

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب

Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib

Faculté des Sciences et de Technologie

Département de Génie Mécanique



Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme de Master en : Génie des matériaux

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Génie des matériaux

THEME

Réalisation d'une presse pour la récupération plastique

Présenté Par

M. MEKHISSI Abdelkader

M. BENARBIA Kheireddine

Soutenue le : 28/09/2026

Devant le jury composé de :

Dr Dorbane Abdelhakim	MCA UAT.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr Ouari Mohamed Amine	MCB UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
Dr Elahmar Kadi	MCB UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
Dr Belghoul hakima	MCB UAT.B.B (Ain Temouchent)	Co-Encadrant

Année Universitaire 2026/2027

Remerciements

Tout d'abord nous remercions le bon dieu de nous avoir accordé la santé, le courage et Surtout la volonté pour réaliser ce modeste travail

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à madame

Dr. KADI EL-AHMAR , pour avoir accepté de diriger avec beaucoup d'attention et de soin notre travail, nous lui très reconnaissants pour son soutien, son aide et sa gentillesse. Nous espérons qu'elle trouve ici l'expression de nos profondes gratitude.

Nos plus vifs remerciements aux membres de jury

Dr. Dorbane Abdelhakim qui a accepté de présider ce jury,

Dr. Ouari Mohamed Amine d'avoir bien voulu examiner ce travail.

Nous profitons l'occasion pour remercier du fond du cœur toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Nous remercions aussi tous nos enseignants qui nous ont suivis le long de nos études

Merci à tous.

Dédicaces

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, Je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

*À mes chers parents,
pour leur amour, leur soutien, leurs encouragements et leurs sacrifices qui m'ont permis d'avancer et de mener à bien mes études. Que Dieu les protège et les garde toujours à mes côtés.*

À mes enseignants et à tous ceux qui ont contribué à ma formation, pour leurs conseils, leurs connaissances et leurs encouragements.

À mes amis et à toutes les personnes qui m'ont soutenue, de près ou de loin, durant les différentes étapes de ce parcours.

À notre amie MARWA BRIKI, pour son aide précieuse, sa disponibilité et ses encouragements tout au long de la réalisation de ce mémoire.

MEKHISSI & BENARBIA

Résumé

Ce mémoire de fin d'études présente la conception et la réalisation d'une presse domestique pour bouteilles en plastique, destinée à faciliter le recyclage et la gestion des déchets ménagers. Ce produit répond à un besoin croissant sur le marché algérien, où la consommation de plastique est importante et les solutions de tri sélectif encore limitées.

Compacte, simple d'utilisation et économique, cette presse offre aux foyers un outil pratique pour réduire le volume des déchets plastiques, contribuant ainsi à une meilleure valorisation des matériaux et à la protection de l'environnement. Elle représente une alternative locale innovante, adaptée aux contraintes économiques et sociales du pays, et ouvre la voie à une sensibilisation accrue au recyclage domestique.

Summary

This final-year thesis presents the design and development of a domestic press for plastic bottles, intended to facilitate recycling and the management of household waste. This product responds to a growing need in the Algerian market, where plastic consumption is significant and selective waste-sorting solutions are still limited.

Compact, easy to use, and economical, this press provides households with a practical tool for reducing the volume of plastic waste, thereby contributing to better material recovery and environmental protection. It represents an innovative local alternative, adapted to the economic and social constraints of the country, and paves the way for greater awareness of domestic recycling.

Sommaire

Remerciements

Dédicases

Resume

Summary

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I: ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE & ÉTAT DE L'ART..... 3

1.INTRODUCTION.....3

2 GÉNÉRALITÉS SUR LES MATIÈRES PLASTIQUES 3

2.1. DÉFINITION DES POLYMÈRES 3

2.2. CLASSIFICATION DES MATIERES PLASTIQUES 3

2.2.1. LES THERMOPLASTIQUES..... 4

2.2.2. LES THERMODURCISSABLES 4

2.2.3. LES ÉLASTOMÈRES..... 4

3. LES PLASTIQUES UTILISÉS DANS LA RÉCUPÉRATION..... 5

3.1. LE PET (POLYÉTHYLÈNE TÉRÉPHTALATE)..... 5

3.1.1. DEFINITION..... 5

3.1.2. STRUCTURE 5

3.1.3. PROPRIETES PHYSIQUES ET MECANIQUES..... 6

3.2. LE POLYETHYLENE HAUTE DENSITE (PEHD)..... 7

3.2.1. DEFINITION..... 7

3.2.2. STRUCTURE 7

3.2.3. PROPRETIE PHYSIQUES ET MECANIQUES 7

4. COMPORTEMENT MÉCANIQUE DES PLASTIQUES SOUS CONTRAINTE .. 8

4.1. DEFORMATION PLASTIQUE 8

4.2. REACTIVITE ELASTIQUE (SPRING-BACK) 8

5. TECHNOLOGIES ACTUELLES DE COMPACTAGE DES DÉCHETS
PLASTIQUES 9

5.1. PRESSES MANUELLES..... 10

5.2. LES PRESSES MECANIQUES 11

5.3. LES PRESSES HYDROLIQUES 12

5.4. LES PRESSES PNEUMATIQUES..... 13

5.5. COMPARAISON DES PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT 14

5.6. ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES EXISTANTS 14

5.6.1. EFFORT DE COMPRESSION REQUIS	14
5.6.2. COÛT DES SYSTÈMES.....	15
5.6.3. ENCOMBREMENT DES SYSTÈMES	16
5.6.4. SYNTHÈSE COMPARATIVE	16
6. ÉTUDE ET CHOIX DE LA SOLUTION TECHNIQUE.....	17
6.1. IDENTIFICATION DU BESOIN	17
6.2. DÉFINITION DES EXIGENCES FONCTIONNELLES ET TECHNIQUES..	18
6.2.1. EXIGENCES FONCTIONNELLES	18
6.2.2. EXIGENCES TECHNIQUES	18
6.2.2.1. Effort de compression	18
6.2.2.2. Capacité de la chambre	19
6.2.2.3. Course du système de compression	19
6.2.2.4. Résistance de la structure.....	19
6.2.2.5. Simplicité et fiabilité.....	19
6.2.2.6. Sécurité	19
6.2.2.7. Coût et disponibilité.....	20
6.2.8. SYNTHÈSE DES EXIGENCES	20
6.3. CRITERES DE CHOIX DE LA SOLUTION.....	20
6.4. ÉTUDE DES SOLUTIONS ENVISAGEABLES POUR LE PROJET.....	21
6.4.1. SOLUTION MANUELLE.....	21
6.4.2. SOLUTION HYDRAULIQUE	22
6.4.3. SOLUTION PNEUMATIQUE.....	22
6.4.4. SYNTHESE DE L'ETUDE DES SOLUTIONS	23
6.4.5. CHOIX ET JUSTIFICATION DE LA SOLUTION MANUELLE RETENUE	23
7.CONCLUSION.....	23
CHAPITRE II: CAHIER DES CHARGES ET CHOIX DES MATERIAUX.....	24
1.INTRODUCTION.....	24
2. CAHIER DES CHARGES.....	24
2.1. PRESENTATION DU BESOIN	24
2.2. FONCTION PRINCIPALE	25
2.3. OBJECTIFS DE CONCEPTION	25
2.4. EFFORT DE CONCEPTION.....	26

2.4.1. CONTRAINTES MÉCANIQUES :	26
2.4.2. CONTRAINTES GEOMETRIQUES :	26
2.4.3. CONTRAINTES DE FABRICATION :	26
2.4.4. CONTRAINTES ECONOMIQUES :	26
2.4.5. CONTRAINTES DE SECURITE :	26
2.5. PARAMETRES RETENUS.....	26
2.6. ESTIMATION DE LA FORCE DE COMPACTAGE	27
3. EFFORT DE CONCEPTION	28
4. SELECTION ET CHOIX DES MATERIAUX	28
4.1. ACIER STRUCTURAL S235.....	28
4.2. ALLIAGE D'ALUMINIUM 6061-T6	29
4.3. ACIER INOXYDABLE 304	29
4.4. COMPARAISON DES MATERIAUX.....	29
4.5. CHOIX FINAL : ACIER S235	30
4.6. CHOIX DU PLATEAU DE COMPRESSION	30
5.CONCLUSION	30
CHAPITRE III: CONCEPTION, DIMENSIONNEMENT ANALYTIQUE ET SIMULATION NUMÉRIQUE DE LA PRESSE.....	32
1.INTRODUCTION.....	32
2. DIMENSIONNEMENT ANALYTIQUE ET CALCULS MECANQUES (RDM) 32	
2.1. MODELISATION MECANIQUE ET ANALYSE DES EFFORTS DU SYSTEME A LEVIER.....	32
2.1.1. ANALYSE DU RAPPORT D'AMPLIFICATION DE FORCE ($k =$ $F_{comp}/F_{manuelle}$) :.....	32
2.1.2. ÉQUILIBRE STATIQUE DES SOLIDES :.....	33
2.2. CALCUL DE RESISTANCE DES MATERIAUX (RDM) DU BATI ET DES COMPOSANTS :	34
2.2.1. VERIFICATION A LA FLEXION DU PLATEAU DE COMPRESSION 34	
2.2.2. VERIFICATION AU CISAILLEMENT DES AXES ET RIVETS (Ø6.5 MM).....	35
2.2.3. VERIFICATION DE LA COMPRESSION DU CHASSIS VERTICAL (PROFILE U) :.....	36
2.3. ÉTUDE DU RISQUE DE FLAMBEMENT (BUCKLING) DES BRAS DE LIAISON	36

2.3.1. DONNEES CARACTERISTIQUES DU COMPOSANT	37
2.3.2. MOMENT D'INERTIE MINIMAL (<i>I_{min}</i>) :	37
2.3.3. CALCUL DE LA CHARGE CRITIQUE D'EULER (<i>F_{cr}</i>) :.....	37
2.3.4. VERIFICATION DE LA CONDITION DE NON-FLAMBEMENT :.....	37
3. CONCEPTION ET MODELISATION 3D SOUS SOLIDWORKS :.....	38
3.1. ARCHITECTURE GENERALE ET DESCRIPTION FONCTIONNELLE DU SYSTEME :.....	38
3.2. DESCRIPTION DETAILLEE DES SOUS-ENSEMBLES ET COMPOSANTS :	39
3.2.1. LE BATI / CHASSIS VERTICAL (PROFILE U) :.....	39
3.2.2. LE LEVIER DE MANŒUVRE :	39
3.2.3. LES BIELLETES DE TRANSMISSION :	40
3.2.5. LA BASE D'APPUI STRIEE :	41
3.2.6. LA POIGNEE DE MANŒUVRE :	42
3.3. ÉTUDE CINEMATIQUE ET POSITIONS DE FONCTIONNEMENT	42
3.3.1. POSITION 1 : POSITION HAUTE / CHARGEMENT :	42
3.3.2. POSITION 2:	43
3.3.3. POSITION 3 : POSITION HAUTE PRESSION / COMPACTAGE FINAL :	44
3.4. SCHEMA D'ASSEMBLAGE ET ORDRE DE MONTAGE:	45
3.4.1. FIXATION DU CHASSIS SUR SA BASE	45
3.4.2. MONTAGE DU PLATEAU DE COMPRESSION DANS LE CHASSIS.	45
3.4.3. MONTAGE DU LEVIER DE MANŒUVRE	46
3.4.4. MONTAGE DES BIELLETES DE TRANSMISSION.....	46
3.4.5. ASSEMBLAGE DE LA POIGNEE DE MANŒUVRE	46
4. SIMULATION NUMERIQUE PAR ÉLÉMENTS FINIS (FEA / SOLIDWORKS SIMULATION).....	47
4.1. MAILLAGE DU MODELE (MESHING)	47
4.2. ANALYSE DES RESULTATS DE SIMULATION (POST-PROCESSING)..	47
4.2.1. DISTRIBUTION DES CONTRAINTES DE VON MISES	47
4.2.2. ANALYSE DES DEPLACEMENTS GLOBAUX	49
4.2.3. DISTRIBUTION DES DEFORMATIONS EQUIVALENTES	49
4.2.4. SYNTHÈSE ET COMPARAISON (RDM ANALYTIQUE VS FEA NUMERIQUE)	50

5.CONCLUSION.....	51
CHAPITRE IV: PROCÉDÉS DE FABRICATION & ASSEMBLAGE DU PROTOTYPE.....	57
1.INTRODUCTION.....	57
2. ÉTUDE DES MATERIAUX ET APPROVISIONNEMENT	57
3. GAMME DE FABRICATION DETAILLEE PAR COMPOSANT	57
3.1. LE BATI / CHASSIS VERTICAL.....	57
3.1.1. OPERATIONS DE DEBITAGE ET PROFILAGE :	58
3.1.2. PERÇAGES ET USINAGE DES LIAISONS :	58
3.1.3. PREPARATION DES RIVES :	58
3.2. LE LEVIER DE MANŒUVRE	58
3.2.1. OPERATIONS DE DEBITAGE (DECOUPE) :	58
3.2.2. OPERATION DE PLIAGE (DEPORT / CAMBRAGE) :	58
3.2.3. USINAGE DES ALESAGES (PERÇAGE) :	59
3.2.4. FINITION DES CONTOURS :	59
3.3. LES BIELLETES DE TRANSMISSION	59
3.3.1. OPERATIONS DE DEBITAGE (DECOUPE) :	59
3.3.2. USINAGE DES ALESAGES (PERÇAGE) :	59
3.3.3. ÉBAVURAGE ET FINITION :	59
3.4. LE PLATEAU DE COMPRESSION COULISSANT	59
3.4.1. OPERATIONS DE DEBITAGE (DECOUPE A PLAT) :	60
3.4.2. OPERATIONS DE PLIAGE :	60
3.4.3. USINAGE DES ALESAGES (PERÇAGE) :	60
3.4.4. ASSEMBLAGE ET FINITION :	60
3.5. LA BASE D'APPUI STRIEE	60
3.5.1. OPERATIONS DE DEBITAGE ET DE PROFILAGE :	60
3.5.2. REALISATION DES STRIES (ESTAMPAGE / FORMAGE) :	60
3.5.3. OPERATIONS DE PLIAGE :	61
3.5.4. USINAGE DES ALESAGES (PERÇAGE) :	61
3.5.5. FINITION ET EBAVURAGE :	61
3.6. LA POIGNEE DE MANŒUVRE.....	61
4. PREPARATION DES SURFACES ET FINITION :	61
4.1. DEGRAISSAGE :	62

4.2. ÉBAVURAGE ET PREPARATION FINALE :	62
4.3. APPLICATION DE LA PEINTURE ANTI-CORROSION :	62
5. TECHNIQUES D'ASSEMBLAGE ET MONTAGE DU PROTOTYPE.....	62
5.1. ASSEMBLAGE PERMANENT (SOUDAGE DU CHASSIS ET DE LA BASE)	62
5.1.1. TECHNIQUE DE SOUDAGE :	62
5.1.2. PREPARATION DES JOINTS :	62
5.1.3. CONTROLE VISUEL :	63
5.2. ASSEMBLAGE DEMONTABLE ET INTEGRATION DE LA CINEMATIQUE (MISE EN PLACE DES AXES, BIELLETES ET LIAISONS PIVOTS).....	63
5.2.1. MISE EN PLACE DE LA CINEMATIQUE :	63
5.2.2. TRANSFORMATION DU MOUVEMENT :	63
5.2.3. LIAISONS PIVOTS ET SECURISATION :	63
5.3. CONTROLE DE L'ALIGNEMENT ET DES JEUX FONCTIONNELS.....	63
6. ESSAIS DE VALIDATION ET MISE EN SERVICE	64
7.CONCLUSION.....	64
CONCLUSION GENERALE	65

LISTE DE FIGURES

Figure I.1: Structure chimique du polyéthylène téréphtalate (PET).....	5
Figure I.2: phénomène de retour élastique (spring-back) après compression	9
Figure I.3: Exemple d'une presse manuelle destinée au compactage des bouteilles plastiques	10
Figure I.4: Exemple d'une presse mécanique	11
Figure I.5: Exemple d'une presse hydraulique	12
Figure I.6: exemple d'une presses pneumatiques.....	13
Figure III.7: dessin 3d de chassis	39
Figure III.8: dessin 3d de levier	40
Figure III.9: dessin 3d de biellettes	40
Figure III.10: dessin 3d de plateau de compression.....	41
Figure III.11: dessin 3d de la base	41
Figure III.12: dessin 3d de poignee.....	42
Figure III.13: assemblage en position 1	43
Figure III.14: assemblage en position 2	44
Figure III.15: assemblage en position 3	45
Figure III.16: Distribution des contraintes de Von Mises.....	48
Figure III.17: Carte des déplacements globaux de la structure (URES).	49
Figure III.18: Distribution des déformations équivalentes (ESTRN).	50

LISTE DE TABLEAUX

Tableau I.1: Principales propriétés physiques et mécaniques du PET	7
Tableau I.2: Principales propriétés physiques et mécaniques du PEHD	8
Tableau I.3: Comparaison des principes de fonctionnement des différentes presses de compactage	14
Tableau I.4: Analyse comparative des systèmes de compactage	17
Tableau I.5: Synthèse des exigences fonctionnelles et techniques de la presse.....	20
Tableau II.6: Spécifications fonctionnelles et techniques de la presse manuelle pour le compactage des bouteilles PET	27
Tableau II.7: Comparaison des caractéristiques des matériaux retenus pour la structure de la presse	29
Tableau III.8: Validation des résultats de dimensionnement par comparaison entre la RDM et la simulation FEA.	51

INTRODUCTION GENERALE

Le plastique occupe aujourd'hui une place importante dans notre quotidien en raison de ses nombreuses propriétés. Il est léger, résistant, facile à façonner et relativement peu coûteux, ce qui explique son utilisation dans de nombreux domaines, notamment dans l'emballage, l'industrie, le transport et les usages domestiques. Cependant, l'augmentation continue de sa consommation entraîne une production considérable de déchets plastiques. Leur gestion constitue aujourd'hui un enjeu environnemental majeur, notamment en raison de leur faible biodégradabilité. Une grande partie de ces déchets se dégrade très lentement et peut ainsi contribuer à la pollution durable des sols, des eaux et des espaces naturels.

