

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DEL'ENSEIGNEMENTS SUPERIEUR ET DELA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARABOUMERDES



Faculté de Technologie
Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

Filière : Génie Mécanique
Spécialité: Construction Mécanique

THEME

Étude et conception d'un bras de levage d'un tambour de frein

Présenté par:

AZZOUN Manel

DEHIMENE Amel

Promoteur:

Pr.CHELLIL Ahmed

M.RIAL Djamel

ملخص

يركز هذا العمل على تصميم ذراع حامل لرفع اسطوانة الفرامل. في هذه الدراسة تم اقتراح وتصميم ذراع حامل مرفق بعناصر أخرى مساعدة على الرفع كنظام رفع متكامل باستخدام برنامج SolidWorks®. وتم حساب سلوك الطبل المنقول وعناصر النظام المقترح بواسطة برنامج SolidWorks®. تم تحديد وادخال المعلومات و الوظائف والانواع والخصائص الرئيسية للعناصر المشاركة في النمذجة. تم عرض النتائج التي تم الحصول عليها ومناقشتها و الموافقة عليها.

الكلمات المفتاحية: ذراع حامل, نظام رفع, اسطوانة فرامل, محاكاة رقمية.

Abstract

This work focuses on the design of a lifting arm to lift a brake drum. In this study, a lifting arm attached to other auxiliary lifting elements was proposed and designed as an integrated lifting system using SolidWorks® software. The simulation of the drum's behavior and the estimation of the elements of the proposed system were carried out using SolidWorks Simulation software. The main parameters, functions, types, and characteristics of the elements involved in the modeling were defined and introduced. The results obtained were presented, discussed, and approved.

Keywords: lifting arm, lifting system, brake drum, digital simulation.

Résumé

Ce travail se concentre sur la conception d'un bras de levage pour soulever un tambour de frein. Dans cette étude, un bras de levage fixé à d'autres éléments auxiliaires de levage a été proposé et conçu comme un système de levage intégré en utilisant le logiciel SolidWorks®. La simulation du comportement du tambour et des éléments du système proposé a été réalisée avec le logiciel SolidWorks Simulation. Les principaux paramètres, fonctions, types et caractéristiques des éléments intervenant dans la simulation ont été définis et introduits. Les résultats obtenus ont été présentés, discutés et approuvés.

Mots-clés : bras de levage, système de levage, tambour de frein, simulation numérique.

Remerciements

Avant tout, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à **Allah** Tout-Puissant, qui nous a accordé la santé et la force nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nos sincères remerciements s'adressent à nos parents pour leur soutien moral et financier indéfectible tout au long de nos études. Ils ont été une source d'encouragement inestimable et nous ont permis de croire en nos rêves.

Nous tenons à témoigner notre profonde reconnaissance à notre promoteur, M. CHLLIL Ahmed, pour ses précieux conseils et son encadrement tout au long de la réalisation de ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les enseignants et intervenants qui ont contribué à notre formation et à l'enrichissement de nos connaissances. Nous sommes particulièrement reconnaissants à M. AGUIB pour ses conseils avisés et son soutien constant.

Nous tenons également à remercier toute l'équipe de l'entreprise SNVI ROUIBA pour nous avoir accueillis et encadrés lors de notre stage. Nous sommes particulièrement reconnaissants à M. KAB Adel et à M. RIAL Djamel pour leur gentillesse et leur disponibilité.

Enfin, nous remercions les honorables membres du jury de l'honneur qu'ils nous font en examinant ce travail. Nous sommes reconnaissants de leur temps et de leurs précieux commentaires.

Ce travail est le fruit d'un long parcours et de nombreuses contributions. Nous sommes reconnaissants envers toutes les personnes qui nous ont soutenus et accompagnés.



Dédicace

Chers parents, mes frères & sœurs, et mes amis.

Louanges et remerciements à Dieu pour le début et la fin.

À moi-même qui ai cru en moi,

À moi-même qui ai réalisé tout ce travail,

Aux victoires que personne n'a vues.

À celle qui est tout pour moi, à la précieuse qui m'a facilité le chemin par ses prières, à la grande dame qui a toujours souhaité voir ce jour, ma chère mère.

À celui qui a perlé son front de sueur et m'a appris que le succès ne vient qu'avec la patience et la persévérance, celui qui m'a donné sans attendre en retour, celui qui a sacrifié sans compter, à ma fierté et mon honneur, mon cher père.

À ma compagne d'âme, mon refuge et ma sécurité, celle qui a été un soutien pour moi, celle qui a cru en moi et m'a encouragée, ma chère sœur et ses enfants, les bonbons de la famille.

À ma constante et la sécurité de mes jours, à ceux qui ont fortifié mon bras et ont été pour moi des sources de réconfort, aux meilleurs de mes jours, à la prunelle de mes yeux, mes frères Ayoub et Amin.

À ma compagne de route et amie d'enfance qui a été avec moi à chaque étape, Amel.

À celle qui m'a soutenue dans ce parcours et a été plus qu'une sœur, la fiancée de mon frère, Manel.

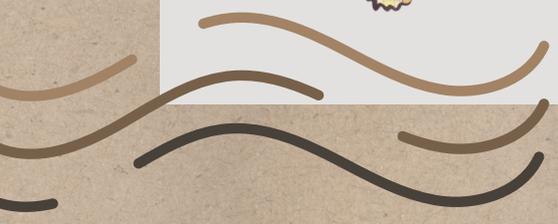
À ma meilleure amie, Maria.

À tous ceux qui ont été un soutien et un appui sur ce chemin, ceux qui m'ont comblée de leurs émotions et de leurs conseils sincères, à vous, ma famille, je vous dédie cet accomplissement et le fruit de mon succès que j'ai toujours souhaité. Aujourd'hui, j'ai achevé son premier fruit grâce à Dieu Tout-Puissant. Louanges à Dieu pour ce qu'Il m'a donné, et qu'Il m'aide et me rende bénie où que je sois.



Avec tout mon amour et ma reconnaissance

Manel Azzoun





Dédicace

Chers parents, mes frères & sœurs, et mes amis.

En ce jour solennel de remise des diplômes, je tiens à exprimer ma profonde gratitude pour votre soutien indéfectible tout au long de mon parcours académique.

Louange à Dieu et merci à Dieu

À moi-même, je tiens à exprimer ma gratitude pour avoir cru en moi, pour avoir accompli tout ce travail acharné. Je veux dédier ce succès à moi-même.

À celle que Dieu a placée le paradis sous ses pieds, qui m'a porté dans son cœur avant ses bras, et qui a facilité mes épreuves par ses prières, à ma mère.

À celui qui m'a soutenu sans limites et donné sans compter, à celui qui a cherché mon confort et mon succès, à mon père.

À mon pilier solide et la sécurité de mes jours, à ceux qui ont renforcé mon bras et étaient pour moi des sources où je me désaltérais, aux meilleurs jours de ma vie, à la prunelle de mes yeux, mes sœurs et frères (Asma, Karima, Soumia, Ahmed, Mohamed).

À tous ceux qui ont été une aide et un soutien sur ce chemin, à mes compagnons d'années et aux amis des difficultés et des crises, je vous dédie cet accomplissement, en espérant que Dieu Tout-Puissant nous bénéficie de ce que nous avons appris et nous enseigne ce qui nous est utile, à mes amies (Manel, Manel).

À ceux avec qui nous avons partagé les bancs de l'école et qui étaient de bons camarades, mes collègues...

Ce diplôme n'est pas seulement un symbole de mon travail acharné, mais aussi le fruit de votre amour, de votre patience et de votre foi en moi. Nous avons tissé ensemble la trame de ce succès, et je me tiens ici aujourd'hui humble et fier, merci à vous tous.



Avec tout mon amour et ma reconnaissance

Amel Dehimene

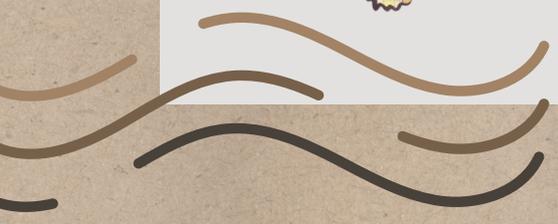


Table des matières

Table des matières	i
Table des figures	v
Liste des tableaux	vii
Nomenclature	viii
Introduction générale	1
Présentation de l'entreprise SNVI	3
Chapitre I : Exploration et analyse du Bras de Levage	11
I. Introduction :.....	11
I.1.Exploration de la machine :	11
I.1.1.Description de la machine :.....	11
I.1.2. Processus d'usinage :.....	12
I.1.3. Fonctionnement de la machine DVT :.....	13
I.1.4.Axes et canaux DVT :... ..	16
I.2.Analyse fonctionnelle du système de levage et du Bras :.....	18
I.2.1.Graphe des prestations – diagramme « bête à cornes » :.....	18
I.2.2.Diagramme des inter acteurs – Diagramme « pieuvre » :.....	20
I.2.3. Diagramme FAST :.....	21
I.2.4. Diagramme SADT :... ..	22
I. Conclusion :.....	23
Chapitre II : Étude et conception e de système de levage	24
II. Introduction :.....	24
II.1.Structure de la pièce à lever :.....	24

II.1.1. Définition :.....	24
II.1.2. Caractéristique de tambour :... ..	26
II.2. Présentation de logiciel SolidWorks :.....	26
II.2.1. Description :.....	26
II.2.2. Pourquoi choisir SolidWorks® ? :.....	27
II.2.3. Fonctionnalités de SolidWorks® :.....	28
II.3. Conception de tambour :.....	29
II.3.1. Caractéristique de tambour estimé par SolidWorks® :.....	29
II.4. Conception de système de levage :... ..	29
II.4.1. Le bras de levage :	30
II.4.1.1. Intégration d'un système complet :.....	30
II.4.1.2. Avantages d'un système de levage performant :.....	30
II.5. Description des éléments du système de levage :.....	32
II.5.1. Le bras de levage :.....	33
II.5.1.1. La conception de la forme du bras de levage :.....	34
a. Analyse des fonctions des trous :.....	34
b. Étude de l'efficacité de la répartition :.....	35
II.5.1.2. Le matériau de bras :.....	35
II.5.1.3. Les degrés de liberté de bras :.....	37
II.5.2. Le doigt :.....	38
II.5.3. L'écrou de serrage :.....	39
II.5.3.1. Le matériau de l'écrou :.....	39
II.6. Assemblage de système de levage :.....	41
II.6.1. Étapes clés du processus :.....	41
II.7. Calcul des forces appliquées sur le système :... ..	43
II.7.1. Contrainte appliquée sur le tambour (charge répartie) :... ..	43
II.7.2. Calcule les réactions R_1 et R_2 (forces appliquées sur les doigts) :... ..	46
II. Conclusion :.....	47
Chapitre III : Simulation numérique de système de levage	48
III. Introduction :.....	48
III.1. Simulation numérique :.....	48
III.1.1. Définition de la simulation :.....	48

III.1.2. SolidWorks simulation :.....	49
III.1.2. Gamme SolidWorks simulation :.....	49
III.1.3. Fonctionnalités de SolidWorks Simulation :.....	50
III.2. Processus d'analyse :.....	51
III.3. Résultats et discussion de la simulation :.....	51
III.3.1. Analyse et simulation du tambour :... ..	52
III.3.1.1. Charges et condition aux limites :.....	52
III.3.1.2. Maillage de modèle :.....	52
III.3.1.3. Résultats de la simulation :... ..	53
a. Champ de contrainte :.....	53
b. Champ de déplacement :.....	54
c. Champ de déformation :.....	54
d. Coefficient de sécurité :.....	55
III.3.2. Analyse et simulation de bras :... ..	56
III.3.2.1. Charges et condition aux limites :.....	56
III.3.2.2. Maillage de modèle :.....	57
III.3.2.3. Résultats de la simulation :.....	57
a. Champ de contrainte :.....	57
b. Champ de déplacement :.....	58
c. Champ de déformation :.....	59
d. Coefficient de sécurité :.....	59
III.3.3. Analyse et simulation de doigt :.....	60
III.3.3.1. Charges et condition aux limites :.....	60
III.3.3.2. Maillage de modèle :.....	61
III.3.3.3. Résultats de la simulation :... ..	62
a. Champ de contrainte :.....	62
b. Champ de déplacement :.....	62
c. Champ de déformation :.....	63
d. Coefficient de sécurité :.....	64
III.3.4. Analyse et simulation de l'écrou :.....	64
III.3.4.1. Charges et condition aux limites :.....	64
III.3.4.2. Maillage de modèle :.....	65
III.3.4.3. Résultats de la simulation :.....	65

a. Champ de contrainte :.....	66
b. Champ de déplacement :.....	66
c. Champ de déformation :.....	67
d. Coefficient de sécurité :.....	68
III. Conclusion :.....	68
Conclusion générale	70
Références Bibliographie	71
Annexe	72

Table des figures

Chapitre I

Figure I.1: Photo réel de la machine WELMAC.....	12
Figure I.2 : Sens de flux de la pièce à usiner DVT en standard.....	12
Figure I.3 : Sens de flux de la pièce à usiner DVT en arrière (de droite à gauche).....	13
Figure I.4 : nomenclateur de la machine vue avant DVT 400 standard.....	14
Figure I.5 : Axe et nom de la broche DVT avec tourelle droite.....	17
Figure I.6 : Noms des axes et des canaux DVT 400 avec deux tourelles et entrainement outils.....	18
Figure I.7 : Diagramme « bête à cornes ».....	19
Figure I.7 : Élaborer le Diagramme de pieuvre.....	20
Figure I.8 : Diagramme FAST	22
Figure I.8 : Diagramme SADT.....	23

Chapitre II

Figure II.1 : tambour de frein brut.....	25
Figure II.2 : L'emplacement du mandrin dans la machine.....	25
Figure II.3: Tambour de frein brut dessiné par SolidWorks®.....	29
Figure II.4 : Système de levage dessiné par SolidWorks®.....	31
Figure II.5 : Nomenclature de système de levage proposé.....	32
Figure II.6 : bras de levage dessiné par SolidWorks®.....	34
Figure II.7 : doigt dessiné par SolidWorks®.....	38
Figure II.8 : écrou dessiné par SolidWorks®....	39
Figure II.9 : assemblage de tous les éléments de système de levage avec le tambour	42
Figure II.10 : l'emplacement de bras dans la machine.....	43
Figure II.11 : Charge appliquée sur le tambour.....	44
Figure II.12 : Zone d'application de contrainte σ_1	45

Figure II.13 : Isolement du doigt.....46

Chapitre III

Figure III.1 : Tambour sous charge répartie et conditions aux limites.....52

Figure III.2 : Maillage de tambour.....53

Figure III.3 : Distribution des contraintes équivalentes de Von-mises sur le tambour.....53

Figure III.4 : Distribution de champ de déplacement de tambour.....54

Figure III.5 : Distribution de champ de déformation de tambour.....55

Figure III.6 : Distribution du coefficient de sécurité sur le tambour.....55

Figure III.7 : bras sous force appliquée et conditions aux limites.....56

Figure III.8 : Maillage de bras.....57

Figure III.9 : Distribution des contraintes équivalentes sur le bras.....58

Figure III.10 : Distribution de champ de déplacement sur le bras.....58

Figure III.11 : Distribution de champ de déformation de bras.....59

Figure III.12 : Distribution du coefficient de sécurité sur le bras.....60

Figure III.13 : doigt sous forces appliquées et conditions aux limites.....61

Figure III.14 : Maillage de doigt.....61

Figure III.15 : Distribution des contraintes équivalentes sur le doigt.....62

Figure III.16 : Distribution de champ de déplacement sur le doigt.....63

Figure III.17 : Distribution de champ de déformation de doigt.....63

Figure III.18 : Distribution du coefficient de sécurité sur le doigt.....64

Figure III.19 : écrou sous les force appliquées et conditions aux limites.....65

Figure III.20 : Maillage appliqué sur l'écrou.....65

Figure III.21 : Distribution des contraintes équivalente de Von-mises sur l'écrou.....66

Figure III.22 : Distribution de champ de déplacement sur l'écrou.....67

Figure III.23 : Distribution de champ de déformation de l'écrou.....68

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : nomenclature de la machine vue avant DVT 400 standard.....	15
Tableau I.2 : les fonctions et service.....	21
Tableau I.3 : Caractériser les fonctions de service.....	21

Chapitre II

Tableau II.1 : Caractéristique réelles de tambour brut.....	26
Tableau II.2 : Caractéristique de tambour estimé par SolidWorks®.....	29
Tableau II.3 : Caractéristiques et désignations des éléments de système de levage.....	31
Tableau II.4 : Les principales propriétés mécaniques de ce dernier sont montrées.....	32
Tableau II.5 : Caractéristiques mécaniques de bras.....	36
Tableau II.6 : Caractéristiques mécaniques de doigt	37
Tableau II.7 : Les principales propriétés mécaniques de ce dernier sont montrées.....	38
Tableau II.8 : Caractéristiques mécaniques de doigt.....	40
Tableau II.9 : Caractéristiques mécaniques de l'écrou.....	40

Nomenclature

SNVI	Société nationale des véhicule industriels
FO.R	Epe Fonderies de Rouïba
V.I.R	Véhicules Industriels de Rouïba
C.I.R	Carrosseries Industrielles de Rouiba
C.I.T	Carrosseries Industrielles de Tiaret
E.R.V.I	Entreprise Rénovation Véhicules Industriels
DVT	Drehmaschine-Vertikal-Transfer
FAST	Function Analysis System Technic
SADT	Structured Analysis and Design Technique
CAO	Conception assistée par ordinateur
DDL	Les degrés de liberté
R	Réactions (N)
E	Epaisseur (mm)
F	Effort normal (N)
σ	Contrainte (MPa)
Cs	Coefficient de sécurité (pas d'unité)
mt	Masse de tambour (kg)
g	Constante universelle de gravitation (N.kg-1)

Introduction générale

L'industrie manufacturière moderne exige des solutions d'automatisation et de manutention efficaces pour optimiser les processus de production et accroître la productivité. Dans ce contexte, les tours à transfert vertical (DVT) jouent un rôle essentiel en réalisant des opérations de tournage, de perçage et de fraisage avec précision et rapidité. Cependant, pour maximiser l'efficacité de ces machines, un système de levage adéquat est crucial pour le levage et le déplacement des tambours.

Pour répondre à l'objectif fixe dans le cadre de cette étude, nous nous proposons de structurer ce présent manuscrit en trois chapitres

L'objectif de cette étude est la conception et l'étude d'un bras de levage d'un tambour de frein innovant destiné à une utilisation sur un tour à transfert vertical. L'objectif principal est de concevoir un système complet et performant qui intègre le bras de levage comme élément central, complété par des composants additionnels pour faciliter le processus de levage.

Afin d'atteindre efficacement les objectifs fixés dans le cadre de cette étude, nous proposons d'organiser le présent mémoire en trois chapitres distincts, chacun abordant un aspect crucial du travail réalisé.

Dans ce premier chapitre, nous commencerons par une description détaillée de la machine DVT. Pour cela, nous examinerons son processus d'usinage ainsi que fonctionnement de la machine et les différents axes et canaux DVT. Ensuite, nous procéderons à une analyse fonctionnelle approfondie du système de levage et du bras de la machine afin de mieux comprendre les interactions et les exigences fonctionnelles de ces composants essentiels.

Le deuxième chapitre sera consacré à la présentation du tambour et à la description des éléments du système de levage, tels que le bras, le doigt et l'écrou. Nous procéderons ensuite à une conception numérique de ces éléments à l'aide du logiciel SolidWorks®, ainsi qu'aux calculs des dimensions du système et au choix des matériaux utilisés pour chaque composant. L'objectif principal de ce chapitre est de mettre en évidence les outils nécessaires pour simuler le comportement du système sous les conditions de fonctionnement.

L'objet du troisième chapitre est la simulation numérique du tambour, du bras, ainsi que des autres éléments du système, en utilisant le logiciel SolidWorks Simulation. Nous analyserons et discuterons les résultats obtenus afin d'évaluer les performances et la fiabilité du système.

Une conclusion générale synthétisera l'étude réalisée et les résultats obtenus dans notre travail.

Présentation de l'entreprise SNVI

La Société National des Véhicules Industriels, est une grande Société nationale qui se caractérise par son héritage historique et organisationnel, sa gamme de produit très variés et aussi par le développement de la production de l'exportation et de la distribution dans le secteur des véhicules Industriels, et de leurs composants. Pour toutes ces raisons, nous avons décidé de prendre cette entreprise comme terrain d'étude, en nous intéressons dans ce chapitre a la présentation de la SNVI: son statut, son historique mais aussi son organisation, en suite, nous parlerons de la Division qui accueillera notre enquête, a savoir la Filiale véhicules Industriels Rouïba VIR.

La société nationale des véhicules industriels par abréviation SNVI est née par décret N° 81-342 du 12 décembre 1981 suite à la restructuration de la société nationale de construction mécanique SONACOME qui a été créée le 09 août 1967, par l'ordonnance N°67.150 pour promouvoir et développer les industries mécaniques en Algérie.

1. Historique :

Sonacome hérite du patrimoine de la Société africaine des automobiles Berliet (SAAB), dont l'installation en Algérie remonte à 1957. Elle est créée par ordonnance no 67-150 du 9 août 1967 et a pour vocation d'exploiter et de gérer les usines de construction mécanique du secteur public. Son schéma d'organisation regroupe dix divisions dont la Division des véhicules industriels (DVI) future Société nationale des véhicules industriels (SNVI).

En mai 1995, la SNVI change de statut juridique pour devenir une Entreprise publique économique régie par le droit commun, la SNVI est alors érigée en Société par actions (SPA), au capital social de 2,2 milliards de Dinars.

En octobre 2011, la SNVI change de statut juridique pour devenir un Groupe Industriel composé d'une société mère et de quatre filiales.

En 2012, la SNVI présente son nouveau camion, le K66, à la foire internationale d'Alger.

En février 2012, Hamoud Tazerouti remplace Mokhtar Chahboub en tant que PDG de la société.

En octobre 2013, la SNVI rachète les 60% des actions de son partenaire français (BTK1), à la suite des mouvements de protestation des travailleurs contestant la politique de gestion menée par ce partenaire.

Le 23 février 2015, à la suite de la réorganisation du secteur public marchand de l'État, Ferroviail et toutes ses participations ont été rattachés au Groupe SNVI.

En 2015, la SNVI annonce la sortie du premier bus civil Mercedes-Benz assemblé en Algérie et notamment dans l'usine de Rouiba.

