

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Seddik Benyahia - Jijel
Faculté des Sciences et de la Technologie



جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل
كلية العلوم والتكنولوجيا

Département de Génie Mécanique

Mémoire de Fin d'Études

Présenté en vue de l'obtention du diplôme du master

Filière : Génie Mécanique

Option : Construction Mécanique

Thème

**Etude et conception d'une grue d'atelier mobile
destinée à l'atelier du hall de technologie**

Les membres du jury :

M. Larbi GERAICHE (Président)

M. Samir BOUNNECHE (Encadrant)

M. Toufik SEDRAT (Examinateur)

Présenté par :

Abderrahman DEBBACHE

Abdessamad RABHI

Promotion 2021

Université Mohamed Seddik Ben Yahia - Jijel
PB 98, Ouled Aissa. 18000. Algérie. Tél : +213 34 50 11 89
<http://www.univ-jijel.dz>

Remerciements

Premièrement, on remercie « **Allah** » le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

On remercie également nos parents ,frères et sœurs pour leur soutien durant nos études. A tous nos collègues, amis, et tous ceux qui nous ont aidés et soutenus de près ou de loin.

Nous voudrions dans un premier temps remercier notre encadrant **Mr. Samir BOUNNECHE**, pour sa confiance et pour avoir accepté de nous encadrer.

Nous remercions en particulier **Mr. Abdennour KHEDIMELLAH**, pour sa disponibilité et ses précieux conseils malgré ses occupations.

Nous désirons remercier les enseignants et toute l'équipe pédagogique de notre département, qui nous ont fourni les outils nécessaires à la réussite de nos études universitaires.

Nous remercions aussi toute la promo du master-construction mécanique (2019-2021) et nous souhaitons à nos collègues une bonne chance dans leurs vies professionnelles.

Liste des figures

Figure I.1 : Atelier mécanique.....	5
Figure I.2 : Un Chariot élévateur.....	8
Figure I.3 : Un convoyeur.	8
Figure I.4: Un pont roulant posé.....	9
Figure I.5 : Un pont roulant suspendu.	9
Figure I.6 : Un pont roulant portique et semi-portique.	9
Figure I.7 : Un portique.	10
Figure I.8 : Grue à montage automatisé.	10
Figure I.9 : Grue à montage par éléments.	11
Figure I.10: Un plateau roulant.	11
Figure I.11: Un treuil.....	11
Figure I.12: Un transpalette.....	12
Figure I.13: Un Gerbeur.	12
Figure I.14: Une grue d'atelier.	13
Figure I.15: Une table élévatrice.	13
Figure I.16: Cric à crémaillère, cric hydraulique et Cric à sabot.	14
Figure I.17: Exemple d'élingues.	15
Figure I.18: Exemple de Sangle d'arrimage.....	15
Figure I.19: Exemple d'un crochet.....	16
Figure I.20: Un palonnier.....	16
Figure I.21: Exemple d'une manille.....	16
Figure I.22: Exemple de pince.....	17
Figure I.23: Exemple d'une ventouse.....	17

Figure II.1: Les étapes de l'analyse du problème.....	21
Figure II.2: Panorama de l'analyse fonctionnelle. [12].....	23
Figure II.3: Diagramme d'analyse du besoin. [12]	24
Figure II.4: Bête à cornes du monte-charge.	25
Figure II.5: Diagramme d'étude de la faisabilité. [12].....	26
Figure II.6: Diagramme pieuvre du monte-charge.....	27
Figure II.7: Diagramme FAST.	30
Figure II.8: Diagramme FAST du monte-charge.	31
Figure II.9: Les composants d'une grue d'atelier.	33
Figure III.1: Conception du modèle proposé.	36
Figure III.2: Graph des liaisons de la grue d'atelier.	38
Figure III.3: Schéma cinématique de la grue d'atelier.	39
Figure III.4: schéma de la grue d'atelier.....	40
Figure III.5: La flèche en plan horizontal.	45
Figure III.6: Diagrammes de $N(x)$, $T(x)$ et $M(x)$ de la flèche en 1 ^{er}	47
Figure III.7: La flèche à la hauteur minimale.	48
Figure III.8: Diagrammes de $N(x)$, $T(x)$ et $M(x)$ de la flèche en 2 ^{ème} cas.	50
Figure III.9: La flèche à la hauteur maximale.....	51
Figure III.10: Diagrammes de $N(x)$, $T(x)$ et $M(x)$ de la flèche en 3 ^{ème} cas.	53
Figure III.11: La colonne.	54
Figure III.12: Diagrammes de $N(x)$, $T(x)$ et $M(x)$ de la colonne.....	57
Figure III.13: Le support de la colonne.....	58
Figure III.14: Diagrammes de $T(x)$ et $M(x)$ du support en 1 ^{er} plan.....	61
Figure III.15: Diagrammes de $T(x)$ et $M(x)$ du support en 2 ^{ème} plan.....	63
Figure III.16: La jambe.	64
Figure III.17: Diagrammes de $N(x)$, $T(x)$ et $M(x)$ de la jambe.....	66

Figure III.18: catalogue technique des tubes structurels.....	68
Figure III.19: Les longueurs maximale et minimale du vérin choisi.....	73
Figure III.20: Représentation des forces de la pesanteur des composants.....	74
Figure IV.1: Conception finale de la grue d'atelier.....	78
Figure IV.2: Vue éclatée de la grue d'atelier.....	79
Figure IV.3: Profil de levage.....	80
Figure IV.4: Profil télescopique.....	80
Figure IV.5: Colonne.....	81
Figure IV.6: Base.....	81
Figure IV.7: Support.....	82
Figure IV.8: Jambe.....	82
Figure IV.9: Support supérieur du piston.....	82
Figure IV.10: Support du sous-piston.....	83
Figure IV.11: Support arrière.....	83
Figure IV.12: Vérin.....	83
Figure IV.13: Crochet.....	83
Figure IV.14: Roue.....	84
Figure IV.16: Différentes vues de la grue d'atelier.....	85
Figure IV.17: La grue d'atelier pliée.....	86

Liste des tableaux

Tableau 1: CdCF du monte-charge.....	28
Tableau 2: Liaisons géométriques entre les classes d'équivalences.....	38
Tableau 3: Les contraintes équivalentes en fonction des sections.....	68
Tableau 4: Capacité de charge et hauteur de levage en fonction de la longueur de la flèche.....	72

Tableau 5: Les poids des composants.	75
Tableau 6: Nomenclature	80

Sommaire

Remerciements.....	I
Liste des figures	II
Liste des tableaux.....	IV
Sommaire	V
Introduction générale	1
I. Généralités sur la manutention	2
I.1 Histoire de la manutention [1].....	2
I.1.1 La préhistoire	2
I.1.2 De l'Antiquité au Moyen Âge.....	2
I.1.3 De la Renaissance au siècle des Lumières	3
I.1.4 Du siècle des révolutions à nos jours	4
I.2 Définition	4
I.3 Quelques domaines qui nécessitent de la manutention	5
I.4 Types de la manutention [3].....	6
I.4.1 La manutention manuelle.....	6
I.4.2 La manutention mécanique	6
I.5 Les éléments à considérer lors du choix de l'équipement de la manutention [6]	6
I.5.1 Le choix de l'équipement approprié	6
I.5.2 La quantité et la qualité de l'équipement	7
I.5.3 L'inspection et l'entretien préventif de l'équipement.....	7
I.6 Matériels de la manutention	7

I.6.1	Chariot élévateur	7
I.6.2	Les convoyeurs	8
I.6.3	Ponts roulants.....	8
I.6.4	Les portiques	10
I.6.5	Les grues	10
I.6.6	Plateau roulant	11
I.6.7	Treuil.....	11
I.6.8	Transpalette.....	12
I.6.9	Gerbeurs	12
I.6.10	Grues d'atelier.....	13
I.6.11	Tables élévatrices.....	13
I.6.12	Crics	14
I.7	Les accessoires d'accrochage [5]	14
I.7.1	Les élingues	14
I.7.2	Les sangles d'arrimage	15
I.7.3	Les crochets	15
I.7.4	Les palonniers	16
I.7.5	Les manilles	16
I.7.6	Les pinces.....	17
I.7.7	Les ventouses	17
I.8	Les risques liés à la manutention [8].....	17
I.8.1	La manutention manuelle.....	18
I.8.2	La manutention mécanique	19
I.8.3	Evaluation du risque [3].....	19

I.8.3.1	Pour la manutention manuelle	19
I.8.3.2	Pour la manutention mécanique	20
II.	Analyse du problème et résolution	21
II.1	Introduction	21
II.2	Exposition du problème	21
II.3	Analyse fonctionnelle (AF)	22
II.3.1	Les outils de l'analyse fonctionnelle	22
II.3.2	La méthode APTE	22
II.3.3	Etapas de l'analyse fonctionnelle	23
II.3.3.1	Analyse fonctionnelle externe (AFE) ou l'analyse du besoin	24
II.3.3.1.1	Analyse du besoin	24
II.3.3.1.1.1	Enoncement du besoin	24
II.3.3.1.1.2	Validation du besoin	25
II.3.3.1.2	Etude de la faisabilité	26
II.3.3.1.2.1	Diagramme de Pieuvre	26
II.3.3.1.3	Cahier des charges fonctionnel (CdCF)	28
II.3.3.2	Analyse fonctionnelle interne (AFI) ou analyse fonctionnelle technique 29	
II.3.3.2.1	La méthode FAST	29
II.4	Recherche de la solution optimale	32
II.4.1	La solution optimale	32
II.4.2	Caractéristiques importantes	32
II.4.3	Fonctionnement et utilité	32
III.	Dimensionnement du monte-charge	36
III.1	Introduction	36

III.2 Etude cinématique	37
III.2.1 Schéma cinématique.....	37
III.2.1.1 Détermination des classes d'équivalence	37
III.2.1.2 Détermination des liaisons :	37
III.2.1.3 Réalisation du graph des liaisons	38
III.2.1.4 Tracé du schéma cinématique	38
III.2.2 La hauteur de levage h	40
III.2.2.1 Lorsque la flèche est sur un plan horizontal	42
III.2.2.2 Lorsque la flèche atteint la hauteur maximale.....	42
III.2.2.3 Lorsque la flèche atteint la hauteur minimale	44
III.3 Dimensionnement de chaque élément de la grue d'atelier.....	44
III.3.1 Calcul RDM	44
III.3.1.1 La flèche	44
III.3.1.1.1 Lorsque la flèche est sur un plan horizontal.....	45
III.3.1.1.2 Lorsque la flèche atteint la hauteur minimale	48
III.3.1.1.3 Lorsque la flèche atteint la hauteur maximale	51
III.3.1.2 La colonne	54
III.3.1.3 Le support de la colonne.....	58
III.3.1.4 Les Jambes.....	63
III.3.2 Choix des sections et des matières	66
III.3.2.1 Le bâti.....	66
III.3.2.2 La flèche	70
III.4 Détermination des charges avec des longueurs variables de la flèche	72
III.5 Le vérin hydraulique	73

III.6 Vérification de la stabilité	73
III.6.1 Calcul du poids des composants	74
III.6.2 Lorsque la flèche est en position horizontal.....	75
III.6.3 Lorsque la flèche atteint la hauteur maximale	75
III.6.4 Lorsque la flèche atteint la hauteur minimale	76
III.7 Les roues appropriées.....	76
IV. Conception du monte-charge	76
IV.1 Introduction	76
IV.2 Introduction au logiciel SOLIDWORKS [13]	76
IV.2.1 Fonctionnement.....	76
IV.2.2 Concepts de base.....	77
IV.2.2.1 Pièce	77
IV.2.2.2 Assemblage.....	77
IV.2.2.3 Mise en plan	78
IV.2.3 Produits associés et extensions des fichiers	78
IV.3 Résultat de la conception finale :	78
Conclusion générale.....	87
Bibliographie	88
Annexes	90
Résumé.	

Introduction générale

Lors de la maintenance des différentes machines (tours, fraiseuses, perceuses, ... etc.) sur l'atelier de l'université, les employeurs ont trouvé des difficultés de levage, déplacement et manipulation de quelques composants de ces machines (exemple : le trainard du tour).

Dans le cadre de la réalisation du projet de fin d'études et en tant qu'étudiants à l'université de Jijel, nous avons pour mission de faire l'étude et la conception d'un monte-charge destiné à l'atelier de l'université (Hall de technologie).

L'objectif de ce projet est de mettre en œuvre ce qui a été appris pendant notre cursus scolaire en tant qu'étudiants en master en génie mécanique option construction mécanique en aidant efficacement et être capable de résoudre des problèmes concernant notre domaine.

On a divisé notre travail en quatre chapitres :

Le premier chapitre sera consacré à une recherche bibliographique sur la manutention en général et les appareils de levage.

Dans le deuxième chapitre, on présentera la problématique et son analyse à l'aide de l'analyse fonctionnelle afin de trouver une solution optimale.

Ensuite, dans le troisième chapitre on se focalisera sur le dimensionnement des éléments du monte-charge choisi.

Enfin, le quatrième chapitre sera consacré à la conception des pièces dimensionnées dans le chapitre précédent.

Chapitre 01

Généralités sur la manutention

I. Généralités sur la manutention

I.1 Histoire de la manutention [1]

Ce n'est qu'au XVe siècle que le terme de grue apparaît pour désigner un engin de levage. Mais dès l'antiquité, l'homme a eu recours à des techniques de levage mécanisé pour satisfaire son besoin de laisser un témoignage de son passage sur Terre ou pour glorifier les Dieux, puis pour bâtir des infrastructures urbaines. Mais la grue ne sert pas qu'à bâtir, on la retrouve comme engin de destruction lors de sièges, comme engin de renversement des bateaux ennemis ou de déchargement et chargement de navires dans les ports, ou de wagons dans les gares. Elle est fixe, mobile sur roues, sur rails ou sur chenilles, montée sur véhicules motorisés ou non. Certaines permettent le déplacement de petites charges, d'autres de charges colossales.

I.1.1 La préhistoire

Le principe fondamental du levage d'une charge plus lourde que la force qui la meut est celui du levier, utilisé pour les grandes constructions astronomiques ou religieuses, telles que Stonehenge, en Angleterre, ou les pyramides d'Égypte. La seule force motrice utilisée est celle de l'homme ou de l'animal. L'inconvénient majeur est le nombre de personnes nécessaires sur le chantier et le temps de construction de l'édifice. Les spécialistes évaluent le temps d'édification d'une des plus grandes pyramides à une vingtaine d'années en employant plus de 50 000 ouvriers.

I.1.2 De l'Antiquité au Moyen Âge

Les constructions de cités, des voies de transport, de ports, de ponts et le développement du commerce, avec l'apparition des civilisations grecque et romaine, nécessitent une plus grande rapidité de construction. Il faut dès lors démultiplier la force musculaire des hommes et des animaux à l'aide de systèmes mécaniques. C'est l'apparition des engins de levage en bois. Le matériel alors employé est très proche de celui de la marine : roues à cliquet, treuils, palans et moufles, engrenages à roues dentées... La Grèce antique a créé tous les mécanismes nécessaires à l'invention de la grue. Tout cela permet la démultiplication de la force motrice qui reste humaine ou animale.

L'instrument de levage des Romains était un mât unique, maintenu en position verticale ou incliné par quatre haubans allant en croix de son sommet jusqu'à des ancrages au sol. Des poulies étaient fixées à la base et au sommet du poteau. La technique de la « cage d'écureuil », qui démultiplie la force par le mouvement du poids des « servants » qui y étaient placés, sera utilisée jusqu'après la construction des cathédrales. Ce n'est qu'au début du XIII^e siècle qu'apparaissent les grues portuaires. En 1600, les quais de tous les ports européens ne totalisent que 60 grues.

I.1.3 De la Renaissance au siècle des Lumières

La mode est à la construction de châteaux beaux et décorés de pierres taillées et finement sculptées.

Les guerres continuent de faire leurs ravages, mais elles sont plus mobiles, il faut donc construire rapidement des fortifications. Les systèmes de levage doivent être plus précis et légers et demandent moins de main d'œuvre.

Les premiers ingénieurs (les ingénieurs, ou concepteurs d'engins) allèrent s'efforcer de concevoir des systèmes mécaniques utilisant les découvertes de l'antiquité qu'ils améliorèrent. Les documents techniques sur ce matériel de construction sont assez tardifs ; la plus ancienne remonte au XV^e siècle, c'est le *Bellifortis* (1405) de Konrad Kyeser, qui décrit des machines de levage et de guerre. Des dessins de grues pivotantes apparaissent dans le *De Machinis libris decem* (vers 1440) de l'ingénieur militaire Mariano Taccola. La plupart de ces inventeurs sont des ingénieurs militaires, leurs engins servent essentiellement à la construction de fortifications.

Léonard de Vinci inventa une grue rotative conçue pour le curage des fossés de fortifications, ainsi qu'une grue pivotante sur chariot et un portique composé à ses deux extrémités de grues rotatives couvrant chacune une moitié du portique. Brunelleschi construit la cathédrale de Florence Santa Maria del Fiore dans la seconde moitié du XV^e siècle, à l'aide d'une grue d'environ 20 m de haut, s'orientant sur 360 degrés grâce à une tourelle pivotante. La charge et le contrepoids glissaient de manière synchrone en sens inverse le long d'une flèche munie d'une vis sans fin.

I.1.4 Du siècle des révolutions à nos jours

La force motrice et l'utilisation du bois pour la structure des grues, inchangées depuis l'Antiquité, sont remplacées à partir de 1800 en Angleterre par la force de la vapeur, qui actionne les systèmes de levage, et par la fonte. En 1846, la force hydraulique de l'eau sous pression, puis de l'huile, fera son apparition dans le maniement des grues.

Dans le dernier quart du XIXe siècle, avec l'expansion coloniale, ils avaient de nouveaux ports ; les grues Titan ou grues Goliath se mettent à l'œuvre. Elles évoluent sur voie ferrée et pèsent à la fin du siècle près de 500 t. Elles permettent d'immerger des blocs de plus de 100 t à plus de 7 m.

En 1880, pour la première fois un moteur électrique actionne une grue. L'installation d'une grue sur un camion, son énergie fournie par un moteur à essence ou diesel sont acquises après 1920. C'est vers le début du XXe siècle qu'apparaissent les grues à tour auxquelles nous sommes habituées. Elles sont actionnées par des moteurs électriques, d'un bâti métallique avec structure en treillis et d'un chemin de grue. Elles se développeront rapidement après la Seconde Guerre mondiale et participeront à la reconstruction d'une Europe en ruines.

Les flèches télescopiques, actionnées par vérins hydrauliques, apparaissent vers 1960. L'électronique est peu à peu intégrée dans les commandes du grutier. Les performances de ces engins de levage sont assez impressionnantes : pour les grues statiques, les charges soulevées dépassent les 1 000 tonnes, les grues flottantes soulèvent plus de 5 000 tonnes. L'évolution des grues ne s'envisage pas dans leur forme mais plus dans leur pilotage guidé probablement par ordinateur dans le début de ce troisième millénaire, avec peut-être l'aide de satellites de géodésie et de topographie.

I.2 Définition

Venant du mot main, la manutention consiste à soulever, à déplacer ou à transporter une charge plus ou moins lourde par ses propres moyens, sans aucune aide extérieure. Cette action nécessite alors un effort physique. C'est surtout dans les usines, les magasins de stockage et les entrepôts qu'on a besoin de manutention, un travail qui ne requiert pas d'aptitudes particulières, à part d'être en bonne condition physique. Les personnes qui font le métier de manutention sont appelées manutentionnaires ou manœuvres. Aujourd'hui, les manutentionnaires sont aidés dans

leur travail par des engins qui leur facilitent grandement la tâche, et ces engins sont inclus dans la manutention. Ces appareils de manutention sont vraiment d'une grande aide, car les problèmes de dos, qui généralement affectent les manutentionnaires sont évités et le travail fourni devient plus rentable. [2]



Figure I.1 : Atelier mécanique.

I.3 Quelques domaines qui nécessitent de la manutention

Le travail de manutention est surtout constaté dans le transport des marchandises. En effet, chargement et déchargement des camions nécessitent l'emploi de manœuvres. De même pour le stockage et l'entreposage des marchandises. Mais la manutention n'est pas uniquement réservée à ces domaines. En effet, les usines de production nécessitent aussi l'emploi de manutentionnaires pour déplacer, stocker ou livrer les produits finis. Il en est de même pour l'agriculture où les récoltes doivent être transportées pour être emmagasinées. Les manutentionnaires utilisent alors des appareils de manutention pour les aider dans leurs tâches, à l'exemple des transpalettes, pour les déplacements au niveau du sol. On a aussi les gerbeurs, qui sont des chariots de manutention élévateurs permettant de déplacer les charges et de les entreposer en hauteur. Ces appareils peuvent être soit manuels, soit électriques et le choix se fait selon l'utilisation. [2]

I.4 Types de la manutention [3]

I.4.1 La manutention manuelle

Elle désigne toute opération de transport ou de soutien d'une charge dont le levage, la pose, la poussée, la traction, le port ou le déplacement exigent l'effort physique d'une ou de plusieurs personnes.

I.4.2 La manutention mécanique

La manutention mécanique permet d'éviter les risques propres à la manutention manuelle. Elle fait appel à l'utilisation d'appareils de levage et de transport : palans, poulies, transpalettes, chariots, etc.

I.5 Les éléments à considérer lors du choix de l'équipement de la manutention [6]

Lors du choix de l'équipement de manutention, il faut tenir compte de trois points fondamentaux :

- 1) Le choix de l'équipement approprié.
- 2) La quantité et la qualité de l'équipement.
- 3) L'inspection et l'entretien préventif de l'équipement.

I.5.1 Le choix de l'équipement approprié

Le choix de l'équipement approprié devrait tenir compte des éléments suivants :

- Le type de déplacement à effectuer (parcours en ligne droite ou sur un même niveau, virages à 90°, espaces restreints, etc.).
- L'espace disponible.
- La fréquence des déplacements.
- Les types de contenus transportés.
- La répétition des gestes à poser avec une charge.
- La qualité des surfaces de roulement (dénivellation, pentes, irrégularités, etc.).
- La compatibilité de la hauteur des surfaces de travail (chariots, comptoirs, etc.).

- La taille variable du personnel.
- La charge maximale d'utilisation (celle-ci doit être inscrite clairement et respectée en tout temps sur tous les équipements de manutention de charge).

I.5.2 La quantité et la qualité de l'équipement

Pour encourager l'utilisation d'un équipement de manutention, il faut nécessairement qu'il soit disponible en nombre suffisant. Cet équipement doit aussi être entreposé dans un endroit facile d'accès et à proximité des lieux du travail. Il est reconnu que le personnel procédera à un déplacement manuel, même s'il est risqué, si l'effort pour recourir à l'utilisation d'un équipement s'avère trop considérable.

I.5.3 L'inspection et l'entretien préventif de l'équipement

La majorité des fabricants indiquent les mesures d'entretien préventif de leur équipement. Il est recommandé :

- De procéder à une inspection régulière de l'équipement selon les recommandations du fabricant.
- De consigner ces inspections par écrit.
- D'établir un système d'entretien préventif.

I.6 Matériels de la manutention

La manutention de charges est facilitée par de nombreux engins et appareils tels que les transpalettes, les portiques, les patins rouleurs etc. Ces appareils doivent être adaptés aux charges à manutentionner.

I.6.1 Chariot élévateur

Un chariot élévateur est un appareil de levage et de manutention destiné au transfert de charges dans les usines ou les entrepôts de stockage. Il sert principalement au transport de produits finis depuis les chaînes de fabrications vers les lieux de stockage, au chargement et au déchargement de camions, wagons, navires et autres moyens de transport, bien que sa souplesse d'utilisation rende d'autres usages possibles. [6]



Figure I.2 : Un Chariot élévateur.

I.6.2 Les convoyeurs

Le plus souvent utilisés dans les chaînes de montage et les plates-formes de traitement du fret, ces dispositifs permettent un déplacement automatique des marchandises d'un point à un autre, sans qu'il y ait besoin de mobiliser une personne. [6]



Figure I.3 : Un convoyeur.

I.6.3 Ponts roulants

Un pont roulant est un appareil de manutention permettant le levage et le transfert de charges lourdes qui se déplace sur des chemins de roulement parallèle (grâce à des rails) et dont la charge est suspendue par un mécanisme de levage (palan), il possède une capacité maximale qui lui est propre et celle-ci doit être bien vue sur l'appareil. Types de pont roulant :

- Ponts roulants posés.
- Ponts roulants suspendus.
- Pont roulant portique et semi portique. [6]



Figure I.4: Un pont roulant posé.



Figure I.5 : Un pont roulant suspendu.



Figure I.6 : Un pont roulant portique et semi-portique.

I.6.4 Les portiques

Ce sont des supports verticaux reliés à leur sommet par des éléments horizontaux sur lesquels on agrippe des palans ou des treuils. Sur les quais on retrouve des portiques coulissants sur des rails, des portiques sur roues et des portiques fixes. Ils servent aux opérations de chargement/déchargement. [6]



Figure I.7 : Un portique.

I.6.5 Les grues

Une grue est un appareil de levage et de manutention réservé aux lourdes charges. Cet engin de levage est construit de manière différente selon son utilisation (à terre : grue de chantier, camion-grue ; à bord d'un navire ; d'un dock flottant, etc.). Chaque grue a une charte qui définit clairement sa capacité de levage en rapport avec le rayon et l'angle de la flèche.

Types de grues : grue à tour- grue mobile – grue de chargement.

Il existe deux catégories de machines :

- GMA : grue à montage automatisé. La rotation s'effectue à la base.
- GME : grue à montage par éléments. La rotation s'effectue en partie haute. [6]



Figure I.8 : Grue à montage automatisé.



Figure I.9 : Grue à montage par éléments.

I.6.6 Plateau roulant

Cet équipement remplit les mêmes fonctions de manutention que les chariots manuels. Certains sont construits sur mesure et adaptés à une catégorie spécifique de colis (fûts, caisses normalisées ...). [6]



Figure I.10: Un plateau roulant.

I.6.7 Treuil

Appareil constitué d'un tambour ou d'un touret entraîné par un moteur ou une manivelle et sur lequel s'enroule le câble de levage ou de traction. [6]



Figure I.11: Un treuil.

I.6.8 Transpalette

Un transpalette est un équipement de manutention muni de deux fourches permettant le levage et le déplacement de palettes sur de courtes distances. La manutention de matériel palettisé se fait grâce au timon central qui est actionné manuellement ou électriquement. [5]



Figure I.12: Un transpalette.

I.6.9 Gerbeurs

Les gerbeurs sont utilisés pour transporter des charges en hauteur afin de charger ou décharger un entrepôt, par exemple. Les fourches des gerbeurs permettent de soulever facilement des palettes chargées. [5]



Figure I.13: Un Gerbeur.

I.6.10 Grues d'atelier

Les grues d'atelier sont de petites grues mobiles utilisées pour lever et manipuler de petites charges dans un atelier. Les garagistes s'en servent pour extraire le moteur d'une voiture, par exemple. [5]



Figure I.14: Une grue d'atelier.

I.6.11 Tables élévatrices

Les tables élévatrices permettent la manutention et la mise à niveau de charges lourdes (150 à 4000kg) dans l'industrie. Ces appareils sont une solution ergonomique pour tous vos travaux de manutention dans des endroits étroits. [5]



Figure I.15: Une table élévatrice.

I.6.12 Crics

Un cric est un appareil destiné à soulever ou déplacer légèrement une charge. Les crics sont utilisés aussi bien dans le domaine professionnel que privé. Il existe plusieurs types de crics : les crics à crémaillère, les crics hydrauliques, les crics à sabot... [5]



Figure I.16: Cric à crémaillère, cric hydraulique et Cric à sabot.

I.7 Les accessoires d'accrochage [5]

Composants ou équipements non liés à la machine et placés entre la machine et la charge ou sur la charge pour permettre la préhension de cette dernière. Les élingues et les équipements amovibles (manilles, anneaux de levage, pince...) de prise de charge sont des accessoires de levage.

I.7.1 Les élingues

Ce sont des accessoires de levage souple, en câble métallique, en chaîne, en cordage ou sangle, situé entre la charge à lever et un appareil de levage (grue, palan par exemple) ; l'élingage regroupant toutes les opérations de mise en œuvre de ce dispositif de liaison. Généralement terminée par des composants métalliques (accessoires d'élingage) tels que crochets, anneaux, maillons, manilles, devant être conformes à la charge de l'élingue (capacité).



Figure I.17: Exemple d'élingues.

I.7.2 Les sangles d'arrimage

Munies d'un tendeur, elles servent à fixer et immobiliser des charges sur les véhicules ou les zones de stockage.



