

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

MASTER

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : FABRICATION MÉCANIQUE ET PRODUCTIQUE

PAR :

NOM PRÉNOM : DJERMOUNE MOKHTAR

NOM PRÉNOM : DJAKER TIFANE

Thème

Etude et conception d'une vis de transport pour l'injection plastique

Soutenu le 27 Juin 2018 devant le jury composé de:

Melle. HIMED

Président

Mr. HAMRI Okba

Rapporteur

Mr. BOOTAANI

Examineur

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2017-2018

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À la mémoire de mes grands parents

*Aux plus belles personnes sur terre que Dieu a créé : **mes parents** :*

- **Ma mère** : la source de patience, générosité et de tendresse, qui a été non seulement une maman mais même une des enseignantes dans mon parcours d'étude.
- **Mon père** : qui lui aussi a contribué dans mon parcours, il s'est toujours montré présent pour nous orienter et nous donner ses précieux conseils.

Tous les remerciements ne pourront être efficaces pour montrer ma gratitude vers eux. Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde gratitude.

À mes frères, Madani, Malik et Moussa.

À mes sœurs, Tounes, Ghania, Sadika, Warda, Karima, Fatiha, Fahima et Naguiba.

À toute ma famille,

À tous mes amis et collègues,

À tous les étudiants de la promotion 20017/2018,

Option : Fabrication Mécanique et Productive

Sans oublier Kenza, Hamza, lolo, Dalil, Oussama, Djezuz, Khali Ali, Tifane, Yacine, Athmane, kosso, Hakim, Juba, Malek, Boualem, Nadjim et tous mes amis de la résidence Ireyaheh que j'aime beaucoup.

À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

Mokhtar.

Remerciements

Je remercie avant tout mon dieu le tout puissant de nous avoir donné la foi, la Volonté et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous remercions notre promoteur Mr OKBA HAMRI, pour nous avoir assuré l'encadrement et d'avoir consacré le temps nécessaire pour la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions également les membres du jury d'avoir accepté de juger notre Travail.

Nous remercions également tous les enseignants qui ont participé à notre Formation.

Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont participé de Près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Merci à vous tous...

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À la mémoire à ma défunt tante Nadjat et ma grand-mère, deux personne qui m'ont soutenue et encouragé durant tout mon parcours d'étude, que dieux les accueille dans son vaste paradis.

*Et aux plus belles personnes sur terre que Dieu a créé : **ma famille :***

- ***Ma mère :** la source de patience, générosité et de tendresse, qui a été non seulement une maman mais même une des enseignantes dans mon parcours d'étude.*
- ***Mon père :** qui lui aussi a contribué dans mon parcours, il s'est toujours montré présent pour nous orienter et nous donner ses précieux conseils.*
- ***Mes frères :** Ghiles et Sifax je vous exprime à travers ce travail mes sentiment de fraternité et d'amour.*

Tous les remerciements ne pourront être efficaces pour montrer ma gratitude vers eux. Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde gratitude.

À toute ma famille.

À tous mes amis et collègues

À mes grandes parent

À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

A mon binôme Mokhtar DJERMOUNE, Toufik, l'équipe d'ireyahan khali Ali, djazil, Dalil, Boualem ,Nadjim ; Yassine ferguene, Lamia , Nissa et sans oublier Offman et Smail.

Tifane.

Sommaire

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Nomenclature	
Introduction générale	1

Chapitre I : Généralité sur l'injection plastique

INTRODUCTION	4
I.1. Histoire de l'injection thermoplastique	4
I.2 .Définition de l'injection plastique	5
I.3. Le procédé d'injection – moulage	6
- I.3.1. Etat d'art	6
- I.3.2. Les étapes du procédé	6
- I.3.3. Déroulement du cycle d'injection	8
I.4. Autres types d'injection	9
- I.4.1. Injection à gaz	9
- I.4.2. injections bi-matière	9
- I.4.3. Injection IML (In Mold labelling)	10
I.5. Domaine d'utilisation	11
I.6. Les presses d'injections	11
- I.6.1 Définition	11
- I.6.2. Caractéristiques des presses	12
- I.6.3. La structure de presse d'injection	12
- I.6.4. principaux élément d'une presse.....	13
- I.6.4.1. Le bâti	13
- I.6.4.2. Unité d'injection	13
- I.6.4.2. Unité de fermeture verrouillage	14
- I.6.5. Diffèrent types de presse d'injection	14
- I.6.5.1. Presses à injection plastique horizontales	14
- I.6.5.2. Presse à injection plastique vertical	15
I.7. Les matières plastiques	16

I.8. Les polymères	16
- I.8.1. Définition	16
- I.8.2. propriétés des polymères	16
- I.8.3. Types de polymères	17
- I.8.3.1. Polymères thermoplastiques	17
- I.8.3.2 Polymères thermodurcissables	17
I.9. Les élastomères	18
- I.9.1. définition	18
- I.9.2. Types d'élastomères thermoplastique (TPE)	18
- I.9.3. Les applications types des élastomères thermoplastiques (TPE)	19
Conclusion	19

Chapitre II : Etude d'une vis standard de plastification.

INTRODUCTION	21
II.1. Le groupe de plastification	21
II.2. Procède de fonctionnement	22
II.3. Les principaux éléments d'un groupe de plastification	22
II.4. Etude d'une vis standard d'injection plastique	23
- II.4.1 Composant d'une vis de transport	23
- II.4.2 Caractéristique d'une vis plastification	24
- II.4.3 Rôle d'une vis d'injection plastique	24
- II.4.3 Types de vis d'injection	25
- II.4.5 Procède de fabrication de la vis	26
- II.4.6 Le groupe d'entraînement de la vis	26
II.5. Matériaux injecté	27
- II.5.1. Le polypropylène (PP)	27
- II.5.2. Domaine d'application	27
- II.5.3. Caractéristiques techniques	28
- II.5.4. Type de polypropylène	29
- II.5.5. Procédé de transformation de la matière première en article	29
- II.5.6. Avantages	29
- II.5 .7. Inconvénients	29
Conclusion	30

