} = 4,49 \text{ m/s}$

**f / Longueur primitif de courroie :** [19]

Elle est donnée par la formule suivante :

$$L_p = 2.a + 1,57.(d_p + D_p) + \frac{|d_p - D_p|^2}{4.a}$$

$$L_p = 2.400 + 1,57.(85 + 364) + \frac{|85 - 364|^2}{4.400}$$

$$L_p = 1553,58 \text{ mm.}$$

On prend une longueur normalisé: L=1750 mm, avec le type de courroie XPA 1750.

**g / Calcul de l'entraxe réel:** [19]

$$e_r = \frac{1}{2} [k - f_1 \cdot |d_p - D_p|]$$

Il est donné par la formule suivante:

$$: \frac{|D_p - d_p|}{k}, f_1 = 0,13$$

Facteur d'entraxe est obtenu en fonction du rapport : (voir annexe, tableau 2).

Donc :  $k = 1045,07$

$e_r = 504,4 \text{ mm.}$

# *ETUDE TECHNOLOGIQUE*

## Introduction

Ce chapitre constitue la partie essentielle de cette étude car elle nous a permis de valider la majorité des calculs effectués par la méthode analytique par des simulations numériques, en utilisant le logiciel SOLIDWORKS, qui permet de modéliser les composant du système, d'en faire l'assemblage, et de faire la simulation de son comportement par ordinateur.

La réalisation d'une simulation numérique nécessite, en premier lieu, une définition quasi-complète de la structure étudiée et de son environnement immédiat. Cela inclut la détermination des formes, des dimensions et des matériaux constituant le produit, ainsi que les conditions aux limites en termes de forces et de déplacements, les conditions initiales du mouvement du mécanisme, les conditions de contact [20]

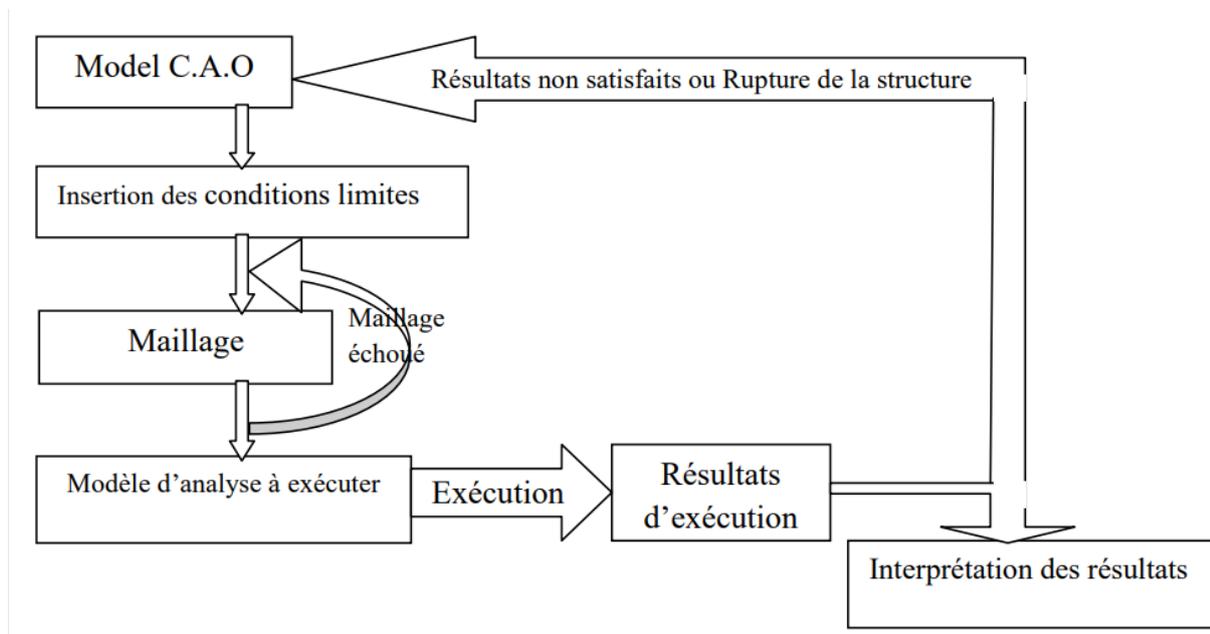
### I – Présentation du logiciel SOLIDWORKS :

SolidWorks est un logiciel de dessin et conception assisté par ordinateur DAO et CAO. Il est considéré comme un outil essentiel dans le domaine de la conception mécanique, et nombreuses entreprises et bureaux d'études en mécanique de renommé l'utilisent. Il permet, avec ses diverses fonctionnalités, d'aborder des problèmes de dimensionnement complexe et de les résoudre dans des délais très courts, comparés aux méthodes conventionnelles. Il est apprécié par des ingénieurs de conception pour sa souplesse et son potentiel en constante progression grâce au programme de développement. L'interface DAO de SolidWorks permet la création de formes en 3D de la manière la plus facile et la plus rapide. Il fait appel à des fonctions comme la révolution, l'extrude, enlèvement de matière ou la symétrie pour obtenir des formes 3D à partir de dessin plan. Pour une même forme il peut y avoir différentes manières de procéder pour sa création. Par exemple sur une même surface fait les fonctions Base / Bossage extrudé et assistance pour le perchage. La fonction Base / Bossage extrudé (cylindre) : obtenir un cylindre par extrusion de L'esquisse d'un cercle. [20]

- **Simulation numérique avec solidworks**

Le module de simulation intégré à SolidWorks permet, entre autre, à étudier le comportement d'une pièce ou d'un assemblage en fonction des charges appliquées. La méthode utilisée par ce logiciel est la Méthode des Eléments Finis (M.E.F). Ceci nous permettra de détermine les contraintes maximales, de déterminer les sections dangereuse et d'apporter les corrections nécessaires (modification des dimensions ou choix de la matière...)