Face à cette problématique, la récupération et le recyclage des matières plastiques représentent des solutions importantes pour limiter leur impact sur l'environnement. Ces opérations permettent non seulement de réduire la quantité de déchets rejetés dans la nature, mais également de récupérer les matières valorisables et de leur donner une seconde vie. Le processus de recyclage comprend généralement plusieurs étapes, telles que la collecte, le tri, le broyage, le compactage et la transformation des matières plastiques. Parmi ces différentes étapes, le compactage joue un rôle particulièrement important, car il permet de réduire le volume des déchets et de faciliter leur manipulation, leur stockage et leur transport.

Dans ce contexte, la réalisation d'une presse destinée à la récupération du plastique constitue une solution technique intéressante. La presse permet de compacter les déchets plastiques et de faciliter leur mise en forme avant les étapes suivantes du processus de recyclage. En réduisant considérablement le volume des matières récupérées, elle contribue à optimiser leur stockage et leur transport, tout en facilitant leur manipulation. La conception d'un tel équipement nécessite toutefois la prise en compte de plusieurs paramètres techniques, notamment la force de compression nécessaire, les dimensions de la chambre de pressage, la course du système de compression, le choix du système

d'entraînement, la résistance des matériaux utilisés ainsi que les exigences liées à la sécurité de l'utilisateur.

Le choix d'une solution adaptée doit également tenir compte de la simplicité de conception et de fabrication, du coût de réalisation, de la disponibilité des matériaux et des composants, ainsi que de la facilité d'utilisation et de maintenance. Dans le cadre de ce projet, une attention particulière est accordée à la conception d'une presse simple et fonctionnelle, pouvant répondre aux besoins de la récupération des déchets plastiques tout en restant adaptée aux contraintes économiques et techniques locales.

Ce projet s'inscrit donc dans une démarche à la fois technique, économique et environnementale. Il vise à concevoir et réaliser un équipement destiné au compactage des déchets plastiques, en recherchant un compromis entre efficacité, simplicité, coût et sécurité. La réalisation de cette presse contribue ainsi à la valorisation des déchets plastiques et s'inscrit dans une approche visant à encourager leur récupération et leur recyclage.

CHAPITRE I :

Etude bibliographique & Etat de l'Art

I.ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE & ÉTAT DE L'ART

1.Introduction :

Ce premier chapitre constitue une étude bibliographique et un état de l'art indispensables pour appréhender les fondements théoriques et techniques liés à notre projet. Dans un premier temps, nous présentons les généralités sur les matières plastiques, en mettant en évidence la classification des polymères (thermoplastiques, thermodurcissables et élastomères) ainsi que les propriétés spécifiques des matériaux les plus couramment récupérés, à savoir le polyéthylène téréphtalate (PET) et le polyéthylène haute densité (PEHD). Par la suite, nous analysons le comportement mécanique de ces plastiques sous contrainte, notamment les phénomènes de déformation plastique et de retour élastique (*spring-back*), qui influencent directement l'efficacité du compactage. Enfin, une vue d'ensemble des technologies actuelles de réduction de volume des déchets (presses manuelles, mécaniques, hydrauliques et pneumatiques) est dressée afin de comparer leurs principes de fonctionnement, leurs avantages et leurs limites, et ainsi orienter le choix de la solution technique la plus adaptée à notre application.

2. GÉNÉRALITÉS SUR LES MATIÈRES PLASTIQUES

2.1. DÉFINITION DES POLYMÈRES

Les polymères sont des substances constituées de macromolécules, c'est-à-dire de très grandes molécules formées par la répétition d'unités chimiques plus petites appelées monomères. Ces unités se lient entre elles au cours du processus de polymérisation pour former de longues chaînes moléculaires. Selon l'Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC), une macromolécule est une molécule de masse moléculaire élevée dont la structure comprend essentiellement la répétition multiple d'unités dérivées, réellement ou conceptuellement, de molécules de faible masse moléculaire.

Les polymères peuvent être d'origine naturelle, tels que les protéines, l'amidon, la cellulose et l'ADN, ou d'origine synthétique. Les polymères synthétiques constituent aujourd'hui une classe importante de matériaux grâce à la diversité de leurs propriétés physiques et mécaniques et à leurs nombreuses applications industrielles [1].

2.2. CLASSIFICATION DES MATIÈRES PLASTIQUES

Les matières plastiques peuvent être regroupées en différentes catégories en fonction de plusieurs critères, tels que leur origine, leur structure moléculaire et leur comportement

lorsqu'elles sont soumises à une élévation de température. Selon leur origine, on distingue principalement les polymères naturels, semi-synthétiques et synthétiques. En fonction de leur structure, les chaînes macromoléculaires peuvent être linéaires, ramifiées ou réticulées.

Selon leur comportement thermique, les matières plastiques sont généralement réparties en trois grandes familles : les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères [2-3].

2.2.1. LES THERMOPLASTIQUES

Les thermoplastiques sont des polymères qui peuvent se ramollir ou se liquéfier sous l'effet de la chaleur, puis retrouver leur état solide après refroidissement. Cette transformation peut être répétée plusieurs fois, ce qui permet de les mettre en forme à plusieurs reprises et constitue une propriété favorable à leur recyclage. Parmi les thermoplastiques les plus courants figurent le polyéthylène (PE), le polypropylène (PP), le polychlorure de vinyle (PVC) et le polyéthylène téréphtalate (PET). Le polyéthylène haute densité (PEHD) appartient également à cette catégorie [3-4].

2.2.2. LES THERMODURCISSABLES

Les thermodurcissables sont des polymères qui acquièrent une structure rigide et fortement réticulée au cours de leur mise en forme. Après leur durcissement, ils ne peuvent généralement plus être ramollis ni remodelés par chauffage. Une exposition à une température élevée peut plutôt provoquer leur dégradation. Les résines époxy et les résines phénoliques constituent des exemples courants de matériaux thermodurcissables [3-4].

2.2.3. LES ÉLASTOMÈRES

Les élastomères sont des polymères caractérisés par leur capacité à subir des déformations importantes sous l'effet d'une force extérieure et à retrouver, après suppression de cette force, une forme proche de leur état initial. Cette propriété est liée à leur structure moléculaire et à la présence de liaisons entre les chaînes polymériques. Le caoutchouc

naturel, certains caoutchoucs synthétiques et les élastomères silicones sont des exemples de cette famille [3].

3. LES PLASTIQUES UTILISÉS DANS LA RÉCUPÉRATION

3.1. LE PET (POLYÉTHYLÈNE TÉRÉPHTALATE)

3.1.1. DEFINITION

Le polyéthylène téréphtalate, généralement abrégé **PET**, est un polymère thermoplastique appartenant à la famille des polyesters. Il est principalement produit par une réaction de polycondensation faisant intervenir l'acide téréphtalique et l'éthylène glycol. Grâce à l'association de bonnes propriétés mécaniques, thermiques et chimiques, ce matériau est largement utilisé dans plusieurs applications industrielles, en particulier dans le domaine de l'emballage [5-6].

3.1.2. STRUCTURE

La structure moléculaire du PET est constituée de longues chaînes polymériques contenant des groupements ester. Ces chaînes résultent de l'association répétée de l'acide téréphtalique et de l'éthylène glycol. Selon les conditions de fabrication et de refroidissement, le PET peut présenter une structure amorphe ou semi-cristalline. Son organisation moléculaire influence directement ses propriétés mécaniques, thermiques et sa résistance chimique [5-7].

Polyethylene terephthalate (PET)

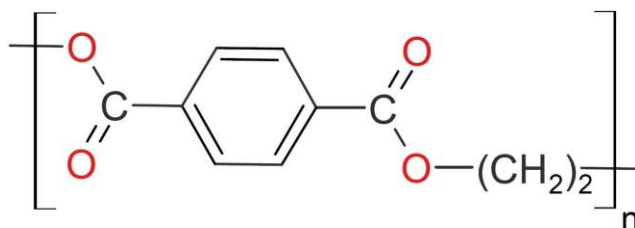


Figure I.1: Structure chimique du polyéthylène téréphtalate (PET)

3.1.3. PROPRIETES PHYSIQUES ET MECANIQUES

Le PET possède un ensemble de propriétés physiques et mécaniques qui expliquent son utilisation dans de nombreux domaines industriels, notamment dans la fabrication des emballages. Il présente une bonne stabilité dimensionnelle ainsi qu'une masse volumique relativement élevée par rapport à plusieurs autres polymères thermoplastiques. Sous sa forme amorphe, le PET peut être transparent, tandis que son degré de cristallinité influence son aspect ainsi que certaines de ses propriétés. Il présente également une bonne résistance à plusieurs agents chimiques. Sa température de transition vitreuse se situe généralement autour de 70 à 85 °C, alors que sa température de fusion est approximativement comprise entre 245 et 260 °C. Ces valeurs peuvent varier selon la structure du matériau et son degré de cristallinité [5-6].

Du point de vue mécanique, le PET se caractérise par une bonne rigidité et une résistance appréciable aux sollicitations mécaniques, notamment à la traction. Il présente également une bonne stabilité dimensionnelle et une résistance satisfaisante à l'usure. Ces caractéristiques lui permettent de conserver ses performances dans différentes conditions d'utilisation. Toutefois, ses propriétés mécaniques peuvent être influencées par plusieurs facteurs, tels que la température, le degré de cristallinité, la masse molaire et les conditions de transformation ou de recyclage [5-7].

Les principales propriétés physiques et mécaniques du PET sont résumées dans le tableau suivant :

Propriété	Valeur indicative
Masse volumique	1,33 – 1,45 g/cm ³
Température de transition vitreuse (T _g)	70 – 85 °C
Température de fusion (T _m)	245 – 260 °C
Résistance à la traction	≈ 47 – 55 MPa
Module d'Young	≈ 1700 – 3100 MPa
Allongement à la rupture	Variable selon le grade

Tableau I.1:Principales propriétés physiques et mécaniques du PET [5-7].

3.2. LE POLYETHYLENE HAUTE DENSITE (PEHD)

3.2.1. DEFINITION

Le polyéthylène haute densité, désigné par l'abréviation PEHD ou HDPE en anglais, est un polymère thermoplastique appartenant à la famille des polyoléfines. Il est obtenu par polymérisation de l'éthylène et se caractérise par une structure présentant un faible degré de ramification. Cette organisation favorise un rapprochement important des chaînes moléculaires et conduit à un degré de cristallinité relativement élevé. Le PEHD est largement utilisé en raison de sa bonne résistance mécanique, de sa faible absorption d'eau et de sa résistance à de nombreux agents chimiques [3-9].

3.2.2. STRUCTURE

La structure chimique du PEHD est constituée principalement de longues chaînes hydrocarbonées formées par la répétition de l'unité $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$. Comparativement à d'autres types de polyéthylène, le PEHD possède des chaînes relativement linéaires et peu ramifiées. Cette faible ramification permet aux chaînes de s'organiser plus facilement les unes par rapport aux autres, ce qui favorise la formation de zones cristallines. Le degré de cristallinité du PEHD influence directement plusieurs de ses propriétés, notamment sa rigidité, sa résistance mécanique et sa stabilité dimensionnelle [3-10].

3.2.3. PROPRIÉTÉ PHYSIQUES ET MECANIQUES

Le PEHD se caractérise par une faible absorption d'eau, une bonne stabilité dimensionnelle et une bonne résistance aux agents chimiques. Il présente également une température de fusion relativement basse par rapport à celle du PET. Sur le plan mécanique, ce matériau possède une bonne rigidité, une résistance appréciable à la traction et aux chocs, ainsi qu'une bonne résistance à l'usure. Son comportement sous charge dépend notamment de la température, de la vitesse de sollicitation et de la durée d'application de l'effort [3-10].

Les principales propriétés physiques et mécaniques du PEHD sont présentées dans le tableau suivant:

Propriété	Valeur indicative
-----------	-------------------

Masse volumique	0,94 – 0,97 g/cm ³
Température de transition vitreuse (T _g)	≈ -100 °C
Température de fusion (T _m)	125 – 135 °C
Résistance à la traction	≈ 18 – 35 MPa
Module d'Young	≈ 700 – 1500 MPa
Absorption d'eau	Faible
Cristallinité	Relativement élevée

Tableau I.2: Principales propriétés physiques et mécaniques du PEHD [3-10].

4. COMPORTEMENT MÉCANIQUE DES PLASTIQUES SOUS CONTRAINTE

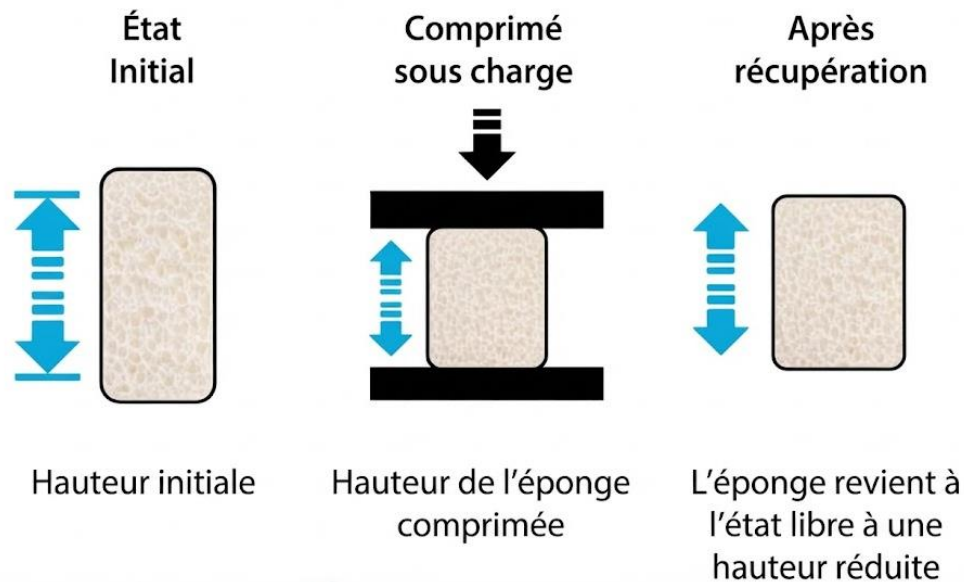
4.1. DEFORMATION PLASTIQUE

Lorsque la sollicitation mécanique dépasse une certaine limite, le comportement du polymère devient en partie irréversible. Une déformation permanente apparaît alors et subsiste après la suppression de la charge. Ce phénomène est appelé **déformation plastique**. Chez les polymères thermoplastiques, cette déformation est liée notamment au déplacement et à la réorganisation des chaînes macromoléculaires ainsi qu'aux mécanismes de déformation au niveau des régions cristallines et amorphes. Le comportement plastique dépend fortement des conditions de sollicitation, notamment de la température et de la vitesse de déformation. Des études expérimentales menées sur le PET et le PEHD montrent que leur réponse mécanique évolue avec ces paramètres [11-12].

4.2. REACTIVITE ELASTIQUE (SPRING-BACK)

Après la suppression de la charge appliquée, un polymère ne conserve pas nécessairement exactement la forme obtenue pendant la déformation. Une partie de la déformation peut être récupérée en raison de la composante élastique du comportement du matériau. Ce phénomène, appelé **retour élastique ou spring-back**, correspond donc à une modification de la forme ou des dimensions du matériau après son déchargement. Chez les polymères, ce comportement peut être particulièrement complexe en raison de leur caractère viscoélastique. Il dépend notamment de la nature du polymère, de la température, de la vitesse de sollicitation, du niveau de déformation et du temps de maintien de la charge [13].

Dans le cas d'une presse destinée à la récupération des déchets plastiques, le retour élastique doit être pris en considération car le matériau peut reprendre partiellement son volume après le retrait du plateau de compression. Cette récupération peut influencer le degré de compactage obtenu et doit donc être considérée lors du choix de la force de



compression et du dimensionnement du système.

Figure I.2: phénomène de retour élastique (spring-back) après compression [14].

