

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



## **MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

**En** : Génie Mécanique

**Spécialité** : Construction Mécanique

**Par**: MOUZAZ ZAKARIA AHMED

BEKKOUCHE AKRAM HOUSSEM EDDINE

**Sujet**

# **ETUDE DE CONCEPTION PAR SIMULATIONSOLIDWORKS D'UNE GRUE D'ATELIER**

Soutenu publiquement le 17 /06/25, devant le jury composé de :

M HAMZA CHERIF Sidi  
Mohamed

Professeur Université de Tlemcen

Président

M BELALIA Sid Ahmed

Professeur Université de Tlemcen

Examineur

Mme MEDJADI Nassima

MAA Université de Tlemcen

Encadreur

Année universitaire :2024/2025

## Remerciements

Avant tout, on remercie Allah, notre créateur, le tout puissant, alhamdoulillah pour la bonne santé, pour la réussite, le courage et la capacité de mener à bien notre travail.

### A NOTRE ENCADREUR

**Madame MEDJADI Nassima Maitre assistante à l'université de Tlemcen**

A tout seigneur tout honneur, nous tenons à remercier en premier lieu, notre chère encadreur Mme MEDJADI Nassima, qui nous a proposé ce sujet, et qui nous a fait partager, l'étendue de son savoir et de son expérience, nous étions particulièrement sensibles à sa disponibilité et à sa patience à notre égard malgré ses lourdes tâches. Merci pour vos conseils avisés, pour votre disponibilité et pour la confiance que vous nous avez témoignée. Merci de nous avoir guidées et orientées tout au long de la réalisation de ce Mémoire.

Nous vous prions de trouver dans ce travail l'expression de notre plus profond respect et de notre parfaite gratitude.

Nous espérons nous montrer dignes de ce que vous nous avez transmis.

### A NOTRE PRESIDENT DE JURY

**Le Professeur HAMZA CHERIF Sidi Mohamed**

Nous vous sommes très reconnaissants, d'avoir accepté la présidence de notre jury et le temps que vous avez consacré à la lecture du manuscrit. Cher professeur, on vous remercie chaleureusement pour la qualité de votre enseignement pendant nos années d'apprentissage et le savoir que vous nous avez transmis. Que ce travail vous soit dédié en témoignage de notre gratitude et profond respect.

**A NOTRE EXAMINATEUR**

**Le Professeur BELALIA Sid Ahmed**

Vous nous avez fait l'honneur par votre présence aujourd'hui étant membre de jury. Nous vous remercions pour avoir bien voulu examiner notre travail. On ne pouvait être là aujourd'hui sans votre guide et votre aide précieuse à nous avoir menés à achever ce long  
Parcours.

Cher Professeur, merci pour les valeurs que vous nous avez enseigné. Merci pour le savoir que vous nous avez transmis. Merci pour votre générosité et votre ambiance de travail. Veuillez trouver ici le témoignage de notre profond respect et notre éternelle gratitude.

## Dédicaces

A la mémoire de mon père

**Je dédie ce travail à**

**Ma Mère**

Qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils.

Pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

**À Ma chère sœur le docteur MOUZAZ Wafaa**

Merci, pour ton encouragement indéfectible, je te souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité.

**MOUZAZ Zakaria Ahmed**

### **Je dédie ce travail**

À mes parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et leurs sacrifices. Grâce à eux, j'ai pu entreprendre ce parcours et surmonter chaque défi. À mes frères et ma sœur, pour leur présence, leurs encouragements et les moments partagés qui ont allégé les périodes de travail intense. À mes enseignants et encadrants, dont les précieux conseils et la patience ont été déterminants dans la réalisation de ce travail. Leur expertise a éclairé ma réflexion et guidé mes pas. À mes amis, pour leur compréhension, leur soutien moral et les moments de répit qui m'ont permis de garder le cap. Ce travail est le fruit de nombreuses heures de recherche et de persévérance, mais il n'aurait pu voir le jour sans le soutien de ces personnes qui me sont chères.

**BEKKOUCHE AKRAM HOUSSEM EDDINE**

---

## **Résumé**

L'optimisation de la conception vise à augmenter la valeur d'un produit en améliorant ses performances dans son environnement d'exploitation virtuel. L'objectif de ce travail est d'aborder une grue d'atelier dans le but d'étudier sa conception et de la développer ultérieurement en optimisant sa géométrie.

Dans ce contexte, nous avons d'abord abordé les systèmes de levage et une analyse fonctionnelle du palan à moteur. Ensuite on s'est concentré sur la conception assistée par ordinateur (CAO), offrant un aperçu de SOLIDWORKS, en particulier de l'aspect simulation. Nous avons également conçu le palan à moteur après avoir examiné différents modèles disponibles sur le marché. Enfin, quelques modifications ont été apportées à quelques composants de l'assemblage pour améliorer sa conception.

Mots clés : Grue, optimisation, conception, analyse fonctionnelle, SolidWorks, CAO

## **Abstract**

Design optimization aims to increase a product's value by improving its performance in its virtual operating environment. The objective of this project is to address a motor hoist with the aim of studying its design and further developing it by optimizing its geometry.

In this context, we first discussed lifting systems and a functional analysis of the motor hoist. We then focused on computer-aided design (CAD), providing an overview of SOLIDWORKS, particularly the simulation aspect. We also designed the motor hoist after examining various models available on the market. Finally, some modifications were made to a few assembly components to improve its design.

Keywords: Crane, optimization, design, functional analysis, SolidWorks, CAD

## ملخص

تهدف تحسينات التصميم إلى زيادة قيمة المنتج عن طريق تحسين أدائه في بيئة التشغيل الافتراضية الخاصة به. الهدف من هذا العمل هو تناول رافعة المحرك بهدف دراسة تصميمها وتطويرها لاحقاً عن طريق تحسين هندستها.

في هذا السياق، تناولنا أولاً أنظمة الرفع وقمنا بتحليل وظيفي لرافعة المحرك. ثم ركزنا على التصميم ، وخاصة جانب **SOLIDWORKS**، مقدمين نظرة عامة على برنامج (CAD) بمساعدة الحاسوب. لقد قمنا أيضاً بتصميم رافعة المحرك بعد فحص النماذج المختلفة المتوفرة في السوق. أخيراً، تم المحاكاة إجراء بعض التعديلات على بعض مكونات التجميع لتحسين تصميمها.

الكلمات المفتاحية: الرافعة، التحسين، التصميم، التحليل الوظيفي. CAD، SolidWorks.

## Sommaire

Remerciements .....	I
Dédicaces .....	II
Résumé .....	V
Liste des abréviations.....	XI
Liste des figures .....	XIII
Liste des tableaux .....	XVII
Introduction Générale.....	1

### Chapitre I : Généralités sur les systèmes de levage et analyse fonctionnelle de systèmes de levage

I-Introduction .....	3
II-Généralités.....	3
II-1 Historique .....	3
II-2 Préhistoire.....	3
II-2-1 De l'Antiquité Au Moyen Âge .....	4
II-2-2 De la Renaissance Au siècle des Lumières .....	4
II-2-3 Du siècle des révolutions à nos jours .....	4
II-3 Définition de systèmes de levage .....	5
II-4 Classification des appareils de levage .....	5
II-5 Exemples de systèmes de levage .....	6
II-5-1 Grues .....	6
a) Grues fixes .....	6
b) Grues mobiles.....	6
c) Grue flottante.....	7
II-5-2 Pont roulant .....	7
II-5-3 Chariot élévateur.....	8
II-5-4 Chariot transpalette .....	9
II-5-5 Table élévatrice.....	9
II-5-6 Ponts élévateurs.....	10
II-5-7 Treuils. ....	10
II-5-8 Crics .....	11
II-5-9 Palan.....	11
II-5-10 Grues d'atelier.....	12
II-6 Accessoires d'accrochage .....	12
II-6-1 Crochets.....	12
II-6-2 Serre-câble à étrier.....	13
II-6-3 Manilles.....	13
II-6-4 Palonniers .....	13



IV-1-8-8- Frein.....	41
IV-1-9- Conception des bagues (Axes) .....	41
V- Assemblage final.....	42
VI- Conclusion.....	43
<b>Chapitre III : Etude de conception et d'optimisation de l'assemblage grue d'atelier</b>	
I-Introduction .....	44
II- Définition de l'optimisation .....	44
II-1 Etudes d'optimisation pour la conception .....	44
II-2 Éléments constitutifs de l'optimisation .....	44
II-2-1 Objectif.....	45
II-2-2 Limites.....	45
II-2-3 Variables de conception .....	45
II-3 Fonctions principales .....	46
II-4 Logiciels de simulations .....	47
III- Etude statique .....	49
III-1- Objectifs de l'analyse statique.....	49
III-2- Etapes typiques de l'analyse statique.....	49
III-3 Analyse par Éléments Finis .....	49
III-4 Résultats et Traitement .....	50
IV- Réalisation de l'étude statique du lève charges .....	50
IV-1 Choix du matériau .....	51
IV-2 Montage et fixation de la grue .....	52
IV-3 Charges .....	53
IV-4 Maillage .....	54
V- Résultats de l'étude statique.....	55
V-1 Résultats de Configuration 01.....	55
V-2 Résultats de Configuration 02.....	56
V-3 Comparaison.....	57
VI- Etude de conception et d'évaluation et optimisation .....	57
VI-1 Mise en place de l'étude de conception .....	58
VI-1-1 Variables géométriques .....	58
VI-1-2 Limites imposées .....	58
VI-2 Résultats de l'étude de conception pour configuration 01.....	59
VI-3 Résultats de l'étude de conception pour configuration 02.....	60
VI-4 Interprétation des résultats.....	62
VI-5 Exemples de scénarios présentant des variations de dimensions.....	63
VII- Étude d'optimisation de la grue.....	67
VII-1 Hypothèses de l'étude.....	67
VII-1-1 Variables géométriques.....	67
VII-1-2 Limites imposée.....	68
VII-1-3 Objectif.....	68
VII-2 Résultats d'étude de l'optimisation.....	69
VI-2-1 Résultats de l'étude d'optimisation pour configuration 01.....	69
VI-2-2 Résultats de l'étude d'optimisation pour configuration 02.....	71

❖ Scenarios optimaux.....	72
❖ Résultats de l'étude statique pour scénario optimal.....	73
VII-2-3 Comparaison entre le scenario optimal, scénario initial et scénario 10 dans les deux configurations (01 et 02) .....	74
VIII- Conclusion.....	74
Conclusion générale.....	76
REFERENCES BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXE	

## Liste des abréviations

**CAO** : Conception Assistée Par Ordinateur.

**DAO** : Dessin Assisté Par Ordinateur.

**FAO** : Fabrication Assistée Par Ordinateur.

**E.M.E** : Eléments Du Milieu Externe.

**FAST** : Fonctions Techniques Et Solutions Techniques.

**CDCF** : Cahier Des Charges Fonctionnel Constitué.

**HKS** : Hibbit, Karlsson & Sorensen.

**MAO** : Modélisation Assistée par Ordinateur.

**API** : Interfaces de Programmation d'Applications.

**MEF** : Méthode des éléments finis.

**Liste des figures :**

Chapitre I

Figure I.1 : Grue fixe .....	6
Figure I.2 : Grue mobile sur roues .....	7
Figure I.3 : Grue mobile sur chenilles.....	7
Figure I.4 : Grue flottante.....	7
Figure I.5 : Pont roulant .....	8
Figure I.6 : Chariot élévateur. ....	8
Figure I.7 : Chariot transpalette .....	9
Figure I.8 : Table élévatrice .....	9
Figure I.9: Pont élévateur.....	10
Figure I.10 : Treuil.....	10
Figure I.11 : Crics.....	11
Figure I.12 : Palan.....	11
Figure I.13 : Grue d’atelier.....	12
Figure I.14 : Crochet.....	12
Figure I.15 : Serre-câble à étrier.....	13
Figure I.16 : Manille.....	13
Figure I.17 : Palonnier.....	14
Figure I.18 : Tendeurs.....	14
Figure I.19 : Digramme d’analyse du besoin de la grue d’atelier.....	15
Figure I.20 : Diagramme pieuvre du Système de levage de moteur (grue d’atelier).....	16
Figure I.21 : Diagramme FAST du système de levage de moteur (une grue d’atelier). ....	17

Chapitre II

Figure II.1 : Processus de Conception Assistée par Ordinateur .....	22
Figure II.2 : Étapes de la conception.....	25
Figure II.3 : Grue d’atelier. ....	26
Figure II.4 : Grue d’atelier hydraulique pliante. ....	27
Figure II.5 : Assemblage éclaté.....	28
Figure II.6 : Châssis de base.....	29
Figure II.7 : Crochet de levage.....	29

## Liste des tableaux

Figure II.8 : Support.....	30
Figure II.9 : Étape 01 pour créer le profilé de levage.....	30
Figure II.10 : Étape 02 pour créer le profilé de levage.....	31
Figure II.11 : Étape 03 pour créer le profilé de levage.....	31
Figure II.12 : Étape 04 pour créer le profilé de levage.....	31
Figure II.13 : Étape 05 pour créer le profilé de levage.....	32
Figure II.14 : Étape 06 pour créer le profilé de levage.....	32
Figure II.15 : Étape 07 pour créer le profilé de levage.....	33
Figure II.16 : Étape 08 pour créer le profilé de levage.....	33
Figure II.17 : Étape 09 pour créer le profilé de levage.....	33
Figure II.18 : Profilé de levage finalisé.....	34
Figure II.19 : Profilé télescopique.....	34
Figure II.20 : Bras de force.....	35
Figure II.21 : Colonne.....	35
Figure II.22 : Vérin hydraulique.....	36
Figure II.23 : Tête de tige.....	37
Figure II.24 : Roues de déplacement.....	37
Figure II.25: Corps de la roue.....	38
Figure II.26: Base 2.....	38
Figure II.27: Roue.....	39
Figure II.28: Tige.....	39
Figure II.29: Axe 1.....	40
Figure II.30: Axe 2.....	40
Figure II.31 : Élément de frein.....	40
Figure II.32 : Fourchette.....	41
Figure II.33 : Frein.....	41
Figure II.33 : Bagues (Axes).....	42
Figure II.35: Position 01.....	43
Figure II.36: Position 02.....	43
Figure II.37: Position 03.....	43
Figure II.38: Position 04.....	43
Chapitre III	
Figure III.1 : Une poutre de poids minimal pourrait fléchir d'une manière excessive.....	45

## Liste des tableaux

Figure III.2 : Suppression des matériaux inutiles par optimisation.....	47
Figure III.3 : Image des résultats de simulations .....	47
Figure III.4: Grue d'atelier avant simplification.....	51
Figure III.5 : Grue d'atelier après simplification.....	51
Figure III.6 : Propriétés mécaniques du matériau AISI 4340 Acier normalisé .....	52
Figure III.7 : Points de fixation.....	53
Figure III.8 : Charges (Force et gravité).....	53
Figure III.9 : Exemple de maillages.....	54
Figure III.10 : Maillage. ....	54
Figure III.11 : Résultat statique de la contrainte (Configuration 01) .....	55
Figure III.12 : Résultat statique de déplacement (Configuration 01) .....	56
Figure III.13 : Résultat statique de la contrainte (Configuration 02).....	56
Figure III.14 : Résultat statique de déplacement (Configuration 02).....	57
Figure III.15 : Équations reliant les trois pièces.....	63
Figure III.16 : Scénario 18 de configuration 01.....	64
Figure III.17 : Scénario 14 Configuration 01.....	64
Figure III.18 : Contrainte max pour scénario 14 Configuration 01.....	65
Figure III.19 : Scénario 11 Configuration 01.....	65
Figure III.20 : Scénario 09 Configuration 01.....	66
Figure III.21: Scénario 11 Configuration 02.....	66
Figure III.22 : Contrainte max pour le scénario 11 Configuration 02.....	67
Figure III.23 : Contrainte max pour le scénario 13 Configuration 02.....	67
Figure III.24: Optimal Configuration 01.....	72
Figure III.25 : Optimal Configuration 02.....	73
Figure III.26 : Contrainte de scénario optimal dans Configuration 01.....	73
Figure III.27 : Contrainte de scénario optimal dans Configuration 02.....	74

## Liste des tableaux

### Chapitre I

Tableau I.1 : Cahier des charges fonctionnel du système de levage de moteur (une grue d'atelier) .....	18
--	----

### Chapitre II

Tableau II.1 : Les activités de conception doivent inclure ce qui suit.....	23
---	----

Tableau II.2 : Représentation des différentes pièces.....	27
---	----

### Chapitre III

Tableau III.1 : Exemples de logiciels de simulations.....	48
---	----

Tableau III.2 : Variables de conception pour profile de levage.....	58
---	----

Tableau III.3 : Limites imposées.....	58
---------------------------------------	----

Tableau III.4 : Résultats des scénarios de l'étude de conception pour configuration 01 .....	59
--	----

Tableau III.5 : Résultats des scénarios de l'étude de conception pour configuration 02.....	61
---	----

Tableau III.6 : Variables d'optimisation pour profile de levage .....	68
---	----

Tableau III.7 : Limites imposées.....	68
---------------------------------------	----

Tableau III.8 : Objectif.....	68
-------------------------------	----

Tableau III.9 : Résultats des Scénarios d'optimisation de configuration 01 .....	69
--	----

Tableau III.10 : Résultats des Scénarios d'optimisation de configuration 02.....	71
--	----

# **Introduction Générale**

### INTRODUCTION

Dans le secteur de la maintenance automobile, il est constamment nécessaire de manipuler des charges lourdes, car les mécaniciens sont confrontés à des défis pour soulever et transporter les moteurs. La sécurité du personnel et des équipements, ainsi que le bon déroulement des réparations, dépendent de la qualité et de la simplicité du système de levage. La création d'un système de levage de moteur est un défi d'ingénierie qui nécessite une analyse des contraintes et une validation minutieuse des idées et des solutions techniques.

Dans ce contexte, les logiciels de conception assistée par ordinateur et de reproduction générée par ordinateur (CAO) sont devenus très importants aujourd'hui. Ils nous permettent de créer des modèles précis de différentes pièces mécaniques et de la manière dont elles se comporteront sous différentes contraintes avant même de les mettre en production. SolidWorks fournit une plate-forme puissante et intégrée qui permet de fournir des contraintes, des déplacements et des déformations approximatives qui affectent l'intégrité de la structure.

Ce projet, intitulé « Étude de conception d'un système de levage de moteur sous simulation SolidWorks », fait partie du processus d'optimisation et de vérification de la conception par simulation. L'objectif principal est de développer une conception détaillée du système de levage motorisé, en s'appuyant sur la fonctionnalité de modélisation 3D de SolidWorks pour créer des composants et des assemblages, et sur SolidWorks Simulation pour analyser sa résistance mécanique et vérifier ses performances dans des conditions de charge réalistes.

À travers ce projet, nous chercherons à créer des solutions et des changements de conception, en déterminant la taille des composants de base du système pour assurer la qualité et la durabilité du système, tout en tenant compte des normes de sécurité de l'ornement.

Pour atteindre l'objectif de notre projet, notre travail sera axé sur trois chapitres principaux.

Dans le premier chapitre, nous commencerons par une revue générale de la littérature sur les systèmes de levage. Ensuite, nous présenterons la problématique centrale de notre étude et l'analyserons en détail grâce à l'analyse fonctionnelle, afin de déterminer la solution la plus adaptée.

Le chapitre deux est dédié à la Conception Assistée par Ordinateur (CAO). Il offre une synthèse de ses fondements, de ses champs d'application, ainsi que de ses avantages et

inconvenients. L'application de la CAO est ensuite illustrée par la conception et l'assemblage d'un système de levage de moteur, dont les composants auront été préalablement modélisés dans SolidWorks, un logiciel de CAO puissant que nous aurons d'abord défini en citant ses capacités et ses performances.

Le troisième chapitre est consacré à une étude statique, utilisant la méthode des éléments finis (MEF) pour valider le modèle et vérifier sa robustesse en utilisant une application de SolidWorks qui est SolidWorks Simulation, dont on aura parlé au début du chapitre. Une étude d'optimisation du lève moteur via l'application SolidWorks Simulation complète ce chapitre pour tenter d'arriver à un système plus léger tout en conservant sa résistance et sa fonctionnalité.

Et pour clôturer ce travail, une conclusion générale afin de synthétiser les résultats de notre étude.

A la fin, une annexe qui regroupent les dessins d'ensemble et de définition, sera ajoutée.

# **Chapitre I**

## **Généralités sur les systèmes de levage et analyse fonctionnelle de systèmes de levage**

### I- Introduction

Dans le domaine industriel et logistique, les équipements de levage sont essentiels. Ils offrent la possibilité de transporter de manière efficace et sécurisée des objets de grande taille ou pesants d'un lieu à un autre.

Avant de créer ou de modifier un produit, il est nécessaire de procéder à une analyse fonctionnelle. Il s'agit d'établir l'ensemble des fonctions que le produit doit remplir, que ce soit pour des raisons principales ou des contraintes. Cette analyse précise les caractéristiques techniques du produit et optimise sa conception. Chaque fonction fait ensuite l'objet d'une description, d'un classement par ordre d'importance et d'une évaluation.

Ce chapitre fera le tour d'horizon sur les lève-charges les plus utilisés dans le domaine industriel en donnant des exemples de quelques types. Ensuite les étapes de l'analyse fonctionnelle seront citées avant d'être appliquées au lève charge de moteurs.

### II- Généralités

#### II-1 Historique [1]

Depuis l'Égypte antique, où leviers et plans inclinés permettaient d'ériger des pyramides, jusqu'aux grues modernes d'aujourd'hui, la nécessité de soulever de lourdes charges doit être une constante. Ces machines, dont le terme n'apparaît qu'au XV<sup>e</sup> siècle, ont parcouru un long chemin à travers une évolution digne d'intérêt. Construites à l'origine pour de grandes constructions monumentales, la plupart ont été modifiées et transformées pour s'éloigner de cet objectif initial. Des chantiers navals aux champs de bataille, en passant par les ports et les gares ferroviaires, les grues ont toujours été le reflet de l'activité humaine. Elles sont étonnamment polyvalentes : fixes ou mobiles, elles permettent de soulever des charges aussi bien minuscules que gigantesques.

#### II-2 Préhistoire [1]

Le levier, cet amplificateur de force antique, a été le bras articulé des géants qui ont soulevé les monuments des anciens. Stonehenge et les pyramides d'Égypte sont de véritables cathédrales de pierre construites grâce aux efforts combinés de milliers d'hommes et d'animaux, tous animés par la force brute. De telles merveilles architecturales témoignent bien de la capacité de l'homme à déplacer des montagnes, car ses ancêtres les ont construites, par une ingénierie rudimentaire mais efficace. Cependant, un travail de construction aussi spectaculaire a pris beaucoup de temps et a nécessité beaucoup de travail. Les estimations des experts citent comme exemple qu'une simple pyramide aurait nécessité des dizaines de milliers de travailleurs pour travailler sur une période de plus de vingt ans.

### **II-2-1 De l'Antiquité Au Moyen Âge [1]**

L'urbain ancien et médiéval a suscité un besoin croissant de matériel qui devait porter des choses de plus en plus lourdes. Grecs et Romains réalisèrent des machineries de levage en bois et de système de poulies. Une autre manière, beaucoup utilisée, était « la cage d'écureuil », où les gens circulent dans une grosse roue pour produire une force de rotation. Bien que simples, ces machines ont multiplié la force humaine et animale, aidant de ce fait à la construction d'édifices et d'infrastructures complexes. Le XIII<sup>e</sup> siècle a été le témoin des premiers appareils grues portuaires à grande échelle. En 1600, leur nombre restait encore relativement limité dans les ports européens.

### **II-2-2 De la Renaissance Au siècle des Lumières [1]**

Les ingénieurs militaires médiévaux ont joué un rôle important dans le développement réel des machines de levage. S'appuyant sur des techniques anciennes, ces hommes ont conçu des merveilles d'ingénierie – des machines de plus en plus sophistiquées – des instruments qui devaient servir principalement à la construction et à la défense des fortifications. Des traités tels que ceux de Keyser et Taccola décrivant la tour mobile et de nombreuses autres machines de siège donneraient une idée juste de l'importance de ces dispositifs en tenant compte du contexte militaire de l'époque.

### **II-2-3 Du siècle des révolutions à nos jours [1]**

La révolution industrielle a profondément transformé le domaine de l'architecture grâce aux avancées dans la construction. L'évolution des grues est bien sûr directement proportionnelle aux exigences de la construction. Du chantier naval à la construction de gratte-ciels, les grues ont été utilisées dans des conditions de plus en plus exigeantes et pour des tâches de plus en plus exigeantes. La vapeur, puis l'électricité et l'hydraulique ont permis d'augmenter non seulement la puissance, mais aussi la précision de ces machines. Les grues Titan et Goliath étaient destinées à la construction portuaire lourde lorsque la grue à tour est venue conquérir les chantiers. Les innovations technologiques plus récentes, telles que les flèches télescopiques et les systèmes de contrôle électronique, offrent des possibilités d'utilisation différentes des grues. Ces machines sont désormais très impliquées dans la réalisation de projets de construction à grande échelle.

### **II-3 Définition de systèmes de levage [2]**

La méthode de levage est une autre solution technique qui permet de soulever ou de transporter une charge en déplacement vertical. La charge peut ainsi être transportée de manière sécurisée grâce à un mécanisme spécial fourni par un appareil de levage. Ce terme englobe toute une gamme d'équipements utilisés dans la manutention, notamment les grues, les ponts roulants, les crics, les treuils, les chariots élévateurs, les tables élévatrices etc.....

### **II-4 Classification des appareils de levage [2]**

Levé, levage et manutention peuvent généralement être classés, avec certaines considérations secondaires telles que les spécificités de l'appareil, l'origine de la force motrice, le type de saisie de la charge, et les dispositifs de sécurité utilisés, accordés à la nature de son mouvement.

Selon la nature du déplacement, nous avons :

- Mouvements verticaux : crics, vérins (pour levage de charges lourdes), palans (pour levage en hauteur), treuils (pour traction), monte-charges, tables élévatrices, ponts élévateurs.
- Mouvements combinés :
  - ❖ Verticaux et horizontaux liés : téléphériques (transport de personnes ou de marchandises sur des câbles).
  - ❖ Verticaux et horizontaux indépendants :
    - ✓ Une direction horizontale : palans et chariots sur rails (pour manutention en ligne), monorails, blondins (pour transport aérien).
    - ✓ Deux directions horizontales : ponts roulants (pour ateliers), portiques (pour chantiers).
- Verticaux et rotation : grues fixes (pour levage et déplacement de charges lourdes).

## II-5 Exemples de systèmes de levage [2]

### II-5-1 Grues

Conçues pour soulever et transporter des charges massives, les grues de pesage sont un équipement essentiel sur les chantiers de construction. Elles jouent également un rôle essentiel dans des environnements plus exigeants, comme les ports de chargement et de déchargement ou les chantiers navals.

#### *A- Grues fixes*

Nous pouvons entendre par le terme `grues fixes`, un ensemble des appareils de levage qui demeurent en place sur une zone particulière tout le temps, en apportant des solutions fiables pour mener à bon port des poids pesants. La figure I.1 montre un exemple de grue fixe.



Figure I.1 : Grue fixe [3].

#### *B- Grues mobiles*

Les grues mobiles sont des appareils de levage installés sur des roues, des chenilles ou des camions, comme montré sur les figures suivantes I.2 et I.3. Elles sont dotées d'un mât puissant, qu'il soit articulé ou fixe, ainsi que d'un ensemble câble et crochet chargé de soulever les charges. La plupart des modèles comprennent des grues tout-terrain, des grues conventionnelles et des grues montées sur camion. Ces machines sont appréciées pour leur polyvalence et leur facilité de mobilité sur une variété de terrains.



Figure I.2 : Grue mobile sur roues [4].



Figure I.3 : Grue mobile sur chenilles [2].

### ***C- Grue flottante***

Une grue flottante est montée sur une barge ou un bateau, ce qui est parfait pour soulever des charges dans l'eau. On la retrouve principalement dans les environnements marins ou fluviaux, comme dans les ports, sur les chantiers navals ou pour des projets de construction offshore tels que la construction de ponts ou de plateformes. La figure I.4 donne un exemple de ce type de grue.



Figure I.4 : Grue flottante [2].

### **II-5-2 Pont roulant**

Un pont-roulant est un appareil de manutention conçu pour le levage et le déplacement de charges lourdes. Il se distingue des grues, portiques, semi-portiques, potences et autres monorails par la forme. Voici les éléments clés qui le composent :

- Une structure horizontale en acier (le « pont » ou quadrilatère) : Cette structure se déplace sur deux voies de roulement, lui permettant un mouvement longitudinal.

- Des treuils ou palans : Ces mécanismes, suspendus ou montés sur le pont, servent à enrouler les câbles ou les chaînes de levage.

Le pont roulant fonctionne aussi bien manuellement qu'électriquement pour déplacer ou soulever des charges. Un crochet au bout de son câble peut être connecté directement ou par l'intermédiaire d'un moufle et de poulies pour augmenter la capacité de levage. Types de pont roulant :

- . Ponts roulants posés.
- . Ponts roulants suspendus.
- . Pont roulant portique et semi portique.



Figure I.5 : Pont roulant [2].

### II-5-3 Chariot élévateur

Déménageurs industriels et logistiques, les chariots élévateurs sont utilisés pour soulever et déplacer des charges lourdes. C'est un moyen de transfert de produits des lignes de production vers les zones de stockage et il est essentiel pour charger et décharger des camions, des wagons et des navires. La figure I.6 illustre un exemple de chariot élévateur.



Figure I.6 : Chariot élévateur [5].

#### **II-5-4 Chariot transpalette**

Le transpalette indispensable dans le domaine de la manutention permet de déplacer les palettes à l'aide d'une pompe hydraulique, en mode manuel ou électrique. Ses deux bras de fourche soulèvent et transportent les charges utiles sans effort inutile, comme l'exemple donné sur la figure I.7. Utilisé dans différents secteurs des entrepôts au commerce de détail, en passant par les camions et les centres de distribution il est disponible en plusieurs versions : de différentes longueurs de fourches au pesage et enfin, à la hauteur de levage, entre autres. En raison de son efficacité et de sa simplicité d'utilisation, il est un allié précieux pour tous les professionnels.



**Figure I.7 : Chariot transpalette [6].**

#### **II-5-5 Table élévatrice**

Cet équipement permet de soulever le véhicule à moteur à une hauteur telle qu'il est très confortable pour effectuer des travaux d'entretien ou de réparation. Cependant, contrairement à un monte-charge fixe ou mobile, le véhicule ne peut pas être déplacé lorsqu'il est chargé et il n'y a aucun accès en dessous.

Un exemple de table élévatrice est donné dans la figure I.8.



**Figure I.8 : Table élévatrice [7].**

## II-5-6 Ponts élévateurs

Conçu pour faciliter l'entretien et la réparation, ce dispositif élève le véhicule jusqu'à une hauteur de travail confortable. Cependant, contrairement aux ponts élévateurs fixes ou mobiles, il ne permet pas de déplacer le véhicule lorsqu'il est chargé ni d'accéder à sa partie inférieure.

Un exemple de pont élévateur est illustré sur la figure I.9.

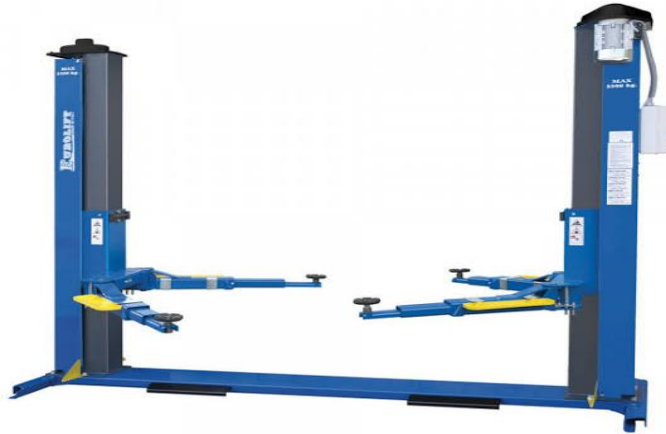


Figure I.9 : Pont élévateur [8].

## II-5-7 Treuils

Il s'agit d'un outil indispensable pour soulever ou tirer des charges en enroulant et en déroulant un câble, une chaîne ou une corde. Il est classé parmi les huit machines simples et offre ainsi une solution fiable et efficace dans les opérations de manutention de matériaux.



Figure I.10 : Treuil [9].

## II-5-8 Crics

Comparé aux élévateurs de voitures, qui peuvent soulever complètement les voitures, cet équipement offre une alternative plus simple et plus économique pour les opérations de levage partiel. La figure I.11 donne deux exemples de cric, l'un hydraulique et l'autre mécanique.



Figure I.11 : Crics [2].

## II-5-9 Palan

Le palan, en gros, permet de lever des poids avec le principe de démultiplication. Il est constitué de deux groupes de poulies et d'une corde qui passe à travers de l'un d'eux. L'un des tirages entraîne le déplacement de la poulie mobile avec la charge qu'elle traîne. La force est donc proportionnelle aux points de contact qui supportent la charge ; plus il y en a, moins il faut d'effort.

Dans la suite un exemple de palan à trois poulies est donné sur la figure I.12.



Figure I.12 : Palan [10].

## **II-5-10 Grues d'atelier**

Essentielle en atelier, cette grue facilite grandement le levage et le déplacement des pièces de motrices et autres charges lourdes par les mécaniciens, leur évitant ainsi des efforts excessifs. Elle fonctionne exactement comme un bras mécanique, maximisant la précision et l'efficacité du travail.

Dans cette figure on voit un exemple de grue d'atelier.

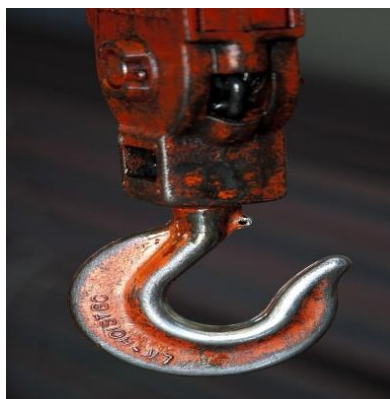


**Figure I.13 : Grue d'atelier [11].**

## **II-6 Accessoires d'accrochage [12]**

### **II-6-1 Crochets**

Pour soulever des charges jusqu'à 20 tonnes – par exemple un crochet – ce crochet est fixé à un équipement tel qu'un palonnier ou une pièce de matériau allongée, soit en chaîne, soit en câbles entre les deux, soit à un portique d'atelier. La figure I.14 montre un crochet d'accrochage.



**Figure I.14 : Crochet [13].**

### II-6-2 Serre-câble à étrier

Les serre-câbles avec cerclage servent à relier les câbles ou à créer des boucles sécurisées. Il est préférable d'en utiliser plusieurs reliés entre eux afin de garantir une fixation solide.



Figure I.15 : Serre-câble à étrier [12].

### II-6-3 Manilles

Les manilles de manutention, (Figure I.16), jouent un rôle essentiel dans le levage car elles servent de lien entre différents équipements. Elles permettent de relier des cordes, des chaînes ou des élingues, qu'elles soient simples ou multiples, à divers accessoires pour une manipulation sûre et efficace.



Figure I.16 : Manille [12].

### II-6-4 Palonniers

Les palonniers sont conçus pour stabiliser les charges longues pendant le levage afin d'éviter qu'elles ne basculent et de garantir des angles de suspension sûrs (supérieurs à 60 degrés). La capacité de levage nominale maximale est toujours clairement identifiée, pour garantir une utilisation appropriée [14]. La figure I.17 montre un exemple de palonnier.