La démarche à suivre est représentée dans l'organigramme de la figure suivante :



**Les étapes à suivre pour notre étude de simulation :**

- ✓ Affectation du matériau (les propriétés physiques et mécaniques)
- ✓ Mise en place des conditions aux limites (déplacements imposés).
- ✓ Application des chargements.
- ✓ Maillage de l'assemblage.
- ✓ Exécution de l'analyse.
- ✓ Visualisation et analyse des résultats

**Application aux bras du pont élévateur :**

Matériau de bras : acier non allié (E 360)

Caractéristique du matériau de bras :  $\sigma_e = 360$  MPa

La charge appliquée sur les bras :

✓ Les bras court : 644 N

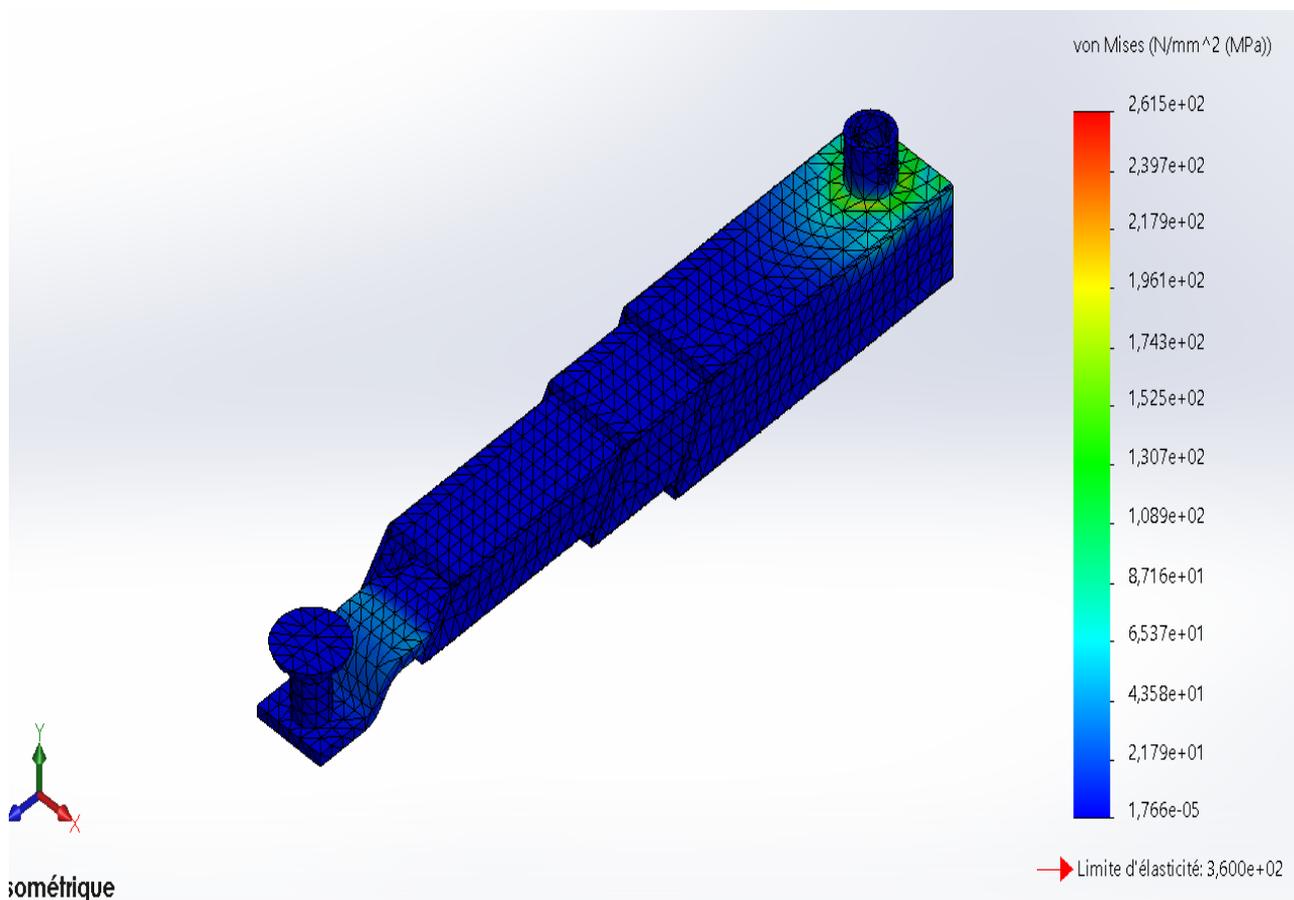