Figure I.18: Exemple de Sangle d'arrimage.

I.7.3 Les crochets

Le crochet est généralement en acier d'une certaine nuance, recourbé, à simple bec. Certains crochets sont attachés au dispositif de levage par une tige filetée avec écrou, une chape, un œil ou par un émerillon. Les crochets de levage travaillent en porte-à-faux, contrairement aux anneaux et manilles.



Figure I.19: Exemple d'un crochet.

I.7.4 Les palonniers

Les palonniers sont utilisés pour lever de longues charges afin d'empêcher le basculement ou le glissement de la charge hors des élingues et de maintenir des angles sécuritaires d'élingage (600 et plus). La capacité de levage doit être indiquée sur le palonnier.



Figure I.20: Un palonnier.

I.7.5 Les manilles

Les manilles sont utilisées pour relier deux tronçons de chaîne ou pour fixer les élingues à la charge. Il en existe différents types.



Figure I.21: Exemple d'une manille.

I.7.6 Les pinces

Il en existe diverses variantes en fonction de la forme du colis à lever (cylindre, plateau, fagot...). Ces instruments de levage sont généralement composés de deux branches qui saisissent et serrent le colis.



Figure I.22: Exemple de pince.

I.7.7 Les ventouses

Les ventouses sont des accessoires de levage à vide généralement utilisées pour lever des feuilles et des plaques de métal. Elles assurent une bonne protection du revêtement des matériaux et possèdent des dispositifs de sécurité.



Figure I.23: Exemple d'une ventouse.

I.8 Les risques liés à la manutention [8]

C'est la première cause des accidents de travail (hors trajets) enregistrés par la Sécurité Sociale. Les manutentions sont à l'origine d'un tiers environ des accidents déclarés dans les entreprises. Les dangers sont liés à la nature des charges, au nombre excessif de manipulation et au mouvement : torsion, déplacement, soulèvement.

Presque toutes les entreprises sont concernées par les manutentions mais les accidents du travail sont particulièrement fréquents dans certains secteurs industriels (Exemples : BTP, entreprises de logistique...) mais aussi tertiaires (Exemples : poste d'encaissement et opérations de mise en rayon dans les Grandes Surfaces de Distribution, levage des malades dans les établissements de soins...).

Non seulement les risques d'accidents de travail concernent le dos (Lombosciatiques) mais aussi les membres inférieurs (entorses ...) ou les extrémités (coincement des doigts...) et le vieillissement progressif des structures ostéo articulaires qui peut aboutir à une inaptitude professionnelle, ce qui, de par leur fréquence et leur impact, tant médical que socioprofessionnel, constitue un problème majeur de santé au travail.

L'augmentation des accidents et maladies liés aux manutentions s'explique par :

- Le développement général de l'activité des plateformes logistiques.
- La taille de beaucoup d'entreprises qui ne permet pas une mécanisation voire une robotisation suffisante du stockage et de la manutention.

I.8.1 La manutention manuelle

La manutention manuelle est à l'origine de fréquents accidents du dos souvent dus à des postures incorrectes. Elle peut engendrer, tout comme la manutention mécanique, des contusions, des écrasements, des chutes. De plus, les surfaces anguleuses ou rugueuses, les chutes d'objets et les objets projetés sont parmi les principales causes de blessures, de lacérations ou de contusions pendant le travail de manutention manuelle. Le travailleur peut également subir ces blessures s'il tombe ou s'il entre en collision avec des objets. C'est pourquoi il est important d'être vigilant sur l'environnement, l'état du sol et encombrement du local.

Dans la mesure du possible, il faut éviter le recours à la manutention manuelle des charges, en utilisant notamment des équipements mécaniques.

Cependant, lorsque la manutention manuelle ne peut être évitée, des moyens légers doivent être mis à la disposition des travailleurs de façon à limiter l'effort physique (palonniers, treuils, ou à défaut des accessoires de préhension tels que crics, vérins, crochets...) et à diminuer les risques afin de rendre la tâche plus sûre et moins pénible.

Même pour un déplacement ponctuel, il faut privilégier l'aide d'engins auxiliaires légers de manutention car il y a une exposition beaucoup plus importante aux risques lors des opérations de manutentions manuelles.

I.8.2 La manutention mécanique

La manutention mécanique fait appel à l'utilisation d'engins de levage tels que grues, chariot élévateur automoteur, pont roulant

Les moyens de manutention mécaniques permettent de réduire les activités pénibles de manutention manuelle, d'accélérer les flux de marchandises et d'améliorer les performances logistiques. Mais les opérations que les caristes effectuent ne sont pas sans risques pour eux-mêmes et pour leurs compagnons de travail.

Il faut toujours veiller à ce que les équipements utilisés soient conformes aux normes en vigueur, contrôlés périodiquement, et adaptés à la charge qu'ils doivent soulever.

Les personnels chargés de cette manipulation devront avoir été formés au maniement des matériels de levage (telles qu'Habilitation cariste, par exemple) et avoir subi, dans certains cas, une visite médicale d'aptitude.

Le port d'équipements de protection individuelle (casques, gants, chaussures de sécurité, lunettes...) est obligatoire et un repérage préalable des lieux est nécessaire afin d'éviter tout déplacement inutile ou tout obstacle à l'opération. Les appareils de levage et manutention présents dans l'atelier ou sur le chantier (grue, pelle, chariot...) sont utilisables dans les limites prévues par le constructeur et par le CACES.

I.8.3 Evaluation du risque [3]

Evaluation des risques nécessite la prise en compte de différents facteurs :

I.8.3.1 Pour la manutention manuelle

- Les caractéristiques de la charge : poids, volume, forme (arêtes vives, dissymétrie).
- L'environnement : état du sol, dénivelé, encombrement, éclairage, ambiance (température, bruit...).
- Les facteurs humains : manque de personnel, mauvaise posture, formation insuffisante.

- Le port de protections individuelles.
- L'organisation du travail : gestes répétitifs, cadences élevées, absence de pause, distance à parcourir.

I.8.3.2 Pour la manutention mécanique

- Les caractéristiques de la charge.
- Le mode de fixation de la charge : arrimage absent ou insuffisant, charge mal répartie.
- Les moyens de manutention : mauvaise utilisation, entretien et vérifications insuffisants, utilisation d'engins inadaptés.
- Le port de protections individuelles.
- Les facteurs humains : information et formation insuffisantes.
- L'environnement : état du sol, encombrement, éclairage, ambiance...

Elle pourra éviter la survenue d'accidents tels que :

- Les chutes de charges.
- Les heurts,
- Les coincements,
- Les lombalgies ou dorsalgies...

Chapitre 02

Analyse du problème et résolution

II. Analyse du problème et résolution

II.1 Introduction

Dans cette partie on va aborder la démarche de l'analyse fonctionnelle, puis nous allons enchaîner avec l'application de cette démarche pour notre mécanisme et nous terminerons par l'élaboration d'un cahier des charges fonctionnel qui va nous aider à trouver des concepts optimaux.



Figure II.1: Les étapes de l'analyse du problème.

II.2 Exposition du problème

Lors de la maintenance des différentes machines (tours, fraiseuses, perceuses... etc.) sur l'atelier de notre université, les employeurs ont trouvé des difficultés de levage, déplacement et manipulation de quelques composants de ces machines (exemple : le trainard du tour).

Parmi les difficultés rencontrées :

- Le stress et les grands efforts des travailleurs.
- Une perte de temps.
- Une grande probabilité des accidents.

II.3 Analyse fonctionnelle (AF)

L'analyse fonctionnelle (AF) est une démarche qui consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un produit placé dans un système pour satisfaire les besoins de son utilisateur. Elle permet de structurer la réflexion qu'a le concepteur d'un produit, en partant du besoin auquel il répond jusqu'aux solutions technologiques adoptées.

La norme NF X 50-151, définit l'analyse fonctionnelle comme étant une démarche qui décrit complètement les fonctions et leurs relations, qui sont systématiquement caractérisées, classées et évaluées. [12]

II.3.1 Les outils de l'analyse fonctionnelle

Il existe de nombreux outils classiques destinés à aider le concepteur dans la définition de la fonction et plus généralement dans l'analyse fonctionnelle.

Parmi les outils pour les concepteurs, les plus utilisés sont :

- La **bête à cornes** : aide à la recherche d'un besoin.
- Le **diagramme pieuvre** : permet de définir les liens (les fonctions de service) entre le système et son environnement.
- Le **diagramme FAST** : aide à trouver des solutions techniques pour les différentes fonctions.
- Le **diagramme SADT** : c'est une approche système d'un produit complexe.
- Le **cahier des charges** : permet de lister et de décrire les fonctions (principale, complémentaires et contraintes) du produit. [9]

II.3.2 La méthode APTE

La **méthode APTE** (APplication aux Techniques d'Entreprise) est une méthode rationnelle d'optimisation d'un produit (ou d'un procédé, ou d'un processus).

En partant de l'expression d'un besoin ressenti et sans considérer à priori les solutions, elle permet d'évaluer l'ensemble des contraintes (techniques, économiques, culturelles...) qui

affectent le produit. Elle constitue la première phase de conception débouchant sur l'édition du cahier des charges fonctionnelles. [9]

II.3.3 Etapes de l'analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle est une démarche en deux temps :

✓ L'analyse externe (du besoin) est orientée vers le client (définition du "quoi" via les fonctions).

✓ L'analyse interne est dirigée vers la satisfaction des fonctions (recherche des "comment").

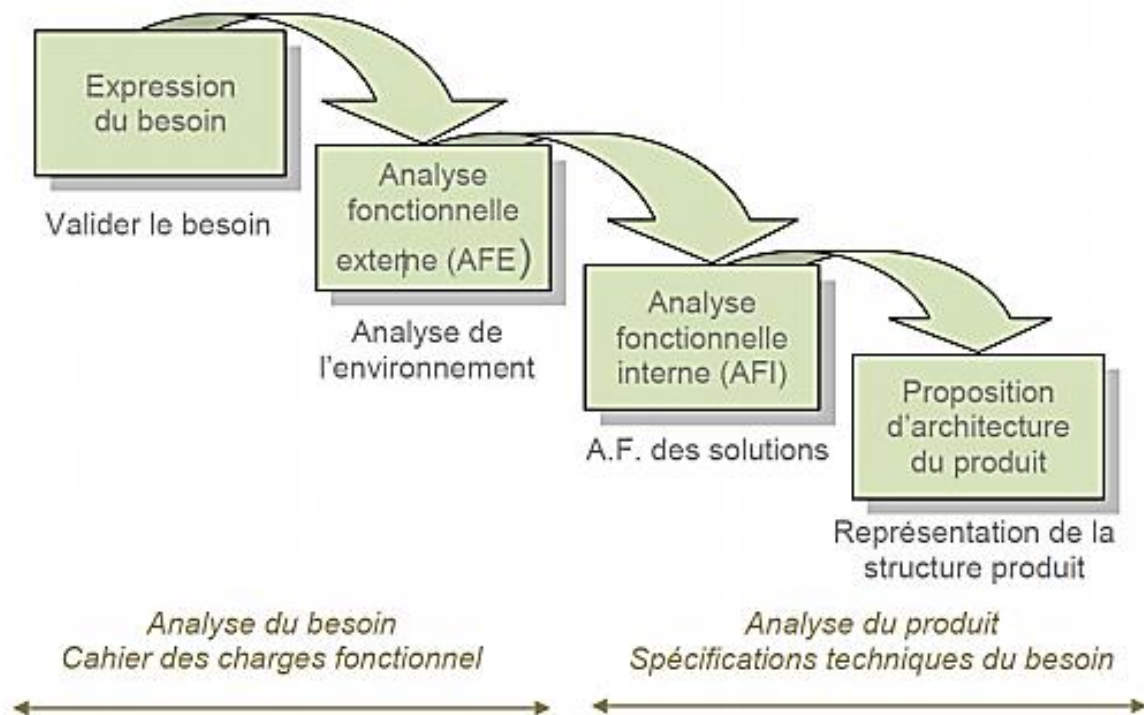


Figure II.2: Panorama de l'analyse fonctionnelle. [12]

II.3.3.1 Analyse fonctionnelle externe (AFE) ou l'analyse du besoin

La norme NF X 50-151 définit l'AFB comme étant la partie de l'analyse fonctionnelle qui décrit le besoin auquel devra répondre le produit sous forme de fonctions de service et contraintes.

Elle concerne l'expression fonctionnelle du besoin tel qu'exprimé par le client-utilisateur du produit : il s'agit de mettre en évidence les fonctions de service ou d'estime du produit étudié. Le produit est considéré comme une « boîte noire » et ne fait pas partie de l'analyse. Par contre les fonctions qui sont produites par cette « boîte noire » doivent être minutieusement étudiées : il s'agit d'en faire l'inventaire, de les décrire et de les évaluer.

L'objectif de cette étape est d'effectuer une recension exhaustive des fonctions que doit remplir l'artefact, qu'il s'agisse d'un produit, d'un service ou d'un système. [12]

II.3.3.1.1 Analyse du besoin

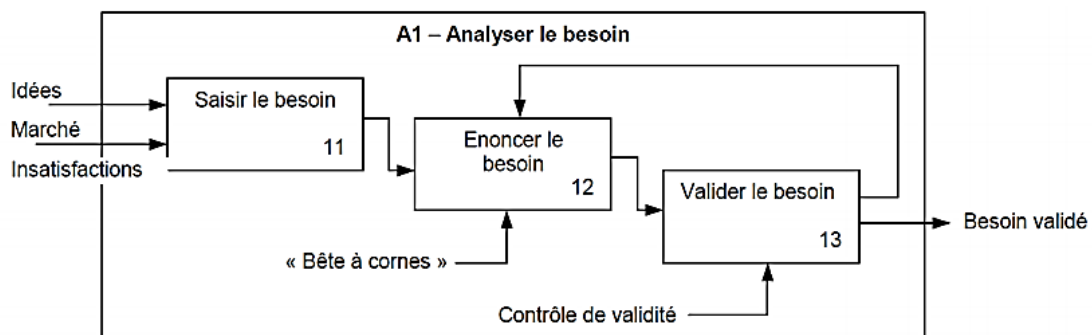


Figure II.3: Diagramme d'analyse du besoin. [12]

II.3.3.1.1.1 Enoncement du besoin

L'expression du besoin est l'analyse explicite de ce que doit recevoir le contexte des besoins (l'ensemble des milieux extérieurs) pour être satisfait du produit, système ou service. C'est la référence qui permettra de garantir la qualité du produit, système, service et de les valider. [12]

L'outil utilisé pour cela est « la bête à cornes » (diagramme APTE).

▪ **Bête à cornes :**

Pour remplir le diagramme « bête à cornes », il faut répondre aux questions suivantes (par rapport au produit) :

- A qui le produit rend-il service ? Pour identifier les utilisateurs du produit étudié.
- Sur qui/quoi le produit agit-il ? : Pour identifier ses domaines d'action.
- Dans quel but ? : Pour formuler le but que doit satisfaire le produit. [9]

On obtient ainsi le diagramme suivant :

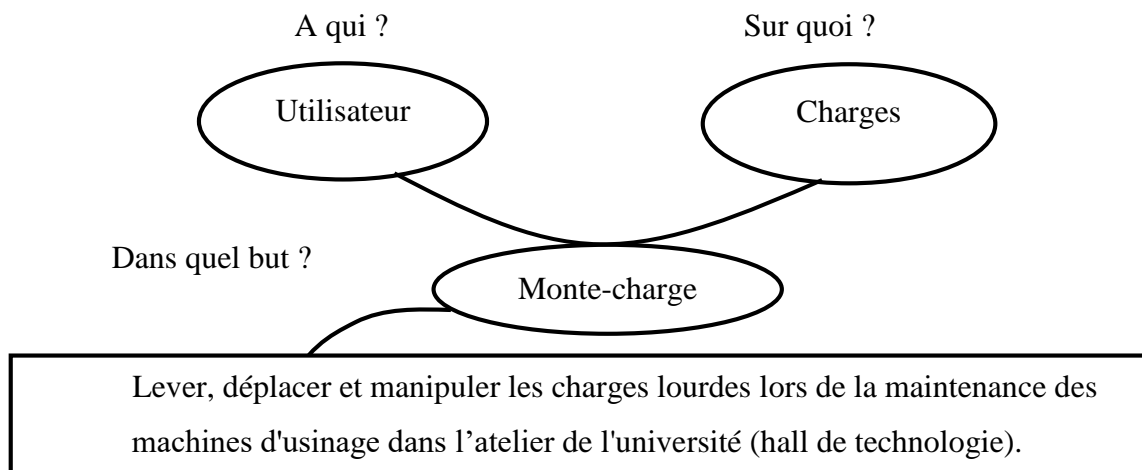


Figure II.4: Bête à cornes du monte-charge.

II.3.3.1.1.2 Validation du besoin

La validation du besoin consiste à se poser les trois questions suivantes :

Pourquoi le besoin existe-t-il ? (Raison) :

Parce que c'est fatigant et difficile de lever et déplacer les différentes pièces lourdes des machines d'usinage lors de la maintenance.

Pourquoi le besoin existe-t-il ? (But) :

Pour faciliter le levage et le déplacement des charges lourdes dans l'atelier de l'université.

Qu'est-ce qui pourrait faire évoluer ou disparaître ce besoin ? :

Le monte-charge est nécessaire pour lever et déplacer les charges lourdes, et sans eu ça sera difficile et nécessite un effort énorme, une perte de temps et ça peut impliquer aussi des dommages (chute, blessure...).

II.3.3.1.2 Etude de la faisabilité

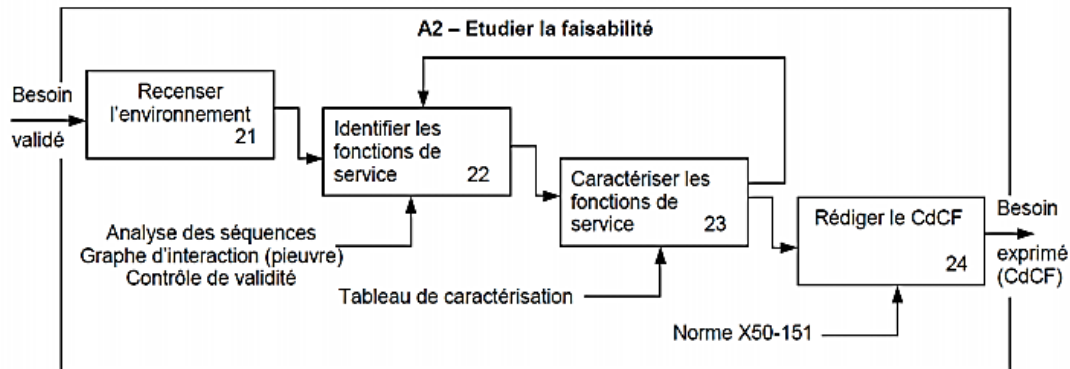


Figure II.5: Diagramme d'étude de la faisabilité. [12]

II.3.3.1.2.1 Diagramme de Pieuvre

C'est une démarche qui consiste à faire figurer sur un graphique circulaire appelé aussi diagramme de pieuvre les éléments de l'environnement du produit, cet outil nous permet de déterminer les différentes fonctions des services (fonctions principales FP, fonctions contraintes FC).

Fonctions principales (FP) : c'est pourquoi le produit existe. Une fonction principale relie toujours deux composantes en passant par le produit ;

Fonctions contraintes (FC) : ce qui permet d'adapter le produit à son environnement immédiat. Une fonction complémentaire ne relie le produit qu'à une composante à la fois.

Inventaire systématique du milieu environnant :

- **Milieu physique :**
 - Milieu ambiant (vent, humidité, eau, chaleur, froid, luminosité, poussière, sève).
 - Cep de vigne (forme, dimensions).
- **Milieu technique :** Énergie électrique (autonomie, recharge).

- **Milieu humain** : Opérateur (ergonomie, esthétique, poids, bruit, sécurité).
- **Milieu économique** : Critères de qualité (maintenance, coût). [9]
- **Démarche** :

En prenant notre cas du monte-charge :

1-On isole le produit

2-On recherche et on place les éléments du milieu extérieur en relation avec le produit

3-On recherche et on place les fonctions de service principales, complémentaires ou contraintes. [9]

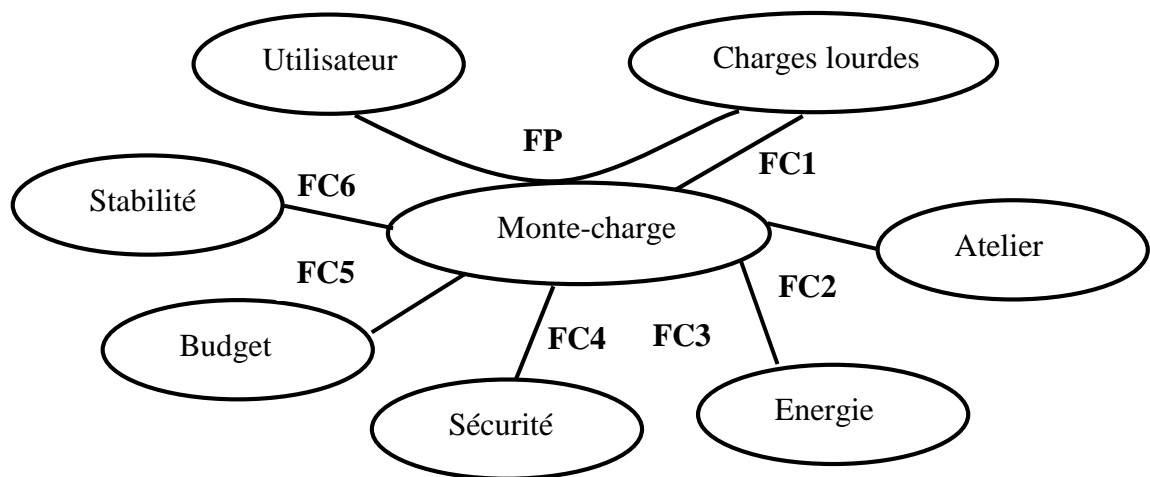


Figure II.6: Diagramme pieuvre du monte-charge.

- **Formulation des fonctions**

FP : Lever et déplacer les charges lourdes.

FC1 : Doit retenir le maximum des charges.

FC2 : Doit être placé dans l'atelier d'université.

FC3 : Doit fournir un minimum d'effort par l'utilisateur.

FC4 : Avoir toutes les mesures de sécurité.

FC5 : Avoir un budget raisonnable.

FC6 : Etre stable.

II.3.3.1.3 Cahier des charges fonctionnel (CdCF)

La norme NF X 50-151 définit le cahier des charges fonctionnel (CdCF) comme étant : le document par lequel un demandeur exprime un besoin en termes de fonctions de service et de contraintes. Pour chacune d'elles est défini le critère d'appréciation avec son niveau, chacun de ces critères étant assorti d'une flexibilité.

Le CdCF permet donc par une approche systémique d'appréhender la complexité du projet, pour ensuite apporter la rigueur de construction de la solution par une approche analytique. [12]

- **Critère** : caractère retenu pour apprécier la manière dont une fonction est remplie ou une contrainte respectée.
- **Niveau** : grandeur repérée dans une échelle adoptée pour le critère considéré.

Repères	Fonctions	Critères	Niveaux
FP	Lever et déplacer les charges lourdes.	Hauteur Position	2.5m Mobile
FC1	Doit retenir le maximum de charge.	Charges	Capable du levage du trainard du tour 250kg.
FC2	Doit être placé dans l'atelier d'université.	Dimensions	Avoir un volume approprié pour éviter l'encombrement.
FC3	Doit fournir un minimum d'effort par l'utilisateur.	La capacité	Possibilité d'utilisation par une seule personne.
FC4	Avoir toutes les mesures de sécurité.	Sécurité	Respecter les conditions d'utilisation.
FC5	Avoir un budget raisonnable.	Le cout	Comparable à la concurrence .
FC6	Etre stable.	La stabilité	Etre stable.

Tableau 1: CdCF du monte-charge.

II.3.3.2 Analyse fonctionnelle interne (AFI) ou analyse fonctionnelle technique

La norme NF X 50-151 définit l'AFI comme étant la partie de l'analyse fonctionnelle qui contribue à étudier et à formaliser l'architecture du produit en identifiant les fonctions techniques des sous-ensembles ou composants.

L'AFI concerne le produit lui-même, car l'objectif est d'améliorer son fonctionnement ou ses propriétés, de réduire son prix d'achat, son coût d'utilisation et son coût d'entretien. Il s'agit de comprendre l'intérieur de la boîte noire pour en comprendre l'architecture, la combinaison des constituants et les fonctions techniques. [12]

L'objectif de l'analyse fonctionnelle interne d'un produit est d'observer une solution existante ou imaginée pour :

- Analyser son organisation (fonctions techniques).
- Observer la réponse aux exigences du CdCf.
- Distinguer ce qui participe directement à la réalisation des services (chaînes fonctionnelles – états). [9]

Plusieurs outils existent pour décrire le point de vue du concepteur afin de faire comprendre le système du point de vue mainteneur, On a choisi la méthode FAST.

II.3.3.2.1 La méthode FAST

Le diagramme FAST (Functional Analysis System Technique) imaginé par Charles W. Bitheway représente l'arbre fonctionnel des fonctions de service et fonctions techniques. Il permet de traduire chacune des **fonctions de service** en **fonction(s) technique(s)**, puis matériellement en **solution(s) constructive(s)**.

- **Les fonctions de service** : constituent une relation entre le système et le milieu extérieur.

Il faut souvent plusieurs fonctions de service pour répondre à un besoin.

- **Les fonctions techniques** : sont internes au produit, elles sont choisies par le constructeur dans le cadre d'une solution, pour assurer une fonction de service.

La méthode s'appuie sur une technique interrogative. En partant d'une fonction principale, elle présente les fonctions dans un enchaînement logique en répondant aux trois questions :

- ❖ **Pourquoi ?** pourquoi une fonction doit-elle être assurée ?
- ❖ **Comment ?** comment cette fonction doit-elle être assurée ?
- ❖ **Quand ?** Quand cette fonction doit-elle être assurée ? [9]

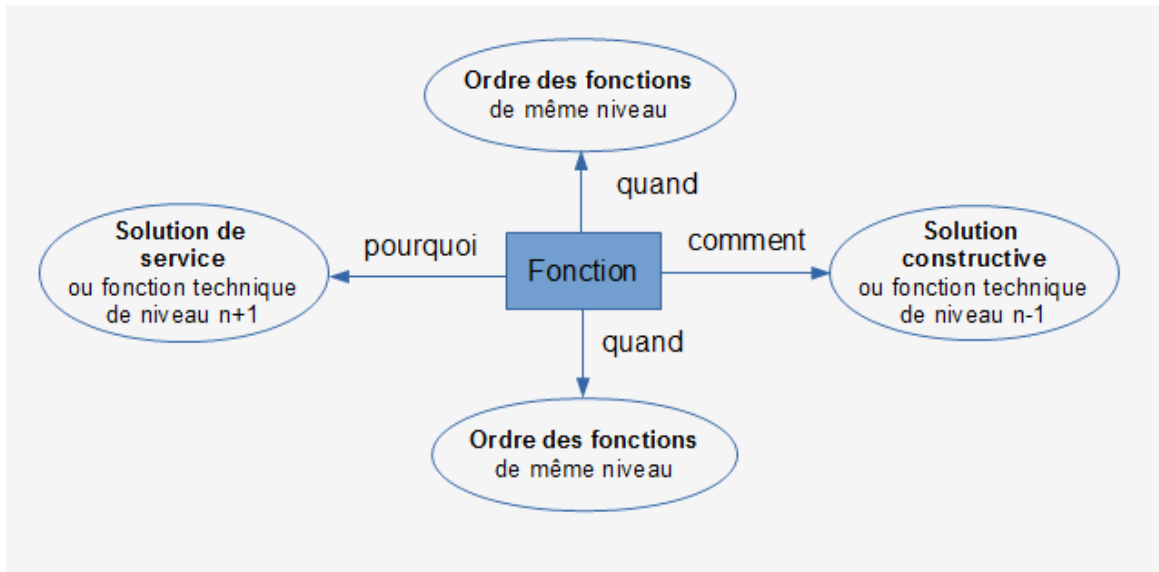


Figure II.7: Diagramme FAST.

▪ **Application de diagramme FAST sur le monte-charge :**

On a utilisé la méthode FAST pour choisir des solutions pour construire finalement le produit.