**Figure I.17 : Palonnier [14].**

### **II-6-5 Tendeurs**

La gamme de tendeurs est large et variée : tendeurs à œil, tendeurs à fourche, tendeurs à crochet ou une combinaison des précédents. Ceux-ci peuvent être achetés dans différents matériaux (inox, HR, standard) et avoir une multitude de finitions.



**Figure I.18 : Tendeurs [15].**

### **II-7 Utilisation de systèmes de levage [16]**

Les opérations de manutention sont cruciales dans les secteurs du transport, de la production et de l'agriculture. Elles consistent principalement à déplacer, stocker, charger et décharger les marchandises. Les manutentionnaires emploient divers équipements, comme les transpalettes pour les déplacements horizontaux ou les gerbeurs pour le levage et l'empilage. Le choix du matériel dépend des caractéristiques des charges et de l'environnement de travail.

## **III- Analyse fonctionnelle d'une machine de levage [17]**

### **III-1 Analyse de fonction de besoin**

Système de levage de moteur (une grue d'atelier)

➤ **Problématique**

Notre but est d'améliorer le système de levage pour la prévention des risques pour l'utilisateur.

Risque d'accident ➡ une solution : système de levage de moteur (une grue d'atelier)

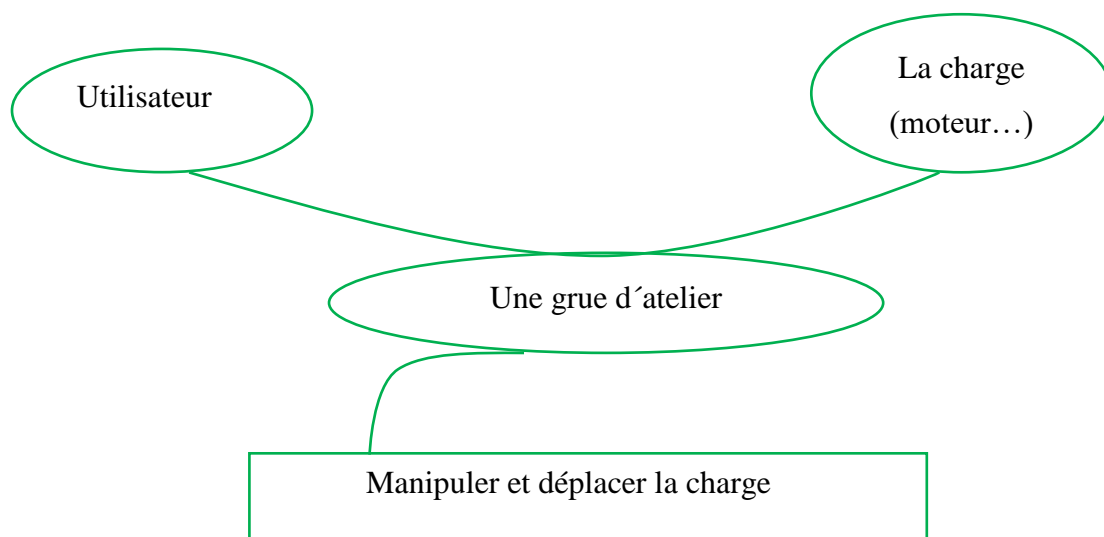
Contexte : Comment manipuler et transporter la charge (moteur...)

**III-2 Analyse de besoin**

La méthode d'expression du besoin repose sur trois questions :

- A qui? ➡ Utilisateur
- Sur quoi? ➡ La charge (moteur...)
- Dans quel but? ➡ Manipuler et déplacer la charge

La figure I.19 présente le diagramme d'analyse du lève charge ou grue d'atelier.



**Figure I.19 : Diagramme d'analyse du besoin de la grue d'atelier.**

**III-3 Validation du besoin**

- Pour quoi le besoin existe? ➡ Pour faciliter à l'utilisateur de lever et transporter le moteur et les charges
- A qui le produit rend-il service? ➡ Le client utilisateur.
- Qu'est ce qui pourrait faire évoluer ou disparaître le besoin?
  - ✓ Le besoin évolue : Si la charge est inférieure ou égale à la charge maximale.
  - ✓ Le besoin disparaît : Si la charge est supérieure à la charge maximale.

### III-4 Éléments du milieu externe

Pour identifier les fonctions d'un produit, il est essentiel de caractériser l'environnement dans lequel il évolue, appelé « environnement externe ». Tous les éléments extérieurs au produit sont appelés éléments du milieu externe (E.M.E.). La méthode de recherche des fonctions de service consiste à considérer le produit du point de vue de l'utilisateur dans son environnement, de sorte que tous les éléments du milieu externe qui interagissent directement avec lui sont identifiés et répertoriés [17]. Dans la figure I.20, on trouve les différents éléments extérieurs qui influent sur le lève charges, dans un diagramme pieuvre.

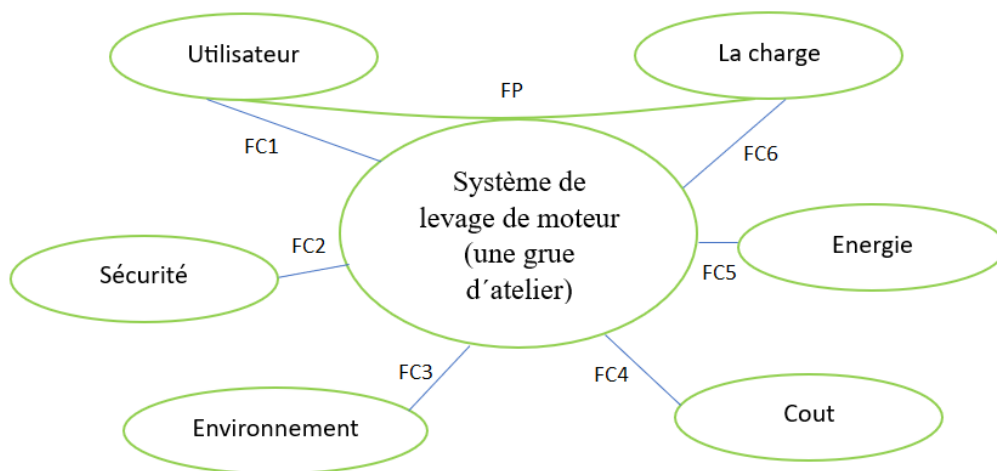


Figure I.20 : Diagramme pieuvre du Système de levage de moteur (grue d'atelier).

- Identification des fonctions de service :

FP : Déplacer et manipuler (lever) les charges (moteur...).

FC1 : Doit être équipé d'éléments de commande homme / machine.

FC2 : Assure la sécurité de l'utilisateur.

FC3 : Résiste au milieu ambiant.

FC4 : Le cout plus favorable.

FC5 : Minimiser l'effort de l'utilisateur.

FC6 : Être adapté à la charge maximale.

### III-5 Méthode FAST

#### III-5-1 Principe

Le diagramme FAST suit une approche logique qui va du « pourquoi » (fonctions de service) au « comment » (fonctions techniques et solutions techniques), en se construisant de gauche à droite. Cette technique convertit les exigences fonctionnelles en solutions techniques concrètes de manière structurée et systématique [17].

#### III-5-2 Schématisation

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 [17] :

- **Pourquoi ?** Pourquoi une fonction doit-elle être assurée ?
- **Comment ?** Comment cette fonction doit-elle être assurée ?
- **Quand ?** Quand cette fonction doit-elle être assurée ?

#### ❖ Diagramme FAST sur le Système de levage de moteur (une grue d'atelier)

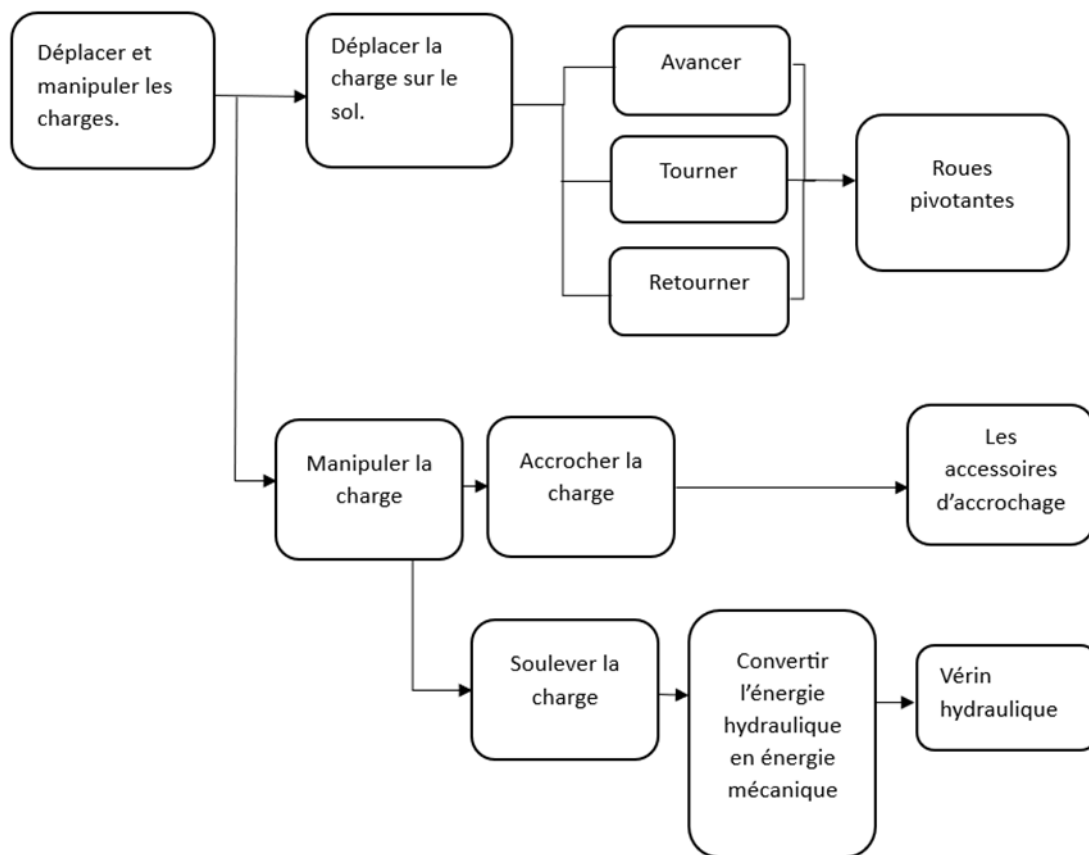


Figure I.21 : Diagramme FAST du système de levage de moteur (une grue d'atelier).

### **III-6 Rédaction du CDCF**

Le cahier des charges fonctionnel constitue donc la pièce essentielle qui décrit exhaustivement le besoin du demandeur. Ce document permet de formaliser le projet en précisant les conditions à remplir pour sa mise en œuvre, les caractéristiques des fonctions de service obtenues ou à obtenir. Ainsi, le cahier des charges fonctionnel est l'intermédiaire qui favorise la compréhension entre le fournisseur et le client [17].

**Tableau I.1** : Cahier des charges fonctionnel du système de levage de moteur (une grue d'atelier).

FS	Expression	Critères	Niveaux-flexibilité
FP	Déplacer et manipuler (lever) les charges (moteur...).	Hauteur	2232.47mm
FC1	Doit être équipé d'éléments de commande homme / machine.	Système de commande	Vane pour contrôler le vérin.
FC2	Assure la sécurité d'utilisateur.	La sécurité	Respecte les conditions de sécurité.
FC3	Résiste au milieu ambiant.	Environnement	Résiste au choc et corrosion...
FC4	Le coût plus favorable.	Le cout	Comparable à la concurrence.
FC5	Minimiser l'effort de l'utilisateur.	La capacité	Utilisation par une seule personne.
FC6	Être adapté à la charge maximale	Charge	250Kg

### **III-7 Risques technologiques liés au levage [18]**

#### **III-7-1 Risques généraux**

##### **✓ Chutes**

- Risque de chutes de hauteur lors des déplacements sur échelles, marche pieds ou lors des phases d'accrochage/déaccrochage de charges.

- Chutes de plain-pied lors de déplacements sur le chantier.

✓ *Exposition aux éléments :*

- Intempéries (chaleur, froid, vent, pluie, givre).

- Bruit du chantier.

- Contraintes physiques :

\* Contraintes posturales dans des espaces confinés.

\* Lombalgies d'effort dues à la manutention de matériel (calage, arrimage).

✓ *Risques liés aux manœuvres :*

- Accidents impliquant des tiers (heurts avec la charge).

- Électrisation (contact de la grue avec des conducteurs aériens).

### **III-7-2 Situations à risques spécifiques**

- Renversement d'engins (vent, défaillance du sol).

- Chute ou perte de charges manipulées.

- Bris de matériel de levage.

- Chutes du personnel lors de déplacements sur les engins.

### **III-7-3 Principaux types d'accidents**

✓ Accidents liés à la charge : chute, heurt, renversement.

- Blessures liées à l'utilisation de machines de manutention :

\* Coincement sous un convoyeur.

\* Happement, enroulement, cisaillement par des machines manuelles.

✓ Accidents liés à la circulation d'engins :

- Écrasement par un chariot élévateur ou une grue mobile (renversement).

- Accidents impliquant des véhicules.

✓ Autres :

- Frottements, abrasions.

- Chocs avec des éléments solides.
- Éjection d'éléments (machine, matériel, outils).
- Accidents dus aux éléments de transmission (chaînes, courroies, engrenages).
- Risques liés à l'énergie (électrique, hydraulique, pneumatique).

### **III-7-4 Événements dangereux**

- Décrochage ou basculement de la charge.
- Rupture d'élingue ou d'accessoire de levage.
- Coincement entre la charge et un obstacle.
- Chute de hauteur (phases d'accrochage/décrochage).
- Heurt de personnes par l'engin de manutention.
- Renversement d'engin ou collision.

### **III-7-5 Améliorations pour la prévention**

Pour améliorer la prévention de ces risques, il est important de :

- ✓ Former les employés aux bonnes pratiques de sécurité et à l'utilisation des équipements de levage.
- ✓ Veiller à un entretien régulier des systèmes de levage.
- ✓ Utiliser des équipements de protection individuelle adaptés.
- ✓ Mettre en place une gestion rigoureuse des risques et des procédures d'urgence.

## **IV- Conclusion**

Ce chapitre a commencé par une chronologie de l'évolution des systèmes de levage, puis a exposé les divers appareils de levage et leurs applications dans l'industrie.

Une analyse fonctionnelle approfondie des machines de levage a été menée afin d'optimiser leur efficacité. Cette étude s'est appuyée sur un cahier des charges fonctionnel précis, et a permis de déterminer l'impact des risques technologiques inhérents aux opérations de levage. Les principaux types d'accidents fréquemment rencontrés dans ce domaine ont également été identifiés.

## **Chapitre II**

# **Modélisation d'un système de levage pour moteurs**

### I- Introduction

SOLIDWORKS est un modéleur volumique permettant de créer des pièces 3D complexes. Ces pièces peuvent ensuite être utilisées pour réaliser des dessins 2D ainsi que des assemblages de plusieurs composants. Il s'agit d'un système basé sur le contrôle des dimensions, dans lequel il est possible de définir les mesures géométriques et les relations entre les éléments. Toute modification dimensionnelle entraîne une mise à jour automatique de la taille des composants, tout en respectant l'intention de conception initiale [19].

Avec l'évolution rapide et constante des technologies informatiques, de nombreuses entreprises spécialisées dans les logiciels de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) ont émergé au cours des vingt dernières années. Dans les années 1970, ces logiciels n'étaient encore que de simples outils de DAO (Dessin Assisté par Ordinateur). Leur développement progressif a été rendu possible grâce, d'une part, à l'amélioration des performances matérielles, et d'autre part, aux avancées dans le domaine des logiciels. Aujourd'hui, les logiciels de CAO ne se contentent plus d'assister la conception ; ils ont su répondre aux besoins croissants des industriels en proposant des outils puissants et adaptés, permettant la création de produits toujours plus complexes, fiables, de haute qualité, et dans des délais réduits [20].

Ce chapitre sera donc divisé en deux parties. Dans la première partie nous verrons des généralités sur la CAO, et le logiciel de CAO SolidWorks. La deuxième partie sera consacrée à la modélisation et à l'assemblage des différentes pièces de la grue d'atelier.

### II- Éléments d'un système de CAO

#### II-1 Définition de la CAO

La CAO est l'ensemble des outils informatiques utilisés depuis la création du cahier des charges jusqu'à la production des documents nécessaires à la fabrication [21].

#### II-2 Processus de conception [21]

En tant qu'outil de conception, la CAO joue un rôle essentiel dans le processus de création d'un nouveau produit manufacturé, en fournissant au concepteur les moyens nécessaires pour :

- Définir la géométrie du produit,
- Simuler son fonctionnement,

- Préparer sa fabrication.

La CAO requiert des algorithmes plus puissants et du matériel plus sophistiqué que ceux utilisés pour le DAO. En conséquence, les coûts sont bien plus élevés, avec un rapport des coûts d'environ 1 à 5. Néanmoins, il convient de souligner que tout système de CAO intègre forcément une composante de DAO, dont la performance varie. Les systèmes de CAO modernes, tels que CATIA, SolidWorks (Dassault System), etc., se concentrent principalement sur la résolution des problèmes géométriques.



Figure II.1 : Processus de Conception Assistée par Ordinateur [22].

La validation théorique et la prédétermination du comportement d'une ou plusieurs pièces se réalisent à l'aide de programmes de calcul scientifique externes à ces systèmes. Ce phénomène s'explique principalement par la difficulté d'intégrer ces programmes, en raison de la grande diversité des domaines physiques concernés : statique linéaire, acoustique, vibrations, thermique, mécanique des fluides, thermochimie, etc.

Les activités actuelles couvertes par la mécanique sont diversifiées :

- Dessin Assisté par Ordinateur (DAO) ;
- Conception Assistée par Ordinateur (CAO) ;
- Calcul et optimisation des structures : élasticité, vibrations, thermique, etc. ;
- Calcul d'écoulement des fluides ;
- Calcul des procédés, tels que le remplissage des moules, la solidification lors de la coulée, etc. ;
- Nomenclature et gestion technique

**Tableau II.1** : Les activités de conception doivent inclure ce qui suit [21].

1	Comprendre les « besoins des clients » implique de recueillir des données, ce qui peut se faire par l'observation et/ou à travers une enquête approfondie.
2	Identifier les problèmes clés à résoudre afin de répondre aux besoins.
3	Résumer les contours d'une solution de conception pour répondre au besoin. « Plusieurs solutions peuvent émerger (travail de groupe), chacune étant ensuite évaluée et sélectionnée parmi un ensemble de solutions réalisables » [23].
4	Analyser la solution proposée en tenant compte du dimensionnement des composants, de la résistance, de la fiabilité, de la fabrication, des coûts et de l'impact environnemental. Ce processus est itératif et peut nécessiter des ajustements de conception si l'analyse révèle des insuffisances ou des possibilités d'amélioration. Plusieurs solutions peuvent être évaluées ensemble ou séparément, et la meilleure conception, répondant aux besoins fonctionnels, sera retenue.
5	La solution de conception est validée via des tests de prototypes. Ces essais confirment la réponse aux besoins clients initiaux. Une évaluation physique sous charge réelle est cruciale avant production. Des ajustements peuvent être faits si les critères ne sont pas remplis, reliant conception et fabrication.

### II-3 Domaines d'application de la CAO [24]

La Conception Assistée par Ordinateur (CAO), ainsi que ses outils complémentaires comme le Dessin Assisté par Ordinateur (DAO) et la Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO), joue aujourd'hui un rôle clé dans de nombreux domaines de l'ingénierie. Grâce à ses capacités de modélisation, de simulation et de visualisation, elle s'impose comme un outil incontournable pour développer des solutions à la fois innovantes et performantes. Elle est notamment utilisée dans les domaines suivants :

✓ **Acoustique** : La CAO permet d'analyser la propagation et la réflexion du son, participant ainsi à la création d'environnements plus calmes et agréables.

✓ **Automatique** : Elle facilite la modélisation et la simulation des systèmes continus et discrets, contribuant à l'optimisation des procédés industriels.

✓ **Chimie** : Elle est essentielle pour la représentation en 3D de structures moléculaires complexes, telles que les protéines, favorisant les avancées en recherche biomédicale.

✓ **Électronique** : La CAO est fondamentale pour concevoir et simuler des circuits intégrés, des cartes électroniques et des systèmes embarqués toujours plus performants.

✓ **Hydraulique** : Elle permet de modéliser les écoulements, les pressions et les vitesses dans les systèmes hydrauliques, améliorant ainsi leur efficacité et leur sécurité.

✓ **Mécanique** : Présente à toutes les étapes, la CAO intervient dans la conception, le dessin technique et l'analyse par éléments finis, pour optimiser la résistance, les déplacements ou encore les forces appliquées sur les pièces mécaniques.

✓ **Mécanique des fluides** : Elle sert à étudier les phénomènes liés aux fluides, comme la pollution thermique, et à concevoir des systèmes de ventilation et de climatisation plus efficaces.

✓ **Thermique** : La modélisation thermique assistée par ordinateur permet d'analyser la diffusion de la chaleur et d'optimiser les performances des dispositifs de chauffage et de refroidissement.

✓ **Génie civil** : La CAO est un outil indispensable pour concevoir des bâtiments, simuler leur comportement structurel, et garantir la sécurité et la durabilité des infrastructures.

✓ **Génie électrique** : Elle est utilisée dans la conception de machines électriques, la modélisation électromagnétique, l'étude des vibrations mécaniques, la simulation de circuits en électronique de puissance et l'analyse des réseaux électriques.

### II-4 Conception en mécanique [25]

Le principal objectif de la conception est de permettre l'élaboration d'un système ou d'un processus qui répond à un besoin tout en prenant en considération les contraintes. Le système doit être assez clairement défini pour pouvoir être installé, fabriqué, construit et être opérationnel, tout en satisfaisant les attentes du client [26].

Les principales étapes de la conception en mécanique sont les suivantes :

- 1- Définition du problème
- 2 -Conception conceptuelle
- 3 -Conception préliminaire

4 -Conception détaillée et prototypage

5 -Conception de la communication

Chaque étape conduit à un raffinement progressif, passant de l'analyse initiale à la concrétisation d'un projet prêt à être fabriqué, construit, ou mis en œuvre. La finalité de cette démarche est souvent illustrée par un plan détaillé accompagné d'un devis spécifiant les éléments clés du projet.

### II-4-1 Exemple de la méthodologie de conception

La conception peut être visualisée comme un processus en cinq étapes successives, illustré par le schéma de la Figure II.2.

Dans un premier temps, l'analyse des besoins permet de cerner les enjeux et les contraintes du projet. Ensuite, l'ingénieur élabore un concept qui évoluera vers une conception préliminaire intégrant des calculs plus poussés et prenant en compte un ensemble de paramètres. Cette phase est suivie par la conception détaillée, où la précision des éléments est augmentée pour aboutir à une solution technique prête pour la fabrication ou la mise en œuvre. La dernière étape, la synthèse, consiste à réunir toutes les informations nécessaires pour rendre le projet opérationnel [27].

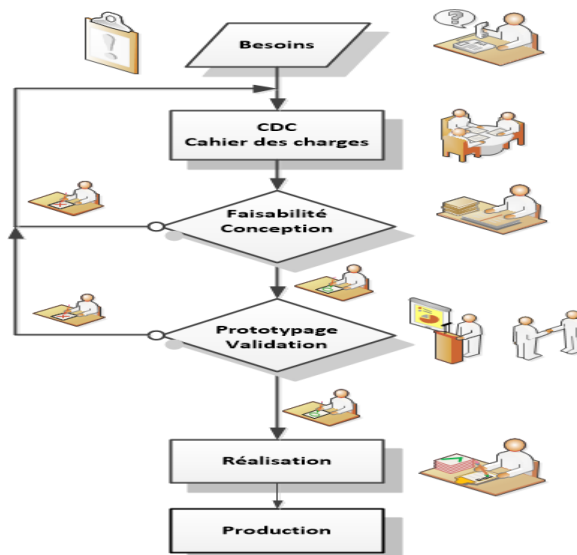


Figure II.2 : Étapes de la conception [27].

« Chaque étape de conception est décrite de façon générale pour couvrir les différentes activités reliées à l'ingénierie ». La conception ne se limite pas aux ouvrages d'infrastructures majeurs,

mais touche aussi tous les domaines de l'ingénierie : cartes électroniques, procédés pharmaceutiques, génie logiciel, équipements électromécaniques en industrie lourde, etc [28].

### III- SolidWorks [29]

SolidWorks, un logiciel de CAO 3D (Conception Assistée par Ordinateur), de Dassault Systèmes, est largement adopté par les professionnels. Il sert à la modélisation de pièces et d'assemblages ainsi qu'à la création de mises en plan, jouant un rôle clé dans le processus de conception de produits. Il est principalement utilisé par les ingénieurs et les concepteurs pour concevoir des produits de manière précise et réaliste avant leur fabrication.

SolidWorks est reconnu pour son **interface intuitive**, ses outils de modélisation faciles à apprendre et sa logique de travail claire (arbre de création, fonctions paramétriques). Cela réduit fortement le temps d'apprentissage. Pour cette raison nous avons choisi de modéliser notre système et ses différentes pièces par ce logiciel qui est à notre disposition.

### IV- Modélisation de la grue d'atelier hydraulique

En se basant sur le modèle donné sur la figure II.3, qui se trouve dans les ateliers mécaniques, nous avons conçu notre grue d'atelier ou lève moteur avec les différentes pièces sur la le tableau II.2 avec des dimensions incluses.



Figure II.3 : Grue d'atelier [30].

**Tableau II.2 :** Représentation des différentes pièces.

Numéro	Nom de la pièce
1	Base
2	Colonne
3	profile de levage
4	Profilé télescopique
5	Barre de force
6	support de crochet
7	Crochet
8	Corp de vérin
9	tige
10	les roues de déplacement

### IV-1 Conception de la grue d'atelier hydraulique pliante

C'est une conception robuste en acier (profilés soudés/boulonnés) sur base mobile (roulettes pivotantes). Levage puissant via vérin hydraulique actionnant un bras télescopique à portée variable terminé par un crochet sécurisé. Structure pliable pour rangement facile (charnières et verrouillages). Modélisation SolidWorks : pièces individuelles (extrusions, tôlerie, usinage) assemblées avec liaisons mécaniques et fixations standards. Voir la Figure II.4 et Figure II.5.

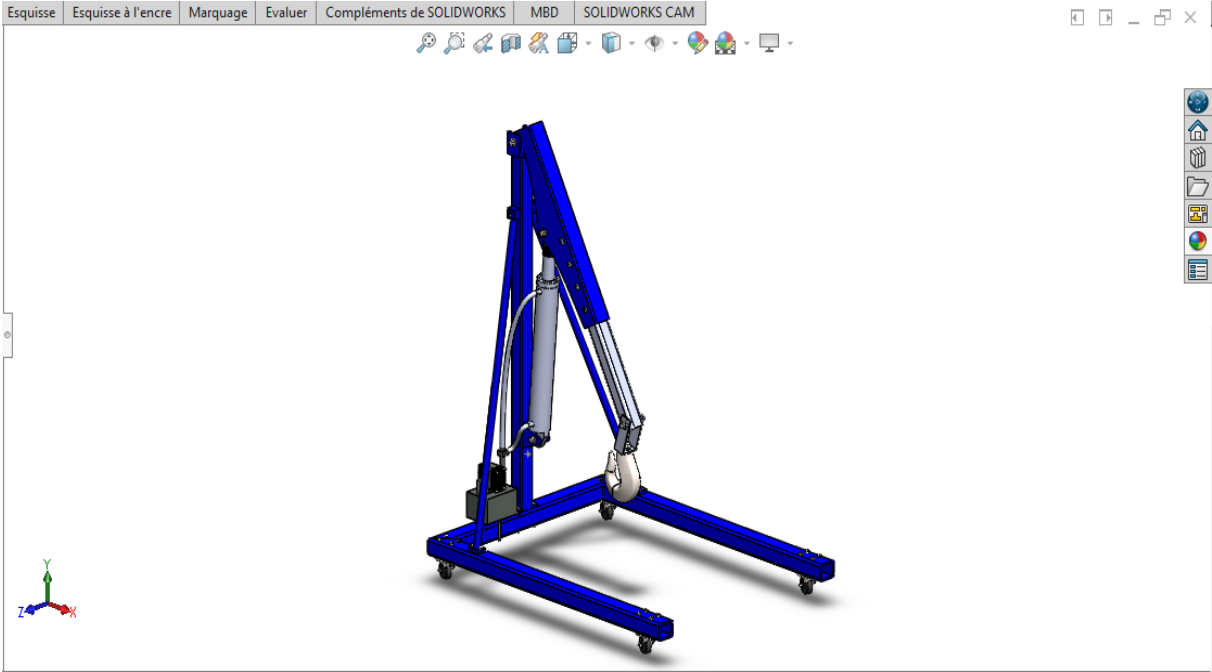


Figure II.4 : Grue d'atelier hydraulique pliante.

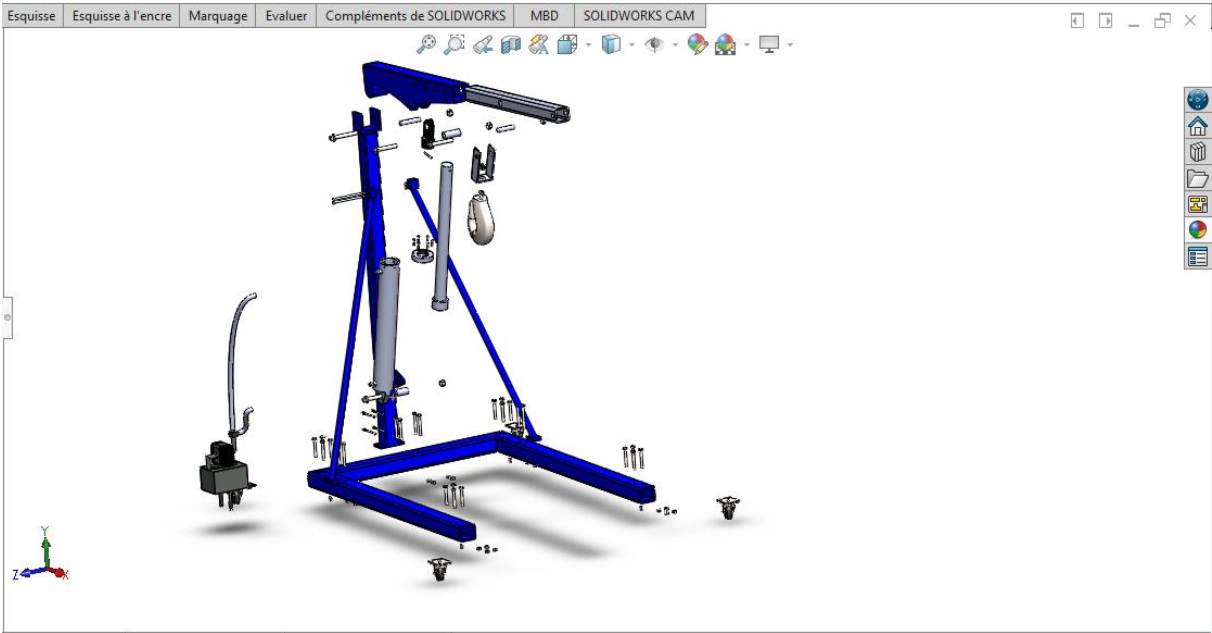


Figure II.5 : Assemblage éclaté.

### IV-1-1 Conception du châssis de base

Dans la première étape, nous avons créé la base formée par un profilé carré de forme "U", ensuite nous avons fait 24 perçages par enlèvement de matière pour la fixation des autres éléments. Voir la Figure II.6.

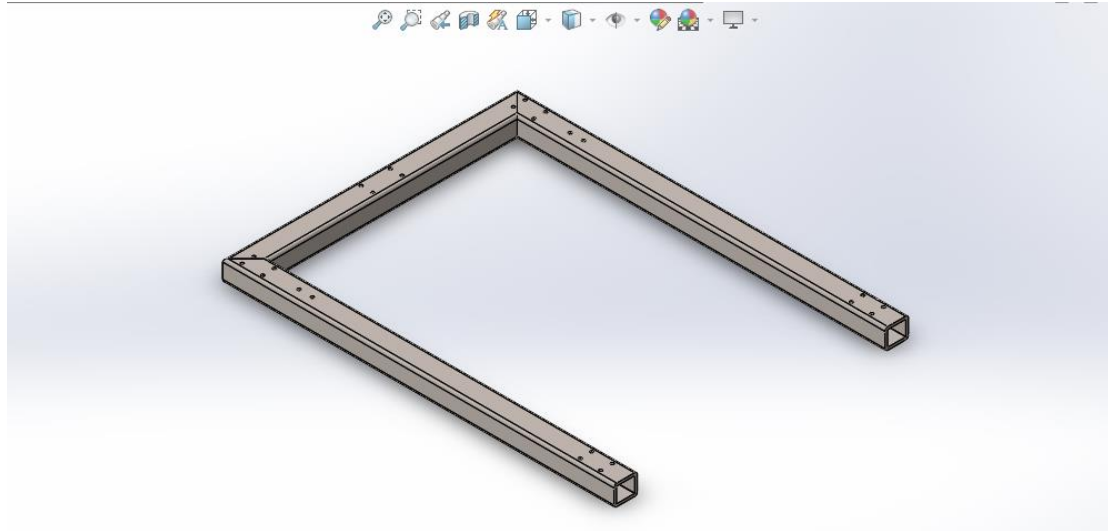


Figure II.6 : Châssis de base.

### IV-1-2 Conception de crochet de levage avec Support et boulon

- **Corps solide unique** : Créé par extrusion suivant une courbe
- **Forme en "J"**: Avec gorge et extrémité arrondie.
- **Méplat supérieur** : Pour l'interface de fixation.
- **Congés** : Sur toutes les arêtes.
- **Alésage fileté** : Pour la fixation boulonnée.
- **Support** : Forme en "U" créé par un bossage extrudé avec 3 perçages.
- **Écrou** : Créé par un bossage extrudé avec un filetage de M22x1,5.

Voir les Figures suivantes de II.7 et II.8.

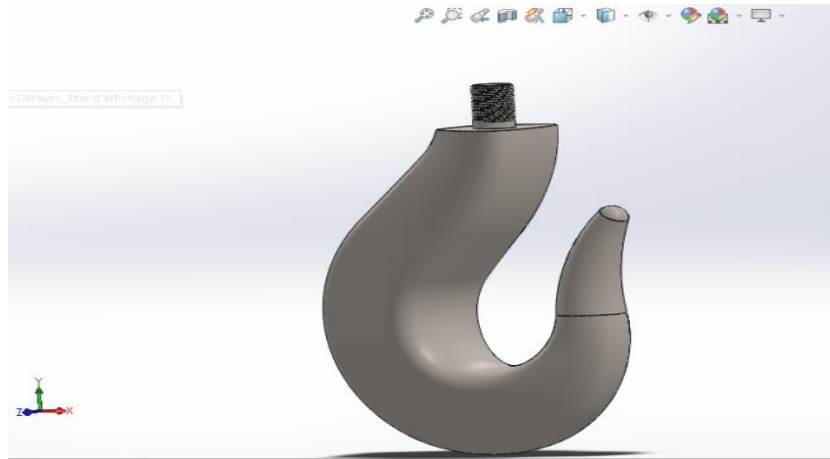


Figure II.7 : Crochet de levage.