✓ Les bras long : 955 N

- **Pour les bras court :**

F=644 N , L=830 mm

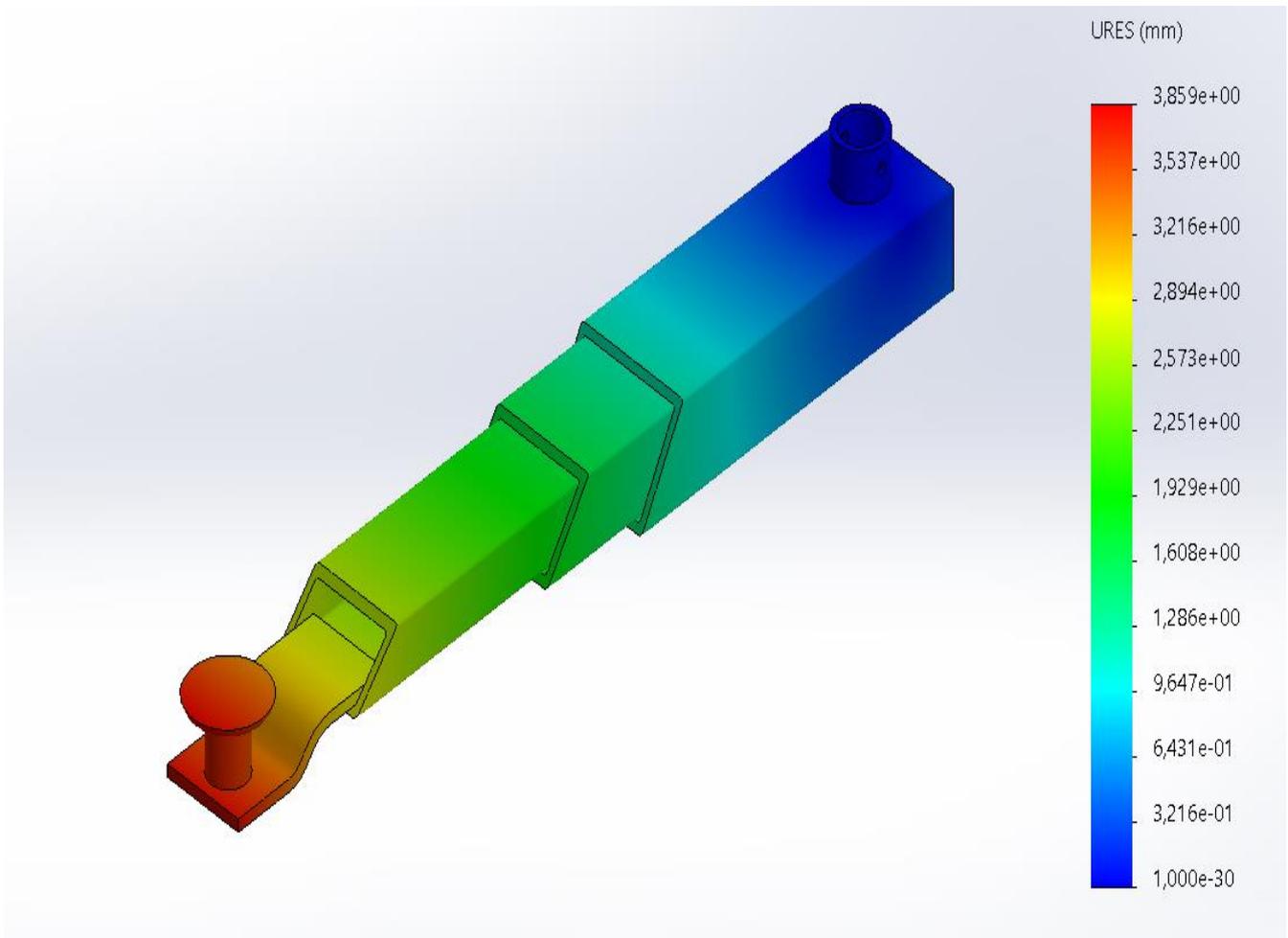
## Résultats obtenus

### a/ Contrainte de Von Mises



La figure illustre la distribution des contraintes de type Von Mises en « N/mm<sup>2</sup> ». Sachant que la limite d'élasticité du E360 est d'ordre de 360 MPa, nous constatons (en accord avec les couleurs de la barre d'indication à la droite de la figure) que pratiquement les zones qui sembleraient dangereuses sont celle au voisinage de la partie inférieure du bras qui s'élève à environ 239 MPa, ce résultat est satisfaisant comparé à la limite d'élasticité de notre matériau.