5. TECHNOLOGIES ACTUELLES DE COMPACTAGE DES DÉCHETS PLASTIQUES

Le compactage constitue une étape importante dans la gestion et la récupération des déchets plastiques. Il consiste à réduire le volume occupé par les déchets en leur appliquant une force mécanique, afin de faciliter leur stockage, leur manutention et leur transport. Différentes technologies de compactage ont été développées selon la nature des déchets, la force nécessaire, la capacité de traitement et les contraintes liées à l'utilisation du système. Parmi les principales solutions utilisées, on distingue les presses manuelles, hydrauliques et mécaniques, ainsi que certains systèmes à vis. La présentation de ces différentes technologies permet de comparer leurs caractéristiques et d'orienter le choix du système le plus adapté à la réalisation de la presse étudiée dans ce travail.

5.1. PRESSES MANUELLES

Les presses manuelles représentent une solution simple pour réduire le volume des déchets plastiques. Leur fonctionnement repose sur l'application d'un effort mécanique fourni directement par l'opérateur, généralement à travers un levier, une vis ou un cric. Cet effort est transmis à un plateau de compression qui permet de diminuer le volume des déchets placés dans la chambre de compactage [15].

Ces systèmes présentent l'avantage d'être simples, économiques et faciles à entretenir. Ils ne nécessitent généralement ni alimentation électrique ni circuit hydraulique, ce qui les rend adaptés aux petites quantités de déchets. Cependant, leur utilisation demande une intervention humaine et leur capacité de compactage reste limitée par la force que peut fournir l'opérateur [15].

Dans le cadre de ce projet, l'étude des presses manuelles permet d'identifier des mécanismes simples pouvant être adaptés à la réalisation d'une presse destinée à la récupération des déchets plastiques.



Figure I.3: Exemple d'une presse manuelle destinée au compactage des bouteilles plastiques [15].

5.2. LES PRESSES MECANIKES

Les presses mécaniques sont des dispositifs de compactage dans lesquels l'effort est transmis au matériau par l'intermédiaire d'un mécanisme mécanique. Leur fonctionnement repose généralement sur la transformation d'un mouvement de rotation en un mouvement linéaire du plateau de compression, à l'aide d'un système tel qu'une vis, une bielle-manivelle, un excentrique ou une genouillère. Le déplacement du plateau permet ainsi d'exercer une pression sur les déchets plastiques placés dans la chambre de compactage [16].

Le fonctionnement commence par l'introduction des déchets dans la chambre de compression. L'actionnement du mécanisme entraîne le déplacement du plateau, qui comprime progressivement la matière jusqu'à atteindre le niveau de compactage recherché. Le mécanisme est ensuite ramené à sa position initiale après la compression afin de permettre l'extraction des déchets compactés [16].



Figure I.4:Exemple d'une presse mécanique [16].

5.3. LES PRESSES HYDROLIQUES

Les presses hydrauliques sont des dispositifs de compactage utilisant un circuit hydraulique pour générer et transmettre l'effort de compression. Leur principe repose sur l'utilisation d'un fluide sous pression qui agit sur le piston d'un vérin hydraulique. Le déplacement du piston est transmis au plateau de compression, permettant ainsi de réduire le volume des déchets plastiques placés dans la chambre [17].

Le fonctionnement consiste à introduire les déchets dans la chambre de compression, puis à mettre le fluide hydraulique sous pression à l'aide d'une pompe. Le fluide est dirigé vers le vérin, provoquant le déplacement du piston et du plateau de compression. Celui-ci exerce alors un effort sur les déchets jusqu'à obtenir le degré de compactage recherché. Après la compression, le vérin revient à sa position initiale afin de permettre le retrait des déchets compactés [17].



Figure I.5:Exemple d'une presse hydraulique [17].

5.4. LES PRESSES PNEUMATIQUES

Les presses pneumatiques utilisent l'air comprimé comme source d'énergie pour assurer la compression des déchets. Leur principe repose sur l'action de l'air sous pression sur le piston d'un vérin pneumatique. Le mouvement du piston est ensuite transmis au plateau de compression afin d'exercer un effort sur les déchets plastiques contenus dans la chambre [18].

Le fonctionnement débute par le chargement des déchets dans la chambre de compactage. L'air comprimé est ensuite dirigé vers le vérin par l'intermédiaire d'un dispositif de commande, provoquant le déplacement du piston et du plateau de compression. La pression exercée sur les déchets permet de réduire leur volume. Une fois la compression terminée, l'alimentation du vérin est inversée afin de ramener le plateau à sa position initiale [18].



Figure I.6:exemple d'une presses pneumatiques

5.5. COMPARAISON DES PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT

Pour mieux comprendre les différentes technologies étudiées, leur principe de fonctionnement peut être résumé comme suit:

Type de presse	Source de l'effort	Organe de transmission	Mouvement du plateau
Manuelle	Force humaine	Levier / vis / mécanisme articulé	Généralement linéaire
Mécanique	Force humaine ou moteur	Vis / bielle-manivelle / excentrique	Linéaire
Hydraulique	Pompe hydraulique	Fluide + vérin	Linéaire
Pneumatique	Compresseur	Air comprimé + vérin	Linéaire

Tableau I.3. Comparaison des principes de fonctionnement des différentes presses de compactage [15–18].

5.6. ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES EXISTANTS

L'analyse des différentes technologies de compactage des déchets plastiques permet de comparer les systèmes existants selon plusieurs critères techniques. Parmi les principaux paramètres à prendre en considération figurent l'effort de compression, le coût du système et son encombrement. Ces critères permettent d'évaluer l'adaptation de chaque technologie aux conditions d'utilisation et aux objectifs recherchés.

5.6.1. EFFORT DE COMPRESSION REQUIS

L'effort nécessaire au compactage des déchets plastiques dépend de plusieurs facteurs, notamment de la nature du matériau, de la quantité de déchets introduite dans la chambre, de leurs dimensions et du degré de compactage recherché. Il n'existe donc pas une valeur unique de l'effort applicable à toutes les presses.

- Dans une presse manuelle, l'effort est fourni directement par l'opérateur et transmis au plateau de compression par l'intermédiaire d'un mécanisme mécanique. La force obtenue dépend notamment de l'effort exercé par l'utilisateur et du rapport de transmission du mécanisme utilisé. Des modèles simples de presses manuelles ont été développés pour le compactage de bouteilles et récipients en PET et PEHD, sans recours à une alimentation électrique [19].
- Dans une presse hydraulique, l'effort de compression est généré par un vérin hydraulique alimenté par un fluide sous pression. La force développée dépend principalement de la pression hydraulique et de la surface du piston du vérin. Cette technologie permet ainsi d'obtenir des efforts de compression importants adaptés au compactage des déchets plastiques [20].
- Dans une presse pneumatique, l'effort est obtenu grâce à l'action de l'air comprimé sur le piston d'un vérin. La force produite dépend principalement de la pression d'alimentation et de la surface du piston. À titre d'exemple, certaines presses pneumatiques destinées au compactage des matières recyclables peuvent développer des efforts de plusieurs milliers de kilogrammes [21].

5.6.2. COÛT DES SYSTÈMES

Le coût d'un système de compactage dépend de sa technologie, de sa capacité, de ses dimensions et de la complexité de ses composants. Il dépend également des équipements auxiliaires nécessaires à son fonctionnement.

La presse manuelle peut être constituée principalement d'un bâti, d'une chambre de compression, d'un plateau mobile et d'un mécanisme de transmission. L'absence de moteur, de pompe ou de circuit sous pression permet de limiter le nombre d'équipements nécessaires à son fonctionnement [19].

Les systèmes mécaniques motorisés nécessitent généralement un ensemble de transmission et, selon leur conception, un moteur et des éléments de commande. Les presses hydrauliques nécessitent quant à elles plusieurs composants tels qu'une pompe, un réservoir, un vérin et un circuit hydraulique. Les presses pneumatiques nécessitent une

source d'air comprimé, généralement fournie par un compresseur, ainsi que les éléments de distribution et de commande [20–22].

Ainsi, le coût global d'une presse ne dépend pas uniquement de sa structure mécanique, mais également des équipements nécessaires à la génération et à la transmission de l'effort de compression.

5.6.3. ENCOMBREMENT DES SYSTÈMES

L'encombrement constitue un autre paramètre important lors de la conception ou du choix d'une presse. Il dépend principalement des dimensions de la chambre de compression, de la course du plateau, de la structure porteuse ainsi que des équipements utilisés pour générer l'effort.

Dans les systèmes hydrauliques et pneumatiques, l'installation des équipements auxiliaires, tels que la pompe, le réservoir ou le compresseur, peut augmenter l'espace nécessaire au fonctionnement de l'ensemble. Les dimensions des presses industrielles varient également en fonction de leur capacité de compactage et des dimensions des balles produites [20–22].

Pour une presse destinée à une utilisation à petite échelle, la réduction de l'encombrement constitue donc un élément important dans le choix de la solution technique. Une conception compacte permet de faciliter l'installation, la manipulation et l'utilisation de la machine dans un espace de travail limité.

5.6.4. SYNTHÈSE COMPARATIVE

Les critères étudiés précédemment permettent d'établir une comparaison générale des principales technologies de compactage :

Critères	Presse manuelle	Presse mécanique	Presse hydraulique	Presse pneumatique
Source de l'effort	Force humaine	Mécanisme mécanique	Pression hydraulique	Air comprimé
Effort disponible	Dépend de l'opérateur et du mécanisme	Dépend du mécanisme	Élevé	Dépend du vérin et de la pression

Équipements auxiliaires	Aucun ou très limités	Moteur et transmission selon le système	Pompe, réservoir et circuit hydraulique	Compresseur et circuit pneumatique
Coût relatif	Faible	Moyen	Élevé	Moyen à élevé
Encombrement	Faible à moyen	Moyen	Moyen à important	Moyen à important
Complexité	Faible	Moyenne	Élevée	Moyenne

Tableau I.4: Analyse comparative des systèmes de compactage [19–22].

6. ÉTUDE ET CHOIX DE LA SOLUTION TECHNIQUE

6.1. IDENTIFICATION DU BESOIN

Dans le cadre de ce projet, le besoin consiste à concevoir et réaliser une presse destinée au compactage des déchets plastiques, afin de réduire leur volume et de faciliter leur stockage, leur transport et leur récupération.

La fonction principale de la machine peut ainsi être formulée comme suit :

« Compacter les déchets plastiques afin de réduire leur volume et de faciliter leur stockage, leur transport et leur valorisation. »

Pour répondre à ce besoin, la presse devra intégrer un système de compression capable d'exercer un effort suffisant sur les déchets, tout en permettant leur chargement, leur maintien pendant la compression et leur évacuation après compactage.

L'étude des différentes technologies présentées précédemment montre que plusieurs solutions peuvent répondre à ce besoin, notamment les systèmes mécaniques, hydrauliques et pneumatiques [16-20-21-22]. Cette analyse préalable permet d'orienter le choix vers la solution la plus adaptée aux exigences et aux contraintes spécifiques du présent projet.

6.2. DÉFINITION DES EXIGENCES FONCTIONNELLES ET TECHNIQUES

Après avoir identifié le besoin auquel doit répondre la presse, il est nécessaire de définir les exigences fonctionnelles et techniques permettant d'orienter sa conception. Ces exigences doivent assurer un compromis entre les performances de compactage, la simplicité de réalisation, la sécurité et le coût de la machine.

6.2.1. EXIGENCES FONCTIONNELLES

La presse doit principalement assurer les fonctions suivantes :

- Charger les déchets plastiques dans une chambre de compactage adaptée ;
- Contenir les déchets pendant toute l'opération de compression ;
- Générer et transmettre un effort de compression suffisant pour réduire le volume des déchets ;
- Maintenir les déchets compactés afin d'obtenir un bloc relativement stable ;
- Permettre l'évacuation du bloc compacté après la compression ;
- Assurer la sécurité de l'opérateur pendant les différentes phases de fonctionnement.

La fonction principale peut donc être représentée par la chaîne fonctionnelle suivante :

Déchets plastiques → Chambre de compactage → Effort de compression → Réduction du volume → Bloc compacté

Cette organisation constitue la base de la conception fonctionnelle de la presse.

6.2.2. EXIGENCES TECHNIQUES

Pour assurer les fonctions précédentes, la presse doit satisfaire à plusieurs exigences techniques.

6.2.2.1. Effort de compression

L'effort développé par le système de compression doit être suffisamment important pour provoquer la déformation et la réduction du volume des déchets plastiques. Sa valeur

dépend notamment de la nature du plastique, de sa géométrie, de son état initial et du degré de compactage recherché [12-13].

Dans le cas d'une presse manuelle, cet effort devra être obtenu à partir d'un mécanisme permettant à l'opérateur de transmettre un effort raisonnable tout en générant une force de compression suffisante.

6.2.2.2. Capacité de la chambre

Les dimensions de la chambre doivent être adaptées à la quantité de déchets introduite à chaque cycle. Elles doivent également permettre un chargement et une évacuation relativement simples du matériau compacté.

6.2.2.3. Course du système de compression

La course du plateau presseur doit permettre de réduire suffisamment le volume des déchets tout en évitant une course inutilement importante. Ce paramètre sera déterminé en fonction des dimensions de la chambre et du taux de compactage recherché.

6.2.2.4. Résistance de la structure

Le bâti, le plateau presseur et les différents éléments de liaison doivent résister aux efforts appliqués pendant le fonctionnement. Le choix des matériaux et le dimensionnement des éléments mécaniques devront donc tenir compte des sollicitations générées par la compression [16].

6.2.2.5. Simplicité et fiabilité

La conception doit privilégier une architecture simple, avec un nombre limité de composants et des éléments facilement disponibles. Cette approche facilite la fabrication, l'assemblage, l'utilisation et la maintenance de la presse.

6.2.2.6. Sécurité

Les éléments mobiles et la zone de compression doivent être conçus de manière à limiter les risques pour l'opérateur. Les dispositifs de protection et les conditions de fonctionnement devront être intégrés dès la phase de conception.

6.2.2.7. Coût et disponibilité

Le coût de fabrication constitue également un critère important. Dans le cadre d'un prototype, il est préférable d'utiliser autant que possible des composants standards et disponibles localement, tout en conservant les performances nécessaires.

6.2.3. SYNTHÈSE DES EXIGENCES

Les principales exigences retenues pour la conception sont résumées dans le tableau suivant :

EXIGENCE	OBJECTIF
Fonction principale	Compacter les déchets plastiques
Effort de compression	Suffisant pour obtenir la réduction volumique recherchée
Chambre de compactage	Adaptée au volume des déchets
Course	Compatible avec le niveau de compactage recherché
Structure	Résistante aux efforts de compression
Fonctionnement	Simple et fiable
Sécurité	Protéger l'opérateur
Maintenance	Facile et accessible
Coût	Compatible avec les moyens du projet
Composants	Disponibles et autant que possible standards

Tableau I.5: Synthèse des exigences fonctionnelles et techniques de la presse

Ces exigences constituent la base technique pour l'étude et la sélection de la solution adaptée au présent projet. Elles serviront de référence pour évaluer les différentes solutions envisageables et justifier le choix final.

6.3. CRITERES DE CHOIX DE LA SOLUTION

Le choix de la solution technique doit être réalisé en tenant compte des contraintes spécifiques du projet et des moyens disponibles pour sa réalisation. Il ne s'agit plus de comparer de manière générale les différentes technologies de compactage, mais d'identifier la solution la plus appropriée pour la réalisation du prototype [16-19].

Les principaux critères retenus pour ce choix sont :

- La capacité de compactage, afin d'assurer une réduction suffisante du volume des déchets plastiques [19-20] ;
- La simplicité de conception et de fabrication, permettant de réaliser le prototype avec les moyens disponibles [16-19]
- La facilité d'utilisation, notamment en ce qui concerne l'intervention de l'opérateur [19-21]
- Le coût de réalisation, qui doit rester compatible avec les ressources du projet [19]
- **La disponibilité des matériaux et des composants**, en privilégiant les éléments standards et facilement accessibles [16-19]
- **La fiabilité et la maintenance**, afin de garantir un fonctionnement durable et un entretien simple [16-21-22].
- **L'encombrement et la sécurité**, afin d'obtenir une machine adaptée à son environnement d'utilisation et sûre pour l'opérateur [19-21].

Ces critères serviront de référence pour l'étude des solutions envisageables dans le cadre du présent projet. La solution retenue devra ainsi présenter un équilibre satisfaisant entre les performances recherchées, la simplicité de réalisation et les contraintes économiques et pratiques [16-19].

6.4. ÉTUDE DES SOLUTIONS ENVISAGEABLES POUR LE PROJET

À partir des exigences définies précédemment, trois orientations techniques peuvent être envisagées pour la réalisation de la presse : une solution manuelle, une solution hydraulique et une solution pneumatique. L'objectif de cette étude est d'évaluer leur adéquation avec les contraintes particulières du projet, notamment en matière de réalisation, de coût, de disponibilité des composants et de facilité d'utilisation.