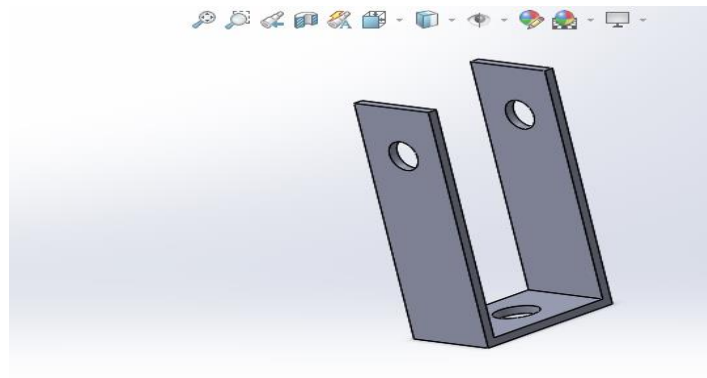


Figure II.8 : Support.

### IV-1-3 Conception du profilé de levage

Pour la modélisation de cet élément de levage, on est passé par plusieurs étapes qui sont résumées comme suit :

1/ On a créé une ligne de 800 mm, Illustrée la Figure II.9.

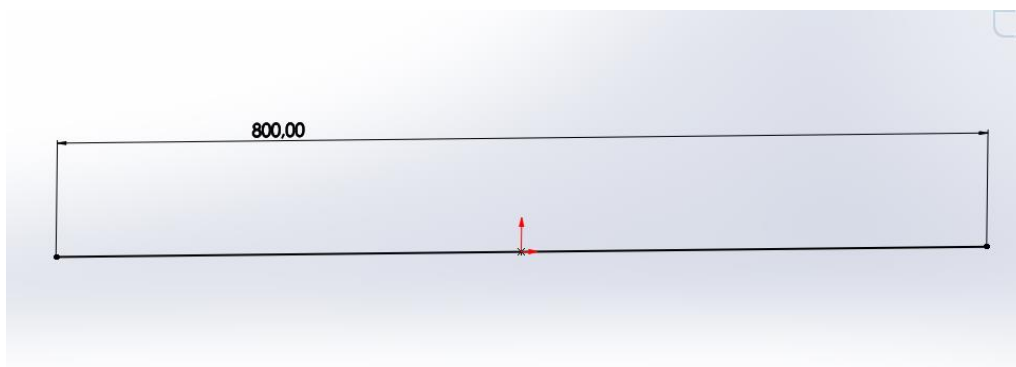


Figure II.9 : Étape 01 pour créer le profilé de levage.

2/ On a créé un profilé de type carré de 80x80x5, comme on le voit sur la Figure II. 10.

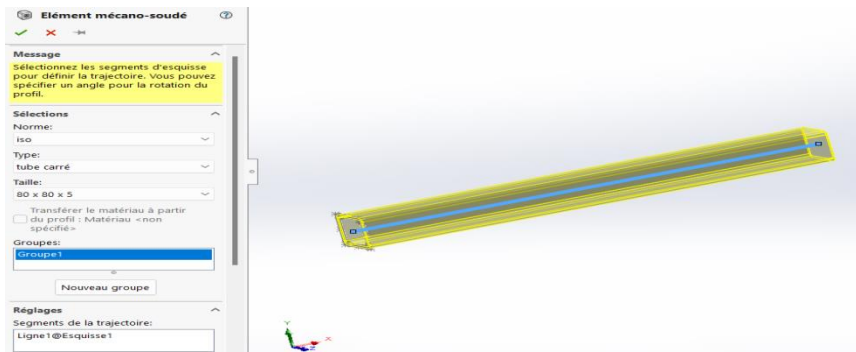


Figure II.10 : Étape 02 pour créer le profilé de levage.

3/ On a créé 4 perçages par enlèvement de matière. Voir la Figure II.11.

- ✓ Sélectionner la face latérale du tube
- ✓ Créer une esquisse avec des cercles de  $\varnothing 25$  mm
- ✓ Coter les entraxes (92 mm entre les trous)
- ✓ Extruder en enlevant de la matière **à travers tout**

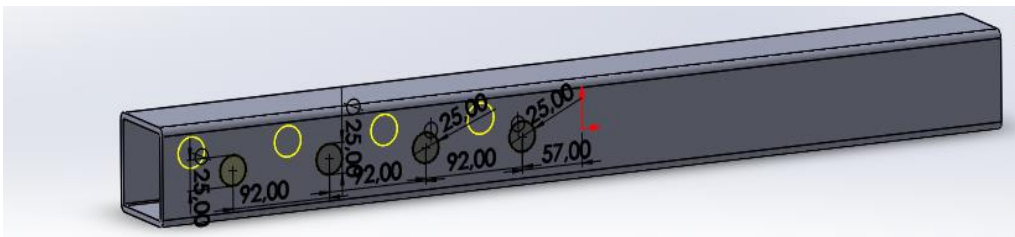


Figure II.11 : Étape 03 pour créer le profilé de levage.

4/ On a créé un raidisseur de forme « v » avec un perçage, comme illustré sur la Figure II.12.

- ✓ Sélectionner la face du profilé « droite » pour faire un Bossage/Base extrudé jusqu'à la surface « gauche »

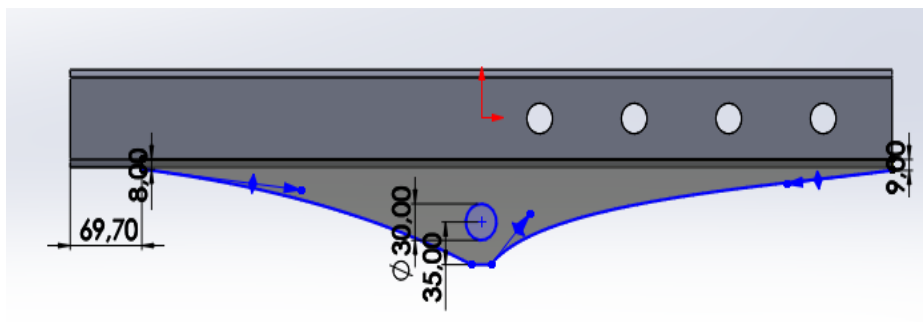


Figure II.12 : Étape 04 pour créer le profilé de levage.

5/ On a créé un rectangle de dimension 80x69.77mm, tel que montré sur la Figure II.13, et on a fait un Bossage/Base extrudé de 70mm.

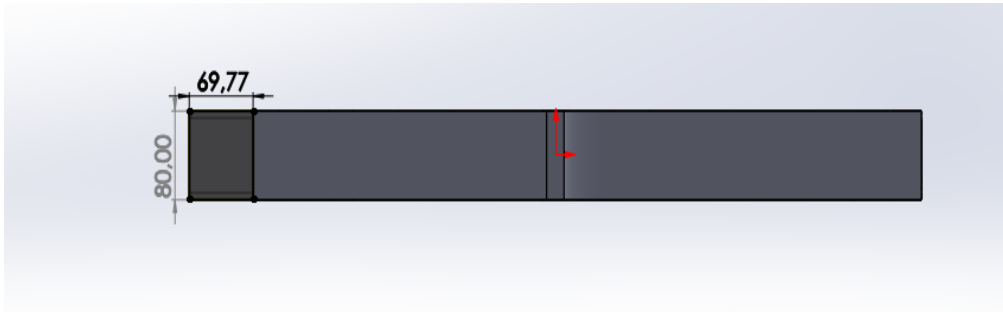


Figure II.13 : Étape 05 pour créer le profilé de levage.

6/ Ajout d'un congé par sélection de 3 faces du rectangle par la fonction congé, tel qu'illustré sur la Figure II.14.

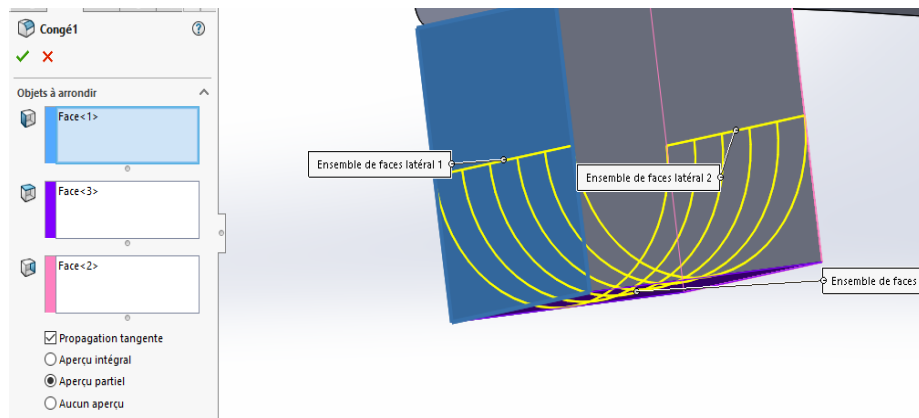


Figure II.14 : Étape 06 pour créer le profilé de levage.

7/ On a créé un perçage par enlèvement de matière. Voir la Figure II.15.

- ✓ Sélectionner la face rectangulaire avec congé
- ✓ Créer une esquisse avec un cercle de  $\varnothing 20$  mm au centre du congé
- ✓ Extruder un enlèvement de matière **à travers tout**

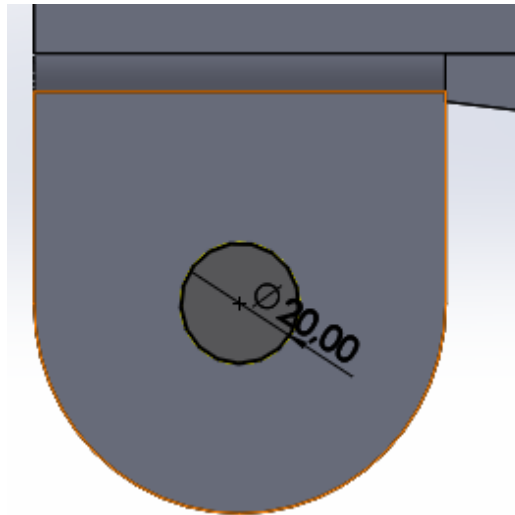


Figure II.15 : Étape 07 pour créer le profilé de levage.

8/ Création d'une esquisse, telle que montrée sur la figure II.16, pour faire un bossage extrudé afin de combler l'espace entre le rectangle et le profilé. Ensuite on a fusionné le résultat pour aboutir à une seule pièce.

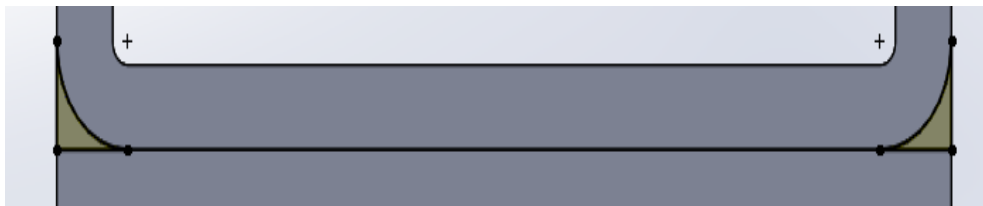


Figure II.16 : Étape 08 pour créer le profilé de levage.

9/ Finalement on a créé un enlèvement de matière de forme rectangulaire, en respectant l'alignement entre le centre du rectangle et le centre du profilé. Voir la Figure II.17.

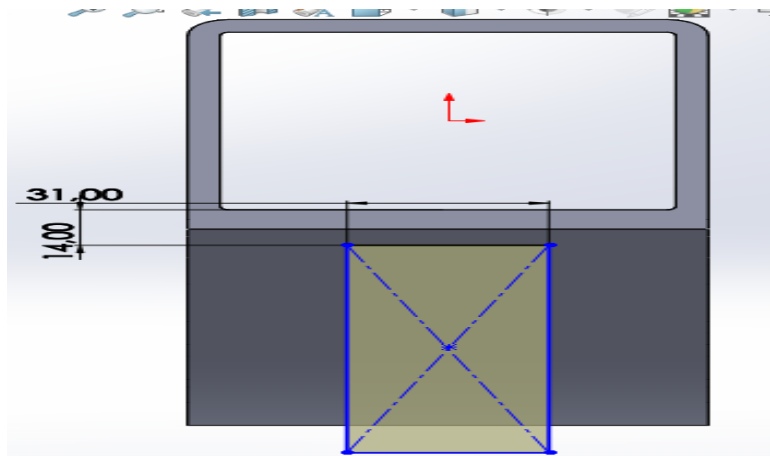


Figure II.17 : Étape 09 pour créer le profilé de levage.

10/ La Figure II.18 montre le résultat final du profilé de levage.

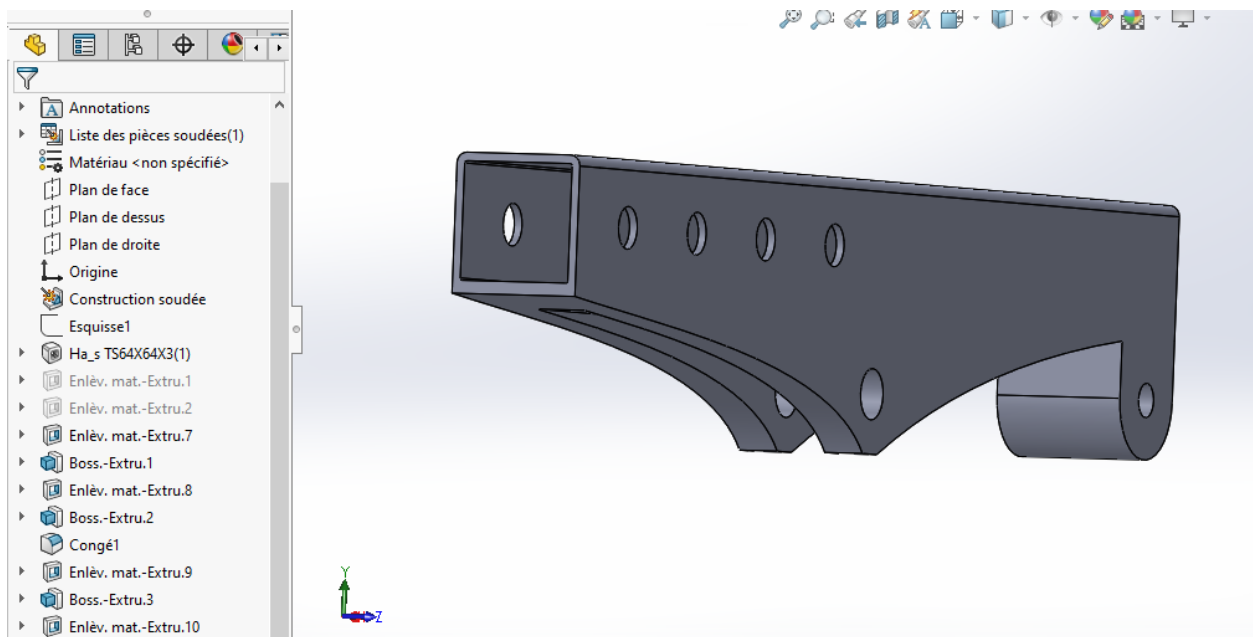


Figure II.18 : Profilé de levage finalisé.

### IV-1-4 Conception du profilé télescopique

- **Corps principal** : Profilé de forme carrée 70x70x5.
- **Perçages** : Deux perçages cylindriques de diamètres différents (Fonction d'enlèvement de matière par extrusion). Voir la Figure II.19.



Figure II.19 : Profilé télescopique.

### IV-1-5 Conception du Bras de force

- Corps principal** : Cylindre (bossage lissé).
- Extrémité 1** : Bloc rectangulaire avec alésage cylindrique (Extrusion rectangulaire et enlèvement de matière par extrusion circulaire).

**-Extrémité 2 :** Bloc cubique avec alésage cylindrique (Extrusion cubique et enlèvement de matière par extrusion de cercles).

Cette barre cylindrique a un bloc rectangulaire percé à une extrémité et un bloc cubique percé à l'autre, servant à transmettre une force entre deux points avec des types de connexion différents. Voir la Figure II.20.

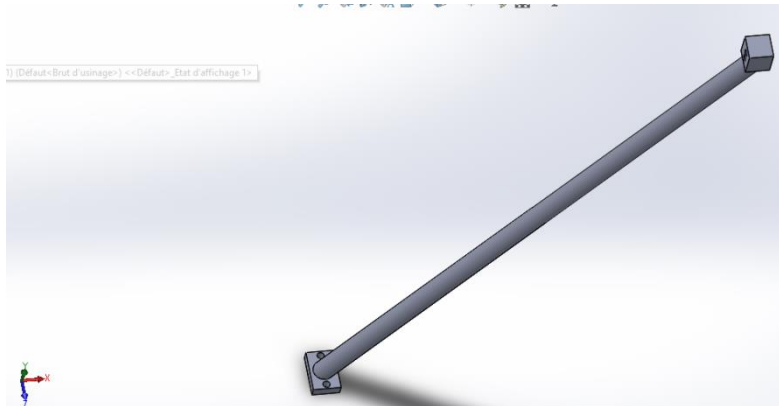


Figure II.20 : Bras de force.

### IV-1-6 Conception de colonne

**-Corps principal :** Tube rectangulaire 70x60x5 (profilé).

**-Extrémité supérieure :** Deux plaques parallèles avec alésages (Extrusions rectangulaires et enlèvements de matière circulaires).

**-Extrémité inférieure :** Plaque de base rectangulaire avec renforts triangulaires et perçages (Extrusion rectangulaire, extrusions triangulaires, enlèvements de matière circulaires).

**-Fixation latérale :** Support en U avec perçage (Extrusion en U et enlèvement de matière circulaire).

Cette colonne est un tube rectangulaire avec des éléments de fixation aux deux extrémités et sur le côté, jouant le rôle d'une structure de support dans l'assemblage. Voir la Figure II.21.

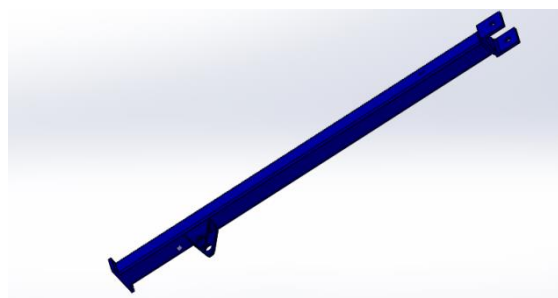


Figure II.21 : Colonne.

#### IV-1-7 Conception du vérin hydraulique

-**Corps principal** : Tube cylindrique creux (Extrusion d'un cylindre, coque).

-**Tige** : Cylindre plein (Extrusion circulaire).

-**Piston (interne)** : Cylindre (Extrusion circulaire).

-**Chape (extrémité du corps)** : Forme complexe avec alésages (Extrusion et enlèvements de matière).

-**Fixations (extrémités)** : un couvert fixé sur le corps du vérin avec des vis.

Ce vérin, comme montré sur la Figure II.22, est composé d'un corps cylindrique contenant un piston relié à une tige coulissante. Les extrémités comportent des systèmes de fixation pour être articulé à d'autres composants.

**Le rôle de ce vérin est de fournir la force nécessaire pour soulever et abaisser la charge de manière contrôlée grâce à la pression hydraulique.** Il convertit la puissance du fluide en mouvement linéaire.

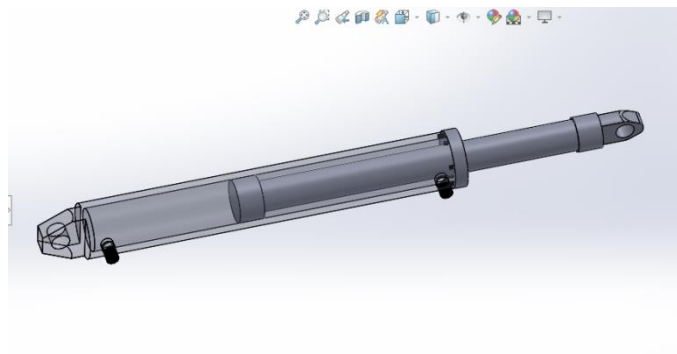


Figure II.22: Vérin hydraulique.

##### ❖ Tête de tige

Cet élément a été conçu en commençant par un corps cylindrique principal, auquel a été ajoutée une extrémité conique. Plusieurs enlèvements de matière ont créé des trous traversant de différentes tailles. Des congés ont été appliqués pour adoucir les arêtes. Enfin, une extension cylindrique avec un trou traversant a été ajoutée à l'autre extrémité. Voir la Figure II.23.

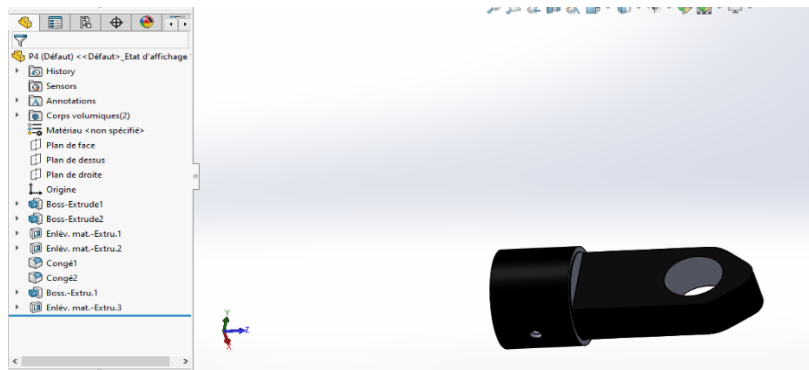


Figure II.23 : Tête de tige.

### IV-1-8 Conception des roues de déplacement

Cette roue a été conçue en plusieurs parties qu'on a assemblé séparément de l'assemblage. Voir Figure II.24.

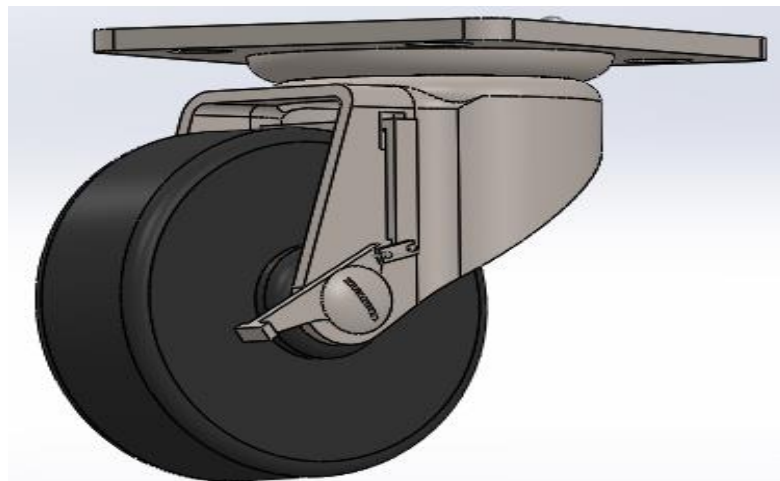


Figure II.24 : Roue de déplacement.

#### IV-1-8-1 Corps de la roue

La conception de cette pièce a impliqué la construction progressive de sa forme par des extrusions, le retrait de matière pour créer des détails et des ouvertures, l'adoucissement des arêtes avec des congés, l'application de dépouilles pour des raisons de fabrication, et la création d'une structure creuse à l'aide de la fonction de coque. Voir la Figure II.25.

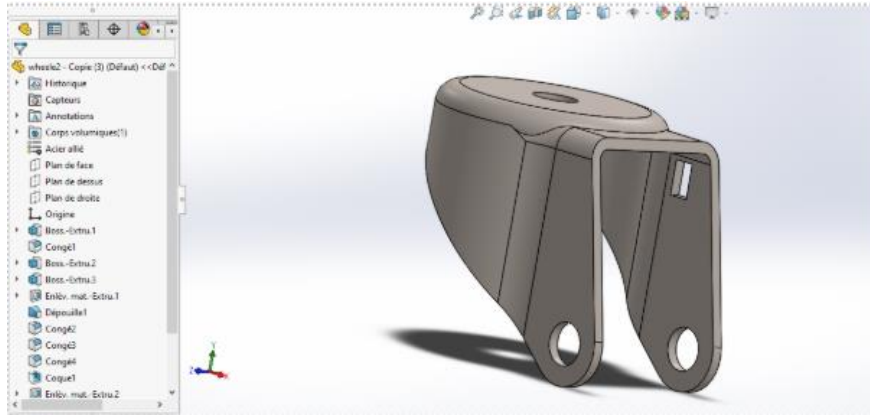


Figure II.25 : Corps de la roue.

### IV-1-8-2 Base 2

La conception a consisté à créer une plaque de base, ajouter un bossage central pour un éventuel positionnement ou logement, adoucir les arêtes du bossage, et percer des trous pour la fixation. La Figure II.26 donne le dessin de cette base.

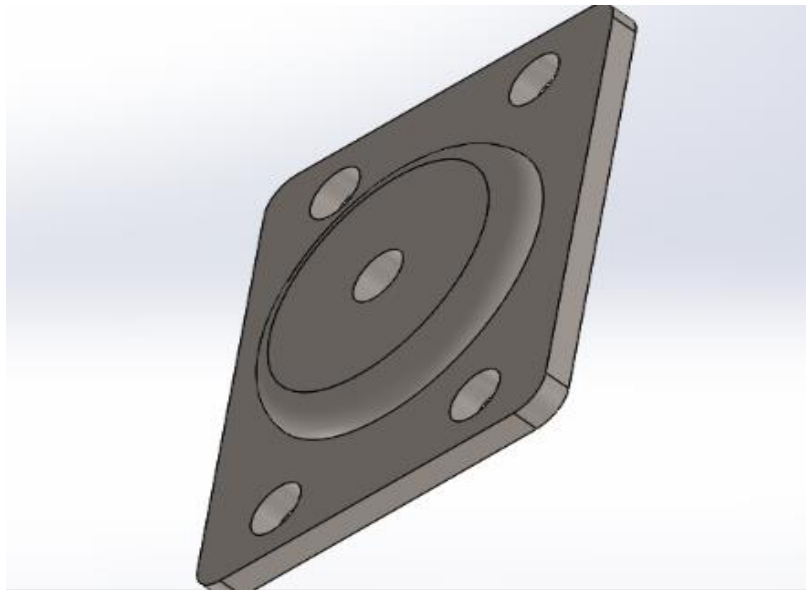


Figure II.26 : Base 2.

### IV-1-8-3 Roue

La roue a été conçue en définissant sa forme en coupe et en la faisant tourner autour d'un axe par la fonction de bossage avec révolution pour obtenir le volume, puis un trou central a été créé pour sa fixation. Voir la Figure II.27.

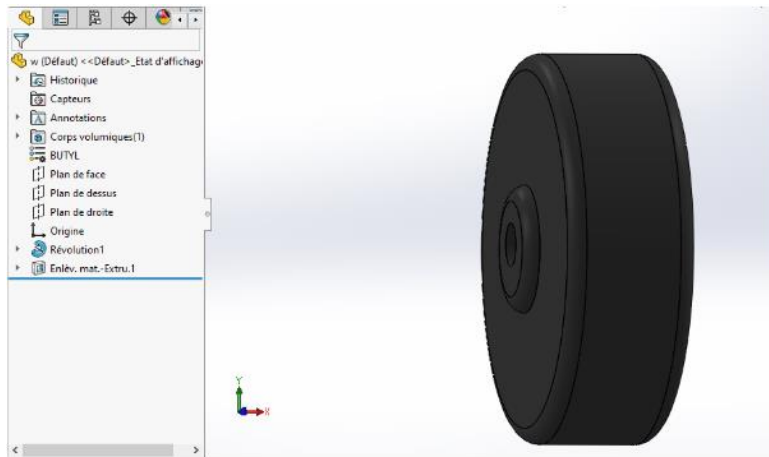


Figure II.27 : Roue.

### IV-1-8-4 Tige

La conception d'une tige simple dans SolidWorks implique principalement la création d'une esquisse 2D de sa section transversale et sa révolution autour d'un axe central. Voir Figure II.28.

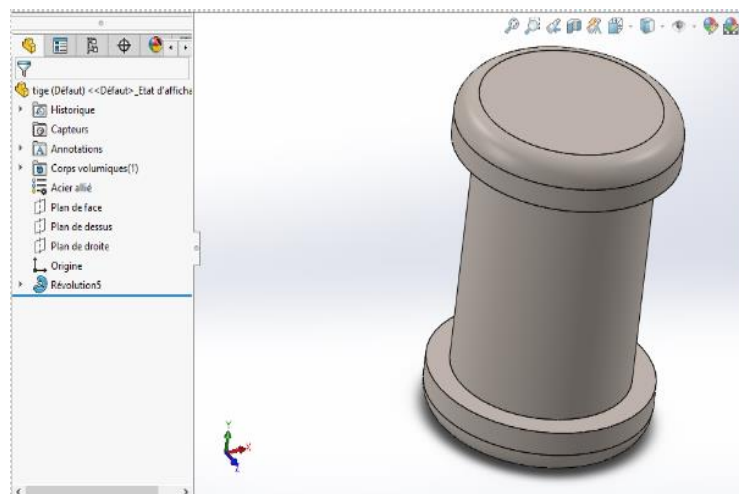


Figure II.28: Tige.

### IV-1-8-5 Axe 1 et Axe 2

Ces axes ont été conçus en dessinant la moitié de leurs profils sur un plan, puis en utilisant la fonction de révolution pour créer la forme 3D en faisant pivoter ces profils autour d'un axe central. Voir la Figure II.29 et la Figure II.30.

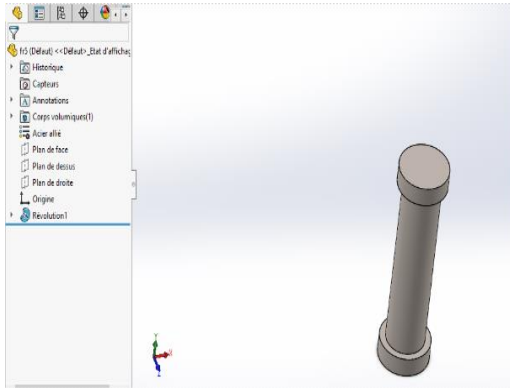


Figure II.29: Axe 1.

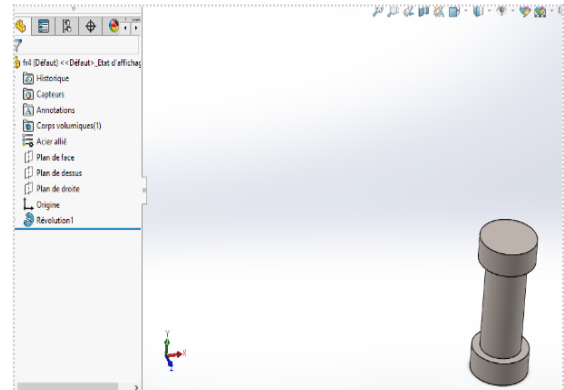


Figure II.30: Axe 2.

### IV-1-8-6 Élément de frein

Cet élément de frein a été conçu en créant d'abord une forme rectangulaire de base par extrusion, puis en utilisant des enlèvements de matière extrudés pour créer les deux trous. Voir la Figure II.31.

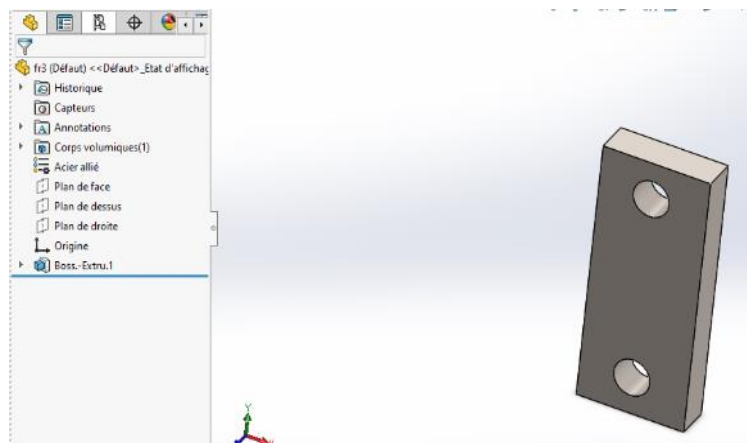


Figure II.31 : Élément de frein.

### IV-1-8-7 Fourchette

Cette fourchette d'arrêt de mouvement a été conçue en créant une base extrudée avec une forme spécifique, en ajoutant un rectangle extrudé pour l'engagement, et en créant un trou de fixation par enlèvement de matière. Une encoche supplémentaire a encore été créée par une autre opération d'enlèvement de matière. Cet élément est illustré sur la Figure II.32.

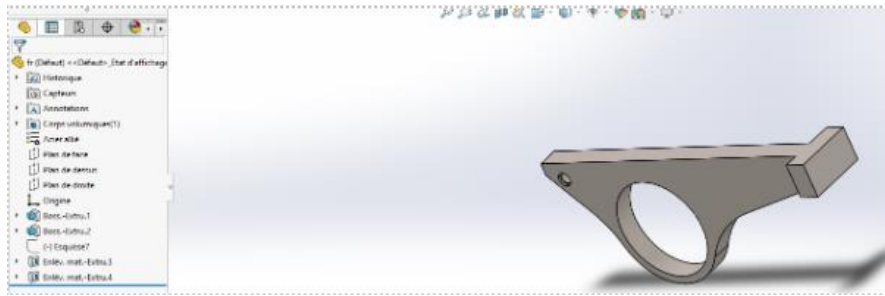


Figure II.32 : Fourchette.

### IV-1-8-8 Frein

Ce levier de frein a été conçu en extrudant une esquisse en forme de "L" pour créer le corps principal. Un trou de pivot a ensuite été créé à l'une des extrémités par enlèvement de matière. Un congé a été ajouté à l'angle pour la solidité. Voir la Figure II.33.

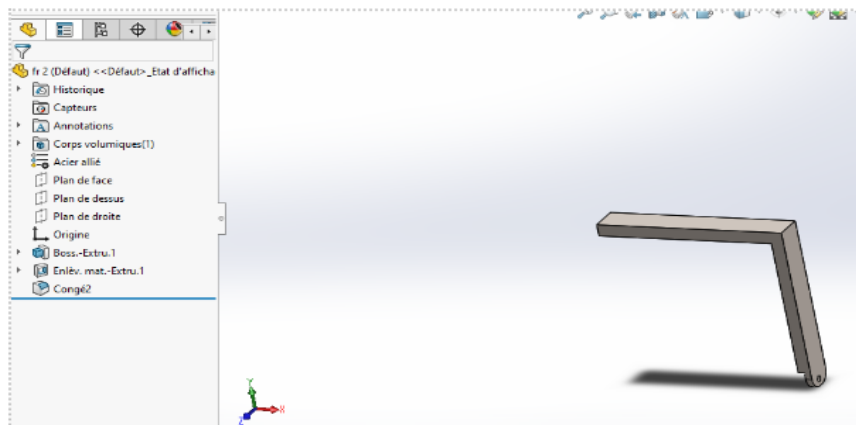


Figure II.33 : Frein.

### IV-1-9 Conception de bagues (Axes)

La conception dans SolidWorks est un **cylindre creux** créé par une **extrusion** avec une fonction mince. C'est une simple forme tubulaire.

Chaque bague est créée de la même manière en faisant varier juste la longueur et les diamètres des cercles, comme on le voit dans la figure II.34.