**b / Les déplacements obtenus :**

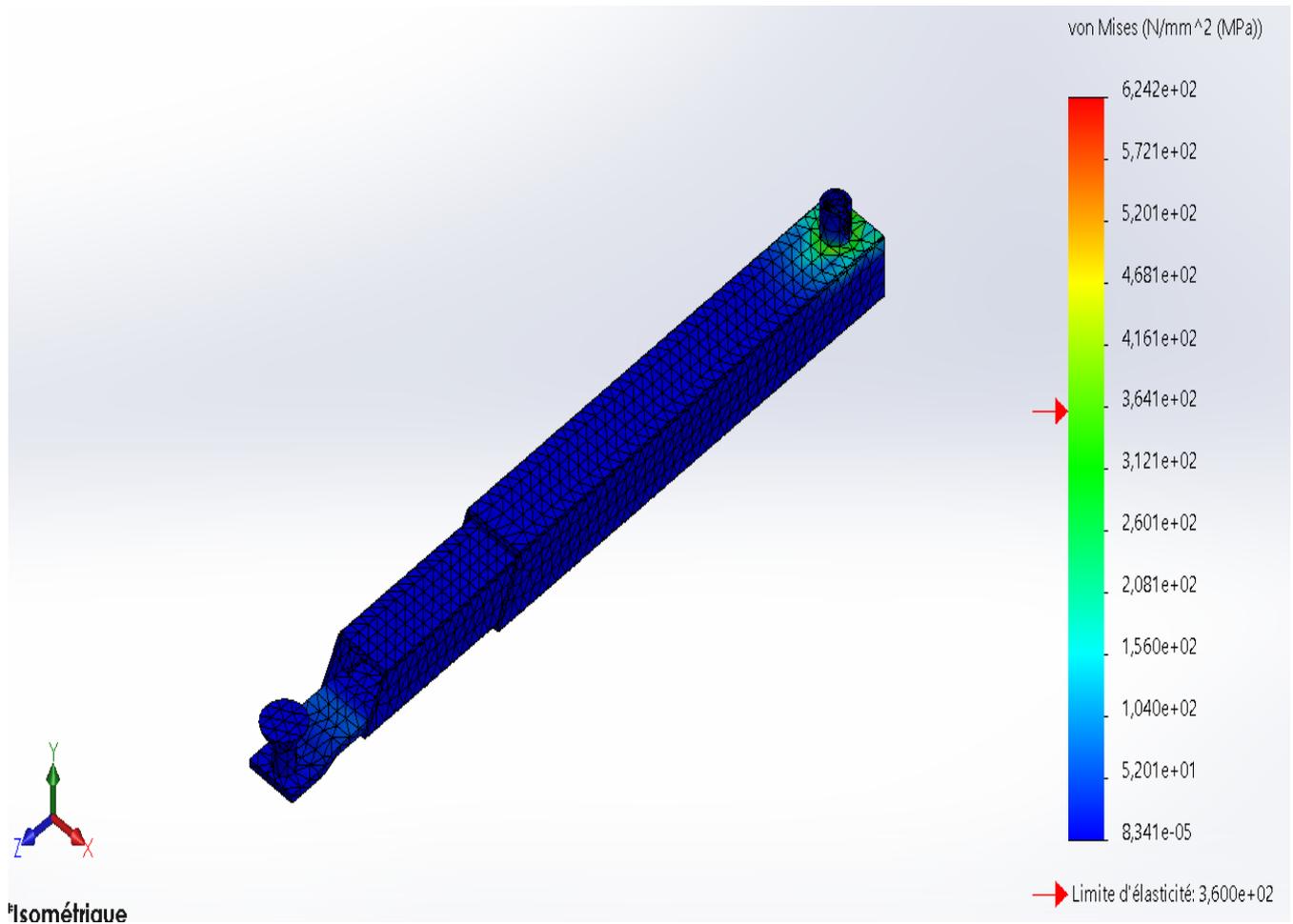


**N.B :** le déplacement maximal est de 3,85 mm, valeur négligeable pour ce type de mécanisme .

Pour les bras long :