Chapitre III : Calcul et dimensionnement de la vis de plastification

INTRODUCTION	32
III.1. Etude du comportement rhéologique	32
- III.1.1. La rhéologie	32
- III.1.2. Comportement newtonien	32
- III.1.3. Modèle Pseudo-plastique	34
- III.1.3.1. Loi de puissance (Loi Ostwald – de Waele)	34
- III.1.3.2. Loi de Cross	34
- III.1.3.3. Loi de Carreau	35
- III.1.3.4. Loi de Carreau-Yasuda	35
- III.1.3.5. Effets sur la pression et la température	36
III.2. Etude des écoulements	37
- III.2.1. Modélisation	37
- III.2.2. Importance de la nature du fluide et de l'écoulement	37
- III.2.3. Ecoulement isothermique d'un fluide newtonien	38
- III.2.3.1 Ecoulement longitudinal	39
- III.2.3.2 Ecoulement transversal	40
III.3. Géométrie et approximation	40
- III.3.1. Vis de référence	40
- III.3.2. Géométrie de la vis	41
- III.3.3. Description Du Chenal De La Vis	42
- III.3.4. Déroulement du chenal de la vis	43
- III.3.5. Vitesse relative du fourreau	44
III.4. Calcul et dimensionnement	45
- III.4.1. Capacité de la presse d'injection	46
- III.4.2. Calcul de la vitesse de rotation de la vis, la pression à l'entrée dans la buse ..	47
- III.4.3. Dimensionnement de la vis	48
- III.4.3.1. Résistance de la vis à la torsion	48
- III.4.3.2. Résistance de la vis à la compression	49
- III.4.3.3. Dimensionnement de filet de la vis	50
III.4.3.4. Flambage	50
III.4.4. Dimensionnement du fourreau	51
III.4.5. Dimensionnement Du Réducteur	52

III.4.5.1 Calculs sur l'arbre de transmission	52
III.4.5.2 Dimensionnement normalisées des engrenages cylindriques à denture droite	53
III.4.5.3 Dimensionnement des clavettes (rectangulaire)	58
Conclusion	59

Chapitre IV : Modélisation géométrique et numérique.

INTRODUCTION	61
IV.1. Généralités	61
- IV.1.1. Définition de la CAO	61
- IV.1.2. Logiciel utilisée.....	61
- IV.1.3. Les différentes utilisations de Solid Works	61
IV.2 Modélisation géométrique des composantes	61
- IV.2.1. Modélisation géométrique de groupe de plastification	62
- IV.2.2. Modélisation géométrique de groupe de réducteur de vitesse	64
IV.3. Modélisation numérique	65
- IV.3.1. Introduction aux éléments finis	65
- IV.3.2. Le maillage.....	66
- IV.3.3. Génération d'un maillage.....	66
- IV.3.4 Matériau utilise	66
- IV.3.4.1 Matériau utilise pour la réalisation de la vis et la point de vis	66
- IV.3.4.2 Matériau utilise pour la réalisation de fourreau	66
IV.4. vérification des Condition aux limites des différents composants	67
- IV.4.1 condition limite de la vis	67
- IV.4.1.1. Etude de la résistance de la vis à la torsion	67
- IV.4.1.2. Etude de la résistance de la vis à la compression	69
- IV.4.1.3. Application de la force critique (flambage)	72
- IV.4.2. Etude de la résistance de fourreau a la pression	73
- IV.4.3. Les conditions limites de la point de vis	75
- IV.4.3.1. Etude de la résistance de la point de vis à la compression	75
- IV.4.3.2. Etude de la résistance de la pointe vis à la torsion	77
Conclusion.....	80
Conclusion générale	82

Liste bibliographique.....	
Annexes	

Liste des figures

Figure I.1- Exemples des pièces obtenues par injection plastique.	5
Figure I.2 - Les étapes du procédé d'injection-moulage des thermoplastiques.	7
Figure I.3 - cycle d'injection plastique.	8
Figure I.4 - Injection à Gaz.	9
Figure I.5- injection Bi- matière ou Bi- couleur	10
Figure I.6 - Injection IML	10
Figure I.7 - Presse à injecter industrielle	13
Figure I.8- Unité d'injection	13
Figure I.9- unité de fermeture, verrouillage	14
Figure I.10 - Presse à injection plastique horizontale	15
Figure I.11- schéma d'une presse verticale.	15
Figure I.12- Microstructure schématique du TPE-S (élastomère thermoplastique styrénique)..	18
Figure II.1 - Schéma d'un groupe de plastification.	21
Figure II.2 - Profil d'une vis de plastification	24
Figure II.3 - Profil d'une vis barrière de type "Maillefer.	25
Figure II.4 - Schéma de principe de la vis avec système de dégazage	25
Figure II.5 - Vis à énergie de transfert, d'après C. Chung, "A novel energy efficient screw design», SPÉ Antec 168, page 168-169, Mai 1983.....	26
Figure II.6 - liste de figure des applications de PP	28
Figure III.1 - Schématisation le cisaillement entre deux plaques	33
Figure III.2 - Viscosité d'un liquide newtonien.....	33
Figure II.3- Lois de comportement élémentaires	36
Figure III.4 - Schéma de la vis de référence	40
Figure III.5 - Géométrie du système vis-fourreau. 1. Fourreau. 2. Corps de la vis.	41
Figure III.6 - Géométrie de l'hélice	42
Figure III.7 - Géométrie du chenal de la vis : déroulement	44
Figure III.8 - Représentation locale déroulée du système vis-fourreau.	44
Figure III.9 - Géométrie du fourreau.	51

Figure IV.1- Modèle CAO de la vis.	62
Figure IV.2 - Modèle CAO de fourreau.....	62
Figure IV.3 - Modèle CAO de la buse..	62
Figure IV.4 - Modèle CAO de clapet.....	63
Figure IV.5 - Modèle CAO de la trémie	63
Figure IV.6 - Modèle CAO de l'assemblage vis/clapet	63
Figure IV.7 - Modèle CAO de l'assemblage du groupe de plastification	64
Figure IV.8 - Modèle CAO des composantes de réducteur	64
Figure IV.9 - Modèle CAO de réducteur	64
Figure IV.10 - vis maillée.	67
Figure IV.11 - Application des conditions aux limites à la vis	67
Figure IV. 12 - Contrainte appliqués sur la vis	68
Figure IV.13 - déformation de la vis.....	68
Figure IV.14 – déplacement de la vis	68
Figure IV.15 - coefficient de sécurité.....	69
Figure IV.16 - vis maillée.	69
Figure IV.17 - Application des conditions aux limites à la vis	70
Figure IV. 18 - Contrainte appliqués sur la vis	70
Figure IV.19- déformation de la vis	70
Figure IV.20 - déplacement de la vis	71
Figure IV.21 – coefficient de sécurité de la vis.....	71
Figure IV.22 : Application des conditions aux limites à la vis	72
Figure IV.23 : Contraintes de la vis au flambage	72
Figure IV.24 – coefficient de sécurité.....	72
Figure IV.25 - fourreau maillée	73
Figure IV.26 - Application des conditions aux limites	73
Figure IV.27 - Contrainte appliqués sur le fourreau	74
Figure IV.28 - déformation de fourreau	74
Figure IV.29 - déplacement de fourreau	74
Figure IV.30 - coefficient de sécurité du fourreau	75
Figure IV.31 – pointe de vis maillée	75
Figure IV.32 - Application des conditions limites à la pointe de vis	76
Figure IV.33 - Contrainte appliqués à la pointe de vis	76
Figure IV.34 - Déformation de la pointe de vis	76