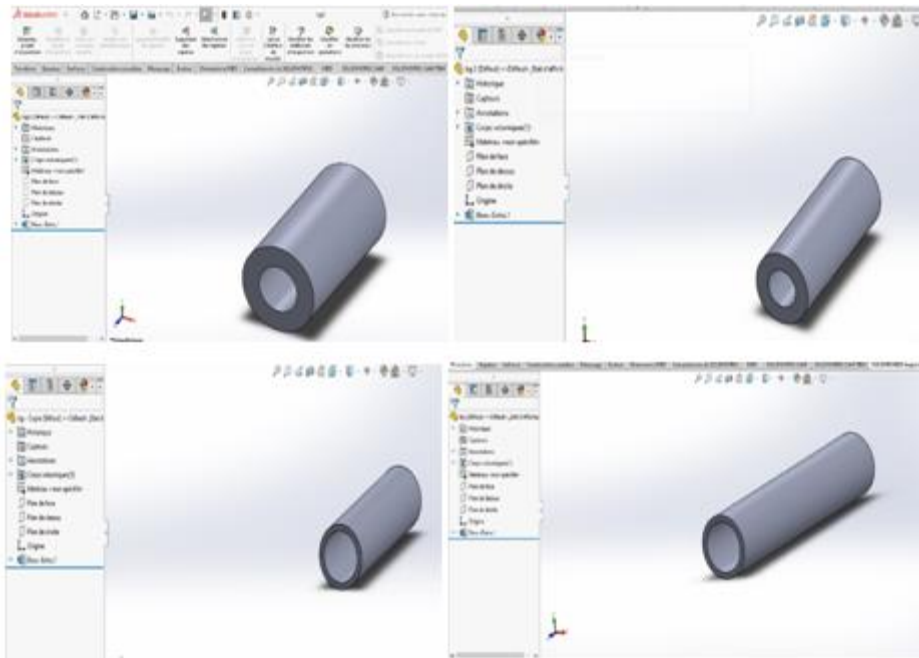


Figure II.34 : Bagues (Axes).

### V-Assemblage final

Après avoir modélisé toutes les pièces composant le lève moteur ou grue, on procédera par la suite à leur assemblage. Cet assemblage est réalisé par la création de contraintes (standards et avancées) entre les faces ou arêtes des différentes pièces, en respectant le coté fonctionnel du système.

Dans l'assemblage du lève moteur il y a 8 positions possibles en fonction de son bras télescopique et de ses points de levage ; mais nous ne donnons que 4 positions, montrées sur les figures suivantes de II.35 jusqu'à II.38.

- 1- **Position 01** : Bras totalement incliné vers le bas et tige télescopique rétractée (position courte). Voir Figure II.35.
- 2- **Position 02** : Bras totalement incliné vers le haut (au sommet) avec tige télescopique rétractée (position courte). Voir Figure II.36.
- 3- **Position 03** : Bras totalement incliné vers le bas avec tige télescopique complètement déployée (position longue). Voir Figure II.37.
- 4- **Position 04** : Bras totalement incliné vers le haut (au sommet) et tige télescopique complètement déployée (position longue). Voir Figure II.38.



Figure II.35: Position 01.



Figure II.36: Position 02.



Figure II.37: Position 03.



Figure II.38: Position 04.

## VI - Conclusion

Ce chapitre a abordé en premier lieu les étapes clés de la conception mécanique en présentant la conception assistée par ordinateur, CAO, ses fonctionnalités, ses objectifs et ses domaines d'application.

Par la suite, un bref aperçu sur le logiciel de CAO SolidWorks est donné, avant de passer à la deuxième partie essentielle de ce chapitre, qui est consacrée à la conception et à l'assemblage des différentes pièces du lève charges ou lève moteurs.

## **Chapitre III**

# **Étude de conception et d'optimisation de l'assemblage grue d'atelier**

### I- Introduction

L'optimisation d'une conception mécanique consiste à améliorer ses performances et à réduire son coût de production, principalement en minimisant la quantité de matériau utilisée. « Cette démarche est précédée d'une étude de conception basée sur des analyses préalables » [31].

SolidWorks Simulation permet aux utilisateurs de SolidWorks de réaliser des études structurelles. Après avoir spécifié les caractéristiques du matériau, les déplacements imposés et les chargements, un maillage est créé pour exécuter l'étude statique. Celle-ci génère divers résultats : contraintes, déplacements, déformations et vérifications de connecteurs.

Ce chapitre présente une étude statique de la grue d'atelier (créée précédemment). Les résultats de cette étude définiront les contraintes limites pour l'étude de conception subséquente. Le travail s'achèvera par une optimisation visant à réduire la masse de la grue.

### II- Définition de l'optimisation [32]

« L'optimisation est le calcul du poids, des contraintes, du coût, de la déformation, des fréquences naturelles, des déplacements imposés, des matériaux et des exigences de la fabrication » [32]. Le défi est qu'il est rare que les concepteurs connaissent tous ces paramètres dès les premières étapes du processus de conception.

#### II-1 Études d'optimisation pour la conception [32]

Les études d'optimisation visent à améliorer les performances des systèmes tout en respectant les contraintes spécifiées dans le cahier des charges, telles que la sécurité, le coût, etc. Ces études peuvent concerner des problèmes de tailles variées, allant de quelques facteurs de conception à plusieurs centaines. La plupart des études d'optimisation utilisent des simulations numériques (comme les éléments finis), mais elles peuvent également s'appliquer à des tests réels (comme en soufflerie, banc moteur, etc.) ou à des simulations d'événements discrets.

#### II-2 Éléments constitutifs de l'optimisation [32]

Le processus d'optimisation repose sur trois éléments clés :

- **Objectif**
- **Limites**

- **Variables**

L'optimisation consiste à maximiser ou minimiser un objectif, en ajustant les variables, tout en respectant un cahier des charges et des contraintes définies, appelées limites.

### II-2-1 Objectif

L'objectif de l'optimisation représente le but recherché. Par exemple, si une entreprise constate qu'elle pourrait obtenir un avantage concurrentiel en produisant un produit plus léger et moins coûteux, la réduction du poids ou du coût devient l'objectif de l'optimisation. « Ce type d'optimisation est appelé **optimisation à objectif unique** » [33].

### II-2-2 Limites

Les limites sont essentielles pour rendre l'optimisation réaliste. Prenons l'exemple de la poutre cantilever, illustrée dans la figure III.1 : si le problème d'optimisation est défini pour minimiser le poids sans imposer de limite, l'optimisation choisirait immédiatement la configuration la plus légère possible, sans tenir compte des autres critères importants.

Dans la réalité, les pièces doivent répondre à d'autres exigences opérationnelles, telles que la résistance et la rigidité. Il est donc crucial que le concepteur définisse des limites qui garantissent un comportement acceptable de la pièce dans son système global. Ces limites peuvent être issues de différentes analyses, comme les analyses statiques, fréquentielles ou thermiques.

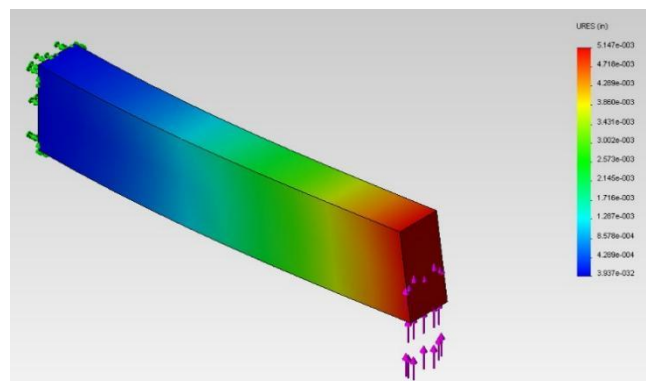


Figure III.1 : Une poutre de poids minimal pourrait fléchir d'une manière excessive [34].

### II-2-3 Variables de conception [35]

Dans une étude d'optimisation, l'ingénieur doit pouvoir ajuster certains paramètres de conception afin de trouver la meilleure configuration parmi plusieurs options possibles. Ces paramètres sont appelés **variables de conception**. Elles peuvent inclure des dimensions, le nombre d'occurrences dans une répétition géométrique, les propriétés des matériaux, les

chargements appliqués, la raideur d'un ressort, ou tout autre aspect de la conception susceptible d'avoir une "meilleure" valeur ou configuration.

Les **variables** peuvent être **continues**, c'est-à-dire qu'elles peuvent prendre n'importe quelle valeur dans un intervalle défini. Par exemple, la plupart des **variables dimensionnelles** sont de type continu, puisqu'elles peuvent prendre une valeur dans une plage précise, par exemple entre une largeur minimum et maximum.

### II-3 Fonctions principales [35]

Voici les principales fonctionnalités associées à l'optimisation des conceptions :

- Proposition de nouvelles formes géométriques, que ce soit sous forme de corps volumiques ou surfaciques.
- Réduction de la masse comme objectif principal de l'optimisation, avec la possibilité de suivre le déplacement maximal d'un élément du maillage.
- Respect des contraintes mécaniques, des contraintes liées à la conception et à la fabrication.
- Autorisation de chargements multiples, permettant de simuler divers scénarios.
- Intégration directe des données dans SOLIDWORKS pour une gestion fluide de la conception.
- Utilisation de **SOLIDWORKS Simulation** pour les calculs d'analyse.
- Application des mêmes outils de chargement et de déplacements imposés que pour les simulations en **statique linéaire**.
- Utilisation du solveur **Tosca** (dans la gamme **Simulai**) pour l'optimisation avancée.
- Contrôle du lissage du maillage optimisé pour assurer une solution optimale et précise.
- Génération de fichiers **STL** pour la fabrication additive, facilitant ainsi la production via l'impression 3D.



Figure III.2 : Suppression des matériaux inutiles par optimisation [36].

### II-4 Logiciels de simulation

La simulation informatique ou numérique : désigne l'exécution d'un programme informatique sur un ordinateur ou réseau d'ordinateurs en vue de simuler un phénomène physique réel et complexe (par exemple : chute d'une goutte d'eau sur différents types de sols, écoulement d'un fluide dans une veine, usure d'un roulement à billes...) [37].

Les simulations numériques scientifiques reposent sur l'application de modèles théoriques, souvent basés sur la méthode des éléments finis. Elles constituent une adaptation numérique de la modélisation mathématique, permettant d'étudier le comportement et les propriétés d'un système modélisé, ainsi que de prédire (ou découvrir) son évolution. « Les résultats des simulations sont visualisés à l'aide d'images de synthèse », telle que figure III.3 [38].

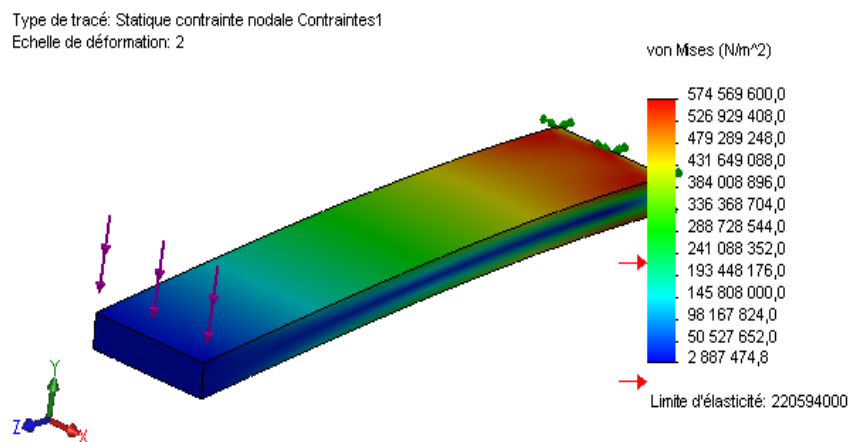



Figure III.3 : Image des résultats de simulations [39].

Tableau III.1 : Exemples de logiciels de simulations.

	<p><a href="#"><u>ABAQUS</u></a></p>	<p>Il s'agit d'un logiciel américain de simulation, développé par Hibbit, Karlsson &amp; Sorensen (HKS), et devenu SIMULIA après son acquisition par Dassault Systèmes en 2005. Ce logiciel propose deux formulations : implicite et explicite [40].</p>
<p>SOLIDWORKS SIMULATION</p>	<p><a href="#"><u>COSMOSWorks</u></a></p>	<p>La société SRAC a été acquise par Dassault Systèmes, qui avait précédemment racheté SolidWorks Corp. en 1997 [41].</p>
	<p><a href="#"><u>ANSYS</u></a></p>	<p>Il s'agit d'un logiciel américain de simulation par éléments finis, utilisé pour modéliser les comportements en mécanique des structures, mécanique des fluides, électromagnétisme, etc [42].</p>
	<p><a href="#"><u>CADFLOW</u></a></p>	<p>Logiciels de simulation et d'ingénierie dédiés à la plasturgie.</p>
	<p><a href="#"><u>Fluent</u></a></p>	<p>Logiciel américain de simulation des écoulements de fluides [42].</p>
	<p><a href="#"><u>LMS Virtual Lab fatigue</u></a></p>	<p>Logiciel belge développé par la société LMS, destiné à la simulation de la fatigue dans les structures, y compris au niveau des points et des cordons de soudure.</p>
	<p><a href="#"><u>Nastran</u></a></p>	<p>Logiciel de simulation par éléments finis, utilisé dans l'automobile, l'aéronautique et l'industrie manufacturière. Nastran est devenu, de facto, le standard pour l'analyse des structures aérospatiales [43].</p>

### III- Étude statique

L'**analyse statique** est une étape préalable à la phase de conception détaillée dans un projet utilisant un logiciel de CAO (comme SolidWorks, CATIA, Autodesk Inventor, etc.). Elle permet d'évaluer le **comportement mécanique** d'un objet ou d'un système **sous des charges constantes** (non variables dans le temps), avant même de lancer la fabrication ou de finaliser le modèle 3D.

#### III-1 Objectifs de l'analyse statique

- **Valider la faisabilité** mécanique d'un concept (forme, structure, matériaux).
- **Identifier les contraintes critiques** : zones de faiblesse, déformations excessives, points de rupture potentiels.
- **Optimiser la géométrie** et le choix des matériaux avant la phase de conception détaillée.
- **Réduire les coûts** de prototypage et de fabrication.

#### III-2 Étapes typiques de l'analyse statique

1. **Modélisation géométrique préliminaire** (souvent simplifiée).
2. **Définition des matériaux** (module de Young, coefficient de Poisson, etc.).
3. **Application des conditions aux limites** (appuis, fixations).
4. **Application des charges** (poids, pressions, forces, etc.).
5. **Maillage** du modèle (éléments finis).
6. **Résolution et post-traitement** : contraintes (Von Mises), déplacements, facteurs de sécurité, etc.

#### III-3 Analyse par Éléments Finis

- Analyse de pièces multi-corps ou à corps unique.
- Analyse d'assemblages.
- Modélisation de volumes, coques et poutres.
- Analyses en 3D et 2D.
- Méthodes adaptatives h et p pour les analyses.

- Fonctions avancées pour le contrôle du maillage.
- Sous-modélisation pour une plus grande précision.

### III-4 Résultats et Traitement

- Ressources informatiques allouées de manière optimisée pour les simulations.
- Superposition des résultats simulations sur les graphiques SOLIDWORKS.
- « **Évaluation** des contraintes, déformations, déplacements et coefficients de sécurité » [44].
- **Détermination** des forces de réaction et des moments.
- « Génération de tracés de contours, d'iso-surfaces, de surfaces et de résultats de coupe » [45].
- Animation des résultats de simulation.
- Outil de sondage pour **analyser** les résultats.
- Comparaison des données des **essais**.
- Détection des points **critiques** (singularités de contraintes).
- Résultats **dictés** par des équations.
- Rapport de simulation personnalisable.
- Visualisation des résultats de simulation SOLIDWORKS dans dessins.

## IV- Réalisation de l'étude statique du lève charges

Avant d'entamer l'étude de conception de notre grue d'atelier, nous avons effectué les simulations statiques à travers le logiciel SolidWorks Simulation, qui nous a donné l'occasion d'analyser les résultats lors des effets qu'on obtient lorsque plusieurs charges statiques s'appliquent sur le système de levage du moteur. Cette simulation nous a donné l'opportunité de recueillir de nombreuses données importantes telles que les distributions des contraintes, les déformations et les déplacements obtenus après l'application de la charge. Les contraintes trouvées après analyse, seront utilisées par la suite pour analyser la réponse de notre système dans différentes conditions opérationnelles imposées.

Afin de bien simuler notre grue nous avons fait l'analyse statique pour deux positions, ou configurations, différentes :

- 1- **Configuration 01** : Quand le bras de la grue est totalement incliné vers le haut (au sommet) avec tige télescopique rétractée (position courte), **Position 02** donnée sur la Figure II.36 du chapitre précédent.
- 2- **Configuration 02** : Bras totalement incliné vers le haut (au sommet) et tige télescopique complètement déployée (position longue), **Position 04** donnée sur la Figure II.38 du chapitre précédent.

Pour simplifier l'analyse et optimiser l'efficacité du modèle numérique, certains composants non essentiels ont été exclus de cette étude, notamment la pompe hydraulique et les flexibles, les roues et les boulons, comme illustré sur les figures III.4 et III.5.



Figure III.4 : Grue d'atelier avant simplification.

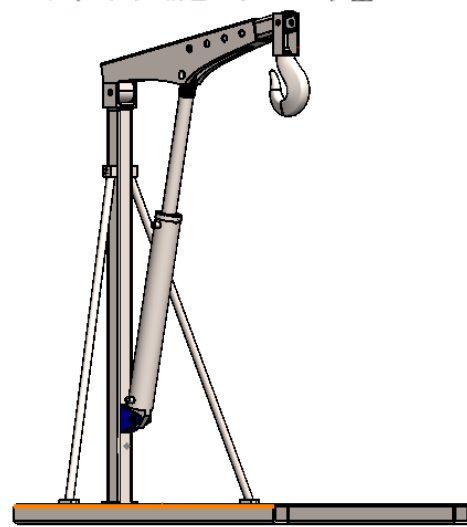


Figure III.5 : Grue d'atelier après simplification.

### IV-1 Choix du matériau

Le matériau sélectionné pour l'étude de toutes les pièces de l'assemblage est « **AISI 4340 Acier normalisé** » d'une manière générale.

AISI 4340 est pertinent pour :

- **Augmenter la résistance mécanique** (limite d'élasticité, ténacité, dureté).
- **Modèle haute performance** ou optimisé (poids/résistance).

➤ *Propriétés de la grue pour l'étude statique sur SolidWorks (après simplification)*

Masse = **166539,07 g**

Volume = 21215168.03 mm<sup>3</sup>

Superficie = 4437012.19 mm<sup>2</sup>

Centre de gravité (millimètres) :  $X = 7930.85$  ;  $Y = 738.73$  ;  $Z = 89847.71$

### ➤ Propriétés de AISI 4340 Acier normalisé sur SolidWorks

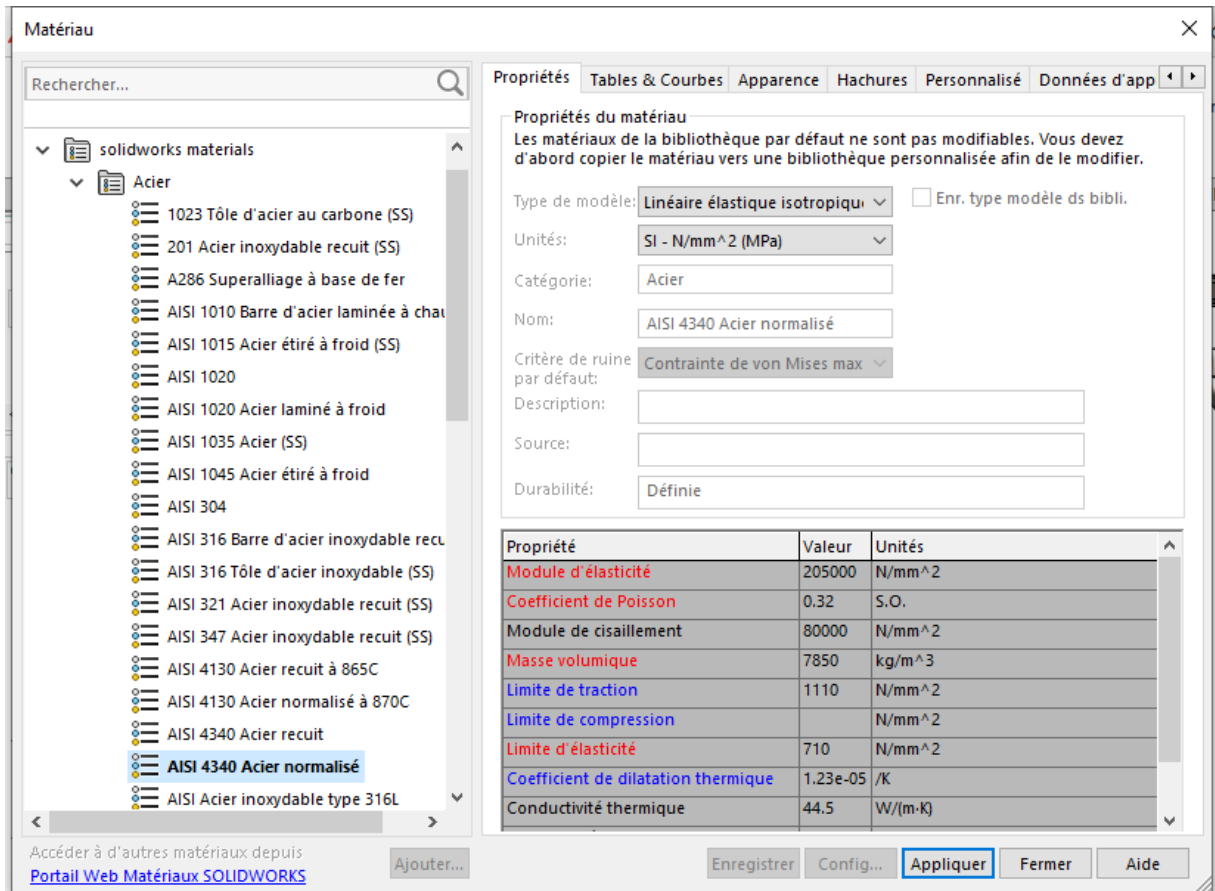


Figure III.6 : Propriétés mécaniques du matériau AISI 4340 Acier normalisé.

## IV-2 Montage et fixation de la grue

Nous avons fixé la base de la grue dans des appuie pour simuler la stabilité des roues sur le sol durant la levée du moteur, comme indiqué sur la figure III.7, afin de mener deux études différentes:

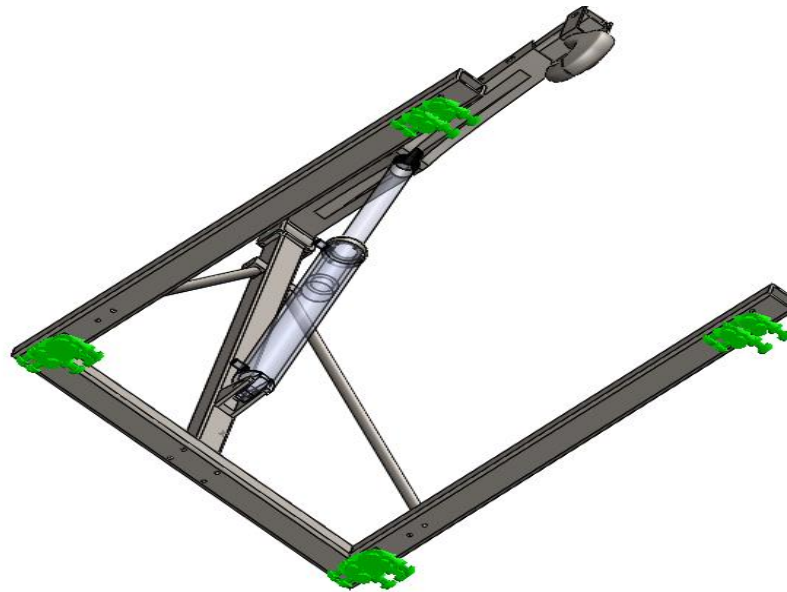


Figure III.7 : Points de fixation.

### IV-3 Charges

Pour la simulation statique, nous avons appliqué deux charges à la grue, pour une situation réaliste :

- Une gravité de **9,81m/s<sup>2</sup>** pour simuler la masse et le poids de la grue.
- Et une force statique de **2500 Newton**, équivalente à une masse d'environ **250 kg** (correspondant au poids maximal d'un moteur de voiture moyenne), au point de crochet comme indiqué sur la figure III.8.

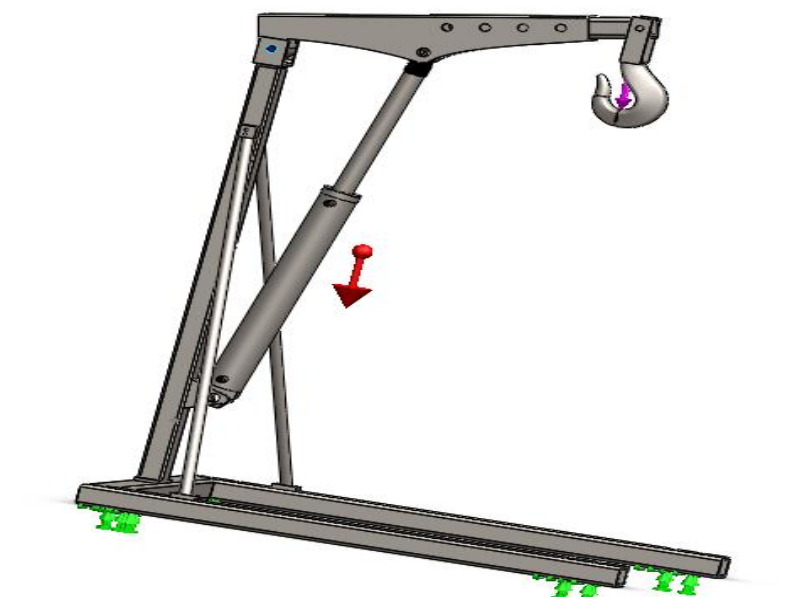


Figure III.8 : Charges (Force et gravité).

### IV-4 Maillage

Dans SolidWorks Simulation, le maillage est une étape fondamentale et indispensable précédant toute analyse par des éléments finis. Il s'agit du processus par lequel la géométrie continue de votre modèle CAO (Conception Assistée par Ordinateur) est divisée, ou discrétisée, en un grand nombre de petits sous-domaines interconnectés appelés éléments. Ces éléments sont généralement de formes simples : des tétraèdres pour les modèles volumiques 3D (la forme la plus courante), des triangles ou quadrilatères pour les modèles de coque (utilisés pour les pièces minces comme la tôle), ou des segments de ligne pour les modèles de poutre (pour les structures élancées) [46]. La figure III.9 reprisant les différents maillages.

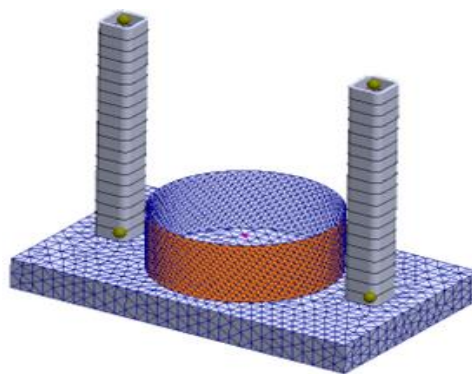


Figure III.9 : Exemple de maillages.

Pour cet effet un maillage a été appliqué à notre système, illustré sur la figure III.9.

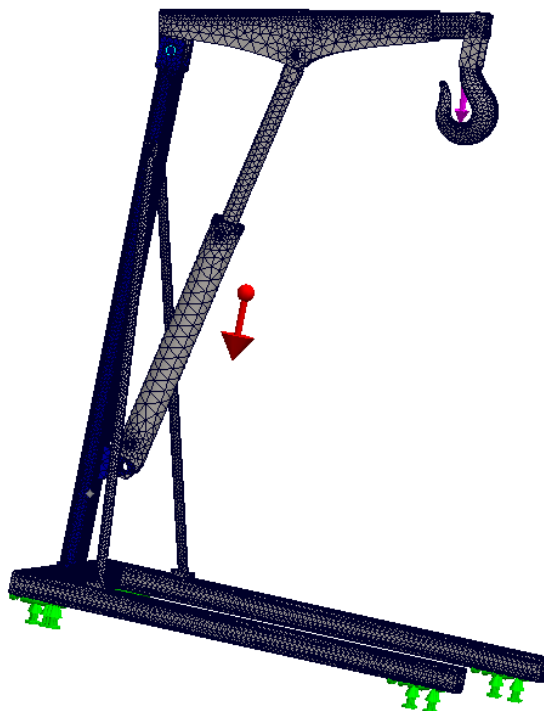


Figure III.10 : Maillage de la grue.

### V- Résultats de l'étude statique pour les deux configurations

- ✓ **Configuration 01** : Tige télescopique rétractée (en dedans du profilé de levage).
- ✓ **Configuration 02** : Tige télescopique déployée (en dehors du profilé de levage).

Après avoir appliqué les différentes hypothèses de modélisation sur notre grue, nous avons exécuté l'étude, ce qui a donné les résultats suivants des contraintes et déplacements pour les deux configurations.

#### V-1 Résultats de Configuration 01

Les résultats de l'étude la première configuration sont donnés sur les figures III.11 et III.12 suivantes:

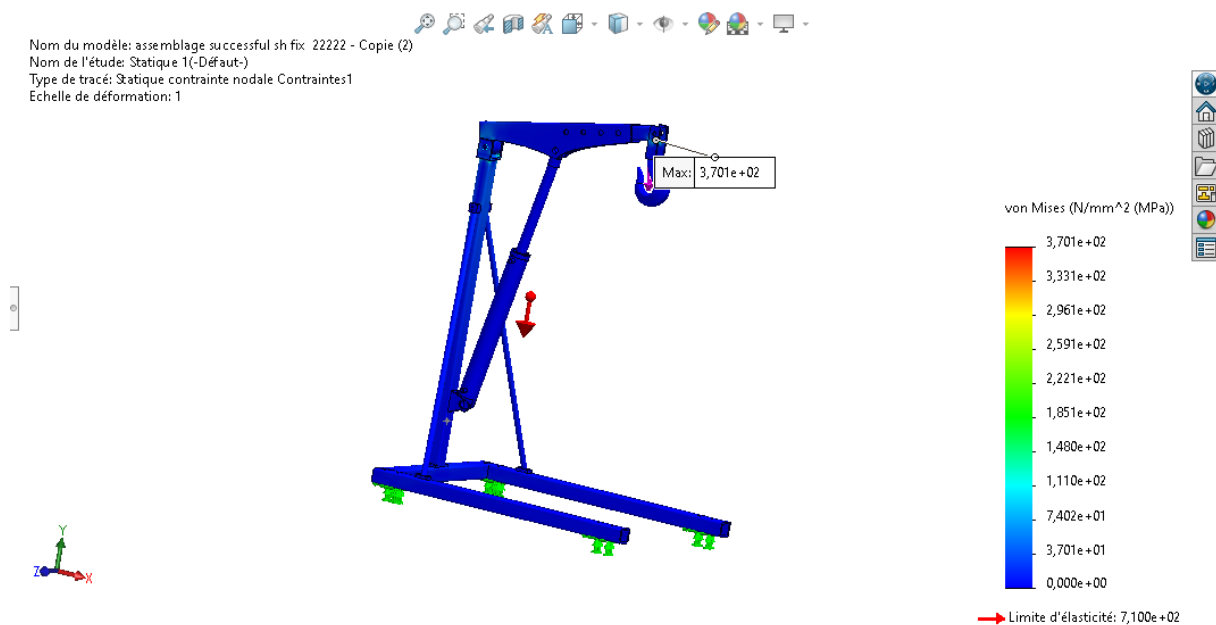


Figure III.11 : Résultat statique de la contrainte (Configuration 01).

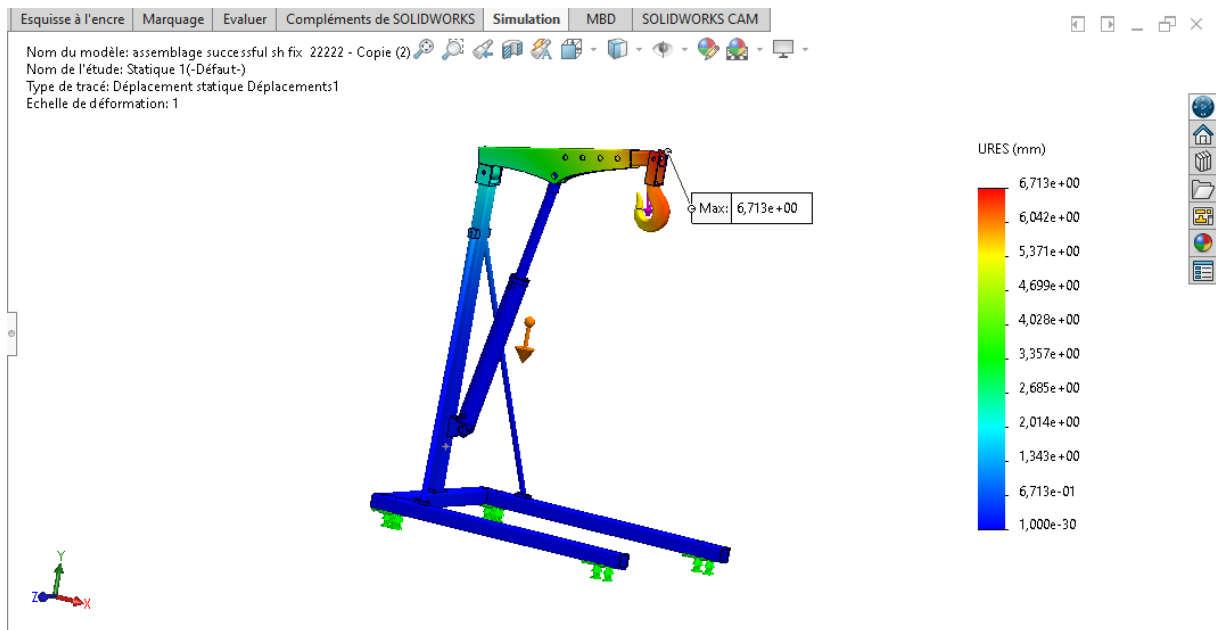


Figure III.12 : Résultat statique de déplacement (Configuration 01).

- ❖ **Interprétation des résultats de configuration 01 :** Nous remarquons que la concentration de contrainte dans le point de connexion de Porte-crochet avec le profilé télescopique est de  $3,701 \text{ e}+02 \text{ N/mm}^2$  (MPa) « Contrainte de Von Mises maximale », et le déplacement résultant (URES) maximal avec une valeur de 6,71 mm dans l'extrémité du bras sous charge et le crochet. Voir la Figure III.11 et Figure III.12.

### V-2 Résultats de Configuration 02

Après avoir refait l'étude avec les mêmes hypothèses pour la deuxième configuration, nous avons obtenu les résultats suivants, donnés sur les figures III.13 et III.14.

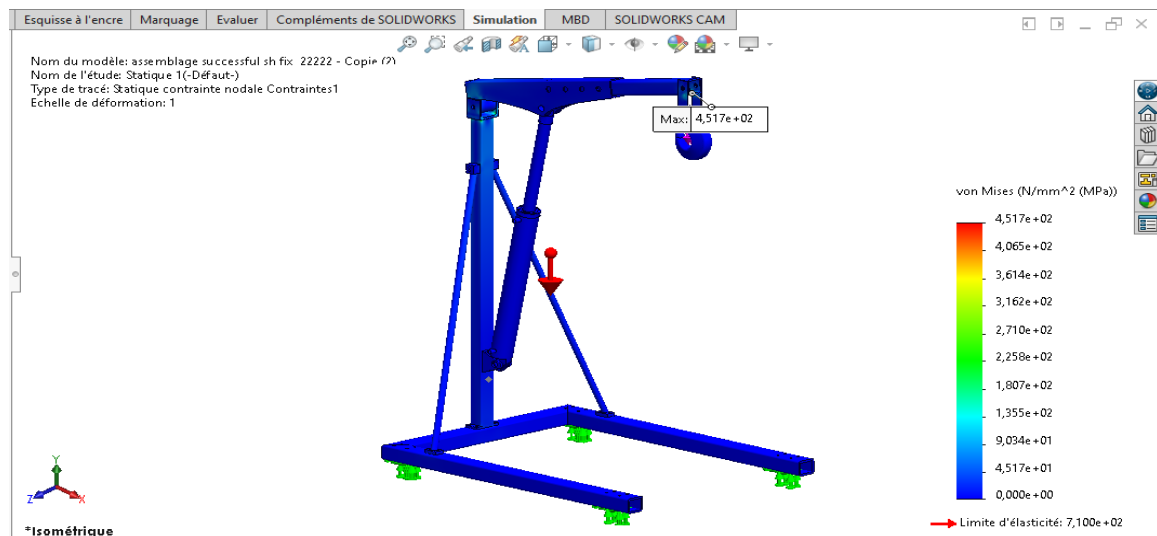


Figure III.13 : Résultat statique de la contrainte (Configuration 02).