En appliquant cette méthode on a trouvé le diagramme suivant :

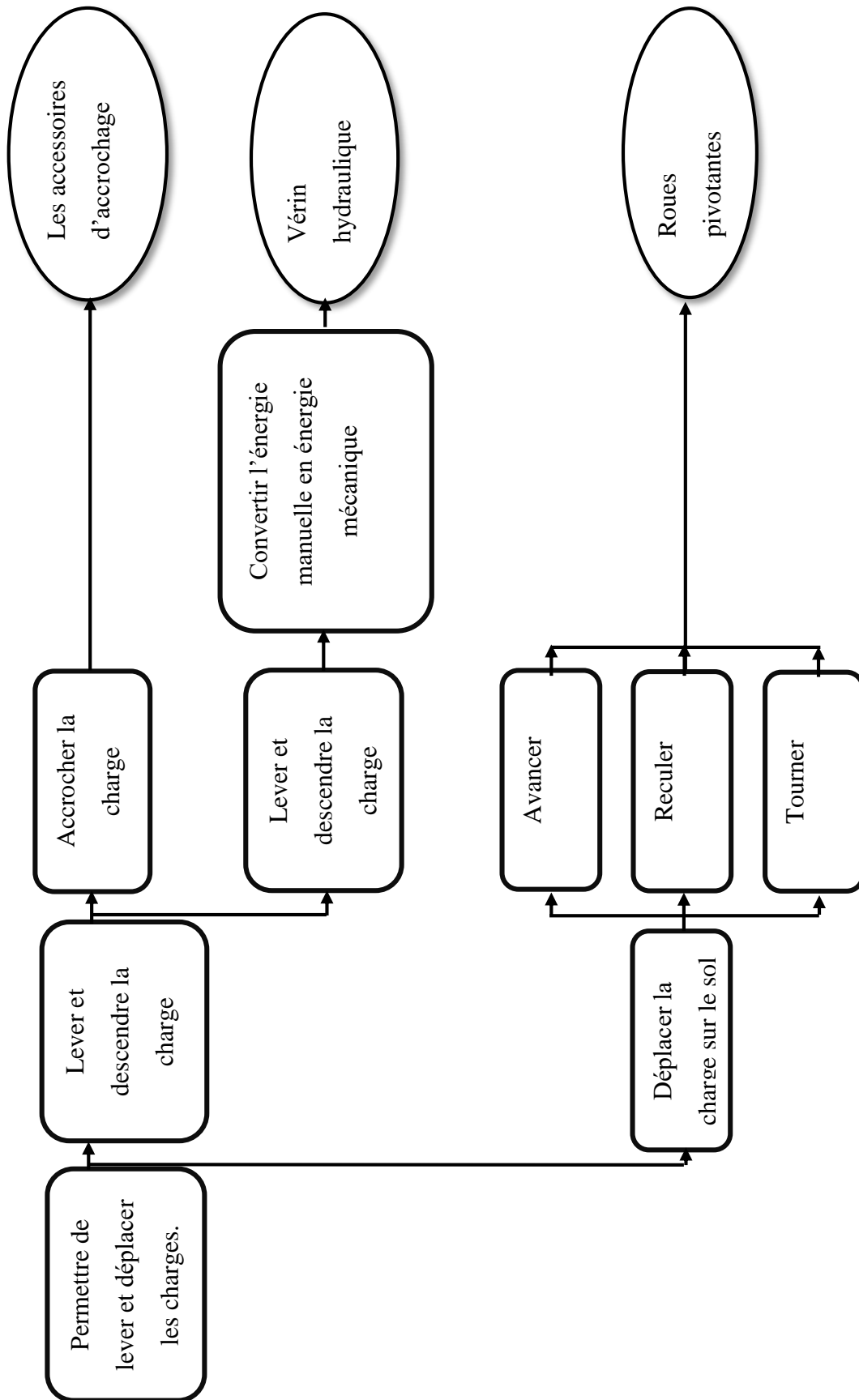


Figure II.8: Diagramme FAST du monte-charge.

II.4 Recherche de la solution optimale

II.4.1 La solution optimale

La recherche de la solution optimale est basée sur le cahier des charges fonctionnel, et la recherche qu'on a fait sur le premier chapitre sur les types, les différents appareils et les engins de manutention.

Pour cela, il existe un outil simple, muni d'un bras télescopique et qui permet de réaliser des opérations de levage en toute sécurité : la grue d'atelier ! (Figure II.8)

Les grues d'ateliers (appelées également chèvres d'atelier) sont pliables et particulièrement faciles à transporter, même dans des endroits exigus. Elles possèdent un système de sécurité de surcharge et elles sont réglables en 3 et 4 points. Ces appareils de manutention ont une construction solide et peuvent supporter une charge allant jusqu'à 2 tonnes. [7]

II.4.2 Caractéristiques importantes

Les caractéristiques importantes à prendre en compte sur une grue d'atelier sont :

- Charge maximale autorisée
- Hauteur maximale de levage
- Caractéristiques de la flèche
- Type de châssis
- Options [7]

II.4.3 Fonctionnement et utilité

Egalement appelée « chèvre », la grue d'atelier est d'une conception relativement simple semblable à un cric hydraulique. Une grue d'atelier se compose d'un châssis, équipé de roues ou d'un socle d'amarrage et supporte un bras vertical fixe. Sur ce bras est fixée la partie qui se nomme « flèche » par une liaison pivot. C'est au bout de la flèche que l'on vient accrocher notre charge. Pour y parvenir, un vérin hydraulique, actionné manuellement par une barre ou au pied

par une pédale, relie le bras vertical à la flèche. Lorsque on actionne la commande du vérin, la flèche monte, et lorsqu'on libère la pression, la flèche redescend.

Certaines grues d'atelier proposent des options supplémentaires comme un treuil additionnel, une flèche télescopique, des pieds pliables, etc. [7]

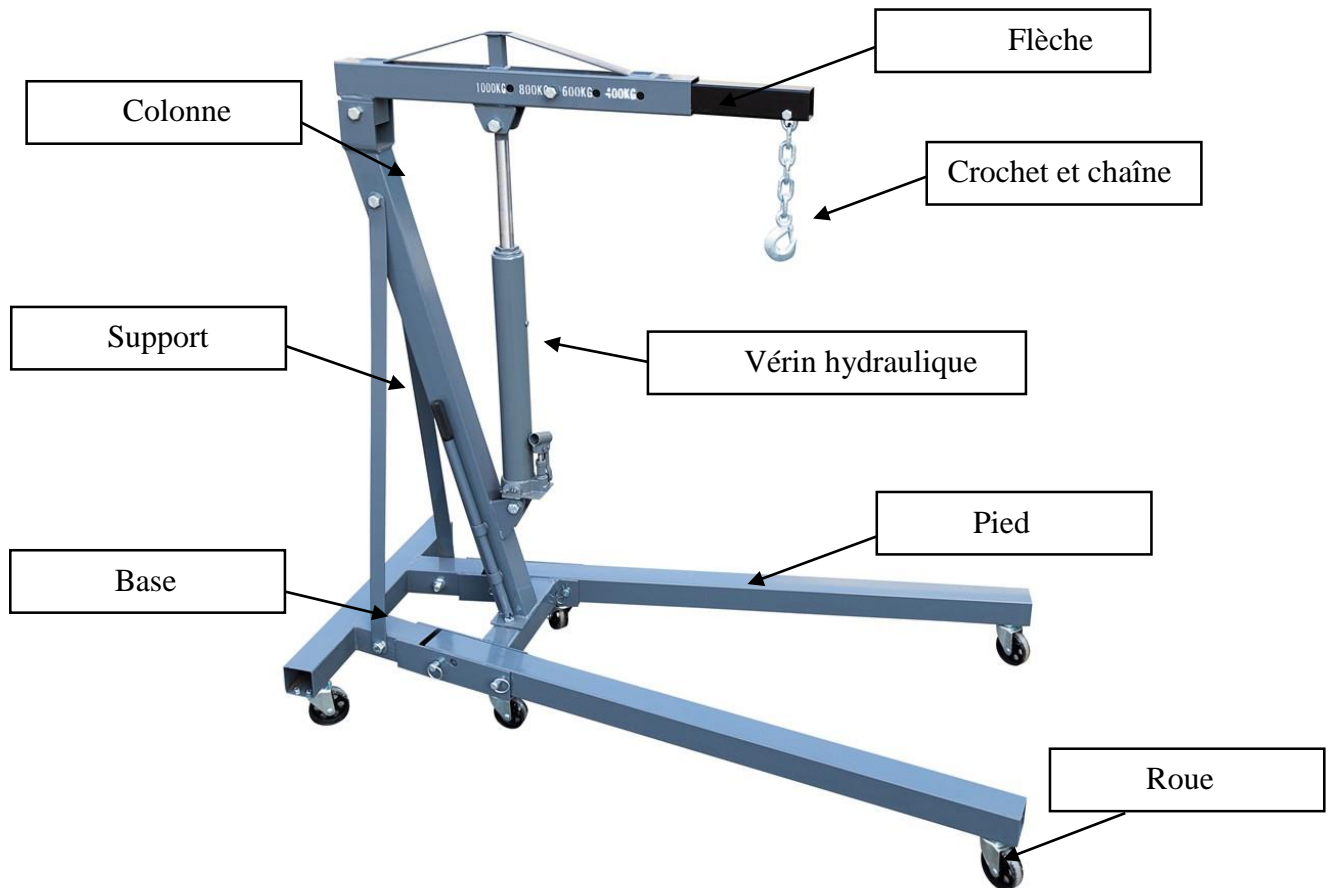


Figure II.9: Les composants d'une grue d'atelier.

Chapitre 03

Dimensionnement du monte-charge.

III. Dimensionnement du monte-charge

III.1 Introduction

Après avoir défini le cahier des charges dans le chapitre précédent, nous allons procéder à l'étude de la structure et de ses différents composants.

On a fait une conception préliminaire sous logiciel SolidWorks du modèle proposé, les différents composants ainsi que l'assemblage, pour l'identifier correctement.



Figure III.1: Conception du modèle proposé.

III.2 Etude cinématique

III.2.1 Schéma cinématique

Le schéma cinématique permet de donner une représentation simplifiée d'un mécanisme, à l'aide des symboles afin de faciliter :

- L'analyse de son fonctionnement et de son architecture ;
- L'étude des différents mouvements.

Les principales étapes de la réalisation d'un schéma cinématique sont :

- a. Détermination des classes d'équivalence.
- b. Détermination des liaisons.
- c. Réalisation du graph des liaisons.
- d. Tracé du schéma cinématique.

III.2.1.1 Détermination des classes d'équivalence

Une classe d'équivalence est un groupe des pièces fixes les unes par rapport aux autres.

Donc, on définit les classes d'équivalences suivant :

- Classe 1 : Le bâti.
- Classe 2 : La flèche.
- Classe 3 : Corps du vérin.
- Classe 4 : Tige du vérin
- Classe 5 : La charge.

III.2.1.2 Détermination des liaisons :

Cette étape nous permet d'identifier les liaisons géométriques entre les classes d'équivalences :

Entre	Et	Point	Nb de ddl	Nom de la liaison
1	2	E	1	Pivot sur l'axe z.
1	3	C	1	Pivot sur l'axe z.
3	4	/	2	Pivot glissant sur \overline{CH} .
4	2	H	1	Pivot sur l'axe z.
2	5	I	1	Pivot sur l'axe z.

Tableau 2: Liaisons géométriques entre les classes d'équivalences.

III.2.1.3 Réalisation du graph des liaisons

Ou graph de structure, est un outil indispensable pour la résolution des mécanismes, il permet d'élaborer des stratégies de résolution des mécanismes.

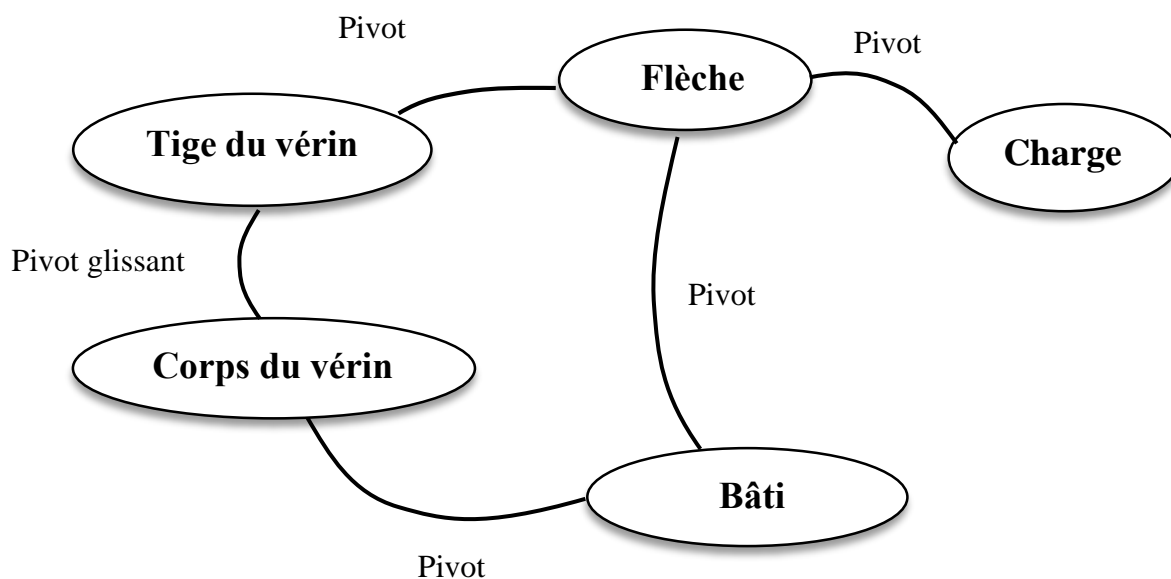


Figure III.2: Graph des liaisons de la grue d'atelier.

III.2.1.4 Tracé du schéma cinématique

Finalement on obtient le schéma cinématique suivant :

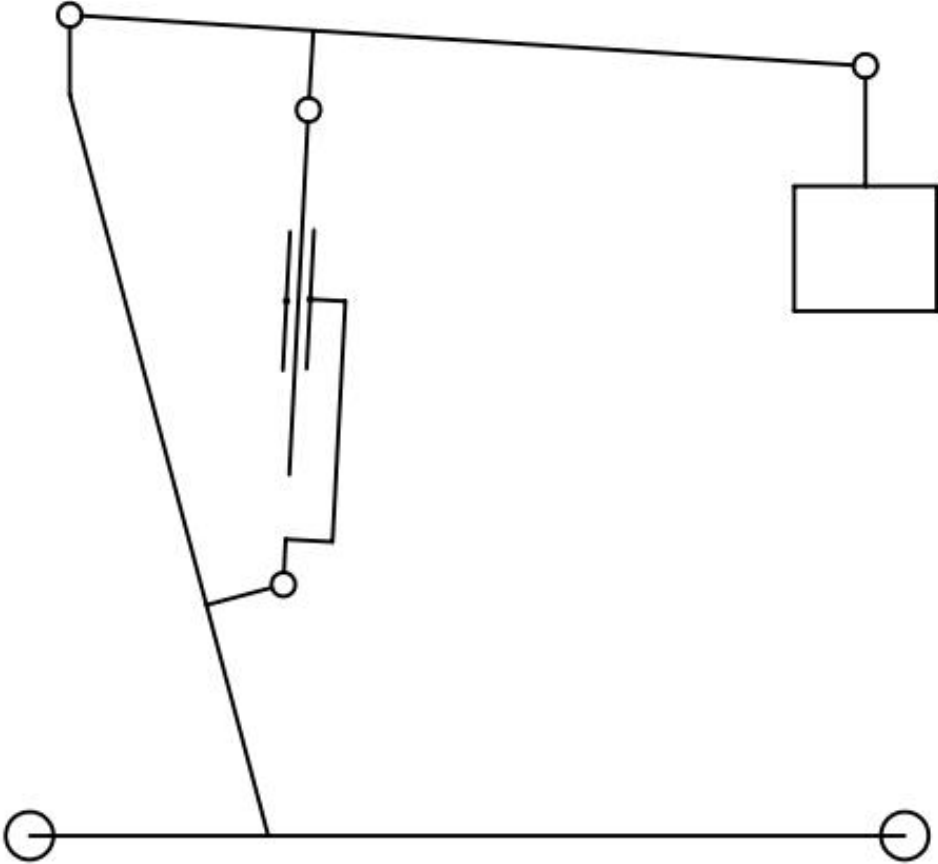


Figure III.3: Schéma cinématique de la grue d'atelier.

III.2.2 La hauteur de levage h

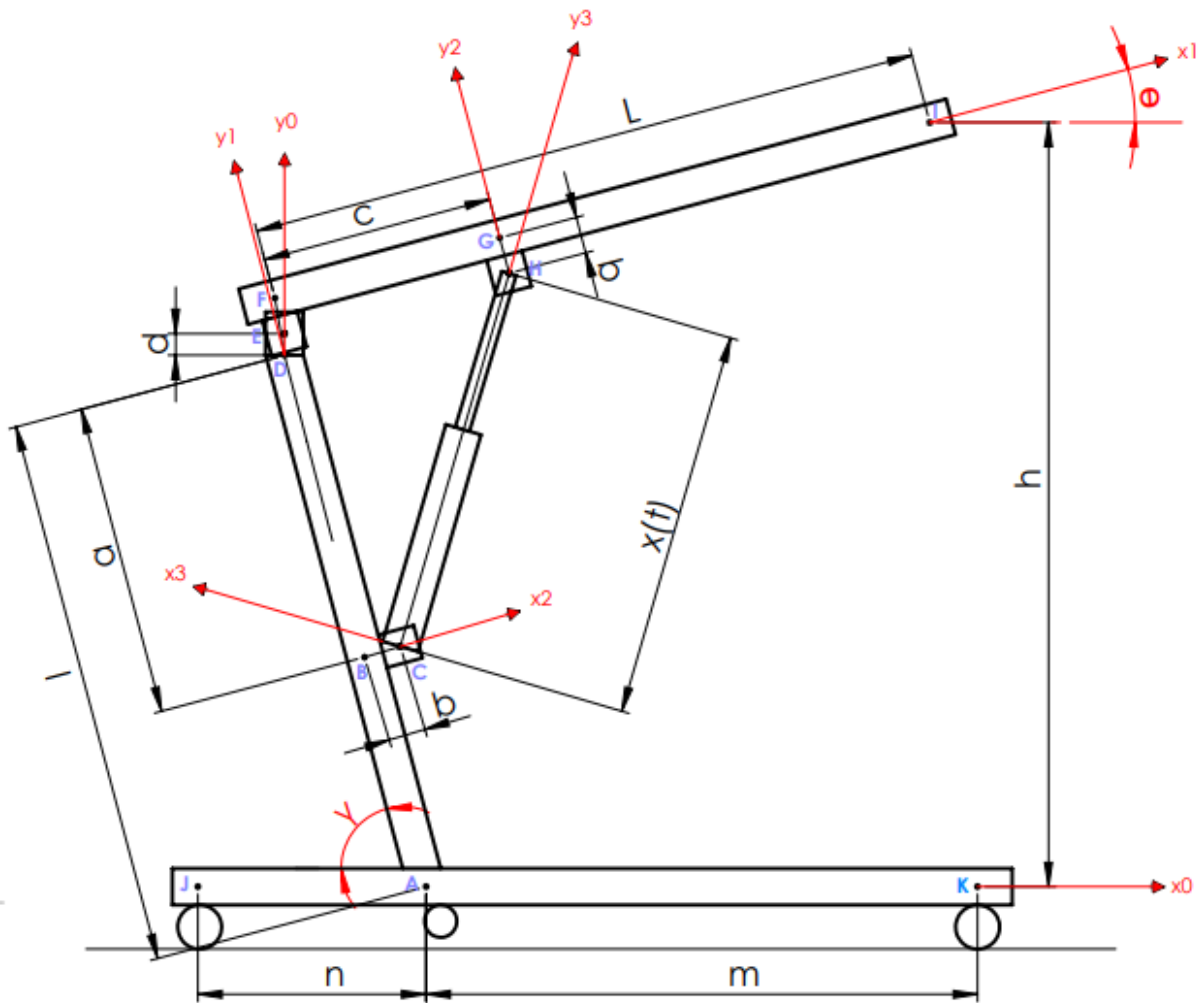


Figure III.4: schéma de la grue d'atelier.

La hauteur de levage de la grue en fonction de l'angle θ :

$$h = \overline{KI} \cdot \overline{y_0} = (\overline{KA} + \overline{AD} + \overline{DE} + \overline{EF} + \overline{FI}) \cdot \overline{y_0}$$

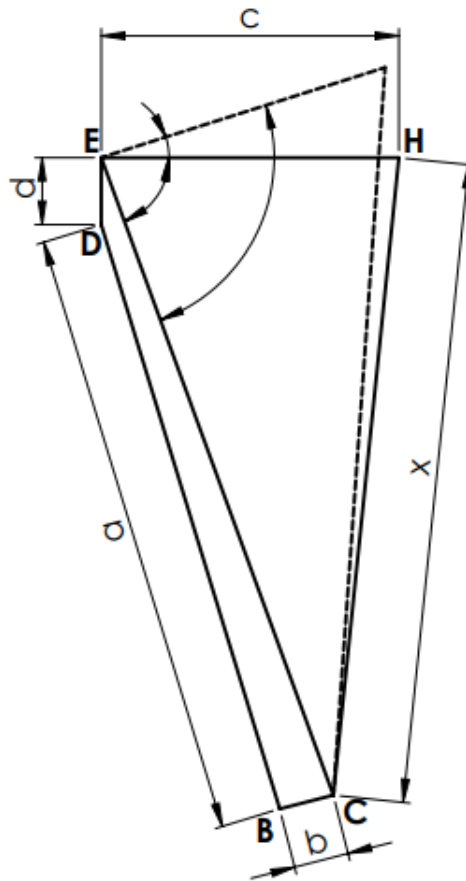
$$h = (-m\overline{x_0} + l\overline{y_1} + d\overline{y_0} + b\overline{y_2} + L\overline{x_1}) \cdot \overline{y_0}$$

$$h = \begin{pmatrix} -m\overline{x_0} - l\cos(\gamma)\overline{x_0} + l\sin(\gamma)\overline{y_0} + d\overline{y_0} + b\cos(\theta)\overline{y_0} \\ -b\sin(\theta)\overline{x_0} + L\cos(\theta)\overline{x_0} + L\sin(\theta)\overline{y_0} \end{pmatrix} \cdot \overline{y_0}$$

$$h = l\sin(\gamma) + L\sin(\theta) + b\cos(\theta) + d \quad (1)$$

Déterminer l'angle θ : (Méthode géométrique)

On se place dans le triangle CEH :



Soit α l'angle \widehat{CEH} :

$$CE = c, \quad CE = \sqrt{((a \sin \gamma - b \sin(90 - \gamma) + d)^2 + (a \cos \gamma + b \cos(90 - \gamma))^2)} \quad \text{et} \quad HC = x.$$

En utilisant la formule d'Al Kashi (Pythagore généralisé) :

$$HC^2 = EH^2 + CE^2 - 2EH \times CE \cos \widehat{CEH}$$

$$x^2 = c^2 + (a \sin \gamma - b \sin(90 - \gamma) + d)^2 + (a \cos \gamma + b \cos(90 - \gamma))^2 - 2c\sqrt{(a \sin \gamma - b \sin(90 - \gamma) + d)^2 + (a \cos \gamma + b \cos(90 - \gamma))^2} \times \cos \alpha$$

Donc on trouve :

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{c^2 + (a \sin \gamma - b \sin(90 - \gamma) + d)^2 + (a \cos \gamma + b \cos(90 - \gamma))^2 - x^2}{2c\sqrt{(a \sin \gamma - b \sin(90 - \gamma) + d)^2 + (a \cos \gamma + b \cos(90 - \gamma))^2}} \right) \quad (2)$$

Noter que : $\theta = \alpha - \alpha_0$ (3) (α_0 est l'angle \widehat{CEH} quand la flèche est horizontale)

$$\text{Avec : } \alpha_0 = \tan^{-1}\left(\frac{a \sin \gamma + d - b \sin(90 - \gamma)}{a \cos \gamma + b \cos(90 - \gamma)}\right) \quad (4)$$

On distingue trois cas essentiels :

- Lorsque la flèche est sur un plan horizontal.
- Lorsque la flèche atteint la hauteur maximale.
- Lorsque la flèche atteint la hauteur minimale.

III.2.2.1 Lorsque la flèche est sur un plan horizontal

La hauteur de la grue a été supposée d'être 1500mm. Donc on est obligé à fixer quelques paramètres (selon la géométrie des machines d'atelier) comme suit :

$$L = 1685\text{mm}, l = 1400\text{mm}, a = 900\text{ mm}, d = 60\text{mm}, b = 90\text{mm} \text{ et } \gamma = 75^\circ$$

Et lorsque la flèche est à l'état horizontal, l'angle $\theta = 0^\circ$

Calcul de h :

Par remplacement numérique dans l'équation (1), on trouve :

$$h = 1400\sin(75) + L\sin(0) + 90\cos(0) + 60$$

$$\boxed{h = 1502 \text{ mm}}$$

III.2.2.2 Lorsque la flèche atteint la hauteur maximale

Selon le cahier des charges fonctionnel la hauteur maximale de levage a été fixé à 2500mm.

Dans ce cas l'angle θ est maximal. Pour le déterminer, il faut premièrement trouver l'angle α_{\max}

Selon l'équation (1), l'angle α est en fonction de la course du vérin $x(t)$

On a choisi un vérin de course 495mm, sa longueur maximale $x_{\max} = 1165\text{mm}$ et sa longueur minimale $x_{\min} = 670\text{mm}$

Calcul du α_{\max} :

Par remplacement numérique dans l'équation (2), on trouve : (note : $c = \frac{L}{4}$)

$$\alpha_{\max} = \cos^{-1} \frac{421.25^2 + (900 \sin 75 - 90 \sin 15 + 90)^2 + (900 \cos 75 + 90 \cos 15)^2 - 1165^2}{2 \times 421.25 \sqrt{(900 \sin 75 - 90 \sin 15 + 60)^2 + (900 \cos 75 + 90 \cos 15)^2}}$$

$$\alpha_{\max} = 109^\circ$$

Calcul du α_0 :

Par remplacement numérique dans l'équation (4), on trouve :

$$\alpha_0 = \tan^{-1} \left(\frac{900 \sin 75 + 60 - 90 \sin 15}{900 \cos 75 + 90 \cos 15} \right)$$

$$\alpha_0 = 71^\circ$$

Calcul du θ_{\max} :

$$\theta_{\max} = \alpha_{\max} - \alpha_0$$

$$\theta_{\max} = 109 - 71$$

$$\theta_{\max} = 38^\circ$$

Calcul de h_{\max} :

Par remplacement numérique dans l'équation (1), on trouve :

$$h_{\max} = 1400 \sin(75) + L \sin(37.92) + 90 \cos(37.92) + 60$$

$$h_{\max} = 2519\text{mm}$$

III.2.2.3 Lorsque la flèche atteint la hauteur minimale

Calcul du α_{\min} :

Par remplacement numérique dans l'équation (2), on trouve :

$$\alpha_{\min} = \cos^{-1} \frac{421.25^2 + (900 \sin 75 - 90 \sin 15 + 90)^2 + (900 \cos 75 + 90 \cos 15)^2 - 670^2}{2 \times 421.25 \sqrt{(900 \sin 75 - 90 \sin 15 + 60)^2 + (900 \cos 75 + 90 \cos 15)^2}}$$

$$\alpha_{\min} = 36^\circ$$

Calcul du θ_{\min} :

Par remplacement numérique dans l'équation (3), on trouve :

$$\theta_{\min} = \alpha_{\min} - \alpha_0$$

$$\theta_{\min} = 36 - 71$$

$$\theta_{\min} = -35^\circ$$

Calcul de h_{\min} :

Par remplacement numérique dans l'équation (1), on trouve :

$$h_{\min} = 1400 \sin(75) + 1685 \sin(-35) + 90 \cos(-35) + 60$$

$$h_{\min} = 540 \text{ mm}$$

III.3 Dimensionnement de chaque élément de la grue d'atelier

III.3.1 Calcul RDM

III.3.1.1 La flèche

Pour dimensionner la flèche, il faut prendre en considération les trois cas défavorables, selon sa position en fonction des trois hauteurs calculées précédemment.