### Résultats de l'analyse

#### a/Contrainte de Von Mises

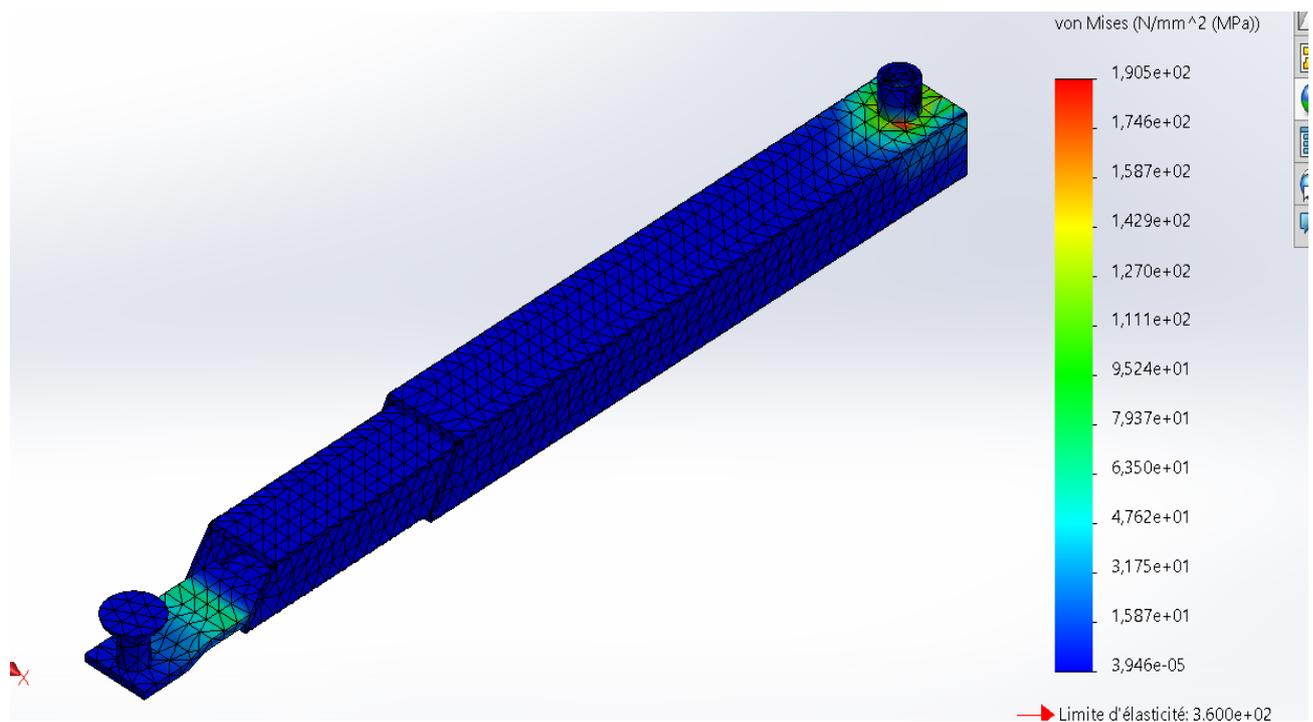
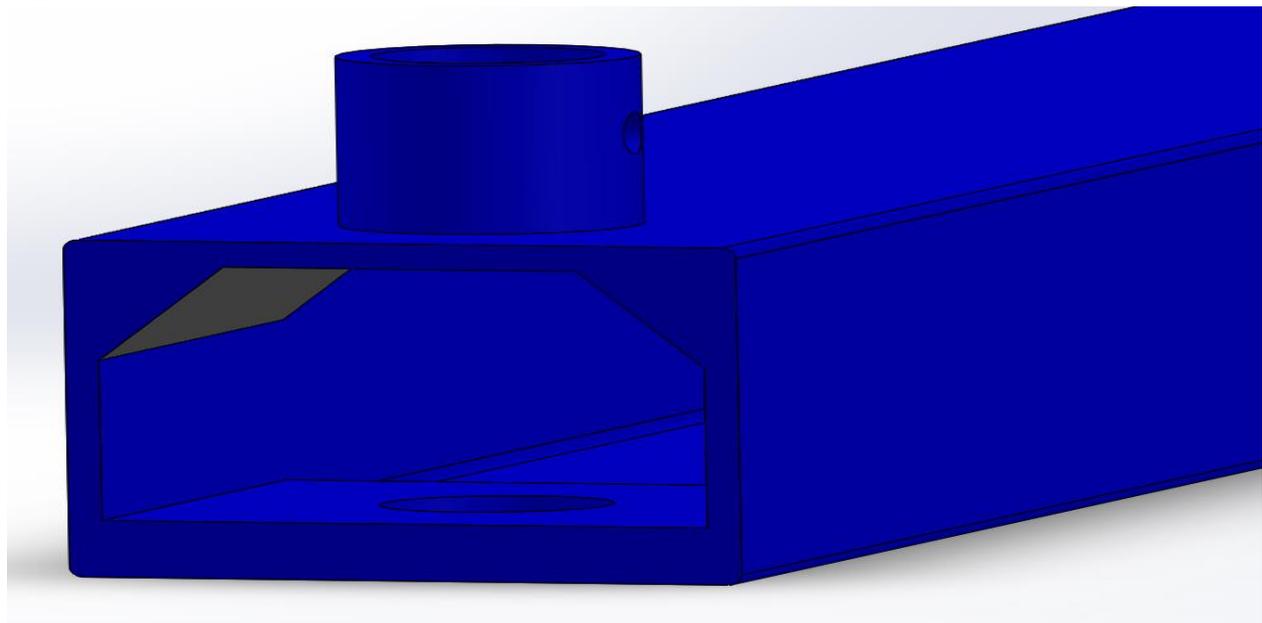


**N.B** : nous constatons que la contrainte maximale de Von mises obtenue par cette simulation

(624 MPa) est plus importante que la contrainte admissible (360 MPa) .