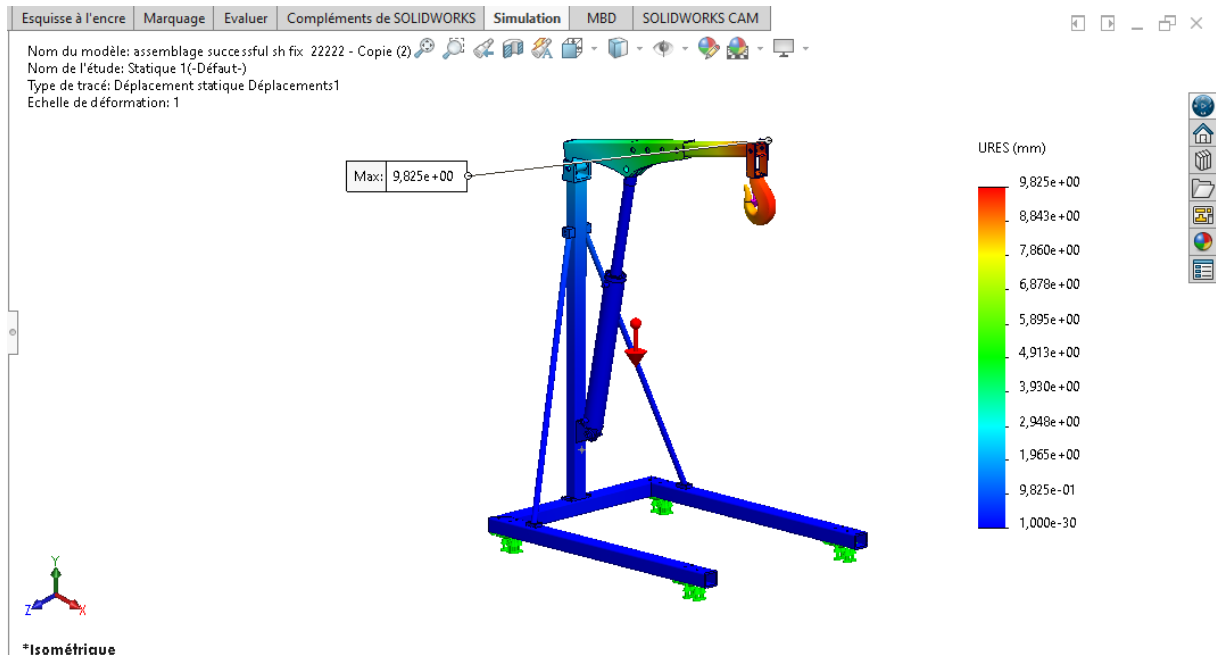


Figure III.14 : Résultat statique de déplacement (Configuration 02).

- ❖ **Interprétation des résultats de configuration 02 :** Nous remarquons, comme montré sur les figures précédentes, que la concentration de contrainte dans le point de connexion de Porte-crochet avec le profilé télescopique est de  $4,517e+02 \text{ N/mm}^2$  (MPa) « contrainte de Von Mises maximale », et le déplacement résultant (URES) maximal a une valeur de 9,82 mm dans l'extrémité du bras sous charge et le crochet.

### V-3 Comparaison

Dans la configuration 01, la contrainte maximale  $3,701.10^2$  MPa est bien inférieure à la limite d'élasticité de AISI 4340, qui est 710 MPa. La structure reste dans le domaine élastique, donc pas de déformation plastique permanente, attendue avec un déplacement maximal de 6,71mm. Dans la configuration 02, la contrainte maximale  $4,517.10^2$  MPa reste loin de la limite d'élasticité. La structure est toujours élastique, malgré le déplacement maximal qui est de 9,82mm. Cette valeur est logique avec la réalité dans le cas de « profilé télescopique en dedans du profilé de levage » où les valeurs de contrainte et le déplacement sont assez faibles, vice versa dans le cas du profilé télescopique qui est en dehors du profilé de levage.

## VI- Étude de conception de la grue

Dans cette section, et après la phase de modélisation et détermination des contraintes dans le lève moteur ou grue, on va étudier les dimensions du profilé de levage comme paramètres d'étude, puis on calculera les contraintes, comparées aux limites admissibles en déformation,

et enfin les changements de dimensions associées des pièces liées avec le profilé de levage (reliées par des équations créées avant l'étude de conception), et par la suite on en déduira le profilé de levage optimum.

### VI-1 Mise en place de l'étude de conception

#### VI-1-1 Variables géométriques

À ce stade, nous définissons différentes dimensions du profilé de levage (longueur, largeur et hauteur) pour former plusieurs scénarios d'étude de conception.

**Tableau III.2** : Variables de conception pour profile de levage.

Nom	Type	Valeurs	Unités
Hauteur	Valeurs discrètes	80, 75, 70	mm
Largeur	Valeurs discrètes	80, 75, 70	mm
Longueur	Valeurs discrètes	800, 750	mm

#### VI-1-2 Limites imposées

Pour bien mener notre étude nous allons imposer des limites pour la conception, tirés de l'analyse statique précédente. De ce fait on impose un contrôle de contraintes.

**Tableau III.3** : Limites imposées.

Nom du capteur	Condition	Limites	Unités	Nom d'étude
Contrainte1	<b>A controller</b>	Limite d'élasticité du matériau	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	Statique 1

Comme pour l'étude statique, on va faire l'étude de conception et l'optimisation pour les deux configurations, expliquées plus haut.

### VI-2 Résultats de l'étude de conception pour configuration 01

Après exécution de l'étude, nous avons obtenu les résultats de la conception sur le profilé de levage.

19 sur 19 scénarios ont été exécutés.

**Tableau III.4** : Résultats des scénarios de l'étude de conception pour configuration 01.

Nom du composant	Unités	Actuel	Initiale	Optimale	Scénario1	Scénario2
Longueur	mm	800	800	-	800	750
Largeur	mm	80	80	-	80	80
Hauteur	mm	80	80	-	80	80
Contrainte1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	370.71	370.71	-	370.77	362.13

Nom du composant	Unités	Scénario3	Scénario4	Scénario5	Scénario6	Scénario7
Longueur	mm	800	750	800	750	800
Largeur	mm	75	75	70	70	80
Hauteur	mm	80	80	80	80	75
Contrainte1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	2567.7	683.86	2670.3	1068.6	246.41

## Chapitre III : Etude de conception et d'optimisation de l'assemblage grue d'atelier

Nom du composant	Unités	Scénario8	Scénario9	Scénario10	Scénario11	Scénario12
Longueur	mm	750	800	750	800	750
Largeur	mm	80	75	75	70	70
Hauteur	mm	75	75	75	75	75
Contrainte1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	354.54	28989	2.9614e+05	420.05	8618.9

Nom du composant	Unités	Scénario13	Scénario14	Scénario15	Scénario16	Scénario17
Longueur	mm	800	750	800	750	800
Largeur	mm	80	80	75	75	70
Hauteur	mm	70	70	70	70	70
Contrainte1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	234.81	425.7	1350.5	3489.3	26396

Nom du composant	Unités	Scénario18
Longueur	mm	750
Largeur	mm	70
Hauteur	mm	70
Contrainte1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	905.12

**Remarque:** Nous remarquons que les scénario 1,2,4,7,8,11,13,14 la contrainte maximale est assez loin de la limite de l'élasticité du matériau qui est **710 MPa**.

### VI-3 Résultats de l'étude de conception pour configuration 02

Après exécution de l'étude pour la configuration 02 avec les mêmes hypothèses, nous avons obtenu les résultats de la conception sur le profilé de levage.

19 sur 19 scénarios ont été exécutés.

**Tableau III.5** : Résultats des scénarios de l'étude de configuration 02.

Nom du composant	Unités	Actuel	Initiale	Optimale	Scénario1	Scénario2
Longueur	mm	800	800	-	800	750
Largeur	mm	80	80	-	80	80
Hauteur	mm	80	80	-	80	80
Contrainte1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	541.42	541.42	-	541.4	623.9

Nom du composant	Unités	Scénario3	Scénario4	Scénario5	Scénario6	Scénario7
Longueur	mm	800	750	800	750	800
Largeur	mm	75	75	70	70	80
Hauteur	mm	80	80	80	80	75
Contrainte1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	705.08	2447	3.5928e+06	1631.4	270.62

Nom du composant	Unités	Scénario8	Scénario9	Scénario10	Scénario11	Scénario12
Longueur	mm	750	800	750	800	750
Largeur	mm	80	75	75	70	70
Hauteur	mm	75	75	75	75	75
Contrainte1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	561.11	2050.7	4.2432e+06	4099	419.88

Nom du composant	Unités	Scénario13	Scénario14	Scénario15	Scénario16	Scénario17
Longueur	mm	800	750	800	750	800
Largeur	mm	80	80	75	75	70
Hauteur	mm	70	70	70	70	70
Contrainte1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	504.18	449.08	1194.5	533.59	290.38

Nom du composant	Unités	Scénario18
Longueur	mm	750
Largeur	mm	70
Hauteur	mm	70
Contrainte1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	2133.3

**Remarque:** Nous remarquons que dans les scénarios 1,2,3,7,8,12,13,14,16 la contrainte maximale est assez loin de la limite de l'élasticité du matériau qui est **710 MPa**.

#### VI-4 Interprétation des résultats

Dans le cadre de cette étude de conception, les résultats issus des Tableaux III.3 et III.4 mettent en évidence l'influence significative des dimensions géométriques sur la contrainte mécanique subie par le composant. Pour les deux positions analysées, la réduction de la (longueur de 800 mm à 750 mm) s'avère particulièrement efficace pour diminuer la contrainte, notamment lorsqu'elle est combinée à une hauteur réduite (jusqu'à 70 mm) tout en conservant une largeur constante de 80 mm. Ainsi, le scénario 13 (Configuration 01 : Longueur =800, Largeur =80, Hauteur =70) et scénario 7 (Configuration 02 : Hauteur =75, Largeur =80, longueur =800) se démarquent comme les plus favorables, avec des contraintes respectives de 234.81Mpa et 270.62Mpa, bien en deçà de la limite élastique de 710 Mpa, ce qui garantit un comportement élastique sûr du matériau. En revanche, plusieurs configurations affichent des contraintes largement supérieures à cette limite et doivent être écartées pour des raisons de sécurité structurelle. Pour la configuration 01, les scénarios « 3, 5, 6, 9, 10, 12, 15, 16, 17 et 18 » dépassent la limite d'élasticité du matériau avec des valeurs allant de « 26396Mpa à

2.9614e+05 Mpa ». De même, pour la configuration 02, les scénarios «4,5,6,9,10,11,15,18» présentent des contraintes extrêmes, comprises entre « 1174 Mpa et 4.2432e+06 Mpa », en grande partie causées par une réduction excessive de la largeur (à 75 mm ou 70 mm) ou des combinaisons défavorables de hauteur et de largeur. Ces résultats soulignent la sensibilité critique du composant aux variations dimensionnelles, notamment en ce qui concerne la largeur, dont la réduction engendre systématiquement une augmentation drastique de la contrainte.

### VI-5 Exemples de scénarios présentant des variations de dimensions

Du moment que les trois pièces, profilé de levage, profilé télescopique et support du crochet, sont assemblées ensemble, elles sont donc liées de façon à ce que les changements des cotes de l'une entraînent les changements des cotes des autres, nous avons donc créé des équations qui permettent d'associer ces différentes cotes comme montré dans la figure suivante :

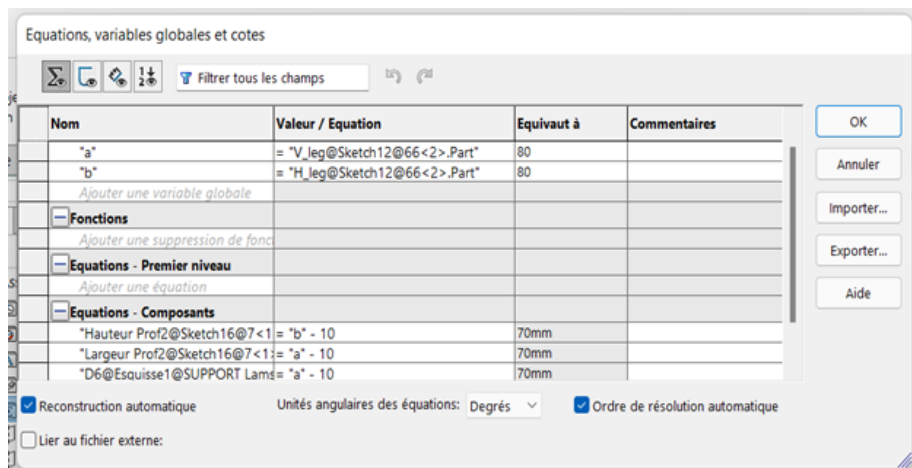


Figure III.15 : Équations reliant les trois pièces.

Dans la suite quelques exemples de scénarios présentant des changements de dimensions tel que illustré sur les figures suivantes :

# Chapitre III : Etude de conception et d'optimisation de l'assemblage grue d'atelier

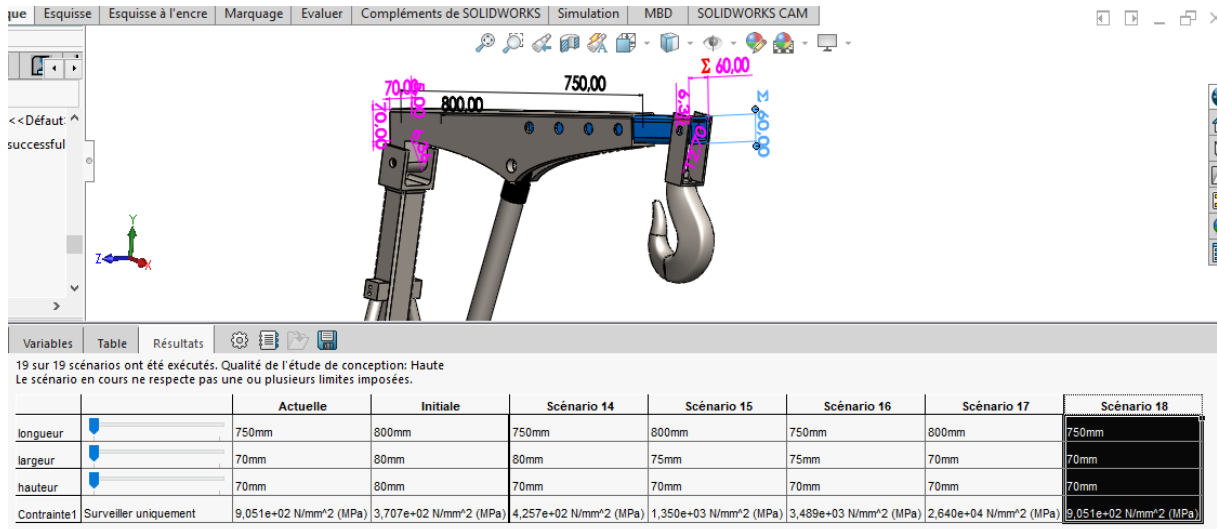


Figure III.16 : Scénario 18 de configuration 01.

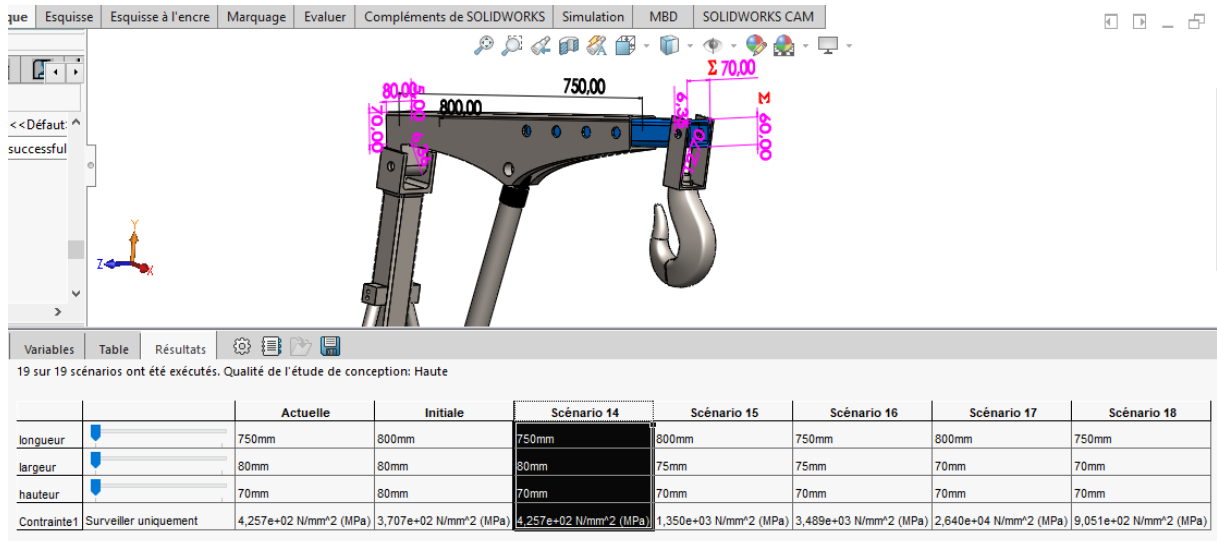


Figure III.17 : Scénario 14 Configuration 01.

# Chapitre III : Etude de conception et d'optimisation de l'assemblage grue d'atelier

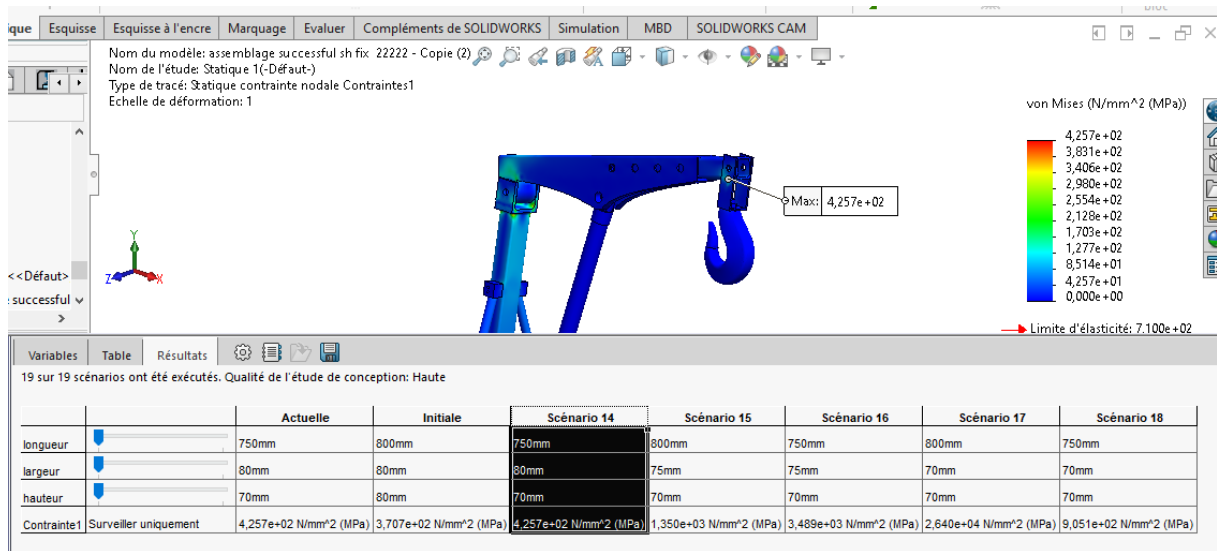


Figure III.18 : Contrainte max pour scénario 14 Configuration 01.

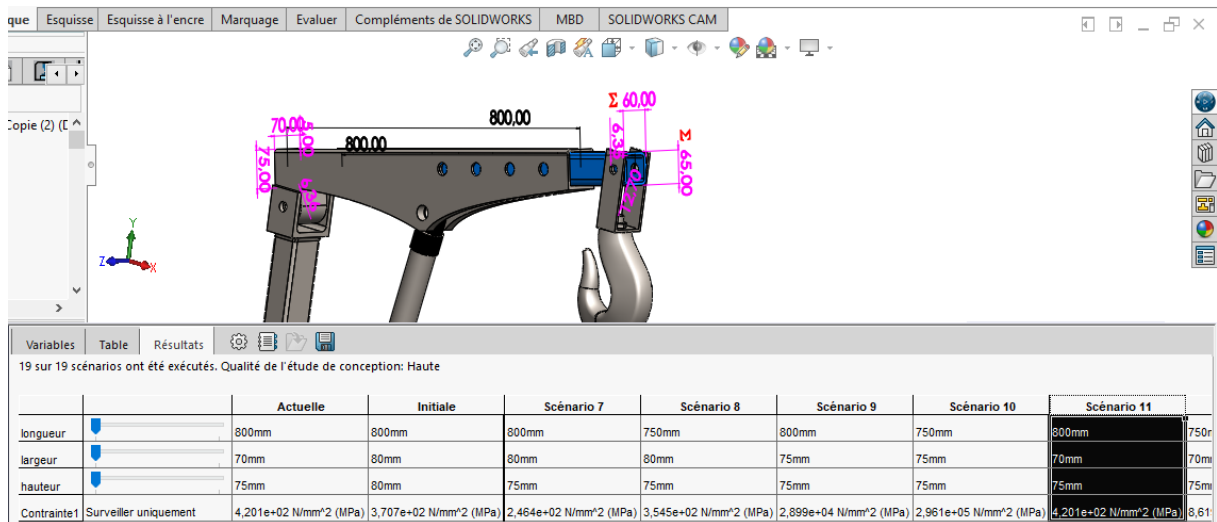


Figure III.19 : Scénario 11 Configuration 01.

# Chapitre III : Etude de conception et d'optimisation de l'assemblage grue d'atelier

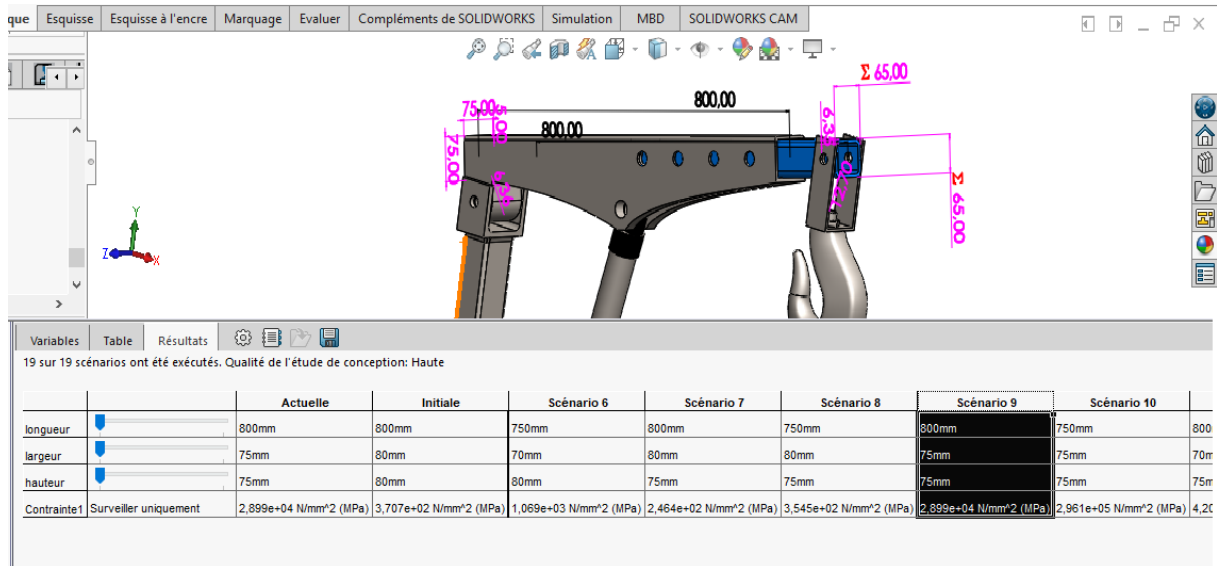


Figure III.20 : Scénario 09 Configuration 01.

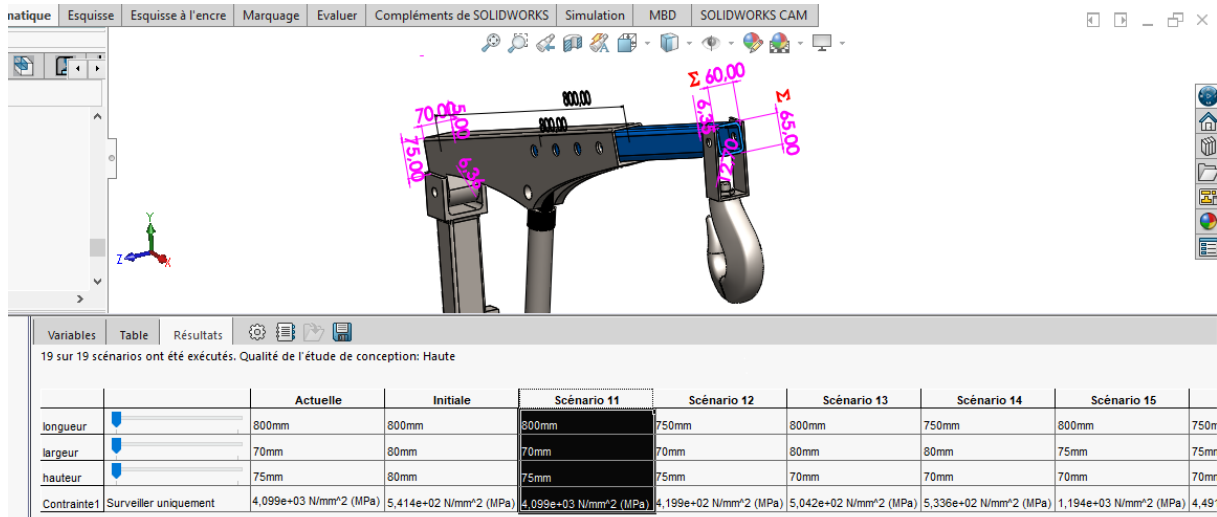


Figure III.21: Scénario 11 Configuration 02.

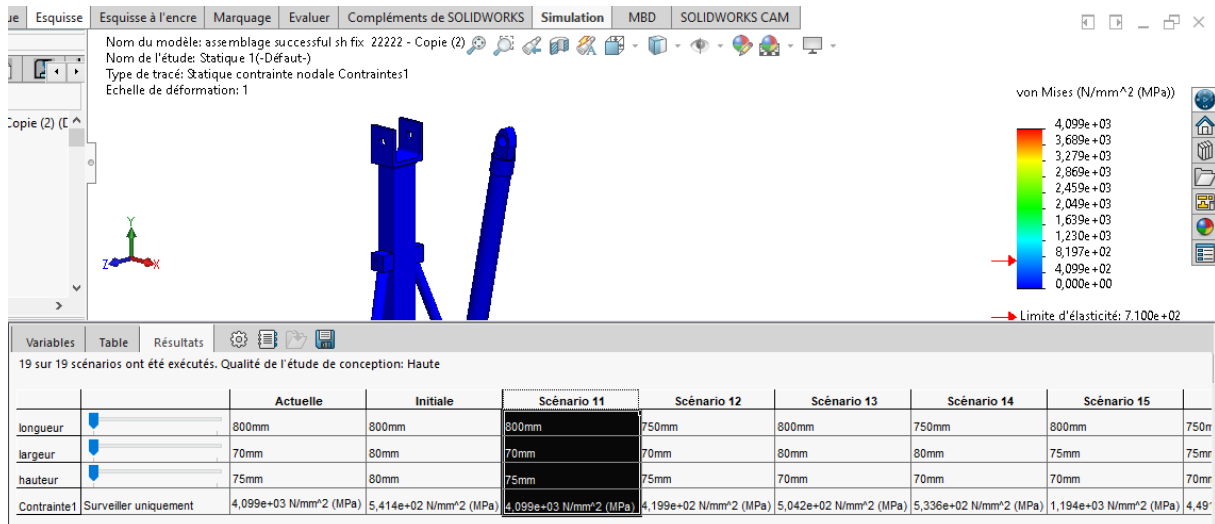


Figure III.22 : Contrainte max pour le scénario 11 Configuration 02.

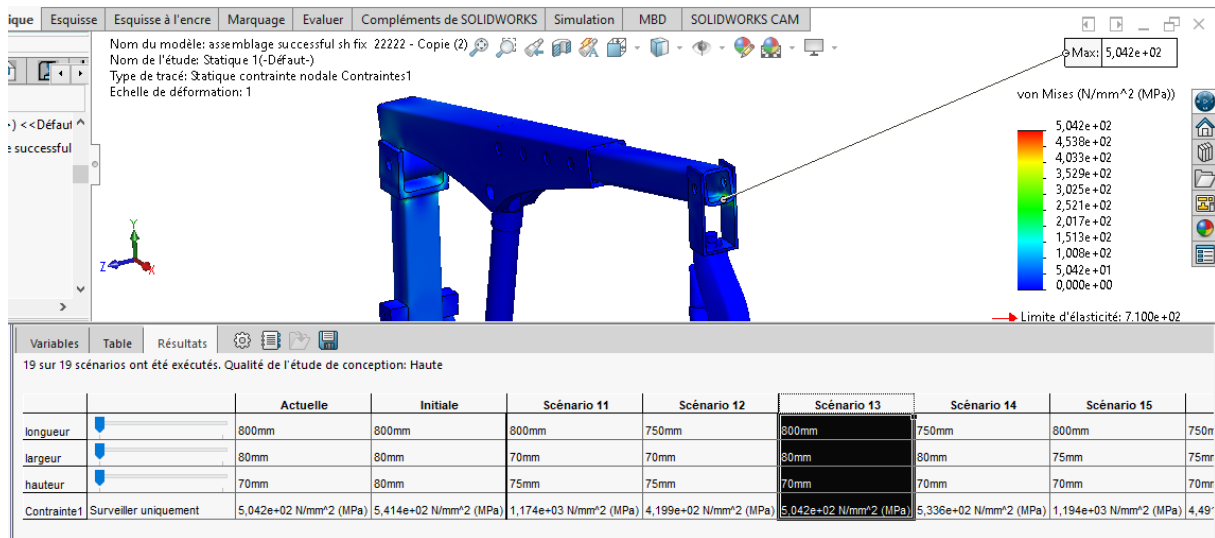


Figure III.23 : Contrainte max pour le scénario 13 Configuration 02.

## VII- Étude d'optimisation de la grue

### VII-2 Hypothèses de l'étude

#### VII-1-2 Variables géométriques

Pour mener à bien l'étude d'optimisation de la grue, nous allons définir différentes dimensions du profilé de levage (longueur, largeur et hauteur) pour former plusieurs scénarios d'étude d'optimisation.

**Tableau III.6 :** Variables d'optimisation pour profilé de levage.

Nom	Type	Valeurs	Unités
Hauteur	Valeurs discrètes	80, 75, 70	mm
Largeur	Valeurs discrètes	80, 75, 70	mm
Longueur	Valeurs discrètes	800, 750	mm

### VII-1-3 Limites imposées

Pour bien contrôler notre étude d'optimisation, nous allons imposer que la contrainte maximale du scénario soit inférieure à la limite d'élasticité du matériau qui est (à peu près) **710 MPa**.

**Tableau III.7 :** Limites imposées.

Nom du capteur	Condition	Limites	Unités	Nom d'étude
Contrainte1	<b>Est inférieur à</b>	Max:710	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	Statique 1

### VII-1-4 Objectif

Le but principal de notre étude d'optimisation est de minimiser, ou réduire, la masse de la grue, tout en contrôlant la contrainte maximale qui ne doit pas dépasser la limite élastique du matériau qui est à peu près **710 MPa**.

**Tableau III.8 :** Objectif.

Nom	Objectif	Propriétés	Poids	Nom d'étude
Masse1	Réduire	Masse		Optimisation

### VII-3 Résultats de l'étude d'optimisation

Nous allons mener une étude d'optimisation sur le profilé de levage, dans le but d'optimiser sa forme en réduisant la matière utilisée.

#### VII-2-1 Résultats de l'étude d'optimisation pour configuration 01

Après exécution de l'étude, nous avons obtenu les résultats suivants :

20 sur 20 scénarios ont été exécutés.

**Tableau III.9** : Résultats des Scénarios d'optimisation de configuration 01.

Nom du composant	Unités	Actuel	Initiale	Optimale	Scénario1	Scénario2
Longueur	mm	800	800	750	800	750
Largeur	mm	80	80	80	80	80
Hauteur	mm	80	80	70	80	80
Contrainte 1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	370.12	370.12	443.48	370.07	407.26
Masse4	g	166539.0411	166539.0411	163310.8199	166539.0411	164192.9215
		6	6	6	6	7

Nom du composant	Unités	Scénario3	Scénario4	Scénario5	Scénario6	Scénario7
Longueur	mm	800	750	800	750	800
Largeur	mm	75	75	70	70	80
Hauteur	mm	80	80	80	80	75
Contrainte 1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	88848	14842	2732.2	2012	247.32
Masse4	g	165208.9667	162606.8790	163470.2719	161020.8364	165683.6659
		5	2	3	7	4

### Chapitre III : Etude de conception et d'optimisation de l'assemblage grue d'atelier

Nom du composant	Unités	Scénario8	Scénario9	Scénario10	Scénario11	Scénario12
Longueur	mm	750	800	750	800	750
Largeur	mm	80	75	75	70	70
Hauteur	mm	75	75	75	75	75
Contrainte 1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	373.7	1486.9	2.6997e+06	819.37	8134.4
Masse4	g	163751.9058 7	164743.8850 4	162140.2453 3	162977.1850 6	160528.5847 9

Nom du composant	Unités	Scénario13	Scénario14	Scénario15	Scénario16	Scénario17
Longueur	mm	800	750	800	750	800
Largeur	mm	80	80	75	75	70
Hauteur	mm	70	70	70	70	70
Contrainte 1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	234.44	443.48	674.44	1473.6	2362.6
Masse4	g	165245.8591 3	163310.8199 6	164278.3769 3	161673.5423 5	162483.618 5

Nom du composant	Unités	Scénario18
Longueur	mm	750
Largeur	mm	70
Hauteur	mm	70
Contrainte1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	782.89
Masse4	g	160036.26473

**Remarque :** le scénario 14 est optimal pour la configuration 01 avec les dimensions suivantes (Longueur =750mm, Largeur =80mm, Hauteur =70mm)

VII-2-2 Résultats de l'étude d'optimisation pour configuration 02

Tableau III.10 : Résultats des Scénarios d'optimisation Configuration 02.