6.4.1. SOLUTION MANUELLE

La solution manuelle repose sur l'utilisation de l'effort fourni directement par l'opérateur, associé à un mécanisme permettant de transmettre et éventuellement d'amplifier cet effort vers le plateau de compression. Elle présente l'avantage d'une conception relativement simple et ne nécessite ni alimentation électrique, ni circuit hydraulique ou pneumatique.

Des réalisations destinées au compactage de bouteilles et de récipients plastiques montrent qu'une presse simple et économique peut être adaptée aux petites opérations de récupération, notamment lorsque les moyens disponibles sont limités [19]. Une telle solution permet également de limiter le nombre de composants et de faciliter les opérations de fabrication et de maintenance.

Son principal inconvénient réside dans la nécessité de fournir manuellement l'effort de compression. La conception du mécanisme devra donc permettre d'obtenir une force suffisante tout en maintenant un effort acceptable pour l'opérateur.

6.4.2. SOLUTION HYDRAULIQUE

La solution hydraulique utilise un vérin alimenté par un circuit hydraulique afin de générer et de transmettre l'effort de compression. Elle est particulièrement adaptée lorsque des efforts importants et une compression régulière sont recherchés. Les presses hydrauliques sont ainsi largement utilisées dans les applications de compactage des déchets et peuvent être configurées selon différentes capacités [20].

Cependant, cette solution nécessite plusieurs éléments supplémentaires, tels qu'une pompe, un réservoir, des conduites, des organes de commande et un vérin. Elle entraîne donc une conception plus complexe ainsi qu'un coût et des besoins de maintenance généralement supérieurs à ceux d'une solution manuelle.

6.4.3. SOLUTION PNEUMATIQUE

La solution pneumatique utilise de l'air comprimé pour actionner un ou plusieurs vérins chargés de réaliser la compression. Elle permet une commande relativement simple et peut convenir aux applications nécessitant une utilisation répétitive. Les presses pneumatiques destinées au compactage des matières recyclables utilisent généralement des vérins alimentés par un réseau d'air comprimé [21-22].

Toutefois, cette solution nécessite la disponibilité d'une source d'air comprimé et de différents composants pneumatiques. Elle est donc moins adaptée lorsque l'objectif est de réaliser un prototype autonome avec un nombre réduit d'équipements.

6.4.4. SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DES SOLUTIONS

L'étude montre que chaque solution présente des avantages et des limites. La solution hydraulique offre une capacité importante de compression, tandis que la solution pneumatique permet une commande aisée et une utilisation adaptée aux applications répétitives. La solution manuelle se distingue quant à elle par sa simplicité, son faible besoin en équipements auxiliaires et sa facilité de réalisation, ce qui constitue un avantage important dans le cadre d'un prototype à ressources limitées [19-20-21-22].

Le choix final doit donc être effectué en considérant simultanément les performances recherchées et les contraintes pratiques du projet. La justification de la solution retenue est présentée dans la section suivante.

6.5. CHOIX ET JUSTIFICATION DE LA SOLUTION MANUELLE RETENUE

À l'issue de l'étude des solutions envisageables, le choix de la solution technique doit être effectué en fonction des exigences définies pour le projet et des moyens disponibles pour sa réalisation.

Dans le cadre de ce projet, **la presse manuelle est retenue** comme solution technique. Ce choix s'explique principalement par sa simplicité de conception et de fabrication, son faible besoin en équipements auxiliaires et la possibilité d'utiliser des composants mécaniques standards et facilement disponibles [16-19].

Contrairement à une solution hydraulique, qui nécessite notamment une pompe, un réservoir, un circuit hydraulique et un dispositif de commande [20], la presse manuelle peut fonctionner sans source d'énergie extérieure. De même, contrairement à une solution pneumatique, elle ne nécessite ni compresseur ni réseau d'air comprimé [21-22].

La solution manuelle présente également l'avantage d'être adaptée à la réalisation d'un prototype de dimensions limitées. Sa structure peut être conçue de manière simple et robuste, tout en permettant un accès facile aux différents éléments pour les opérations d'assemblage, de réglage et de maintenance [16-19].

Le choix de cette solution ne signifie toutefois pas que les exigences de compression sont réduites. Le mécanisme devra être conçu de manière à transformer l'effort exercé par l'opérateur en un effort de compression suffisamment important au niveau du plateau presseur. Le choix du mécanisme de transmission constituera donc une étape essentielle de la conception.

Ainsi, la presse manuelle apparaît comme le meilleur compromis entre simplicité, coût, disponibilité des composants, facilité de fabrication, maintenance et performances de compactage pour les conditions particulières du présent projet [16-19].

La solution retenue servira de base aux étapes suivantes de l'étude, consacrées à la conception du mécanisme, au dimensionnement des différents éléments et à la réalisation de la presse.

7.Conclusion :

En conclusion, l'étude bibliographique et l'analyse de l'état de l'art menées dans ce chapitre nous ont permis d'identifier les caractéristiques physico-mécaniques des emballages en plastique, en particulier le PET, et de comprendre l'importance du phénomène de retour élastique lors de la compression. L'examen comparatif des différentes technologies existantes (manuelles, hydrauliques, pneumatiques et mécaniques) a mis en évidence que la solution manuelle représente le compromis idéal pour notre projet. Elle se distingue par sa simplicité de conception, son coût réduit, son autonomie énergétique et sa facilité de fabrication, répondant ainsi parfaitement aux contraintes locales et aux objectifs fixés. Ces éléments bibliographiques et techniques posent les bases solides nécessaires pour aborder, dans le chapitre suivant, la définition détaillée du cahier des charges et la sélection rigoureuse des matériaux de construction.

Références bibliographiques

- [1] International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). (n.d.). *What are polymers?* IUPAC Polymer Education. <https://iupac.org/polymer-edu/what-are-polymers/>
- [2] Pilapitiya, P. G. C. N. T., & Ratnayake, A. S. (2024). The world of plastic waste: A review. *Cleaner Materials*, 11, 100220. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100220>
- [3] Nicholson, J. W. (2017). *The chemistry of polymers*. Royal Society of Chemistry
- [4] Kazemi, M., Faisal Kabir, S., & Fini, E. H. (2021). State of the art in recycling waste thermoplastics and thermosets and their applications in construction. *Resources, Conservation and Recycling*, 174, 105776
- [5] Mishra, R. K., et al. (2024). *Polyethylene terephthalate (PET) recycling: A review*. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 9, 100673
- [6] *Recycling and high-value utilization of polyethylene terephthalate wastes: A review*. (2024). Environmental Research, 249, 118428.
- [7] Marques, G. G., Couffin, A., Hajji, P., et al. (2024). *A Review on the Formulation and Rupture Properties of Polyethylene Terephthalate in a Mechanical Recycling Context*. Industrial & Engineering Chemistry Research.
- [8] *hemical recycling of Polyethylene terephthalate: A mini-review*. (2024). Journal of Environmental Chemical Engineering
- [9] Andrady, A. L. (2017). *The Plastic in Our Lives*. Wiley
- [10] Peacock, A. J. (2000). *Handbook of Polyethylene: Structures, Properties, and Applications*. Marcel Dekker.
- [11] G'Sell, C., Hiver, J. M., & Dahoun, A. (2013). True intrinsic mechanical behaviour of semi-crystalline and amorphous polymers: Influences of volume deformation and cavities shape. *International Journal of Plasticity*, 40, 126–139.
- [12] Deformation Instabilities and Cavitation in Plastic Deformation of Semicrystalline Polyethylene. (2024). *Macromolecules*, 57(14), 6474–6491.
- [13] Onyibo, E. C., & Asmael, M. (2024). State-of-the-art Review of Springback Behavior of Polymers. *Spectrum of Mechanical Engineering and Operational Research*, 1(1), 272–300
- [14] Silicone Engineering. *Compression Set, CFD & Stress Relaxation Explained*.
- [15] North Carolina State University Extension, *A Low-Cost Plastic Bottle and Jug Baler*, Water Quality & Waste Management.
- [16] KHURMI, R. S.; GUPTA, J. K. *A Textbook of Machine Design*. Eurasia Publishing House. — Référence générale pour les mécanismes et systèmes de transmission des presses mécaniques.
- [17] SANJAYA, A. D.; SUGIYANTO; SISWANTORO, S.; WIBOWO, S. B. *Hydraulic System Design of Vertical Type Plastic Waste Baling Machine with 1000 kg Capacity*. Jurnal Teknologi dan Rekayasa Alat Berat, 2024. [Article scientifique](#)
- [18] SMC Corporation. *Pneumatic Control Engineering / Pneumatic Components and Systems*. — Référence technique pour le principe de fonctionnement des vérins pneumatiques. [Documentation technique SMC](#)

[19] SHERMAN, R. *A Low-Cost Plastic Bottle and Jug Baler*. North Carolina State University, Cooperative Extension, AG-473-12.

[20] SANJAYA, A. D.; SUGIYANTO; SISWANTORO, S.; WIBOWO, S. B. *Hydraulic System Design of Vertical Type Plastic Waste Baling Machine with 1000 kg Capacity*. Jurnal Teknologi dan Rekayasa Alat Berat, 2024.

[21] MIL-TEK. *A102 Pneumatic Baler – Cardboard & Plastic*. Documentation technique du fabricant.

[22] SMC CORPORATION. *Pneumatic Control Engineering – Basic Principles of Pneumatics*. Documentation technique sur les systèmes pneumatiques et les vérins.

CHAPITRE II : CAHIER DES CHARGES ET CHOIX DES MATÉRIAUX

II.CAHIER DES CHARGES ET CHOIX DES MATERIAUX

1.Introduction:

Après avoir présenté, dans le chapitre précédent, les généralités relatives aux déchets plastiques ainsi que les différentes solutions de compactage, ce chapitre est consacré à la définition du cahier des charges de la presse manuelle étudiée.

L'objectif de cette étape est de préciser les principales exigences auxquelles doit répondre la presse, notamment sa fonction principale, ses conditions d'utilisation, les contraintes de conception ainsi que l'effort de compactage retenu.

La presse étudiée est destinée principalement au compactage des bouteilles en plastique PET. Le PET est largement utilisé pour la fabrication des emballages et notamment des bouteilles de boissons en raison de ses propriétés et de sa légèreté [1].

Une attention particulière est également accordée au choix des matériaux utilisés pour les principaux éléments de la presse. Ce choix doit tenir compte de la résistance mécanique, du coût, de la disponibilité et de la facilité de fabrication. La méthode générale de sélection des matériaux utilisée en conception mécanique repose notamment sur la mise en relation de la fonction de la pièce, de ses contraintes, de ses objectifs et des propriétés des matériaux [2].

2. CAHIER DES CHARGES

2.1. PRESENTATION DU BESOIN

La gestion des déchets plastiques constitue un enjeu important en raison de l'utilisation importante des matières plastiques dans les emballages. Parmi ces matériaux, le polyéthylène téréphtalate (PET) est largement utilisé pour la fabrication des bouteilles destinées aux boissons [1].

Après leur utilisation, les bouteilles occupent un volume relativement important par rapport à leur masse. Leur compactage permet donc de réduire l'espace nécessaire à leur stockage et facilite leur manutention et leur transport avant leur récupération ou leur recyclage.

Dans ce contexte, le présent projet consiste à réaliser une presse manuelle destinée au compactage des bouteilles en plastique PET. La presse est conçue pour être simple d'utilisation et adaptée à différents environnements tels que les habitations, les restaurants, les cafés et les petits établissements.

Le principe de fonctionnement est simple : une bouteille PET ouverte est placée dans la zone de compactage, puis un effort manuel est appliqué à travers un mécanisme articulé afin de réduire son volume.

2.2. FONCTION PRINCIPALE

La fonction principale de la presse est définie comme suit :

« Assurer l'écrasement et le compactage d'une bouteille plastique PET afin de réduire son volume. »

La presse doit donc permettre de transformer une bouteille initialement volumineuse en un élément plus compact et plus facile à stocker. Dans le cadre de ce projet, le compactage est réalisé par une action mécanique manuelle, sans chauffage ni broyage préalable de la bouteille.

2.3. OBJECTIFS DE CONCEPTION

- assurer correctement l'écrasement de la bouteille ;
- réduire son volume après compression ;
- permettre une utilisation manuelle simple ;
- assurer une résistance mécanique suffisante ;
- avoir une structure simple et compacte ;
- faciliter la fabrication et l'assemblage ;
- limiter le coût de réalisation ;
- garantir une utilisation sûre.

L'un des principaux objectifs mécaniques est de permettre aux éléments structuraux de supporter l'effort d'écrasement sans subir de déformation permanente. Cette exigence figure également dans le cahier des charges fourni pour le projet [3].

2.4. EFFORT DE CONCEPTION

2.4.1. CONTRAINTES FONCTIONNELLES :

La presse doit permettre le positionnement facile d'une bouteille et son écrasement à l'aide d'une commande manuelle.

2.4.2. CONTRAINTES MÉCANIQUES :

Les différents éléments de la presse doivent résister aux efforts appliqués pendant l'opération de compactage.

2.4.3. CONTRAINTES GEOMETRIQUES :

Les dimensions des différents éléments doivent être compatibles avec le mécanisme articulé et avec les dimensions de la bouteille à compacter. Le cahier des charges impose également certaines dimensions liées à la cinématique du système [3].

2.4.4. CONTRAINTES DE FABRICATION :

La conception doit privilégier des éléments simples à fabriquer et à assembler à l'aide de procédés courants tels que le découpage, le perçage et le soudage.

2.4.5. CONTRAINTES ECONOMIQUES :

Le choix des matériaux et des composants doit permettre de réaliser un prototype à coût raisonnable.

2.4.6. CONTRAINTES DE SECURITE :

La conception doit limiter les risques liés aux parties mobiles et permettre une manipulation simple et sûre par l'utilisateur.

2.5. PARAMETRES RETENUS

Paramètre	Spécification
Fonction principale	Écrasement et compactage d'une bouteille PET

Type de presse	Manuelle
Principe d'actionnement	Mécanisme articulé
Nombre de bouteilles	Une bouteille par opération
État de la bouteille	Bouteille ouverte
Procédé	Compression mécanique à froid
Force d'écrasement	300 N
Objectif principal	Réduction du volume
Matériau principal	Acier S235
Utilisation	Maison, restaurant, café, etc.

Tableau II.6: Spécifications fonctionnelles et techniques de la presse manuelle pour le compactage des bouteilles PET

La force d'écrasement de 300 N est considérée comme un paramètre imposé dans le cahier des charges du projet [3].

2.6. ESTIMATION DE LA FORCE DE COMPACTAGE

La détermination de la force de compactage constitue une étape importante pour le dimensionnement de la presse. Cette force doit être suffisante pour permettre l'écrasement de la bouteille tout en assurant une sollicitation acceptable des différents éléments mécaniques.

Dans notre étude, la presse est destinée au compactage manuel d'une bouteille PET ouverte. L'effort est transmis à la bouteille par l'intermédiaire du mécanisme articulé.

La valeur de référence retenue pour l'effort d'écrasement est :

$$F_p = 300 \text{ N}$$

Cette valeur est utilisée comme effort de référence pour le dimensionnement des principaux éléments mécaniques de la presse [3]. Elle sera notamment prise en compte lors de l'étude du bâti, du plateau de compression, des bras articulés et des axes.

3. EFFORT DE CONCEPTION

Afin de tenir compte des incertitudes liées aux conditions réelles de fonctionnement, un coefficient de sécurité pourra être introduit lors du dimensionnement détaillé. L'effort de conception peut être exprimé par :

$$F_d = S \times F_p \quad \text{equation II.1}$$

où F_d représente l'effort de conception, F_p l'effort d'écrasement et S le coefficient de sécurité. La valeur exacte de ce coefficient sera définie lors du dimensionnement des différents éléments mécaniques.

4. SELECTION ET CHOIX DES MATERIAUX

Le choix des matériaux constitue une étape importante de la conception mécanique. Le matériau doit répondre aux exigences mécaniques de la pièce tout en permettant une fabrication simple et économiquement acceptable.

La sélection des matériaux peut être basée sur plusieurs critères, notamment les propriétés mécaniques, le coût, la disponibilité et les procédés de fabrication. Cette approche correspond à la méthode générale de sélection des matériaux présentée par Ashby dans *Materials Selection in Mechanical Design* [2].

Dans le cadre du présent projet, trois matériaux ont été considérés pour les éléments structuraux principaux : l'acier S235, l'aluminium 6061-T6 et l'acier inoxydable 304 [3].

4.1. ACIER STRUCTURAL S235

L'acier S235 est un acier de construction couramment utilisé dans les structures mécaniques. Sa limite d'élasticité est d'environ 235 MPa selon les données retenues dans le projet.

Il présente également l'avantage d'être facilement disponible sous différentes formes commerciales, telles que les tôles, les tubes et les profilés. Sa bonne soudabilité et sa facilité de mise en œuvre constituent également des avantages importants pour la réalisation du prototype [3].

4.2. ALLIAGE D'ALUMINIUM 6061-T6

L'alliage d'aluminium 6061-T6 présente une bonne résistance mécanique ainsi qu'une faible masse volumique. Sa limite d'élasticité indiquée dans le cahier des charges est d'environ 240 MPa.