En 2015, la production de la SNVI affiche un chiffre de 1 135 camions.

En février 2015, un consortium composé de cinq banques publiques (BNA, BEA, CPA, BADR, CNEP), accorde un crédit de 92 milliards de DA à la SNVI pour financer ses projets de développement.

En 2016, la SNVI présente à la 25e Foire de la Production Algérienne son premier bus 4X4 dénommé Atakor.

En décembre 2016, Malek Salah le PDG de la SNVI est remplacé par Oudjit Nour-Eddine qui occupait auparavant le poste de président du conseil d'administration de la filiale fonderie de l'entreprise.

En 2017, la SNVI présente le mini-car Salama, version carrosserie amélioré du 25 L4, destiné au transport scolaire. Avec un taux d'intégration de 85%, 2000 bus construit et livré en septembre 201811,12.

En 2019, le groupe devient membre du conseil d'administration du centre de recherche en mécanique à Constantine. Ce centre placé sous la tutelle du Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique, est chargé de rapprocher le monde académique du monde industriel, préparer le futur des industries mécaniques nationales et participer activement à la formation continue.

En 2021, le ministre algérien de l'industrie Ferhat Aït Ali, a annoncé que le dossier de la mise du groupe sous tutelle de la Direction centrale de l'industrie militaire, relevant du ministère algérien la Défense nationale, sera traité par le Conseil des participations de l'Etat (CPE). Le ministre a indiqué que cette démarche profitera aux deux parties et que la SNVI

bénéficiera d'un plan de charge et d'un plan stratégique et sera intégrée dans un plan industriel, à la fois, civil et militaire.

En 2022, le groupe public Madar Holding a annoncé avoir repris la participation de 34 % détenue par SNVI dans la société Renault Algérie Production (RAP) d'Oued Tlelat (Wilaya d'Oran). Cette opération a été validée par le Conseil de participation de l'Etat (CPE) en date du 20 avril 202115.

2. Présentation de la société mère et ses filiales :

Le statut juridique de l'entreprise publique SNVI est : Société par actions (EPE-SPA).

Elle produit et commercialise des véhicules industriels dont le capital social est de 2200000000 de dinars entièrement détenus par l'Etat. Son siège social est situé à la zone industrielle de Rouïba et elle est gérée par un conseil d'administration, avec un président directeur général à sa tête.

La SNVI conçoit, fabrique, commercialise et assure les services après-vente d'une gamme de produits composée de camions, camions tracteurs, d'autocars, autobus et carrosseries industrielles.

La SNVI est constituée de :

Société-mère, composée de:

- Direction Centrale.
- Direction Centrale Commerciale et son réseau.
- Division Rénovation Véhicules Industriels (DRVI).

Les missions principales de la société-mère SNVI sont essentiellement orientées vers l'exercice de contrôle des filiales et la gestion du portefeuille de participations dans les sociétés suivantes :

- ZF Algérie: SNVI 20% -ZF Allemagne 80%.
- La Société Algérienne de Production de Poids Lourds de marque Mercedes-Benz (SAPPL-MB) à Rouïba : SNVI 34% / EPIC-EDIV (Ministère de la défense nationale, MDN) 17% / AABAR (Emirates Arabes Unis) 49% avec DAIMLER comme partenaire technologique.
- La société Renault Algérie Production (RAP) : SNVI 34% / Fonds National d'Investissement (FNI) 17% / Renault 49%.

- La Société d'assemblage et de maintenance de rames de tramways (CITAL) : FERROVIAL 41% / Entreprise de métro d'Alger (EMA) 10% / ALSTOM France 43% / ALSTOM Algérie 6%.

2.1. Filiale Fonderies de Rouïba(FO.R):

Elle fabrique pour les structures de la SNVI, la sous-traitance et pour différents clients, des pièces brutes, en fonte lamellaire et en fonte sphéroïdale ainsi que des pièces en alliages d'aluminium.

2.2. Filiale Véhicules Industriels de Rouïba(V.I.R) :

Elle produit des camions, des tracteurs routiers, des autocars et des autobus en mettant en œuvre diverses techniques et technologies telles que l'emboutissage, le taillage d'engrenages, la rectification, le forgeage et les traitements thermiques.

2.3. La filiale VIR est l'unité la plus importante de la SNVI .Elle est composée de 5 centres de production et d'une unité d'études et recherches :

- Un centre Forge produisant des bruts de forge.
- Un centre de Tôlerie Emboutissage pour la production de longerons pour cadres châssis, de cabines et d'autres pièces de liaison.
- Un centre de Montage de Camions avec deux lignes d'assemblage des véhicules.
- Un centre de Montage d'autocars et d'autobus assurant la fabrication et l'assemblage cars et bus et la fabrication de pièces en polyester.
- Un centre d'Usinage Mécanique produisant des ponts, des essieux et d'autres pièces de liaison.
- Une unité Etudes et Recherches (UER) assure l'innovation, l'amélioration de la qualité et le lancement de nouveaux produits, ainsi que l'acquisition et la maîtrise de nouvelles technologies.

2.4. Filiale Carrosseries Industrielles de Rouïba(C.I.R):

Elle produit des équipements tractés et portés ainsi que des caisses pour châssis mécanisés pour minibus et minicars.

2.5. Filiale Carrosseries Industrielles de Tiaret(C.I.T):

Elle est spécialisée dans la conception et la fabrication de carrosseries industrielles portées et tractées dans les gammes plateaux, bennes, citernes à eau, citernes hydrocarbures, cocottes à ciment, portes-engins, fourgons frigorifiques/standards et véhicules spéciaux

2.6. Filiale Constructions de Matériels et Equipements Ferroviaires (FERROVIAL):

Elle a pour objet les études, la recherche et le développement, la production et la commercialisation de matériels et équipements ferroviaires. Citons le wagonnage de plusieurs types, les locomotives de manœuvre, les appareils de voie, les voitures-voyageur et métro, des matériels de travaux publics (bétonnières), les centrales à béton, les containers maritimes et certains produits forgés.

3. Mission de l'entreprise :

La Société Nationale des Véhicules Industriels (SNVI) issue de la restructuration de la SONACOME est chargée dans le cadre du plan national du développement économique et social de :

- La production.
- La recherche.
- L'importation.
- La distribution.
- Le développement.

➤ Elle se spécialise dans le secteur des véhicules industriels et leurs composants dont :

- Les camions.
- Les camions spéciaux.
- Le matériel tracté (remorques, semi-remorques, et autres...).
- Les autocars, autobus, minicars, minibus.
- Les pièces brutes de fonderie.

Présentation de l'entreprise SNVI

D'une manière générale, tous les véhicules destinés au transport routier des personnes et marchandises d'une charge utile supérieure à 1,5 tonne. D'autres parts, la SNVI est chargée d'assurer et de promouvoir les activités d'après-vente des véhicules industriels par la mise en place de leurs moyens de maintenance.



Figure1 : Différents produits de SNV.

4. Technologie set techniques mises en œuvre:

- Fonderie fonte et aluminium.
- Estampage à chaud.
- Emboutissage et formage
- Usinages de précision.
- Production de pièces en polyester.
- Travaux de chaud ronnerie et de soudage.

5. Prestations d'appui:

- Direction d'études et d'adaptation.
- Centre informatique (système d'information, ERP).
- Centre de formation.
- Laboratoires de chimie, de métallurgie et métrologie.
- Unité spécialisée en transit /dédouanement et transport.

6. Infrastructures industrielles et capacités de production :

Tableau 1: Infrastructures industrielles et capacités de production.

Usines	Nature des activités	Capacités de production installées
Epe Véhicules Industriels de Rouïba	Production de véhicules motorisés (camions, autocars et autobus)	4 500 Unités
Epe Fonderies de Rouïba	Production de pièces de fonderie en fonte nodulaire et en aluminium	12000 Tonnes Fonte 200 Tonnes Aluminium
Epe Carrosseries Industrielles de Rouïba	Production de toutes carrosseries portées, sur camions (benne, plateau, frigo...) ainsi que de minicar.	8 500 Unités
Epe Carrosseries Industrielles de Tiaret	Production de toutes carrosseries tractées (benne, plateau, frigo... ..).	9 000 Unités

7. Données financières :

Un chiffre d'affaires de 25 milliards de dinars a été réalisé au cours de l'année 2009 contre 19 milliards de dinars en 2008.

La société a réalisé un chiffre d'affaires de plus de 20 milliards de dinars et une production globale de 2 007 véhicules en 2011, contre un chiffre d'affaires de 15,8 milliards de dinars et une production de 1 500 véhicules en 2010.

En 2013, la société a réalisé un chiffre d'affaires de 18,6 milliards de dinars, en hausse de 8% par rapport à 2012.

8. Direction de l'entreprise :

SNVI est dirigée par un Président-Directeur général :

- Mokhtar Chahboub (-2012)
- Hamoud Tazerouti (2012-2015)
- Malek Salah (2015-2016)
- Nouredine Oudjit (2016-2019)
- Mustapha Meghdouri (depuis 2019)

Chapitre I :

Exploration et analyse du Bras de Levage

I. Introduction :

Au cours des années passées, le processus de fabrication du "Tambour De Frein" nécessitait l'utilisation de plusieurs machines, chacune effectuant une opération spécifique comme le perçage, le tournage et le fraisage. Ce système prenait beaucoup de temps et d'efforts, augmentait les risques d'accidents, ce qui affectait la productivité et augmentait les coûts.

Mais grâce aux avancées technologiques, il est désormais possible d'effectuer toutes ces opérations sur une seule machine numérique (la machine DVT). Cette machine produit un "Tambour de frein" toutes les huit minutes tout au long de la journée, ce qui a permis d'améliorer la productivité, de réduire les risques d'accidents, d'augmenter la précision, d'accélérer la production et de réduire les coûts. Dans ce chapitre présent une description détaillée de la machine DVT, son processus d'usinage, et les différentes fonctionnalités qui en font un outil essentiel dans les ateliers de fabrication modernes.

De plus, une analyse fonctionnelle approfondie du système de levage et du bras de la machine sera présentée, incluant des outils de modélisation comme les diagrammes « bête à cornes », « pieuvre », FAST et SADT, afin de mieux comprendre les interactions et les exigences fonctionnelles de ces composants critiques.

I.1. Exploration de la machine :

I.1.1. Description de la machine :

La désignation de la machine contient les informations suivantes: **DVT (Drehmaschine-Vertikal-Transfer)** suivi par le diamètre de tournage, z. B. **400**.

Les tours verticaux **DVT XXX** se composent d'un socle de machine en acier fortement nervuré. Il porte la broche fixe et les axes X avec les deux chariots en croix X-Z. Un poste de levage se trouve sur les deux côtés de la machine pour l'éclusage en dedans et au dehors des pièces à usiner. Les deux zones de travail se trouvent au centre de la machine et sont fermées côté opérateur par des portes de protection avec des vitres. L'usinage standard se fait de gauche à droite, c. à d. que les pièces brutes sont alimentées depuis le côté gauche de la machine et que les pièces terminées sont extraites sur le côté droit de la machine. **Figure I.1** montre la photo réelle de la machine.



Figure I.1: Photo réel de la machine WELMAC. [1]

I.1.2. Processus d'usinage DVT :

Le flux de travail de la DVT est flexible, permettant l'usinage de pièces de gauche à droite et droite à gauche dans sa configuration standard.

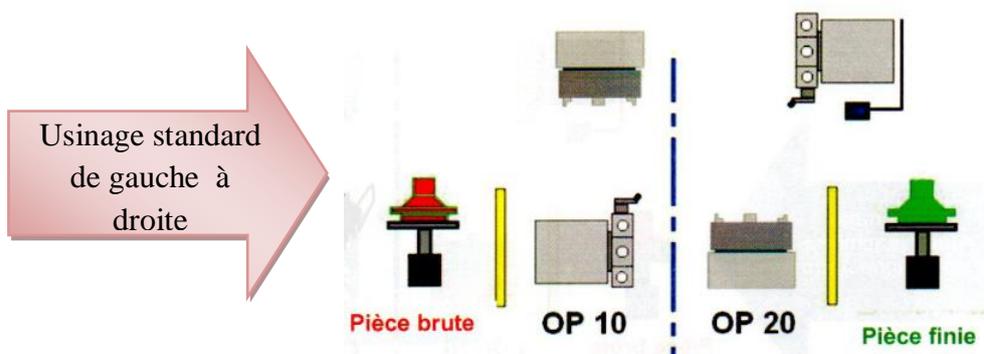


Figure I.2 : Sens de flux de la pièce à usiner DVT en standard. [1]

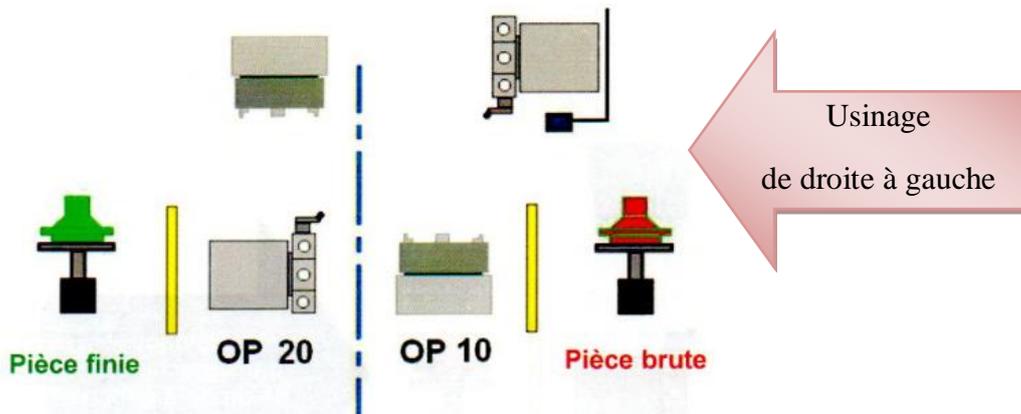


Figure I.3 : Sens de flux de la pièce à usiner DVT en arrière (de droite à gauche). [1]

I.1.3. Fonctionnement de la machine DVT :

La broche de moteur de la zone de travail gauche (axe C1) est mobile dans les directions X et Z. La broche de moteur suspendue elle-même a une fonction coulissante Z et les guidages Z sont montés sur le chariot X. le bras de levage se place sur la tourelle et le chariot donc il peut être mobile vers la gauche depuis la zone de travail et ramener des pièces brutes dans la zone de travail depuis la station de levage.

La tourelle à disque dans la zone de travail 1 est fixée de manière permanente. Une fois le premier côté de la pièce usiné, la broche de la zone de travail 1 se déplace vers la droite, entraînant le bras qui transfère la pièce à la broche de moteur statique (axe C2) de la zone de travail 2.

La tourelle-disque est montée sur un chariot en croix dans la zone de travail 2, qui permet le déplacement de la tourelle dans les directions X et Z. Un préhenseur est monté au chariot Z au-dessous de la tourelle, qui serre la pièce à usiner après l'usinage, de telle façon qu'elle soit sortie de la zone de travail vers la droite et puisse être déposée sur la station de levage. Les déchets de l'usinage issus des deux zones de travail sont évacués par un convoyeur de copeaux. Selon la version, le transport des copeaux se fait du côté gauche ou droit de la machine.

L'armoire de commande se trouve sur la face arrière de la machine. Le groupe hydraulique et l'unité de lubrification centralisée sont montés de façon bien accessible sur la face arrière de

la machine. Le raccordement d'air comprimé se trouve également sur la face arrière de la machine.

Le refroidissement des broches motorisées et de l'armoire électrique est réalisé par un refroidisseur à compresseur. L'hydraulique et les moteurs linéaires sont également refroidis en option. La **Figure I.4** montre le nomenclateur de la machine DVT 400 standard.

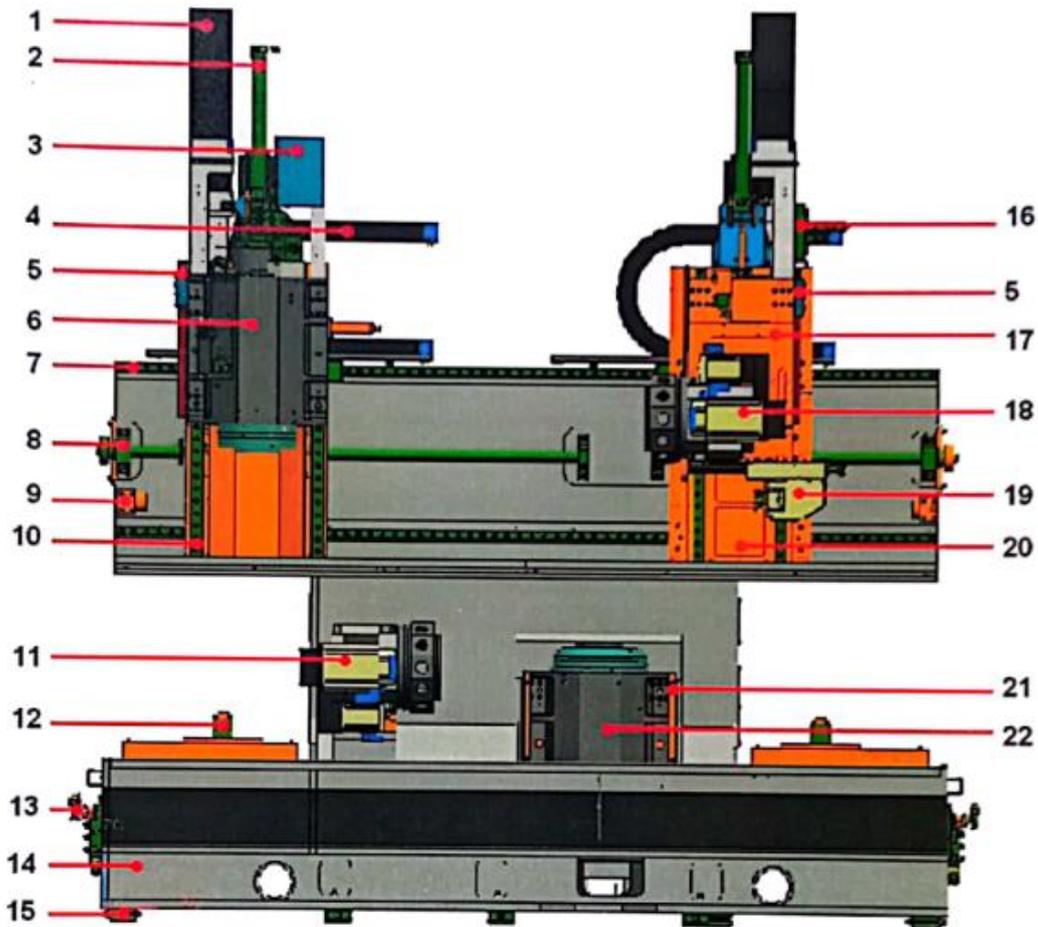


Figure I.4 : nomenclature de la machine DVT 400 standard. [1]

Tableau I.1 : nomenclatureur de la machine DVT 400 standard. [1]

1	Chemin de câble axe Z
2	Compensation de poids
3	Bornier broche motorisée
4	Chemin de câble axe X
5	Système de mesure axe Z
6	Broche Motors suspendue
7	Guidage axe X
8	Vis à billes axe X
9	Butée fixe axe X
10	Guidage axe Z
11	Tourelle stationnaire
12	Station de levage
13	Vanne de réfrigérant
14	Châssis de machine
14	Élément de nivellement
16	Vannes hydrauliques
17	Chariot verticaux
18	Tourelle en mouvement
19	Préhenseur de pièce à usiner
20	Chariot horizontaux
21	Support broche motorisée
22	Broche motorisée stationnaire

I.1.4. Axes et canaux DVT :

Comme habituellement sur les machines-outils en général, les sens de déplacements des entraînements d'avance sont définis comme axes. Ces désignations sont utilisées pour la programmation, afin de pouvoir affecter les valeurs de consigne et réelles des positions et des vitesses des différents entraînements.

La machine est également subdivisée en canaux, dans le cas où plusieurs zones de travail/chariots en croix sont présentes. [1]

a. Canaux :

Dans le domaine de l'usinage, le contrôle précis du déplacement de l'outil est crucial pour obtenir des pièces de haute qualité. Les déplacements sont réalisés via différents axes, chacun ayant un rôle spécifique selon le type de travail effectué. Voici une vue d'ensemble des axes utilisés pour les déplacements d'avance ou d'approche de l'outil dans divers procédés d'usinage : [1]

○ Canal 1 :

En général, la zone de travail à gauche est définie comme le canal 1.

Nombre d'axes impairs = canal 1

- ✓ Broche principale S1/C1.
- ✓ Géométrie des axes X1, Y1, Z1.
- ✓ Outils entraînés S3/C3.

○ Canal 2 :

En général, la zone de travail droite est définie comme canal 2.

Nombre d'axes pairs canal 2

- ✓ Broche principale S2/C2.
- ✓ Géométrie des axes X2, Y2, Z2.
- ✓ Outils entraînés S4/C4.

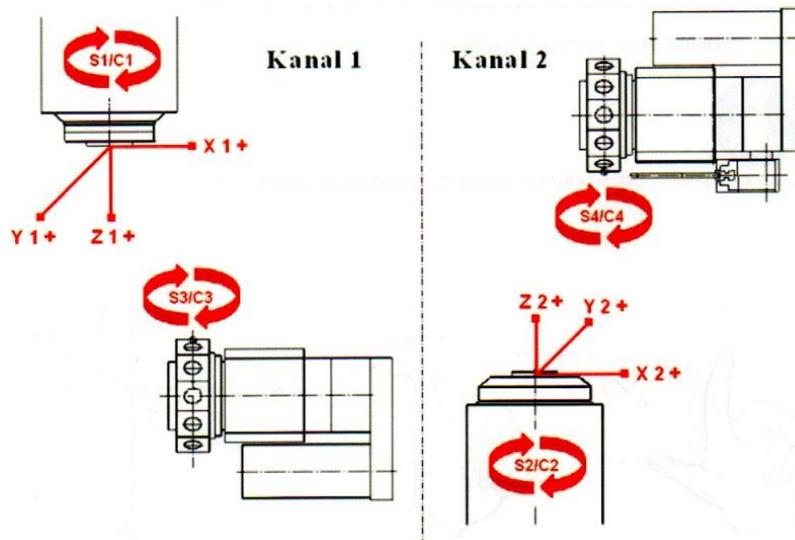


Figure I.5 : Axe et nom de la broche DVT avec tourelle droite. [1]

b. Les axes :

Dans le cadre de l'optimisation des processus de fabrication, les zones de travail sont souvent divisées en différents canaux pour améliorer l'efficacité et la précision. Voici une description des deux principaux canaux de travail standardisés dans ce contexte :

○ Axes X :

Le déplacement d'avance ou d'approche de l'outil est effectué via les axes X:

- Déplacement d'avance lors du dressage,
- Déplacement d'approche lors du tournage longitudinal.