Nom du composant	Unités	Actuel	Initiale	Optimale	Scénario1	Scénario2
Longueur	mm	800	800	750	800	750
Largeur	mm	80	80	80	80	80
Hauteur	mm	80	80	70	80	80
Contrainte1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	445.89	445.89	511.32	445.96	626.07
Masse4	g	166539.06907	166539.06907	163310.81996	166539.06907	164192.92157

Nom du composant	Unités	Scénario3	Scénario4	Scénario5	Scénario6	Scénario7
Longueur	mm	800	750	800	750	800
Largeur	mm	75	75	70	70	80
Hauteur	mm	80	80	80	80	75
Contrainte1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	4008.5	978.38	5.8878e+05	1537.2	271.86
Masse4	g	165208.96675	162606.87902	163470.27193	161020.83647	165683.66594

Nom du composant	Unités	Scénario8	Scénario9	Scénario10	Scénario11	Scénario12
Longueur	mm	750	800	750	800	750
Largeur	mm	80	75	75	70	70
Hauteur	mm	75	75	75	75	75
Contrainte1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	539.02	2012.6	1.1027e+06	1040.8	2744
Masse4	g	163751.90587	164743.88504	162140.24533	162977.18506	160528.58479

## Chapitre III : Etude de conception et d'optimisation de l'assemblage grue d'atelier

Nom du composant	Unités	Scénario13	Scénario14	Scénario15	Scénario16	Scénario17
Longueur	mm	800	750	800	750	800
Largeur	mm	80	80	75	75	70
Hauteur	mm	70	70	70	70	70
Contrainte1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	504.75	511.32	986.31	809.57	3020
Masse4	g	165245.85913	163310.81996	164278.37693	161673.54235	162483.6185

Nom du composant	Unités	Scénario18
Longueur	mm	750
Largeur	mm	70
Hauteur	mm	70
Contrainte1	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	3938.2
Masse4	g	160036.26473

**Remarque :** le scénario 14 est optimal pour la configuration 02 avec les dimensions suivantes (Longueur =750mm, Largeur =80mm, Hauteur =70mm).

### ❖ Scenarios optimaux

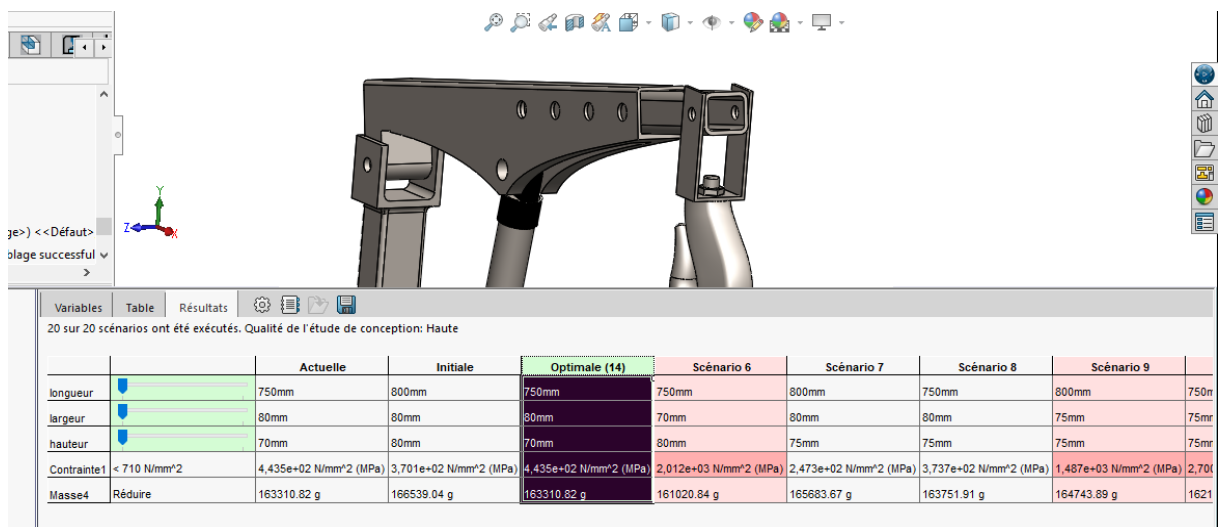


Figure III.24: Optimal Configuration 01.

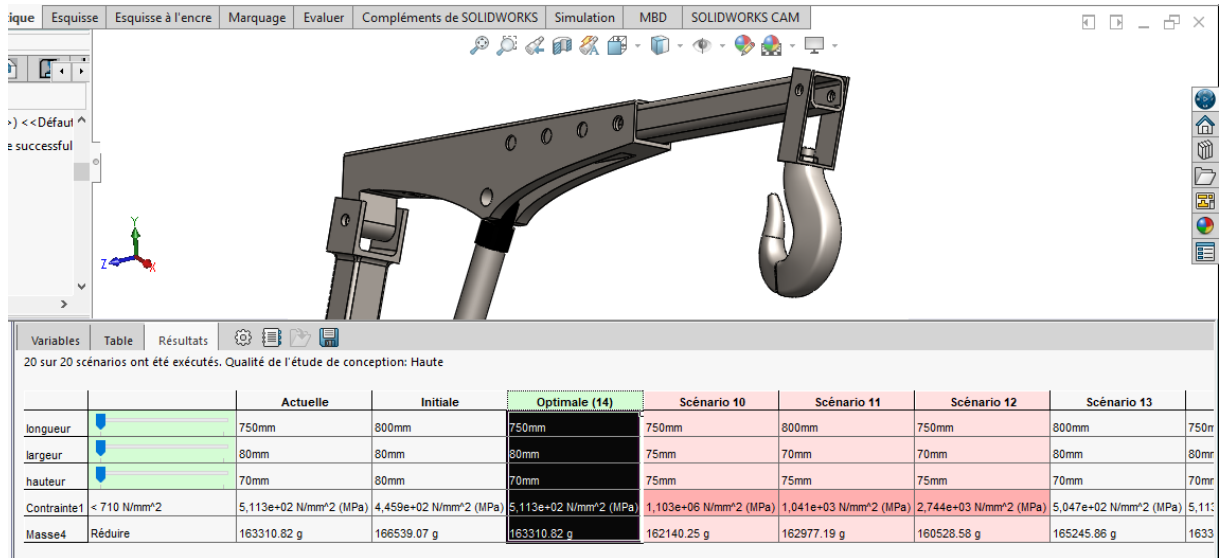


Figure III.25 : Optimal Configuration 02.

## ❖ Résultats de l'étude statique pour scénario optimal

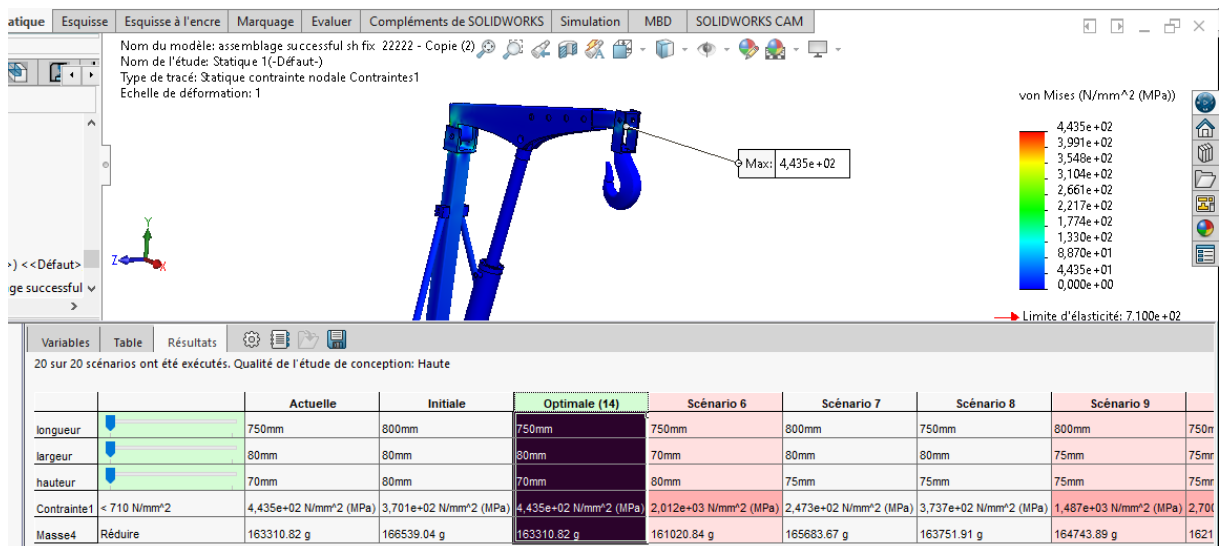


Figure III.26 : Contrainte de scénario optimale dans Configuration 01.

Nous avons tiré une étude statique dans la configuration 01, où nous remarquons que la contrainte est dans une valeur maximale de  $4.435 \cdot 10^2 \text{ N/mm}^2$ . Dans la figure III.26.

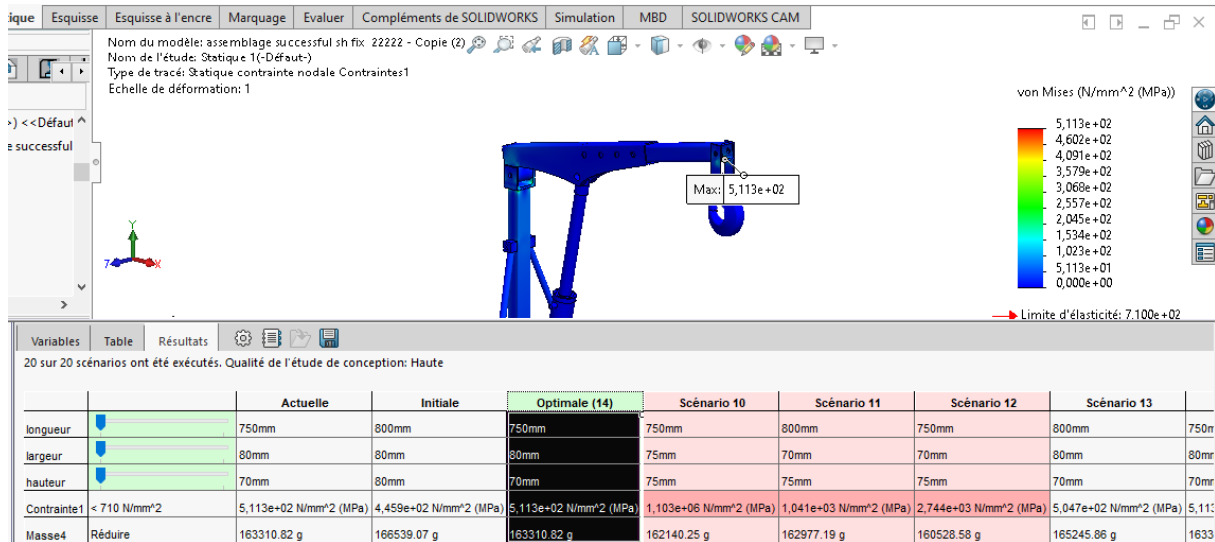


Figure III.27 : Contrainte de scénario optimale dans Configuration 02.

Nous avons tiré une étude statique dans la configuration 02, où nous remarquons que la contrainte est dans une valeur maximale de  $5.113.10^2 \text{ N/mm}^2$ . Dans la figure III.27.

## VII-2-3 Comparaison entre le scénario optimal, scénario initial et scénario 10 dans les deux configurations (01 et 02)

Dans les deux configurations (01 et 02), le scénario optimal (scénario 14), se distingue par les meilleures performances globales, notamment une réduction significative de la contrainte mécanique ( $4.435.10^2 \text{ MPa}$  pour la configuration 01 et  $5.113.10^2 \text{ MPa}$  pour la configuration 02) et une diminution de la valeur du capteur nécessaire, Masse de la grue simplifiée ( $163310.81\text{g}$ ), et des dimensions (Longueur =  $750\text{mm}$ , Largeur =  $80\text{mm}$ , Hauteur =  $70\text{mm}$ ), ce qui en fait la solution la plus efficace. Quant au scénario 10, bien qu'il permette une légère réduction de la masse par rapport à l'état initial, il entraîne une augmentation extrêmement élevée de la contrainte mécanique (jusqu'à plus de  $2.6997e.10^6 \text{ MPa}$ ), ce qui compromet la fiabilité structurelle. Ainsi, seul le scénario optimal offre un compromis équilibré entre réduction des contraintes et économie de capteur, tout en respectant les contraintes dimensionnelles.

## VIII- Conclusion

Dans cette étude, nous avons effectué une analyse statique de la grue dont les résultats prouvent qu'elle peut gérer un moteur pesant  $250 \text{ kg}$ .

Dans la deuxième partie, nous avons entamé une étude de conception utilisant les résultats tirés de l'analyse précédente pour faire par la suite une étude d'optimisation, ayant pour

### **Chapitre III : Etude de conception et d'optimisation de l'assemblage grue d'atelier**

---

objectif principal la réduction de la masse de notre système, ce qui nous a permis d'améliorer notre modèle en diminuant sa masse.

# **Conclusion Générale**

## CONCLUSION GENERALE

Ce projet final vise à explorer la conception et l'optimisation d'un système de levage à l'aide du logiciel de CAO SolidWorks. Notre approche consiste à modéliser l'assemblage, puis à évaluer et modifier certaines de ses composants par simulation (via la simulation SolidWorks) afin de réduire leur masse tout en conservant leur rigidité et leur fonction. L'assemblage final optimal a été sélectionné parmi les différents scénarios analysés.

Notre travail a débuté par la présentation des différents types de grues disponibles avec leurs différents accessoires de levage. Nous avons également présenté les principes de la conception mécanique et de la conception assistée par ordinateur en général, y compris un aperçu des logiciels industriels et de leur importance. Nous avons ensuite exploré en détail le logiciel SolidWorks, ses fonctionnalités et ses applications, en mettant l'accent sur SolidWorks Simulation et ses outils d'étude statique, de conception et d'optimisation. L'étape critique de simulation, en particulier l'analyse par éléments finis (simulation statique), a joué un rôle crucial dans le processus d'optimisation. Cette simulation a permis de vérifier la résistance mécanique des composants critiques, d'identifier les zones de concentration de contraintes et d'évaluer la déformation sous charges. Les résultats obtenus ont directement aidé à guider les itérations de conception, permettant l'optimisation des dimensions, la sélection de matériaux plus adaptés et la réduction du poids du système tout en garantissant sa durabilité et sa fiabilité.

L'objectif principal du projet, qui était d'optimiser le système de levage initialement conçu dans SolidWorks, a été atteint grâce à l'utilisation de la simulation SolidWorks, qui nous a permis d'obtenir une configuration légère et efficace.

En fin, ce projet a contribué à enrichir notre compréhension des logiciels de CAO, et plus particulièrement de SolidWorks. L'application de l'étude de conception à la simulation SolidWorks a démontré et mis en évidence l'importance d'une approche itérative dans la conception mécanique et la contribution essentielle des outils de la simulation dans la validation et l'optimisation des choix techniques en amont de la phase de production

# **Bibliographie**

## Références bibliographiques

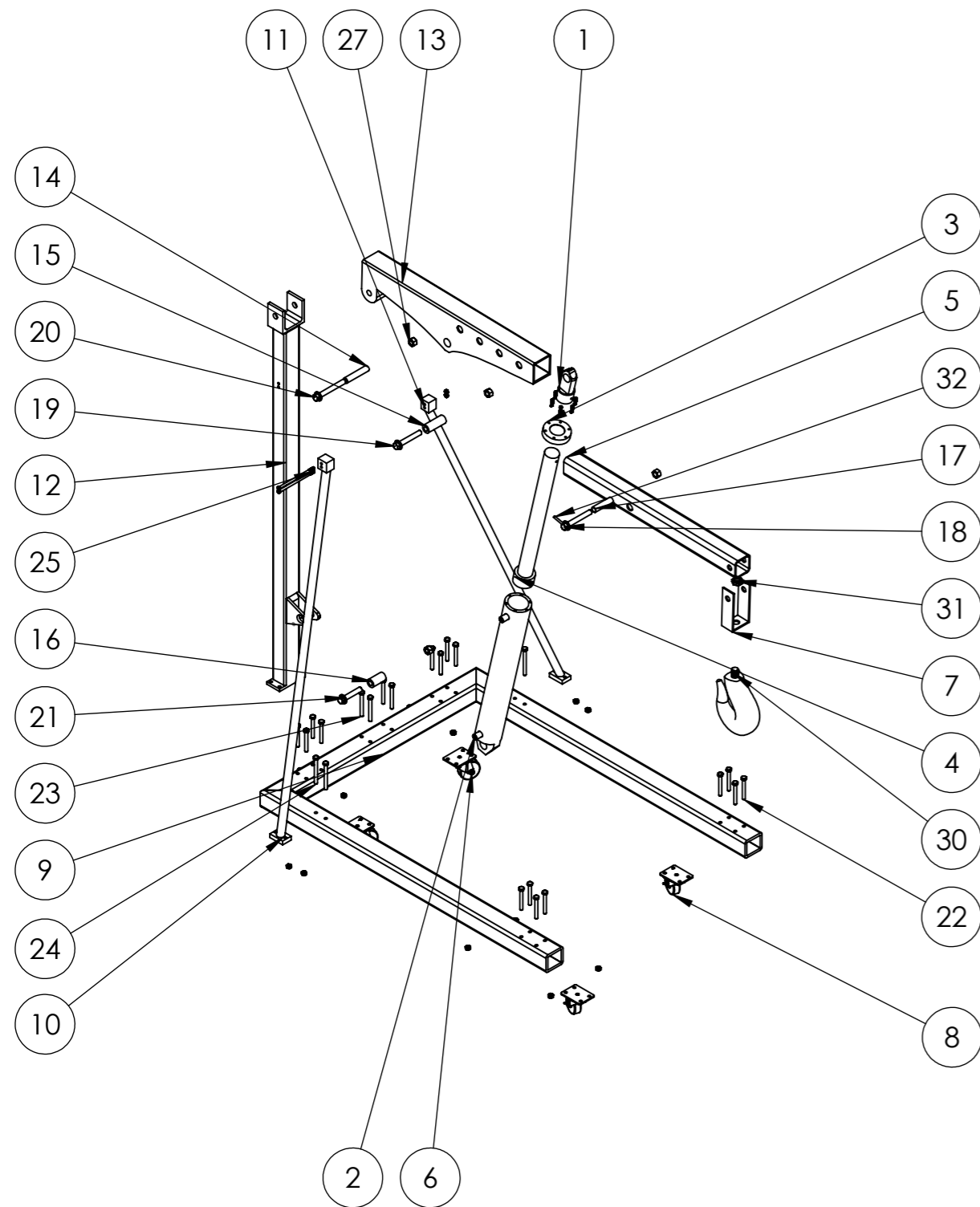
- [1] E. Cancouët, E. Drye, "La gravité vaincue : grues et engins de levage", Carnets : Thèmes, Musée des arts et métiers : Conservatoire national des arts et métiers, Paris, 2000. ISBN : 978-2-908207-64-4
- [2] « Chapitre I Généralités sur les systèmes de levage – Dspace », Ibn Khaldun Université Tiaret, Disponible sur : [https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=http://dspace.univ-tiaret.dz/bitstream/123456789/11797/2/2\\_Contentu\\_Chah%252001%2520%25282%2529.pdf&ved=2ahUKEwjDhZeQ7p-LAXUfVaQEHT81NcwQFnoECBIQAQ&usg=AovVaw0mv5FCFI9IEJpvDdqxBv8d](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=http://dspace.univ-tiaret.dz/bitstream/123456789/11797/2/2_Contentu_Chah%252001%2520%25282%2529.pdf&ved=2ahUKEwjDhZeQ7p-LAXUfVaQEHT81NcwQFnoECBIQAQ&usg=AovVaw0mv5FCFI9IEJpvDdqxBv8d) consulté le : (24/01/2024)
- [3] <https://www.bauforum24.biz/forums/topic/33243-potain-331a-c-336-a-b-c-346/?page=91>
- [4] <https://en.wheelsage.org/category/by-application/pictures/g7jvq5>
- [5] <https://www.aurama.fr/chariot-eleveur-categorie-4/>
- [6] <https://www.colonyhardware.com/Product/P16-8005>
- [7] [https://fr.made-in-china.com/co\\_wemet8/product\\_Hydraulic-Scissor-Lift-Lift-Table-Platform-5-Ton-3-5m\\_ehnhiony.html](https://fr.made-in-china.com/co_wemet8/product_Hydraulic-Scissor-Lift-Lift-Table-Platform-5-Ton-3-5m_ehnhiony.html)
- [8] <https://www.amazon.co.uk/Bridge-Electromechanical-Columns-Zavagli-Capacity/dp/B07NBJ5ZD7>
- [9] <https://www.huchez.com/fr/catalogue/notre-catalogue/treuil-electriques/278-treuil-electriques-te/24-treuil-de-grandes-capacite-s-te-de-600-10000-kg-mod-les-bt/263-te-5000-kg-10-m-min-commande-basse-tension-1-vitesse>
- [10] <https://pixabay.com/fr/images/search/palan/>
- [11] <https://pixabay.com/fr/images/search/palan/>
- [12] « Accessoires de levage » Disponible sur : <https://websilor.com/1370-accessoires-de-levage?srsId=AfmBOoqQWGBr2bd5rmfwXRWSnbJLth7r2385CfVo0Esc17Vo5z2agtW5>
- [13] <https://www.scs-levage.fr/475-grues-d-atelier-manuelles-encadrantes>
- [14] Votre spécialiste en manutention et levage pour les pros et particuliers - Materiel-manutention.com". Disponible sur : <https://materiel-manutention.com/> (Consulté le : 25/01/2024).
-

- [15] <https://www.cadfem.net/fr/nos-solutions/logiciels-de-simulation-ansys-la-gamme-de-produits/ansys-mecanique-des-fluides.html>
- [16] "Matériel de manutention, appareil de levage - Espace Equipement". Disponible sur : <https://www.espace-equipement.com/23-manutention> (Consulté le : 25/01/2024).
- [17] Hmzachrif sidi Mohamed « Conception de systèmes mécaniques » cour pour Master 1 construction mécanique 2023/2024
- [18] Mémoire « Hiérarchisation et analyse des risques en manutention pour Une prévention conforme » Réalisé par : BO-Maher et BO-Zakaria/ 2019/2020 / Spécialité : Hygiène et Sécurité Industrielle/ UNIVERSITÉ Badjimokhtra Annaba <https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2021/06/memoire-M-%C2%A7-Z-Bouziane-14sept.pdf>
- [19] AMCR, B. (Février 2019). Présentation du logiciel SOLIDWORKS. Lycée bel air: SIMULATION COMPORTEMENTALE.
- [20] Maculet, R., & Daniel, M. (2004). Conception, modélisation géométrique et contraintes en CAO: une synthèse. Rev. D'Intelligence Artif., 18(5-6), 619-645.
- [21] Modélisation géométrique. (s. d.). Techniques de l'Ingénieur. Consulté 30 septembre 2022, à l'adresse <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mecaniqueh7/chaine-de-valeur-et-mise-en-uvre-42687210/cao-modelisation-geometriqueh3750/modelisation-geometrique-h3750v3niv10003.htm>
- [22] **Boucher, X.** (2004). *La conception assistée par ordinateur (CAO) : Histoire et évolution*. Editions Techniques.
- [23] <https://fr.statisticseasily.com/glossaire/quelle-est-la-solution-optimale/>
- [24] **SRAC, Dassault Systèmes** (1997). *COSMOS Works User Manuel*. Dassault Systèmes.
- [25] [https://fac.umc.edu.dz/ista/pdf/cours/L1-GPL\\_Cours%20Conception%20M%C3%A9canique%201%20%28partie%201%29.pdf](https://fac.umc.edu.dz/ista/pdf/cours/L1-GPL_Cours%20Conception%20M%C3%A9canique%201%20%28partie%201%29.pdf)
- [26] [https://scholarworks.calstate.edu/downloads/44558f34h#:~:text=These%20tasks%20are%20introduced%20and,%2C%20and%205\)%20Communication%20Design.](https://scholarworks.calstate.edu/downloads/44558f34h#:~:text=These%20tasks%20are%20introduced%20and,%2C%20and%205)%20Communication%20Design.)
- [27] [https://turgotlimoges.scenari-community.org/STI2D/Ressources%20STI2D/Fiches%20connaissances/121\\_D%C3%A9marche\\_de\\_conception/co/Comment.html](https://turgotlimoges.scenari-community.org/STI2D/Ressources%20STI2D/Fiches%20connaissances/121_D%C3%A9marche_de_conception/co/Comment.html)
- [28] <https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/4281291>

- [29] **SRAC, Dassault Systèmes** (1997). *COSMOS Works User Manuel*. Dassault Systèmes.
- [30] <https://www.axess-industries.com/levage/grues-d-atelier/d-atelier-manuelle-a-bras-telescopique-p-110077>
- [31] <https://bpifrance-creation.fr/encyclopedie/letude-marche/comment-faire-son-etude-marche/4-etapes-bien-realiser-votre-etude-marche>
- [32] [https://www.solidworks.fr/sw/docs/SIM\\_Optimization\\_WP\\_FRA.pdf](https://www.solidworks.fr/sw/docs/SIM_Optimization_WP_FRA.pdf)
- [33] <https://www.ibm.com/fr-fr/topics/optimization-model>
- [34] <https://blogs.solidworks.com/teacher/2011/08/fea-tutorial.html>
- [35] <https://www.visiativ-education-recherche.fr/produit/optimisation-topologique/>
- [36] [https://www.pedagogie.ac-aix-marseille.fr/jcms/c\\_10636677/fr/optimisation-topologique-perspectives-d-exploitation-en-sti2d](https://www.pedagogie.ac-aix-marseille.fr/jcms/c_10636677/fr/optimisation-topologique-perspectives-d-exploitation-en-sti2d)
- [37] <https://www.studocu.com/row/document/universite-batna-2/conception-et-fabrication-assistee-par-ordinateur/chapitre-1-generalites/53311159>
- [38] [https://www.researchgate.net/publication/358144111\\_Methodes\\_d'apprentissage\\_automatique\\_pour\\_la\\_prise\\_en\\_compte\\_du\\_bruit\\_dans\\_les\\_images\\_de\\_synthese](https://www.researchgate.net/publication/358144111_Methodes_d'apprentissage_automatique_pour_la_prise_en_compte_du_bruit_dans_les_images_de_synthese)
- [39] **ANSYS, Inc.** (2021). *ANSYS Mécanica User Guide*. ANSYS, Inc.
- [40] <https://www.microwavejournal.com/articles/42287-dassault-systemes-acquires-amcad-engineering>
- [41] [https://fr.wikipedia.org/wiki/SolidWorks\\_Simulation](https://fr.wikipedia.org/wiki/SolidWorks_Simulation)
- [42] <https://www.cadfem.net/fr/nos-solutions/logiciels-de-simulation-ansys-la-gamme-de-produits/ansys-mecanique-des-fluides.html>
- [43] <https://www.autodesk.com/tw/products/simulation-mechanical>
- [44] <https://appx.cchic.ca/svilleneuve/materiaux/chap6.pdf>
- [45] <https://www.comsol.fr/video-training/getting-started/contour-isosurface-plots-visualize-results>
- [46] [https://help.solidworks.com/2024/french/SolidWorks/cworks/c\\_Meshing.htm](https://help.solidworks.com/2024/french/SolidWorks/cworks/c_Meshing.htm)

---

# **Annexe**



No. ARTICLE	NOM DE PIECE	MATÉRIAU	QTE
1	TETE DE TIGE (PISTON)	acier allié	1
2	CORPS DE VÉRIN	acier allié	1
3	CAGE DE VÉRIN (COUVERT)	acier allié	1
4	TIGE DE VÉRIN (PISTON)	acier allié	1
5	PROFILÉ TÉLESCOPIQUE	acier allié	1
6	ASSEMBLAGE DES ROUES	acier allié	4
7	SUPPORT	acier allié	1
8	ROUE	butyl	4
9	BASE 01	acier allié	1
10	BRAS DE FORCE 01	acier allié	1
11	BRAS DE FORCE 02	acier allié	1
12	COLONNE	acier allié	1
13	PROFILÉ DE LEVAGE	acier allié	1
14	AXE (BAGUE 04)	acier allié	1
15	AXE (BAGUE 02)	acier allié	1
16	AXE (BAGUE 03)	acier allié	1
17	AXE (BAGUE 01)	acier allié	1
18	VIS HEXAGONALE À EMBASE ISO 4162 - M16 X 110 X 38-N	acier allié	1
19	VIS HEXAGONALE À EMBASE ISO 4162 - M16 X 100 X 38-N	acier allié	1
20	VIS HEXAGONALE À EMBASE ISO 4162 - M16 X 120 X 38-N	acier allié	1
21	VIS HEXAGONALE À EMBASE ISO 4162 - M16 X 80 X 38-N	acier allié	1
22	VIS HEXAGONALE À EMBASE ISO 4016 - M10 X 80 X 26-WN	acier allié	16
23	VIS HEXAGONALE À EMBASE ISO 4016 - M10 X 110 X 26-WN	acier allié	4
24	VIS HEXAGONALE À EMBASE ISO 4016 - M10 X 100 X 26-WN	acier allié	4
25	VIS HEXAGON SOCKET HED CAP SCREW AGONALE ISO 4762 - M8 x 160 x 26-N	acier allié	2
26	VIS HEXAGON SOCKET HED CAP SCREW AGONALE ISO 4762 - M1,2 x 24 x 3-N	acier allié	6
27	HEX NUT STYLE 1 FINE GARDEAB ISO - 8673 - M16 x 1.5 - W - N	acier allié	4
28	HEX NUT STYLE 1 FINE GARDEAB ISO - 8673 - M8 x 1.0 - W - N	acier allié	2
29	HEX NUT STYLE 1 FINE GARDEAB ISO - 8673 - M10 x 1.0 - W - N	acier allié	24
30	CROCHET	acier allié	1
31	HEX NUT STYLE 1 FINE GARDEAB ISO - 8673 - M22 x 1.5 - W - N	acier allié	1
32	GOUPILLE	acier allié	1

ÉCHELLE 1:20

UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN

MOUZAZ Zakaria

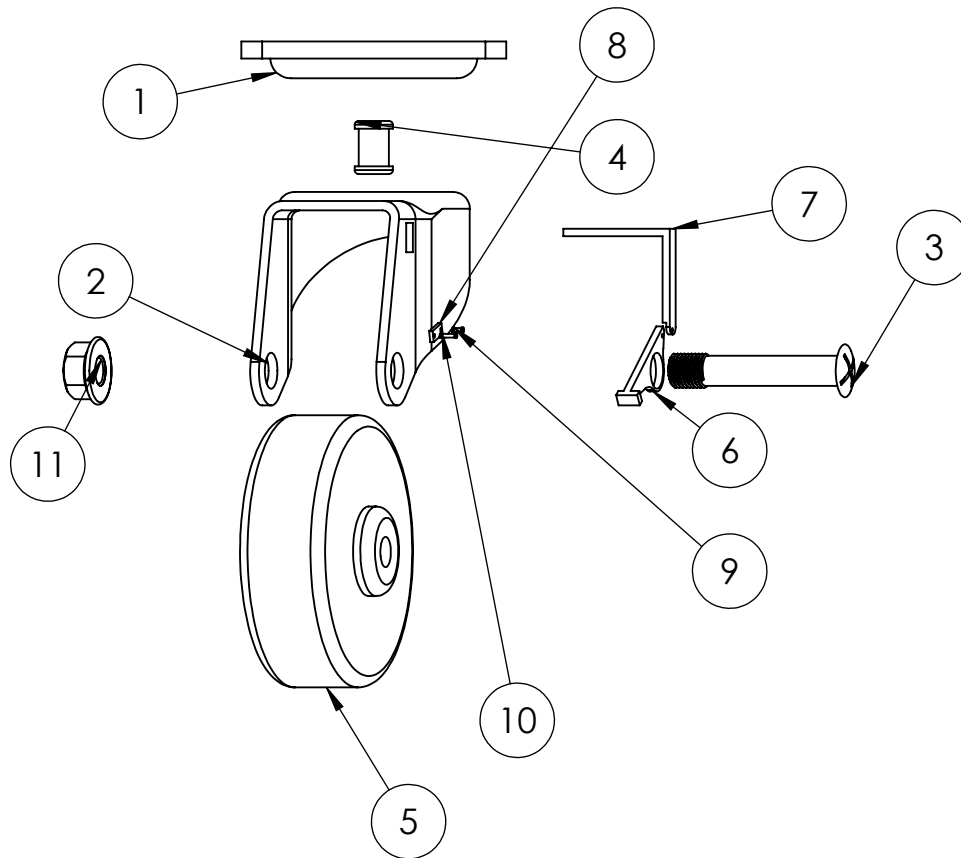


**GRUE D'ATELIER**

BEKKOUCHE Akram

A3

M2 CM

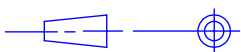


No. ARTICLE	NOM DE PIECE	MATÉRIAU	QTE
1	BASE 2	ACIER ALLIÉ	1
2	CORPS DE ROUE	ACIER ALLIÉ	1
3	VIS ISO 7047 - M8 x 50 - Z - 38N	ACIER ALLIÉ	1
4	TIGE	ACIER ALLIÉ	1
5	ROUE	BUTYL	1
6	FOURCHETTE	ACIER ALLIÉ	1
7	FREIN	ACIER ALLIÉ	1
8	ÉLÉMENT DE FREIN	ACIER ALLIÉ	1
9	AXE 1	ACIER ALLIÉ	1
10	AXE 2	ACIER ALLIÉ	1
11	ECROU ISO - 4161 - M8 - N	ACIER ALLIÉ	1

ÉCHELLE 1:5

UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN

MOUZAZ Zakaria

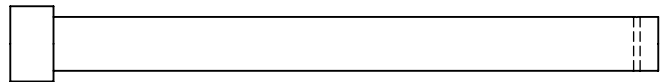
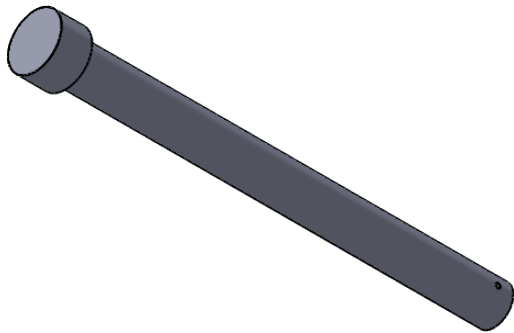
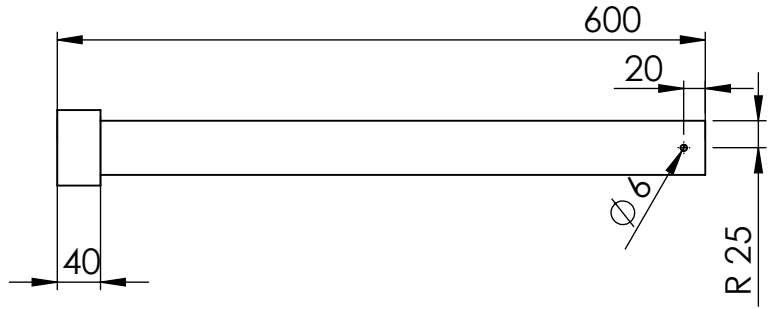
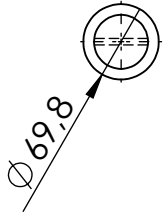