III.3.1.1.1 Lorsque la flèche est sur un plan horizontal

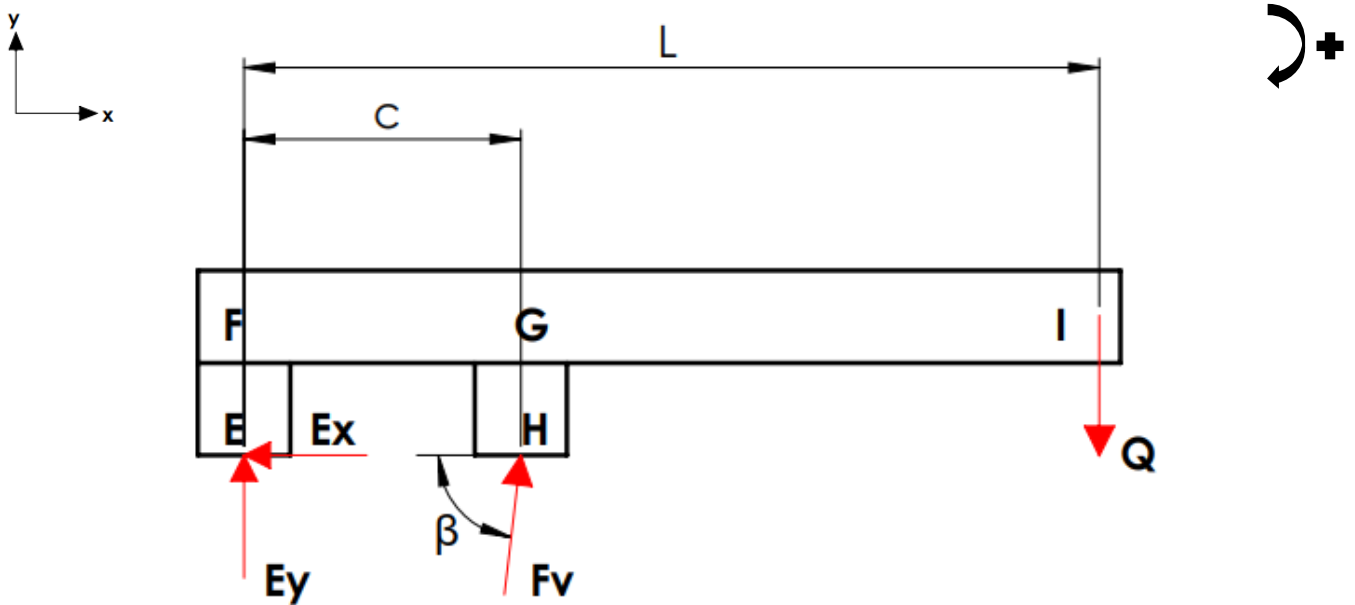


Figure III.5: La flèche en plan horizontal.

$$\beta = 84^\circ, L=1685\text{mm}, c=421.25\text{mm}, Q=2500\text{N}.$$

Calcul des réactions :

$$\sum \vec{f}_{\text{ext}} = \vec{0} \Rightarrow \vec{F}_v + \vec{E}_x + \vec{E}_y + \vec{Q} = \vec{0}$$

Par projection selon l'axe x :

$$\sum f_x = 0 \Rightarrow F_v \cos \beta - E_x = 0 \Rightarrow E_x = F_v \cos \beta \quad (5)$$

Par projection selon l'axe y :

$$\sum f_y = 0 \Rightarrow F_v \sin \beta + E_y - Q = 0 \Rightarrow E_y = Q - F_v \sin \beta \quad (6)$$

Calcul du force du vérin F_v :

$$\sum M_{/E} = 0 \Rightarrow -F_v \sin \beta \times c + Q \times L = 0 \Rightarrow F_v = \frac{Q \times L}{\sin \beta \times c} = 10062.7 \text{ N}$$

En remplaçant F_v en (5) et (6), on trouve :

$$E_x = 10062.7 \times \cos 84$$

$$\boxed{E_x = 1121.68 \text{ N}}$$

$$E_y = 2500 - 10062.7 \times \sin 84$$

$$\boxed{E_y = -7500 \text{ N}}$$

Les efforts tranchants, normaux et les moments fléchissants :

Section I : $0 \leq x \leq c$:

$$T(x) = E_y \Rightarrow \boxed{T(x) = -7500 \text{ N}}$$

$$N(x) = E_x \Rightarrow \boxed{N(x) = 1121.68 \text{ N}}$$

$$M(x) = E_y \times x + E_x \times b \Rightarrow M(x) = -7500x + 100951.2$$

$$\boxed{M(0) = 100951,2 \text{ N.mm}}$$

$$\boxed{M(c) = -3058423.8 \text{ N.mm}}$$

Section II : $c \leq x \leq L$:

$$T(x) = E_y + F_v \sin \beta \Rightarrow \boxed{T(x) = 2500 \text{ N}}$$

$$N(x) = E_x - F_v \cos \beta \Rightarrow \boxed{N(x) = 1.57 \times 10^{-3} \text{ N}}$$

$$M(x) = E_y \times x + F_v \sin \beta \times (x - c) + E_x \times b - F_v \cos \beta \times b$$

$$\Rightarrow M(x) = 2500 x - 4212495$$

$$\boxed{M(c) = -3159370 \text{ N.mm}}$$

$$\boxed{M(L) = 5 \text{ N.mm}}$$

Diagrammes des efforts tranchants, normaux et des moments fléchissants :

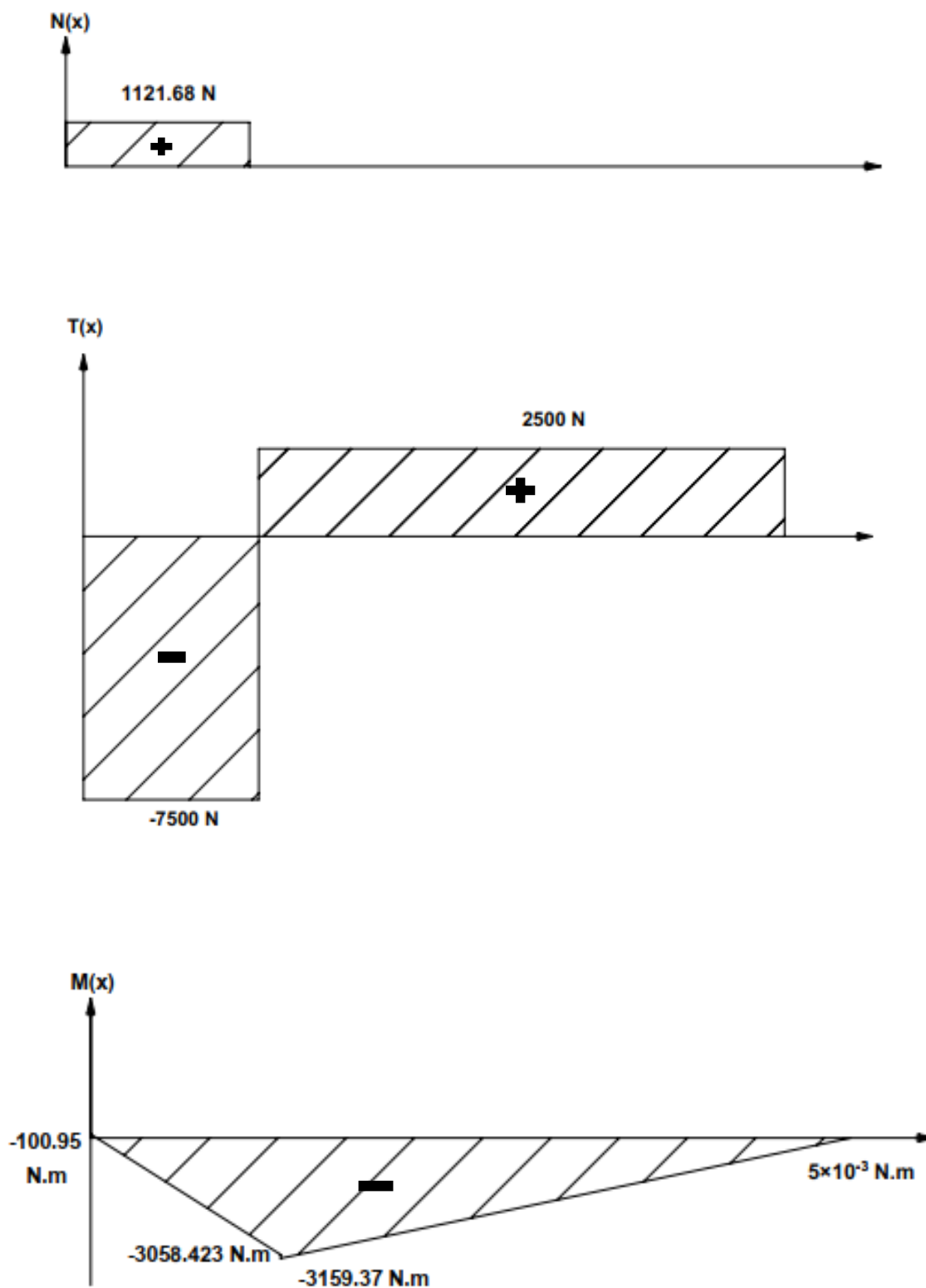


Figure III.6: Diagrammes de $N(x)$, $T(x)$ et $M(x)$ de la flèche en 1^{er}.

III.3.1.1.2 Lorsque la flèche atteint la hauteur minimale

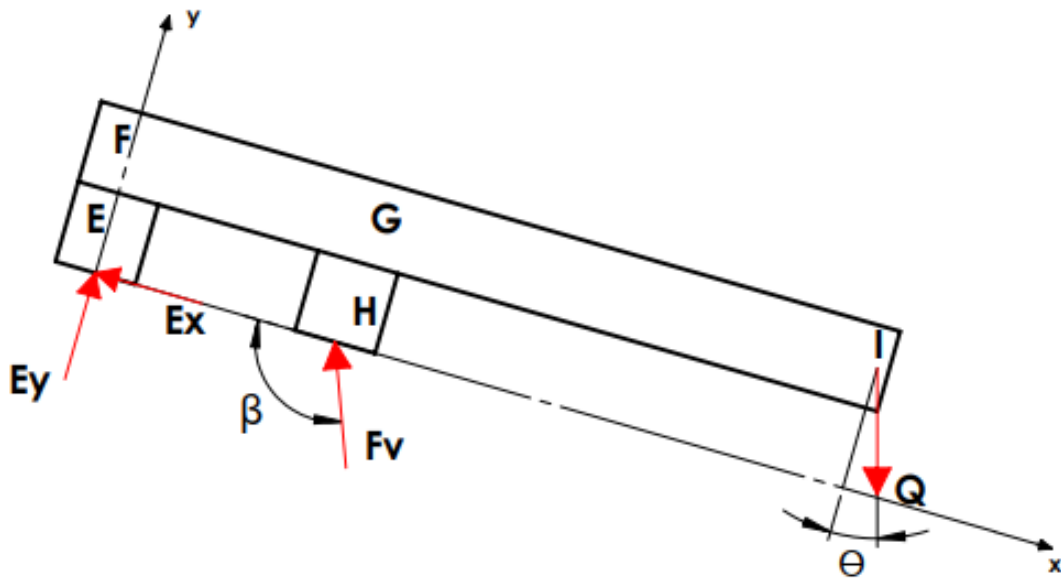


Figure III.7: La flèche à la hauteur minimale.

Dans ce cas : $\beta = 122^\circ$ et $\theta = 35^\circ$

$$\sum \vec{f}_{\text{ext}} = \vec{0} \Rightarrow \vec{F}_v + \vec{E}_x + \vec{E}_y + \vec{Q} = \vec{0}$$

Par projection selon l'axe x :

$$\sum f_x = 0 \Rightarrow -E_x - F_v \cos(\pi - \beta) + Q \sin \theta = 0$$

$$\Rightarrow E_x = -F_v \cos(\pi - \beta) + Q \sin \theta \quad (7)$$

Par projection selon l'axe y :

$$\sum f_y = 0 \Rightarrow E_y + F_v \sin(\pi - \beta) - Q \cos \theta = 0$$

$$\Rightarrow E_y = Q \cos \theta - F_v \sin(\pi - \beta) \quad (8)$$

$$\sum M_{/E} = 0 \Rightarrow -F_v \sin(\pi - \beta) \times c + Q \cos \theta \times L + Q \sin \theta \times b = 0$$

$$F_v = \frac{Q \cos \theta \times L + Q \sin \theta \times b}{\sin(\pi - \beta) \times c} \Rightarrow \boxed{F_v = 10076.07 \text{ N}}$$

En remplaçant dans les équations (7) et (8), on trouve :

$$E_x = -3890.2 \text{ N}$$

$$E_y = -6504.64 \text{ N}$$

Les efforts tranchants, normaux et les moments fléchissants :

Section I : $0 \leq x \leq c$:

$$T(x) = E_y = -6504.64 \text{ N}$$

$$N(x) = E_x = -3890.2 \text{ N}$$

$$M(x) = E_y \times x + E_x \times b \Rightarrow M(x) = -6504.64x - 350118$$

$$M(0) = -350118 \text{ N. mm}$$

$$M(c) = -3090197.6 \text{ N. mm}$$

Section II : $c \leq x \leq L$:

$$T(x) = E_y + F_v \sin(\pi - \beta) \Rightarrow T(x) = 2068.19 \text{ N}$$

$$N(x) = E_x + F_v \cos(\pi - \beta) \Rightarrow N(x) = 1404.5 \text{ N}$$

$$M(x) = E_y \times x + F_v \sin(\pi - \beta)(x - c) + E_x \times b + F_v \cos(\pi - \beta) \times b$$

$$\Rightarrow M(x) = 2068.19x - 3484901.582$$

$$M(c) = -2613676.545 \text{ N. mm}$$

$$M(L) = -1.432 \text{ N. mm}$$

Diagramme des efforts tranchants, normaux et des moments fléchissants :

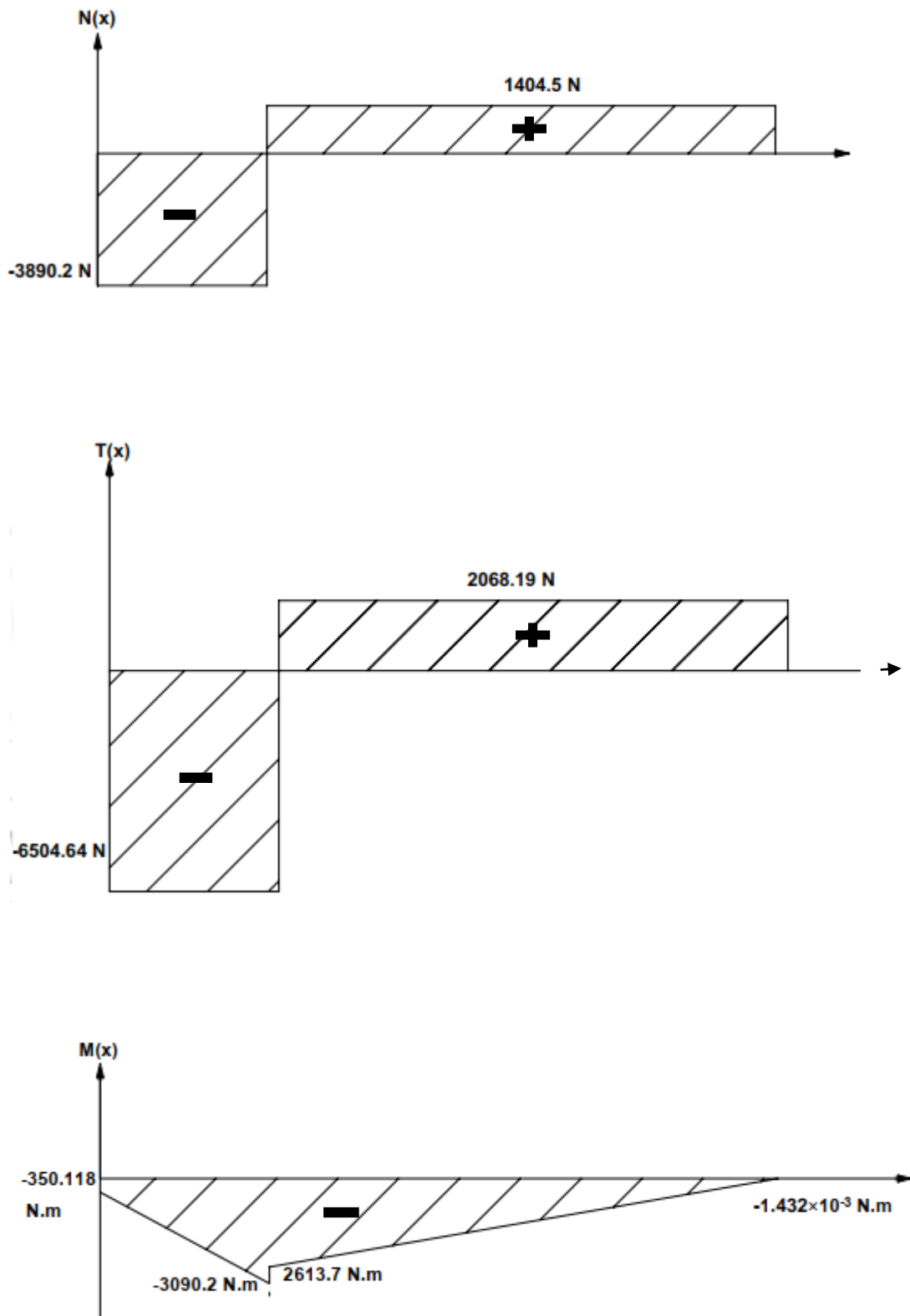


Figure III.8: Diagrammes de $N(x)$, $T(x)$ et $M(x)$ de la flèche en 2^{ème} cas.

III.3.1.1.3 Lorsque la flèche atteint la hauteur maximale

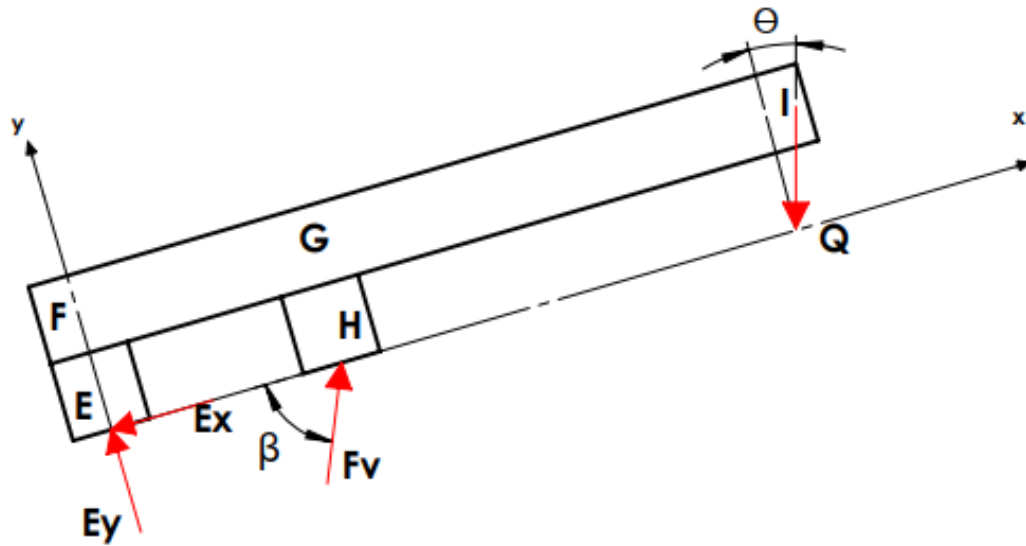


Figure III.9: La flèche à la hauteur maximale.

Dans ce cas : $\beta = 51^\circ$ et $\theta = 38^\circ$.

$$\sum \vec{f}_{\text{ext}} = \vec{0} \Rightarrow \vec{F}_v + \vec{E}_x + \vec{E}_y + \vec{Q} = \vec{0}$$

Par projection selon l'axe x :

$$\sum f_x = 0 \Rightarrow F_v \cos \beta - E_x - Q \sin \theta = 0 \Rightarrow E_x = F_v \cos \beta - Q \sin \theta \quad (9)$$

Par projection selon l'axe y :

$$\sum f_y = 0 \Rightarrow F_v \sin \beta + E_y - Q \cos \theta = 0 \Rightarrow E_y = Q \cos \theta - F_v \sin \beta \quad (10)$$

$$\sum M_{/E} = 0 \Rightarrow -F_v \sin \beta \times c - Q \sin \theta \times b + Q \cos \theta \times L = 0$$

$$F_v = \frac{-Q \sin \theta \times b + Q \cos \theta \times L}{\sin \beta \times c} = \frac{-2500 \sin 38 \times 90 + 2500 \cos 38 \times 1685}{\sin 51 \times 421.25}$$

$$F_v = 9664.6 \text{ N}$$

En remplaçant F_v en (9) et (10) on trouve :

$$E_x = 4483.9 \text{ N}$$

$$E_y = -5588.27 \text{ N}$$

Les efforts tranchants, normaux et les moments fléchissants :

Section I : $0 \leq x \leq c$:

$$T(x) = E_y \Rightarrow T(x) = -5588.27 \text{ N}$$

$$N(x) = E_x \Rightarrow N(x) = 4483.9 \text{ N}$$

$$M(x) = E_y \times x + E_x \times b \Rightarrow M(x) = -5588.27x + 403551$$

$$M(0) = 403551 \text{ N.mm}$$

$$M(c) = -1950507.738 \text{ N.mm}$$

Section II : $c \leq x \leq L$:

$$T(x) = E_y + F_v \sin \beta \Rightarrow T(x) = 1972.17 \text{ N}$$

$$N(x) = E_x - F_v \cos \beta \Rightarrow N(x) = -1536.41 \text{ N}$$

$$M(x) = E_y \times x + F_v \sin \beta \times (x - c) + E_x \times b - F_v \cos \beta \times b \\ \Rightarrow M(x) = 1972.17x - 3323114.164$$

$$M(c) = -2492337.552 \text{ N.mm}$$

$$M(L) = -7714 \text{ N.mm}$$

Diagrammes des efforts tranchants, normaux et des moments fléchissants :

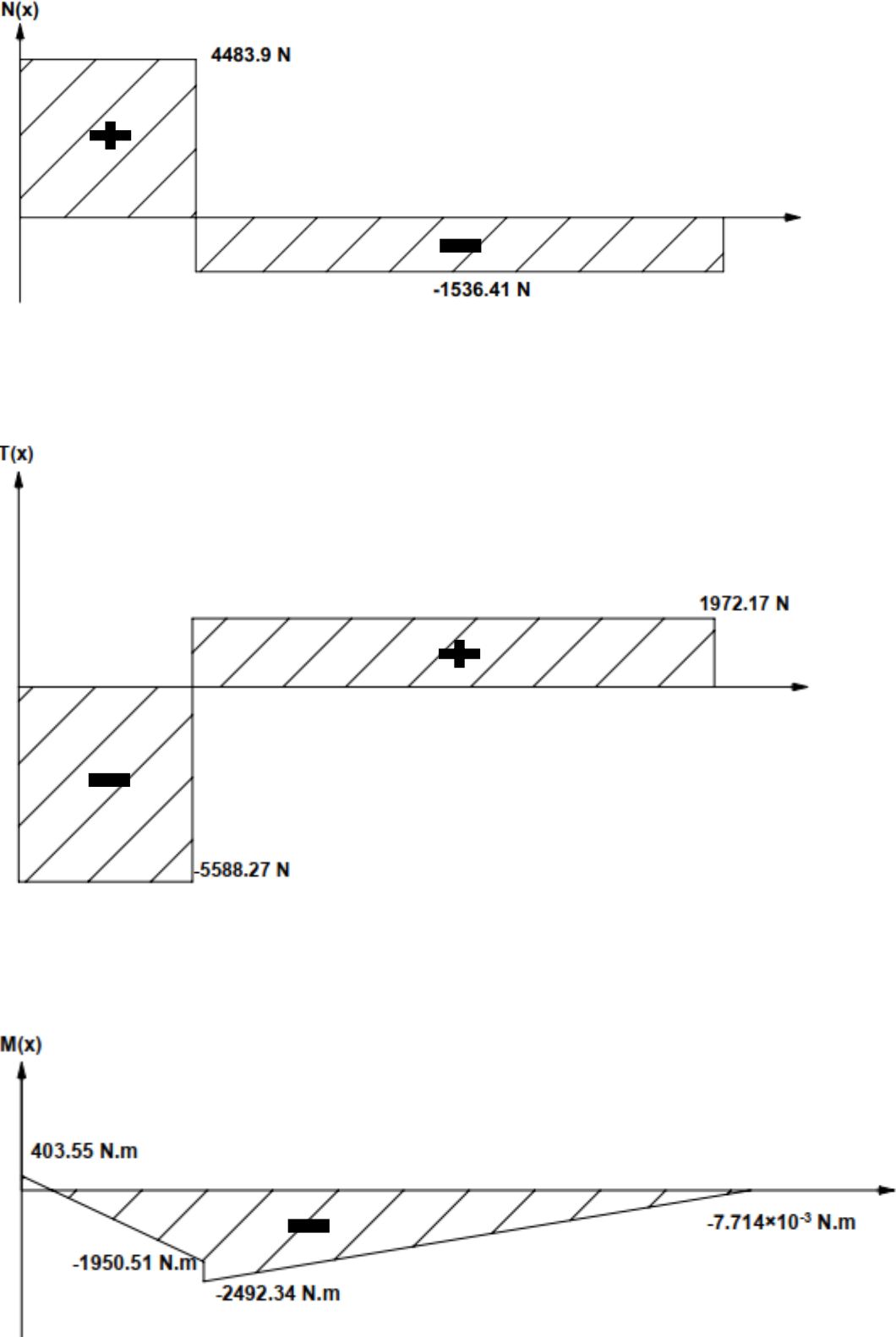


Figure III.10: Diagrammes de $N(x)$, $T(x)$ et $M(x)$ de la flèche en 3^{ème} cas.