○ Axes Z :

Le déplacement d'avance ou d'approche de l'outil est également effectué via les axes Z:

- Déplacement d'avance lors du tournage longitudinal.
- Déplacement d'approche lors du dressage.

○ Axes Y (Option) :

Le déplacement d'avance ou d'approche de l'outil est effectué via les axes Y (axes TRANSMIT réels ou fictifs).

○ Axe X3/Z3 (Option) :

Le déplacement d'avance ou d'approche de l'outil est également effectué via l'axe X3:

- Déplacement d'approche lors du dressage. [1]

c. Désignations d'axes exemple DVT-400 :

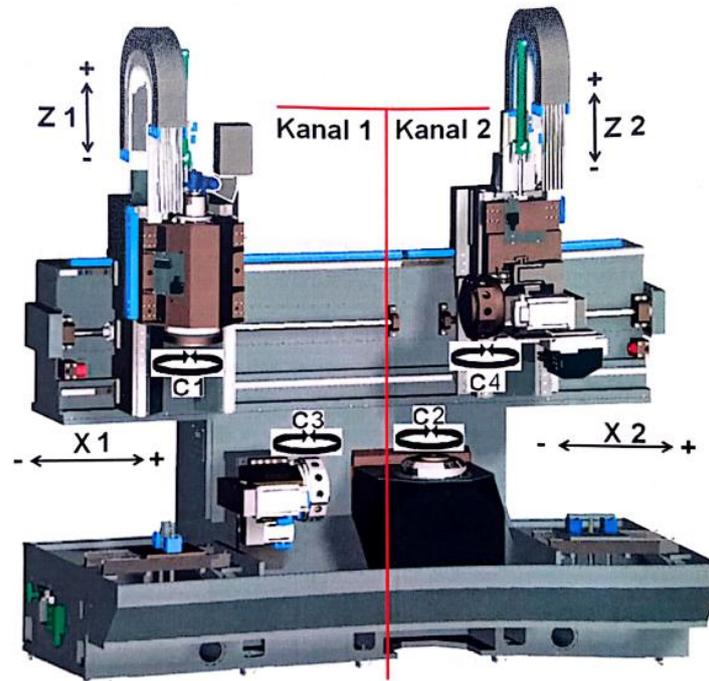


Figure I.6 : Noms des axes et des canaux DVT 400 avec deux tourelles. [1]

I.2- Analyse fonctionnelle du système de levage et du Bras :

Pour analyser fonctionnelle d'un système de levage et d'un bras, nous devons utiliser plusieurs outils de modélisation. Voici comment nous pouvons structurer les différentes parties de l'analyse fonctionnelle.

I.2.1- Graphe des prestations – diagramme « bête à cornes » :

Le diagramme « bête à cornes » aide à clarifier le besoin en identifiant la finalité du produit, les interactions avec l'environnement et les contraintes principales.

○ **Questions pour élaborer le diagramme « bête à cornes » :**

a. **A qui ?**

- À celui qui l'utilise : SNVI.

b. À quoi sert le système ?

- Permettre à la machine de soulever des charges spécifiques (comme un tambour).

c. Sur quoi agit-il ?

- Sur des charges cylindriques ou de formes spécifiques (comme un tambour).

d. Dans quel but ?

- Pour faciliter le levage et le déplacement des tambours.

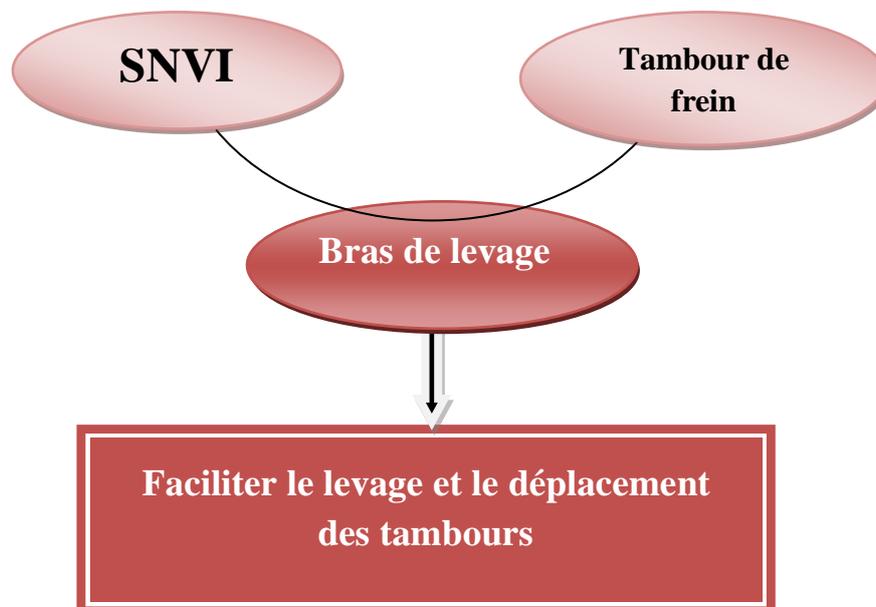
o Diagramme « bête à cornes » :

Figure I.7 : Diagramme « bête à cornes ».

I.2.2- Diagramme des inter acteurs – Diagramme « pieuvre » :

Le diagramme « pieuvre » identifie les fonctions principales et les interfaces du système avec son environnement.

- **Élaborer le Diagramme de pieuvre :**
 - a. Centre du diagramme :**
 - Le système de levage (bras et doigts).
 - b. Inter acteurs (autour du centre) :**
 - Tambour (à soulever)
 - Machine de levage (à laquelle le bras est fixé)
 - Opérateur (qui contrôle la machine)
 - Environnement (conditions d'utilisation, espace de travail)
- **Élaborer le Diagramme de pieuvre :**

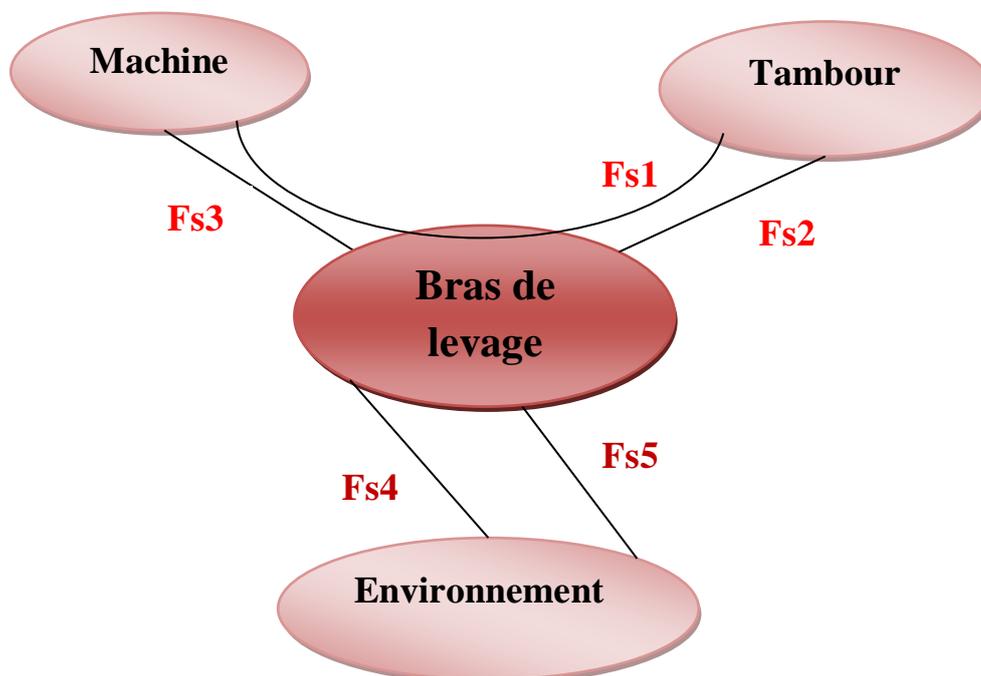


Figure I.7 : Élaborer le Diagramme de pieuvre

○ **Exprimer les fonctions et service :**

Le **Table I.1** montre les fonctions et service.

Tableau I.2 : les fonctions et service.

Liste de fonctions	
Fs1	Permettre à la machine de soulever le tambour
Fs2	Adapter à une forme spécifique avec le tambour
Fs3	Être spécifiquement adapté à la machine
Fs4	Système ferme
Fs5	Contribuer au respect de l'environnement

○ **Caractériser les fonctions de service :**

Le **Tableau I.3** montre la caractérisation des fonctions de service.

Tableau I.3 : Caractérisation des fonctions de service.

La fonction	Critère	Niveau	Flexibilité
Adapter à une forme spécifique avec le tambour	La limite maximale lors de l'ouverture de la pince.	489mm	± 0.5 mm
	Poids	36 kg	± 0.5 kg

I.2.3- Diagramme FAST:

FAST: Function Analysis System Technique.

Le diagramme FAST est utilisé pour comprendre et décomposer les fonctions d'un produit.

a. Pourquoi ?

- Levage d'un tambour.

b. Comment ?

- Par un bras de levage avec des doigts adaptée.

c. Quand ?

- Lors du besoin de lever et déplacer des tambours.
- **Diagramme FAST :**



Figure I.8 : Diagramme FAST.

I.2.4- Diagramme SADT :

SADT: Structured Analysis and Design Technique

C'est un diagramme qui nous définissons le mécanisme en notant tous ce que le système besoin pour accomplir la fonction demandée.

- Fonction principale :** lever un tambour
- Sous-fonctions :**
 - Adapter à la machine (interface machine-bras).
 - Fixer le tambour (fonction du doigt).
 - Lever le tambour (fonction du bras).

- Diagramme SADT :

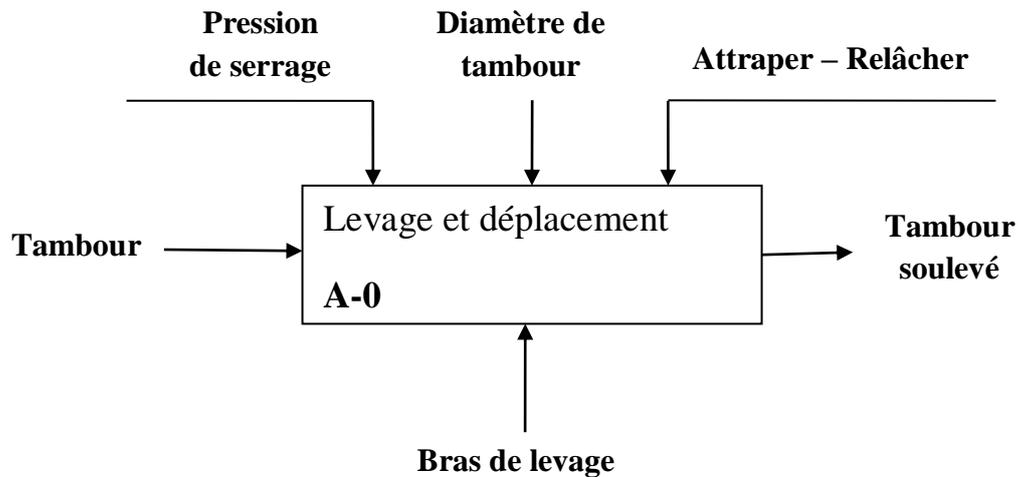


Figure I.8 : Diagramme SADT.

I. Conclusion :

La machine DVT (Drehmaschine-Vertikal-Transfer) a développé une solution avancée et efficace pour l'utilisation de pièces complexes, répondant à celles existantes dans les industries manufacturières modernes.

L'analyse de la fonction du système de levage et des bras de levage a rencontré des informations sur l'importance de l'adaptabilité et de la précision dans la manutention des pièces. Les diagrammes «bête à cornes», «pieuvre», FAST et SADT présentent à formaliser les principales fonctions et les services attendus.

Dans ce chapitre notre objectif s'il s'agit d'explorer la machine et d'analyser le fonctionnement du système e.

Dans le prochain chapitre de ce mémoire, nous présenterons en détail les caractéristiques géométriques et mécaniques de notre système de levage destiné au tambour de frein.

Chapitre II

Étude et conception et de système de levage

Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons examiner en détail la conception du bras et du système de levage proposé, en mettant en évidence chaque élément du système séparément. Nous nous concentrerons sur le type de matériaux utilisés, en explorant les propriétés des matériaux choisis pour chaque composant. En tenant compte des contraintes et des exigences du système, nous veillerons à garantir sa durabilité et ses performances.

Nous étudierons également les forces appliquées, en incluant la charge et les efforts de levage. Cette analyse nous permettra de comprendre le comportement du système sous différentes conditions de charge. L'objectif est de fournir une compréhension approfondie des interactions entre les composants et de leur réponse aux sollicitations mécaniques.

En combinant ces analyses, nous pourrons mieux préparer la partie simulation, en nous assurant que tous les aspects critiques ont été pris en compte pour obtenir un modèle précis et fiable. Ce chapitre constitue donc une étape cruciale dans la conception et l'optimisation du bras et du système de levage, en vue de garantir leur efficacité et leur robustesse dans des conditions réelles.

II.1. Structure de la pièce à lever :

II.1.1. Définition :

La pièce que nous cherchons à lever est un tambour de frein en fer de 462 de diamètre et qui pèse 36 Kg.

Étant donné que cette machine ne fabrique que de gros tambours, le petit diamètre de ce tambour a causé des difficultés pour le soulever et le placer dans le mandrin avec les bras sans qu'il entre en collision avec celui-ci à cause de son petit diamètre par rapport aux autres tambours. La **Figure II.1** représente le tambour de frein fourni par SNVI.



Figure II.1 : tambour de frein brut.

La **Figure II.2** montre l'emplacement du mandrin dans la machine.

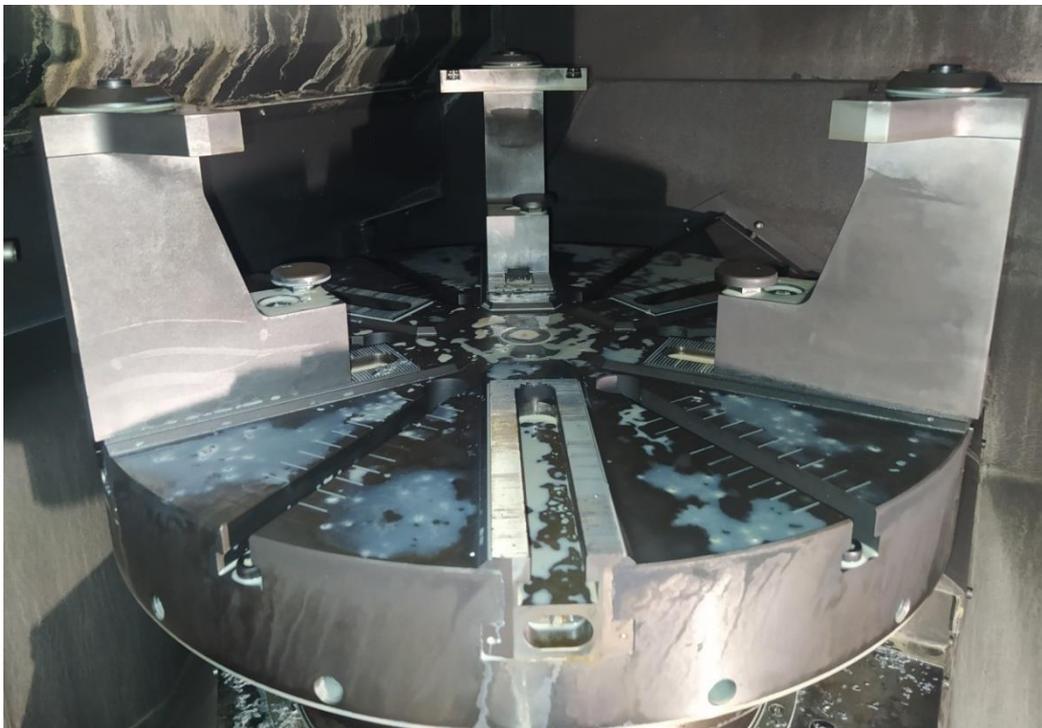


Figure II.2 : L'emplacement du mandrin dans la machine.

II.1.2. Caractéristique de tambour :

Les principales caractéristiques de ce tambour (**Figure II.1**) à partir des documents fournis par l'entreprise d'accueil (SNVI) sont résumées dans le **Tableau II.1**.

Tableau II.1 : Caractéristique réelles de tambour brut. [2]

Matière	Fonte ductile
Poids (kg)	36
Diamètre (mm)	462

II.2. Présentation de logiciel SolidWorks :

Dans le monde en constante évolution de la conception de produits, les outils de CAO mécanique jouent un rôle crucial pour concrétiser les idées en produits tangibles. SolidWorks® se distingue comme un logiciel de CAO 3D de pointe, offrant aux concepteurs une gamme complète de fonctionnalités pour créer, analyser et modifier des modèles complexes avec une précision et une efficacité inégalées.

SolidWorks® est un outil puissant et polyvalent qui offre aux concepteurs mécaniques la possibilité de créer des produits innovants de manière efficace. Sa large gamme de fonctionnalités, ses capacités de simulation avancées et ses outils de collaboration en font un choix idéal pour les entreprises de toutes tailles qui cherchent à améliorer leur processus de conception et à développer des produits de qualité supérieure. [3]

II.2.1. Description :

SolidWorks®, également connu sous le nom de « DSS SolidWorks », est un logiciel de CAO développé par Dassault Systems. Il permet de créer des modèles solides 2D ou 3D de manière rapide et rentable, sans complexité excessive. L'avantage principal de ce modélisateur solide est sa facilité d'utilisation, avec une interface utilisateur graphique simple et conviviale par rapport à d'autres logiciels de modélisation solide CAO. Ses fonctionnalités comprennent la modélisation solide, Motion, Simulation, Boîte à outils, TolAnalyst, CircuitWorks, PhotoView 360, ScanTo3D et éditeur DWG.

SolidWorks® est reconnu comme un logiciel de CAO offrant une productivité élevée, allant jusqu'à 95%. Il se distingue par sa meilleure visualisation de conception, la conception de

produits de qualité supérieure, des itérations de conception plus rapides, des communications améliorées, une conception avec moins d'erreurs, et la création de designs esthétiques répondant aux exigences des clients.

Ce logiciel trouve une large gamme d'applications dans diverses industries telles que l'aérospatiale, la défense, l'automobile, le transport, les biens de consommation, l'électronique, l'usinage, la conservation de l'énergie, la construction, les équipements lourds, les machines, les outils médicaux, la conception de moules et les services connexes. Il facilite la conception, les tests et la validation de produits et de services de manière rentable, en permettant la modélisation et le prototypage.

DSS SolidWorks Corp développe également d'autres produits logiciels qui bénéficient à divers domaines de l'ingénierie, en particulier pour la mécanique. Ces produits incluent la CAO 3D, la simulation, la gestion des données produit, la communication technique, la conception électrique et l'expérience 3D. Ce modélisateur CAO n'est pas limité aux ingénieurs mécaniques ; il est également utilisé par d'autres professionnels techniques, notamment dans les domaines de l'électricité et du génie civil, ainsi que par les concepteurs de produits, pour transformer leurs idées en réalité.

II.2.2. Pourquoi choisir SolidWorks® ?

a. Une utilisation répandue et une productivité accrue :

SolidWorks® s'est imposé comme un logiciel de CAO incontournable dans de nombreuses industries. Sa polyvalence permet aux entreprises de concevoir leurs produits de manière plus efficace et productive, sans compromettre la qualité ni augmenter les coûts.

b. Une formation accessible et des opportunités d'emploi :

Conscients de l'importance de SolidWorks® dans le monde de l'ingénierie, les universités et les collèges internationaux intègrent des cours sur ce logiciel dans leurs programmes d'études. Cela permet aux étudiants d'acquérir les compétences nécessaires pour devenir des ingénieurs mécaniciens compétitifs sur le marché du travail.

c. Une conception optimisée et une validation conforme aux normes :

SolidWorks® offre des outils puissants pour optimiser la conception de produits. En fournissant des données précises et des fonctionnalités de communication technique, il facilite le processus de validation des conceptions en les confrontant aux normes en

vigueur. Cela permet aux ingénieurs de se concentrer sur l'innovation et la création de produits de qualité supérieure.

d. Une collaboration facilitée et une communication efficace :

SolidWorks® dispose de fonctionnalités collaboratives améliorées qui permettent aux ingénieurs de partager leurs conceptions avec les clients et les parties prenantes concernées. Cette plateforme facilite la communication et la validation des idées, réduisant ainsi le temps et les efforts nécessaires pour mener à bien un projet.

e. Un apprentissage facile et une courbe d'apprentissage rapide :

SolidWorks® est conçu pour être intuitif et facile à apprendre. Même les débutants peuvent rapidement maîtriser les bases du logiciel et commencer à créer des conceptions de produits.

f. Des tests virtuels complets et une optimisation poussée :

SolidWorks® permet d'effectuer une large gamme de tests virtuels sur les produits, notamment des simulations de mouvement, des analyses statiques linéaires, des évaluations d'impact environnemental et des simulations de flux d'air et d'eau. Ces tests permettent d'identifier les points faibles et de les corriger avant la fabrication, optimisant ainsi les performances et la qualité du produit final.

En conclusion, SolidWorks® est un outil indispensable pour les ingénieurs mécaniciens d'aujourd'hui. Sa polyvalence, sa puissance et sa facilité d'utilisation en font un choix idéal pour les entreprises et les individus qui souhaitent concevoir des produits innovants et de qualité supérieure de manière efficace et productive.

II.2.3. Fonctionnalités de SolidWorks® :

SolidWorks® permet de :

- Concevoir des objets en 3D de manière très précise.
- Développer des produits.
- Vérifier la conception des fichiers créés.
- Détenir une bibliothèque des fichiers 3D.
- Mettre en place des mises en plan 2D.
- Créer des images et animations des objets 3D.