**ASSEMBLAGE DES ROUES**

BEKKOUCHE Akram

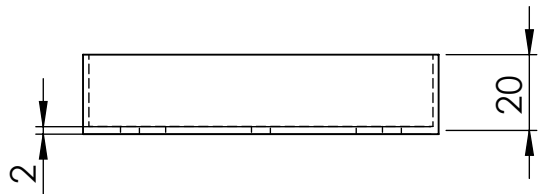
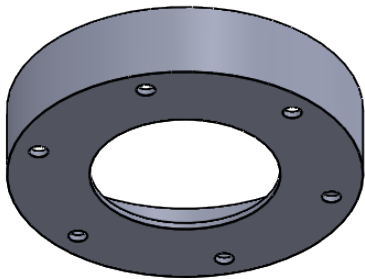
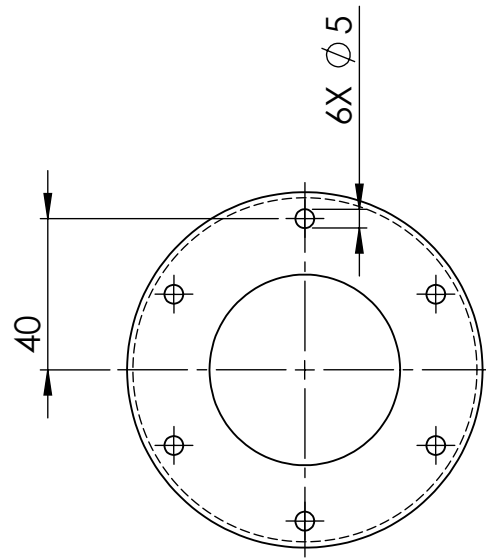
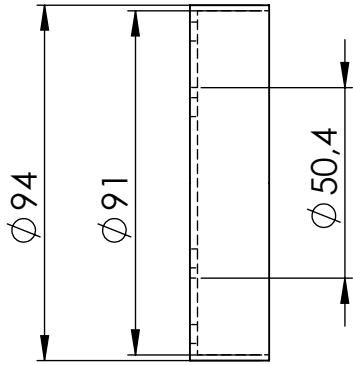
**A4**

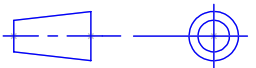
**M2 CM**

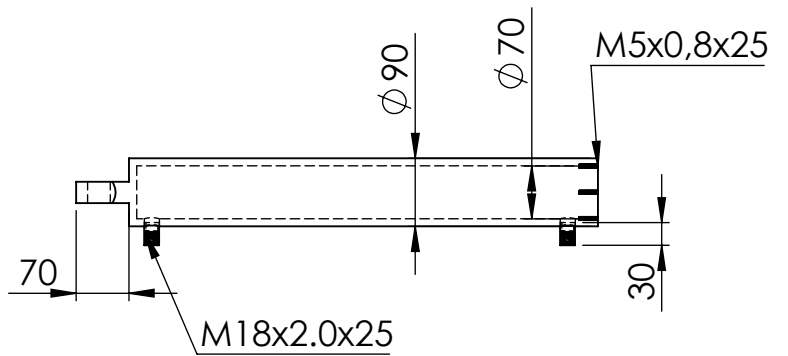
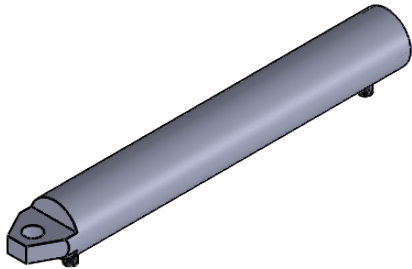
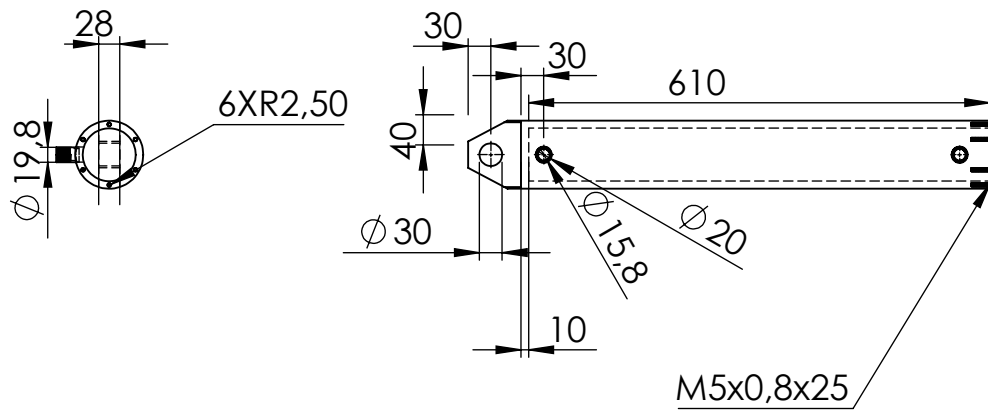


Échelle 1:7	UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN	MOUZAZ Zakaria
	<b>TIGE DE VÉRIN (PISTON)</b>	BEKKOUCHE Akram
<b>A4</b>		<b>M2 CM</b>





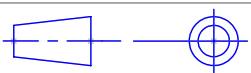
Échelle 1:2	UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN	MOUZAZ Zakaria
	CAGE DE VÉRIN (COUVERT)	BEKKOUCHE Akram
A4		M2 CM



Échelle 1:10

UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCCEN

MOUZAZ Zakaria

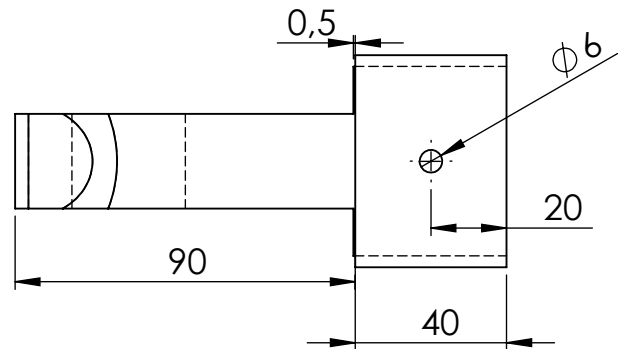
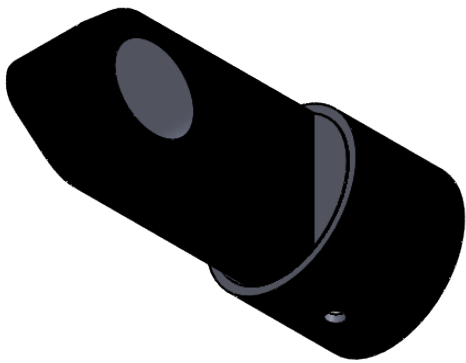
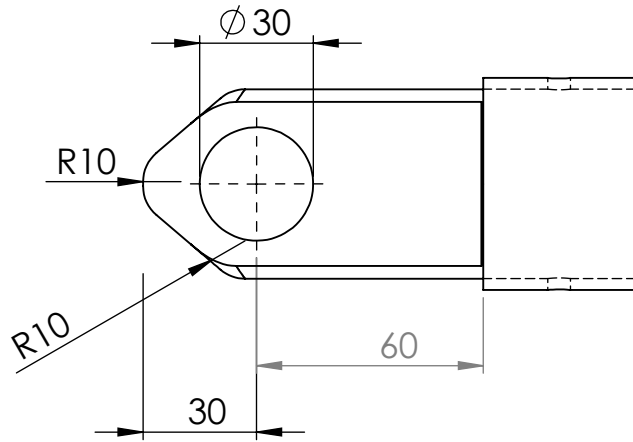
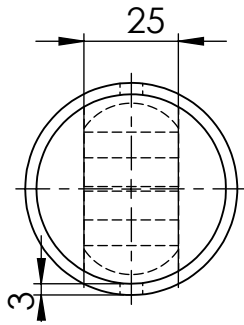


A4

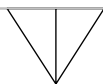
CORPS DE VÉRIN

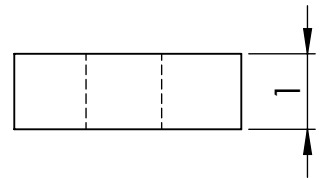
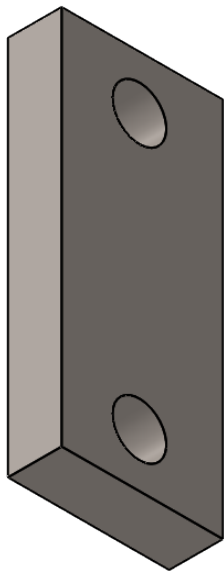
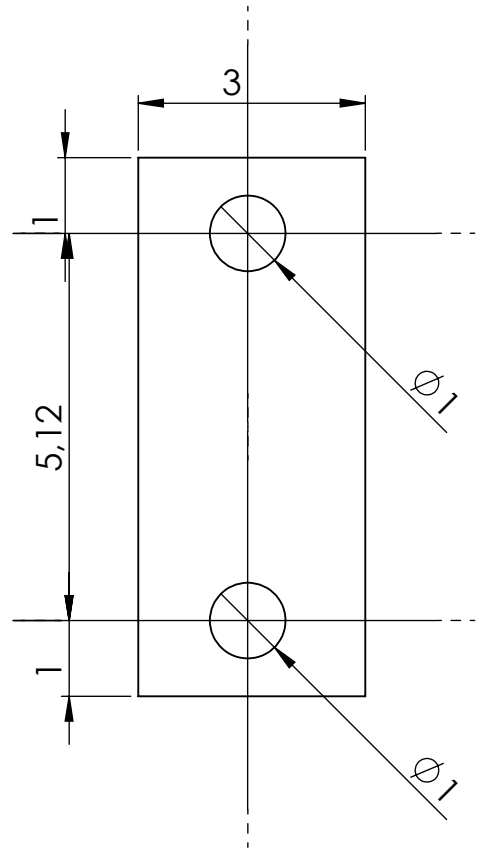
BEKKOUCHE Akram

M2 CM



<p>Échelle 1:2</p>	<p>UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN</p>	<p>MOUZAZ Zakaria</p>
	<p>TÊTE DE TIGE</p>	<p>BEKKOUCHE Akram</p>
<p>A4</p>		<p>M2 CM</p>

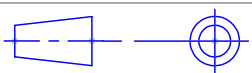




Échelle 10:1

UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN

MOUZAZ Zakaria

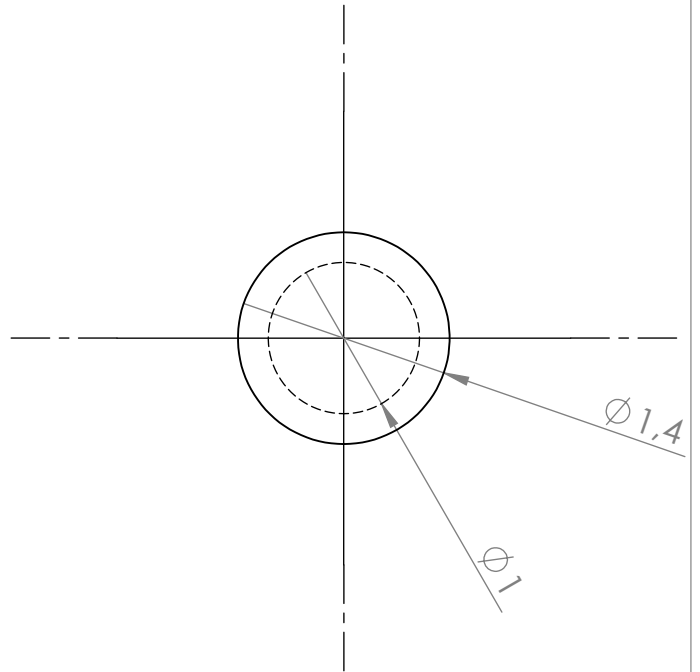
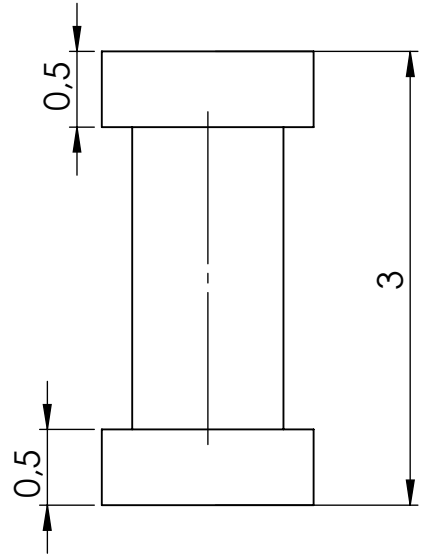
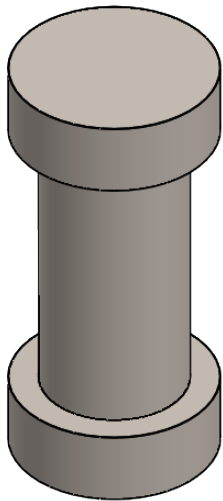


ÉLÉMENT DE FREIN

BEKKOUCHE Akram

A4

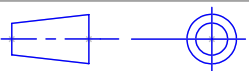
M2 CM



Échelle 20:1

UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCEM

MOUZAZ Zakaria

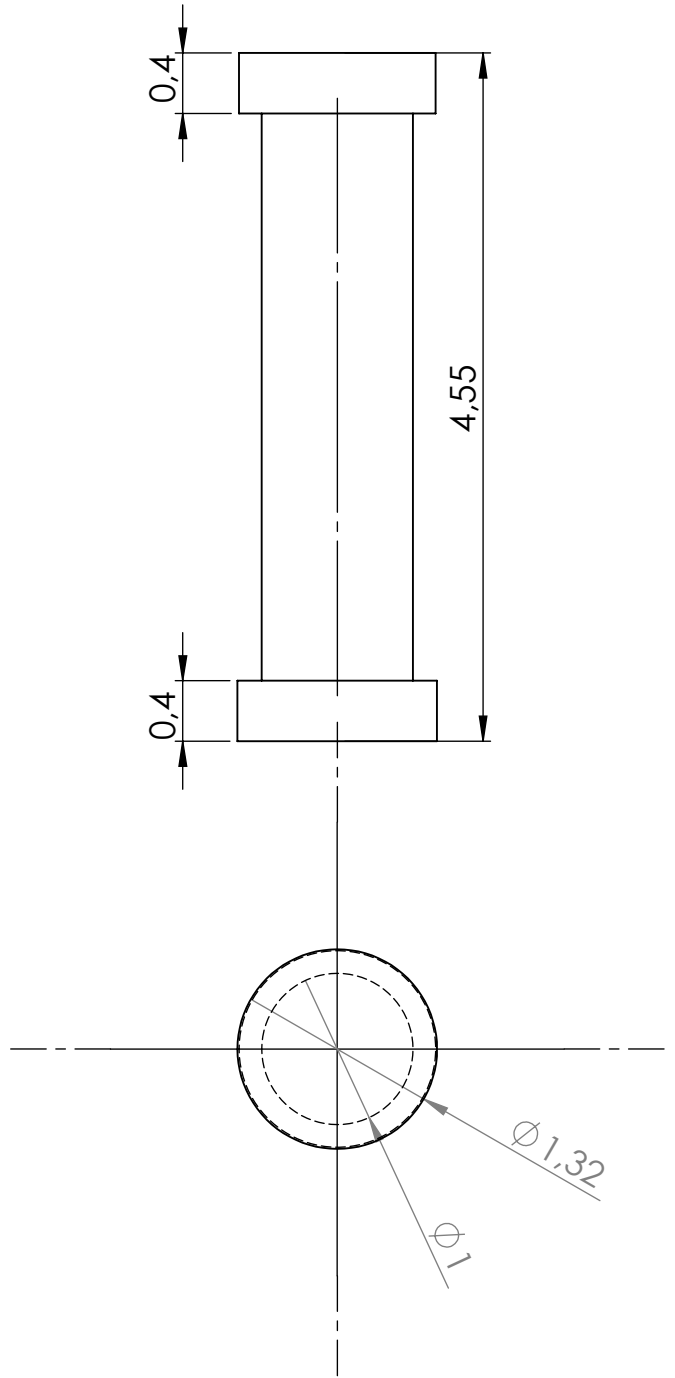
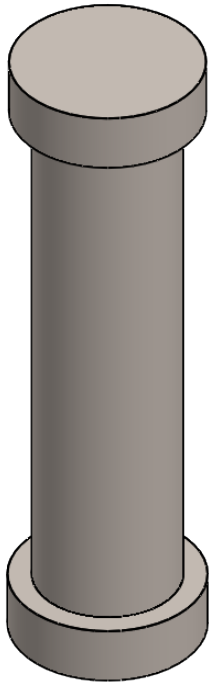


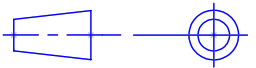
A4

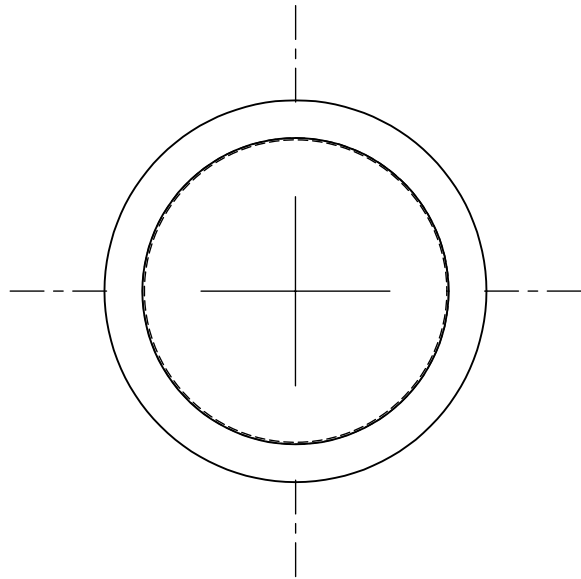
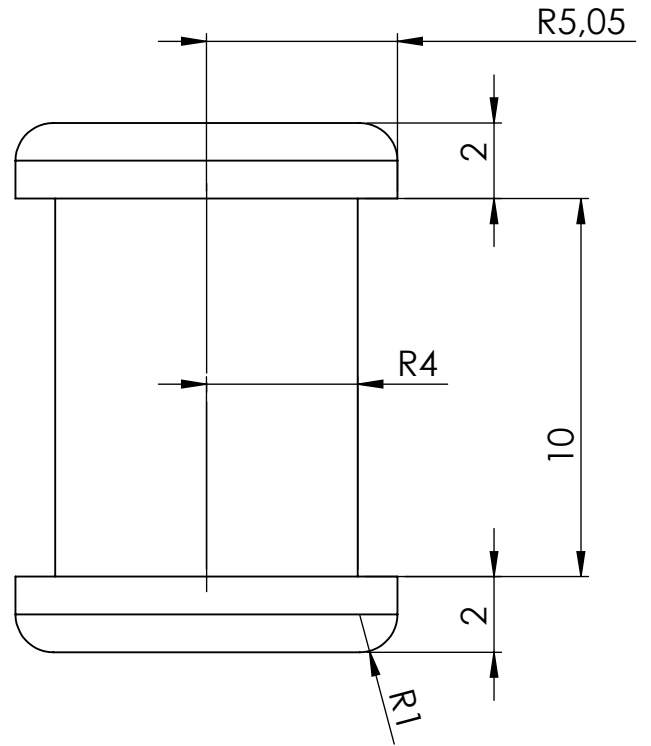
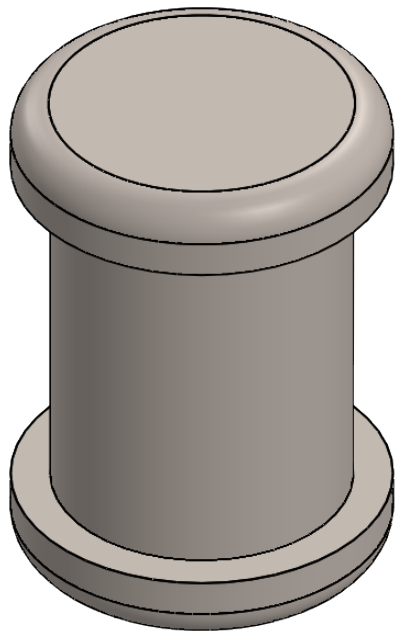
AXE 2

BEKKOUCHE Akram

M2 CM

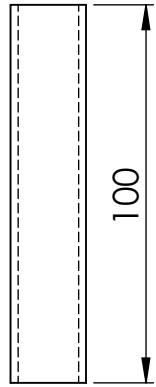
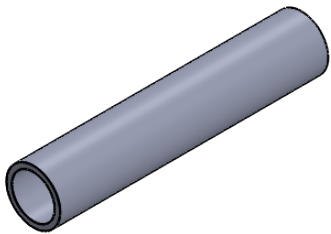
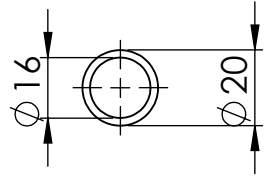


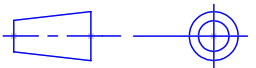
<b>Échelle 20:1</b>	<b>UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCEEN</b>	<b>MOUZAZ Zakaria</b>
	<b>AXE 1</b>	<b>BEKKOUCHE Akram</b>
<b>A4</b>		<b>M2 CM</b>

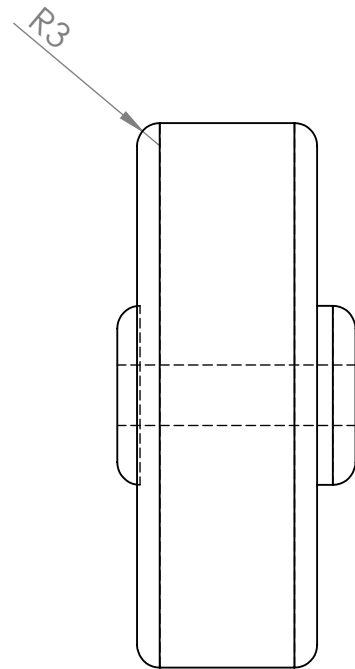
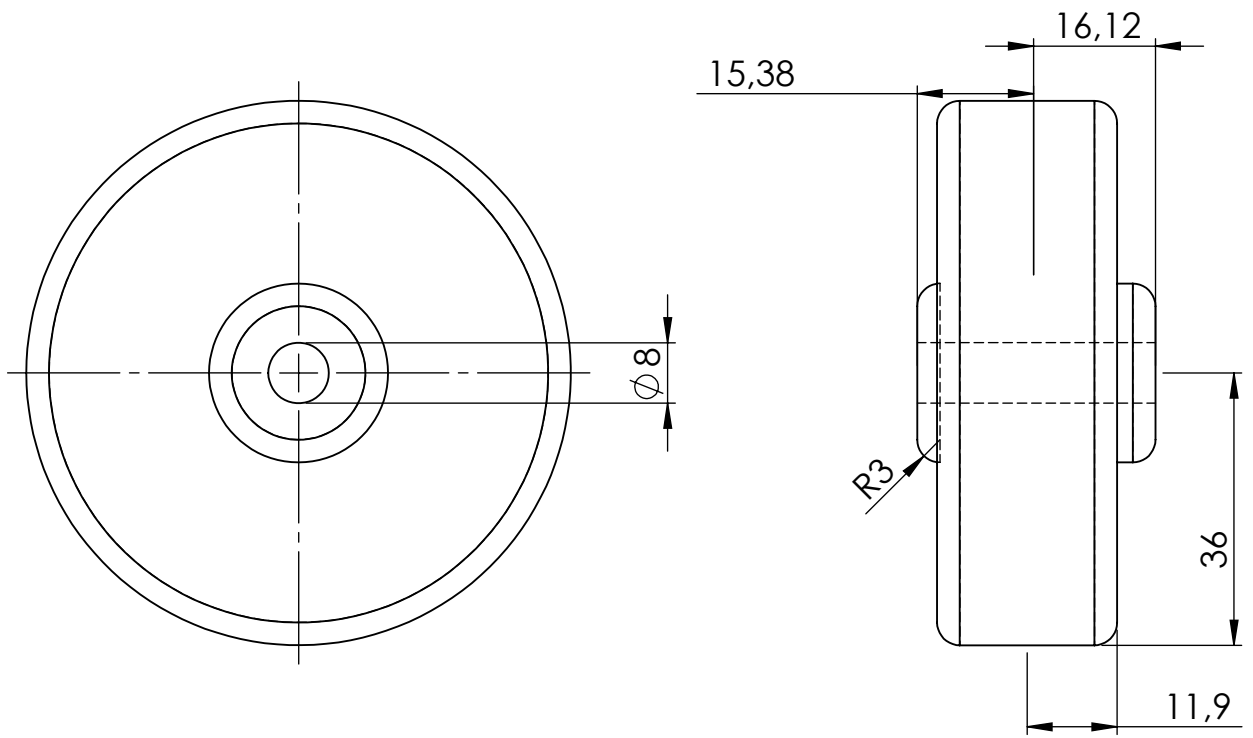


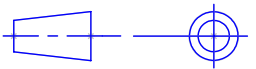
<b>Échelle 5:1</b>	<b>UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN</b>	<b>MOUZAZ Zakaria</b>
	<b>TIGE</b>	<b>BEKKOUCHE Akram</b>
<b>A4</b>		<b>M2 CM</b>

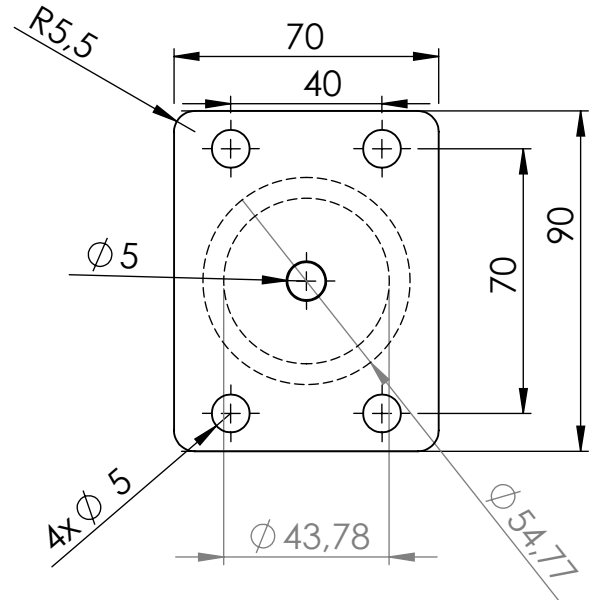
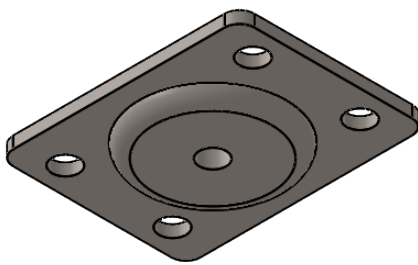
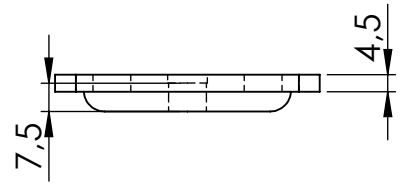
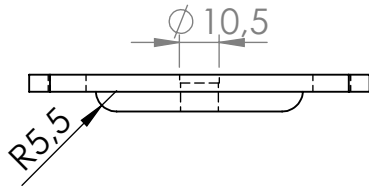




<b>Échelle 1:2</b>	<b>UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN</b>	<b>MOUZAZ Zakaria</b>
	<b>AXE (BAGUE 04)</b>	<b>BEKKOUCHE Akram</b>
<b>A4</b>		<b>M2 CM</b>



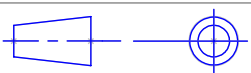
Échelle 1:1	UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN	MOUZAZ Zakaria
	ROUE	BEKKOUCHE Akram
A4		M2 CM



Échelle 1:2

UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCCEN

MOUZAZ Zakaria

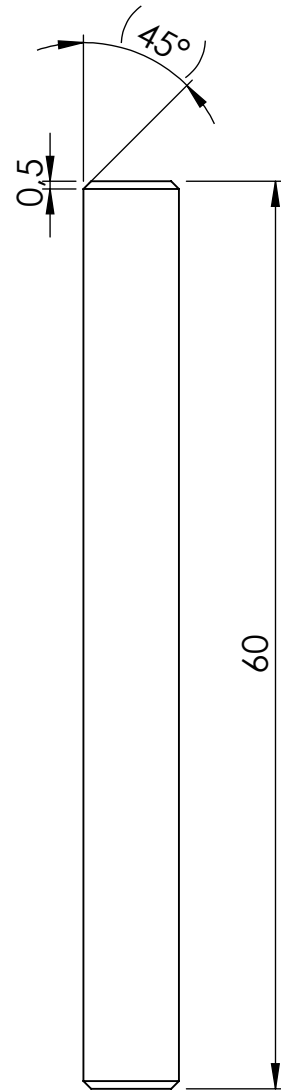
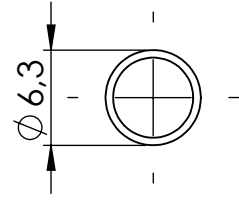
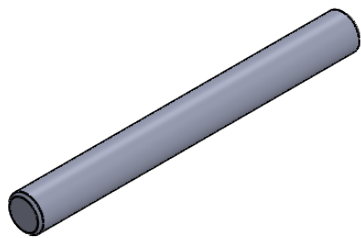


BASE 2

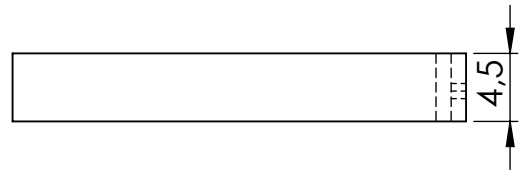
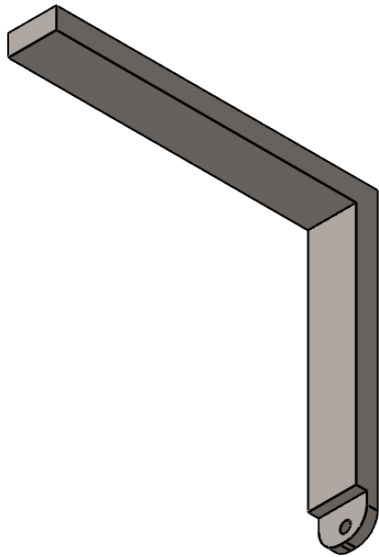
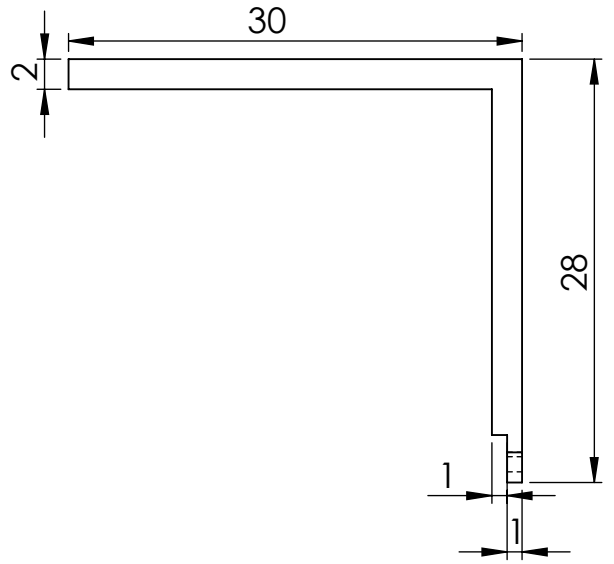
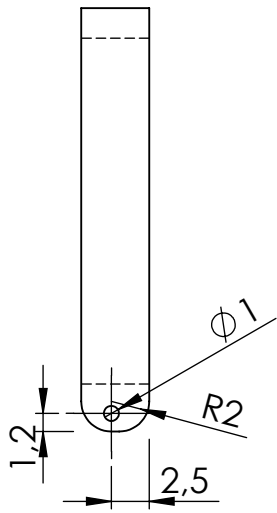
BEKKOUCHE Akram

A4

M2CM

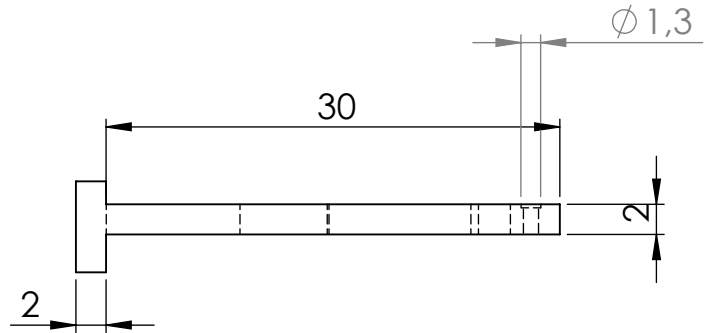
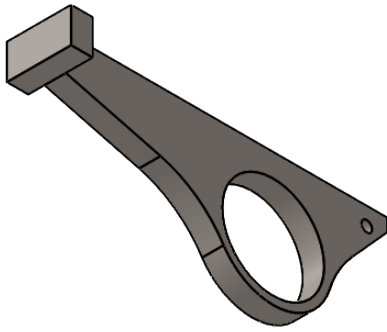
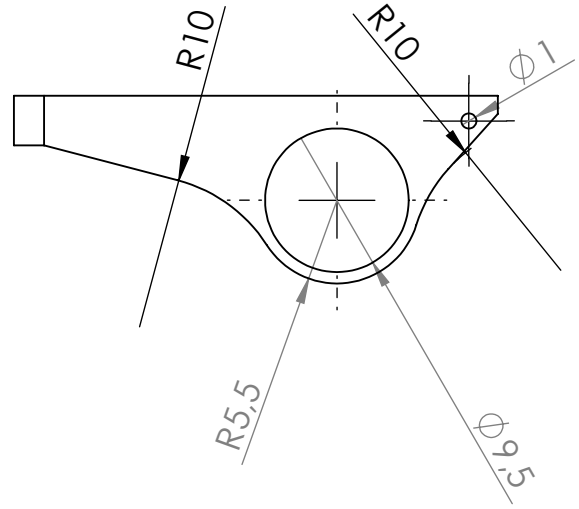
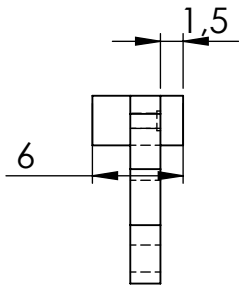


Échelle 2:1	UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCCEN	MOUZAZ Zakaria
	<b>GOUPILLE</b>	BEKKOUCHE Akram
A4		M2 CM

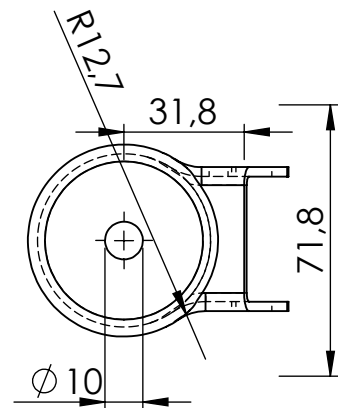
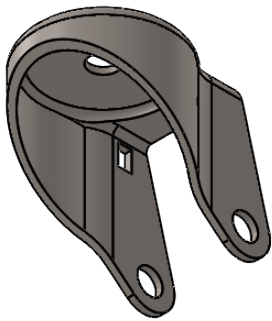
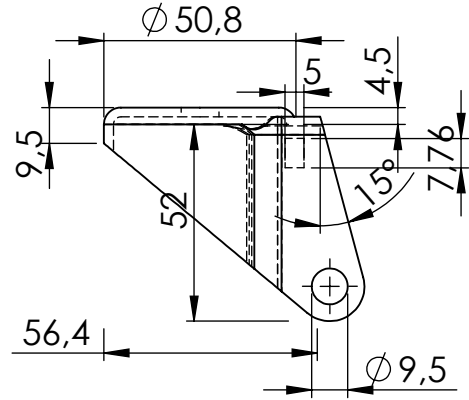
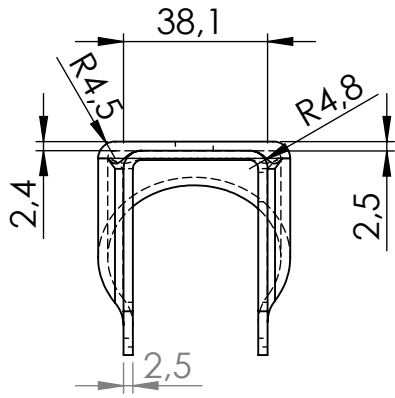