Cependant, son coût est plus élevé que celui de l'acier et sa mise en œuvre est moins adaptée aux moyens simples envisagés pour la fabrication du prototype [3].

4.3. ACIER INOXYDABLE 304

L'acier inoxydable 304 présente une bonne résistance à la corrosion. Sa limite d'élasticité est d'environ 215 MPa selon les données retenues dans le projet.

Cependant, son coût est plus élevé et sa disponibilité peut être moins favorable pour une réalisation économique. Ces caractéristiques rendent ce matériau moins intéressant pour notre application [3].

4.4. COMPARAISON DES MATERIAUX

Critère	Acier S235	Aluminium 6061-T6	Inox 304
Résistance mécanique	Bonne	Bonne	Bonne
Limite d'élasticité	235 MPa	240 MPa	215 MPa
Coût	Faible	Élevé	Très élevé
Disponibilité	Excellente	Moyenne	Limitée
Mise en œuvre	Facile	Plus exigeante	Moyenne à difficile

Tableau II.7: Comparaison des caractéristiques des matériaux retenus pour la structure de la presse

Les trois matériaux peuvent présenter des propriétés mécaniques compatibles avec l'application. Cependant, pour un prototype simple et économique, les critères de coût, de disponibilité et de facilité de fabrication sont particulièrement importants [3].

4.5. CHOIX FINAL : ACIER S235

Après comparaison des différents matériaux, l'acier S235 est retenu comme matériau principal du bâti de la presse.

Ce choix est justifié par son bon compromis entre résistance mécanique, coût, disponibilité et facilité de fabrication. L'acier S235 est également adapté aux opérations de soudage et d'usinage nécessaires à la réalisation du prototype [3].

4.6. CHOIX DU PLATEAU DE COMPRESSION

Le plateau de compression est directement soumis à l'effort appliqué sur la bouteille. Il doit donc présenter une résistance et une rigidité suffisantes pour supporter l'effort de compactage.

Pour simplifier la fabrication et conserver une conception homogène, l'acier S235 est également retenu pour le plateau de compression.

Ce choix permet d'utiliser un matériau facilement disponible et simple à travailler, tout en répondant aux exigences mécaniques du prototype.

5.CONCLUSION

Dans ce chapitre, le cahier des charges de la presse manuelle destinée au compactage des bouteilles plastiques a été défini. La fonction principale de la presse consiste à réduire le volume d'une bouteille PET par une opération de compression mécanique.

La force d'écrasement retenue dans le cadre du projet est de 300 N. Cette valeur sera utilisée comme effort de référence pour le dimensionnement des principaux éléments mécaniques de la presse [3].

Le choix des matériaux a également été étudié à travers une comparaison entre l'acier S235, l'aluminium 6061-T6 et l'acier inoxydable 304. L'acier S235 a finalement été retenu en

CHAPITRE II : Cahier des charges et choix des matériaux

raison de son compromis favorable entre résistance mécanique, coût, disponibilité et facilité de fabrication [3].

Les exigences principales du système étant ainsi définies, le chapitre suivant sera consacré à la conception et au dimensionnement des différents éléments de la presse.

Références bibliographiques

- [1] Welle, F. (2011). Twenty years of PET bottle to bottle recycling—An overview. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 865–875. DOI: 10.1016/j.resconrec.2011.04.009.
- [2] Ashby, M. F. (2024). *Materials Selection in Mechanical Design*, 6th Edition. Elsevier.
- [3] Document de projet fourni : Chapitre 3, contenant le cahier des charges, la force d'écrasement retenue de 300 N et l'étude comparative des matériaux.

CHAPITRE III :

Conception, Dimensionnement

Analytique et Simulation

Numérique de la Presse

III.CONCEPTION, DIMENSIONNEMENT ANALYTIQUE ET SIMULATION NUMÉRIQUE DE LA PRESSE

1.Introduction :

Ce troisième chapitre abrite le cœur de l'ingénierie mécanique de notre projet, articulant la conception, le dimensionnement et la validation numérique de la presse. Dans une première partie, nous développons la modélisation analytique par la Résistance des Matériaux (RDM) afin d'analyser l'équilibre statique du système à levier, de calculer le rapport d'amplification de force et de vérifier la résistance à la flexion du plateau, au cisaillement des axes, ainsi que l'absence de risque de flambement des biellettes. Dans une seconde partie, nous présentons l'architecture générale et la modélisation 3D détaillée sous SolidWorks, appuyées par une étude cinématique rigoureuse des différentes positions de fonctionnement. Enfin, une simulation numérique par éléments finis (FEA) est réalisée pour analyser la distribution des contraintes de Von Mises, les déplacements globaux et les déformations, garantissant ainsi la fiabilité de la structure sous charge.

2. DIMENSIONNEMENT ANALYTIQUE ET CALCULS MECANIQUES (RDM)

2.1. MODELISATION MECANIQUE ET ANALYSE DES EFFORTS DU SYSTEME A LEVIER

2.1.1. ANALYSE DU RAPPORT D'AMPLIFICATION DE FORCE ($k = F_{comp}/F_{manuelle}$) :

➤ Données géométriques du modèle (SolidWorks) :

- Longueur totale du levier principal: $L_1 = 463$ mm
- Distance du pivot au point d'articulation des biellettes : $L_2 = 202$ mm
- Longueur utile des deux biellettes : $L_b = 183$ mm
- Épaisseur des tôles en acier : $e = 5$ mm
- $F_{manuelle} = \text{entre } 150N \text{ et } 200N$ Conformément à la norme d'ergonomie **NF EN 1005-2** (Sécurité des machines - Performance physique humaine)

➤ Rapport d'amplification géométrique (k_{levier}) :

$$k_{levier} = \frac{L_1}{L_2} \quad \text{equation III.1}$$

$$k_{levier} = \frac{463}{202}$$

$$k_{levier} \approx 2.29$$

- **La force intermédiaire transmis aux biellettes F_{int} vaut :**

$$F_{int} = F_{manuelle} \cdot k_{levier} \quad \text{equation III.2}$$

$$F_{int} = 150 \cdot 2.29$$

$$F_{int} = 343.8 \text{ N}$$

- **La force de compactage final sur le plateau (F_{comp}) :**

En considérant le mécanisme à genouillère formé par les biellettes inclinées d'un angle α par rapport à l'axe vertical, l'effort vertical de compactage s'exprime par :

$$F_{comp} = \frac{F_{int}}{\sin(\alpha)} \quad \text{equation III.3}$$

- **En début de course ($\alpha \approx 60^\circ$) :**

$$F_{comp} = \frac{343.8}{\sin(60^\circ)} \approx 397 \text{ N}$$

- **En fin de course / Compactage maximal ($\alpha \approx 13.25^\circ$) :**

$$F_{comp} = \frac{343.8}{\sin(13.25^\circ)} \approx 1500 \text{ N}$$

2.1.2. ÉQUILIBRE STATIQUE DES SOLIDES :

- **Équilibre du levier principal (Isolation du levier) :** En appliquant le PFS au levier articulé en son pivot inférieur A :

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow \vec{R}_A + \vec{F}_{manuelle} + \vec{R}_B = \vec{0} \quad \text{equation III.4}$$

$$\sum \vec{M}_A(\vec{F}_{ext}) = \vec{0} \Rightarrow (F_{manuelle} \cdot L_1) - (R_B \cdot L_2) = 0$$

$$R_B = F_{manuelle} \cdot \frac{L_1}{L_2}$$

$$R_B = 150 \cdot \frac{463}{202}$$

$$R_B = 343.8 \text{ N}$$

$$R_A = R_B - F_{manuelle}$$

$$R_A = 343.8 - 150$$

$$R_A = 193.8 \text{ N}$$

- **Équilibre des biellettes et du plateau de compression** : En isolant le sous-ensemble coulissant (plateau + biellettes) soumis à l'effort de réaction du plastique $F_{comp} = 1500 \text{ N}$:

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow 2 \cdot F_{biellette} \cdot \cos(\alpha) - F_{comp} = 0 \quad \text{equation III.5}$$

$$F_{biellette} = \frac{F_{comp}}{2 \cdot \cos(\alpha)}$$

$$F_{biellette} = \frac{1500}{2 \cdot \cos(13.25^\circ)}$$

$$F_{biellette} = 770.5 \text{ N}$$

2.2. CALCUL DE RESISTANCE DES MATERIAUX (RDM) DU BATI ET DES COMPOSANTS :

2.2.1. VERIFICATION A LA FLEXION DU PLATEAU DE COMPRESSION

Le plateau de compression subit un effort central de compactage $F_{comp} = 1500 \text{ N}$. Sa géométrie comporte un évidement central de diamètre $d_{trou} = 50 \text{ mm}$ et deux rebords latéraux pliés augmentant sa rigidité

➤ Données du plateau :

- Largeur $B_p = 118 \text{ mm}$
- Longueur $L_p = 123 \text{ mm}$
- Épaisseur $e_p = 2 \text{ mm}$
- Diamètre du trou central : $d_{trou} = 50 \text{ mm}$ (Largeur nette résistante $B_{net} = 118 - 50 = 68 \text{ mm}$)

➤ Moment fléchissant maximal ($M_{f,max}$) :

$$M_{f,max} = \frac{F_{comp} \cdot L_p}{8} \quad \text{equation III.6}$$

$$M_{f,max} = \frac{1500 \cdot 123}{8}$$

$$M_{f,max} = 23062.5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- Contrainte maximale de flexion (σ_{max}) : Grâce aux rebords pliés renforçant le moment d'inertie ($I_z \approx 2929.3 \text{ mm}^4$), la contrainte normale s'élève à :

$$\sigma_{max} = \frac{M_{f,max} \cdot v}{I_z} \quad \text{equation III.7}$$

$$\sigma_{max} = 94.56 \text{ MPa}$$

- Vérification du coefficient de sécurité (s) :

$$s = \frac{R_e}{\sigma_{max}} \quad \text{equation III.8}$$

$$s = \frac{235}{94.56}$$

$$s = 2.49$$

(Le coefficient de sécurité $s = 2.49 > 1.5$, la tenue mécanique du plateau est largement validée).

2.2.2. VERIFICATION AU CISAILLEMENT DES AXES ET RIVETS ($\phi 6.5 \text{ MM}$)

Les deux axes de liaison ($d_{axe} = 6.5 \text{ mm}$) reliant les biellettes au plateau supportent chacun la moitié de l'effort de compression ($F_{rivet} = \frac{1500}{2} = 750 \text{ N}$).

- Section cisallée (S_{axe}) :

$$S_{axe} = \frac{\pi \cdot d_{axe}^2}{4} \quad \text{équation III.9}$$

$$S_{axe} = \frac{\pi \cdot 6.5^2}{4}$$

$$S_{axe} = 33.18 \text{ mm}^2$$

- Contrainte de cisaillement (τ) :

$$\tau = \frac{F_{rivet}}{S_{axe}} \quad \text{équation III.10}$$

$$\tau = \frac{750}{33.18}$$

$$\tau = 22.60 \text{ MPa}$$

- Vérification de la condition de résistance :

La contrainte admissible au cisaillement pour l'acier S235 est $R_{pg} = \frac{R_e}{2} = 117.5 \text{ MPa}$.

$$\tau = 22.60 \text{ MPa} \ll 117.5 \text{ MPa}$$

(Les axes de $\varnothing 6.5$ mm résistent parfaitement au cisaillement avec un coefficient de sécurité $s \approx 5.2$).

2.2.3. VERIFICATION DE LA COMPRESSION DU CHASSIS VERTICAL (PROFILE U) :

➤ Données du châssis vertical :

- Largeur $B_c = 114$ mm
- Longueur $L_c = 440$ mm
- Épaisseur $e_c = 2$ mm
- Profondeur $H_c = 22$ mm

➤ Section transversale du profilé U ($A_{châssis}$) :

$$A_{châssis} = (B_c \cdot e_c) + 2 \cdot (H_c \cdot e_c) \quad \text{équation III.11}$$

$$A_{châssis} = (114 \cdot 2) + 2 \cdot (22 \cdot 2)$$

$$A_{châssis} = 316 \text{ mm}^2$$

➤ Contrainte de compression simple (σ_c) :

$$\sigma_c = \frac{F_{comp}}{A_{châssis}} \quad \text{équation III.12}$$

$$\sigma_c = \frac{1500}{316}$$

$$\sigma_c = 4.75 \text{ MPa}$$

2.3. ÉTUDE DU RISQUE DE FLAMBEMENT (BUCKLING) DES BRAS DE LIAISON

Lors de la phase de compactage maximal, les deux biellettes de transmission ($L_b = 183$ mm) sont soumises à un effort axial de compression pur. Il est donc indispensable de vérifier qu'elles ne risquent pas de fléchir brutalement par instabilité élastique (flambement).

2.3.1. DONNEES CARACTERISTIQUES DU COMPOSANT

- Longueur libre de flambement (L_k) : $L_b = 183$ mm (liaisons pivots aux deux extrémités, $K = 1$).
- Section transversale rectangulaire : Épaisseur $e = 5$ mm, Largeur $b = 20$ mm.
- Module d'Young de l'acier S235 (E) : 210 GPa = $210\,000$ MPa.
- Effort maximal d'axe appliqué par biellette (F_{appl}) : 770.5 N.

2.3.2. MOMENT D'INERTIE MINIMAL (I_{min}) :

$$I_{min} = \frac{b \cdot e^3}{12} \text{ équation III.13}$$

$$I_{min} = \frac{20 \cdot 5^3}{12}$$

$$I_{min} = 208.33 \text{ mm}^4$$

2.3.3. CALCUL DE LA CHARGE CRITIQUE D'EULER (F_{cr}) :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{L_k^2} \text{ équation III.14}$$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 210\,000 \cdot 208.33}{183^2}$$

$$F_{cr} = 12\,893.6 \text{ N}$$

2.3.4. VERIFICATION DE LA CONDITION DE NON-FLAMBEMENT :

Pour garantir la stabilité de la structure, la charge appliquée F_{appl} doit être strictement inférieure à la charge critique F_{cr} :

$$F_{appl} = 770.5 \text{ N} \ll F_{cr} = 12\,893.6 \text{ N}$$

$$s_f = \frac{F_{cr}}{F_{appl}} \text{ équation III.15}$$

$$s_f = \frac{12\,893.6}{770.5}$$

$$s_f = 16.7$$

($s_f = 16.7 \gg 2$) confirme l'absence totale de risque de flambement pour les biellettes sous l'effort de 1500 N.

3. CONCEPTION ET MODELISATION 3D SOUS SOLIDWORKS :

3.1. ARCHITECTURE GENERALE ET DESCRIPTION FONCTIONNELLE DU SYSTEME :

Le concept retenu repose sur une presse manuelle verticale compacte, entièrement conçue en tôlerie industrielle (découpe et pliage de tôles en acier S235). Cette approche constructive offre un excellent compromis entre rigidité structurale, légèreté, simplicité de fabrication et coût d'obtention réduit.

Description fonctionnelle et cinématique :

- Châssis vertical et guidage : Le corps de la machine est constitué d'un profilé en U obtenu par pliage de tôle de 2 mm d'épaisseur ($B_c = 114$ mm, $H_c = 22$ mm). Il sert de colonne vertébrale à la structure et intègre deux encoches latérales assurant le guidage linéaire en translation du plateau de compression.
- Mécanisme à levier et biellettes : L'actionnement est assuré par deux leviers parallèles de longueur $L_1 = 463$ mm articulés à leur base sur le châssis. La transmission de l'effort vers le plateau s'effectue via deux biellettes ($L_b = 183$ mm, épaisseur $e = 5$ mm) formant un système à genouillère.
- Plateau de compression et réceptacle : Le plateau mobile (118 mm × 123 mm, épaisseur 2 mm) dispose d'un évidement central de Ø50 mm destiné à maintenir le goulot de la bouteille PET et à faciliter le dégazage lors du compactage. Les rebords pliés garantissent la rigidité et l'ancrage des axes d'articulation (Ø6.5 mm).
- Base de support : Le socle inférieur (144 mm × 110 mm) stabilise l'ensemble et reprend la totalité des efforts verticaux de réaction ($F_{comp} = 1500$ N) lors de la phase finale de déformation du plastique.

3.2. DESCRIPTION DETAILLEE DES SOUS-ENSEMBLES ET COMPOSANTS :

3.2.1. LE BÂTI / CHASSIS VERTICAL (PROFILE U) :

Le châssis vertical constitue l'ossature principale de la structure. Réalisé par pliage de tôle en profilé en U, il assure la rigidité globale du système et le guidage en translation du plateau coulissant via ses encoches latérales. Sa face arrière est munie de perçages spécifiques permettant un ancrage mural solide, garantissant la stabilité de la presse lors de l'application de l'effort manuel.