- Estimer le coût de la fabrication des objets 3D.

II.3. Conception de tambour :

La **Figure II.3** montre le tambour de frein en 3D, dessiné avec le logiciel de conception SolidWorks®, qu'on voudrait déplacer à l'aide des bras de levage. Dans un premier temps, il est nécessaire de choisir le matériau adapté pour répondre aux exigences de la pièce en service, notamment en termes de volume et de poids.



Figure II.3: Tambour de frein brut dessiné par SolidWorks®.

II.3.1. Caractéristique de tambour estimé par SolidWorks® :

En nous basant sur les catalogues de conception des bras, des doigts et des écrous, nous avons commencé notre étude en examinant les caractéristiques du tambour afin de pouvoir concevoir le bras et le système :

Tableau II.2 : Caractéristiques de tambour estimé par SolidWorks®

Poids	Volume	Superficie
36	4777994.6	613933.7

II.4. Conception de système de levage :

Afin de garantir un levage, un déplacement et une fixation sûrs et fiables de notre tambour, nous proposons un système de levage complet conçu pour offrir une performance maximale et

une longue durée de vie.

II.4.1. Le bras de levage :

Au cœur de ce système se trouve le bras de levage, élément crucial pour la sustentation et le guidage précis du tambour. Sa conception robuste et sa fabrication à partir de matériaux de haute qualité garantissent une résistance exceptionnelle aux charges et aux contraintes mécaniques.

II.4.1.1. Intégration d'un système complet :

Le bras de levage ne constitue qu'un élément du système complet que nous proposons. Il s'intègre parfaitement à un ensemble d'éléments complémentaires qui optimisent ses performances et assurent une utilisation durable :

- ❖ **Système de fixation robuste:** Le bras de levage est fixé au châssis de la machine par un système de fixation robuste et sécurisé, garantissant une stabilité optimale et une transmission efficace des forces.
- ❖ **Doigts de préhension:** Des doigts de préhension robustes et adaptables permettent de saisir et de maintenir fermement le tambour, assurant un levage et un déplacement sécurisés.
- ❖ **Écrous de serrage:** Des écrous de serrage de haute qualité garantissent une fixation solide et durable du tambour au bras de levage.

II.4.1.2 Avantages d'un système de levage performant :

L'adoption d'un système de levage performant pour tambour de frein offre de nombreux avantages :

- **Amélioration de la sécurité et de la fiabilité:** Un système robuste et fiable minimise les risques d'accidents et de dommages au tambour, garantissant une manipulation sécurisée.
- **Augmentation de l'efficacité opérationnelle:** Un système de levage performant permet un levage, un déplacement et une fixation rapides et précis du tambour, optimisant ainsi les processus de manutention.

- **Réduction des coûts de maintenance:** Un système robuste et durable minimise les besoins en maintenance et les remplacements de pièces, réduisant ainsi les coûts d'exploitation à long terme.

Le système de levage que nous proposons offre une solution complète et performante pour le levage et la manutention de tambours. Sa conception robuste, sa fabrication de haute qualité et son intégration à un ensemble d'éléments complémentaires garantissent une sécurité optimale, une efficacité accrue et une réduction des coûts de maintenance. Ce système constitue un choix judicieux pour les applications industrielles nécessitant une manipulation fiable et performante de tambours de frein.

Il convient de souligner que les dimensions de ce système de levage ont été définies à partir des dimensions des tambours de manière réversible, et que nous avons effectué plusieurs simulations pour vérifier la résistance de chaque composant avant de fixer les dimensions finales. La **Figure II.4** montre le système de levage proposé pour la fixation de tambour pendant le déplacement.

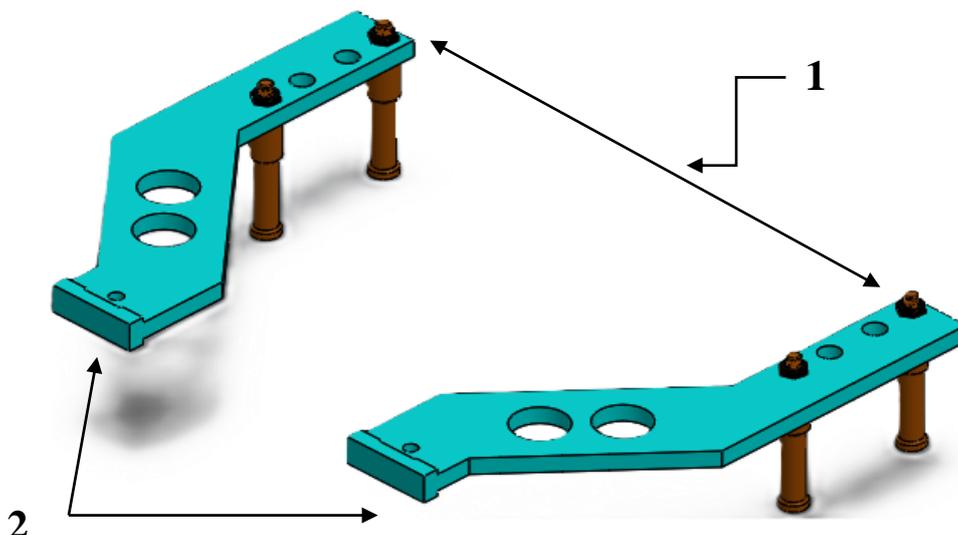


Figure II.4: Système de levage dessiné par SolidWorks®.

Tableau II.3 : L'ouverture maximale des bras et la partie qui se fixe dans la machine.

1	L'ouverture maximale des bras est égale à 700 mm
2	La partie qui s'installe dans la machine

La nomenclature du système proposé est représentée sur la **Figure II.5**. Il est évident que notre système est composé de trois éléments, qui sont détaillés dans le tableau suivant.

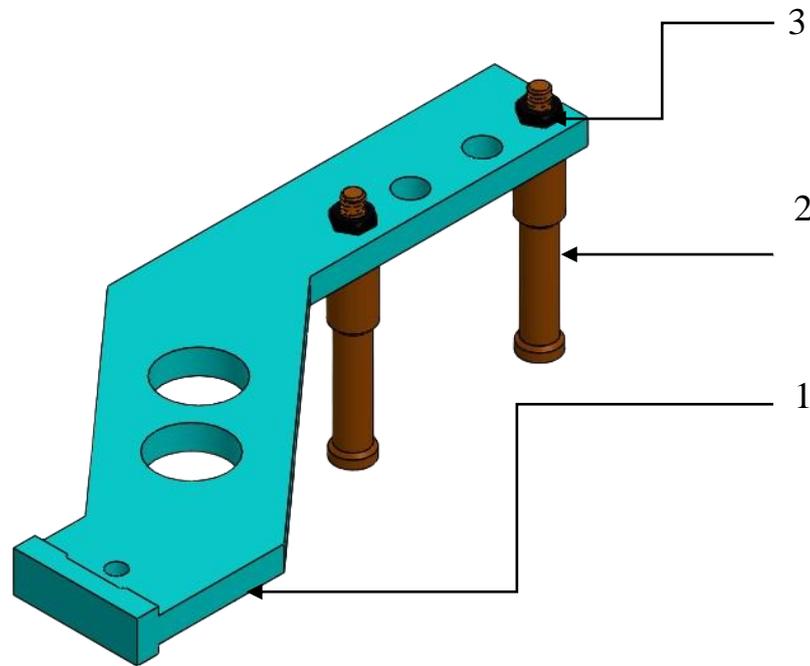


Figure II.5 : Nomenclature de système de levage proposé.

Le **Tableau II.4** présente le numéro et le nom de chaque pièce constituant le système, ainsi que la désignation de leur matière et la quantité de chaque élément.

Tableau II.4 : Caractéristiques et désignations des éléments de système de levage.

Numéro	Désignations	Matière	Quantité
1	Bras	AISI 1450 Acier étiré a froids	2
2	Doigt	AISI 1450 Acier étiré a froids	4
3	Ecrou	AISI 4340 normalisé	4

II.5. Description des éléments du système de levage :

Comme expliqué précédemment notre système est constitué de trois éléments principaux : deux bras, quatre doigts et quatre écrous de serrage. Les matériaux de ces éléments ont été choisis à partir de guide de dessin industriel. Pendant la simulation, ces matériaux ont été ajustés en fonction des résultats obtenus tout en respectant les matériaux existants dans le marché.

II.5.1 Le bras de levage :

Dans notre système, le composant principal est le bras, qui est installé dans la machine et a pour fonction de soulever le tambour pendant le déplacement.

La conception d'un bras de levage performant et fiable est cruciale pour assurer la sécurité et l'efficacité des opérations de manutention. Pour répondre à ces exigences, nous nous concentrons sur la garantie d'une haute efficacité en termes de productivité, tout en ajoutant de la valeur à l'entreprise. Cela implique de garantir que le bras de levage fonctionne de manière fiable sur une longue période sans pannes et qu'il peut supporter le poids requis avec une grande efficacité. Nous avons adopté une approche méthodique en mettant l'accent sur les aspects suivants :

- **Dimensionnement de la partie fixée à la machine :**

La première étape de la conception a consisté à définir les dimensions de la partie du bras qui se fixe à la machine. Pour ce faire, nous avons pris en compte les contraintes dimensionnelles de la machine et les exigences de fixation spécifiques. Cela a permis d'assurer une intégration harmonieuse du bras de levage dans l'environnement de travail tout en garantissant une rigidité et une stabilité adéquates.

- **Détermination de l'épaisseur optimale :**

L'épaisseur du bras de levage est un facteur crucial pour sa capacité à supporter les charges et les contraintes mécaniques. Pour déterminer l'épaisseur appropriée, nous avons effectué une analyse approfondie en comparant la contrainte appliquée (charge maximale que le bras doit supporter) à la contrainte admissible (limite de résistance du matériau utilisé). Cette analyse a été complétée par des simulations numériques pour affiner les résultats et garantir un facteur de sécurité adéquat.

- **Priorisation de l'efficacité et de la fiabilité :**

Tout au long du processus de conception, nous avons accordé une priorité absolue à l'efficacité et à la fiabilité du bras de levage. Cela s'est traduit par la sélection de matériaux de haute qualité, l'optimisation de la géométrie du bras et l'utilisation de techniques de fabrication robustes. Ces choix visent à garantir que le bras de levage

puisse fonctionner de manière fiable sur une longue période sans pannes, minimisant ainsi les temps d'arrêt et les coûts de maintenance.

- **Capacité de charge élevée et efficacité opérationnelle :**

Le bras de levage a été conçu pour supporter le poids requis avec une grande efficacité. Cela permet de réaliser les opérations de manutention de manière rapide et précise, optimisant ainsi la productivité et réduisant les temps de cycle. La conception robuste du bras garantit également qu'il peut supporter des charges élevées sans déformation ni défaillance, assurant ainsi la sécurité des personnes et des biens.

La **Figure II.6** présente ce bras du système de levage, dessiné par SolidWorks®.

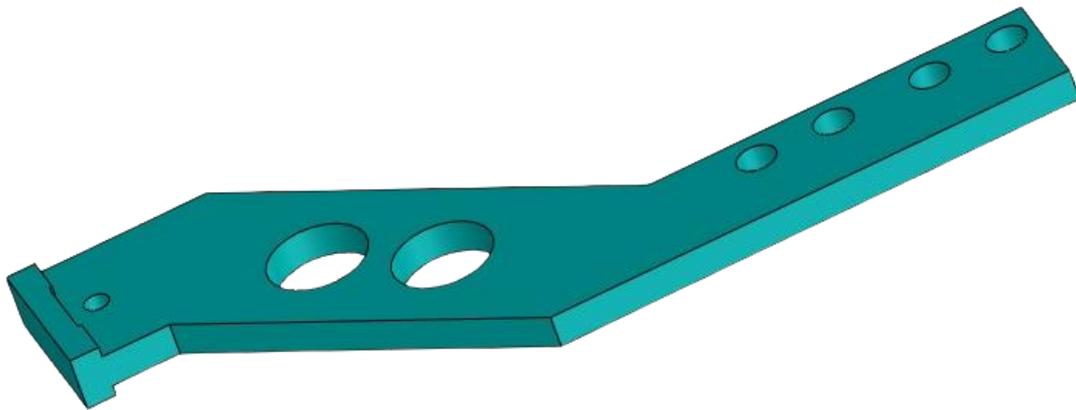


Figure II.6: bras de levage dessiné par SolidWorks®.

II.5.1.1. La conception de la forme du bras de levage :

La conception de la forme du bras de levage est un élément essentiel pour garantir son fonctionnement sûr et efficace. Dans ce contexte, nous analyserons la forme proposée en nous concentrant sur les fonctions des différents trous et leur impact sur les performances du bras.

a. Analyse des fonctions des trous :

- **Trous avant :**

- **Fonction de fixation :** Ces trous fournissent des points d'ancrage pour les doigts qui saisissent la charge, garantissant sa stabilité et sa sécurité pendant le levage et le transport.

- **Impact sur les performances** : Ces trous jouent un rôle crucial dans l'amélioration de la capacité du bras à contrôler la charge avec précision et à réduire le risque de glissement ou de chute.
- **Trou inférieur** :
 - **Fonction de fixation** : Ce trou sert à fixer le bras à la base de la machine, lui offrant le support et la stabilité nécessaires pour fonctionner efficacement.
 - **Impact sur les performances** : Ce trou contribue à assurer la stabilité du bras et à l'empêcher de vibrer ou de se dévier pendant le transport de la charge, ce qui renforce la sécurité et améliore la précision du contrôle.
- **Trous centraux** :
 - **Fonction d'allègement** : Ces trous visent à réduire le poids du bras sans affecter considérablement sa capacité de charge.
 - **Fonction d'économie de matériaux** : Ces trous contribuent à réduire la quantité de matériaux utilisés dans la fabrication du bras, ce qui diminue le coût total de production.
 - **Impact sur les performances** : L'allègement du poids peut améliorer l'efficacité du bras en réduisant la consommation d'énergie nécessaire à son levage et à son déplacement.

b. Étude de l'efficacité de la répartition :

La répartition des trous dans la conception proposée semble logique et efficace, car leurs fonctions répondent aux besoins du bras en termes de fixation, de contrôle de la charge et d'allègement du poids.

II.5.1.2 Le matériau de bras :

Le matériau que nous avons proposé pour cet élément est l'acier AISI 1045, un acier au carbone moyennement résistant, étiré à froid, qui possède plusieurs propriétés mécaniques et avantages :

- **Les avantages** :
 - ✓ **Résistance élevée** : L'acier AISI 1045 est connu pour sa résistance élevée, ce qui le rend approprié pour les applications où une grande résistance est requise.

- ✓ **Ténacité** : Il offre également une bonne ténacité, ce qui signifie qu'il peut absorber les chocs et les contraintes sans se rompre facilement.
- ✓ **Dureté** : L'acier AISI 1045 peut être durci pour augmenter sa résistance à l'usure, ce qui le rend approprié pour les applications soumises à une usure importante.
- ✓ **Résistance à la corrosion** : Bien qu'il ne soit pas totalement inoxydable, l'acier AISI 1045 a une résistance à la corrosion raisonnable, ce qui le rend utilisable dans des environnements où il est exposé à des agents corrosifs.
- ✓ **Soudabilité** : Il peut être soudé relativement facilement, ce qui offre une certaine flexibilité dans la fabrication et la construction.
- ✓ **Disponibilité** : Étant un acier largement utilisé, l'acier AISI 1045 est généralement disponible dans une variété de formes et de tailles, ce qui le rend facilement accessible sur le marché.

En résumé, l'AISI 1045 est un matériau polyvalent offrant une combinaison de résistance mécanique, de ductilité et de ténacité, ce qui en fait un choix populaire pour une variété d'applications industrielles, y compris les composants de machines, les arbres, les engrenages, les pignons et d'autres pièces soumises à des charges importantes.

○ **Les propriétés :**

Les principales propriétés mécaniques de ce dernier sont montrées sur le **Tableau II.5**.

Tableau II.5 : Propriété mécanique de matériau AISI 1045 Acier étiré à froids.

Propriété	Valeur	Unité
Module d'élasticité	2.05e +011	N/m ²
Coefficient de Poisson	0.29	S.O
Module de cisaillement	8 ^e + 011	N/m ²
Masse volumique	7850	Kg/m ³
Limite de traction	625	N/mm ²
Limite d'élasticité	530	N/mm ²
Coefficient de dilatation thermique	1.15 ^e -055	K ⁻¹
Conductivité thermique	49.8	W/(m · K) ⁻¹
Chaleur spécifique	486	J/(kg.k) ⁻¹

Après avoir défini le matériau du bras de levage, SolidWorks® nous permet de visualiser ses principales caractéristiques, notamment le poids, le volume, la densité et la superficie. Ces données sont présentées dans le tableau suivant (**Tableau II.6**).

Tableau II.6 : Caractéristiques mécaniques de bras. [4]

Densité($g.mm^{-3}$)	masse (kg)	volume (mm^3)	superficie (mm^2)
0.01	2.70	343488.30	69700.70

5.1.3. Les degrés de liberté de bras :

Les degrés de liberté (DDL) d'un bras de levage représentent le nombre de mouvements indépendants qu'il peut effectuer dans l'espace. En d'autres termes, ils indiquent la capacité du bras à se déplacer et à s'orienter dans son environnement :

$$\begin{pmatrix} T_x & 0 \\ T_y & 0 \\ T_z & R_z \end{pmatrix}$$

a. Analyse des degrés de liberté du bras proposé :

D'après la description fournie, le bras semble avoir quatre degrés de liberté. Trois de ces DDL correspondent à des mouvements de translation et le quatrième à un mouvement de rotation.

➤ **Détail des mouvements :**

• **Translations :**

- **Translation sur l'axe X:** Le bras peut se déplacer d'avant en arrière le long d'un axe horizontal.
- **Translation sur l'axe Z:** Le bras peut se déplacer vers le haut et vers le bas le long d'un axe vertical.
- **Translation sur l'axe Y:** Le bras peut se déplacer vers l'intérieur et vers l'extérieur le long de son propre axe.

- **Rotation :**
 - **Rotation autour de l'axe Z :** Le bras peut pivoter sur son axe vertical, ce qui lui permet de changer d'orientation.

➤ **Impact des degrés de liberté sur les performances :**

Les quatre degrés de liberté du bras lui confèrent une grande flexibilité et une large plage de mouvement. Cela lui permet d'atteindre des points dans son espace de travail avec précision et d'effectuer des tâches complexes impliquant des mouvements dans différentes directions.

II.5.2. Le doigt :

La **Figure II.7** présente le doigt utilisé dans notre système. Le doigt s'assemble dans le bras depuis sa partie supérieure avec un écrou de serrage. Son rôle est de fixer le tambour en s'accrochant à sa partie inférieure et en étant solidement fixé avec une force appliquée par la machine estimée à 200 N.

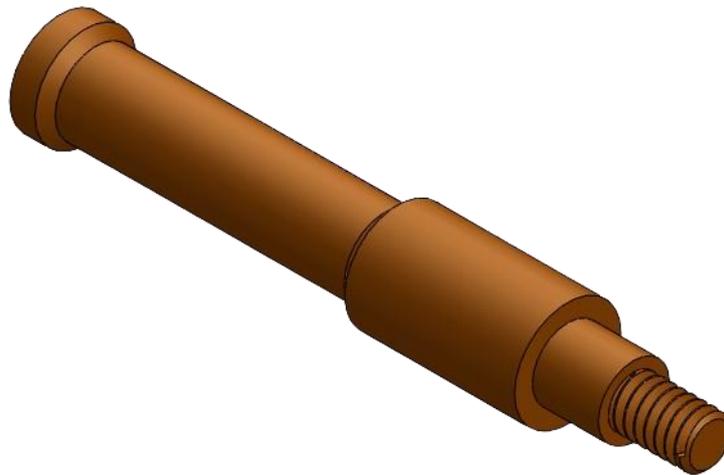


Figure II.7 : doigt dessiné par SolidWorks®.

Le matériau utilisé pour cet élément est le même que celui utilisé pour le bras (AISI 1045 Acier étiré à froids). Par conséquent, les principales caractéristiques de doigt, défini par SolidWorks® sont résumées dans le **Tableau II.7**.

Tableau II.7 : Caractéristiques mécaniques de doigt. [4]

Densité($g.mm^{-3}$)	masse (kg)	volume (mm^3)	superficie (mm^2)
0.01	0.22	28303.29	8095.69

II.5.3. L'écrou de serrage :

La **Figure II.8** présente le dernier élément de notre système de levage est l'écrou, il fixe le doigt sur le bras.

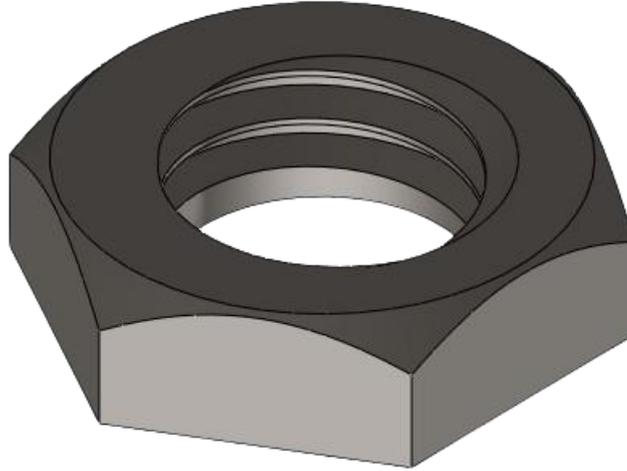


Figure II.8: écrou dessiné par SolidWorks®.

II.5.3.1. Le matériau de l'écrou :

Le matériau que nous avons adopté pour cet élément est un acier AISI 4340 normalisé, L'acier AISI 4340 normalisé présente plusieurs avantages et propriétés qui le rendent attrayant pour de nombreuses applications. Voici quelques-uns d'entre eux : [5]

- **Les avantages :**

- ✓ **Résistance élevée :** L'acier AISI 4340 est connu pour sa résistance élevée, ce qui le rend approprié pour les applications où une grande résistance est requise.
- ✓ **Ténacité :** Il offre également une bonne ténacité, ce qui signifie qu'il peut absorber les chocs et les contraintes sans se rompre facilement.
- ✓ **Dureté :** L'acier AISI 4340 peut être durci pour augmenter sa résistance à l'usure, ce qui le rend approprié pour les applications soumises à une usure importante.
- ✓ **Résistance à la corrosion :** Bien qu'il ne soit pas totalement inoxydable, l'acier AISI 4340 a une résistance à la corrosion raisonnable, ce qui le rend utilisable dans des environnements où il est exposé à des agents corrosifs.
- ✓ **Soudabilité :** Il peut être soudé relativement facilement, ce qui offre une certaine flexibilité dans la fabrication et la construction.