Échelle 2:1	UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN	MOUZAZ Zakaria
	<b>FREIN</b>	BEKKOUCHE Akram
<b>A4</b>		<b>M2 CM</b>

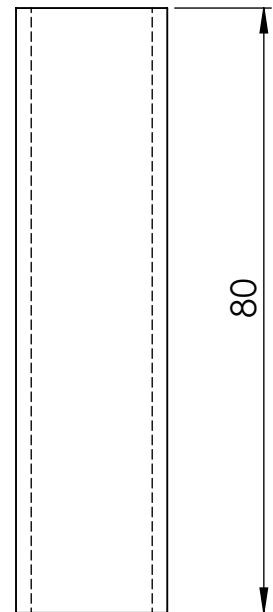
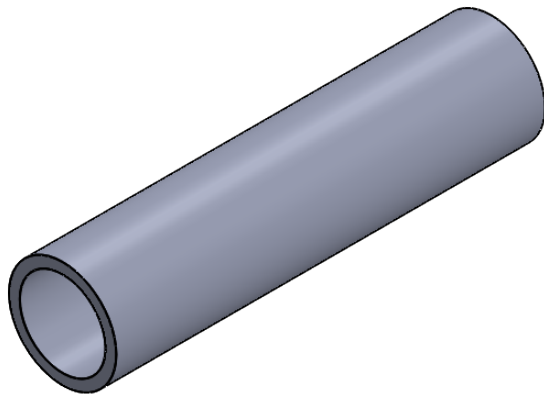
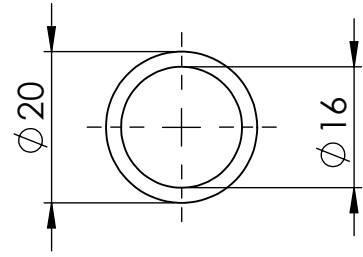


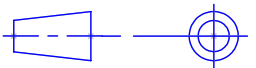


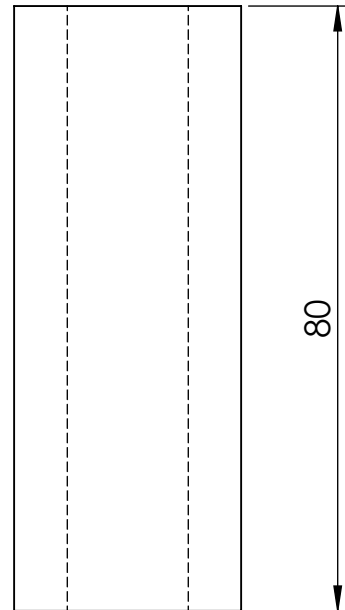
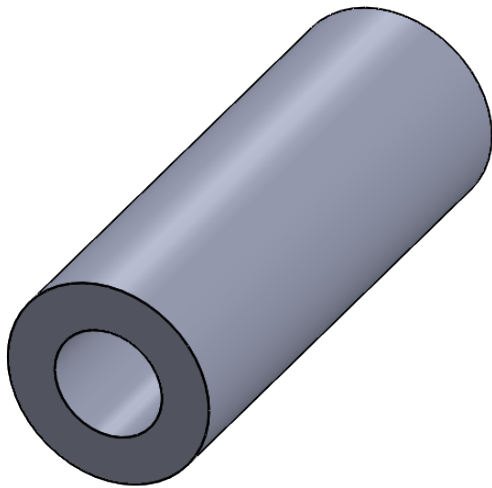
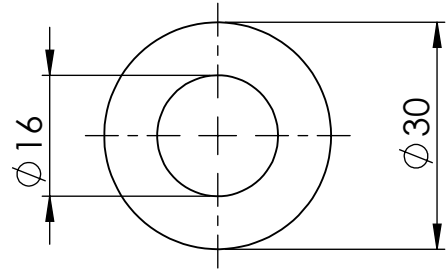
<p>Échelle 2:1</p>	<p>UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN</p>	<p>MOUZAZ Zakaria</p>
	<p>Fourchette</p>	<p>BEKKOUCHE Akram</p>
<p>A4</p>		<p>M2 CM</p>

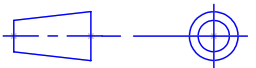


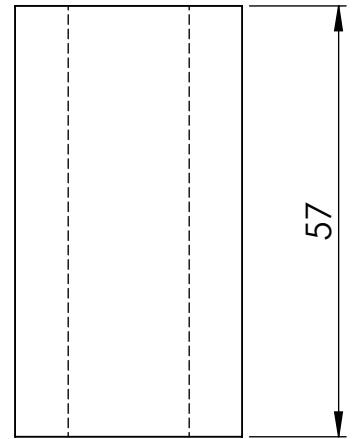
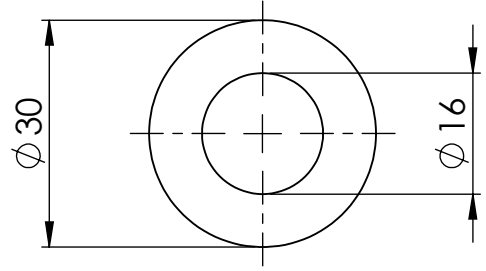
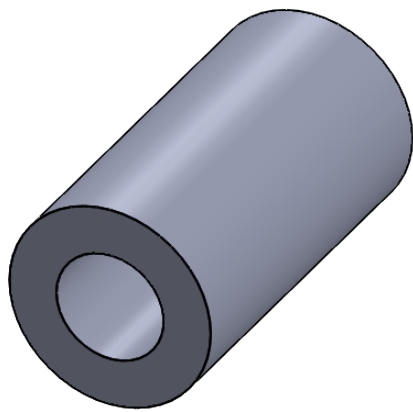
Échelle 1:2	UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN	MOUZAZ Zakaria
	CORPS DE ROUE	BEKKOUCHE Akram
A4		M2 CM

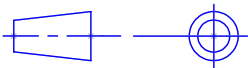


<b>Échelle 1:1</b>	<b>UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN</b>	<b>MOUZAZ Zakaria</b>
	<b>AXE (BAGUE 01)</b>	<b>BEKKOUCHE Akram</b>
<b>A4</b>		<b>M2 CM</b>

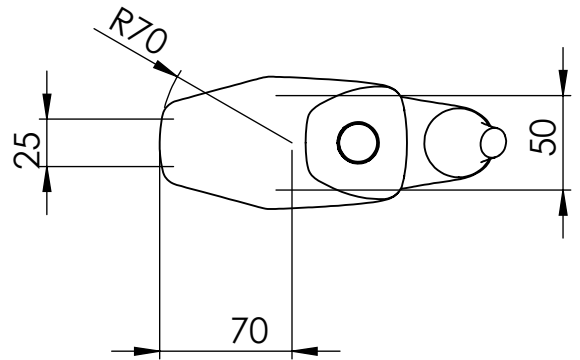
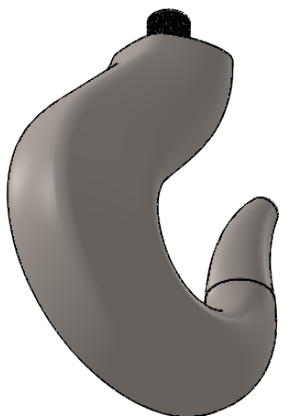
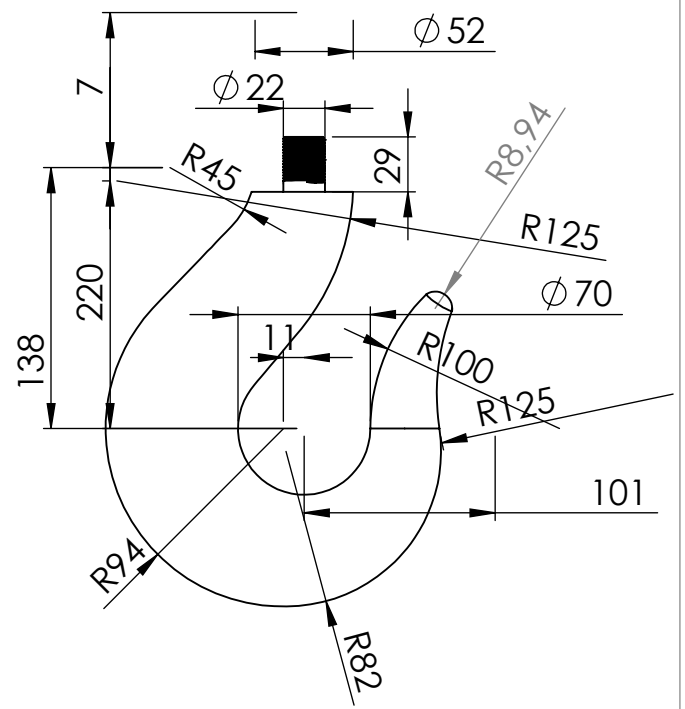
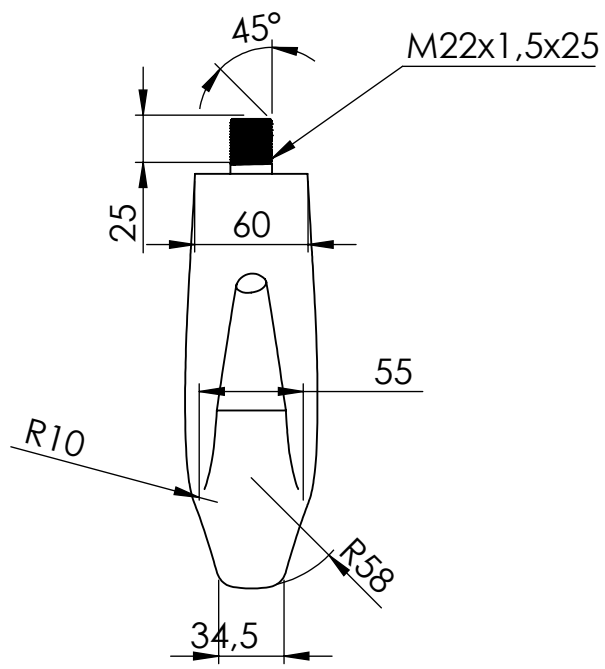


Échelle 1:1	UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN	MOUZAZ Zakaria
	AXE (BAGUE 02)	BEKKOUCHE Akram
A4		M2CM

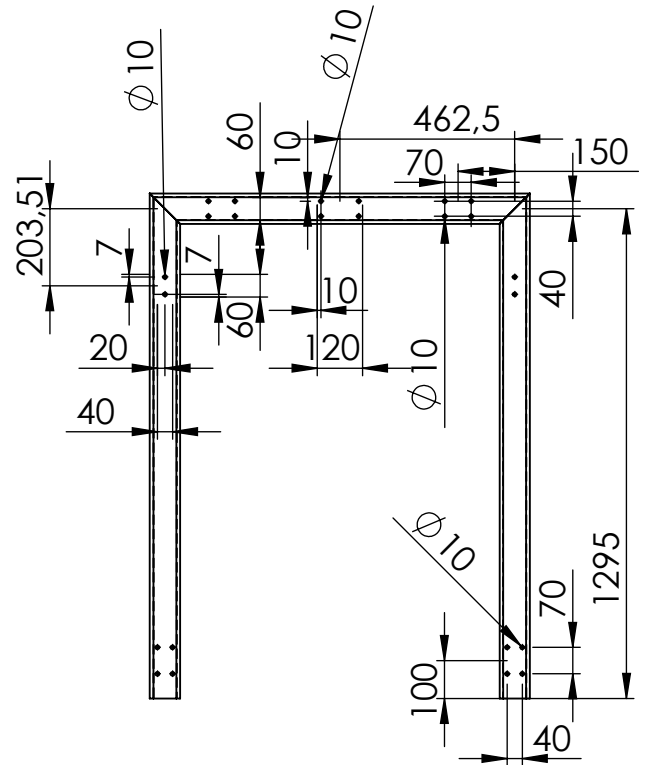
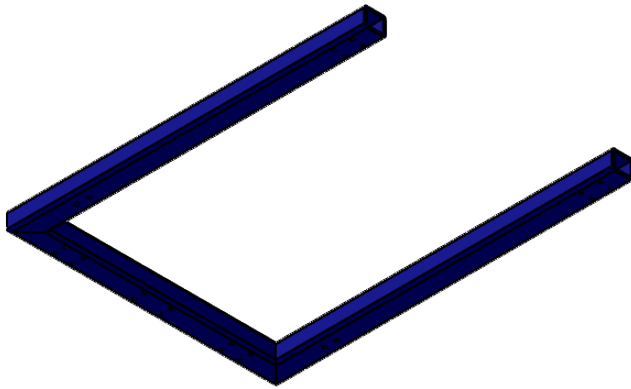
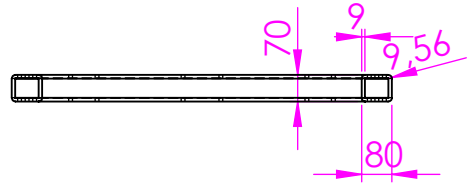
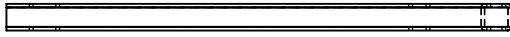


<b>Échelle 1:1</b>	<b>UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN</b>	<b>MOUZAZ Zakaria</b>
	<b>AXE (BAGUE 03)</b>	<b>BEKKOUCHE Akram</b>
<b>A4</b>		<b>M2 CM</b>





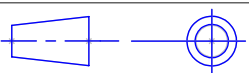
Échelle 1:4	UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN	MOUZAZ Zakaria
	<b>CROCHET</b>	BEKKOUCHE Akram
A4		<b>M2 CM</b>



Écalle 1:20

UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCCEN

MOUZAZ Zakaria

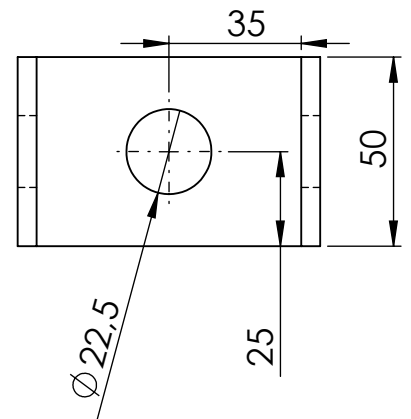
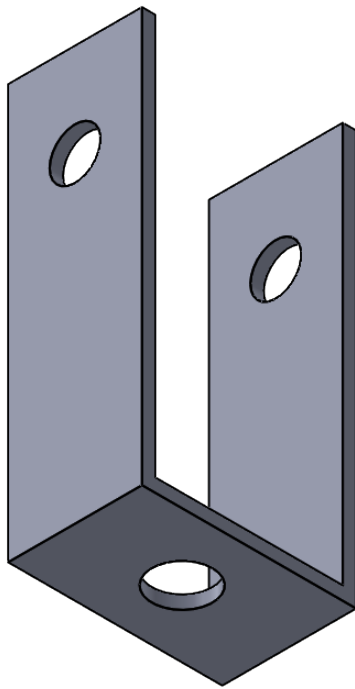
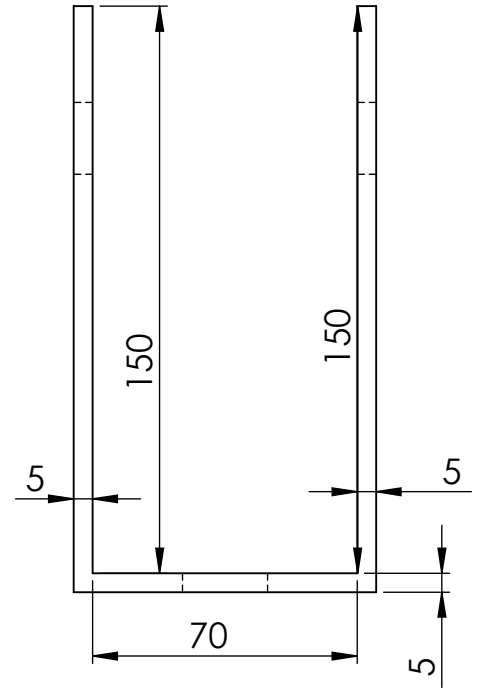
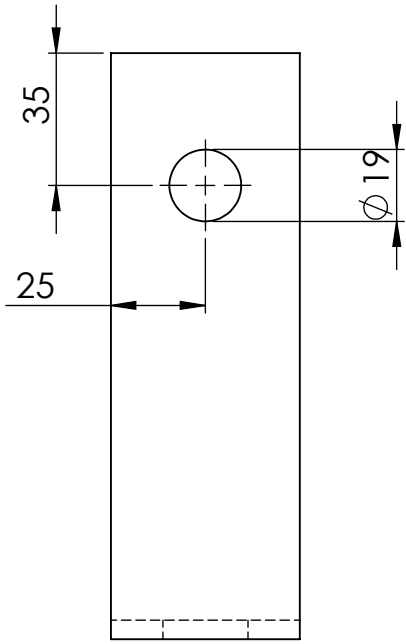


A4

BASE

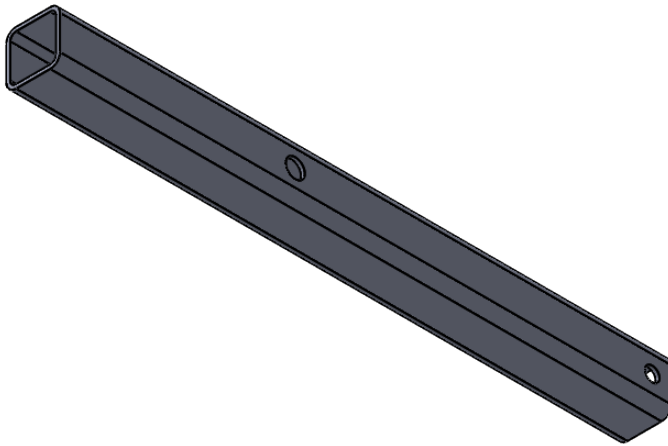
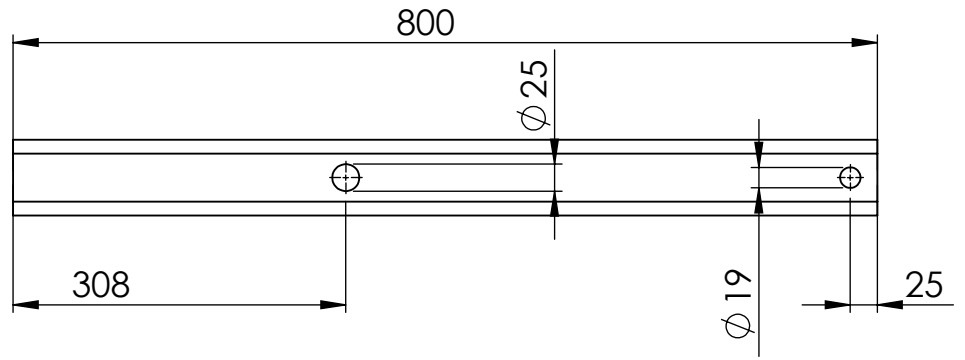
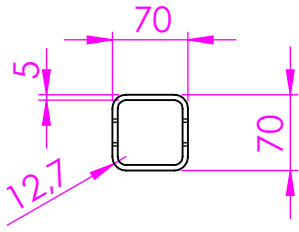
BEKKOUCHE Akram

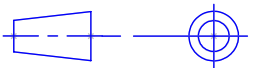
M2 CM



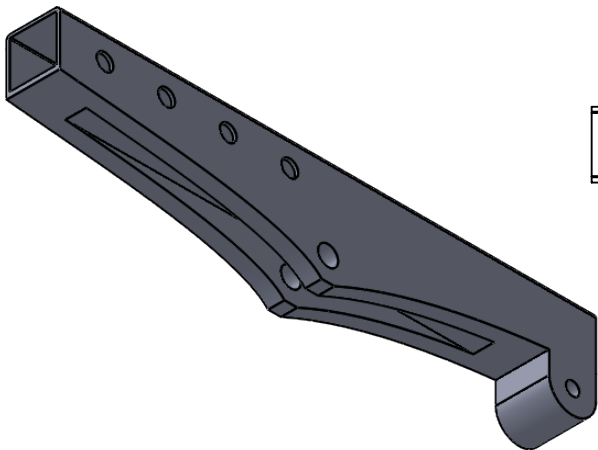
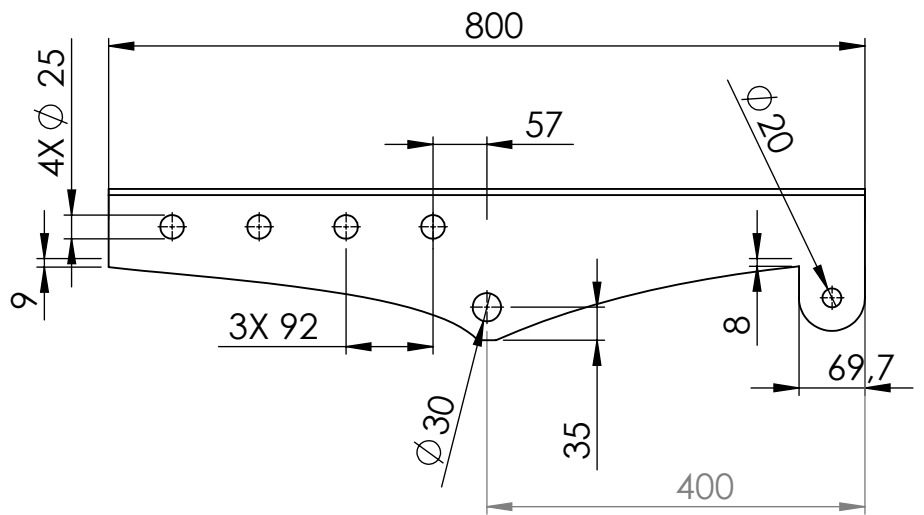
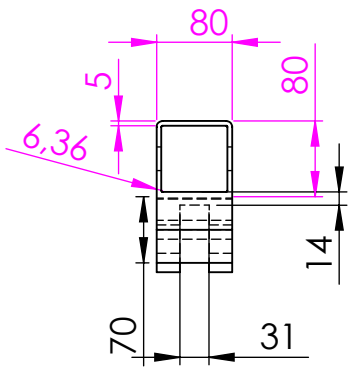
Échelle 1:2	UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN	MOUZAZ Zakaria
 	<b>SUPPORT</b>	BEKKOUCHE Akram
A4		<b>M2 CM</b>



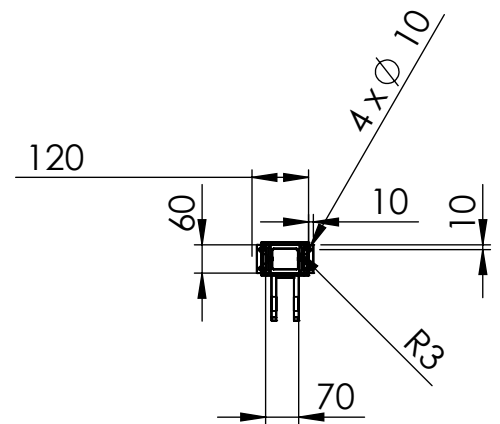
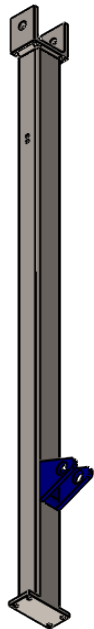
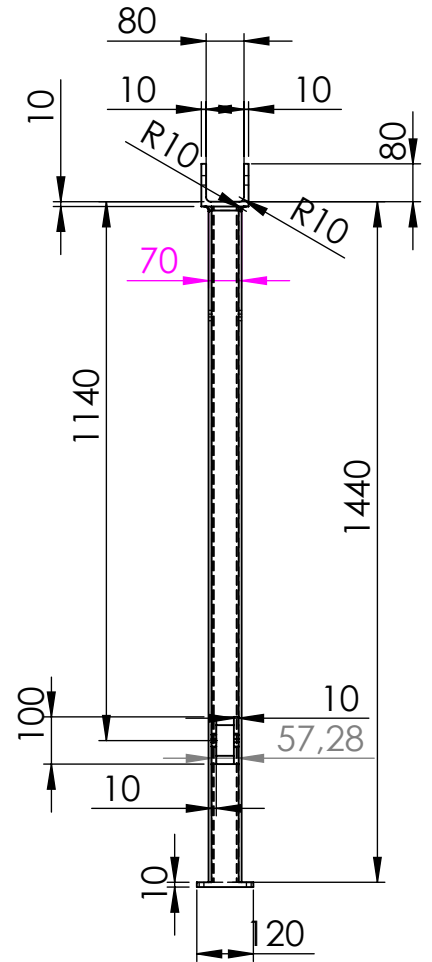
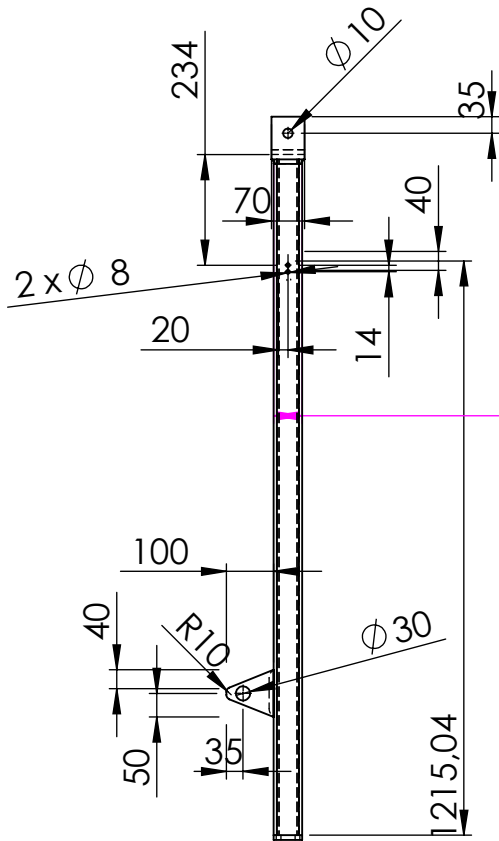


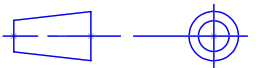
Échelle 1:7	UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN	MOUZAZ Zakaria
	PROFILÉ TÉLESCOPIQUE	BEKKOUCHE Akram
A4		M2 CM

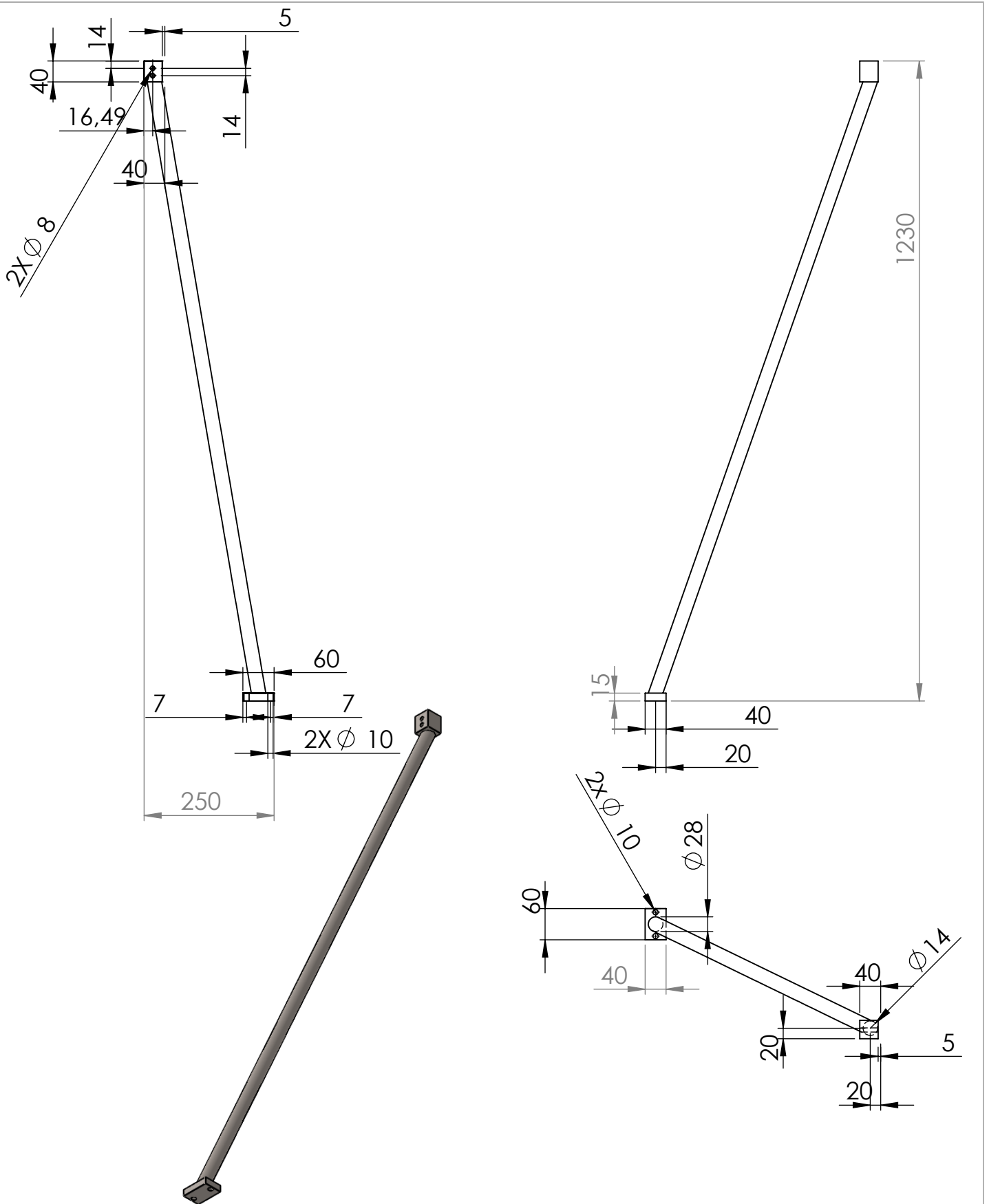




<b>Échelle 1:8</b>	<b>UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCCEN</b>	<b>MOUZAZ Zakaria</b>
	<b>PROFILÉ DE LEVAGE</b>	<b>BEKKOUCHE Akram</b>
<b>A4</b>		<b>M2 CM</b>

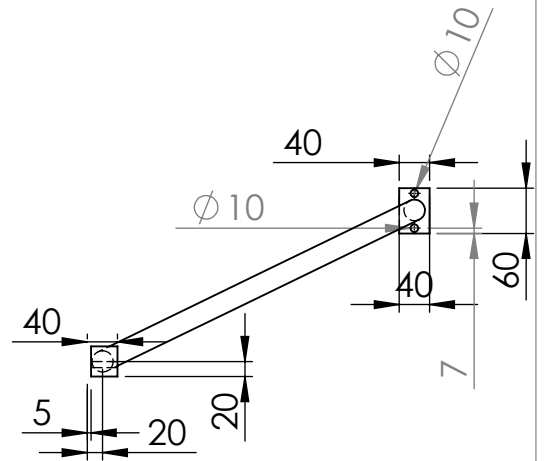
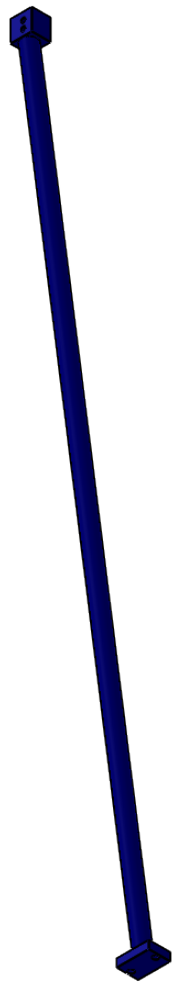
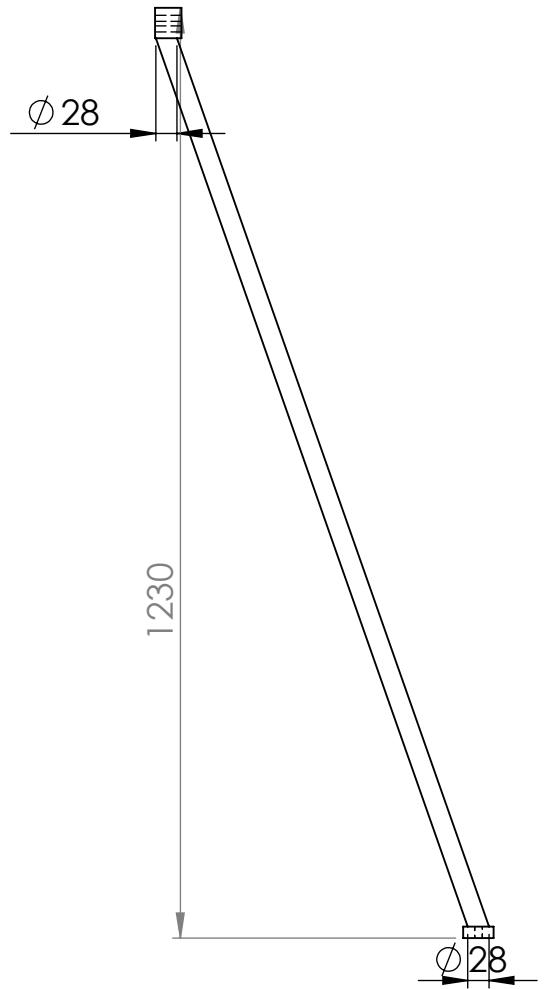
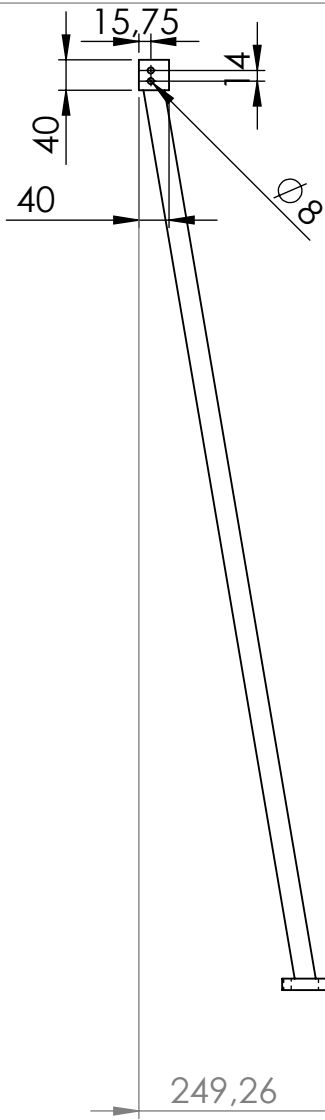


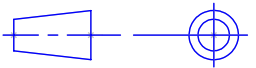
Échelle 1:16	UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCCEN	MOUZAZ Zakaria
	COLONNE	BEKKOUCHE Akram
A4		M2 CM



Échelle 1:10	UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN	MOUZAZ Zakaria
	<b>BRAS DE FORCE 1</b>	BEKKOUCHE Akram
<b>A4</b>		<b>M2 CM</b>





<p>Échelle 1:10</p>	<p>UNIVERSITÉ ABOU BAKER BELKAID TLEMCEN</p>	<p>MOUZAZ Zakaria</p>
	<p><b>BRAS DE FORCE 2</b></p>	<p>BEKKOUCHE Akram</p>
<p>A4</p>		<p>M2 CM</p>