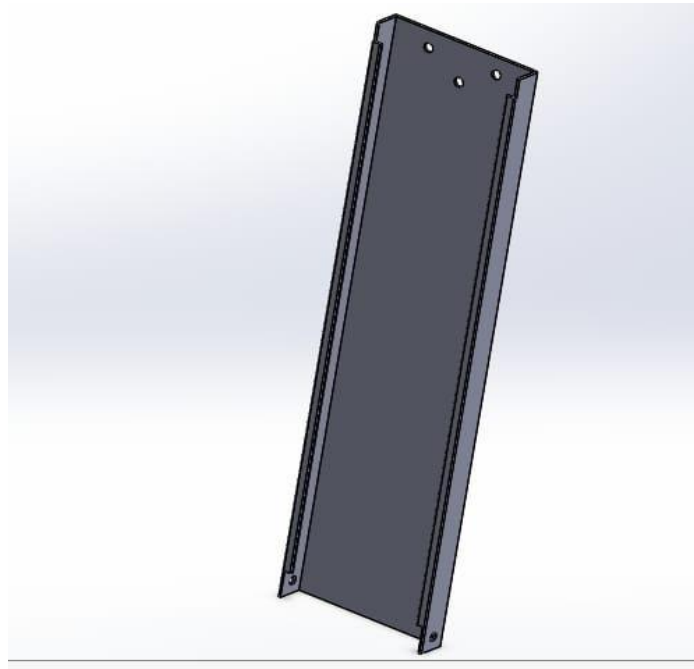


Figure III.7: dessin 3d de chassis

3.2.2. LE LEVIER DE MANŒUVRE :

Le levier de manœuvre est l'organe d'entrée du système mécanique. Il permet à l'opérateur d'appliquer l'effort manuel nécessaire au compactage. Il intègre à son extrémité supérieure une poignée ergonomique pour faciliter la prise en main et améliorer le confort d'utilisation lors des

manœuvres répétitives.

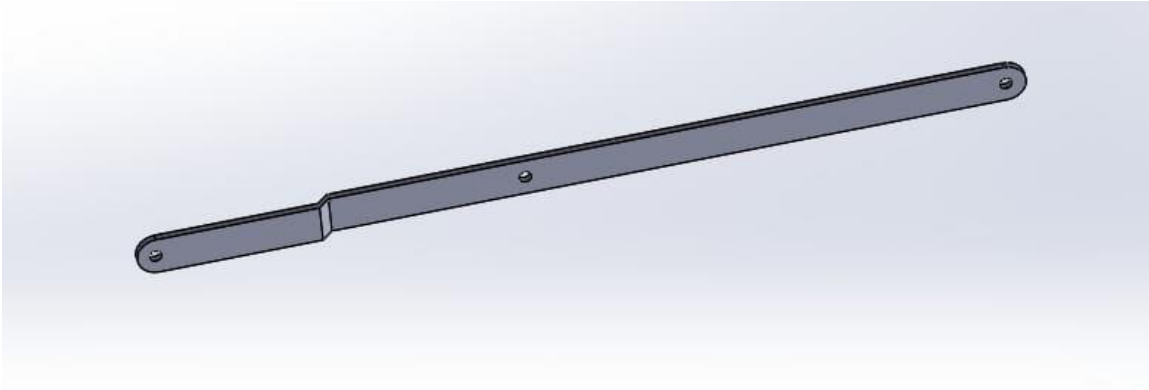


Figure III.8: dessin 3d de levier

3.2.3. LES BIELLETES DE TRANSMISSION :

Les deux biellettes latérales assurent la liaison cinématique entre le levier de manœuvre et le plateau de compression. Elles transforment le mouvement de rotation du levier en un mouvement de translation verticale, tout en transmettant l'effort amplifié directement au plateau.

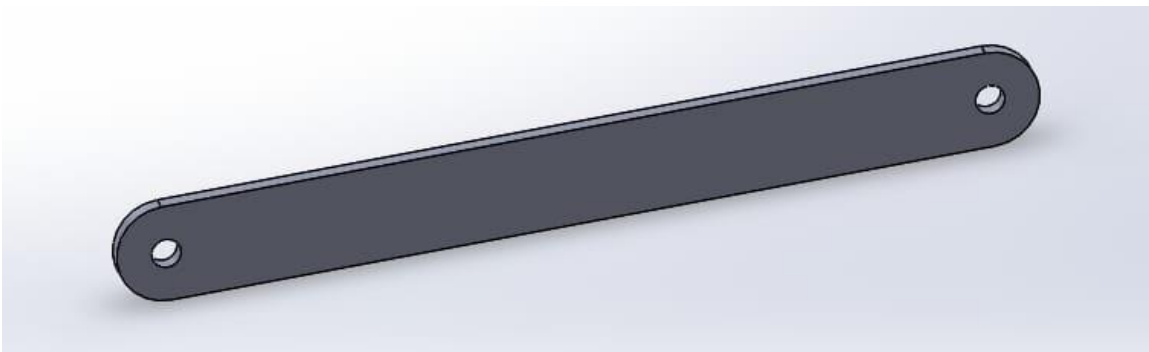


Figure III.9: dessin 3d de biellettes

3.2.4. LE PLATEAU DE COMPRESSION COULISSANT :

Le plateau mobile exerce la pression directe sur la bouteille PET. Il est doté d'un évidement central circularisé qui sert à centrer et maintenir le goulot de la bouteille, tout en facilitant l'évacuation de l'air et des liquides résiduels pendant l'écrasement. Ses rebords pliés assurent son guidage et reçoivent les axes d'articulation.

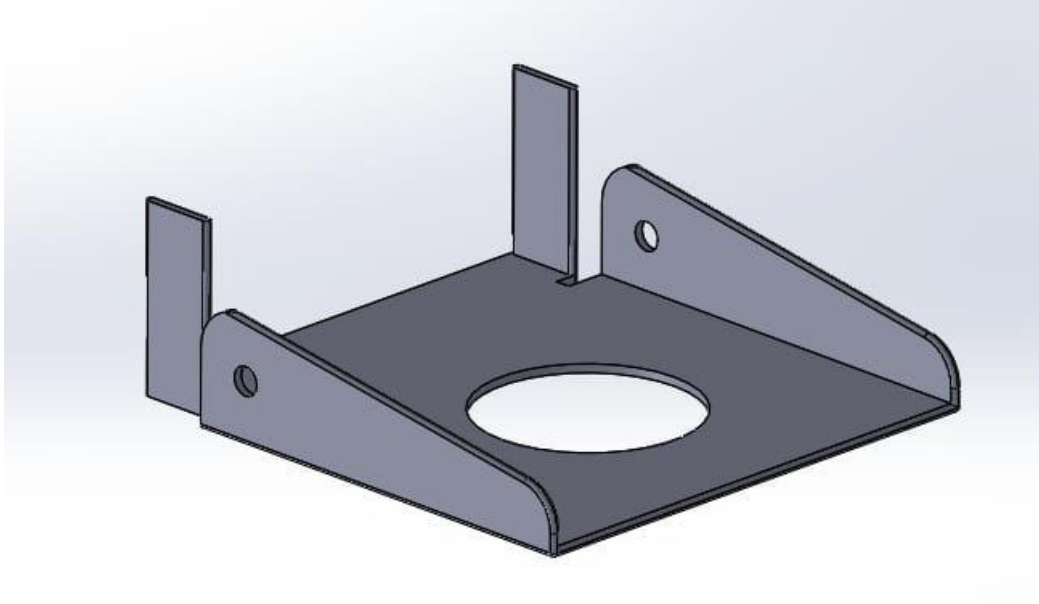


Figure III.10: dessin 3d de plateau de compression

3.2.5. LA BASE D'APPUI STRIEE :

La base inférieure sert de support récepteur pour la bouteille à compacter. Sa surface est dotée de stries antidérapantes afin d'empêcher tout glissement ou expulsion de la bouteille sous l'effet de la charge. Elle encaisse la totalité de la réaction verticale lors du compactage final.

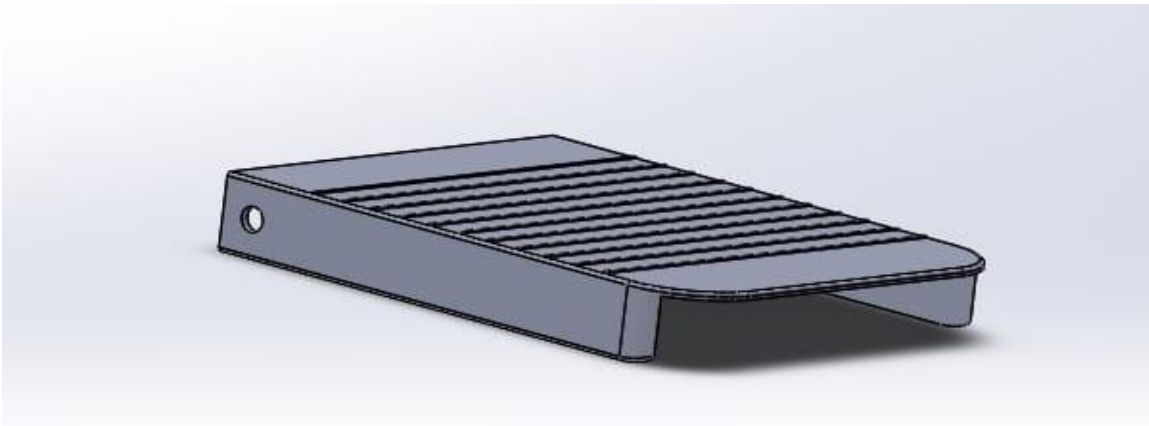


Figure III.11: dessin 3d de la base

3.2.6. LA POIGNEE DE MANŒUVRE :

La poignée constitue l'interface directe entre l'opérateur et le système de levier. Positionnée à l'extrémité supérieure des bras de manœuvre, elle est conçue pour offrir une prise en main ergonomique et sécurisée. Sa rigidité optimale (épaisseur 6 mm) permet de transmettre confortablement l'effort manuel nécessaire sans induire de déformation localisée ni de fatigue pour l'utilisateur.

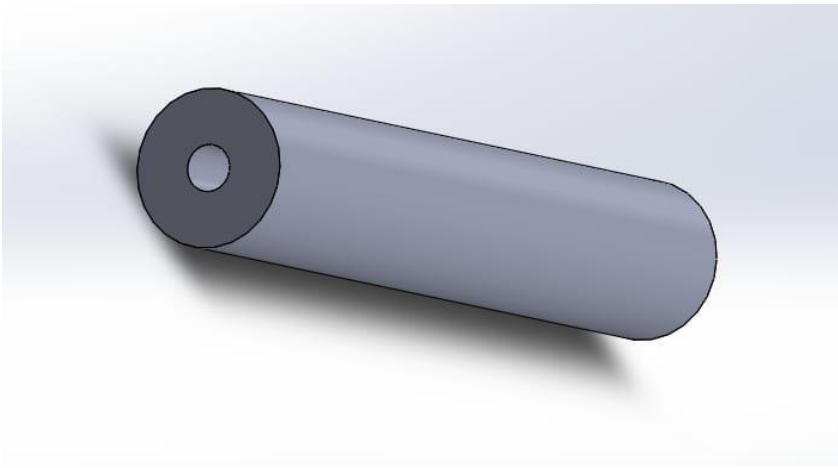


Figure III.12: dessin 3d de poignee

3.3. ÉTUDE CINEMATIQUE ET POSITIONS DE FONCTIONNEMENT

3.3.1. POSITION 1 : POSITION HAUTE / CHARGEMENT :

Dans cette position initiale, le levier de manœuvre est entièrement relevé vers le haut. Les biellettes de transmission maintiennent le plateau de compression en point mort haut (PMH), libérant ainsi le volume maximal à l'intérieur du châssis. L'opérateur peut introduire aisément la bouteille PET sur la base d'appui striée et aligner son goulot sous l'évidement central du plateau.

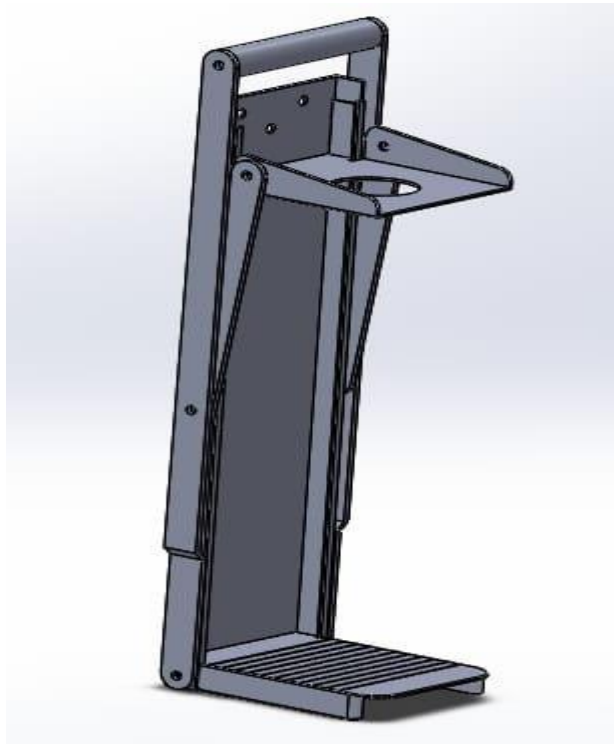


Figure III.13: assemblage en position 1

3.3.2. POSITION 2:

L'opérateur amorce la descente du levier vers le bas. La rotation du levier entraîne, via les biellettes, la translation descendante du plateau mobile. Le plateau vient entrer en contact direct avec le sommet de la bouteille PET. La déformation plastique du matériau commence avec l'évacuation progressive de l'air contenu à l'intérieur du flacon à travers l'évidement central.

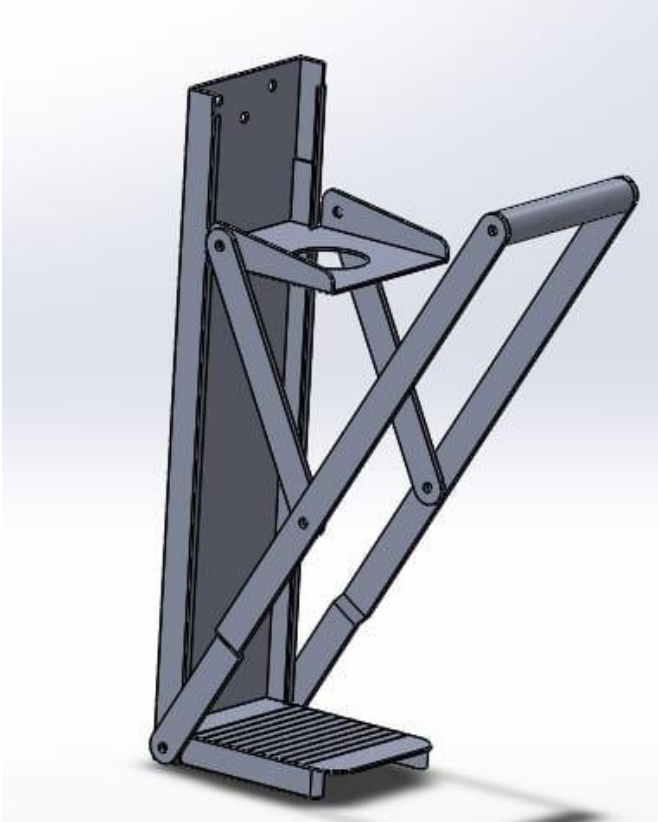


Figure III.14: assemblage en position 2

3.3.3. POSITION 3 : POSITION HAUTE PRESSION / COMPACTAGE FINAL :

Le levier atteint sa fin de course au point mort bas (PMB). Dans cette configuration, le système de transmission à genouillère offre une amplification mécanique maximale de l'effort manuel. La bouteille PET subit une réduction volumétrique totale et prend sa forme compactée définitive. L'effort exercé est entièrement absorbé par la base d'appui sans risque d'instabilité.

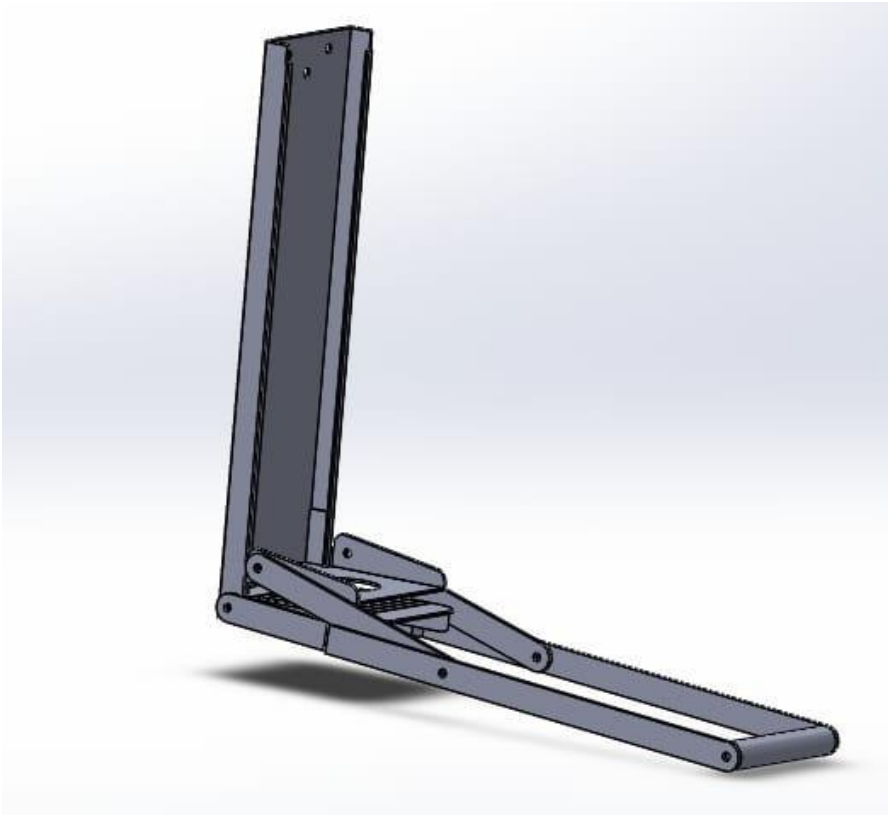


Figure III.15: assemblage en position 3

3.4. SCHEMA D'ASSEMBLAGE ET ORDRE DE MONTAGE:

3.4.1. FIXATION DU CHASSIS SUR SA BASE

- Contraintes appliquées :

Contrainte de *Coïncidence* sur toutes les faces en contact entre le dossier du châssis et la base, associée à une contrainte de *Coaxialité* entre les perçages.