III.3.1.2 La colonne

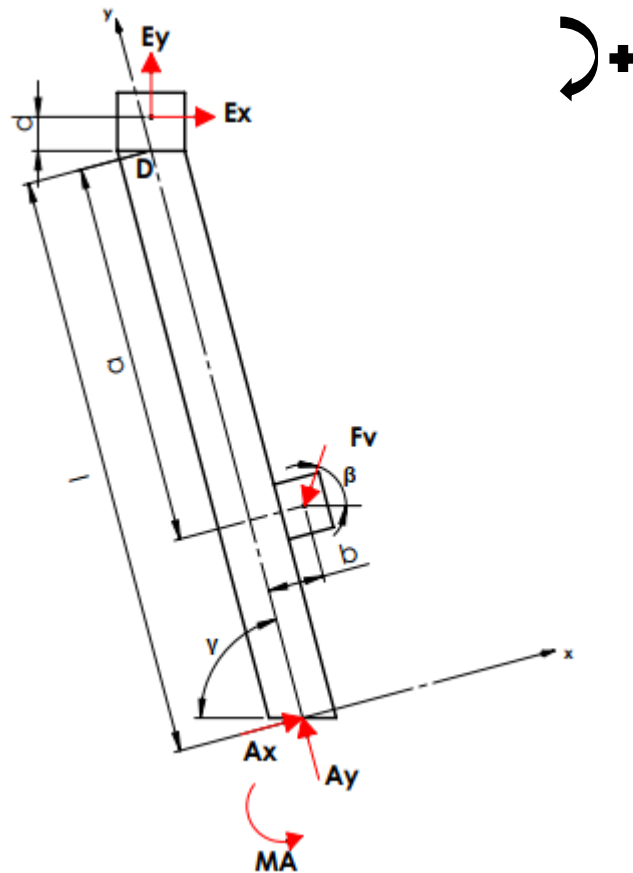


Figure III.11: La colonne.

$$\beta = 84^\circ, \gamma = 75^\circ, l = 1400 \text{ mm}, d = 60 \text{ mm}, a = 900 \text{ mm}$$

$$\sum \vec{f}_{\text{ext}} = \vec{0} \Rightarrow \vec{F}_v + \vec{E}_x + \vec{E}_y + \vec{A}_x + \vec{A}_y = \vec{0}$$

Par projection selon l'axe x :

$$\sum f_x = 0 \Rightarrow A_x - F_v \cos\left(\beta - \left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right)\right) + E_x \cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right) + E_y \sin\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right) = 0$$

$$\Rightarrow A_x = F_v \cos\left(\beta - \left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right)\right) - E_x \cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right) - E_y \sin\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right) = 0 \quad (11)$$

Par projection selon l'axe y :

$$\sum f_y = 0 \Rightarrow A_y - F_v \sin\left(\beta - \left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right)\right) - E_x \sin\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right) + E_y \cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right) = 0$$

$$\Rightarrow A_y = F_v \sin\left(\beta - \left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right)\right) + E_x \sin\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right) - E_y \cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right) = 0 \quad (12)$$

On a pris le cas lorsque la flèche est en plan horizontal, donc les réactions E_x , E_y et F_v calculées précédemment sont :

$$\boxed{E_x = 1121.68 \text{ N}}$$

$$\boxed{E_y = -7500 \text{ N}}$$

$$\boxed{F_v = 10062.7 \text{ N}}$$

Par remplacement numérique sur les équations (11) et (12) :

$$A_x = 10062.7 \cos\left(84 - \left(\frac{\pi}{2} - 75\right)\right) - 1121.68 \cos\left(\frac{\pi}{2} - 75\right) + 7500 \sin\left(\frac{\pi}{2} - 75\right)$$

$$\boxed{A_x = 4529.33 \text{ N}}$$

$$A_y = 10062.7 \sin\left(84 - \left(\frac{\pi}{2} - 75\right)\right) + 1121.68 \sin\left(\frac{\pi}{2} - 75\right) + 7500 \cos\left(\frac{\pi}{2} - 75\right)$$

$$\boxed{A_y = 16903.69 \text{ N}}$$

Le moment M_A :

$$\sum M_{/E} = 0 \Rightarrow -M_A - A_x \left(1 + d \cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right)\right) + F_v \cos\left(\beta - \left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right)\right) + F_v \sin\left(\beta - \left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right)\right)$$

$$M_A = -A_x \left(1 + d \cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right)\right) + F_v \cos\left(\beta - \left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right)\right) + F_v \sin\left(\beta - \left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right)\right)$$

Par application numérique :

$$M_A = -4529.33(1400 + 60 \cos 15) + F_v \cos(84 - 15) + F_v \sin(84 - 15)$$

$$\boxed{M_A = -6590521.228 \text{ N. mm}}$$

Les efforts tranchants, normaux et les moments fléchissants :**Section I : $0 \leq x \leq (l - a)$:**

$$T(x) = A_x \Rightarrow \boxed{T(x) = 4529.33 \text{ N}}$$

$$N(x) = -A_y \Rightarrow \boxed{N(x) = -16903.69 \text{ N}}$$

$$M(x) = A_x \times x + M_A \Rightarrow M(x) = 4529.33x - 6590521.228$$

$$\boxed{M(0) = -6590521.228 \text{ N. mm}}$$

$$\boxed{M(l - a) = -4325856.228 \text{ N. mm}}$$

Section I : $(l - a) < x < (l + d\cos 15)$:

$$T(x) = A_x - F_v \cos\left(\beta - \left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right)\right) = 857.68 \text{ N} \Rightarrow \boxed{T(x) = 857.68 \text{ N}}$$

$$N(x) = -A_y + F_v \sin\left(\beta - \left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right)\right) = -7534.75 \text{ N} \Rightarrow \boxed{N(x) = -7534.75 \text{ N}}$$

$$M(x) = A_x \times x - F_v \cos\left(\beta - \left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right)\right) \times (x - (l - a)) + F_v \sin\left(\beta - \left(\frac{\pi}{2} - \gamma\right)\right) \times b - M_A$$

$$\Rightarrow M(x) = 857.68x - 9269548.219$$

$$\boxed{M(l - a) = -8839708.219 \text{ N. mm}}$$

$$\boxed{M(l + d\cos 15) = -8019088.9 \text{ N. mm}}$$

Diagramme des efforts tranchants, normaux et des moments fléchissants :

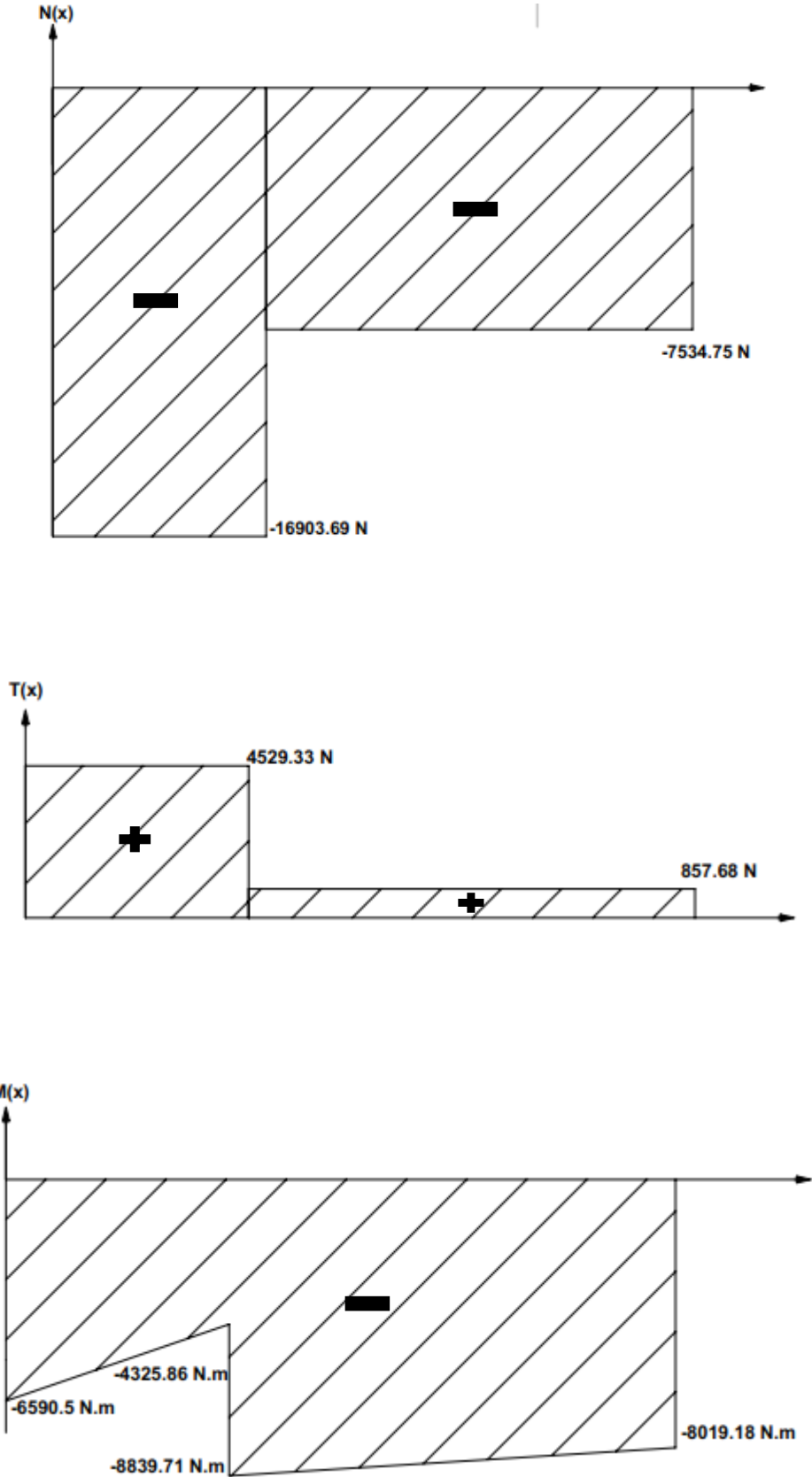


Figure III.12: Diagrammes de $N(x)$, $T(x)$ et $M(x)$ de la colonne.

III.3.1.3 Le support de la colonne

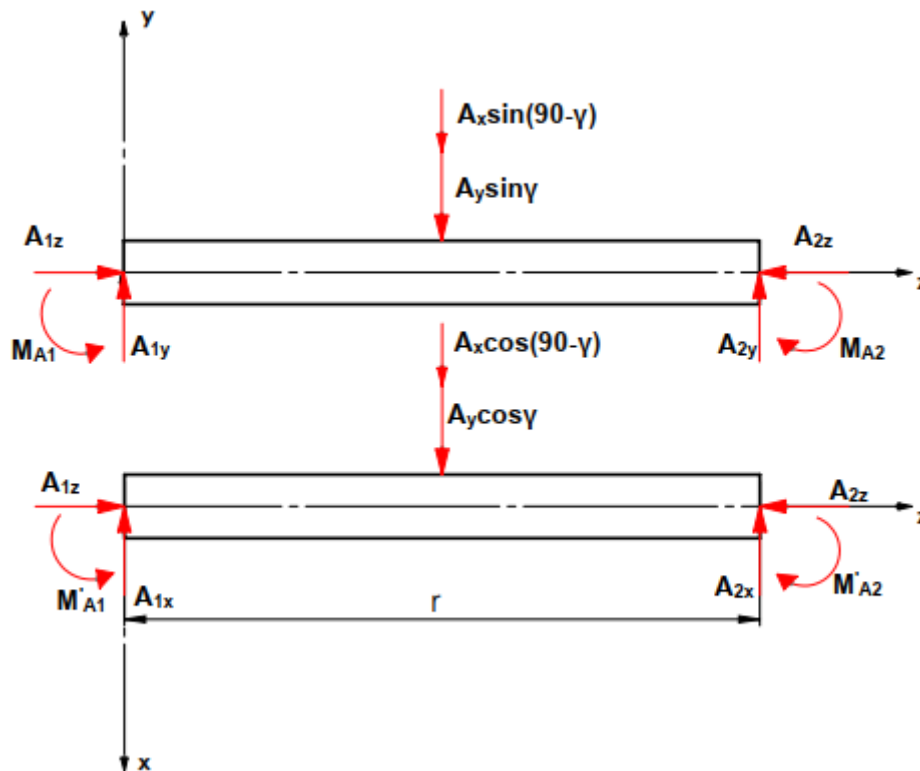


Figure III.13:Le support de la colonne.

La distance entre les pieds (longueur r) du monte-charge est fixée d'être 700 mm.

Sur le plan(A, z̄, ȳ):

Calcul des réactions :

$$\sum \vec{f}_{\text{ext}} = \vec{0} \Rightarrow \overrightarrow{A_x \sin(90 - \gamma)} + \overrightarrow{A_y \sin \gamma} + \overrightarrow{A_{1z}} + \overrightarrow{A_{1y}} + \overrightarrow{A_{2z}} + \overrightarrow{A_{2y}} = \vec{0}$$

Par projection sur l'axe z :

$$\sum f_z = 0 \Rightarrow A_{1z} - A_{2z} = 0 \Rightarrow A_{1z} = A_{2z} = 0$$

Par projection sur l'axe y :

$$\sum f_y = 0 \Rightarrow A_{1y} + A_{2y} - A_x \sin(90 - \gamma) - A_y \sin \gamma = 0$$

$$\Rightarrow A_{1y} + A_{2y} = A_x \sin(90 - \gamma) + A_y \sin \gamma \Rightarrow A_{1y} + A_{2y} = 17500$$

Le système est symétrique, donc :

$$A_{1y} = A_{2y} = \frac{17500}{2}$$

$$\boxed{A_{1y} = A_{2y} = 8750 \text{ N}}$$

Calcul des moments :

$$\sum M_{/A_1} = 0 \Rightarrow M_{A_2} - M_{A_1} + (A_x \sin(90 - \gamma) + A_y \sin \gamma) \frac{r}{2} - A_{2y} \times r = 0$$

$$\Rightarrow M_{A_2} - M_{A_1} = A_{2y} \times r - (A_x \sin(90 - \gamma) + A_y \sin \gamma) \frac{r}{2} = 0$$

Donc : $M_{A_2} = M_{A_1}$ (symétrie)

Les seules équations de la statique ne suffisant pas pour résoudre le calcul des actions aux appuis. Il faut faire intervenir en plus les équations de déformations :

Calcul du moment fléchissant quand $0 \leq x \leq \frac{r}{2}$:

$$M(x) = A_{1y}x - M_{A_1}$$

Utilisation de l'expression de la déformé :

$$E \cdot I_{GZ} \cdot y'' = A_{1y}x - M_{A_1}$$

$$E \cdot I_{GZ} \cdot y' = A_{1y} \cdot \frac{x^2}{2} - M_{A_1} \cdot x + C_1$$

$$E \cdot I_{GZ} \cdot y = A_{1y} \cdot \frac{x^3}{6} - M_{A_1} \cdot \frac{x^2}{2} + C_1 \cdot x + C_2$$

Conditions aux limites :

$$y'(0) = 0 \Rightarrow C_1 = 0$$

$$y(0) = 0 \Rightarrow C_2 = 0 \text{ Donc : } E \cdot I_{GZ} \cdot y = A_{1y} \cdot \frac{x^3}{6} - M_{A_1} \cdot \frac{x^2}{2}$$

Compte tenu de la symétrie de la déformée : $y' \left(\frac{r}{2} \right) = 0$ donc :

$$0 = A_{1y} \cdot \frac{\left(\frac{r}{2} \right)^2}{2} - M_{A_1} \cdot \frac{r}{2} \Rightarrow M_{A_1} = \frac{A_{1y} \cdot \left(\frac{r}{2} \right)^2}{\frac{r}{2}}$$

$$M_{A_1} = \frac{A_{1y} \cdot r}{4} = \frac{8750 \times 700}{4}$$

$$\boxed{M_{A_1} = M_{A_2} = 1531250 \text{ N} \cdot \text{mm}}$$

Les efforts tranchants et les moments fléchissants :

Section I : $0 \leq x \leq \frac{r}{2}$:

$$T(x) = A_{1y} \Rightarrow \boxed{T(x) = 8750 \text{ N}}$$

$$M(x) = A_{1y}x - M_{A_1} \Rightarrow M(x) = 8750x - 1531250$$

$$\boxed{M(0) = -1531250 \text{ N} \cdot \text{mm}}$$

$$\boxed{M\left(\frac{r}{2}\right) = 1531250 \text{ N} \cdot \text{mm}}$$

Section II : $\frac{r}{2} \leq x \leq r$: (symétrie)

$$\boxed{T(x) = -8750 \text{ N}}$$

$$\boxed{M\left(\frac{r}{2}\right) = 1531250 \text{ N} \cdot \text{mm}}$$

$$\boxed{M(r) = -1531250 \text{ N} \cdot \text{mm}}$$

Diagramme des efforts tranchants et des moments fléchissants :

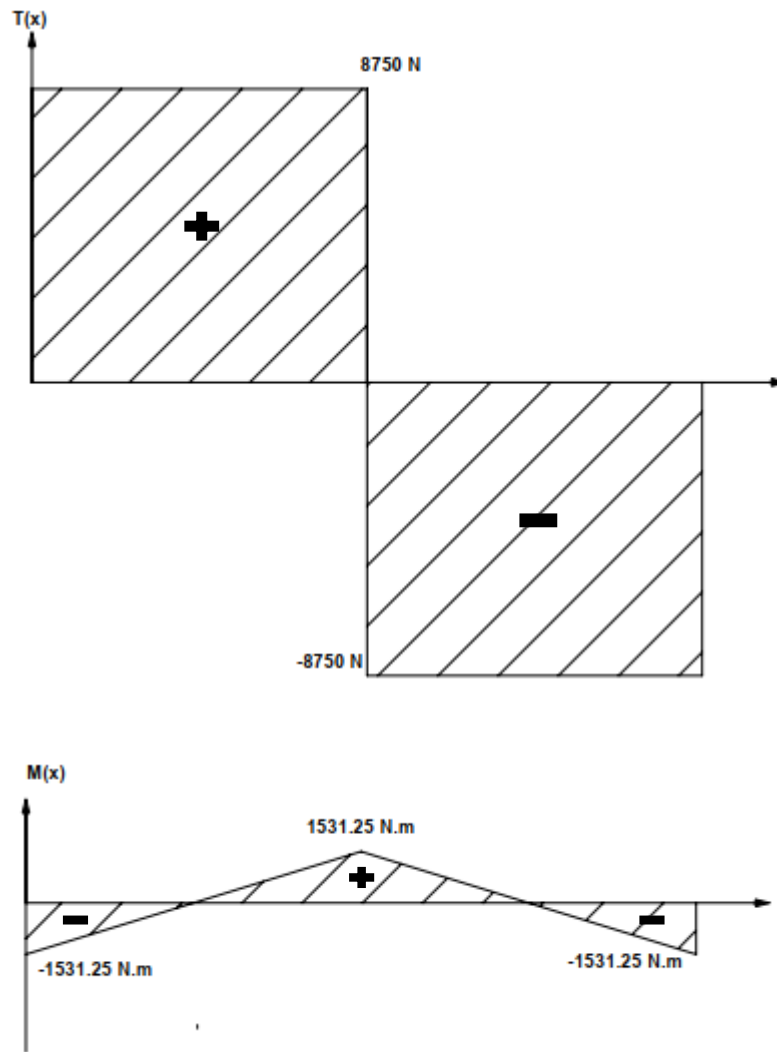


Figure III.14: Diagrammes de T(x) et M(x) du support en 1^{er} plan.

Sur le plan (A, \vec{z}, \vec{x}) :

Calcul des réactions :

$$\sum \vec{f}_{\text{ext}} = \vec{0} \Rightarrow \overrightarrow{A_x \cos(90 - \gamma)} + \overrightarrow{A_y \cos \gamma} + \overrightarrow{A_{1z}} + \overrightarrow{A_{1x}} + \overrightarrow{A_{2z}} + \overrightarrow{A_{2x}} = \vec{0}$$

Par projection sur l'axe z :

$$\sum f_z = 0 \Rightarrow A_{1z} - A_{2z} = 0 \Rightarrow A_{1z} = A_{2z} = 0$$

Par projection sur l'axe x :

$$\sum f_x = 0 \Rightarrow -A_{1x} - A_{2x} + A_x \cos(90 - \gamma) + A_y \cos \gamma = 0$$

$$\Rightarrow A_{1x} + A_{2x} = A_x \cos(90 - \gamma) + A_y \cos \gamma \Rightarrow A_{1x} + A_{2x} = 8750$$

Le système est symétrique, donc :

$$A_{1x} = A_{2x} = \frac{8750}{2}$$

$$\boxed{A_{1x} = A_{2x} = 4375 \text{ N}}$$

Calcul des moments :

$$\sum M_{/A_1} = 0 \Rightarrow M'_{A_2} - M'_{A_1} + (A_x \cos(90 - \gamma) + A_y \cos \gamma) \frac{r}{2} - A_{2x} \times r = 0$$

$$\Rightarrow M'_{A_2} - M'_{A_1} = A_{2x} \times r - (A_x \cos(90 - \gamma) + A_y \cos \gamma) \frac{r}{2} = 0$$

Donc : $M'_{A_2} = M'_{A_1}$ (symétrie)

En utilisant les équations de déformations on distingue :

$$M'_{A_1} = \frac{A_{1x} \cdot r}{4} = \frac{4375 \times 700}{4}$$

$$\boxed{M'_{A_1} = M'_{A_2} = 765625 \text{ N} \cdot \text{mm}}$$

Les efforts tranchants et les moments fléchissants :

Section I : $0 \leq x \leq \frac{r}{2}$:

$$T(x) = A_{1x} \Rightarrow \boxed{T(x) = 4375 \text{ N}}$$

$$M(x) = A_{1x}x - M'_{A_1} \Rightarrow M(x) = 4375x - 765625$$

$$\boxed{M(0) = -765625 \text{ N} \cdot \text{mm}}$$

$$\boxed{M\left(\frac{r}{2}\right) = 765625 \text{ N} \cdot \text{mm}}$$

Section II : $\frac{r}{2} \leq x \leq r$: (symétrie)

Donc les efforts tranchant et les moments fléchissant sont :

$$T(x) = -4375 \text{ N}$$

$$M\left(\frac{r}{2}\right) = 765625 \text{ N. mm}$$

$$M(r) = -765625 \text{ N. mm}$$

Diagramme des efforts tranchants et des moments fléchissants :

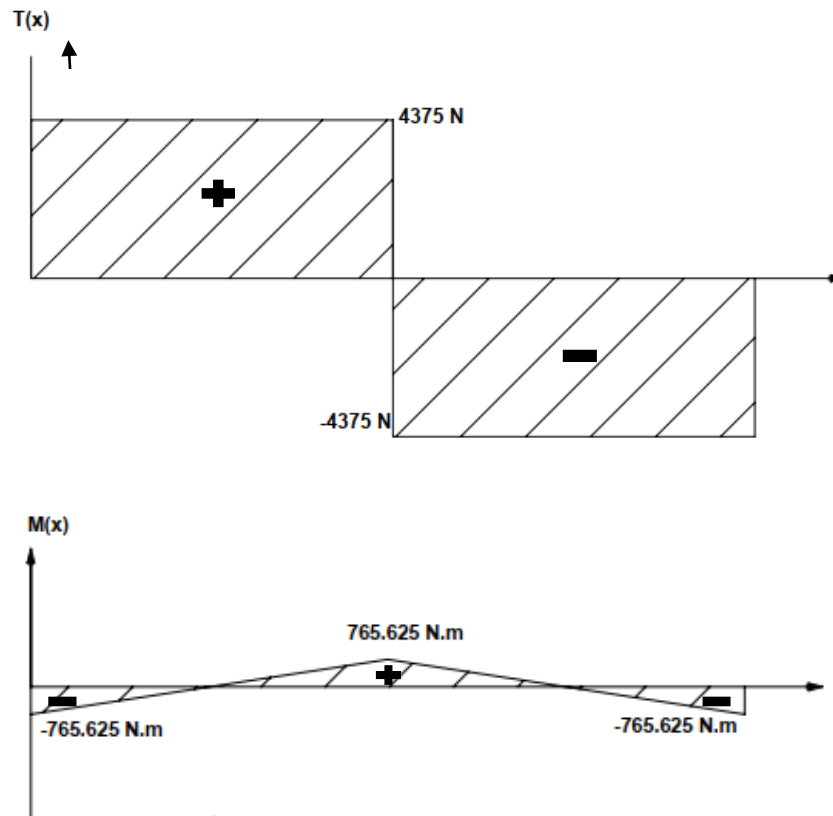


Figure III.15: Diagrammes de T(x) et M(x) du support en 2^{ème} plan.

III.3.1.4 Les Jambes

La longueur t des jambes doit être supérieure à la longueur de la flèche L pour assurer la stabilité et éviter le basculement.

Donc on a fixé t à 1800mm.

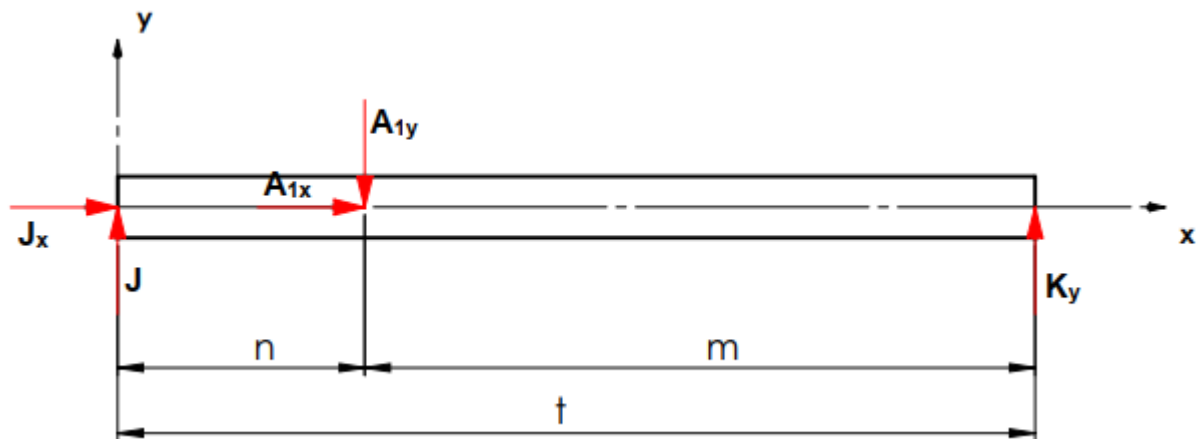


Figure III.16: La jambe.

$$n = 400 \text{ mm}, m = 1400 \text{ mm}, t = 1800 \text{ mm}.$$

$$\sum \vec{f}_{\text{ext}} = \vec{0} \Rightarrow \vec{J}_x + \vec{J}_y + \vec{A}_{1x} + \vec{A}_{1y} + \vec{K}_y = \vec{0}$$

Par projection selon l'axe x :

$$\sum f_x = 0 \Rightarrow J_x + A_{1x} = 0 \Rightarrow J_x = -A_{1x}$$

$$\boxed{J_x = -4375 \text{ N}}$$

Par projection selon l'axe y :

$$\sum f_y = 0 \Rightarrow J_y + K_y - A_{1y} = 0 \Rightarrow J_y + K_y = A_{1y} = 8750 \text{ N} \quad (13)$$

$$\sum M_{/J} = 0 \Rightarrow A_{1y} \cdot n - K_y \cdot t = 0 \Rightarrow K_y = \frac{A_{1y} \cdot n}{t} = \frac{8750 \times 400}{1800}$$

$$\boxed{K_y = 1944.44 \text{ N}}$$

En remplaçant la valeur de K_y sur l'équation (13) :

$$\boxed{J_y = 6805.56 \text{ N}}$$

Les efforts tranchants, normaux et les moments fléchissants :**Section I : $0 \leq x \leq n$:**

$$T(x) = J_y \Rightarrow \boxed{T(x) = 6805.56 \text{ N}}$$

$$N(x) = -J_x \Rightarrow \boxed{N(x) = 4375 \text{ N}}$$

$$M(x) = J_y \cdot x \Rightarrow M(x) = 6805.56x$$

$$\boxed{M(0) = 0 \text{ N. mm}}$$

$$\boxed{M(n) = 2722224 \text{ N. mm}}$$

Section II : $n \leq x \leq t$:

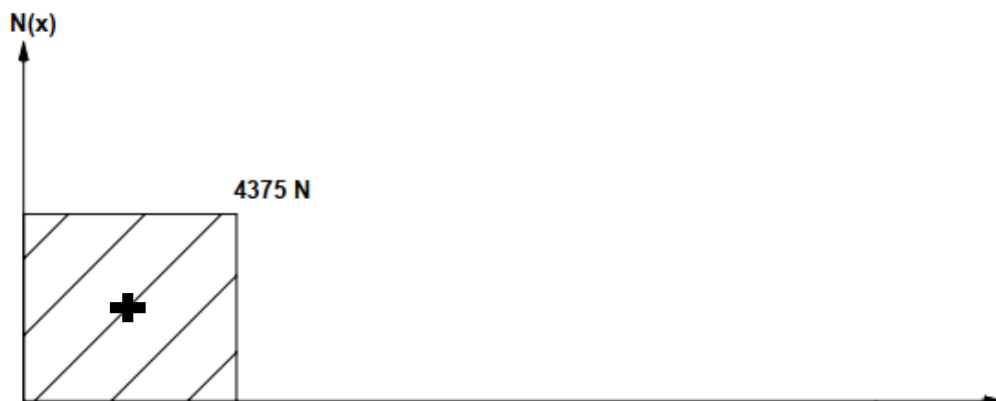
$$T(x) = J_y - A_{y1} = 6805.56 - 8750 \Rightarrow \boxed{T(x) = -1944.44 \text{ N}}$$

$$N(x) = -J_x - A_{x1} = 4375 - 4375 \Rightarrow \boxed{N(x) = 0 \text{ N}}$$

$$M(x) = J_y \cdot x - A_{y1}(x - n) \Rightarrow M(x) = -1944.44x + 3500000$$

$$\boxed{M(n) = 2722224 \text{ N. mm}}$$

$$\boxed{M(t) = 8 \text{ N. mm}}$$

Diagrammes des efforts tranchants, normaux et des moments fléchissants :

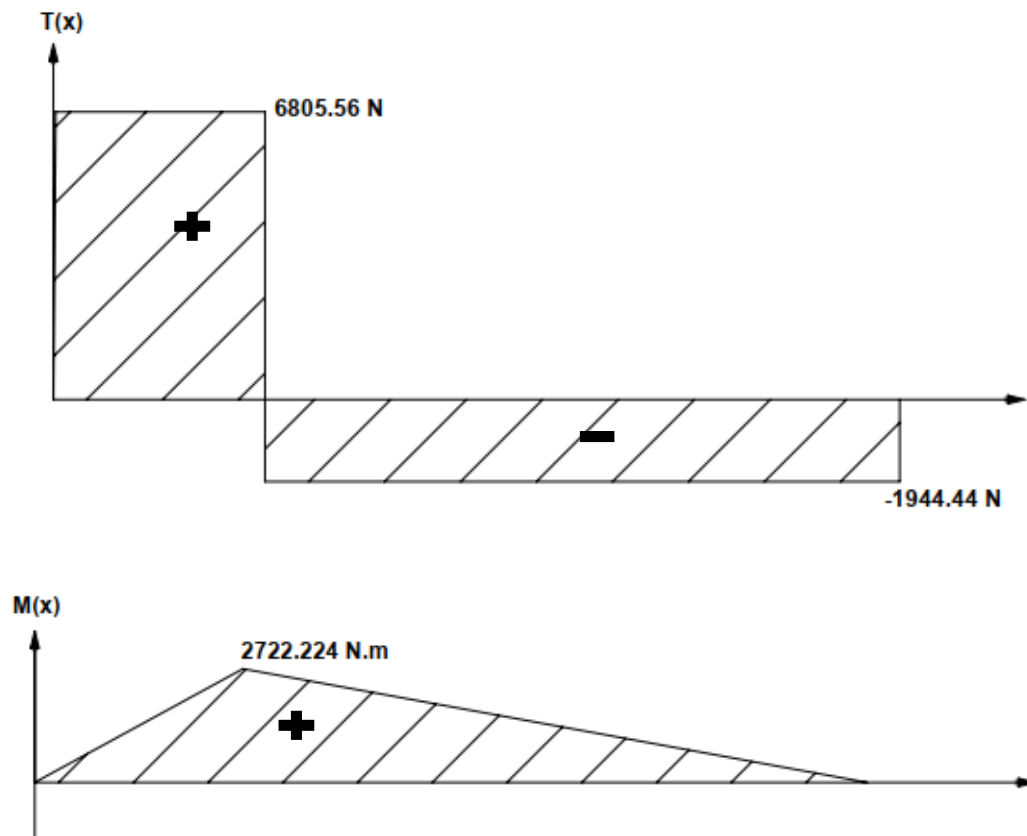


Figure III.17: Diagrammes de $N(x)$, $T(x)$ et $M(x)$ de la jambe.