- ✓ **Disponibilité** : Étant un acier largement utilisé, l'acier AISI 4340 est généralement disponible dans une variété de formes et de tailles, ce qui le rend facilement accessible sur le marché.

En résumé, l'acier AISI 4340 normalisé est un matériau polyvalent et largement utilisé dans de nombreuses applications où une combinaison de résistance, de ténacité et de dureté est requise.

- **Les propriétés :**

Les principales propriétés mécaniques de ce dernier sont montrées sur le **Tableau II.8**.

Tableau II.8: Propriété mécanique de matériau AISI 4340 normalisé.[4]

Propriété	Valeur	Unité
Module d'élasticité	2.05e +011	N/m ²
Coefficient de Poisson	0.32	S.O
Module de cisaillement	8 ^e + 011	N/m ²
Masse volumique	7850	Kg/m ³
Limite de traction	1110	N/mm ²
Limite d'élasticité	710	N/mm ²
Coefficient de dilatation thermique	1.23 e -005	K ⁻¹
Conductivité thermique	44.5	W/(m · K) ⁻¹
Chaleur spécifique	475	J/(kg.k) ⁻¹

Les principales caractéristiques (poids, volume, densité et superficie) de l'écrou, défini par SolidWorks® sont affichés dans le **Tableau II.9**.

Tableau II.9: Caractéristiques mécaniques de l'écrou. .[4]

Densité (g.mm ⁻³)	masse (kg)	volume (mm ³)	superficie (mm ²)
0.00	0.01	765.44	858.88

II.6. Assemblage de système de levage :

Nous nous aventurons dans l'étape cruciale de l'assemblage du bras, des doigts et du tambour, qui constituent les éléments clés du système de levage. Ce processus méticuleux exige une attention particulière aux détails et une compréhension approfondie des principes mécaniques sous-jacents.

○ Objectifs de l'assemblage :

L'objectif principal de l'assemblage est de combiner les différents composants du système de levage de manière précise et sécurisée, garantissant une fonctionnalité optimale et une fiabilité durable.

II.6.1. Étapes clés du processus :

L'assemblage se déroulera en plusieurs étapes distinctes, chacune jouant un rôle essentiel dans la construction du système complet :

a. Positionnement des doigts :

- Nous positionnons les quarts doigts dans les trous correspondants du bras.
- Nous alignons soigneusement les trous des doigts et du bras.

b. Fixation des doigts :

- Nous insérons les écrous de serrage dans les trous alignés.
- Nous serrons les écrous de serrage pour fixer les doigts sur le bras.

c. Fixation du tambour sur le bras :

- Nous positionnons le tambour entre les doigts du bras.
- Nous nous assurons que le tambour est correctement centré entre les doigts.

La **Figure II.9** montre l'assemblage de tous les éléments de notre système de levage, ainsi que le tambour.

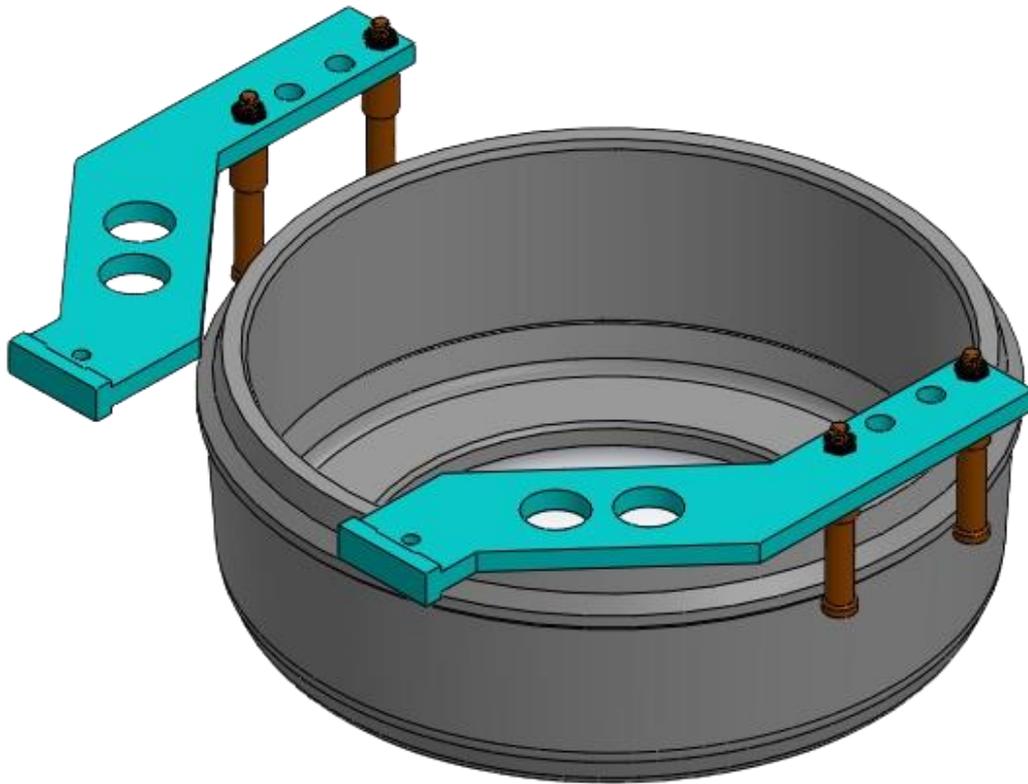


Figure II.9: assemblage de tous les éléments de système de levage avec le tambour.

d. Fixation du bras sur la machine :

- **Nous localisons** les points de fixation du bras sur la machine.
- **Nous positionnons** le bras sur la machine en alignant les points de fixation.

En suivant méticuleusement les étapes d'assemblage décrites dans ce chapitre, nous parviendrons à construire un système de levage performant et fiable, prêt à relever les défis du levage et du déplacement de charges lourdes avec précision et efficacité. La **Figure II.10** montre l'emplacement de bras dans la machine.



Figure II.10 : l'emplacement de bras dans la machine.

II.7. Calcul des forces appliquées sur le système :

L'étape suivante dans la conception de notre système de levage est de trouver les valeurs exactes des forces et des réactions appliquées sur le bras et le doigt. Cette étude nous a permis dans le troisième chapitre de faire la simulation sur le système.

II.7.1. Contrainte appliquée sur le tambour (charge répartie) :

La charge répartie est définie comme le rapport entre la force appliquée et la surface. Donc :

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (\text{II.1})$$

Avec :

- **F** : Force appliquée (N)
- **S** : Section d'application (mm²)
- **σ** : Charge répartie (MPa)

La force globale (F) appliquée sur le tambour est égale à la somme de quatre forces (F_1, F_2, F_3 et F_4) appliquées par les quatre appuis linéaire (voir **Figure II.11**).

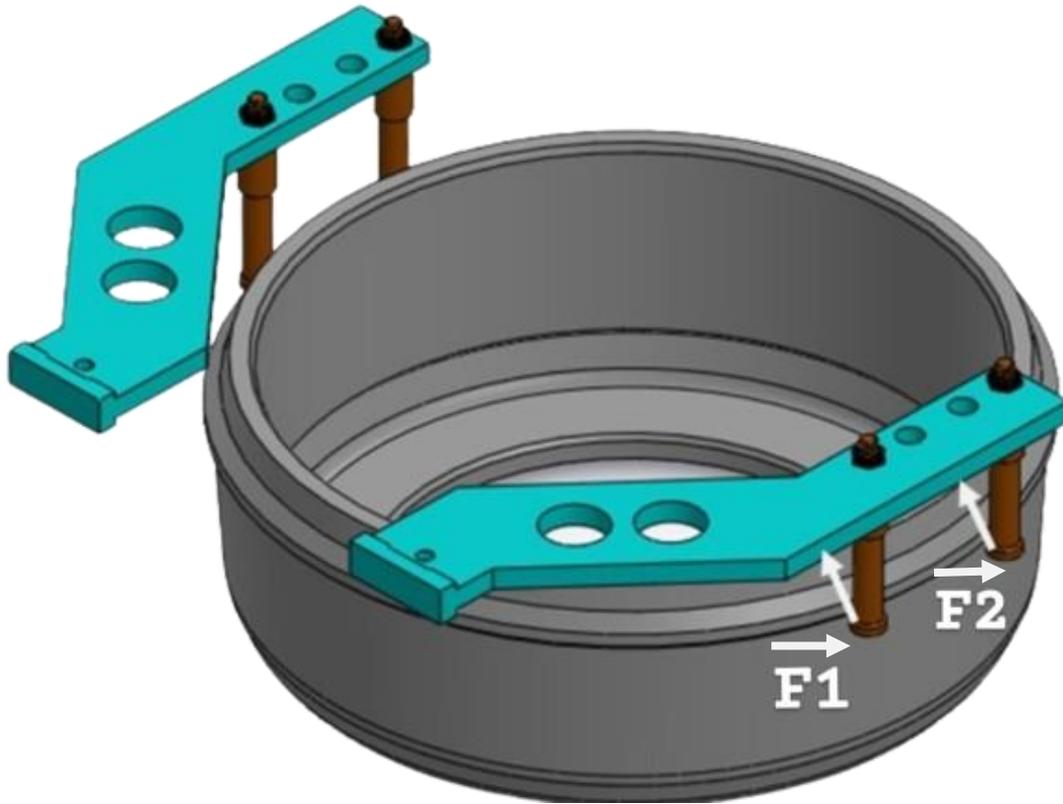


Figure II.11 : Charge appliquée sur le tambour.

✓ Les forces F_3 et F_4 appliquées par les deux autres doigts sur l'autre côté du tambour.

On a :

$$F = mg \quad (\text{II.2})$$

Donc : $F = m_t \times g$

Tel que :

- m_t est la masse de tambour $m = 36\text{kg}$.
- g : est le constante universelle de gravitation $g = 9.81 \text{ N.kg}^{-1}$.

➤ **Application numérique :**

On a quatre doigts donc :

$$\frac{36}{4} = 9 \text{ Kg}$$

$$F_1 = 9 \times 9.81 = 88.29 \text{ N}$$

Donc :

$$F_1 = F_2 = 88.29 \text{ N}$$

$$F_{max} = F_1 \times 4 = 353.16$$

• **Calcul des contraintes :**

- Zone d'application des contraintes :

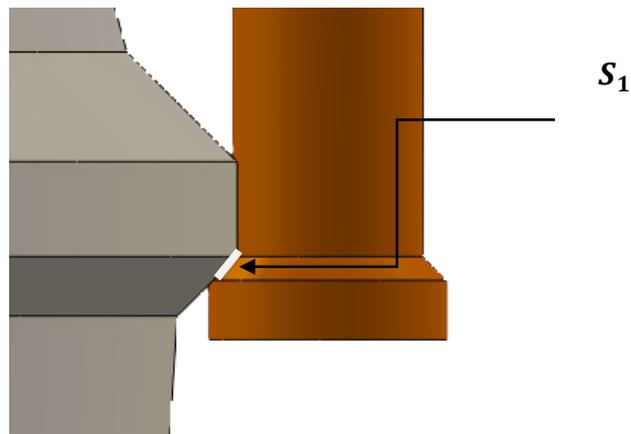


Figure II.12 : Zone d'application de contrainte σ_1 .

Tel que :

$$S_1 = 2.5 \text{ mm}^2$$

• **Calcul de contrainte σ_1 :**

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{S_1}$$

• **Application numérique :**

$$\sigma_1 = \frac{88.29}{2.5}$$



$$\sigma_1 = 35.32 \text{ Mpa}$$

Avec :

$$\sigma_1 = \sigma_3 = \sigma_5 = \sigma_7 = 35.32 \text{ Mpa}$$

II.7.2. Calcule les réactions R_1 et R_2 (forces appliquées sur les doigts) :

Le système subit de nombreuses forces pendant le processus de levage, notamment la force appliquée par le tambour sur les quatre doigts, ce qui nous oblige à calculer des réactions.

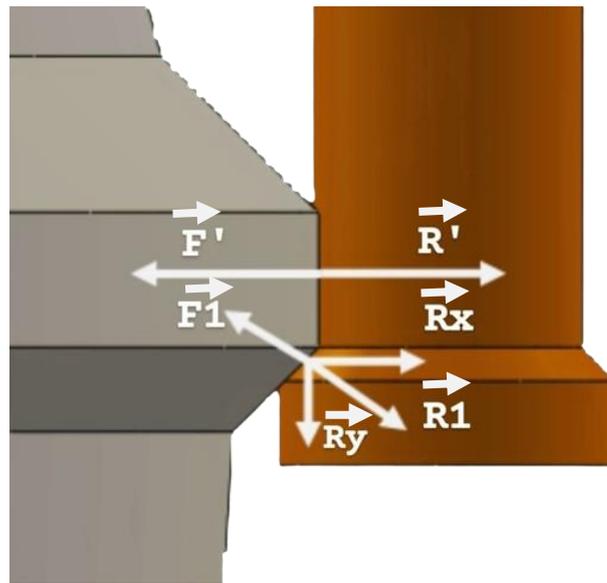


Figure II.13 : Isolement du doigt.

Tel que :

- R : Réaction

a. En statique :

- 1^{ere} Zone :

La somme des forces égale à zéro :

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$$

Donc :

$$F_1 + R_1 + R_x + R_y = 0$$

$$F_1 - R_1 + R_x + R_y = 0$$

$$R_x + R_y = 0 \text{ et } R_x = -R_y$$

$$R_x = R_1 \cos 45 = 353.16 \times \cos 45 = 249.72 \text{ N}$$

$$R_y = R_1 \sin 45 = 353.16 \times \sin 45 = 249.72 \text{ N}$$

○ **2^{eme} Zone:**

La somme des forces égale à zéro :

$$\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$$

$$F' + R' = 0$$

$$F' - R' = 0$$

Donc :

$$F_1 = R_1$$

Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre la conception de notre tambour et système de levage par logiciel de conceptions SolidWorks®. Les différentes dimensions, matériaux, charges, réactions et caractéristiques géométriques et mécaniques de tambour et de chaque élément de système ont montré, discuté et détaillé.

Dans le prochain chapitre de ce mémoire, nous nous attacherons à simuler le comportement (résistances d'éléments) de tambour et de système du levage pendant les conditions de fonctionnement.

Chapitre III

Simulation numérique de système de levage

Introduction :

La simulation numérique joue un rôle crucial dans le développement et l'optimisation des systèmes de levage, notamment dans les applications complexes telles que le levage d'un tambour de frein avec des bras. Cette technique permet non seulement de prévoir le comportement du système sous différentes conditions de charge, mais aussi d'identifier et de corriger les éventuelles faiblesses structurelles avant la phase de fabrication.

Dans ce chapitre, nous commencerons par une introduction à la simulation numérique. Nous définirons la simulation, présenterons le logiciel SolidWorks® Simulation avec ses fonctionnalités et justifierons son utilisation. Ensuite, nous détaillerons le processus d'analyse statique d'un modèle réel en expliquant les étapes de la simulation. Enfin, nous analyserons et discuterons les résultats obtenus, en nous concentrant sur la simulation du tambour et les composants du système de levage proposé.

III.1. Simulation numérique :

Les outils d'aide à la conception et à l'étude dans le domaine de la mécanique sont destinés à simuler le comportement cinématique et dynamique des mécanismes

III.1.1. Définition de la simulation :

La simulation mécanique est un processus de modélisation virtuelle utilisé en ingénierie mécanique pour imiter le comportement réel d'un système ou d'un processus sur un ordinateur. Elle permet aux ingénieurs de tester et d'analyser les impacts des modifications sur un design ou un système sans altérer les composants réels.

L'objectif d'un modèle de simulation peut être purement descriptif, comme analyser le comportement d'un système sous différentes hypothèses environnementales, ou bien normatif

(décisionnel), en simulant plusieurs décisions potentielles pour choisir la meilleure ou la moins défavorable. [6]

III.1.2. SolidWorks simulation :

SolidWorks Simulation est un outil d'analyse de conception qui repose sur une technique numérique appelée l'analyse par éléments finis (Finite Element Analysis, FEA). SolidWorks Simulation permet d'analyser le comportement structurel statique et dynamique de modèles de pièces et d'assemblages dans SolidWorks. Il se concentre essentiellement sur les connaissances et les concepts les plus importants à acquérir pour optimiser l'utilisation de SolidWorks Simulation.

L'analyse par SolidWorks Simulation utilise un outil d'analyse mécanique puissant : la méthode numérique de l'analyse par éléments finis (FEA). Cette technique permet de résoudre des problèmes décrits par un ensemble d'équations différentielles partielles. En génie mécanique, l'analyse par éléments finis est largement utilisée pour résoudre des problèmes de structure, de fréquence et de température.

Le processus de discrétisation, plus communément appelé le maillage, fractionne la géométrie en entités relativement petites composées de formes simples, désignées sous le nom d'éléments finis. Les éléments sont appelés "finis" pour indiquer qu'ils ne sont pas infiniment petits mais raisonnablement petits par rapport à la taille globale du modèle.[7]

III.1.3. Gamme SolidWorks simulation :

- **SolidWorks Simulation Standard** : Un environnement intuitif de tests virtuels pour la simulation statique linéaire, la simulation de mouvement temporelle, et la simulation de fatigue méga-cyclique. Cet outil permet de déterminer si les performances d'un produit seront satisfaisantes et pour combien de temps.
- **SolidWorks Simulation Professional** : Un environnement dédié à la multiphysique séquentielle permettant de prendre en compte les effets de la dilatation thermique et les vibrations des produits. De plus, ce logiciel de simulation permet de réaliser des analyses d'hypothèses grâce à l'étude de conception avec optimisation paramétrique (modification des paramètres des modèles, matériaux, charges, contraintes, etc.).

- **SolidWorks Simulation Premium** : Permet de réaliser trois types d'études avancées : dynamique linéaire (calcul des effets des charges dynamiques, d'impact ou de choc), statique non linéaire (calcul de la déformation permanente et des contraintes résiduelles dues à des charges excessives), et dynamique non linéaire (intégrant les effets des charges variables en temps réel dans le calcul et les résultats). L'analyse non linéaire permet d'étudier le comportement des matériaux complexes (métal, caoutchouc, plastique) et prend en compte les déformations importantes ainsi que le contact glissant entre les composants. .[7]

III.1.4. Fonctionnalités de SolidWorks Simulation :

Avec logiciel SolidWorks simulation, il est possible : [8]

- Intégration totale dans l'interface du logiciel de CAO 3D SolidWorks.
- Prise en charge des configurations et des matériaux de SolidWorks CAO.
- Prévion des performances du produit basée sur le calcul des contraintes, des déformations et des déplacements des composants, ainsi que sur le coefficient de sécurité.
- Estimation de la durée de vie des composants soumis à des charges diverses.
- Analyse du comportement des matériaux complexes et non linéaires (métaux, caoutchoucs, plastiques) et prise en compte des déflexions importantes et du contact glissant dans les analyses non linéaires.
- Recherche de nouvelles solutions utilisant un minimum de matériau avec les études de topologie.
- Calcul de la répartition de la température et du flux de chaleur avec l'analyse thermique.
- Définition des fréquences propres et des déformées modales.
- Calcul des effets des vibrations forcées, des impacts, des chocs ou des variations de charge dans le temps avec l'analyse linéaire et non linéaire dynamique.
- Définition de la conception optimale ou la plus efficace avec les analyses paramétriques (hypothèses) et d'optimisation.
- Simplification des études de simulation à l'aide de boulons, broches, ressorts, paliers, cordons et points de soudure.
- Simulation des performances des composites.

- Cinématique de corps rigide avec analyse du mouvement basée sur le temps et les événements.
- Calcul de l'instabilité structurelle avec l'analyse de flambage.
- Calcul de la contrainte linéarisée avec l'étude des appareils sous pression.
- Exportation des résultats de SolidWorks Simulation au format eDrawings®.

III.2. Processus d'analyse :

Le processus d'analyse des modelées comprend toujours les mêmes étapes de base, quel que soit le type d'analyse ou le modèle. [9]

Les étapes de l'analyse d'un modèle sont :

- a. Création de l'étude :** Chaque analyse d'un modèle correspond à une étude. Il est possible d'avoir plusieurs études pour un même modèle.
- b. Application du matériau :** Appliquer au modèle un matériau contenant les informations physiques, mécaniques, chimiques, thermiques, etc.
- c. Application des conditions aux limites (déplacements, forces et charges imposés) :** Les conditions aux limites sont ajoutées afin de représenter le mode de conservation du modèle physique.
- d. Maillage du modèle :** Le modèle est fractionné en éléments finis. Le maillage du modèle dépend du type de géométrie maillée et du type d'analyse à effectuer. SolidWorks Simulation propose des éléments volumiques tétraédriques pour mailler la géométrie des solides et des éléments coques triangulaires pour mailler celle des surfaces. Dans notre simulation, nous avons utilisé l'élément volumique tétraédrique à quatre nœuds, avec trois degrés de liberté dans chaque nœud, proposé par SolidWorks Plastics, et une densité moyenne pour le maillage.
- e. Exécution de l'étude :** Le solveur calcule les contraintes, les déplacements, les déformations et le coefficient de sécurité dans le modèle.

III.3. Résultats et discussion de la simulation :

La conception de tambour et de système de levage est réalisée, les caractéristiques techniques de la simulation sont introduites. La dernière étape maintenant est l'exécution de la simulation.

III.3.1. Analyse et simulation du tambour :

Le modèle étudié dans cette sous-section est le tambour de frein (SNVI). Le but de cette étude sur le tambour est de vérifier sa déformation dans les conditions de levage.

III.3.1.1. Charges et condition aux limites :

Les charges et les conditions aux limites appliquées sur le tambour sont résumées dans les points suivants :

- Des charges réparties appliquée par les quarts doigts sur les surfaces : S_1, S_1', S_1'', S_1'''
 - $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_4 = 50 \text{ MPa}$
- Des appuis linéaire des doigts sur le tambour (fixation par la machine)

La **Figure III.1** montre une représentation graphique du tambour, dessinée par SolidWorks®, sous l'effet des charges réparties et des conditions aux limites.



Figure III.1 : Tambour sous charge répartie et conditions aux limites.