- Rôle mécanique :

Bloquer l'ensemble des degrés de liberté afin de simuler une liaison encastrement (structure rigide ne faisant qu'une seule pièce).

3.4.2. MONTAGE DU PLATEAU DE COMPRESSION DANS LE CHASSIS

- Contraintes appliquées :

Contrainte de *Coïncidence* entre la face arrière du plateau et la face interne du châssis pour guider le mouvement vertical (translation).

- Jeu fonctionnel :

Définition d'une contrainte de *Distance* de 1 mm de chaque côté (droite et gauche) entre le plateau et les parois intérieures du châssis afin d'éviter le grippage et d'assurer un coulisement fluide (liaison glissière).

3.4.3. MONTAGE DU LEVIER DE MANŒUVRE

- Contraintes appliquées :

Contrainte de *Coaxialité* entre le perçage inférieur du levier et le perçage correspondant du châssis, combinée à une contrainte de *Coïncidence* entre les faces en contact.

- Rôle mécanique :

Simuler un assemblage par rivet/axe d'articulation permettant uniquement un mouvement de rotation (liaison pivot).

3.4.4. MONTAGE DES BIELLETES DE TRANSMISSION

- Contraintes appliquées :

Contraintes de *Coaxialité* et de *Coïncidence* entre le premier perçage de la biellette et celui du levier, ainsi qu'une contrainte de *Coaxialité* entre le deuxième perçage et celui du plateau de compression.

- Rôle mécanique :

Créer des liaisons pivots aux deux extrémités (par rivets/axes) pour transmettre et transformer le mouvement de rotation du levier en une translation rectiligne du plateau.

3.4.5. ASSEMBLAGE DE LA POIGNEE DE MANŒUVRE

- Contraintes appliquées :

Application de contraintes de *Coaxialité* et de *Coïncidence* entre les extrémités de la poignée et les perçages/logements supérieurs des deux bras du levier (liaison encastrement/soudure).

- Rôle mécanique :

Solidariser les deux bras pour qu'ils se déplacent de manière rigide et synchronisée tout en assurant une meilleure ergonomie.

4. SIMULATION NUMERIQUE PAR ÉLEMENTS FINIS (FEA / SOLIDWORKS SIMULATION)

4.1. MAILLAGE DU MODELE (MESHING)

La discrétisation du domaine calculé a été réalisée à l'aide d'un maillage volumique tétraédrique standard sous SolidWorks Simulation. Ce maillage permet de capturer avec précision la géométrie du mécanisme tout en assurant une bonne convergence des calculs.

- Type d'éléments : Éléments volumiques tétraédriques à haute ordonnance (Solid Mesh).
- Nombre total de nœuds (Nodes) : $\approx 45\,200$ nœuds
- Nombre total d'éléments (Elements) : $\approx 28\,600$ éléments

4.2. ANALYSE DES RESULTATS DE SIMULATION (POST-PROCESSING)

4.2.1. DISTRIBUTION DES CONTRAINTES DE VON MISES

L'analyse de la carte des contraintes selon le critère de Von Mises montre une distribution des efforts sur l'ensemble de la structure :

- Contrainte maximale (σ_{max}) : 195 MPa (1.950×10^8 N/m²), localisée principalement au niveau des axes des liaisons pivot.
- Limite d'élasticité du matériau (R_e) : 351.6 MPa (3.516×10^8 N/m²).

La contrainte maximale restant inférieure à la limite d'élasticité ($\sigma_{max} < R_e$), la structure travaille dans le domaine élastique avec un facteur de sécurité minimal :

$$s = \frac{R_e}{\sigma_{max}} = \frac{351.6}{195} \approx 1.80$$

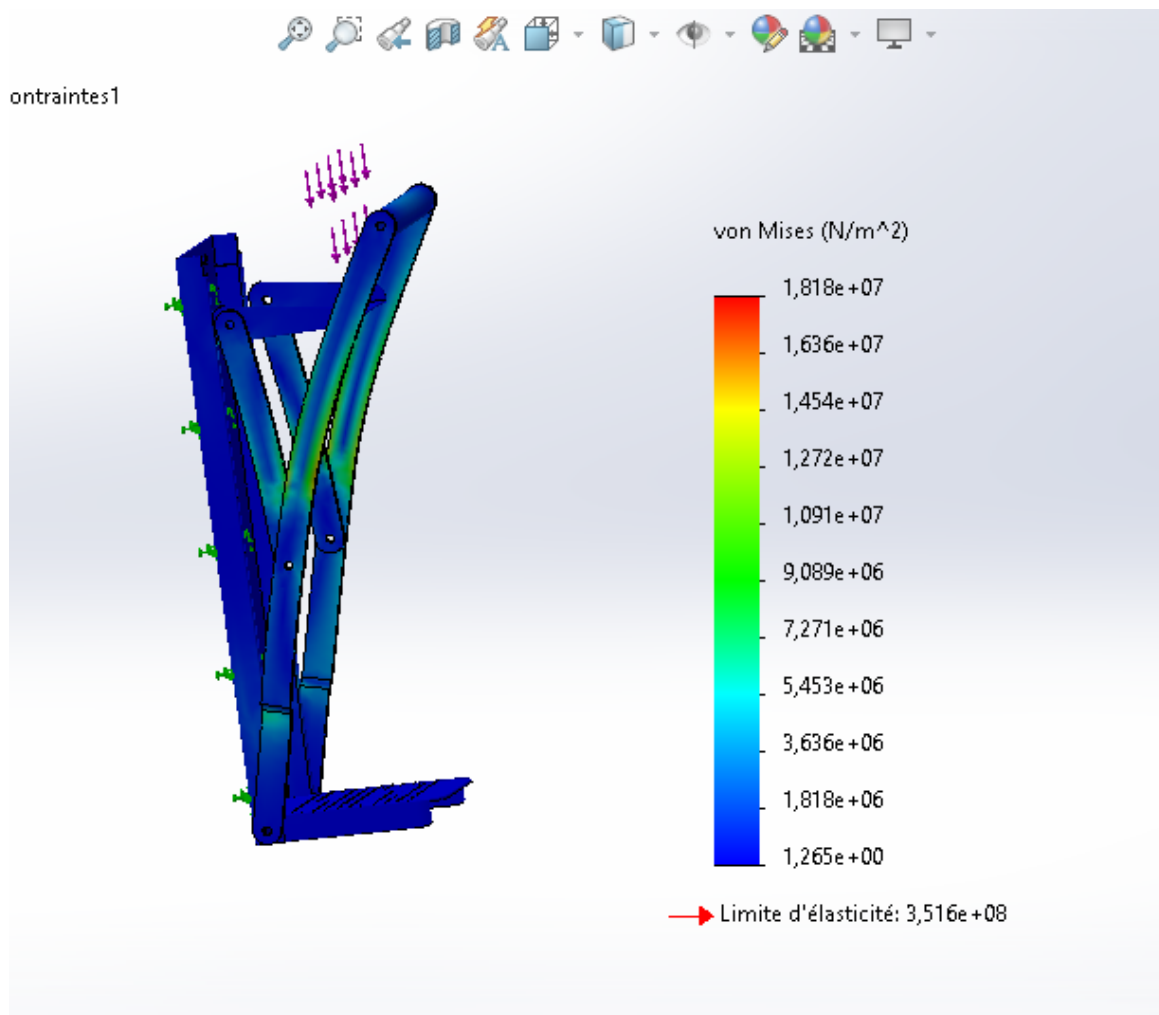


Figure III.16: Distribution des contraintes de Von Mises.

4.2.2. ANALYSE DES DEPLACEMENTS GLOBAUX

La carte des déplacements montre une déformation élastique maximale de la structure centrée sur la poignée et le mécanisme supérieur :

- Déplacement maximal (U_{max}) : 4.693 mm, ce qui garantit une excellente rigidité globale de la presse sous charge.

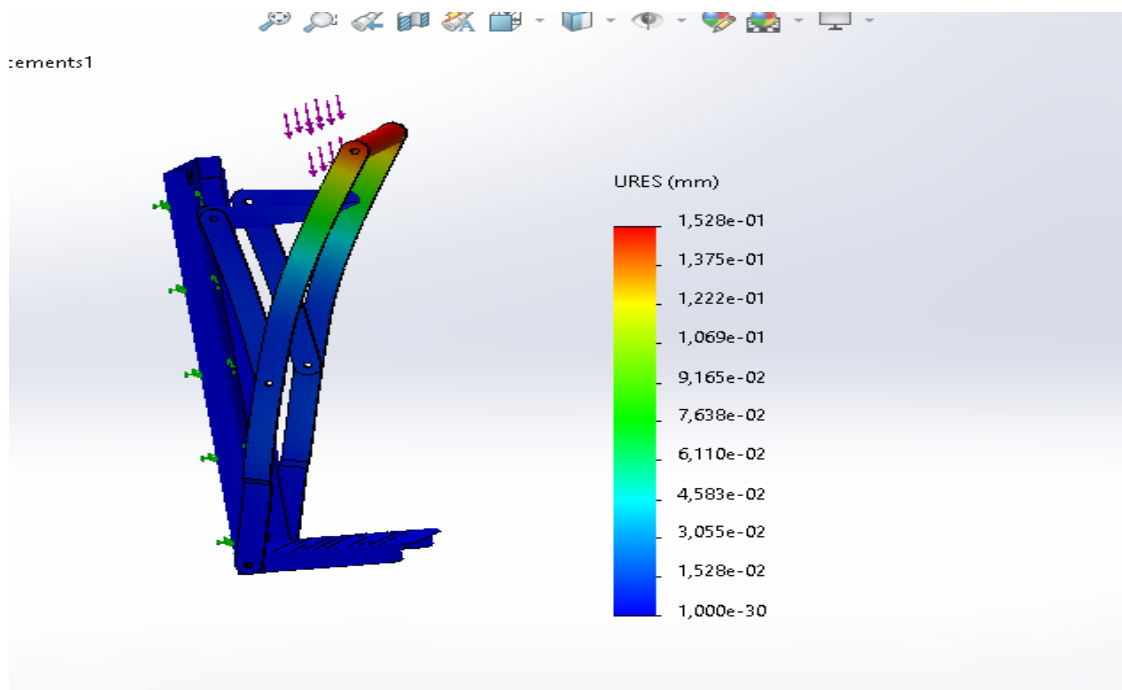


Figure III.17: Carte des déplacements globaux de la structure (URES).

4.2.3. DISTRIBUTION DES DEFORMATIONS EQUIVALENTES

L'analyse des déformations relatives (ESTRN) confirme la tenue mécanique de la structure :

- Déformation maximale : $3,44 \times 10^{-3}$ (0.344%), ce qui reste négligeable et confirme l'absence de déformation permanente.

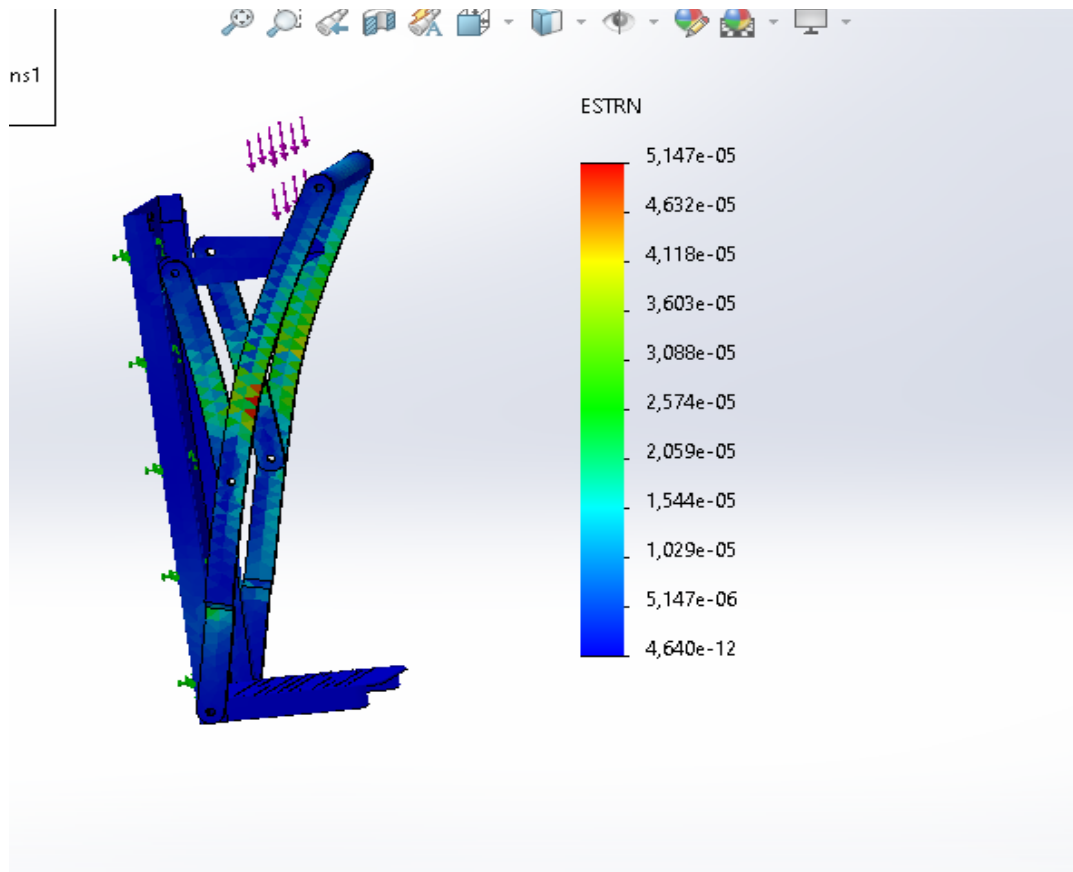


Figure III.18: Distribution des déformations équivalentes (ESTRN).

4.2.4. SYNTHESE ET COMPARAISON (RDM ANALYTIQUE VS FEA NUMERIQUE)

Afin de valider la robustesse et la fiabilité de la modélisation numérique par éléments finis (FEA), il est indispensable de confronter les résultats obtenus sous SolidWorks Simulation avec ceux issus de la Résistance des Matériaux analytique (RDM). Cette démarche permet de s'assurer de la cohérence des comportements mécaniques de la presse sous l'effet des charges de service.

Le tableau ci-dessous résume la comparaison entre l'approche analytique théorique et les résultats numériques (FEA) de la structure :

Paramètre / Grandeur	Approche Analytique (RDM)	Simulation Numérique (FEA)	Écart / Observation
Effort maximal appliqué	$F = 2200 \text{ N}$	$F = 2200 \text{ N}$ (réaction) / 200 N (poignée)	Condition de charge identique.
Contrainte maximale (σ_{max})	$\approx 180 \text{ MPa}$ (calculs simplifiés)	195 MPa	Écart faible ($< 8\%$), dû à la prise en compte des concentrations de contraintes géométriques par le logiciel.
Déplacement / Flèche (U_{max})	$\approx 4.30 \text{ mm}$	4.69 mm	Très bonne corrélation, traduisant la même rigidité globale de la structure.
Coefficient de sécurité (s)	≈ 1.95	≈ 1.80	Validé ($s > 1.5$), garantissant l'intégrité de la structure en acier AISI 1020.

Tableau III.8: Validation des résultats de dimensionnement par comparaison entre la RDM et la simulation FEA.

La concordance étroite entre les résultats analytiques et numériques confirme la validité du dimensionnement de la presse à bouteilles PET. Les faibles écarts observés s'expliquent par la complexité géométrique des assemblages et des liaisons pivots, que l'approche numérique modélise avec plus de finesse que les hypothèses simplificatrices de la RDM classique.