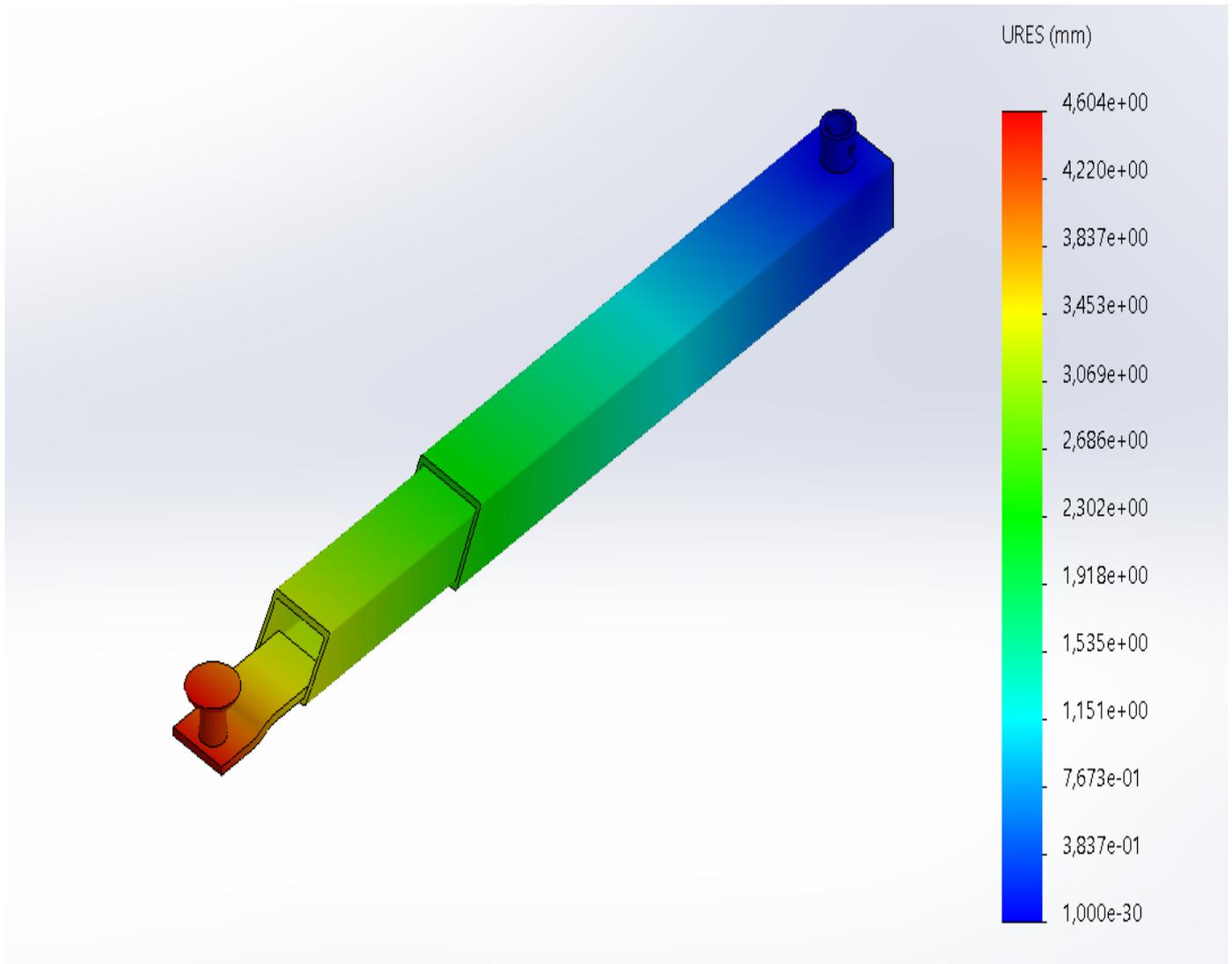
Dans ce cas nous procédons à diminuer cette contrainte maximal en apportant une correction de la forme de notre structure (ajouter des nervures triangulaire au niveau de la section dangereuse).

Après le modification :



- La figure illustre la distribution des contraintes de type Von Mises en « N/mm<sup>2</sup> », Sachant que la limite d'élasticité du E360 .est d'ordre de 360 MPa, nous constatons (en accord avec les couleurs de la barre d'indication à la droite de la figure) que pratiquement les zones qui sembleraient dangereuses sont celle au voisinage de la partie inférieure du bras qui s'élève à environ 195 MPa, ce résultat est satisfaisant comparé à la limite d'élasticité de notre matériau.

**b / Les déplacements :**



**N.B :** le déplacement maximal est de 4,6 mm, valeur négligeable pour ce type de mécanisme

# ***ENTRETIEN DU PONT ELEVATEUR***

## **I Maintenance et entretien du pont élévateur**

La maintenance et l'entretien de notre mécanisme est nécessaire pour le garder dans un état déterminé pour être capable de fournir un service continu et fiable.

### **II Entretien du pont élévateur :**

Pour l'entretien du pont élévateur, on va opter pour deux types de maintenance, la maintenance préventive et la maintenance corrective.

#### **II -1- Utilisation de la maintenance préventive :**

Elle consiste à lubrifier l'élément mécanique en contact pour éviter l'usure par frottement, donc lubrifier la vis de transmission par un lubrifiant pour faciliter le déplacement de l'écrou porteur et éviter le frottement.

##### **a / Toutes les semaines :**

- ✓ Contrôler la lubrification des vis de levage.
- ✓ Contrôler le graissage de la chaîne.
- ✓ Contrôler le graissage des roulements.

##### **b /Tous les mois :**

- ✓ Contrôler l'état des vis.
- ✓ Contrôler la chaîne, et les courroies.

#### **II -2- Utilisation maintenance corrective :**

Elle consiste à remplacer les éléments défectueux. Principalement l'écrou porteur, l'écrou de sécurité, les axes des bras, les courroies et la chaîne de transmission.

## Conclusion général

La complexité de l'étude d'un pont élévateur pour véhicules légers réside principalement dans le manque de documentation dans ce domaine, les fabricants de ponts élévateurs ne publiant pas leurs technologies. Nous avons étudié les composantes principales du pont élévateur en nous basant sur les théories de la résistance des matériaux et les catalogues des constructeurs.