III.3.2 Choix des sections et des matières

Lors du choix des sections et les matières appropriées, on a décomposé notre grue en deux parties essentielles : le bâti et la flèche.

Les composants du bâti sont : la colonne, les jambes, la barre arrière et le support de la colonne, et la flèche se compose d'un profil fixe et un profil télescopique.

III.3.2.1 Le bâti

Les composants du bâti doivent avoir la même section ainsi que la même matière pour des raisons économiques.

La colonne est le composant le plus sollicité d'après les calculs précédents : le moment fléchissant maximal qui lui est appliqué est supérieure aux moments appliqués sur les autres composants.

Donc, on va choisir les sections et la matière en se basant sur la colonne.

Les matières les plus communes pour la fabrication des grues d'ateliers sont les aciers de construction (S225, S275, S355...), dans notre cas on a choisi l'acier S355 avec un coefficient de sécurité 1.5.

Choix de la section de la colonne :

$$\text{On a : } \sigma_{\text{eq}} = \sqrt{(\sigma_N + \sigma_f)^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_{\text{adm}}$$

$$\text{Et: } \sigma_f = \frac{M_{\text{fmax}}}{W},$$

$$\tau = k \frac{T}{S},$$

$$\sigma_N = \frac{N}{S}.$$

$$\text{Donc : } \sigma_{\text{eq}} = \sqrt{\left(\frac{N}{S} + \frac{M_{\text{fmax}}}{W}\right)^2 + 3\left(\frac{3}{2} \times \frac{T}{S}\right)^2}.$$

$$\text{Et: } \sigma_{\text{adm}} = \frac{R_e}{s}$$

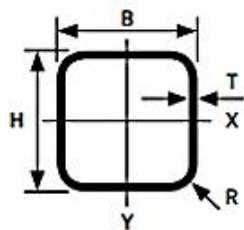
D'après les calculs RDM précédents, on a trouvé :

$$M_{\text{fmax}} = 8839710 \text{ N.mm}, T = 4529.33 \text{ N}, N = 16903.7 \text{ N}.$$

$$\text{Et on a par condition : } \sigma_{\text{adm}} = \frac{355}{1.5} = 236.67 \text{ MPa}.$$

En utilisant le catalogue technique des tubes structurels (Figure III.18), on peut identifier les différentes sections existées et leurs paramètres.

Et pour trouver la section appropriée, on va calculer la contrainte équivalente de chacune de certaines sections par ordre croissant, jusqu'à ce que la meilleure section soit atteinte.



M = Weight
 A = Cross-section area
 A_e = External surface area
 I = Moment of inertia
 W = Section modulus

W_p = Plastic section modulus
 $i_x = i_y$ = Radius of gyration
 $I_x = I_y$ = Torsion modulus
 $W_x = W_y$ = Section modulus in torsion
 Theoretical density = 7.85 kg/dm³

The cross-sectional properties have been calculated by using nominal dimensions H, B and T and corner outer radius R.
 R = 2.0 x T, when T ≤ 6.0 mm
 R = 2.5 x T, when 6.0 mm < T ≤ 10.0 mm
 R = 3.0 x T, when T > 10.0 mm

H x B mm	T mm	M kg/m	A mm ² x 10 ²	A_e m ² /m	$I_x = I_y$ mm ⁴ x 10 ⁴	$W_x = W_y$ mm ³ x 10 ³	$W_{px} = W_{py}$ mm ³ x 10 ³	$i_x = i_y$ mm x 10	I_x mm ⁴ x 10 ⁴	W_x mm ³ x 10 ³
70x70	2.5	5.17	6.59	0.271	49.41	14.12	16.54	2.74	78.49	21.22
70x70	3.0	6.13	7.81	0.270	57.53	16.44	19.42	2.71	92.42	24.74
70x70	4.0	7.97	10.15	0.266	72.12	20.61	24.76	2.67	118.52	31.11
70x70	5.0	9.70	12.36	0.263	84.63	24.18	29.56	2.62	142.21	36.65
80x80	2.5	5.96	7.59	0.311	75.15	18.79	21.9	3.15	118.52	28.22
80x80	3.0	7.07	9.01	0.310	87.84	21.96	25.78	3.12	139.93	33.02
80x80	4.0	9.22	11.75	0.306	111.04	27.76	33.07	3.07	180.44	41.84
80x80	5.0	11.30	14.36	0.303	131.44	32.86	39.74	3.03	217.83	49.68
80x80	6.0	13.20	16.83	0.299	149.18	37.29	45.79	2.98	252.07	56.59
90x90	2.5	6.74	8.59	0.351	108.55	24.12	28.00	3.56	170.26	36.23
90x90	3.0	8.01	10.21	0.350	127.28	28.29	33.04	3.53	201.42	42.51
90x90	4.0	10.50	13.35	0.346	161.92	35.98	42.58	3.48	260.80	54.17
90x90	5.0	12.80	16.36	0.343	192.93	42.87	51.41	3.43	316.26	64.70

Figure III.18: catalogue technique des tubes structuraux.

Voici le tableau récapitulatif des résultats des contraintes équivalentes calculées des différentes sections :

Section B x B x T (mm)	Section S (mm ² x 10 ²)	W (mm ³ x 10 ³)	σ_f (MPa)	σ_N (MPa)	τ (MPa)	σ_{eq} (MPa)
70 x 70 x 2.5	6.59	14.12	626	26	10	651,94
70 x 70 x 3	7.81	16.44	538	22	9	559,54
70 x 70 x 4	10.15	20.61	429	17	7	445,71
70 x 70 x 5	12.36	24.18	366	14	5	379,37
80 x 80 x 2.5	7.59	18.79	470	22	9	492,96
80 x 80 x 3	9.01	21.96	403	19	8	421,50
80 x 80 x 4	11.75	27.76	318	14	6	332,97
80 x 80 x 5	14.36	32.86	269	12	5	280,90
90 x 90 x 2.5	8.59	24.12	367	20	8	386,41
90 x 90 x 3	10.21	28.29	312	17	7	329,22
90 x 90 x 4	13.35	35.98	246	13	5	258,50
90 x 90 x 5	16.36	42.87	206	10	4,00	216,65

Tableau 3: Les contraintes équivalentes en fonction des sections.

D'après le tableau 3, on constate que la section $90 \times 90 \times 5$ est plus convenable et résistante, parce que on remarque que la contrainte équivalente correspondante n'atteint pas la contrainte admissible: $216.65 \text{ MPa} < 236.67 \text{ MPa}$.

Vérification de la résistance pour les autres composants du bâti :

Le Support de la colonne :

On a:

$$M_{\text{fmax}} = 1531250 \text{ N. mm}, T = 8750 \text{ N. (Calculés)}$$

$$W = 42.87 \times 10^3 \text{ mm}^3. \text{ (Selon le catalogue montré sur la figure (III.18))}$$

$$S = 16.36 \times 10^2 \text{ mm}^2. \text{ (Selon le catalogue montré sur la figure (III.18))}$$

Alors :

$$\sigma_f = \frac{1531250}{42870} = 35.72 \text{ MPa.}$$

$$\tau = 1.5 \times \frac{8750}{1636} = 8 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_{\text{eq}} = \sqrt{(35.72)^2 + 3 \times 8^2} = 38.31 \text{ MPa.}$$

On remarque que : $38.31 \text{ MPa} < 236.67 \text{ MPa}$.

Donc le support de la colonne est vérifié.

La jambe :

On a :

$$M_{\text{fmax}} = 2722224 \text{ N. mm}, N = 4375 \text{ N}, T = 6805.56 \text{ N. (Calculés)}$$

$$W = 42.87 \times 10^3 \text{ mm}^3. \text{ (Selon le catalogue montré sur la figure (III.18))}$$

$$S = 16.36 \times 10^2 \text{ mm}^2. \text{ (Selon le catalogue montré sur la figure (III.18))}$$

Alors :

$$\sigma_f = \frac{2722224}{42870} = 63.5 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_N = \frac{4375}{1636} = 2.67 \text{ MPa.}$$

$$\tau = 1.5 \times \frac{6805.56}{1636} = 6.24 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(63.5 + 2.67)^2 + 3 \times 6.24^2} = 67 \text{ MPa.}$$

On remarque que : 67 MPa < 236.67 MPa.

Donc la jambe est vérifiée.

III.3.2.2 La flèche

Précédemment, on a fait notre calcul de la flèche en considérant qu'elle est une seule pièce rigide, mais réellement elle est composée de deux parties, un profil fixe et un profil télescopique intégré sur ce dernier afin de varier la longueur de la flèche selon l'utilisation.

La section du profil fixe est choisie comme la même que la colonne (90 × 90 × 5 mm), et la section du profil télescopique doit être inférieur pour assurer le chevauchement.

Donc la section choisie pour le profil télescopique est : 80 × 80 × 2.5 mm.

Vérification de la résistance :

Pour Le profil fixe :

On a:

$$M_{fmax} = 3159370 \text{ N. mm, } N = 1121.7 \text{ N, } T = 7500 \text{ N. (Calculés)}$$

$$W = 42.87 \times 10^3 \text{ mm}^3. \text{ (Selon le catalogue montré sur la figure (III.18))}$$

$$S = 16.36 \times 10^2 \text{ mm}^2. \text{ (Selon le catalogue montré sur la figure (III.18))}$$

Alors :

$$\sigma_f = \frac{3159370}{42870} = 73.7 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_N = \frac{1121.7}{1636} = 0.69 \text{ MPa.}$$

$$\tau = 1.5 \times \frac{7500}{1636} = 6.88 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(73.7 + 0.69)^2 + 3 \times 6.88^2} = 75.34 \text{ MPa.}$$

On remarque que : 75.34 MPa < 236.67 MPa.

Donc le profil fixe est vérifié.

Pour Le profil télescopique :

$$M_{fmax} = 3159370 \text{ N. mm, } N = 1121.7 \text{ N, } T = 7500 \text{ N. (Calculés)}$$

$$W = 18.79 \times 10^3 \text{ mm}^3. \text{ (Selon le catalogue montré sur la figure (III.18))}$$

$$S = 7.59 \times 10^2 \text{ mm}^2. \text{ (Selon le catalogue montré sur la figure (III.18))}$$

Alors :

$$\sigma_f = \frac{3159370}{42870} = 168.14 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_N = \frac{1121.7}{759} = 1.5 \text{ MPa.}$$

$$\tau = 1.5 \times \frac{7500}{759} = 14.82 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(168.14 + 1.5)^2 + 3 \times 14.82^2} = 171.6 \text{ MPa.}$$

On remarque que : 171.6 MPa < 236.67 MPa.

Donc le profil télescopique est vérifié.

III.4 Détermination des charges avec des longueurs variables de la flèche

La charge à la longueur maximale de la flèche ($L=1685$) est égale à 2500 N, quand on diminue la longueur la charge augmente, on va déterminer les charges qui peuvent être levées lorsqu'on varie la longueur de la flèche.

On a : $Q=2500$ N et $L=1685$ mm

$$M = Q \times L$$

$$M = 4212500 \text{ N. mm}$$

Lorsque : $L_1 = 1505$ mm

$$Q_1 = \frac{M}{L_1} = \frac{4212500}{1505}$$

$$Q_1 = 2800 \text{ N}$$

De même pour : $L_2 = 1325$ mm et $L_3 = 1145$ mm ,on trouve :

$$Q_2 = 3179 \text{ N}$$

$$Q_3 = 3679 \text{ N}$$

Voici une récapitulation des résultats ou des dimensions de notre grue d'atelier, le tableau suivant représente les différentes capacités de charges et les hauteurs de levage en fonction de la longueur de la flèche :

Longueur de la flèche(mm)	Charge(N)	Hauteur de levage(mm)
1685	2500	2519
1505	2800	2438
1325	3179	2298
1145	3679	2187

Tableau 4: Capacité de charge et hauteur de levage en fonction de la longueur de la flèche.

III.5 Le vérin hydraulique

Le vérin hydraulique est très important pour notre projet, il existe plusieurs types sur le marché, pour choisir le vérin le plus approprié pour notre grue il faut prendre en considération quelques critères,

Sur notre étude on a basé notre choix sur la force du vérin nécessaire pour le levage de la charge, et la course.

La force du vérin F_v est calculée précédemment, elle est égale à 10 KN.

La course du vérin est : 495 mm.

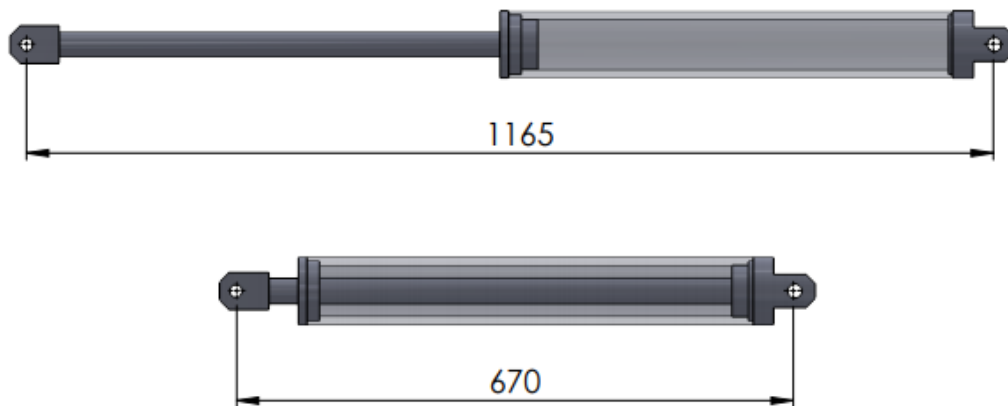


Figure III.19: Les longueurs maximale et minimale du vérin choisi.

III.6 Vérification de la stabilité

Après avoir dimensionné les composants de notre grue et assurer leur résistance, la question qui se pose est ce qu'il stable, donc il faut assurer que la grue ne bascule pas lors du fonctionnement.

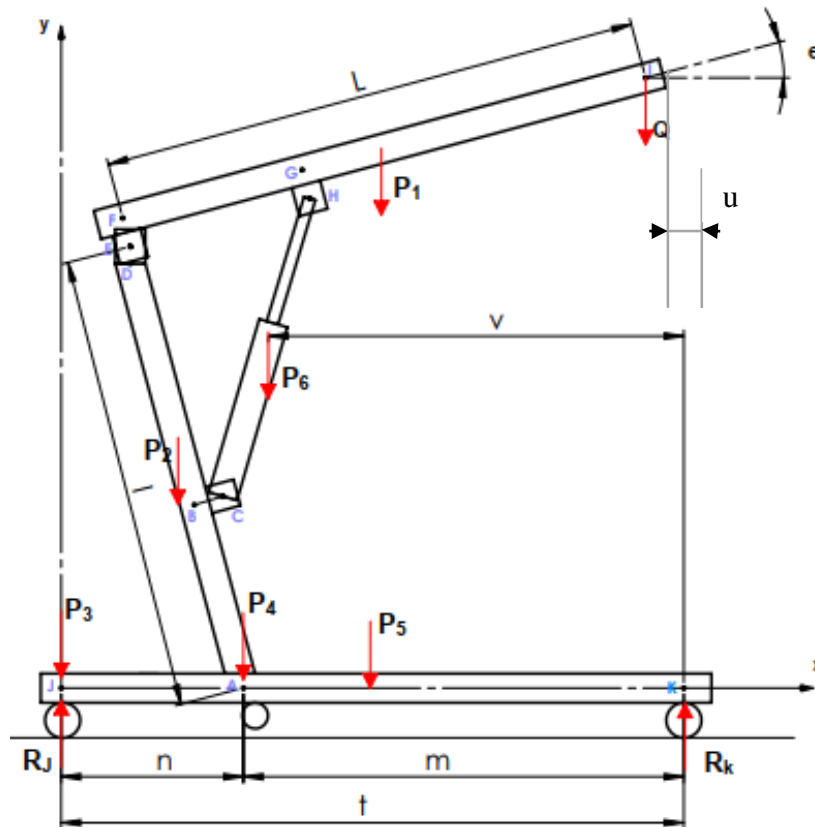


Figure III.20: Représentation des forces de la pesanteur des composants.

III.6.1 Calcul du poids des composants

On connait que :

$$P = m \cdot g, \text{ Et } : m = \rho \cdot S \cdot L$$

$$\Rightarrow P = \rho \cdot S \cdot L \cdot g \quad (14)$$

$$\text{On a : } \rho = 7800 \text{ Kg/m}^3, \quad g = 10 \text{ N/Kg}$$

Et selon le catalogue montré sur la figure (III.18) :

$$S = 1.636 \times 10^{-3} \text{ m}^2.$$

Par remplacement des valeurs de la longueur de chaque composant sur l'équation (14) on trouve les résultats montrés sur le tableau suivant :

Composant		Longueur(m)	Poids(N)
P ₁	Flèche	1.685	215
P ₂	Colonne	1.4	178.65
P ₃	Barre arrière	0.7	89.33
P ₄	Support	0.7	89.33
P ₅	Jambe	1.8	229.7
P ₆	Vérin	/	120

Tableau 5: Les poids des composants.

III.6.2 Lorsque la flèche est en position horizontal

Voir figure (III.13), Dans ce cas l'angle θ est égale à 0, $v=1309.61$ mm et $u=77$ mm.

$$\sum f_y = R_J + R_K - Q - P_1 - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 = 0$$

$$R_J + R_K = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6$$

$$R_J + R_K = 3422 \text{ N} \quad (15)$$

$$\sum M_{/K} = R_J \cdot t - Q \cdot u - P_1 \left(\frac{L}{2} \cos \theta + u \right) - P_2(n \cos \gamma + m) - P_3 \cdot t - P_4 \cdot m - P_5 \cdot \frac{t}{2} - P_6 \cdot v$$

(16)

$$\boxed{R_J = 727 \text{ N}}$$

En remplaçant la valeur de R_J sur l'équation (15), on trouve :

$$\boxed{R_K = 2695 \text{ N}}$$

R_J et $R_K > 0$, donc le système est stable.

III.6.3 Lorsque la flèche atteint la hauteur maximale

Voir figure (III.13), Dans ce cas l'angle θ est égale à 38° , $v=1432.48$ mm et $u=497.36$ mm.

Par application numérique sur l'équation (16), on trouve :

$$R_J = 1348 \text{ N}$$

En remplaçant la valeur de R_J sur l'équation (15), on trouve :

$$R_K = 2074 \text{ N}$$

R_J et $R_K > 0$, donc le système est stable.

III.6.4 Lorsque la flèche atteint la hauteur minimale

Voir figure (III.13), Dans ce cas l'angle Θ est égale à 35° , $v=1422.37$ mm et $u= 310.7$ mm.

Par application numérique sur l'équation (16), on trouve :

$$R_J = 1069 \text{ N}$$

En remplaçant la valeur de R_J sur l'équation (15), on trouve :

$$R_K = 2353 \text{ N}$$

R_J et $R_K > 0$, donc le système est stable.

III.7 Les roues appropriées

Afin de calculer la charge unitaire requise de nos roulettes, il vous faut prendre en compte trois paramètres :

Le poids à vide de l'objet roulant

+

La charge maximale à transporter

+

Le nombre de roulettes que l'on peut installer au maximum

On a calculé précédemment les poids des composants du notre mécanisme, donc le poids à vide de la grue est : $21.5 + 17.865 + 8.933 \times 2 + 22.97 \times 2 + 12 = 115.171$ Kg

La charge maximale à transporter est déterminée d'être : 368 Kg

On veut installer quatre roues, en appliquant la formule suivante :

$$CU = \frac{P_{\max} \times S}{N} \quad \text{Avec :}$$

CU : charge unitaire requise par roue.

P_{max}: Poids maximale à transporter + poids du support.

S : Coefficient de sécurité compris entre 1,3 et 2.

N : Nombre de roulettes souhaitées. [16]

On trouve :

$$CU = \frac{(115 + 368) \times 1.3}{4} = 157 \text{ Kg}$$

Alors, la charge unitaire requise pour une roue est : **157 Kg**.

Chapitre 04

Conception du monte-charge

IV. Conception du monte-charge

IV.1 Introduction

Après avoir dimensionné tous les éléments du notre mécanisme, dans ce chapitre on va présenter les résultats de la conception finale effectuée sur le logiciel SolidWorks : les différentes pièces et l'assemblage final, prise en charge avec les mises en plans : les dessins de chaque pièce ainsi que le dessin de définition comme annexe.

IV.2 Introduction au logiciel SOLIDWORKS [13]

SolidWorks est un logiciel de CAO, appartenant à la société Dassault Systèmes, fonctionnant sous Windows.

- Le logiciel SolidWorks permet de :
- Concevoir des objets en 3D de manière très précise.
- Développer des produits
- Vérifier la conception des fichiers créés
- Détenir une bibliothèque des fichiers 3D
- Mettre en place des mises en plan 2D
- Créer des images et animations des objets 3D
- Estimer le coût de la fabrication des objets 3D

IV.2.1 Fonctionnement

Le logiciel est un modeleur 3D utilisant la conception paramétrique, basé sur des fonctions dont les deux principales catégories sont : les fonctions esquissées et les fonctions appliquées.

- **Fonctions esquissées** : Fonction basée sur une esquisse 2D. Elle est généralement transformée en volume par extrusion, révolution, balayage, coulissage.
- **Fonctions appliquées** : Fonction créée directement sur le modèle volumique. Les congés et les chanfreins sont des exemples de ce type de fonction.

IV.2.2 Concepts de base

Le logiciel génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation, c.-à-d. que toute modification à n'importe quel niveau, se répercute vers tous les fichiers concernés.

IV.2.2.1 Pièce

Une pièce est la réunion d'un ensemble de fonctions volumiques avec des relations géométriques et autres (ajout retrait) ... Cette organisation est rappelée sur l'arbre de construction.

Parmi les fonctions génératrices, on trouve :

- Extrusion. Déplacement d'une section droite dans une direction perpendiculaire à la section. La section est définie dans une esquisse.
- Révolution. Déplacement d'une section droite autour d'un axe.
- Balayage. Déplacement d'une section droite le long d'une trajectoire.

D'autres fonctions, plutôt orientées métier intègrent des notions : Congés et chanfreins, nervures, dépouilles, coque, trous normalisés (perçages, mortaises...), Plis de tôle...

Des fonctions d'ordre logiciel comme la répétition linéaire, circulaire, curviligne ou par symétrie...

Les possibilités d'éditeurs sont complétées par un ensemble d'outils de mesures géométriques par lesquels il est possible de connaître le volume de la pièce, son poids, la position de centre de masse, sa matrice d'inertie, la surface...

IV.2.2.2 Assemblage

Les assemblages sont obtenus par le rapprochement de pièces. La mise en position de pièces est définie par un ensemble de contraintes d'assemblage associant, deux entités respectives par une relation géométrique (coïncidence, tangence, coaxialité...). Le mécanisme monté possédant des mobilités, peut être manipulé virtuellement. On peut alors aisément procéder à des réglages à l'aide des différents outils disponibles (déplacement composants, détection de collision ou d'interférence, mesure des jeux, etc.)

IV.2.2.3 Mise en plan

Les mises en plan concernent à la fois les pièces (dessin de définition) ou les assemblages (dessin d'ensemble). Son principe est créer une projection de l'objet. Pour aboutir à un plan fini d'une pièce on peut estimer mettre 2 fois moins de temps qu'avec un outil DAO (temps de conception et exécution du dessin).

IV.2.3 Produits associés et extensions des fichiers

Un certain nombre de modules complémentaires qui s'interfaçent avec SolidWorks :

- SolidWorks Simulation.
- SolidWorks Flow Simulation.
- SolidWorks Motion.
- SolidWorks Routing.
- SolidWorks Toolbox.

IV.3 Résultat de la conception finale :



Figure IV.1: Conception finale de la grue d'atelier.

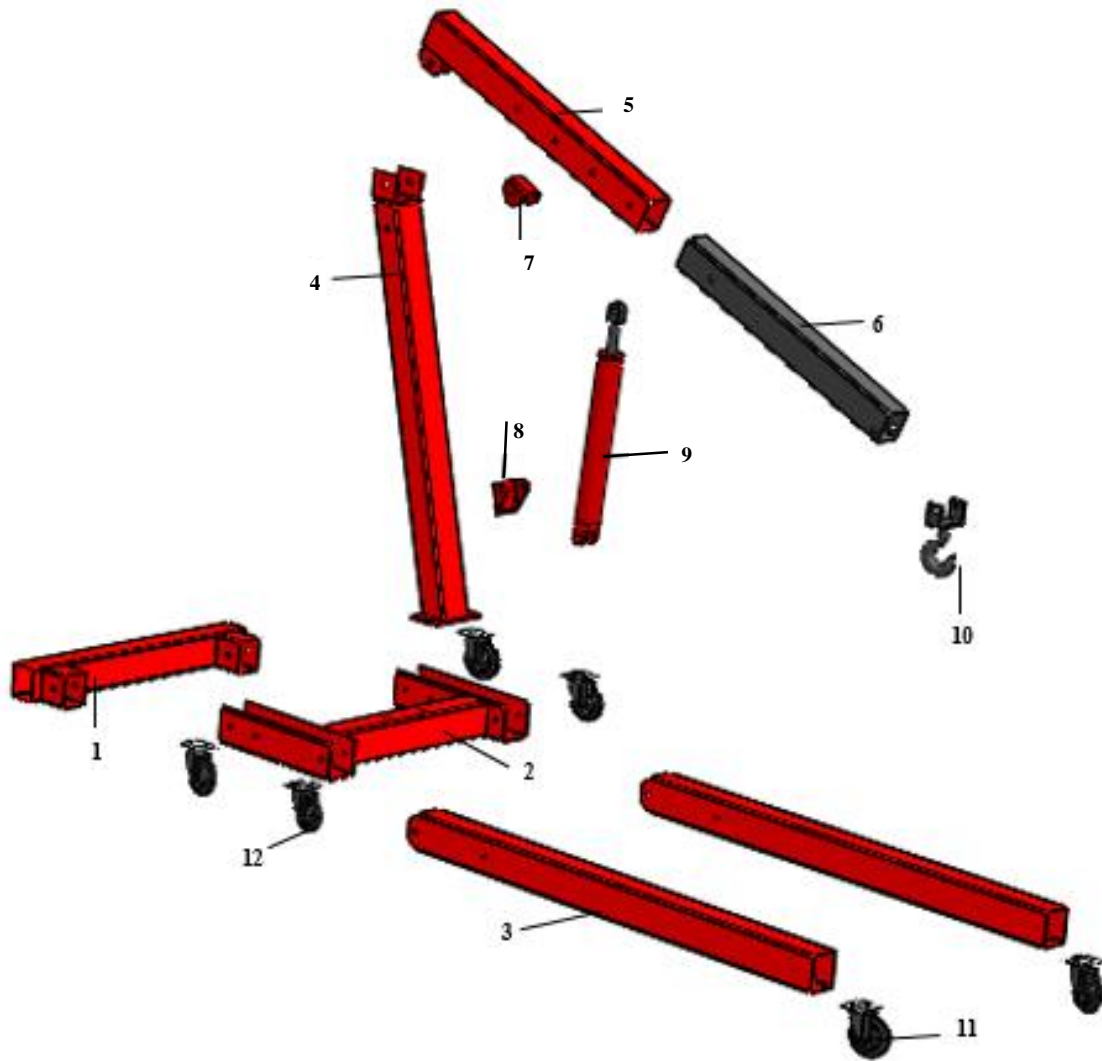


Figure IV.2: Vue éclatée de la grue d'atelier.