III.3.1.2. Maillage de modèle :

Après l'introduction des conditions aux limites et des charges appliquées sur le tambour, l'étape suivante dans la simulation est de mailler le modèle. La **Figure III.2** présente le tambour avec une densité moyenne de maillage par élément tétraédrique.



Figure III.2 : Maillage de tambour.

III.3.1.3. Résultats de la simulation :

Le tambour qui sera déplacé est réalisé, les charges réparties et les conditions aux limites sont introduites et le modèle est maillé. La dernière étape maintenant est l'exécution de la simulation. Les principaux résultats de cette étude, à savoir : les champs de contraintes, de déplacements, de déformations et coefficients de sécurités sont présentés et discutés.

a. Champ de contrainte :

Le champ de contraintes équivalentes appliqué sur le tambour est représenté sur la **Figure III.3**. On remarque que les contraintes maximales se situent dans les zones d'application des charges réparties (sous l'effet des appuis). Cette figure montre aussi que la valeur maximale de contrainte est égale à presque 139 MPa et que cette valeur est inférieure à limite élastique du matériau.

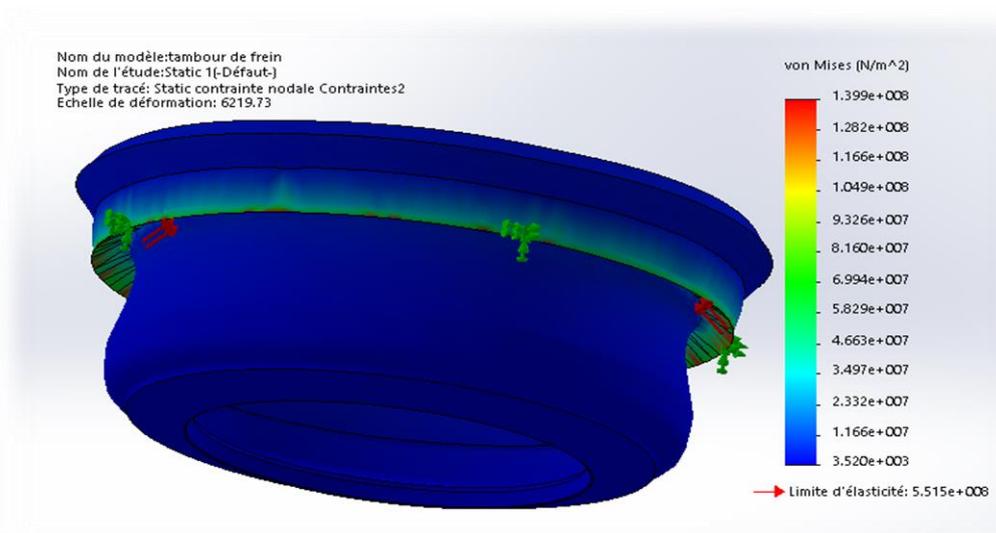


Figure III.3 : Distribution des contraintes équivalentes de Von-mises sur le tambour

b. Champ de déplacement :

Les résultats présentés dans la **Figure III.4**, montrent le champ de déplacement de tambour sous l'effet des contraintes appliquées par les appuis. Sur cette figure, on note que les déplacements maximaux sont situés dans la zone supérieure du tambour, on remarque aussi que la valeur maximale de déplacement est d'environ 0.008 mm. Cette valeur est presque négligeable comparé à la taille du tambour.

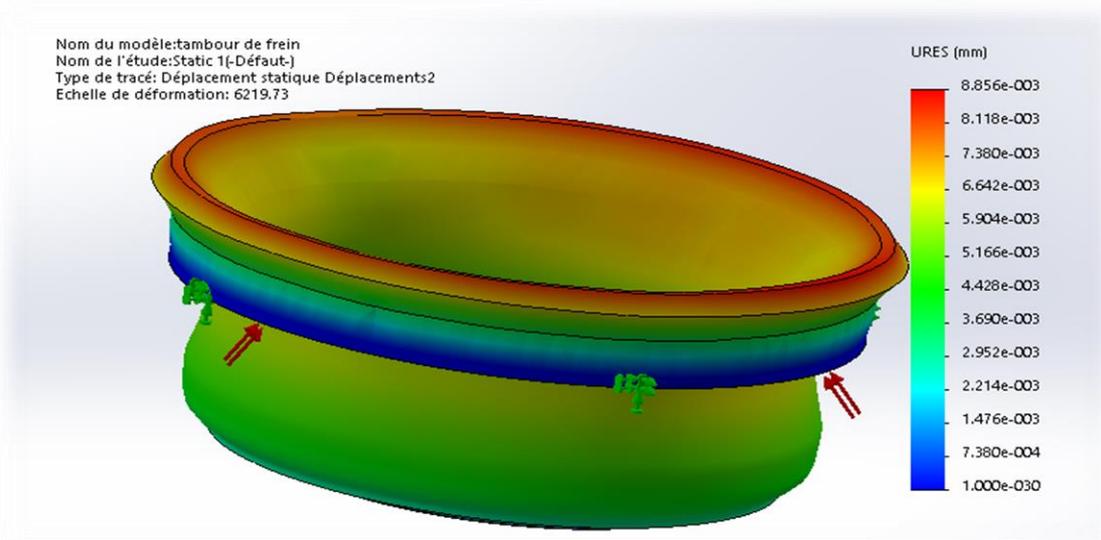


Figure III.4 : Distribution de champ de déplacement de tambour.

c. Champ de déformation :

La **Figure III.5** montre la déformation du tambour sous l'effet des charges et des conditions aux limites appliquées. D'après cette figure, il apparaît que la déformation maximale se situe dans les zones d'application des charges (**Figure III.3**). Cependant, cette déformation est de l'ordre de 10^{-3} , ce qui est presque négligeable. À partir de là, on peut conclure que le système que nous avons proposé ne détruit pas le tambour sous la charge de levage.

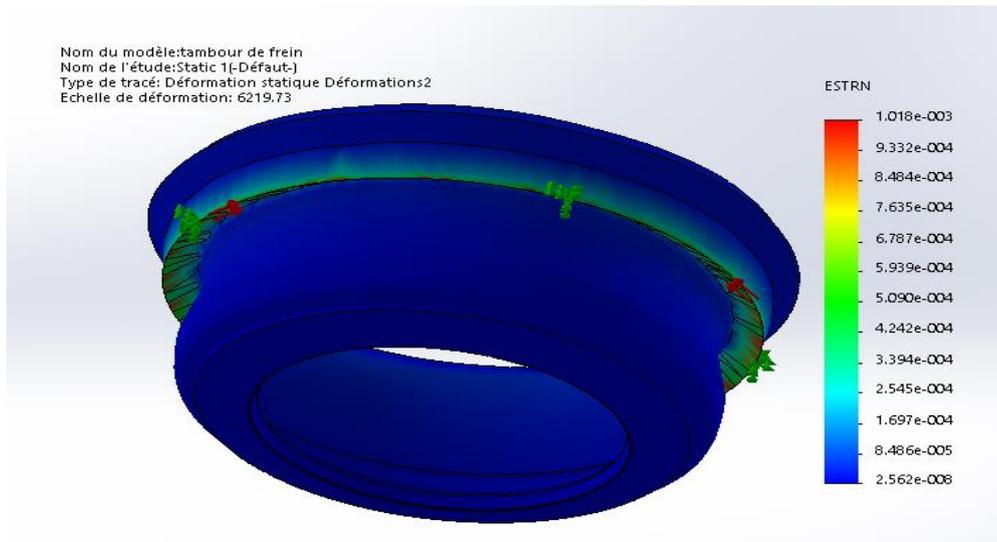


Figure III.5 : Distribution de champ de déformation de tambour.

d. Coefficient de sécurité :

Afin de valider la conclusion que le tambour n'est pas détruit. Nous présenterons la distribution du coefficient de sécurité sur ce dernier. La **Figure III.6** montre cette distribution du coefficient de sécurité. Ce coefficient est défini comme le rapport entre la contrainte maximale appliquée et la limite élastique de matériau. L'analyse des résultats présentés sur cette figure montre que la valeur minimale de coefficient de sécurité est égale 3.9. Par conséquent, on peut conclure que la limite élastique du matériau est égale à presque 4 fois la valeur de contrainte maximale. Et donc le tambour ne se déforme pas pendant le déplacement dans le système.

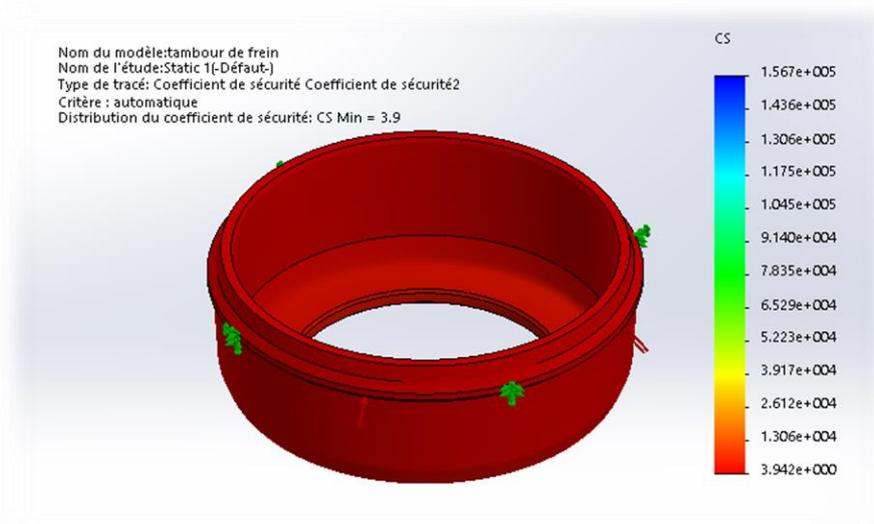


Figure III.6 : Distribution du coefficient de sécurité sur le tambour.

Après l'étude de tambour, on passe maintenant à l'analyse et simulation des éléments essentiels du système de levage (Les bras, les doigts et les écrous).

III.3.2. Analyse et simulation de bras :

Le modèle étudié dans cette sous-section est le plus essentiel élément de système de levage que nous avons proposé : le bras. Le but de cette étude est de vérifier la déformation de ce dernier dans les conditions de levage.

III.3.2. 1. Charges et condition aux limites :

La charge et les conditions aux limites appliquées sur le bras sont résumées dans les points suivants :

- Une force appliquée par le poids de tambour de **36 kg** donc **$F=353.2N$** .
- Géométrie fixe (encastrement) appliquée sur la partie installée dans la machine.

La **Figure III.7** montre une représentation graphique du bras, dessinée par SolidWorks®, sous l'effet de charge répartie et des conditions aux limites.

Dans notre cas, nous avons choisi d'appliquer la charge au milieu du bras, là où se trouve la zone la plus faible, ainsi que dans les trous où se placent les doigts.

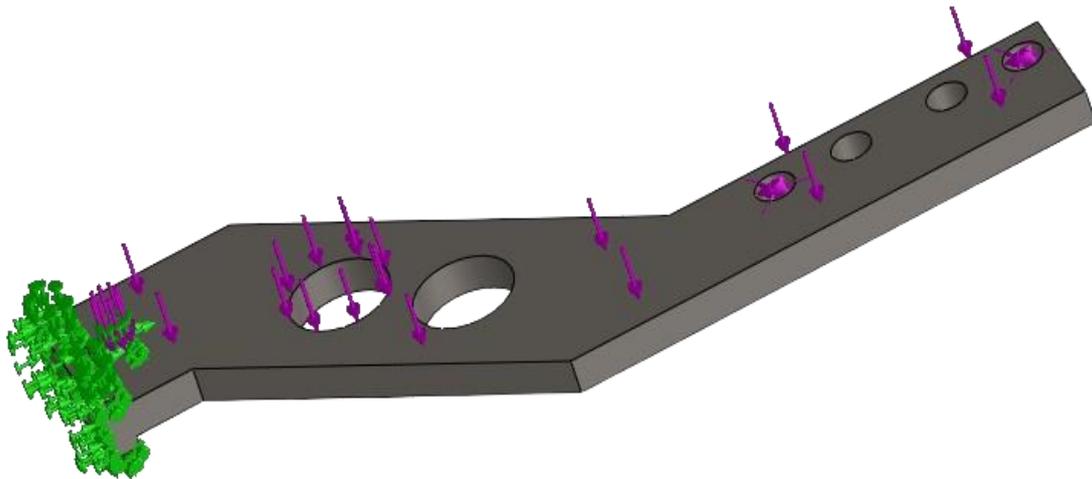


Figure III.7 : bras sous force appliquée et conditions aux limites.

III.3.2.2. Maillage de modèle :

Après l'introduction des conditions aux limites et la force appliquée sur le bras, l'étape suivante dans la simulation est de mailler le modèle. La **Figure III.8** présente le bras sous une densité moyenne de maillage par l'élément tétraédrique.

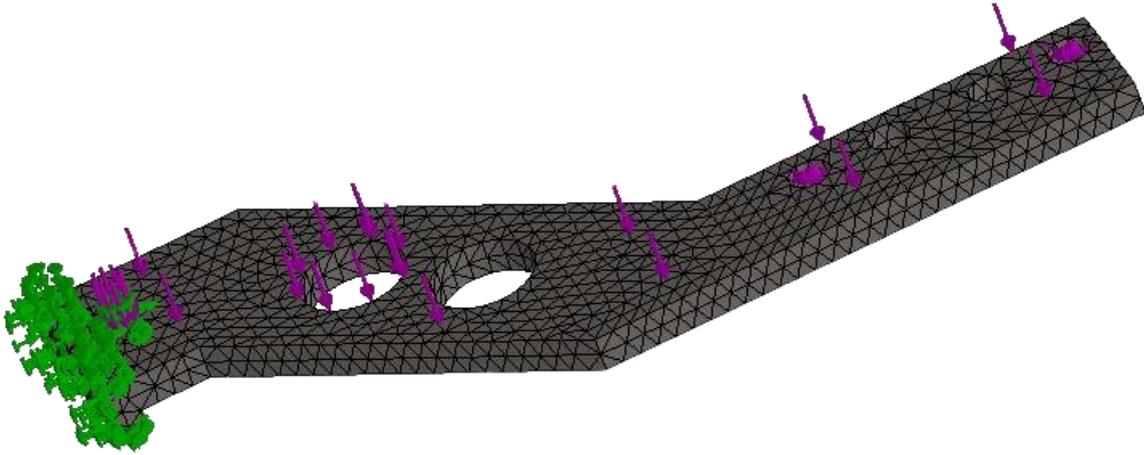


Figure III.8 : Maillage de bras.

III.3.2.3. Résultats de la simulation :

Le bras est réalisé, les forces appliquées et les conditions aux limites sont introduites et le modèle est maillé. La dernière étape maintenant est l'exécution de la simulation.

Les principaux résultats de cette étude sont présentés et discutés ci-dessous.

a. Champ de contrainte :

Le champ de contraintes équivalentes appliqué sur le bras est représenté sur la **Figure III.9**. Sur cette figure on remarque que les contraintes maximales se situent dans les zones d'application de la force (sous l'effet de poids de tambour). Cette figure montre aussi que la valeur maximale de contrainte est égale à 49 MPa et que cette valeur est inférieure à limite élastique de matériau.

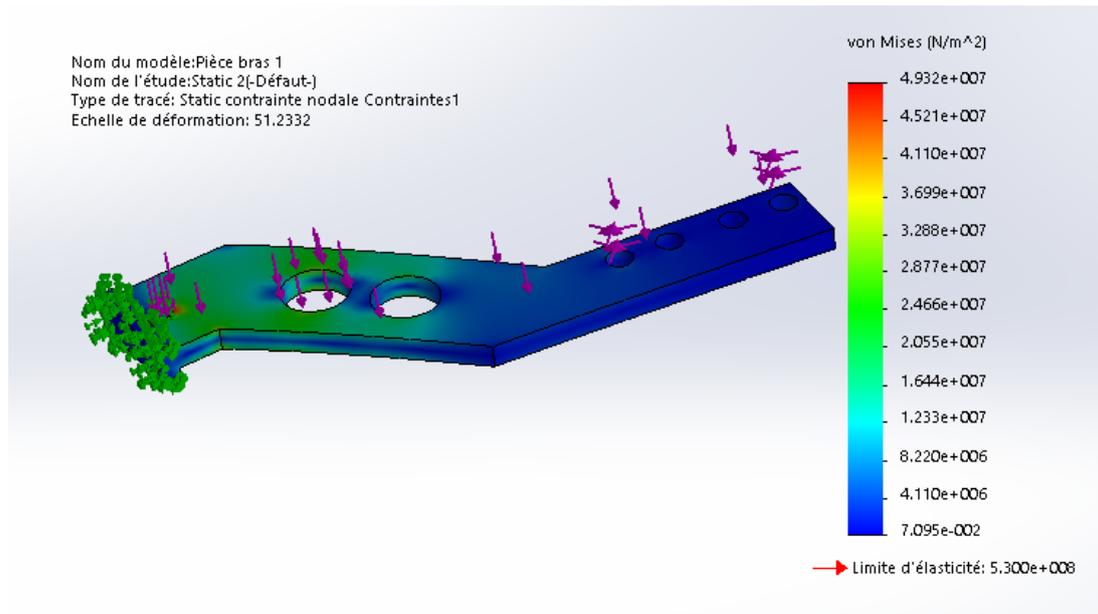


Figure III.9 : Distribution des contraintes équivalentes sur le bras.

b. Champ de déplacement :

Les résultats présentés dans la **Figure III.10**, montrent le champ de déplacement de bras sous l'effet de contrainte appliquée par le poids de tambour. Sur cette figure, on note que les déplacements maximaux sont situés dans les zones d'application de charge (**Figure III.9**), on note aussi que la valeur maximale de déplacement est d'environ 0.7mm. Cette valeur est presque négligeable devant la taille de bras.

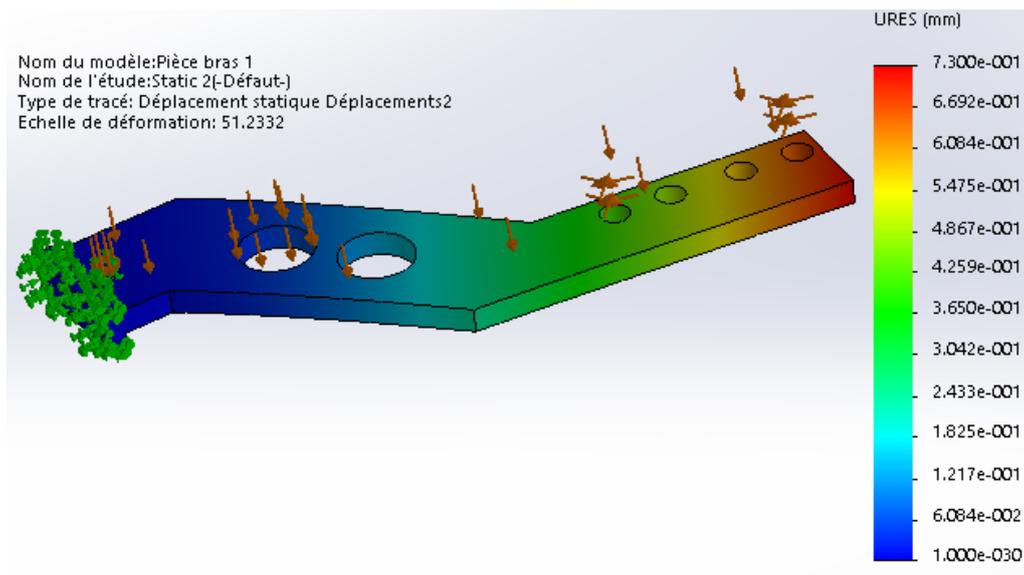


Figure III.10 : Distribution de champ de déplacement sur le bras.

c. Champ de déformation :

La **Figure III.11** montre la déformation de bras sous l'effet de la force et des conditions aux limites appliquées. D'après cette figure, il apparaît que la déformation maximale se présente dans la surface de l'encastrement. Par ailleurs, les zones de déformation maximales se situent dans les surfaces de déplacement maximal (**Figure III.10**). Cependant, cette déformation est de l'ordre de 10^{-4} (presque négligeable). On peut conclure que le ne se déforme pas sous les conditions de levage.

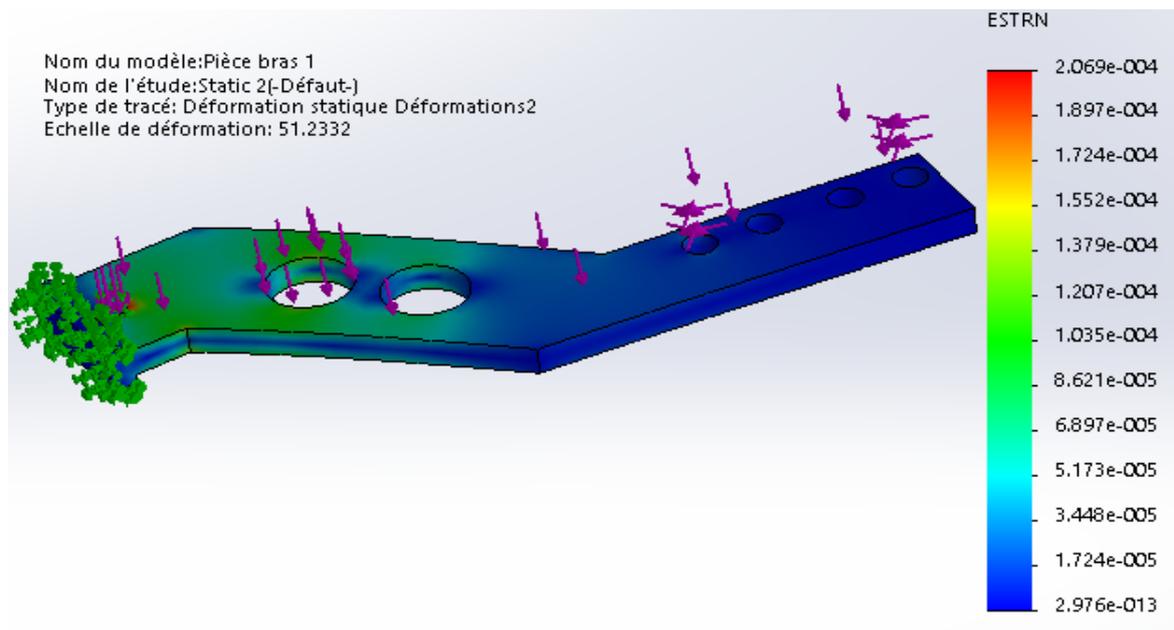


Figure III.11 : Distribution de champ de déformation de bras.

d. Coefficient de sécurité :

Afin de valider la conclusion que le bras n'est pas détruit. Nous présenterons la distribution du coefficient de sécurité sur ce dernier. La **Figure III.12** montre cette distribution du coefficient de sécurité. L'analyse des résultats présentés sur cette figure montre que la valeur minimale de coefficient de sécurité est égale 11. Par conséquent, on peut conclure que la limite élastique du matériau est égale à 1 fois la valeur de contrainte maximale. Et donc le bras ne se déforme pas pendant le déplacement.