L'outil d'assistance SolidWorks a été utilisé pour l'étude technologique du pont élévateur à deux colonnes. Nous avons acquis une compréhension du monde professionnel grâce à cette analyse, en apprenant que les éléments fondamentaux d'un projet d'ingénierie sont la fiabilité, la bonne performance, la disponibilité des ressources, tout à un coût relativement faible pour rester compétitif.

La modélisation des différents composants du pont élévateur, leur assemblage ainsi que la vérification des dimensions à l'aide du module de simulation de SolidWorks nous a montré que la contrainte au niveau des bras du pont (**624 MPa**) était supérieure à la valeur admissible (**364 MPa**).

Une solution a été apportée au mécanisme en modifiant légèrement la forme de la base du bras du pont, ce qui a donné une valeur acceptable de la contrainte maximale (**195 MPa**) inférieure à la contrainte admissible.

### Résumé

Ce travail concerne l'étude et la conception CAO d'un pont élévateur, utilisé principalement dans les garages de maintenance automobile pour avoir accès à la partie inférieure du véhicule.

Les données préliminaires ont été prises sur un modelé existant. Après l'étude analytique du mécanisme nous avons modélisé et assemblé les différentes pièces par CAO. La valeur de la contrainte de Von Mises admissible, résultat de l'analyse par simulation, a été dépassée, ce qui nous a obligés à modifier la structure des bras du pont.

### تلخيص

هذا العمل عبارة عن دراسة وتصميم بمساعدة الكمبيوتر (CAD) لجسر رافع و الذي يستخدم بشكل رئيسي في مرائب صيانة السيارات للوصول إلى الجزء السفلي من السيارة. تم أخذ البيانات الأولية من نموذج موجود. وبعد الدراسة التحليلية للألية، قمنا بتصميم وتجميع الأجزاء المختلفة باستخدام برنامج SolidWorks. مما اضطرنا VonMises لاحتظنا من خلال نتيجة تحليل المحاكاة تجاوز قيمة إجهاد المسموح به ، إلى تعديل هيكل أذرع الجسر

### Abstract

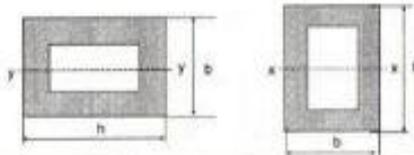
This work concerns the study and CAD design of a lift bridge, used mainly in motor vehicle maintenance garages to gain access to the lower part of the vehicle.

Preliminary data was taken from an existing model. After the analytical study of the mechanism, we modeled and assembled the different parts using CAD. The value of the admissible Von Mises stress, result of the simulation analysis, was exceeded, which forced us to modify the structure of the bridge arms.

# *ANNEXE*

**Tableau 1 :**  
Poutrelles creuses rectangulaires

Dimension extérieures	Épaisseur	Masse linéique	Aire de la section	Moment d'inertie de torsion	Moment d'inertie de flexion	Moment d'inertie de flexion	Module d'inertie de flexion	Module d'inertie de flexion	Rayon de giration	Rayon de giration
$h \times b$	$e$			$J$	$I_x$	$I_y$	$W_x$	$W_y$	$i_x$	$i_y$
mm	mm	kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm
100*50	*3	6,54	8,331	88,85	104,50	35,570	20,900	14,230	3,542	2,066
100*60	*3	7,01	8,951	122,10	118,60	53,950	23,730	17,980	3,645	2,458
120*60	*3	7,95	10,130	156,90	186,30	63,700	31,050	21,230	4,289	2,508
140*40	*3	7,95	10,130	90,50	218,00	29,590	31,140	14,800	4,638	1,709
140*80	*3	9,84	12,530	318,20	330,60	140,000	47,230	35,000	5,136	3,342
	**5	15,80	20,140	502,10	506,50	212,500	72,350	53,120	5,015	3,248
150*50	*3	8,80	11,330	150,60	294,20	52,160	39,220	20,860	5,095	2,146
	**5	14,20	18,140	230,10	444,10	76,530	59,220	30,610	4,948	2,054
150*100	*3	11,30	14,330	500,00	456,30	245,700	60,840	49,140	5,643	4,141
	**5	18,20	23,140	811,70	707,00	378,600	94,270	75,720	5,527	4,045
160*90	*3	11,30	14,330	467,00	495,80	205,200	61,980	45,600	5,882	3,784
180*80	*3	11,70	14,930	446,30	614,60	175,600	68,280	43,890	6,416	3,429
	**5	19,00	24,140	706,30	953,50	268,800	105,900	67,200	6,285	3,337
180*100	*3	12,70	16,130	656,00	708,60	288,000	78,730	57,610	6,628	4,226