Le tableau suivant nous identifie les pièces montrées sur la figure (IV.2) :

No. ARTICLE	NUMERO DE PIECE	QTE
1	Base	1
2	Support	1
3	Jambe	2
4	Colonne	1
5	Profil de levage	1
6	Profil télescopique	1

7	Support supérieur du piston	1
8	Support du sous-piston	1
9	Vérin hydraulique	1
10	Crochet	1
11	Roue 1	4
12	Roue 2	2

Tableau 6: Nomenclature

Avant l'assemblage, on a commencé avec la conception des pièces unitaires :

La flèche est composée de deux pièces essentielles chevauchées l'un dans l'autre : un profil fixe et un profil télescopique.

Le profil de levage est la partie fixe de la flèche :

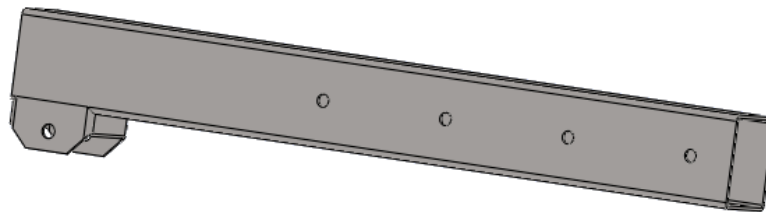


Figure IV.3: Profil de levage.

Et le profil télescopique est la partie mobile qui détermine la longueur de la flèche voulue :

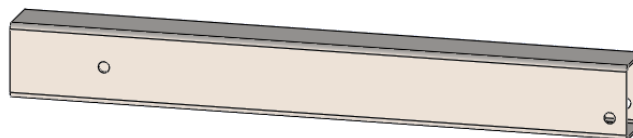


Figure IV.4: Profil télescopique.

La colonne est partie qui maintient tout l'ensemble, elle est le cadre principal ou le poteau vertical :

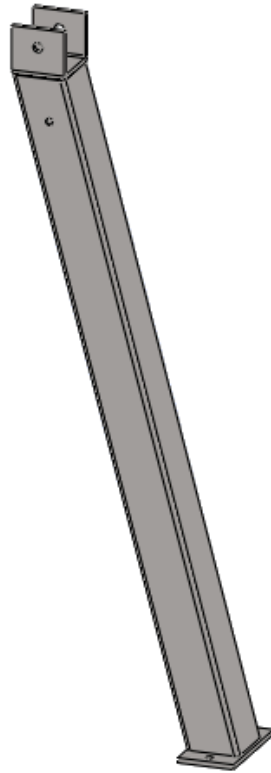


Figure IV.5: Colonne.

La base est l'une des pièces qui composent le châssis, elle porte des roues arrière :

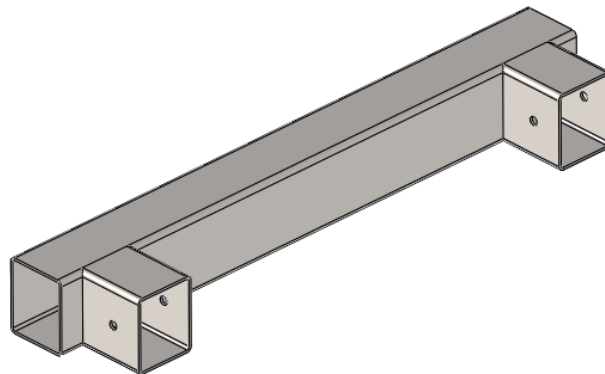


Figure IV.6: Base.

Le support est la pièce qui porte la colonne et qui relie les autres pièces du châssis :

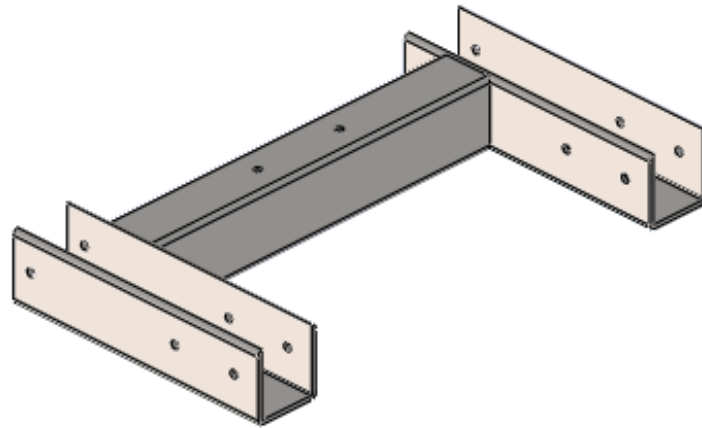


Figure IV.7: Support.

Le châssis aussi se compose de deux pièces indispensables, elles sont les jambes, ces derniers aussi portent les roues avant :

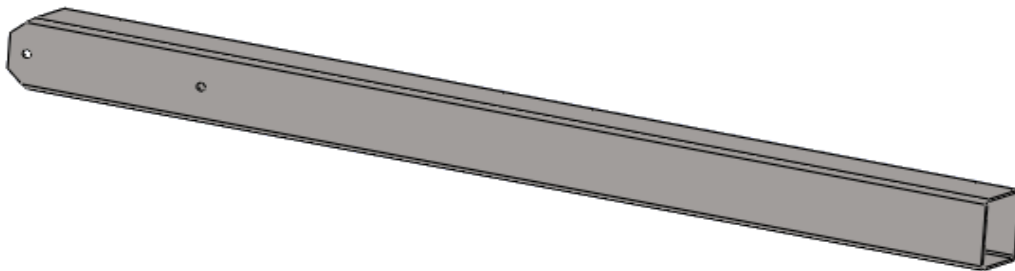


Figure IV.8: Jambe.

Le support supérieur du piston et le support du sous-piston assurent les liaisons de vérin hydraulique avec la flèche et la colonne respectivement :

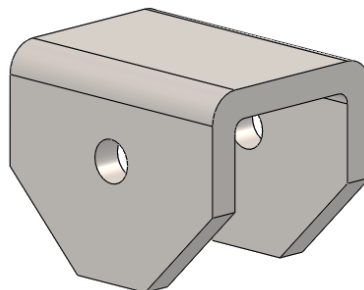


Figure IV.9: Support supérieur du piston.

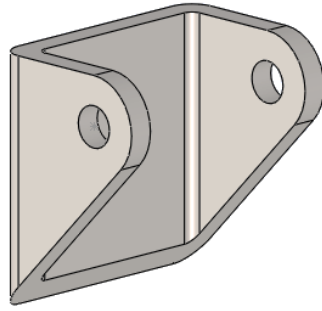


Figure IV.10: Support du sous-piston.

Figure IV.11: Support arrière.

Le vérin hydraulique est la partie qui assure le mouvement du levage et de descendre de la flèche :

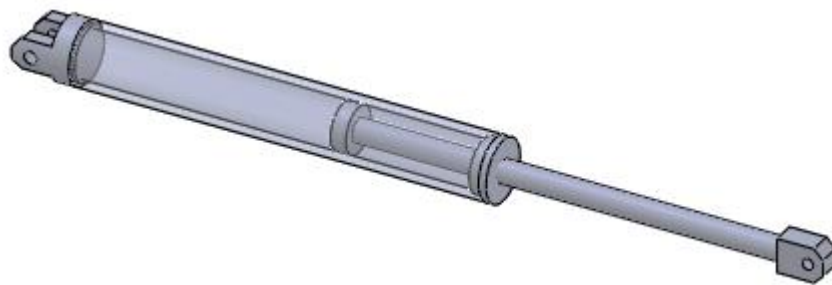


Figure IV.12: Vérin.

Il existe plusieurs accessoires d'accrochage pour assurer la fixation de la charge à lever, on a parlé déjà dans le premier chapitre :

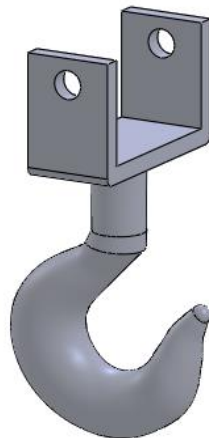


Figure IV.13: Crochet.

Notre grue est équipée de quatre roues pour assurer sa mobilité lors du fonctionnement, et deux autres roues de diamètre inférieur permettant le déplacement hors l'utilisation.

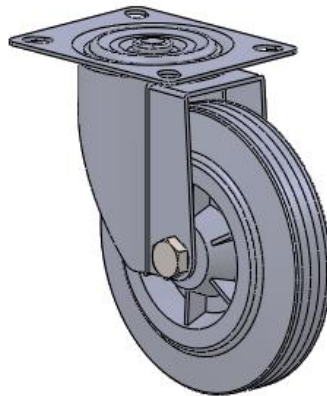
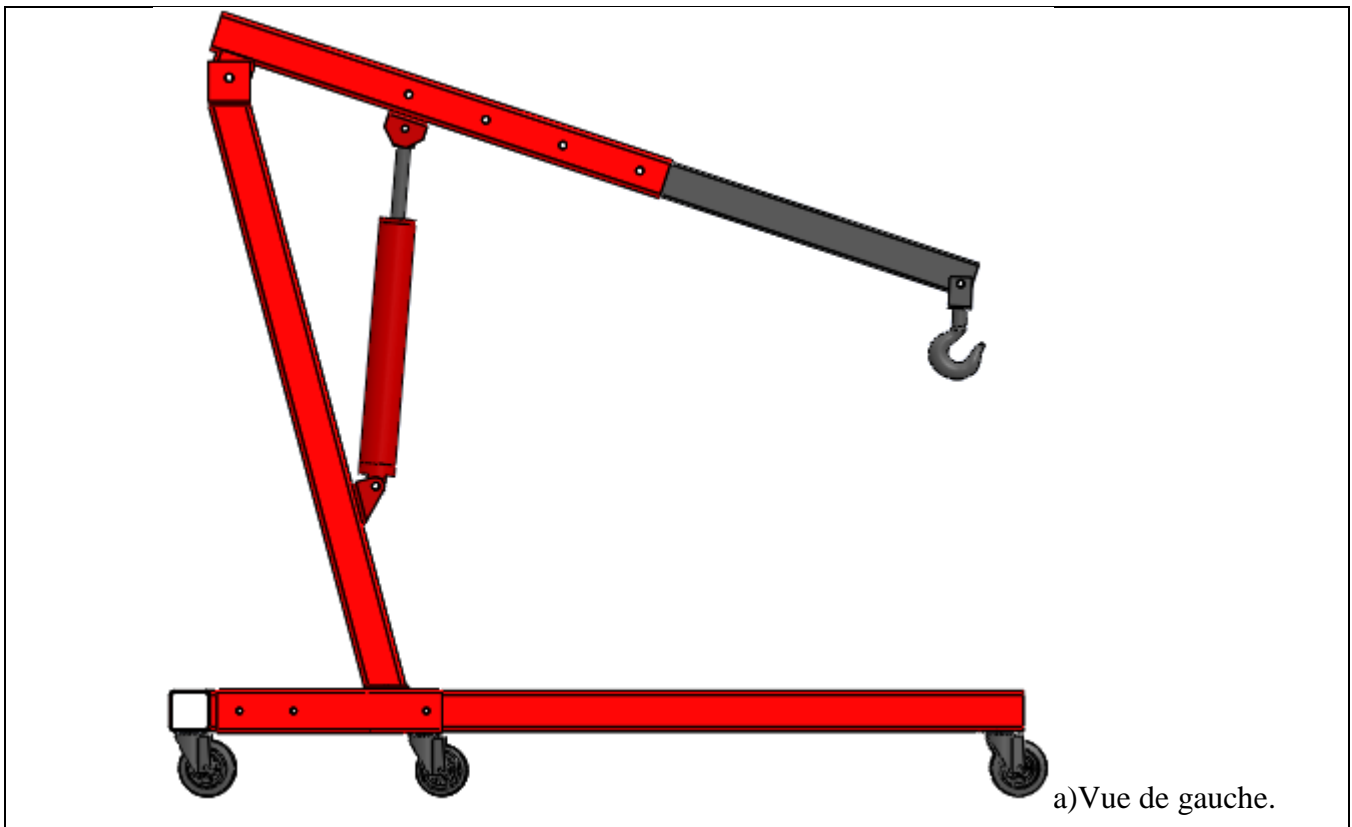


Figure IV.14: Roue.

Dans la figure IV.1 on a vu l'assemblage en 3D, la figure suivante représente les différentes vues :



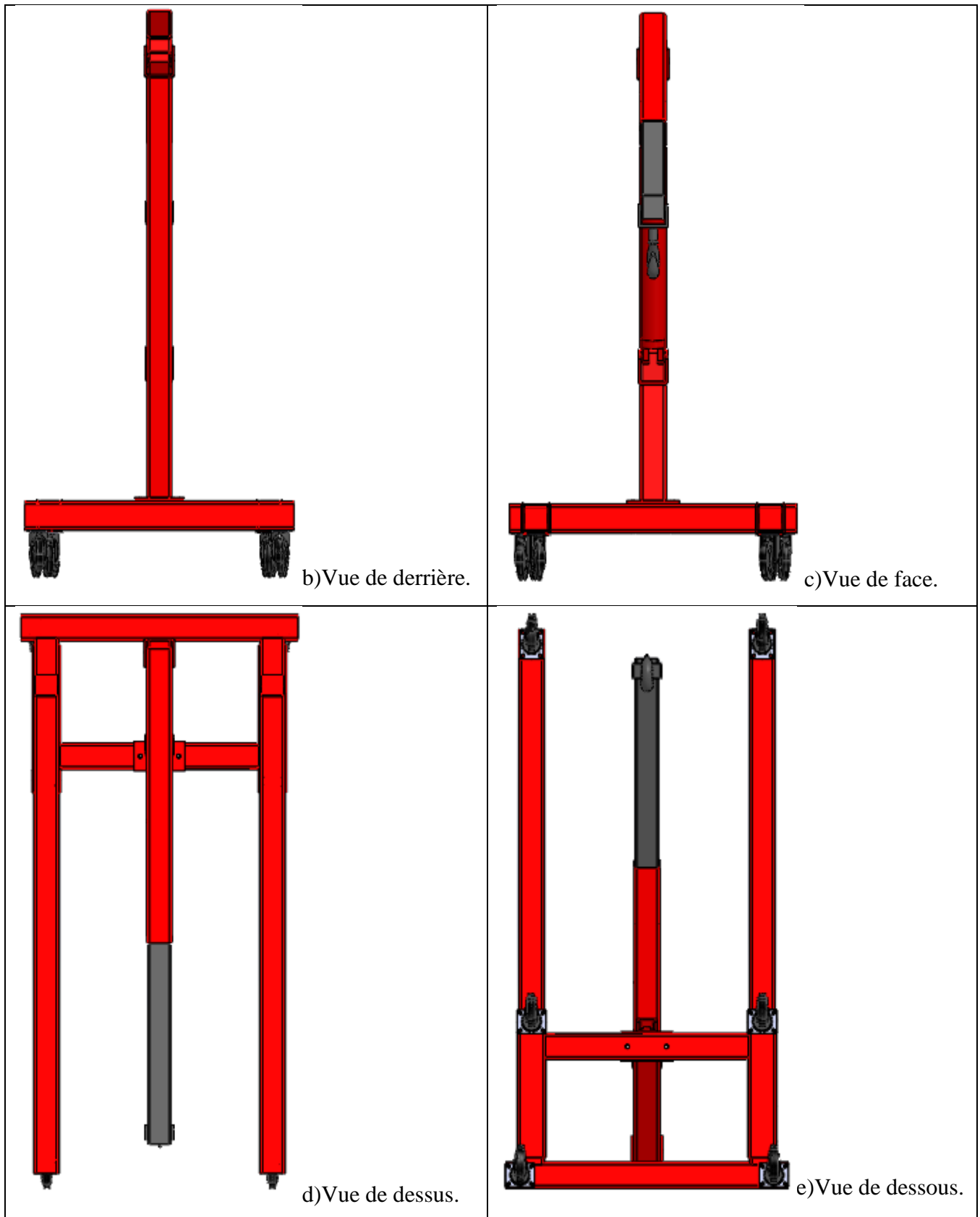


Figure IV.15: Différentes vues de la grue d'atelier.

Notre grue est conçue d'être démontable ou avec des jambes pliables pour faciliter de stockage hors l'utilisation.

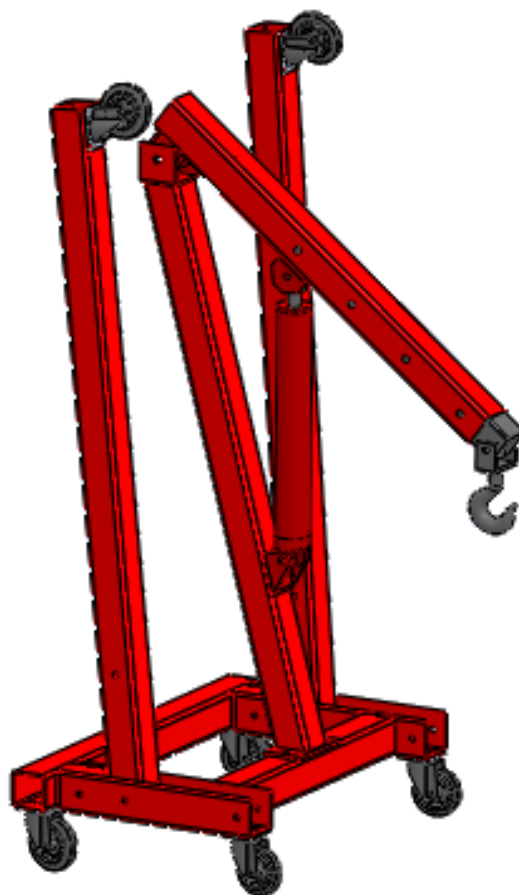


Figure IV.16: La grue d'atelier pliée.

Conclusion générale

Les appareils de levage et de manutention sont des équipements très utiles et fort répandus dans les secteurs industriels. Les travailleurs sont appelés régulièrement à réaliser des tâches de manutention mécanique.

Dans le cadre de la réalisation du projet de fin d'études, nous nous sommes occupés de la conception d'un monte-charge mobile afin de l'utiliser pour effectuer des tâches supérieures à la capacité humaine ou nécessitent des grands efforts.

Nous avons commencé notre travail avec une recherche bibliographique sur le sujet traité. Ensuite, nous avons fait l'analyse du problème à l'aide de la démarche de l'analyse fonctionnelle afin de choisir la meilleure solution. Après avoir choisi le concept optimal qui est la grue d'atelier nous avons passé sur l'étape de dimensionnement, on peut décomposer cette étape en trois parties essentielles, une étude cinématique, calcul des résistances des matériaux et choix des sections et des matières appropriées, puis une vérification de stabilité pour assurer le non basculement lors du fonctionnement. Finalement, nous avons fait la conception 3D sous l'logiciel SolidWorks, les mises en plan et le dessin d'assemblage.

En raison du temps limité et de certaines circonstances, Nous n'avons pas pu à atteindre à l'étape de la réalisation, mais au vu des résultats, nous pouvons dire que nous avons réussi à répondre correctement au cahier des charges et principalement l'objectif de la conception que nous avons pu atteindre.

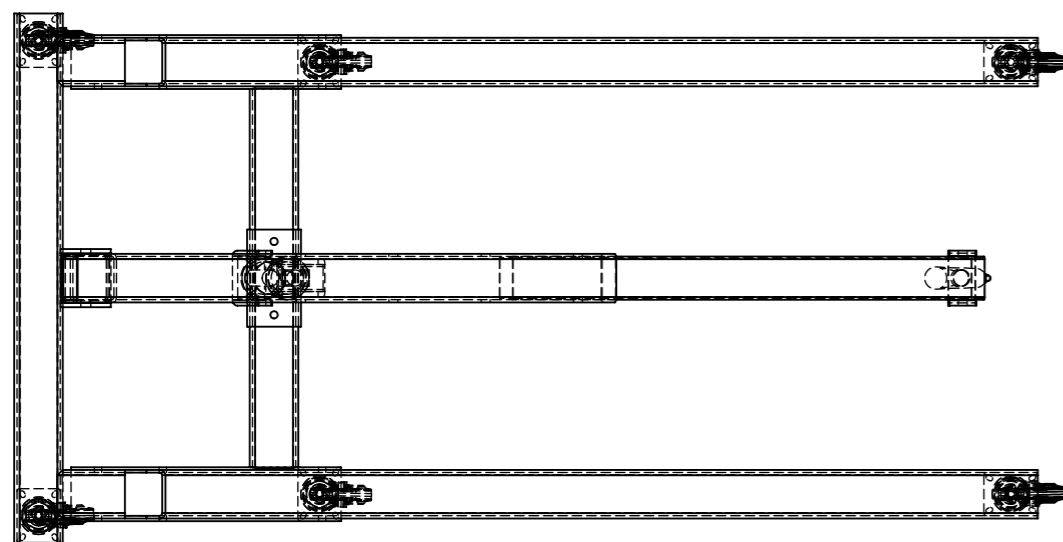
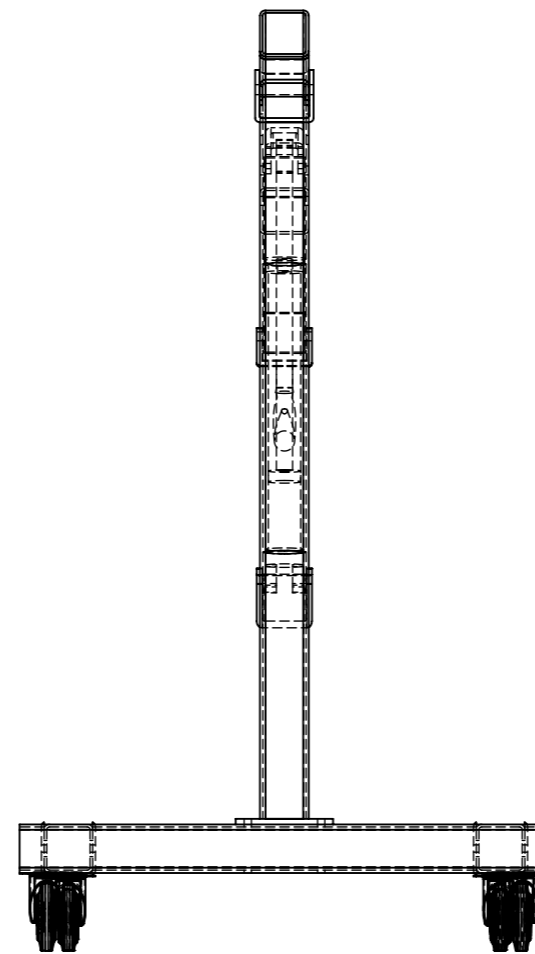
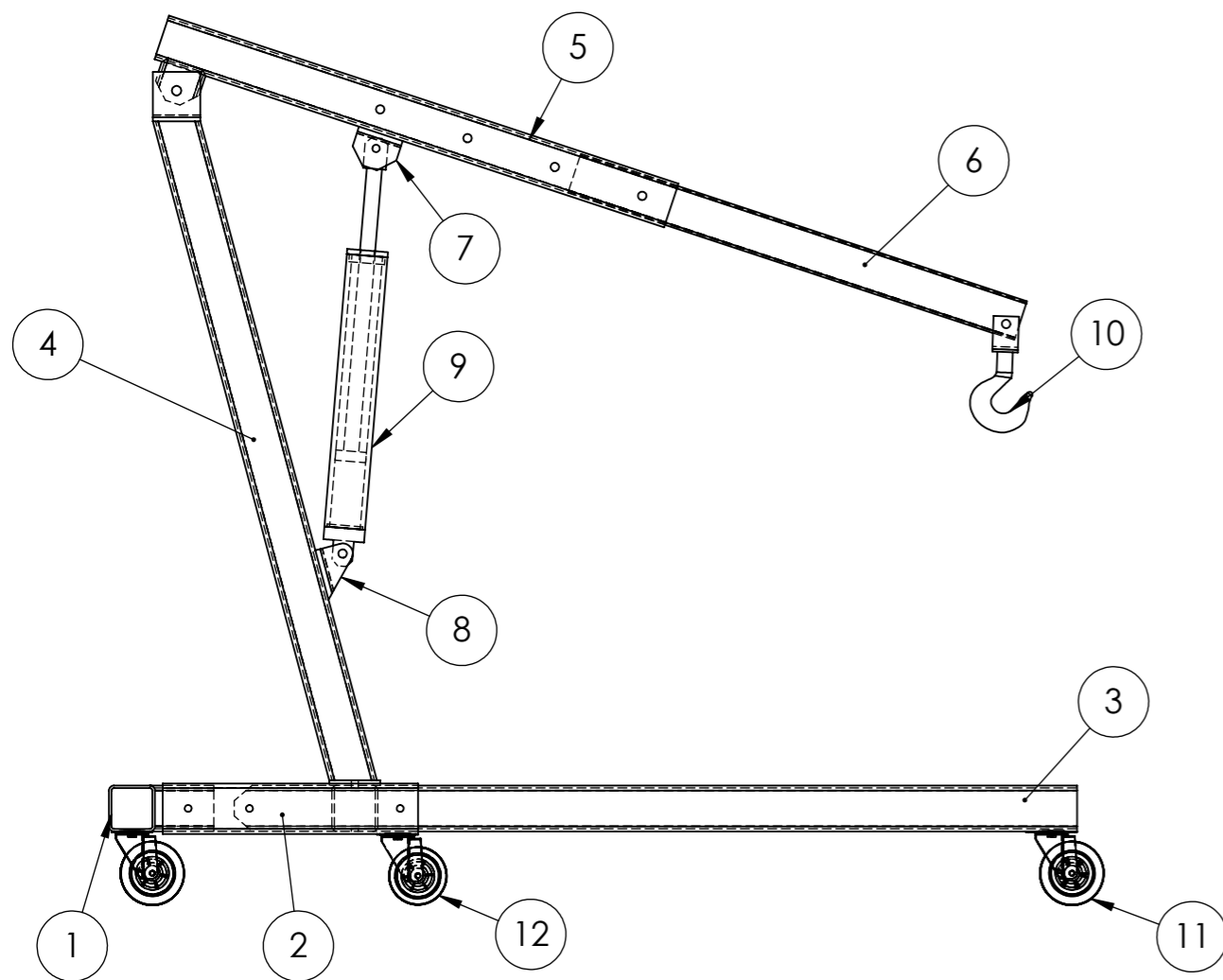
Nous recommandons à toute personne intéressée par l'édition ou l'amélioration de la conception actuelle de la grue d'atelier à prendre cette étude comme référence.

Bibliographie

- [1] E. Cancouët, E. Drye, "La gravité vaincue : grues et engins de levage", Carnets : Thèmes, Musée des arts et métiers : Conservatoire national des arts et métiers, Paris, 2000. ISBN : 978-2-908207-64-4
- [2] "Matériel de manutention, appareil de levage - Espace Equipement". Disponible sur : <https://www.espace-equipement.com/23-manutention> (Consulté le : 10/12/2021).
- [3] Stéphane Bernier et al., "La prévention des risques liés aux manutentions manuelles et mécaniques - S'organiser et apprendre à bien porter pour mieux se porter", 3^{ème} édition, Centre national de la recherche scientifique, 2003.
- [4] Djidjelli Housseem Eddine, Abada Saleh "Etude des risques technologiques liés au levage et manutention", Mémoire de Master, Université de Badji Mokhtar, Annaba, 2019.
- [5] "Votre spécialiste en manutention et levage pour les pros et particuliers - Materiel-manutention.com". Disponible sur : <https://materiel-manutention.com/> (Consulté le : 10/12/2021).
- [6] Azzoug Micipsa, "Etude et réalisation d'un chariot élévateur", Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2019.
- [7] Mano Mano, "Comment choisir sa grue d'atelier". Disponible sur : <https://www.manomano.fr/conseil/comment-choisir-sa-grue-d-atelier-2685> (Consulté le : 10/12/2021).
- [8] Officiel Prévention, "Les risques liés aux manutentions". Disponible sur : <https://www.officiel-prevention.com/dossier/protections-collectives-organisation-ergonomie/manutentions/les-risques-lies-aux-manutentions> (Consulté le 10/12/2021).
- [9] Jackadit, "Analyse fonctionnelle externe". Disponible sur : <http://jackadit.com/index.php?p=ecoconception2> (Consulté le : 10/12/2021).