Figure IV.35 - Déplacements de la pointe de vis	77
Figure IV.36 - coefficient de sécurité.....	78
Figure IV.37 – pointe de vis maillée	78
Figure IV.38 - Application des conditions aux limites à la pointe de vis.	78
Figure IV.39 – contrainte appliqués à la pointe de vis	78
Figure IV.40 - Déformation de la pointe de vis	79
Figure IV.41 - Déplacements de la pointe de vis	79
Figure IV.42 - coefficient de sécurité.....	79

Liste des tableaux

Tableau I.1- Représentation et dénomination des quatre polymères synthétiques les plus utilisés	16
Tableau III.1 - Paramètres de la vis	41
Tableau III.2 - Paramètres de la vis 41 Tableau III.2 - Les paramètres du modèle visqueux de PPH à 240 ° c	46
Tableau III.3- Démentions normalisé des dents du pignon A et de la roue B	55
Tableau III.4 - Démentions normalisé des dents du pignon C et de la roue D	57
Tableau IV.1 - Résultat d'étude de torsion de la vis	69
Tableau IV.2 - Résultat d'étude de compression de la vis	71
Tableau IV.3 - Contraintes de la vis	73
Tableau IV.4 - Résultat d'étude de la pression interne	75
Tableau IV.5 : Résultat d'étude de la pointe la vis à la compression	77
Tableau IV.6 - Résultat d'étude de la pointe de vis à la torsion	80

Nomenclature

η : Viscosité dynamique Pa.s.

F : Force N.

k : La consistance du fluide.

u : Vecteur vitesse. $m.s^{-1}$

v : Vecteur vitesse. $m.s^{-1}$

w : Champs de vitesse, $m.s^{-1}$.

h : Demi-épaisseur de la plaque, m

τ : Contrainte de cisaillement, Pa

S : La surface latérale du moule, m^2

$\dot{\gamma}$: Taux de cisaillement, s^{-1}

m : Indice de pseudo- plasticité, sans unité

η_0 : Viscosité à des taux de cisaillement nul, $Pa.s^{-1}$

η_{∞} : viscosité à des taux de cisaillement très élevé. $Pa.s^{-1}$

λ : Le temps de relaxation, s

a : La diffusivité thermique, $m^2.s^{-1}$

τ_0 : Contrainte seuil. Pa

n : l'indice d'écoulement

a_T : Décalage facteur.

T : Température, °C.

T_0 : Température de référence, °C.

χ : Coefficient de compressibilité.Pa

Q_m : Débit massique kg/h

W : Champs de vitesse, $m.s^{-1}$

Q_c : Débit de cisaillement mm^3/min

Q_p : Débit de contre pression.

D_1 : Diamètre intérieur du fourreau, mm

D_2 : Diamètre du corps de la vis, mm

e : Épaisseur, mm.

θ : Angle des hélices avec les cercles directeurs du cylindre

H : Hauteur, mm

W : Largeur équivalente

V_f : Vitesse du cylindre m /s.

N : Vitesse de rotation (en tr/min).

v : Volume m^3 .

L : Course d'injection, mm

ρ : Masse volumique kg/m^3

P : Pression Pa

M_t : Moment torsion, N.m.

R_e : Limite d'élasticité. N/mm^2

R_p : Résistance pratique. N/mm^2

c : Coefficient de sécurité.

σ : Contraintes, Pa.

e_f : épaisseur mm.

P : Puissance. KW.

I_0 : Le moment d'inertie polaire (mm^4).

Introduction Générale

Introduction générale

Le moulage par injection est aujourd'hui l'un des procédés les plus utilisés pour la mise en forme des polymères. Il est généralement utilisé pour la production de très grandes séries pour l'automobile, l'électroménager, articles de sport, santé ...etc., ou pour des séries plus réduites en aéronautique. Il permet de produire à grande cadence avec un faible coût, et avec une grande régularité, et de façon automatique des pièces massives et ou de formes complexes.

Son principe consiste à remplir le polymère thermoplastique fondu dans une cavité, appelée empreinte, à l'intérieure d'un moule. Lorsque celui-ci se refroidit, la pièce se solidifie tout en se contractant : le volume occupé par la pièce solidifiée est inférieur à celui de l'empreinte, on appelle ce phénomène le retrait. Lorsque la solidification est terminée, il y a une ouverture du moule et éjection de la pièce.

Les presses d'injection ont été développées significativement comme les presse vertical ou horizontal, en raison de leur grande polyvalence et diverses utilisations. Ils peuvent être utilisés comme un outil de mélange ou des réacteurs chimiques, et permettent à produire des pièces spécifiques.

Ce travail concerne en grande partie à l'étude des procédés de transformation des matières plastiques par un système vis-fourreau, pour mieux comprendre le phénomène de plastification.

La plastification est l'étape durant laquelle le polymère originellement à l'état solide est graduellement fondu et homogénéisé par le chauffage externe et l'action mécanique de la friction contre les parois de l'outillage et du cisaillement. Cette étape est capitale dans la maîtrise technique et économique du procédé. Le but principal on veut étudiée et créé une vis de plastification afin de bien comprendre ce procédées.

L'organisation de notre travail est comme suit :

- le premier chapitre on va présenter des généralités sur l'injection plastique, les procédés de mise en forme des plastiques en particulier le procédé de moulage par injection, et une description des machines d'injection est enfin quelques notion sur les polymères.

- Dans le deuxième chapitre on va présenter les composantes essentiels du groupe plastification, et notion fondamentale sur les vis de plastification, enfin quelque généralité de la matière a injecte (polypropylène).
- Dans le troisième chapitre on va présenter le comportement rhéologique du polymère et les différents modèles de viscosité : modèle newtonien, modèle pseudo plastique. Et les différents calculs nécessaires pour modéliser notre vis de plastification.
- Enfin le dernier chapitre présente la modélisation géométrique et numérique (CAO, assemblage et simulation des pièces essentiel) de groupe de plastification, et les principes des éléments fini utilisés pour établir des équations de base réagissant la thermique et la dynamique.

Chapitre I

Généralités sur l'injection plastique

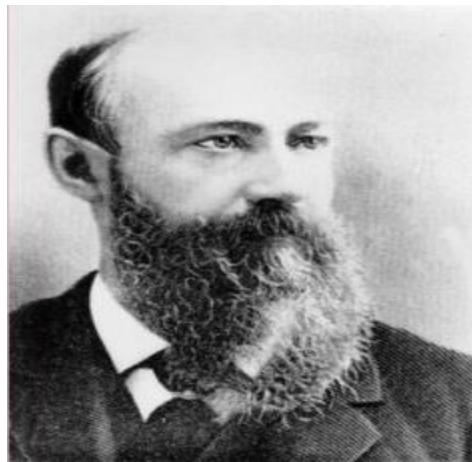
INTRODUCTION

L'industrie du moulage par injection plastique a évolué au fil des ans : au départ réservée à la production de peignes et boutons, elle est passée à la production d'une vaste gamme de produits pour de nombreuses industries, y compris l'automobile, le médical, l'aérospatial, les produits de consommation, les jouets, la plomberie, l'emballage et la construction.