Dimension extérieures	Épaisseur	Masse linéique	Aire de la section	Moment d'inertie de torsion	Moment d'inertie de flexion	Moment d'inertie de flexion	Module d'inertie de flexion	Module d'inertie de flexion	Rayon de giration	Rayon de giration
$h \times b$ mm <sup>2</sup>	t mm	kg/m	A cm <sup>2</sup>	$J$ cm <sup>4</sup>	$I_x$ cm <sup>4</sup>	$I_y$ cm <sup>4</sup>	$W_x$ cm <sup>3</sup>	$W_y$ cm <sup>3</sup>	$i_x$ cm	$i_y$ cm
200*100	4	17,9	22,87	987,5	1191	408,7	119,1	81,74	7,219	4,228
	5	22,2	28,23	1209	1446	493,7	144,6	98,74	7,158	4,283
	6	26,3	33,45	1420	1685	572,3	168,5	114,5	7,097	4,156
	8	34,1	43,46	1810	2113	711,0	211,3	142,2	6,973	4,045
	10	41,5	52,91	2157	2479	826,5	247,9	165,3	6,845	3,952
	12	48,5	61,79	2459	2876	920,5	278,6	184,1	6,714	3,860
200*120	5	23,7	30,23	1656	1637	745,5	163,7	124,2	7,358	4,966
	6	28,1	35,85	1951	1911	867,7	191,1	144,6	7,301	4,920
	8	36,6	46,66	2505	2408	1087,0	240,8	181,2	7,184	4,827
	10	44,7	56,91	3008	2841	1275,0	284,1	212,5	7,065	4,733
200*150	5	26,1	33,22	2397	1922	1237,0	192,2	165,0	7,605	6,100
	6	31,0	39,45	2833	2249	1477,0	224,9	192,9	7,751	6,056
	8	40,4	51,46	3661	2851	1828,0	285,1	243,7	7,443	5,960
	10	49,4	62,91	4426	3283	2136,0	328,3	288,4	7,333	5,864
	12	57,9	73,79	5128	3847	2453,0	384,7	327,1	7,220	5,766
250*100	5	26,1	33,22	1823	2533	606,6	202,7	121,3	8,732	4,270
	6	31,0	39,44	1906	2963	705,0	237,0	141,0	8,667	4,220
	8	40,4	51,46	2437	3749	880,7	300,0	176,1	8,535	4,136
	10	49,4	62,90	2911	4438	1030,0	355,1	205,9	8,400	4,046
	12	57,9	73,79	3330	5035	1154,0	402,8	230,8	8,260	3,955

**Tableau 2 :**

Facteur d'entraxe fl

$\frac{ d_1 - d_2 }{K}$	Facteur $f_1$
0,00	0,00
0,02	0,01
0,04	0,02
0,06	0,03
0,08	0,04
0,10	0,05
0,12	0,06
0,14	0,07
0,16	0,08
0,18	0,09
0,20	0,10

## Bibliographie

- [1] mickael, Monte Charge : Le guide complet pour entreprises et particuliers, FRANCE: entreprises Aurama, Sep 8, 2023.
- [2] P. I. Méc., "Les appareils de levage et manutention mécanique," *les pratique industries mécanique*, Vols. 16, Number 4, Juillet 1933, no. 4, pp. 136 - 137, 2017.
- [3] M. M. N. MELCHANE Farid, Mmoire fin d'étude( option constuction mécanique etude et conception d'une table élévatic, bejaia: univ abdelrrahman bejaia, poromo 2002 2003.
- [4] M. A. M. Mourad, ETUDE ET CONCEPTION D'UN PONT ELEVATEUR A DEUX COLONNE POUR VEHICULES LEGERS -SIMB BEJAIA, BEJAIA: UNIVERSITY BEJAIA, 2013.
- [5] J. Héng, PRATIQUE DE LA MAITENANCE PREVENTIVE, paris: Edition Dunod,, 2002.
- [6] J.-L. FANCHON, Guide des Sciences et technologies industrielles, FRANCE: afnor Nathan, 2012.
- [7] a. délimages, science de lingénieur, FRANCE : SIT WEB, 2016.
- [8] le bon roulement , Qu'elle sont les diffrent type de roulement, FRANCE: entrprise francaises, 2024.
- [9] .. A. CHEVALIER., Guide du dessinateur industriel, Edition HACHETTE technique, 2004.
- [10] R. R. A.Compa, "La mécanique par les problèmes, résistance des," Edition Foucher, paris, 1984.
- [11] Y. Xiong, "Formulaire de résistance des matériaux," Edition EYROLLES., FRANCE, 2002.
- [12] J.-L. FANCHON, " Guide des Sciences et technologies industrielles," Edition afnor, 2012.
- [13] C. Eloy, "Aide-mémoire, calculs en construction mécanique, conception en construction mécanique.," Edition DUNOD, paris, 1981.
- [14] N. P. Agati, "Mécanique appliquée, résistance des matériaux," Edition DUNOD, paris , 1996.
- [15] K. Z. S. M. A. R. L. E. V. Dobrovolski, "Éléments de machines," Editions MIR, MOSCOU, 1971.
- [16] M. P. R. G.DROUIN, " Elément de machine," Editions de l'école, 1986.

- [17] C. S. USOCOME, "Moto-variateurs mécaniques," 2005.
- [18] T. A.A/Latif, " PFE contribution à l'étude d'un escalier mécanique," Université bejaia, Promotion 2003.
- [19] F. Esnault, " Construction mécanique, transmission de puissance Tome 3," Edition DUNOD, paris, 2009.
- [20] F. Ismail, " PFE Etude d'un système de volet pour avion civil par solidworks. Ecole," EL-HARRACH, ALGER , Juillet 2011 .
- [21] Y. Z. D. Youde Xiong, Formulaire de mécanique, Pièces de construction, Edition EYROLLES , 2007.
- [22] K. Z. S. M. A. R. L. E. V. Dobrovolski, " Éléments de machines," Editions MIR, MOSCOU, 1971.