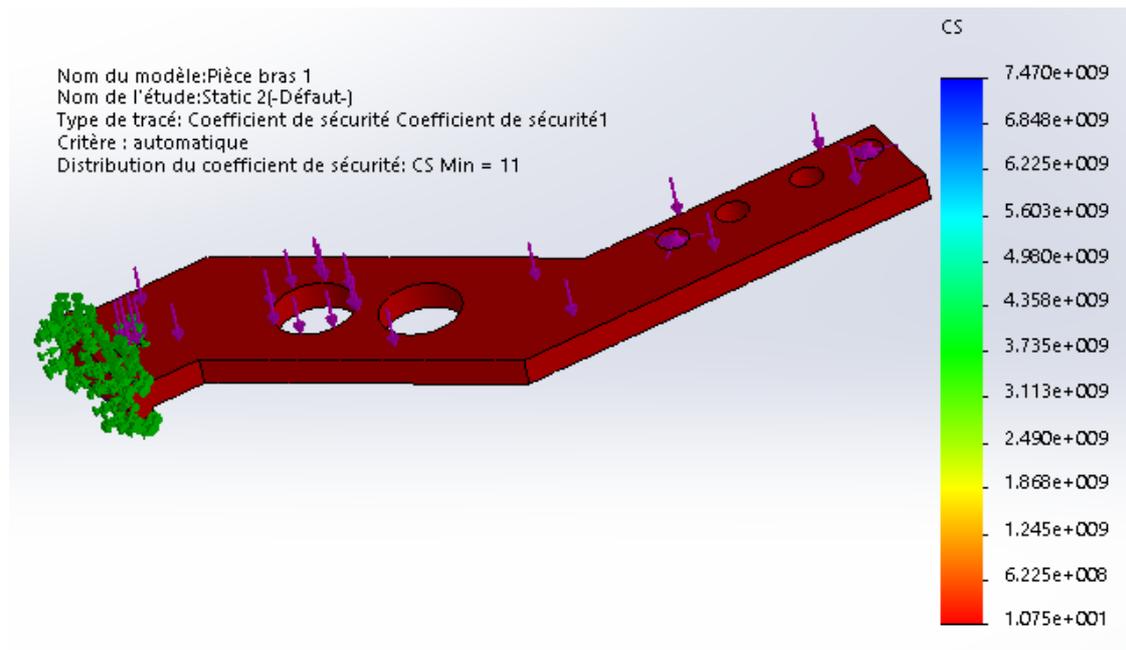


Figure III.12 : Distribution du coefficient de sécurité sur le bras.

III.3.3. Analyse et simulation de doigt :

Dans cette sous-section, le modèle étudié est le doigt, il représente la liaison entre le bras de levage et le tambour, son rôle est de fixer le tambour pendant le déplacement. Le but de cette simulation de doigt est de vérifier sa déformation dans les conditions de levage.

III.3.3.1. Charges et condition aux limites :

Les charges et les conditions aux limites appliquées sur le doigt sont présentées ci-dessous.

- Une charge répartie appliquée par le poids de tambour sur la surface de contact
 - Sur l'axe x $R_x = 249.72 \text{ N}$
 - Sur l'axe y $R_y = 249.72 \text{ N}$
- Une condition aux limites encastrement

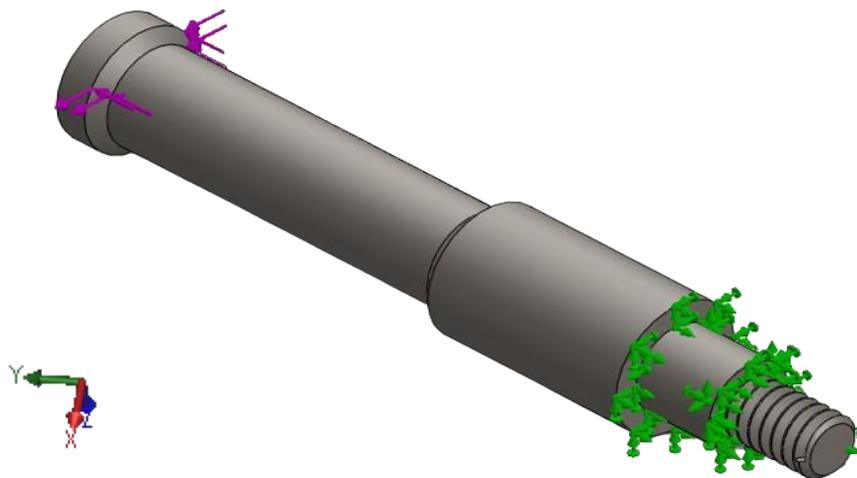


Figure III.13 : doigt sous forces appliquées et conditions aux limites

III.3.3.2. Maillage de modèle :

Après l'introduction des conditions aux limites et les charges réparties sur le doigt, l'étape suivante dans la simulation est de mailler le modèle. La **Figure III.14** présente le doigt sous une densité moyenne de maillage par l'élément tétraédrique.

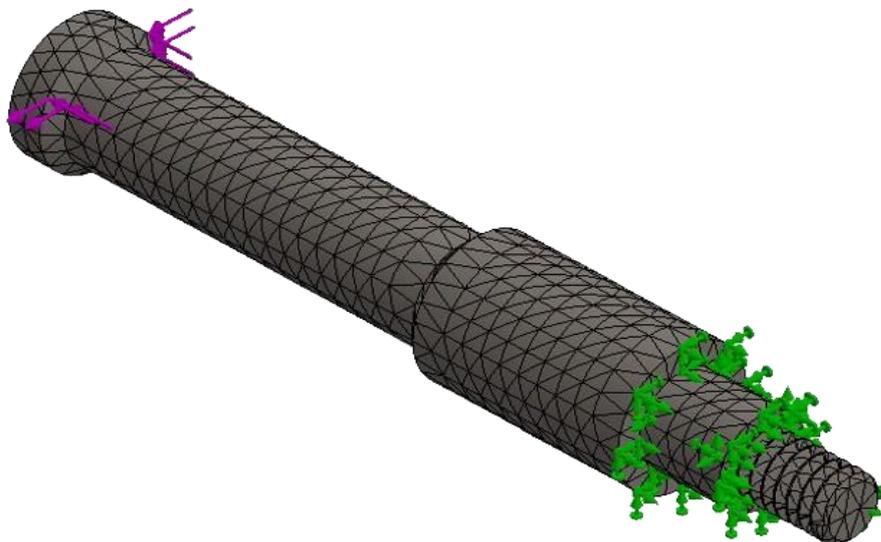


Figure III.14 : Maillage de doigt

III.3.3.3. Résultats de la simulation :

Les charges réparties et les conditions aux limites sont introduites et le modèle est maillé. Maintenant on passe à l'exécution de la simulation. Les principaux résultats de cette étude sont présentés et discutés ci-dessous.

a. Champ de contrainte :

Le champ de contraintes équivalentes appliqué sur le doigt est représenté sur la **Figure III.15**. Sur cette figure on remarque que les contraintes maximales se situent dans la zone centrale de doigt (sous l'effet de poids de tambour). Cette figure montre aussi que la valeur maximale de contrainte est égale à presque 39 MPa et que cette valeur est inférieure à limite élastique de matériau.

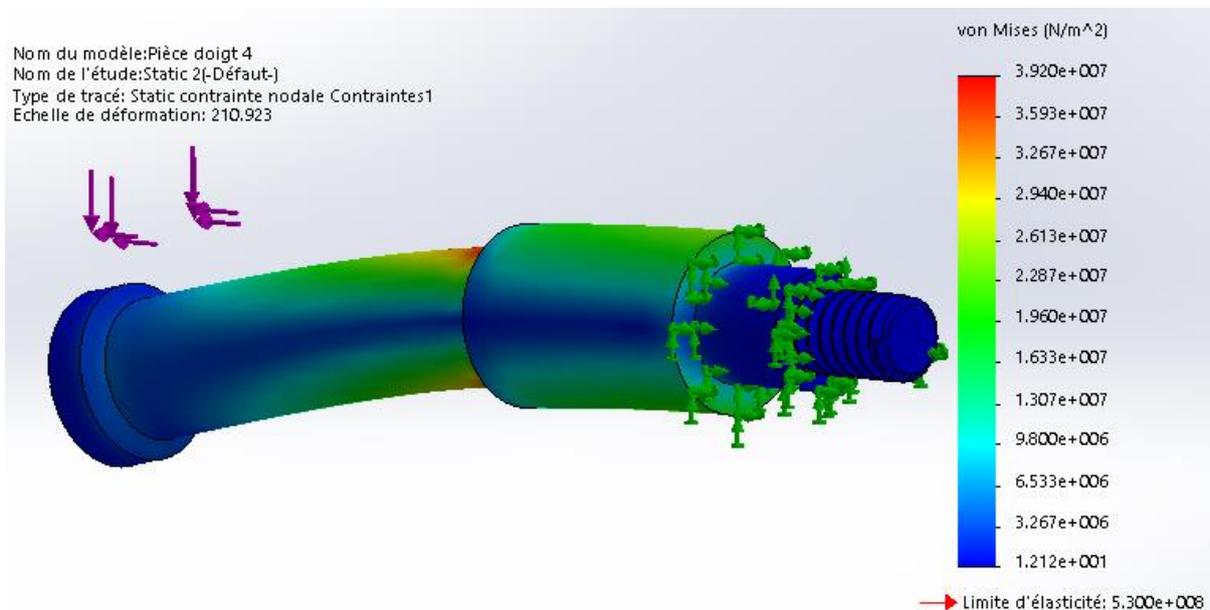


Figure III.15 : Distribution des contraintes équivalentes sur le doigt.

b. Champ de déplacement :

Les résultats présentés dans la **Figure III.16**, montrent le champ de déplacement de doigt sous l'effet des contraintes appliquées par le poids de tambour. Sur cette figure, on note que les déplacements maximaux sont situés dans la zone d'application des charges (**Figure III.13**), on note aussi que la valeur maximale de déplacement est d'environ 0.06 mm. Cette valeur est presque négligeable devant la taille de doigt.

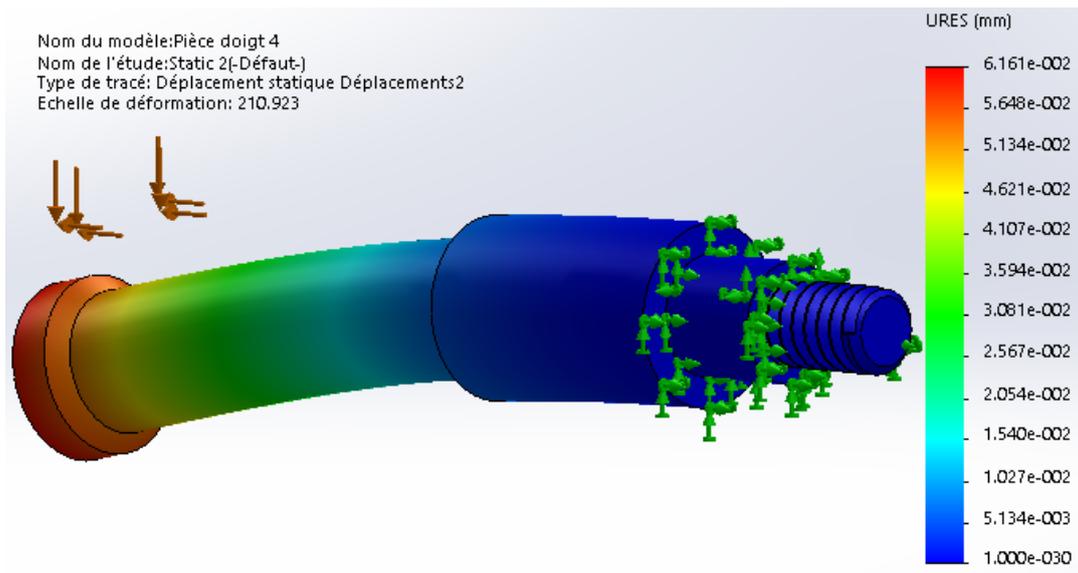


Figure III.16 : Distribution de champ de déplacement sur le doigt.

c. Champ de déformation :

La Figure III.17 montre la déformation de doigt sous l'effet des forces et des conditions aux limites appliquées. D'après cette figure, il apparaît que la déformation maximale se présente dans la zone centrale de doigt. Par ailleurs, les zones de déformation maximales se situent dans les surfaces de déplacement maximal (Figure III.16). Cependant, cette déformation est de l'ordre de 10^{-4} (presque négligeable). On peut conclure que le ne se déforme pas sous les conditions de levage.

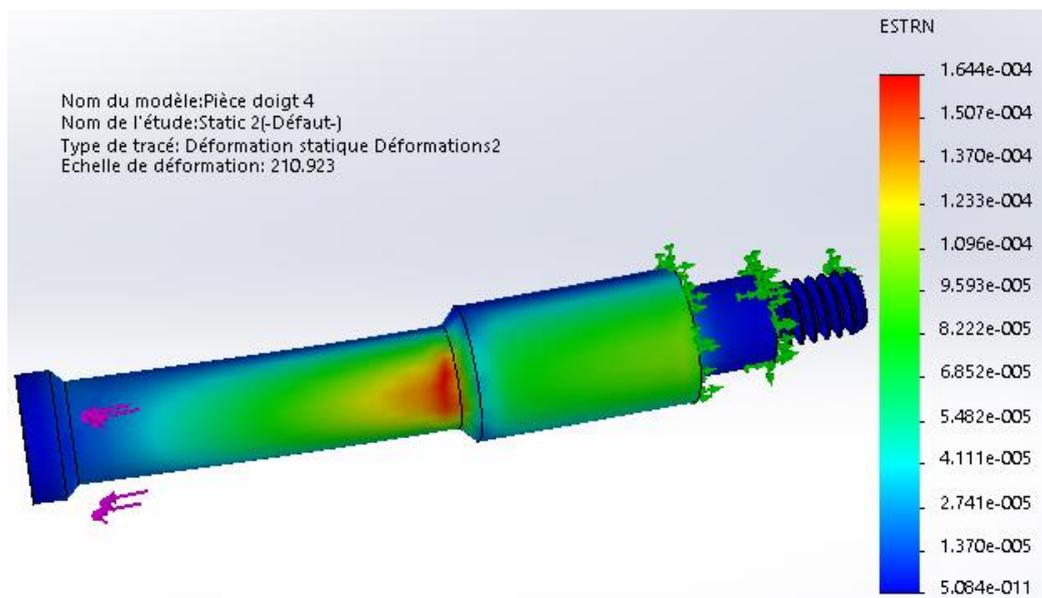


Figure III.17 : Distribution de champ de déformation de doigt.

d. Coefficient de sécurité :

Afin de valider la conclusion que le doigt n'endommage pas sous les conditions de levage. Nous présenterons la distribution du coefficient de sécurité sur ce dernier. **La Figure III.18** montre cette distribution. L'analyse des résultats présentés sur cette figure montre que la valeur minimale de coefficient de sécurité est égale 14 on peut conclure que la limite élastique du matériau est égale à 14 fois la valeur de contrainte maximale. Par conséquent, le doigt ne se déforme pas pendant le déplacement dans le système.

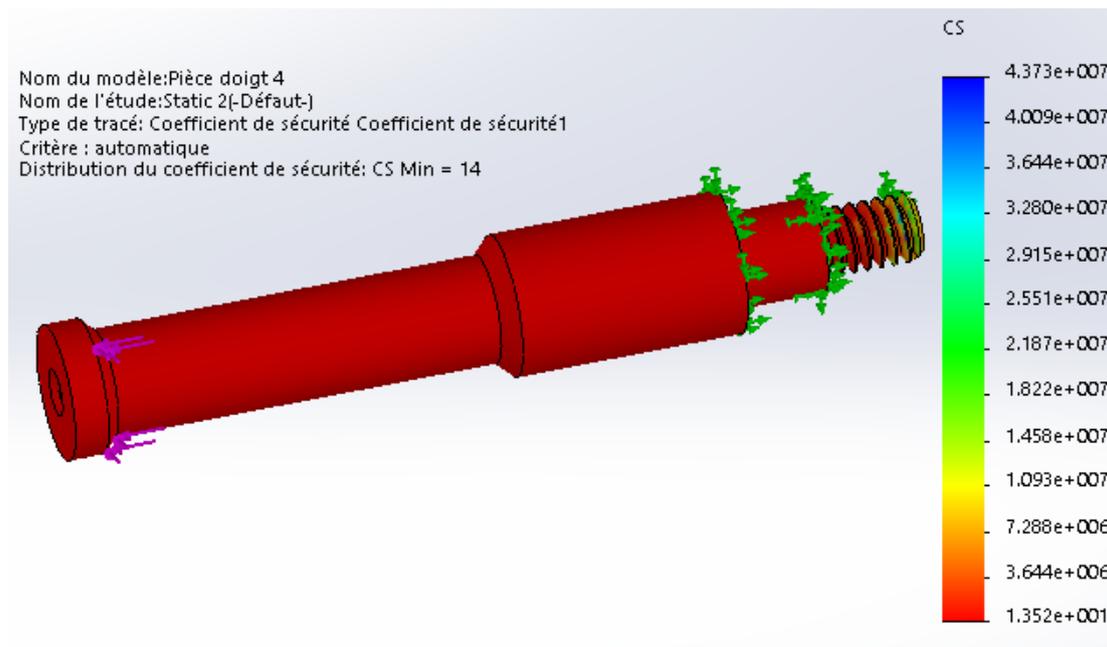


Figure III.18 : Distribution du coefficient de sécurité sur le doigt.

III.3.4. Analyse et simulation de l'écrou:

Le modèle étudié dans cette partie est l'écrou, le rôle de ce élément est de fixe le doigt sur le bras. Le but de cette étude sur l'écrou est de vérifier sa déformation dans les conditions de levage.

III.3.4. 1. Charges et condition aux limites :

Les charges et les conditions aux limites appliquées sur l'écrou sont présentées ci-dessous.

- Une force appliquée par le poids de tambour de **36 kg** donc **F=353.2 N**.
- Une condition aux limites encastrement

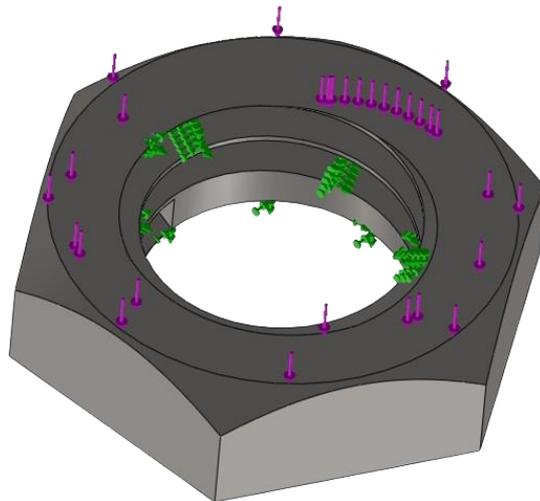


Figure III.19 : écrou sous les force appliquées et conditions aux limites.

III.3.4.2. Maillage de modèle :

Après l'introduction des conditions aux limites et la force appliquées sur l'écrou, l'étape suivante dans la simulation est de mailler le modèle. La **Figure III.20** présente ce écrou sous une densité moyenne pour le maillage par l'élément tétraédrique.

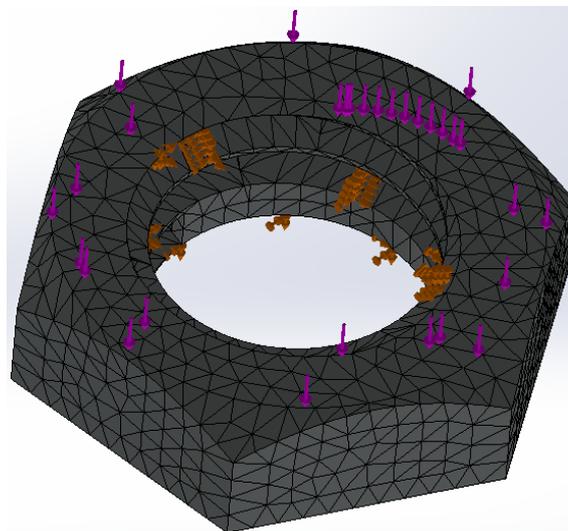


Figure III.20 : Maillage appliqué sur l'écrou.

III.3.4.3. Résultats de la simulation :

La dernière étape maintenant est l'exécution de la simulation. Les principaux résultats sont présentés et discutés ci-dessous.

a. Champ de contrainte :

Le champ de contraintes équivalentes appliqué sur l'écrou est représenté sur la **Figure III.21**. D'après cette figure, on remarque que les contraintes maximales se situent dans la zone d'application de la force (sous l'effet de poids de tambour). Cette figure montre aussi que la valeur maximale de contrainte est égale à 13MPa et que cette valeur est inférieure à limite élastique de matériau.