L'injection plastique, ou moulage par injection, utilise les propriétés thermoplastiques de certaines matières pour injecter un plastique ramolli dans un moule, afin de créer une empreinte de celui-ci. Cette technique apporte la meilleure qualité pour vos productions de grandes et très grandes séries.

I.1. Histoire de l'injection thermoplastique

L'inventeur américain John Wesley Hyatt a breveté la première machine de moulage par injection en 1872. Cette machine était relativement simple par rapport aux machines en usage aujourd'hui: elle fonctionnait comme une grande aiguille hypodermique, en utilisant un plongeur pour injecter du plastique à travers un cylindre chauffé dans un moule. A l'époque on produisait surtout des colliers, boutons et peignes.



John Wesley Hyatt

En 1919, Arthur Eichengrün a développé la première presse de moulage par injection, qu'on peut considérer comme la première machine à injection moderne. Quelques années après, en 1926 Eckert et Ziegler font breveter la première presse à injecter ayant des caractéristiques commerciales. Dans les années 1930 voit l'apparition des premières presses à

injecter en France. C'est le début des articles ménagers et jouets en plastiques sur le marché de consommation.

L'industrie s'est développée rapidement dans les années 1940, suite à une demande énorme pour des produits peu coûteux, produits en série. En 1946, l'inventeur américain James Watson Hendry construit la première machine avec vis à injection, permettant un contrôle beaucoup plus précis sur la vitesse d'injection et la qualité des articles produits. Cette machine permettait d'ajouter du plastique coloré ou recyclé à la matière vierge avant d'être injecté. Aujourd'hui les machines avec vis d'injection représentent la grande majorité de toutes les machines d'injection. [1]

I.2. Définition de l'injection plastique :

Le moulage par injection est un procédé de transformation de matières thermoformables, comme les matières plastiques, les élastomères (caoutchoucs), et les métaux et alliages à point de fusion relativement bas comme l'aluminium, le zinc ou le laiton.

Le moulage par injection permet la fabrication de pièces en grande ou très grande série. La matière est ramollie, puis injectée dans des moules installés sur une machine spéciale (presse), et composés de deux coquilles (partie fixe et partie mobile). La matière est ensuite refroidie puis la pièce est éjectée du moule.

On rencontre des composants moulés par injection dans de très nombreux produits manufacturés : automobile, électroménager, matériel informatique, mobilier, etc. Pour les pièces métalliques, les dimensions sont relativement limitées, mais pour les plastiques, elles vont de quelques millimètres à plusieurs mètres (éléments de carrosseries automobiles, tables de jardin, par exemple). [2]



Figure I.1- Exemples des pièces obtenues par injection plastique. [4]

I.3. Le procédé d'injection – moulage :

I.3.1. Etat d'art :

Le procédé d'injection-moulage n'a pas cessé d'être perfectionné pour devenir actuellement le procédé de fabrication de pièces plastiques le plus utilisé au monde. Il peut en effet s'adapter autant à l'élaboration de pièces imposantes (plusieurs kilogrammes) qu'à la production d'objets beaucoup plus petits, de l'ordre du gramme. L'avantage principal de ce procédé réside dans la possibilité d'obtenir des géométries de pièces très complexes tout en ayant des temps cycles très rapides, permettant une production à très haute cadence.

Une machine d'injection-moulage comprend une unité de plastification, une unité de fermeture (dans laquelle est fixé le moule) et une unité de commande. Son principe de fonctionnement est le suivant : Dans l'unité de plastification, la vis est placée dans un fourreau cylindrique, chauffé par conduction. Elle peut être entraînée soit en rotation, soit en translation. Lorsqu'elle tourne, sa fonction est tout d'abord de faire fondre des granulés de polymère, de les mélanger et de convoier la matière à l'entrée de l'unité de fermeture. Ensuite, elle agit comme un piston pour injecter la matière fondue dans un moule. Ce dernier, généralement réglé à une température proche de la température ambiante va permettre de figer le plus rapidement possible le polymère. C'est ce qui se passe lorsque l'on transforme des thermoplastiques. Pour les polymères thermodurcissables ou des élastomères, en général, le mélange est tiède et injecté dans un moule chaud permettant l'initiation de la polymérisation. [3]

I.3.2. Les étapes du procédé

Le procédé d'injection se déroule en cinq étapes :

Étape 1 (Figure 2 a) : la phase de dosage. Les granulés de polymère tombent depuis une trémie dans un ensemble vis-fourreau. Ils sont ensuite fondus progressivement par actions conjuguées des colliers chauffant le fourreau, du cisaillement de la matière, provoqué par la rotation de la vis et la friction des granules (entre eux et contre les parois du fourreau et de la vis). La matière fondue est alors convoyée en avant de la vis (via un clapet anti-retour), dans l'espace créé par le recul progressif de cette dernière lors de sa rotation.

Étape 2 (Figure 2 b) : la phase d'injection. Grâce à un mouvement de translation de la vis, le polymère fondu est transféré du réservoir à un moule via des canaux. Ce mouvement de translation est généré par un vérin, à travers le clapet anti-retour qui, dans cette phase, empêche la matière de rebrousser chemin.

Étape 3 (Figure 2 c) : la phase de compactage. Le moule est composé de deux parties, une fixe et une mobile. Durant le compactage, le moule est maintenu sous pression pour rester fermé, pendant que la matière est compactée par la vis. Pendant cette phase, le polymère fondu continue à être injecté pour compenser le rétrécissement, ou retrait, de la matière qui refroidit.

Étape 4 (Figure 2 d) : la phase de refroidissement. Lorsque le polymère est entièrement figé au niveau du ou des seuils d'injection, il n'est plus nécessaire d'appliquer une pression de maintien, et la pièce continue de se refroidir jusqu'à ce qu'elle soit complètement solidifiée. La vis reprend son cycle de rotation à l'étape 1.