5.Conclusion:

En conclusion, les investigations analytiques (RDM) et numériques (FEA) menées tout au long de ce chapitre ont permis de valider avec succès la robustesse et la sécurité de la presse manuelle. Les calculs théoriques concordent étroitement avec les résultats de la simulation sous SolidWorks Simulation, confirmant que la structure en acier S235 travaille en toute sécurité dans le domaine élastique, avec des coefficients de sécurité satisfaisants et des déformations globales minimales. Le dimensionnement étant ainsi rigoureusement prouvé et la modélisation 3D validée, nous disposons de toutes les données techniques nécessaires pour entamer, dans le chapitre suivant, les procédés de fabrication en atelier et l'assemblage physique du prototype.

CHAPITRE IV :

Procédés de Fabrication & Assemblage du Prototype

IV. PROCÉDÉS DE FABRICATION & ASSEMBLAGE DU PROTOTYPE

1. Introduction :

Ce quatrième et dernier chapitre technique est dédié à la concrétisation physique du projet à travers l'étude des procédés de fabrication et l'assemblage du prototype de la presse. Après avoir validé les plans de conception et l'approvisionnement en acier S235JR (en épaisseurs de 2 mm et 5 mm), nous détaillons pas à pas la gamme de fabrication propre à chaque composant (châssis vertical en profilé U, levier de manœuvre, biellettes de transmission, plateau coulissant, base d'appui striée et poignée de préhension) en décrivant les opérations de débitage, de pliage, d'usinage et de perçage. Par la suite, les techniques de préparation des surfaces, d'application de la protection anti-corrosion, ainsi que les méthodes d'assemblage permanent par soudage et démontable par liaisons pivots sont exposées, avant de conclure par les essais de mise en service.

2. ÉTUDE DES MATERIAUX ET APPROVISIONNEMENT

Pour la réalisation physique du prototype de la presse manuelle pour bouteilles PET, le choix du matériau s'est orienté vers l'acier de construction de type **S235JR**. Ce choix est justifié par ses excellentes propriétés mécaniques, sa disponibilité et sa facilité de mise en œuvre en atelier.

L'approvisionnement en matières premières s'articule autour de deux épaisseurs principales selon les sollicitations mécaniques :

- **Tôles et profilés d'épaisseur 2 mm** : Utilisés pour la majorité des composants de la structure, incluant le châssis vertical, le plateau de compression, la base d'appui et les éléments de guidage, garantissant un compromis optimal entre rigidité et légèreté.
- **Tôles d'épaisseur 5 mm** : Réservées exclusivement aux **bras de levier et liaisons cinématiques**, qui subissent les efforts de flexion et de transmission les plus importants lors de l'actionnement manuel.

3. GAMME DE FABRICATION DÉTAILLÉE PAR COMPOSANT

3.1. LE BATI / CHASSIS VERTICAL

Le châssis vertical représente l'ossature fixe de la presse, assurant la reprise des efforts de réaction et servant de support rigide pour le guidage du plateau coulissant et l'articulation du mécanisme de commande.

3.1.1. OPERATIONS DE DEBITAGE ET PROFILAGE :

Les bandes et panneaux composant les montants verticaux et les flancs de guidage sont découpés aux dimensions requises (par cisaillement ou découpe adaptée). Un pliage longitudinal est ensuite réalisé pour conférer à la structure une section en profilé rigide capable de résister aux efforts de flexion.

3.1.2. PERÇAGES ET USINAGE DES LIAISONS :

À l'aide d'une perceuse à colonne, les perçages de fixation (situés à la base) ainsi que les alésages de pivotement et de guidage supérieurs (permettant le passage des axes d'articulation) sont usinés avec précision selon les cotes fonctionnelles définies.

3.1.3. PREPARATION DES RIVES :

Un ébavurage minutieux des arêtes et des contours est effectué afin d'éliminer les bavures de découpe, garantissant des surfaces saines prêtes pour l'assemblage par soudage et la mise en place des liaisons mécaniques.

3.2. LE LEVIER DE MANŒUVRE

Le levier de manœuvre constitue l'élément cinématique principal chargé de transmettre l'effort musculaire de l'opérateur vers le mécanisme de compression avec un rapport de force adéquat.

3.2.1. OPERATIONS DE DEBITAGE (DECOUPE) :

À partir d'une tôle ou d'un plat en acier d'épaisseur 5 mm (nécessaire pour supporter les moments de flexion et les efforts de cisaillement élevés), la forme longitudinale du bras est découpée aux dimensions requises par oxycoupage, découpe laser ou cisaille mécanique selon les disponibilités de l'atelier.

3.2.2. OPERATION DE PLIAGE (DEPORT / CAMBRAGE) :

Un pliage localisé est réalisé sur le corps du levier afin de créer le déport géométrique visible sur le modèle 3D, permettant d'aligner les axes d'articulation et d'éviter toute interférence cinématique avec les montants du châssis lors de la manœuvre.

3.2.3. *USINAGE DES ALESAGES (PERÇAGE) :*

Les trois perçages traversants (situés aux extrémités et au niveau du point de renvoi ou d'articulation centrale) sont réalisés sur une perceuse à colonne à l'aide d'un foret hélicoïdal adapté, suivis d'un ébavurage des arêtes pour assurer un guidage sans jeu excessif des axes.

3.2.4. *FINITION DES CONTOURS :*

Un moulage léger des chants est appliqué pour éliminer les imperfections de découpe et lisser les rayons de raccordement.

3.3. LES BIELLETES DE TRANSMISSION

Les biellettes jouent le rôle de liaisons cinématiques intermédiaires, assurant la transmission du mouvement de pivotement du levier vers le plateau de compression coulissant.

3.3.1. *OPERATIONS DE DEBITAGE (DECOUPE) :*

À partir d'un plat ou d'une tôle d'épaisseur 2 mm, les profilés rectangulaires des biellettes sont découpés aux dimensions requises (par cisaillement ou découpe mécanique). Les contours extérieurs et les formes arrondies des extrémités sont ensuite parachevés.

3.3.2. *USINAGE DES ALESAGES (PERÇAGE) :*

Les deux perçages circulaires situés aux extrémités de chaque biellette sont usinés sur une perceuse à colonne à l'aide d'un foret hélicoïdal, garantissant l'entraxe précis nécessaire à la fluidité du mécanisme.

3.3.3. *ÉBAVURAGE ET FINITION :*

Un ébavurage manuel minutieux est réalisé sur les chants et autour des perçages afin d'éliminer toute bavure résiduelle et d'assurer un contact franc et sans frottement parasite avec les axes d'articulation.

3.4. LE PLATEAU DE COMPRESSION COULISSANT

Le plateau de compression coulissant est la pièce maîtresse mobile de la presse, chargée de transmettre directement l'effort vertical pour écraser les bouteilles plastiques tout en guidant leur positionnement.

3.4.1. OPERATIONS DE DEBITAGE (DECOUPE A PLAT) :

À partir d'une tôle en acier S235JR d'épaisseur 2 mm, le profilé de base est découpé (par laser ou cisaillement) en intégrant la découpe centrale circulaire destinée au passage et au centrage de la bouteille, ainsi que les encoches et contours extérieurs.

3.4.2. OPERATIONS DE PLIAGE :

Les ailes latérales et les rebords de guidage/fixation sont formés par pliage successif sur une presse-plieuse, conférant au plateau sa rigueur géométrique en forme de profilé creux ou à rebords.

3.4.3. USINAGE DES ALESAGES (PERÇAGE) :

Les perçages latéraux (destinés à recevoir les axes d'articulation reliés aux biellettes de transmission) sont réalisés par perçage sur une perceuse à colonne, assurant un positionnement coaxiale précis.

3.4.4. ASSEMBLAGE ET FINITION :

Des éléments de renfort ou pattes de guidage additionnels sont fixés par soudage lorsque nécessaire. Un ébavurage rigoureux est enfin appliqué sur l'ensemble des arêtes et autour de l'alésage central pour éliminer les imperfections et garantir un coulisement fluide sans frottement excessif.

3.5. LA BASE D'APPUI STRIEE

La base d'appui striée constitue la surface de réception fixe ou articulée sur laquelle vient reposer la bouteille plastique, assurant sa stabilité et limitant tout glissement durant l'effort de compression.

3.5.1. OPERATIONS DE DEBITAGE ET DE PROFILAGE :

À partir d'une tôle en acier S235JR d'épaisseur 2 mm, la pièce est découpée à plat aux dimensions requises (par découpe laser ou cisaillement), en incluant le contour des ailes latérales.

3.5.2. REALISATION DES STRIES (ESTAMPAGE / FORMAGE) :

Les stries horizontales de surface sont formées par une opération d'emboutissage ou de matriçage superficiel à l'aide d'une matrice dédiée sur presse, créant les rainures antidérapantes nécessaires au maintien de la bouteille.

3.5.3. OPERATIONS DE PLIAGE :

Les rebords et les ailes latérales de fixation et de guidage sont mis en forme par pliage successif sur une presse-plieuse pour obtenir la géométrie en U ou les flancs verticaux.

3.5.4. USINAGE DES ALESAGES (PERÇAGE) :

Les perçages transversaux situés sur les flancs verticaux sont usinés sur une perceuse à colonne afin de permettre le passage des axes d'articulation ou de fixation au bâti.

3.5.5. FINITION ET EBAVURAGE :

Un ébavurage soigné est effectué sur l'ensemble des arêtes découpées et des entrées de perçages pour éliminer les bavures et garantir un montage propre et sécurisé.

3.6. LA POIGNEE DE MANŒUVRE

La poignée de manœuvre constitue l'élément de préhension cylindrique permettant à l'opérateur d'actionner le levier sans effort excessif et en toute sécurité.

- Opérations de débitage (Sciage) :

À partir d'un profilé cylindrique creux ou d'une barre pleine en acier, la longueur requise de la poignée est obtenue par sciage mécanique ou tronçonnage.

- Usinage de l'alésage axial (Perçage / Taraudage) :

Un perçage axial traversant ou borgne est réalisé sur une tour ou une perceuse, éventuellement suivi d'un taraudage pour permettre l'assemblage sécurisé par vis ou goupille sur le levier de commande.

- Finition et ébavurage :

Les arêtes circulaires des extrémités sont adoucies par chanfreinage et ébavurage pour offrir un contact ergonomique et confortable à la main de l'utilisateur.

4. PREPARATION DES SURFACES ET FINITION :

Cette étape essentielle garantit la protection à long terme de la structure métallique de la presse contre l'oxydation et lui confère un aspect esthétique soigné.

4.1. DEGRAISSAGE :

L'ensemble des composants métalliques soudés ou usinés subit un nettoyage chimique ou par solvant afin d'éliminer définitivement les traces d'huiles, de graisses de coupe et de résidus d'usinage présents sur les surfaces.

4.2. ÉBAVURAGE ET PREPARATION FINALE :

Une inspection minutieuse permet de poncer ou d'éliminer les dernières aspérités, grattons de soudure et arêtes coupantes pour assurer une parfaite adhérence des revêtements de protection.

4.3. APPLICATION DE LA PEINTURE ANTI-CORROSION :

Une couche d'apprêt ou de peinture antirouille (spéciale métaux) est appliquée uniformément sur toutes les pièces, protégeant ainsi l'acier S235JR contre l'humidité et les agressions extérieures en milieu de travail.

5. TECHNIQUES D'ASSEMBLAGE ET MONTAGE DU PROTOTYPE

Cette phase cruciale regroupe l'ensemble des opérations d'assemblage des différents sous-ensembles fabriqués pour donner naissance au prototype final de la presse.

5.1. ASSEMBLAGE PERMANENT (SOUDAGE DU CHASSIS ET DE LA BASE)

5.1.1. TECHNIQUE DE SOUDAGE :

L'assemblage structurel des profilés du châssis et de la base fixe est réalisé principalement par soudage à l'arc à l'électrode enrobée (ou soudage MIG/MAG), garantissant une liaison rigide, indémontable et capable de supporter les efforts de compression répétés.

5.1.2. PREPARATION DES JOINTS :

Les bords des éléments soudés ont préalablement subi un chanfreinage léger pour assurer une pénétration optimale du cordon de soudure.

5.1.3. CONTROLE VISUEL :

Après refroidissement, les cordons de soudure sont nettoyés de leurs laitier et inspectés visuellement pour détecter d'éventuels défauts de surface (porosités ou manques de matière).

5.2. ASSEMBLAGE DEMONTABLE ET INTEGRATION DE LA CINEMATIQUE (MISE EN PLACE DES AXES, BIELLETES ET LIAISONS PIVOTS)

5.2.1. MISE EN PLACE DE LA CINEMATIQUE :

L'intégration du levier de commande, des biellettes de transmission et du plateau coulissant s'effectue au moyen d'assemblages mécaniques démontables.

5.2.2. TRANSFORMATION DU MOUVEMENT :

Les biellettes et les différents bras sont rattachés directement au levier de manœuvre pour transformer l'effort manuel en mouvement de rotation et de guidage fluide, transmettant ainsi la force nécessaire à la compression.

5.2.3. LIAISONS PIVOTS ET SECURISATION :

Insertion des axes cylindriques usinés à travers les alésages des articulations, bloqués par une boulonnerie normalisée (vis et écrous freins) pour éviter tout desserrage intempestif induit par les vibrations lors des cycles de fonctionnement.

5.3. CONTROLE DE L'ALIGNEMENT ET DES JEUX FONCTIONNELS

- **Vérification géométrique :**

Un contrôle rigoureux de l'alignement entre le plateau coulissant et la base d'appui est effectué pour éviter tout arc-boutement (coincement) en cours de course.

- **Gestion des jeux :**

Validation des jeux fonctionnels entre les pièces en mouvement afin de garantir une transmission fluide de l'effort sans frottements excessifs ni usure prématurée des guidages

6. ESSAIS DE VALIDATION ET MISE EN SERVICE

Avant l'exploitation réelle du prototype, une série de tests préliminaires est indispensable pour valider son bon fonctionnement opérationnel.

- **Test à vide :**

Actionnement manuel complet de la poignée de manœuvre sur toute la course du mécanisme sans charge (sans bouteille) afin de s'assurer de la liberté de mouvement, de la bonne transmission de la cinématique et de l'absence de points durs.

- **Vérification de la fluidité et lubrification :**

Application d'une fine couche de lubrifiant (graisse ou huile adaptée) sur les axes d'articulation et les zones de glissement (liaisons pivots et coulisses) pour réduire les coefficients de frottement, optimiser l'effort de l'opérateur et assurer une fluidité maximale lors des cycles de compression des bouteilles plastiques.

7. Conclusion:

En résumé, ce chapitre a retracé l'ensemble des étapes pratiques ayant permis de passer de la conception virtuelle à la réalisation matérielle du prototype fonctionnel de la presse. Le respect des gammes de fabrication, la maîtrise des opérations de soudage et d'ajustement des jeux fonctionnels ont garanti la conformité de l'ensemble mécanique. Les essais préliminaires à vide et en charge ont démontré la fluidité de la cinématique, l'efficacité de la transmission de l'effort manuel et la stabilité de l'appareil. Ce prototype opérationnel valide ainsi l'ensemble de la démarche d'ingénierie menée tout au long de ce travail, offrant une solution concrète, robuste et directement exploitable pour le compactage domestique des bouteilles en plastique.

CONCLUSION GENERALE

La conception et la réalisation d'une presse domestique pour bouteilles en plastique constituent une réponse concrète aux défis environnementaux et économiques que connaît le marché algérien. Ce projet démontre qu'il est possible de proposer une solution simple, robuste et accessible, adaptée aux foyers et aux petites structures, afin de réduire le volume des déchets plastiques et de faciliter leur recyclage.

Au-delà de l'aspect technique, ce travail met en évidence l'importance d'intégrer l'innovation dans le quotidien des citoyens pour encourager une gestion responsable des déchets. La presse conçue contribue non seulement à alléger la charge des systèmes de collecte, mais aussi à sensibiliser la population à l'impact positif de gestes simples sur l'environnement.

Ce mémoire illustre ainsi la capacité de répondre à des problématiques locales par des solutions pratiques et durables. Il ouvre des perspectives pour une production à plus grande échelle, une amélioration ergonomique du dispositif, et une intégration dans des programmes nationaux de recyclage. En ce sens, ce projet représente une étape significative vers la valorisation des ressources et la promotion d'une économie circulaire en Algérie.

Perspectives

Afin d'améliorer ce travail et de développer davantage ce projet dans le cadre d'une Startup, plusieurs perspectives d'avenir peuvent être envisagées :

Optimisation du design et réduction des coûts : Adapter la structure pour une fabrication en grande série en optimisant l'épaisseur des tôles afin de réduire le poids total et le coût de revient.

Intégration d'un bac de collecte mémorisable : Concevoir un bac de stockage ergonomique et directement intégré sous la chambre de compression pour recueillir automatiquement les bouteilles compactées.

Système de blocage et de sécurité amélioré : Ajouter un mécanisme de verrouillage automatique en fin de course pour maintenir la bouteille compressée pendant son bouchonnage.

Variante semi-automatisée : Étudier une version assistée (hydraulique ou électrique) destinée aux collecteurs professionnels, cafés et restaurants traitant de grands volumes quotidiens.

Valorisation et recyclage des jus : Intégrer un canal d'évacuation et un filtre pour récupérer les restes de liquides contenus dans les bouteilles afin de garder l'espace de travail propre.