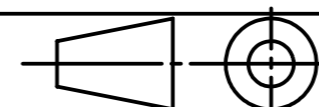
- [10] M. Tadesse et T. Meshesha, "Design and Development of Portable Crane in Production Workshop: Case Study in BISHOPTU AUTOMOTIVE INDUSTRY, Ethiopia", Am. J. Mech. Eng., Vol. 5, No. 2, 2017, DOI : [10.12691/ajme-5-2-2](https://doi.org/10.12691/ajme-5-2-2).
- [11] G. Sabatier, F. Ragusa, et H. Antz, "Manuel de technologie mécanique". Paris : Dunod, 2006. ISBN : 978-2-10-049992-2.
- [12] L. Gueraiche, "Conception des systèmes mécaniques", Cours en ligne pour Master 1-Construction mécanique, Université de Jijel, 2021. Disponible sur : <http://elearning.univ-jijel.dz/course/view.php?id=1367> (Consulté le : 10/12/2021).
- [13] S.-E. Bendaoudi, "Conception Assistée par Ordinateur", Polycopié de cours, Département de Génie Mécanique, Institut de Technologie, Université Ahmed Zabana de Relizane, 2017.
- [14] A. Gyan, "Planning a hydraulic hoist on a car trailer", Bachelor's thesis, Hamk University of Applied Sciences, Riihimäki, 2016.
- [15] J.-L. Fanchon, "Guide de mécanique : Sciences et technologies industrielles". Paris : Nathan, 2001. ISBN : 978-2-09-178965-1.
- [16] "Comment choisir la charge unitaire des roulettes ?", Blog. Disponible sur : <https://www.caujolle.fr/blog/fr/choisir-charge-unitaire-roulettes/> (Consulté le : 10/12/ 2021).

Annexes



No. ARTICLE	NUMERO DE PIECE	MATIERE	QTE
1	Base	S355	1
2	Support	S355	1
3	Jambe	S355	2
4	Colonne	S355	1
5	Profil de levage	S355	1
6	Profil télescopique	S355	1
7	Support supérieur du piston	S355	1
8	Support du sous-piston	S355	1
9	Vérin hydraulique		1
10	Crochet		1
11	Roue		4
12	Roue 2		2

MATIERE:



A3

**M2
CM**

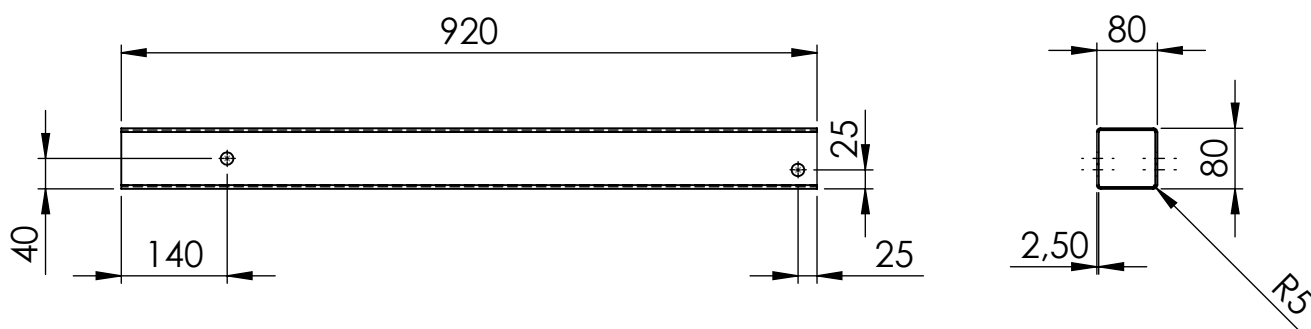
**ECH:
1/14**



UNIVERSITE DE JIJEL
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE M2-ST

GRUE D'ATELIER

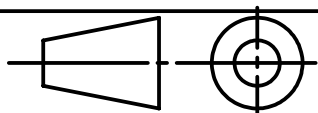
RABHI+DEBBACHE



MATIERE: S355

PROFIL TELESCOPIQUE

RABHI+DEBBACHE



GRUE D'ATELIER

A4

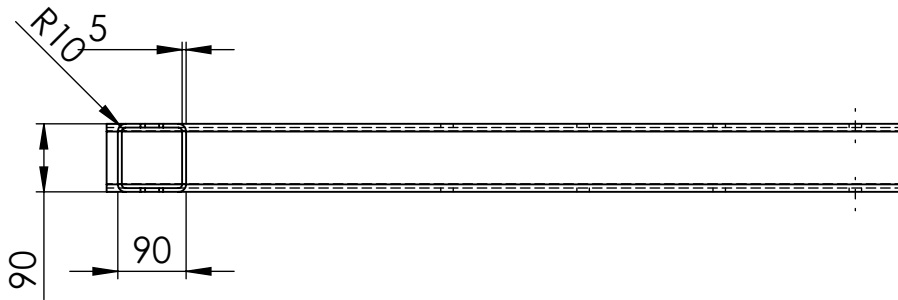
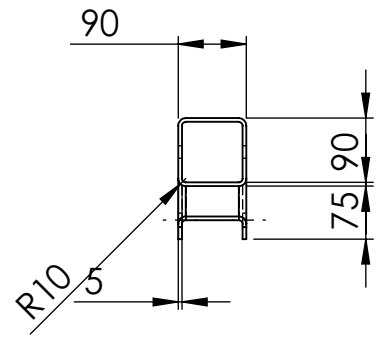
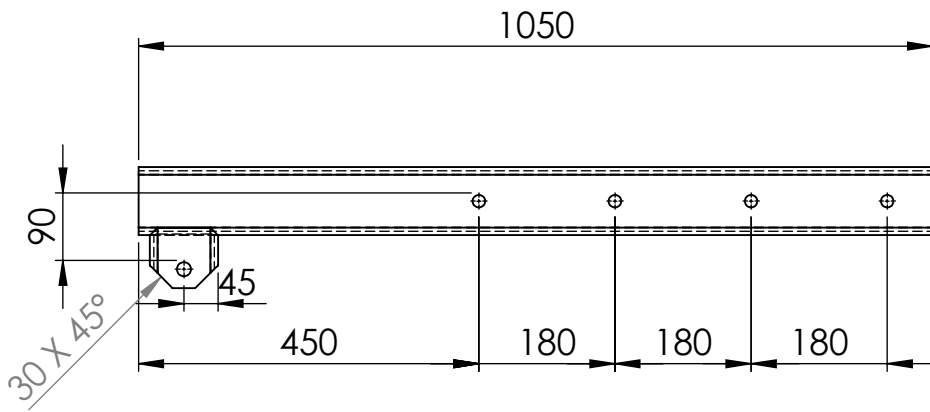
**M2
CM**

**ECH:
1/10**



UNIVERSITE DE JIJEL

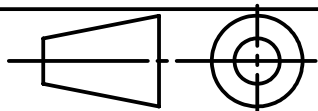
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE M2-ST



MATIERE: S355

PROFIL DE LEVAGE

RABHI+DEBBACHE



GRUE D'ATELIER

A4

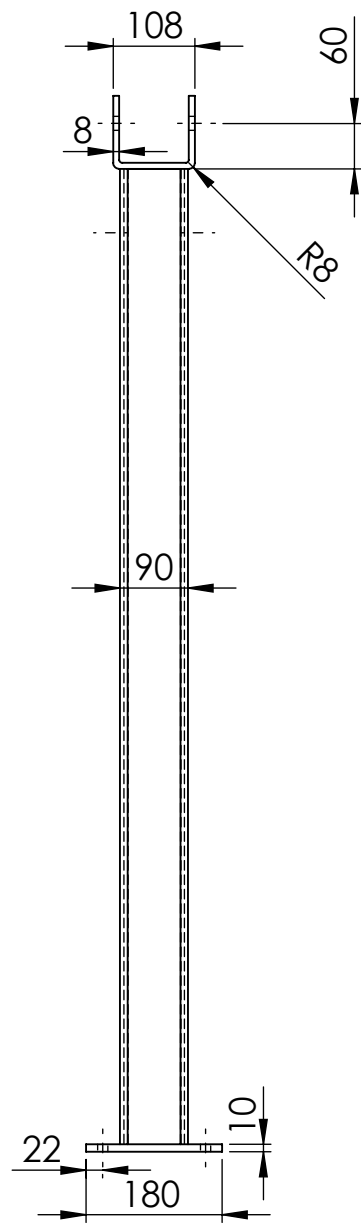
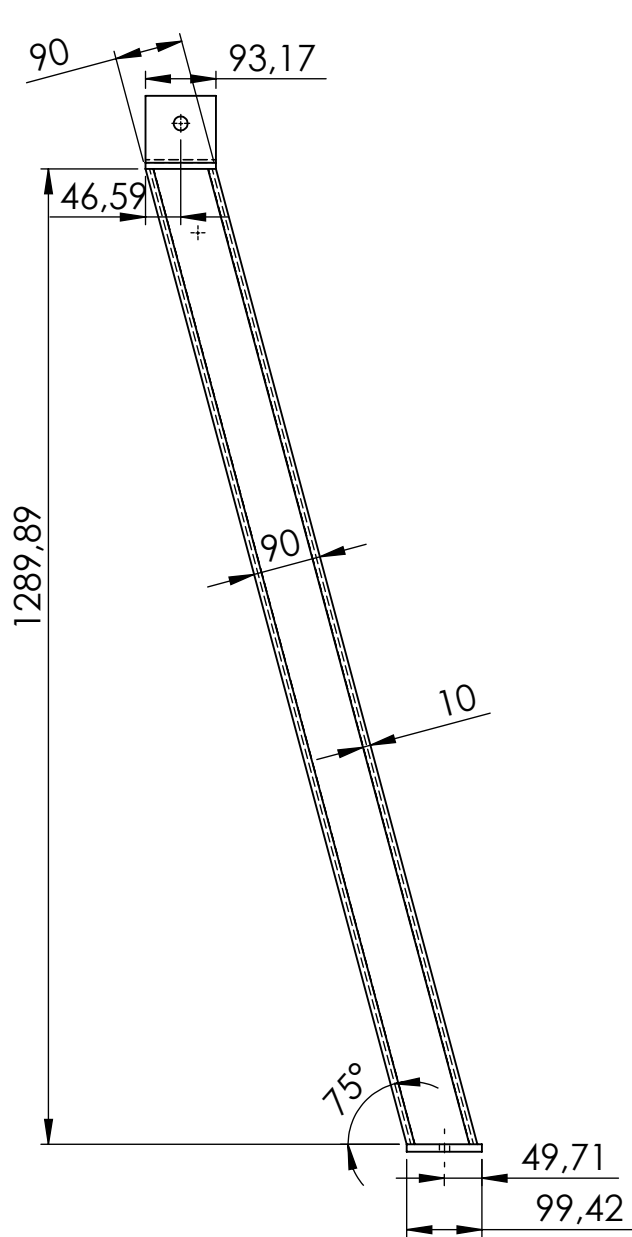
M2
CM

ECH:
1/10

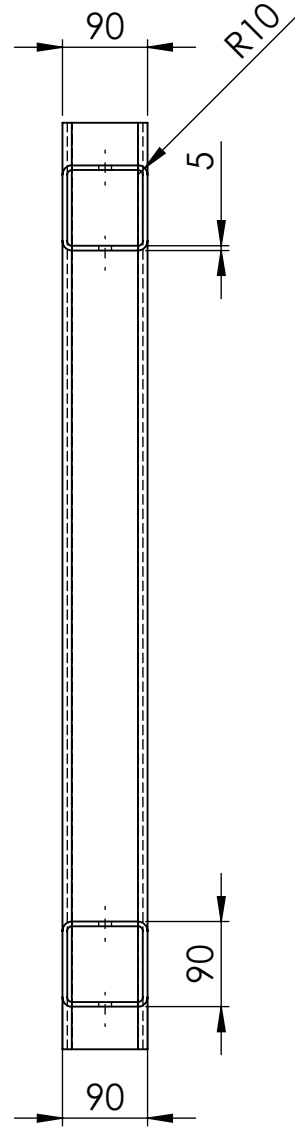
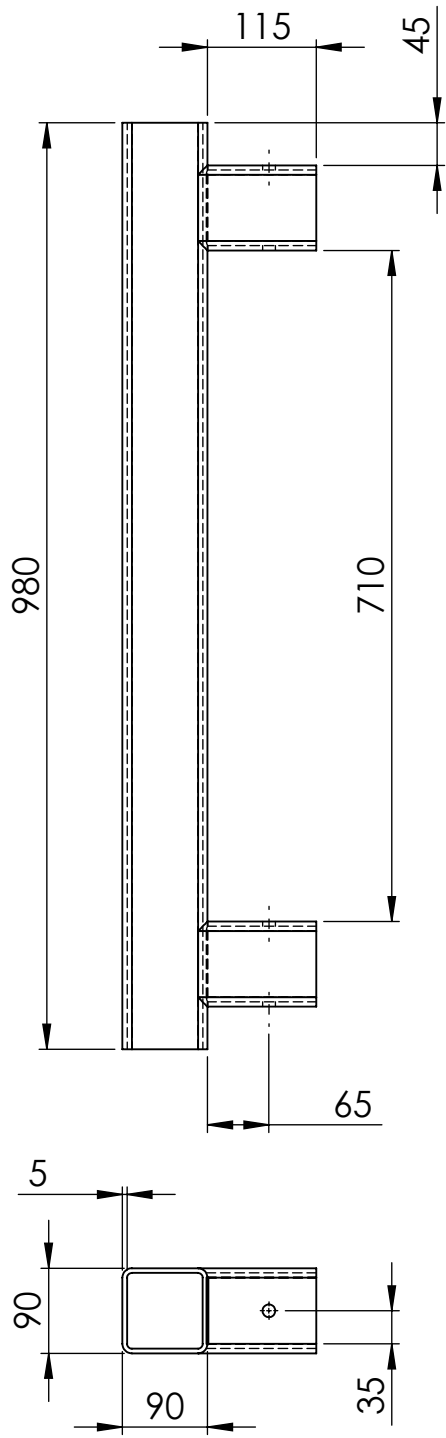


UNIVERSITE DE JIJEL

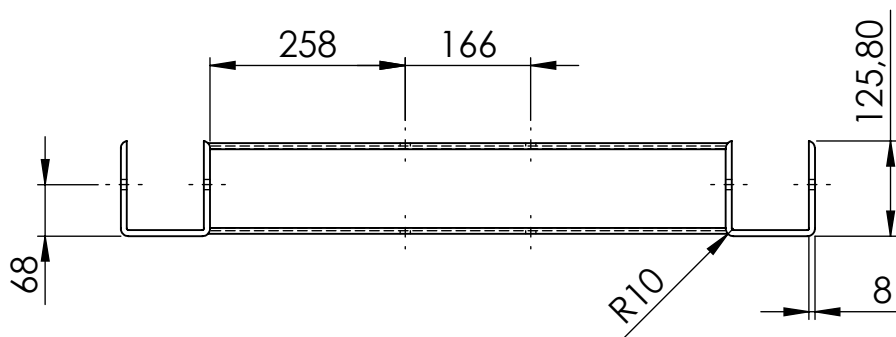
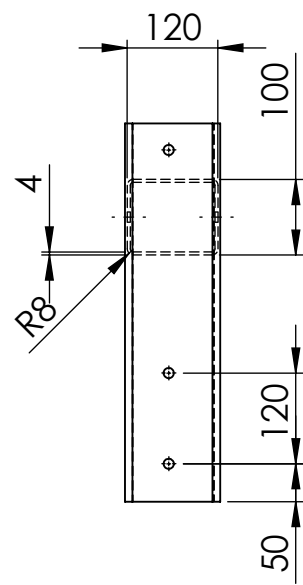
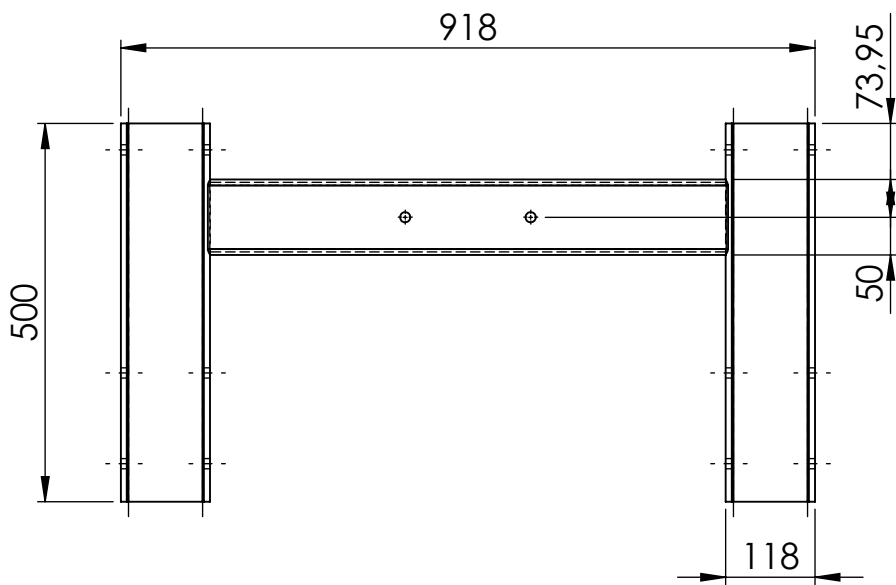
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE M2-ST



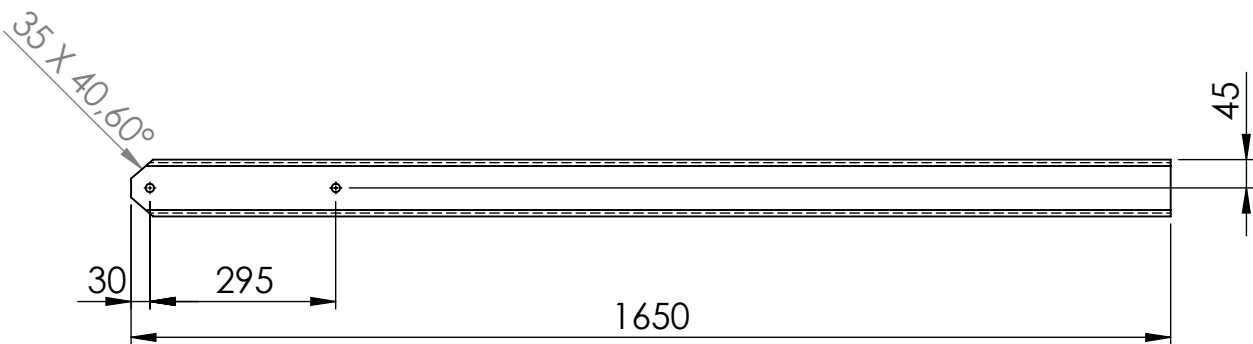
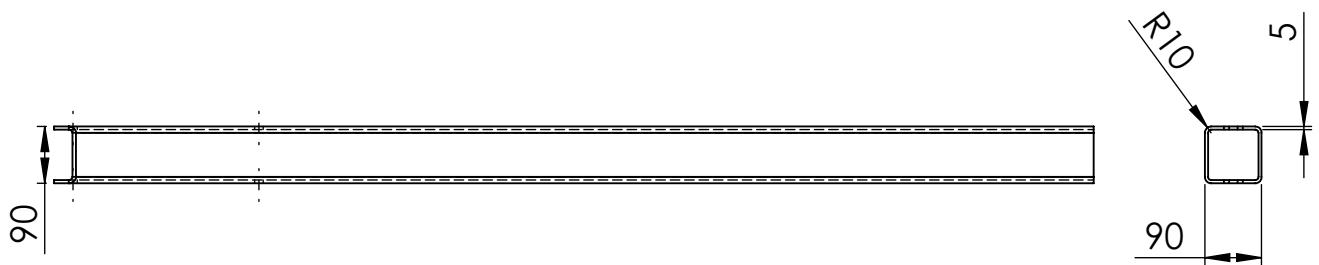
MATIERE: S355		COLONNE	RABHI+DEBBACHE	
			GRUE D'ATELIER	
A4	M2 CM		UNIVERSITE DE JIJEL DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE M2-ST	
	ECH: 1/10			



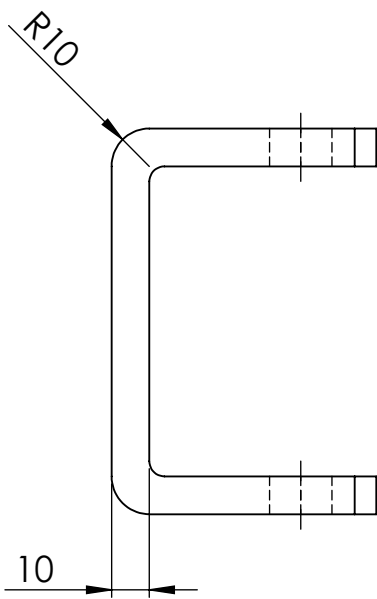
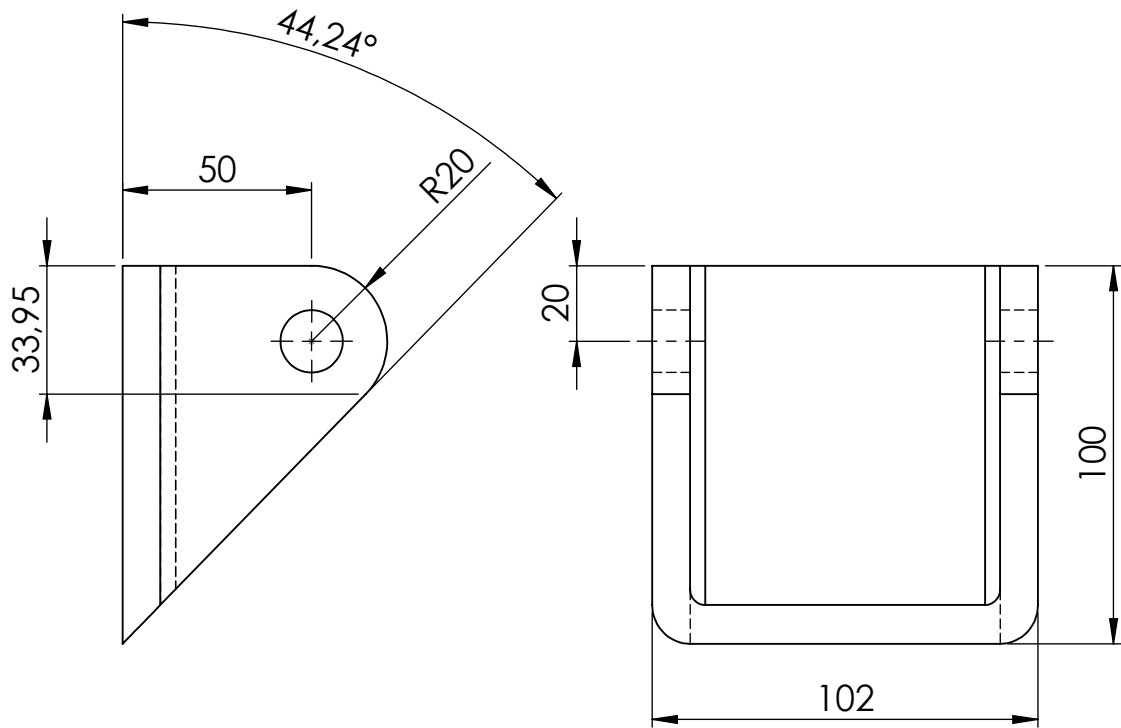
MATIERE: S355		BASE	RABHI+DEBBACHE
			GRUE D'ATELIER
A4	M2 CM	 UNIVERSITE DE JIJEL DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE M2-ST	
	ECH: 1/8		



MATIERE: S355		SUPPORT	RABHI+DEBBACHE	
			GRUE D'ATELIER	
A4	M2 CM		UNIVERSITE DE JIJEL DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE M2-ST	
	ECH: 1/10			



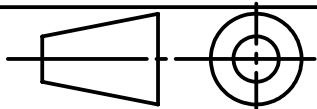
MATIERE: S355		JAMBE	RABHI+DEBBACHE
			GRUE D'ATELIER
A4	M2 CM	 UNIVERSITE DE JIJEL DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE M2-ST	ECH: 1/12



MATIERE: S355

SUPPORT DU SOUS-PISTON

RABHI+DEBBACHE



GRUE D'ATELIER

A4

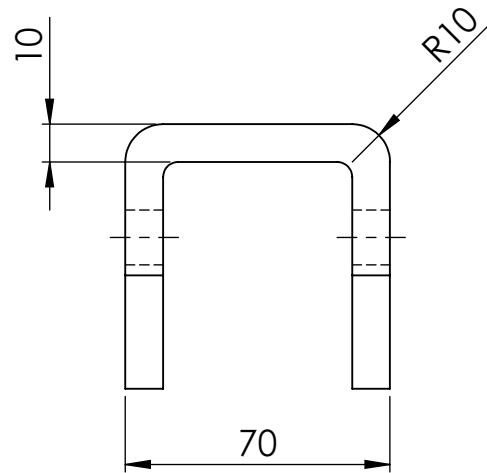
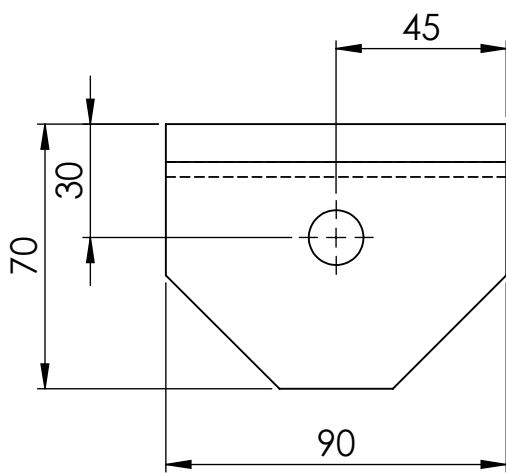
**M2
CM**

**ECH:
1/2**



UNIVERSITE DE JIJEL

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE M2-ST



MATIERE: S355		SUPPORT SUPERIEUR DU PISTON	RABHI+DEBBACHE	
			GRUE D'ATELIER	
A4	M2 CM		UNIVERSITE DE JIJEL	
	ECH: 1/2		DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE M2-ST	

Résumé :

La manutention est indispensable sur notre vie ordinaire sur presque tous les domaines, chaque personne rencontre parfois des difficultés pour lever ou déplacer une charge d'un point à autre, pour cela il existe plusieurs d'appareils de levage et de manutention pour faciliter et diminuer les efforts fournis par l'être humain.

Notre mémoire est focalisé sur l'étude et la conception d'un monte-charge mobile destiné à l'atelier de l'université pour faciliter la maintenance des différentes machines, ainsi que déplacer les différentes charges supérieures à la capacité humaine.

L'étude dans laquelle s'inscrit notre travail peut être résumée comme suit :

- ✚ Une vision générale sur la manutention et les différents appareils.
- ✚ Analyse fonctionnelle et rédaction du cahier des charges fonctionnel.
- ✚ Choix du model approprié.
- ✚ Dimensionnement du model.
- ✚ Conception final du monte-charge.

Mots clefs : Manutention, grue d'atelier, analyse fonctionnelle, cahier des charges fonctionnel.

Abstract:

The handling is essential in our ordinary life on almost all the domains, each person sometimes meets difficulties to raise or move a load of a point to another, for that there are several devices of lifting and handling to facilitate and to decrease the efforts supplied by the human being.

Our thesis focuses on the study and design of a mobile hoist for the university's workshop to facilitate the maintenance of the different machines, as well as to move the different loads above the human capacity.

The study in which our work is included can be summarized as follows:

- ✚ A general vision on the handling and the different devices.
- ✚ Functional analysis and drafting of functional specifications.
- ✚ Choice of the appropriate model.
- ✚ Dimensioning of the model.
- ✚ Final design of the hoist.

Keywords: Handling, workshop crane, functional analysis, functional specification.

ملخص:

المناولة لا غنى عنها في حياتنا العادية في كل مجال تقريبا، إذ يواجه كل شخص أحيانا صعوبات في رفع أو نقل الحمل من نقطة إلى أخرى، لأن هناك عدة وسائل للرفع والتعامل لتيسير وتقليل الجهود التي يبذلها الإنسان. .
تركز أطروحتنا على دراسة وتصميم رافعة متنقلة مخصصة لورشة الجامعة لتسهيل صيانة الآلات المختلفة، وكذلك لنقل الأحمال المختلفة الأكبر من القدرة البشرية.

يمكن تلخيص الدراسة التي يقع فيها عملنا على النحو التالي:

- ✚ نظرة عامة على المناولة والأجهزة المختلفة.
- ✚ التحليل الوظيفي وصياغة دفتر الشروط الوظيفي.
- ✚ اختيار النموذج المناسب.
- ✚ تحجيم النموذج.
- ✚ التصميم النهائي لمصعد الشحن

الكلمات المفتاحية: المناولة، رافعة الورشة، التحليل الوظيفي، دفتر الشروط الوظيفي.