Étape 5 (Figure 2 d) : la phase d'éjection. Le moule s'ouvre, et la pièce formée est éjectée du moule. [3]

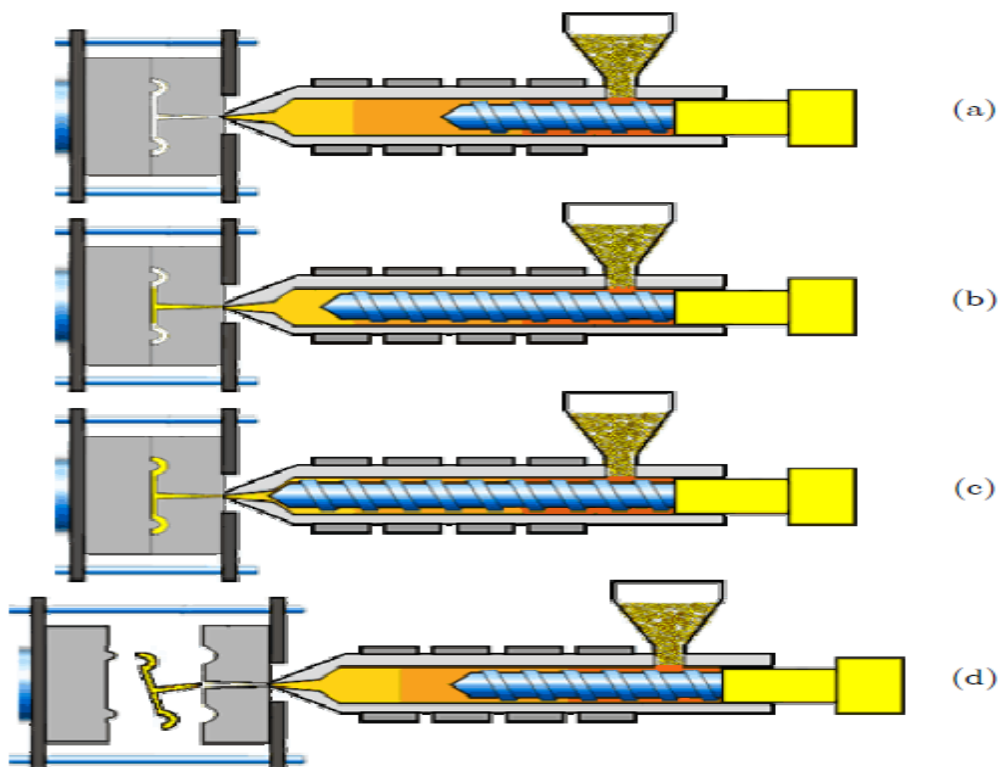


Figure I.2 - Les étapes du procédé d'injection-moulage des thermoplastiques. [3]

I.3.3. Déroulement du cycle d'injection :

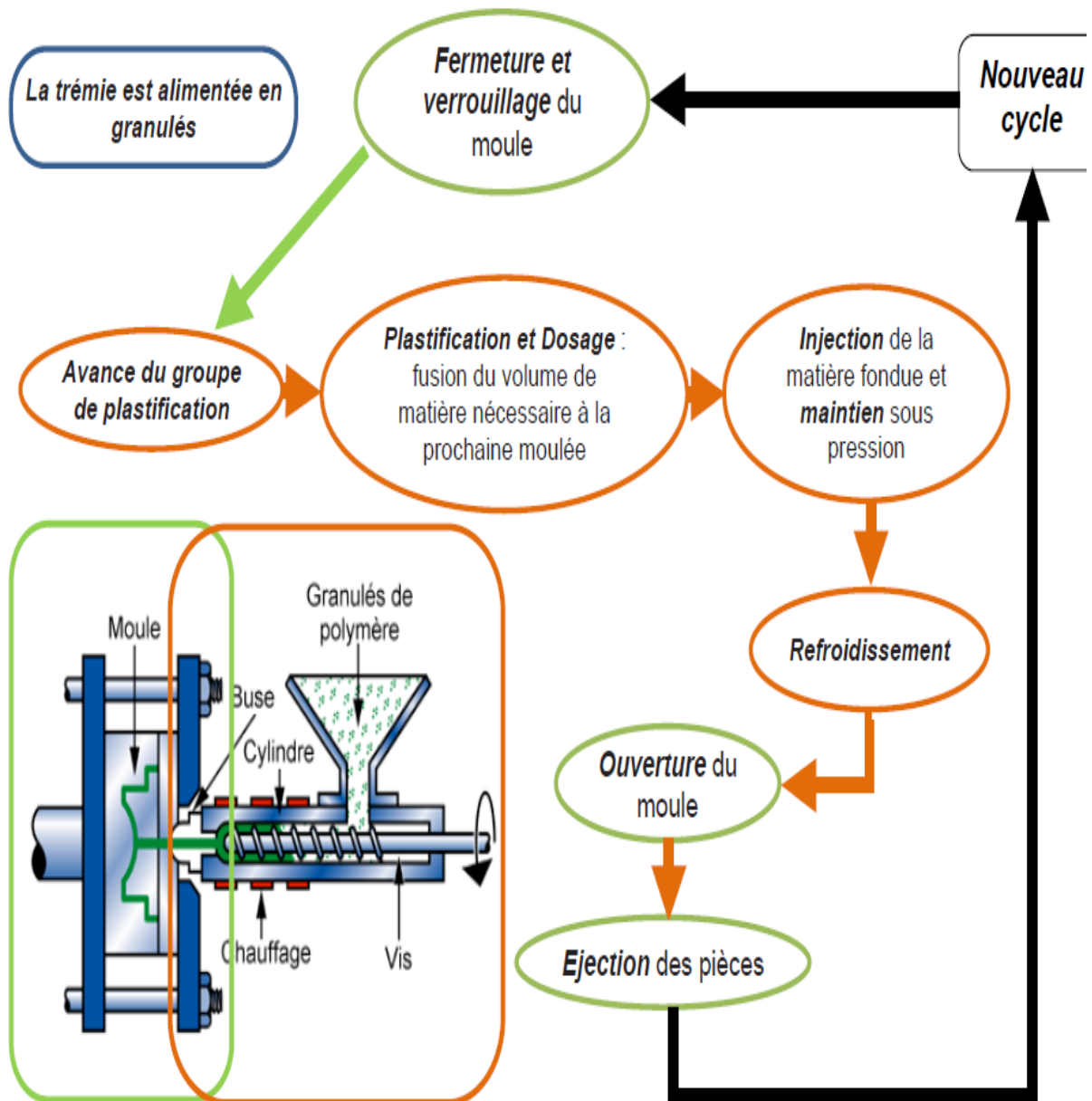


Figure I.3 - cycle d'injection plastique.

La matière plastique (exemple : PP, PE, ABS, ...) se présente sous forme de granulés dans la trémie. Celle-ci doit subir une première transformation, elle est chauffée à l'intérieur du fourreau puis malaxée par une vis. Cette première étape s'appelle la plastification.

A la suite de cette opération la matière visqueuse est poussée dans le moule par un piston. C'est l'injection. Pour que la matière puisse se solidifier, il est ensuite nécessaire de thermo réguler le moule. La pièce moulée peut alors être éjectée après ouverture du moule grâce à un système d'éjection. [4]

I.4. types d'injection :

Des solutions technologiques apportées à la machine ou au moule apparaissent sous divers nom on .