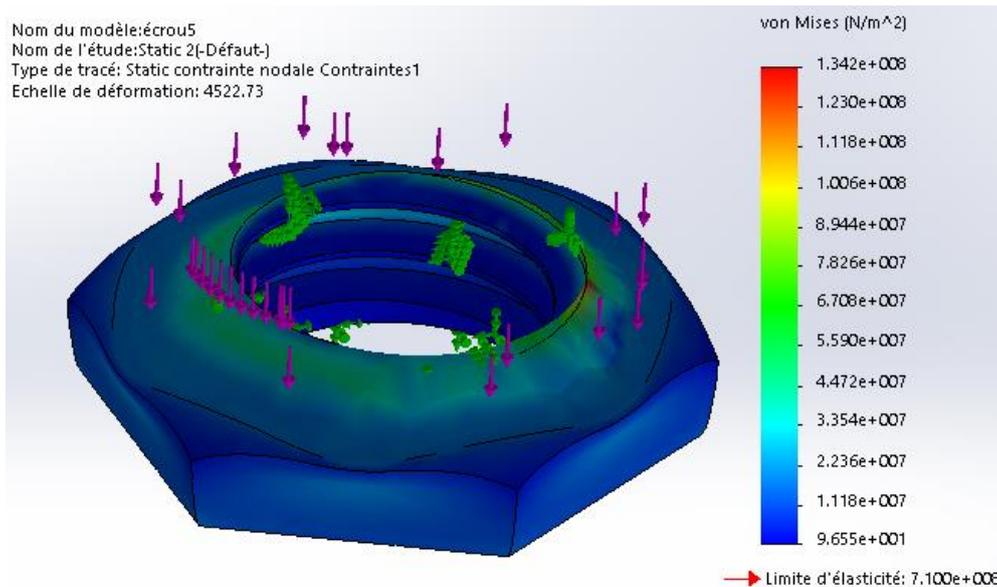


Figure III.21 : Distribution des contraintes équivalente de Von-mises sur l'écrou.

b. Champ de déplacement :

Le résultat présenté sur la **Figure III.22**, montrent les champs de déplacement de l'écrou sous l'effet des contraintes appliquées par le poids de tambour. Sur cette figure, on note que les déplacements maximaux sont situés dans la zone d'application de force de levage (**Figure III.21**), on remarque aussi que la valeur maximale de déplacement est d'environ 0.0004 mm, Cette valeur est presque négligeable devant la taille de l'écrou.

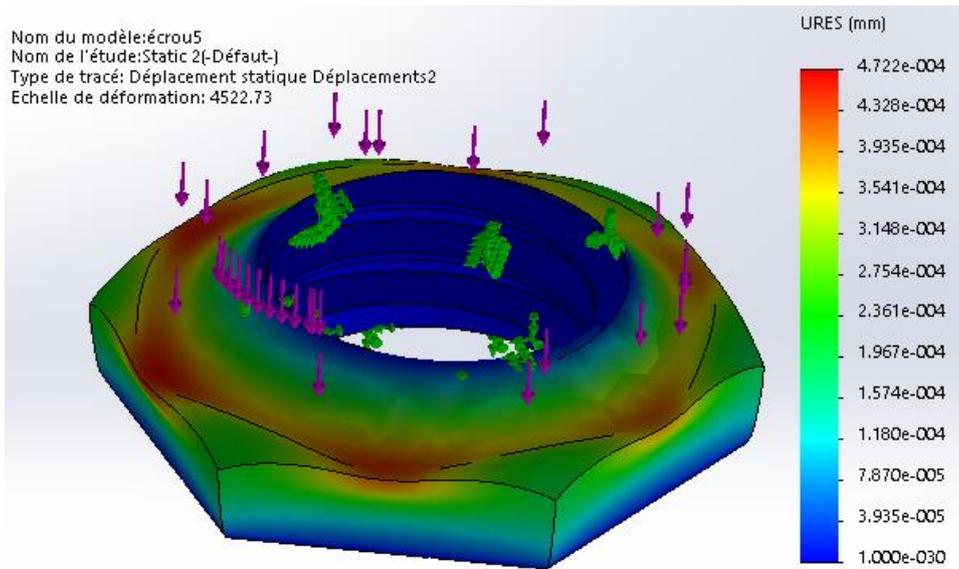


Figure III.22 : Distribution de champ de déplacement sur l'écrou.

c. Champ de déformation :

La Figure III.23 montre la déformation de l'écrou sous l'effet de la charge et des conditions aux limites appliquées. Sur cette figure, il apparaît que la déformation maximale se présente dans les surfaces d'application de la force. Par ailleurs, la zone de déformation maximale se situe dans la surface de déplacement maximal (Figure III.22). Cependant, cette déformation est de l'ordre de 10^{-5} (presque négligeable). À partir de là, on peut conclure que l'écrou que nous avons proposé n'est pas endommagé sous la charge de levage.

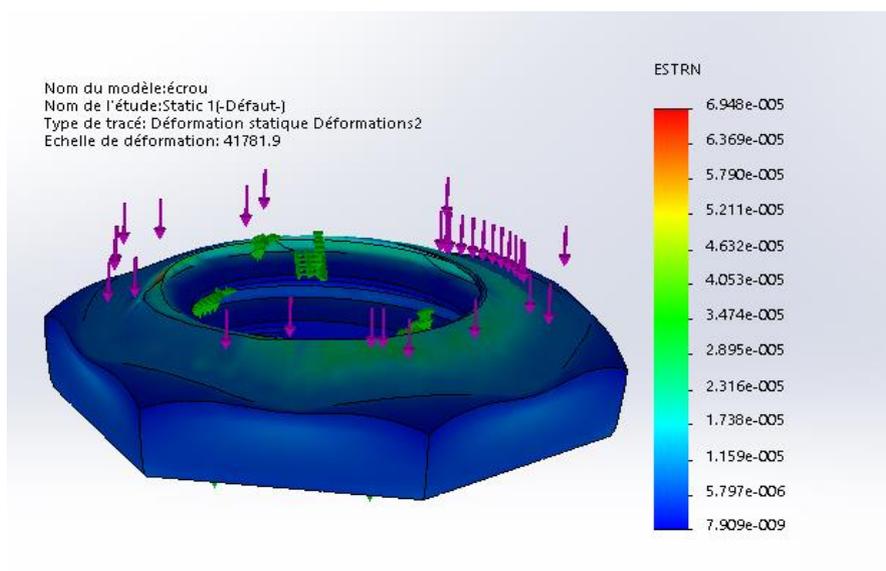


Figure III.23 : Distribution de champ de déformation de l'écrou.

d. Coefficient de sécurité :

Afin de valider la conclusion que l'écrou n'est pas endommagé sous la charge appliquée. Nous avons présenté la distribution du coefficient de sécurité sur ce dernier sur la **Figure III.24**. Cette figure montre que la valeur minimale de coefficient de sécurité est égale 5.3. Par conséquent, on peut conclure que la limite élastique du matériau est égale à 5 fois la valeur de contrainte maximale. Et donc l'écrou ne se déforme pas pendant le déplacement de système.

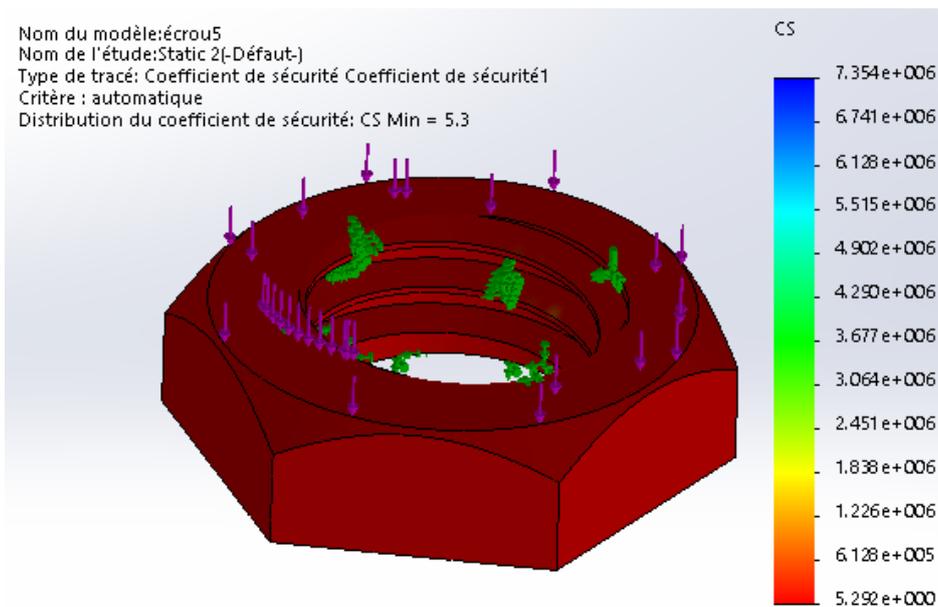


Figure III.24 : Distribution du coefficient de sécurité sur l'écrou

Conclusion :

Après avoir mené l'étude, la conception et la simulation du tambour et du système de levage, nous avons examiné en détail les paramètres, les facteurs et les étapes de cette démarche. Les résultats obtenus ont été présentés, discutés et validés. À partir de ce chapitre, il est évident que pour assurer une conception efficace d'un système de levage stable et sécurisé, il est impératif de prendre en considération plusieurs paramètres essentiels. Parmi ceux-ci, nous soulignons notamment les caractéristiques géométriques et mécaniques de la pièce à lever, ainsi que le choix approprié des matériaux pour chaque composant du système. Cette approche proactive garantit non seulement la performance optimale du système de levage, mais également sa fiabilité et sa sécurité dans diverses situations

d'utilisation. En intégrant ces considérations dès les premières étapes de conception, les ingénieurs peuvent s'assurer que le système de levage répondra aux exigences spécifiques tout en minimisant les risques potentiels et en assurant une exploitation efficace à long terme.

Conclusion générale

Les tours à transfert vertical (DVT) se distinguent comme des acteurs incontournables dans l'univers de l'usinage mécanique. Leur conception unique, associant verticalité et mouvement du chariot, leur confère une polyvalence exceptionnelle, permettant de réaliser avec précision une multitude d'opérations telles que le tournage, le perçage et le fraisage.

L'intégration d'un bras de levage dans un tour à transfert vertical s'avère cruciale pour optimiser l'ergonomie et la productivité du système. Ce bras joue un rôle essentiel dans la machine DVT.

Ce travail effectué au sein de l'entreprise SNVI avait pour objectif d'étudier la faisabilité de construire un bras de levage pour un tambour de frein.

Les démarches de cette étude ont été articulées autour de trois axes principaux répondant au cahier des charges exigé par cette entreprise :

Premièrement, notre étude a débuté par une description exhaustive de la machine DVT, suivie d'une analyse fonctionnelle approfondie du bras de levage de tambour, afin d'en garantir l'efficacité et d'apporter une valeur ajoutée à l'entreprise.

Deuxièmement, notre analyse s'est concentrée sur l'étude des principaux éléments, fonctions, types et caractéristiques de chaque composant du système de levage, ainsi que sur les différents types de matériaux utilisés pour chaque élément. Après cette analyse, nous avons finalisé la conception du bras de levage le plus adapté à notre étude.

Finalement, la conception du bras de levage ainsi que tous les éléments intégrés au bras ont été réalisés via le logiciel de conception SolidWorks® et la simulation du comportement de l'ensemble du système a été effectuée à l'aide du logiciel SolidWorks Simulation. Les résultats obtenus ont été présentés, discutés et approuvés.

Ce projet nous a permis de nous immerger dans le monde réel de l'industrie au sein d'une grande entreprise nationale, nous exposant à un large éventail de concepts fondamentaux en conception mécanique. Cette expérience nous motive à proposer la mise en œuvre de ce système afin d'approfondir davantage notre compréhension de ce domaine et de continuer à explorer ses diverses facettes.

Références Bibliographie

[1] : “ Welmac_NF_FFG_DVT_840D_OP_D_V1.0.3_FR.docx ” document interne SNVI

[2] : Plan de pièce, "Tambour de frein ", Bibliothèque, document interne SNVI.

[3] : Dassault Systèmes, " Guide de l'étudiant du logiciel SolidWorks®", Série : Conception mécanique et Technologie, Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, une société de Dassault Systèmes S.A., 300 Baker Avenue, Concord, Mass. 01742 USA.1995-2010.
https://www.solidworks.com/sw/docs/Student_WB_2011_FRA.pdf

[4] : Résulte de SolidWorks®

[5] : [Bricovis](<https://www.bricovis.fr>)

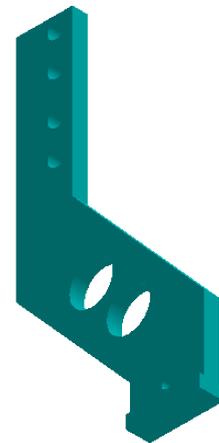
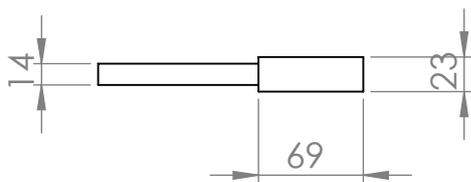
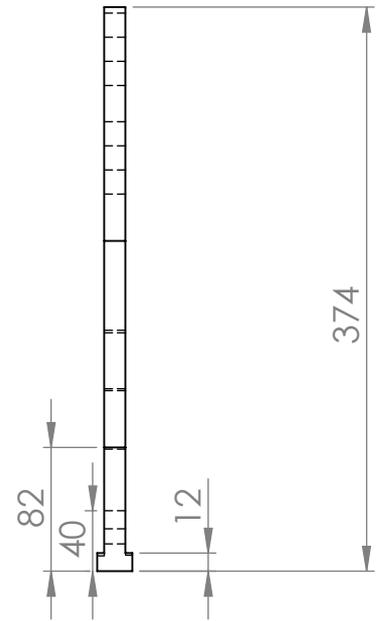
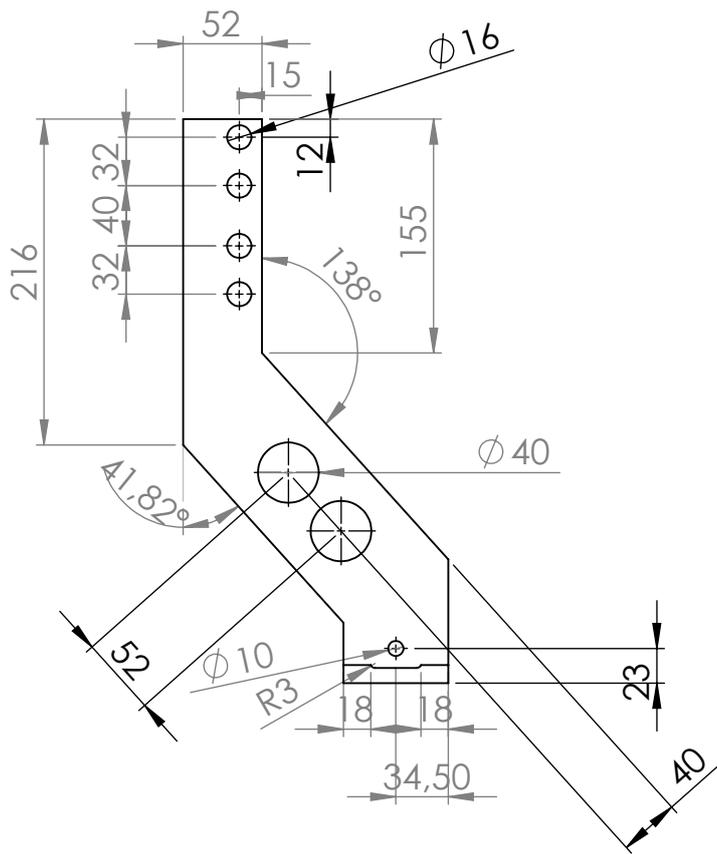
[6] : XiaojunYe, "Modélisationetsimulationdessystèmesdeproduction:uneapproche orientée-objets" Modélisation et simulation. INSA de Lyon, 1994. Français. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00821121/document>

[7] : Visiativ-solutions, "SolidWorks simulation", Matrice SolidWorks Simulation, Prérequis techniques pour SolidWorks Simulation, Services associés, Documents associés, MultiMedia.
<https://www.visiativ-solutions.fr/solidworks-simulation/>

[8] : Dassault Systèmes, "An Introduction to Stress Analysis Applications with SolidWorks Simulation, Student Guide", Engineering Design and Technology Series, SolidWorks Corporation,DassaultSystèmesSolidWorksCorporation,aDassaultSystèmesS.A.company, 300 Baker Avenue, Concord,Mass. 01742 USA, 2010. <http://www.solidworks.com/education>

[9] : Robert Warren "6 Steps to your first SOLIDWORKS Simulation", Guide SolidWorks Simulation, August 13, 2019. <https://www.cati.com/blog/2019/08/6-steps-to-your-first-solidworks-simulation/>

Annexe

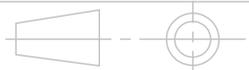


Matériau : AISI 1045 Acier étiré a froids

Faculté de Technologie

Echelle : 1/5

2024-05-26



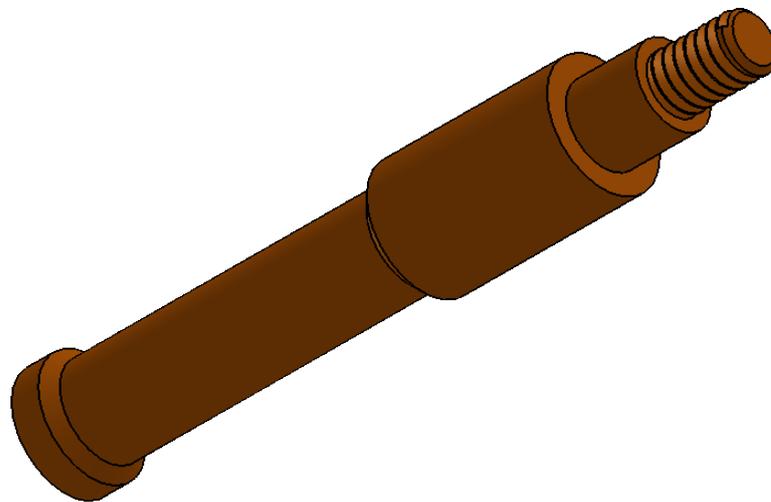
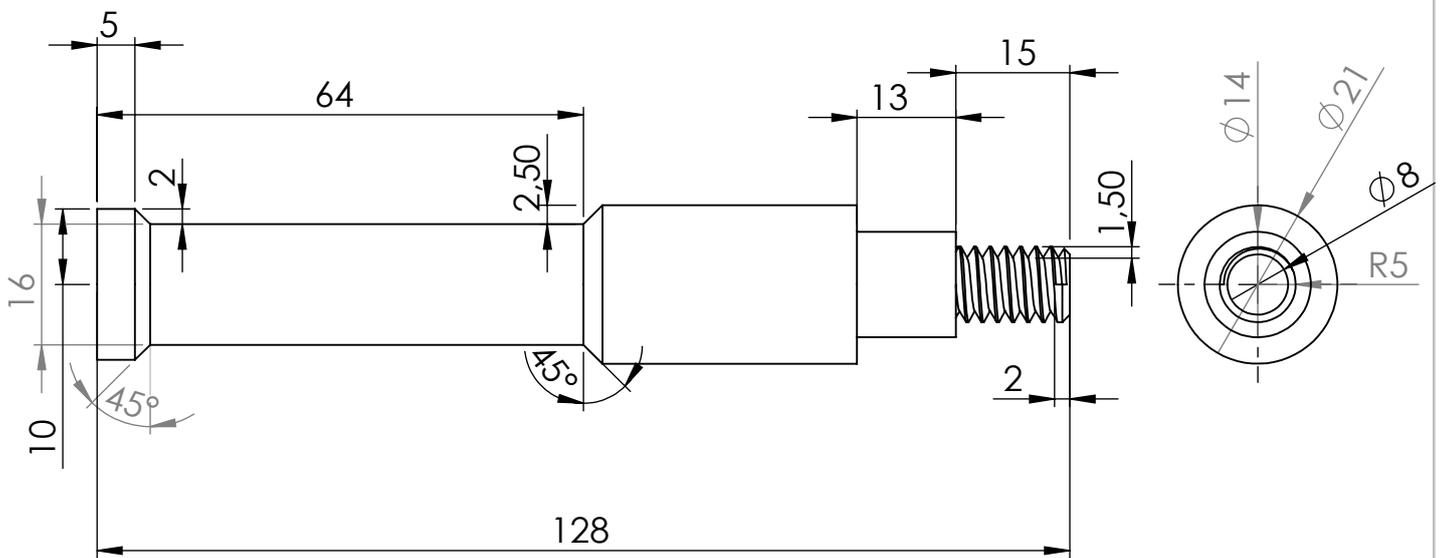
Bras

DEHIMENE AMEL

A4

Construction mécanique

AZZOUN MANEL



Matériau : AISI 1045 Acier étiré a froids

Faculté de Technologie

Echelle : 1/1

Doigt

2024-05-26

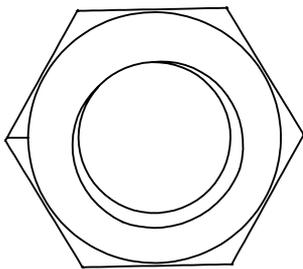
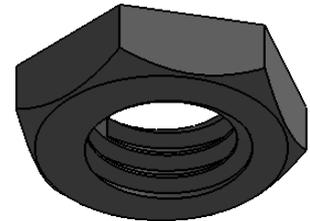
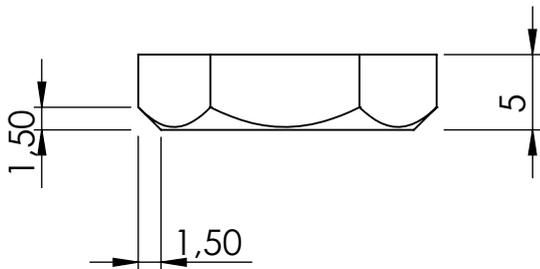
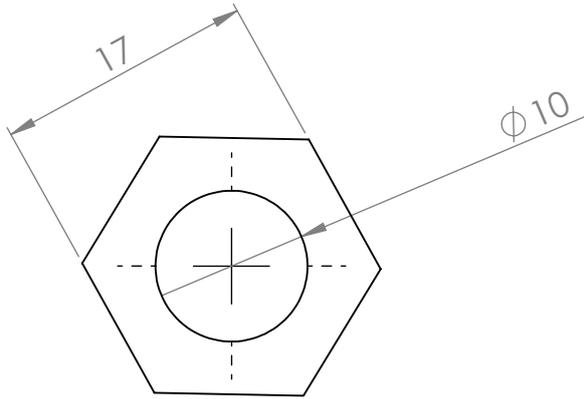


DEHIMENE AMEL

A4

Construction mécanique

AZZOUN MANEL



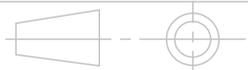
Matériau : AISI 4340 normalisé

Faculté de Technologie

Echelle : 2/1

2024-05-26

Ecros



DEHIMENE AMEL

A4

Construction mécanique

AZZOUN MANEL