I.4.1. Injection à gaz :

La technologie d'injection assistée par gaz (IAG) caractérise un procédé technique au cours duquel l'âme plastique d'une pièce moulée très volumineuse est repoussée à l'aide d'azote de sorte qu'un canal en forme de tube se forme.

L'injection de produits via le processus d'injection de gaz offre d'incontestables avantages tels que des produits plus légers (pièces creuses), l'absence d'erreur de surface pour les produits à paroi épaisse et des cycles plus courts.

Cette technique permet de produire des produits à paroi épaisse avec une économie maximale de poids, et donc de matière.



Figure I.4 - Injection à Gaz.

I.4.2. injections bi-matière :

Ce procédé peut être utilisé pour obtenir des pièces avec une partie technique dans une matière et partie dans une autre manière plus appropriée à l'aspect souhaité.

Cela peut être également une solution pour disposer de pièce de deux couleurs différents.



Figure I.5 - Injection Bi-matière ou Bi-couleur.

I.4.3. Injection IML (In Mold labelling):

IML (l'étiquetage dans le moule), est un processus de transformation qui permet de personnaliser le seau à travers la fusion totale de l'étiquette avec l'emballage même pendant le processus d'injection.

La technologie IML permet d'obtenir une qualité d'impression très élevée et de reproduire sur les seaux spéciales effets graphiques et images à très haute définition, en mesure de garantir un résultat plus captivant. [5]



Figure I.6 - Injection IML.

I.5. Domaine d'utilisation :

Dans le secteur de l'automobile : certaines pièces de connexion comme les connecteurs sont fabriqués à partir de la technologie multi-injection. Certains connecteur appelle trois typologies de matières : une matière plastique qui doit être résistante à l'eau, une deuxième qui doit avoir des hautes performances de conductivité thermique, et enfin une troisième moins onéreuse qui n'a pour fonction qu'une finalité de volume. L'injection tri-matière est ici la solution adéquate.

Dans le secteur de la cosmétologie : par exemple sur la fabrication de bouchons doseurs ; ce type de pièces nécessite d'abord des qualités visuelles, un rendu flatteur. L'intérieur du bouchon renferme des exigences mécaniques liées aux actions de vissage ou de frottement. Les matières plastiques utilisées pour la même pièce ayant des fonctions différentes impliqueront des matières premières différentes.

Dans le secteur mécanique :, pour des organes de transmissions tels que les pignons : Ce type de pièce nécessite une conception particulière. Avec une partie qui doit avoir des qualités de rigidité, une deuxième qui doit répondre à une exigence de fiabilité, et enfin, une troisième partie de la pièce qui doit avoir des caractéristiques de résistance. La technologie d'injection multi-matière répond tout à fait à la problématique de fabrication de cette typologie de produit. [6]

I.6. Les presses d'injections :

I.6.1. Définition :

La presse d'injection est une machine qui permet d'obtenir des pièces en plastique injecté sous pression dans un moule (monté sur la presse). L'injection du plastique se fait généralement à haute pression et à température supérieure à la température de transition vitreuse. A cet état la matière n'est plus solide mais n'est pas aussi liquide. Elle est à l'état visqueux entre les deux états liquide et solide. La matière peut être injectée dans le moule et la matière plastique prend la forme de l'empreinte du moule. Après refroidissement, la pièce est éjectée du moule. Le refroidissement se fait par circulation d'eau froide dans le circuit de refroidissement du moule. [7]

I.6.2. Caractéristiques des presses :

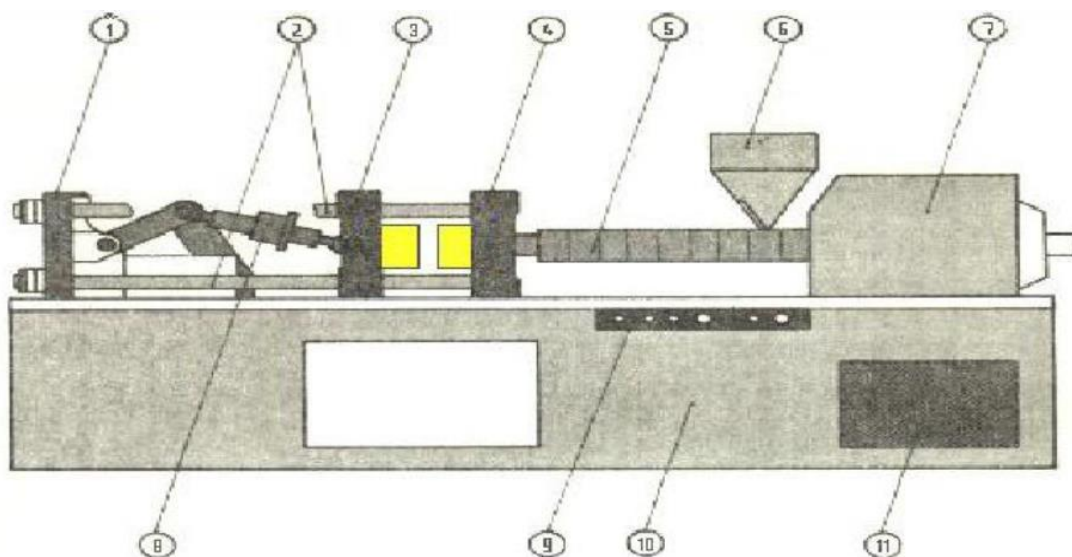
Une machine d'injection (moulage) se caractérise généralement par sa capacité maximum d'injection et sa force de fermeture. La première caractéristique peut être donnée en masse de polymère ou en volume (cm^3). La capacité d'injection réelle est comprise entre 30 et 70% de cette capacité maximale, ceci en fonction du comportement en phase fondue de la matière à transformer (étape de compactage).

La force de fermeture est généralement exprimée en tonne, et correspond à la force de fermeture maximale du moule que peut maintenir la presse avant, pendant et après le remplissage du moule par la matière fondue. Toutefois, de nombreux autres critères peuvent être précisés pour définir au mieux une presse à injecter. Ils sont d'autant plus importants qu'ils seront nécessaires au choix d'une machine parfaitement adaptée à une gamme d'objets à fabriquer : par exemple les distances entre plateaux et entre colonnes doivent être de dimensions compatibles avec celles du moule. [8]

I.6.3. La structure de presse d'injection :

La machine à injecté classique est constitué des plusieurs composantes et principalement par trois grandes ensembles, le bâti, le bloc de fermeture (verrouillage), le groupe d'injection et les buses et les vis.

Le schéma ci-contre représente la structure du machine à injecté :



1. Plateau arrière fixe, 2.Colonnes de guidage, 3.Plateau mobile de fermeture, 4.Plateau fixe d'injection, 5.Cylindre chauffant d'injection, 6.Trémie, 7.Groupe d'injection, 8.Organe de fermeture (genouillère ou vérin), 9.Tableau de commande, 10.Bâti, 11. Groupe hydraulique

Figure I.7 - Presse à injecter industrielle. [9]

I.6.4. principaux élément d'une presse :

I.6.4.1. Le bâti

C'est ce qui supporte l'ensemble des organes nécessaires au bon fonctionnement de la presse, (moteur électrique, pompe hydraulique, réservoir d'huile, les canalisations, toutes les électrovannes et les distributeurs). Le bâti est de construction mécano-soudée. Il supporte également le bloc de fermeture ainsi que l'unité de plastification. Il existe plusieurs sortes de bâti, soit horizontale, verticale, ou en équerre.

I.6.4.2. Unité d'injection

Le groupe d'injection comprend l'unité de plastification, le vérin d'injection, le groupe d'entraînement de la vis et les éléments additionnels, comme dispositif de commande de la buse, vérins d'appui etc. Toutes ces unités sont montées sur un glissoir. Celui-ci est guidé par des colonnes. Pour les paliers des coussinets demandant peu d'entretien sont utilisés. On Obtient ainsi un guidage du groupe d'injection précis, robuste et avec très peu d'entretien. Les colonnes de guidage doivent être légèrement huilées seulement après le nettoyage hebdomadaire. Le glissoir peut être déplacé axialement à l'aide de deux vérins d'appui hydrauliques latéraux. Ces vérins produisent également la force, avec laquelle la buse est pressée contre le moule.

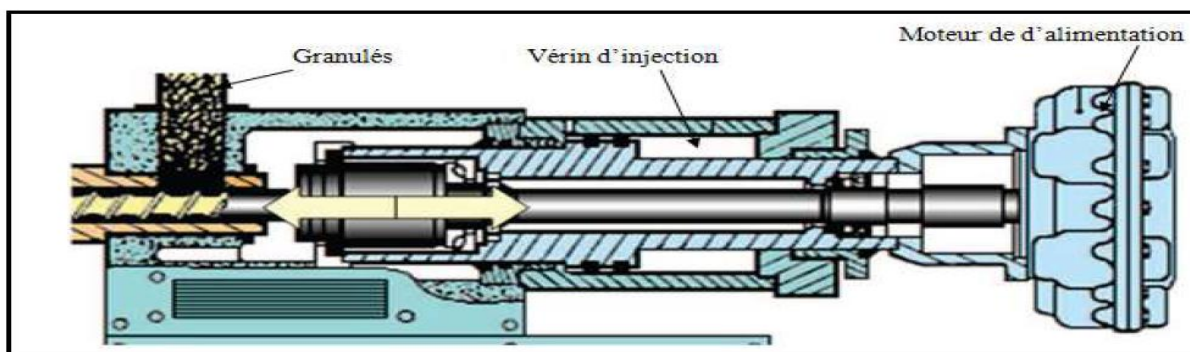


Figure I.8- Unité d'injection. [7]

I.6.4.3. Unité fermeture, verrouillage :

Cet ensemble permet la fermeture et le verrouillage de la partie mobile du moule, sur la partie fixe. Devant résister à la pression d'injection, sa conception est très importante. Son fonctionnement peut-être mécanique, par un vérin, elle est appelée mécanique, car l'effort déverrouillage est assuré par les genouillères. Sur certaine presse, lorsque le point d'alignement est dépassé, on peut couper la pression dans le vérin et l'ensemble reste stable, ou réalisés par des mouvements hydraulique à l'aide d'un gros vérin central qui a pour but de faire l'approche du plateau mobile jusqu'au plateau fixe , et d'un vérin plus petit qui assure le verrouillage dans la phase final de la fermeture. [7]

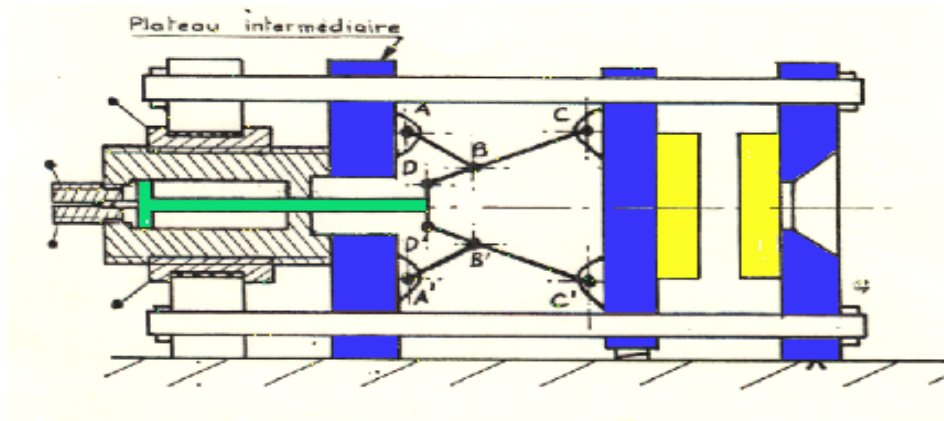


Figure I.9- unité de fermeture, verrouillage. [9]

I.6.5. Différent types de presse d'injection :

On distingue deux types d'une presse injection plastique :

I.6.5.1. Presses à injection plastique horizontales :

Machine de moulage par injection horizontale : c'est le type le plus courant. Sa partie de serrage de moule et d'injection se trouve à la même position horizontale au centre de la ligne et son moule s'ouvre horizontalement. Ses caractéristiques sont : un petit corps, facile à utiliser et réparer. Son barycentre est bas, son installation stable. Suite à la confection du produit, on peut utiliser la force gravitationnelle pour le descendre automatiquement.

Opération entièrement automatisée facilement réalisable. Ses défauts sont : l'installation de

Moule est plutôt difficile, l'insertion de pièce peut inclinée ou faire tomber le moule, la surface d'occupation de sol est plutôt grande.



Figure I.10 - Presse à injection plastique horizontal.

I.6.5.2. Presse à injection plastique vertical :

Ce modèle de machine de moulage par injection est principalement déduit au moulage par injection sur les lignes de production de produits électroniques, d'ordinateurs, de prise d'alimentation, etc. Les produits réalisés n'ont pas d'exigences trop hautes envers le standard de précision. En général, on utilise le PVC, le PE, PP ou autre plastique d'injection comme milieu principal, les standards de modèles adaptés à ces produits ont en général une force de serrage de moule de 15T à 35T, etc. Comme les données concrètes des machines des diverses usines varient (capacité de moule, dispositifs, etc.).



Figure I.11- schéma d'une presse verticale. [9]

I.7. Les matières plastiques :

Les polymères (thermoplastiques et thermodurcissables) et les élastomères peuvent être moulés par injection.

Les thermoplastiques déforment et sont façonnables sous l'action de la chaleur. Ils reprennent leur forme initiale en refroidissent sauf dans le cas de réchauffement répétés. [4]

I.8. Les polymères :

I.8.1. Définition :

Le mot polymère vient du grec « polys » plusieurs, et « meros » partie. Un polymère est une macromolécule, organique ou inorganique, constituée de l'enchaînement répété d'un même motif, le monomère (du grec monos : un seul ou une seule, et meros ; partie) reliés les uns aux autres par des liaisons covalentes. [13]

Monomère	Polymère	Nom IUPAC	Nom courant	Abréviation
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$	$\text{---}(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n\text{---}$	polyméthylène	polyéthylène	PE
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_3$	$\text{---}(\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_3)_n\text{---}$	poly(1-méthyléthylène)	polypropylène	PP
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{Cl}$	$\text{---}(\text{CH}_2-\text{CH}-\text{Cl})_n\text{---}$	polychloroéthylène	Polychlorure de vinyle	PVC
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5$	$\text{---}(\text{CH}_2-\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5)_n\text{---}$	poly(1-phényléthylène)	polystyrène	PS

Tableau I.1- Représentation et dénomination des quatre polymères synthétiques les plus utilisés. [11]

I.8.2. propriétés des polymères :

Lorsqu'on parle de propriété d'un matériau, on se réfère à la façon dont il réagit à une sollicitation. On pourrait aussi la nommer une sensibilité à cette stimulation, ou bien son inverse, la stabilité et la résistance. Ainsi, les propriétés thermiques décrivent le comportement du matériau vis-à-vis de la chaleur. [10]

I.8.3. Types de polymères :

On peut classer les polymères en deux types, en fonction de leur réaction à la chaleur: les thermodurcissables et les thermoplastiques.

I.8.3.1. Polymères thermoplastiques :

Les thermoplastiques fondent lorsqu'on les chauffe, tout comme la glace ou le beurre. C'est un procédé industriel employé pour fabriquer des objets à la pièce, en discontinu. Ce procédé est bien connu également pour les métaux, mais les températures de fusion des polymères sont bien plus basses, de l'ordre de 80°C à 300°C. Un autre procédé répandu de mise en forme est l'extrusion qui consiste à faire passer la matière chaude dans une vis qui l'entraîne dans une filière dont le profil permet de produire des fils, des films, des plaques, des tubes, des enrobages de câbles.

On trouve plusieurs types de thermoplastiques et on cite les principaux suivant :

- Le polyéthylène (PE).
- Le polypropylène (PP).
- Le polyamides (PA).
- Le polyesters (PS).
- Poly Chlorure de Vinyle (PVC).
- Les polyesters et Le polyéthylène téréphtalate (PET).

I.8.3.2. Polymères thermodurcissables :

Les thermodurcissables durcissent quand on les chauffe. Un exemple connu est celui des colles ou des peintures. Ils sont également très employés comme pièces de structure thermostables, par exemple les résines polyépoxydes, certains polyuréthanes, certains polyesters. On les met en forme lorsqu'ils sont encore dans leur état mou, de la même manière que les thermoplastiques, avant qu'ils ne durcissent sous l'effet de la chaleur et d'additifs chimiques qui induisent la réaction de polymérisation.

On trouve plusieurs types de thermodurcissables et on cite les principaux suivant :

- Les polyuréthanes (PUR).
- Les polysteres instaurés.

- Les phénoplastes (PF).
- Les aminoplastes (MF). [10]

I.9. les élastomères :

I.9.1. Définition :

Les élastomères thermoplastiques (TPE), parfois appelée caoutchoucs thermoplastiques, sont une classe de copolymères ou un mélange physique de polymères (généralement une matière plastique et en caoutchouc) qui se composent de matériaux thermoplastiques et à la fois avec des propriétés élastomères.

Sous l'effet d'une contrainte, les molécules peuvent glisser les uns par rapport aux autres et se déformer. [12]

I.9.2. Types d'élastomères thermoplastiques (TPE) :

- TPE-O - oléfines thermoplastiques (mélange continu associant le dur et le mou)
- TPE-V - composé PP/EPDM vulcanisé
- TPE-U - Polyuréthane thermoplastique
- TPE-S - composé SBS, SEBS ou SEPS styrénique
- TPE-E - composé de copolyester
- TPE-A - Polyamide thermoplastique.

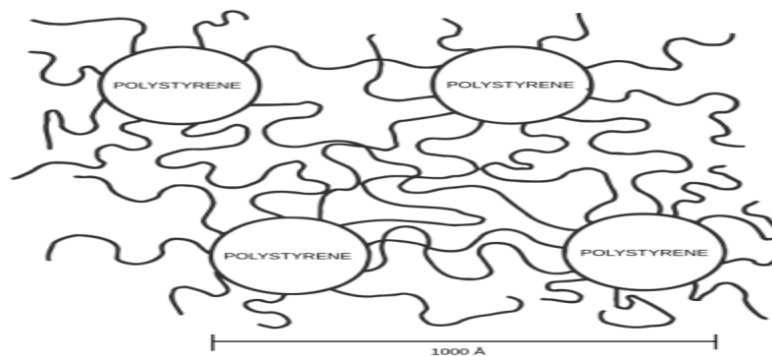


Figure I.12- Microstructure schématique du TPE-S (élastomère thermoplastique styrénique).

I.9. 3. Les applications types des élastomères thermoplastiques (TPE) :

- Parties douces au toucher sur outils, crayons, brosses à dents et rasoirs.
- Revêtements de cables.
- Membranes de toiture.
- Etanchéité des vitres d'automobile, tapis, boîtiers d'airbag, revêtements de tableaux de bord.
- Equipment de sport.
- Jouets. [13]

CONCLUSION

A travers l'étude qu'on a fait dans ce chapitre, on a vue des généralités de procédé d'injection plastique, et on a essayé de bien comprendre les détails des différent types des machine ou presse d'injection après une description fonctionnelle, et la matière utilise dans le procédé de transformation thermoplastique.

Chapitre II

Etude d'une vis standard
de plastification

Introduction

En extrusion comme en injection, la matière est transformée, grâce au système vis/fourreau présente Dans le groupe de plastification, qui permet de faire fondre la matière plastique, la géométrie de la vis a un impact direct sur la qualité de plastification de la matière plastique. La connaître permet de mieux comprendre la procédure d'injection.

II.1. L'unité de plastification :

Sous cette désignation on comprend la partie de l'unité d'injection, qui est aussi en contact direct avec la matière plastique à transformer et avec le moule.

C'est l'élément d'où dépendent aussi bien la qualité que la performance des presses à injecter modernes. L'unité de plastification définit la qualité de matière fondue réalisable, la précision en répétition du processus d'injection et surtout la durée de vie et la rentabilité de la machine.[14]

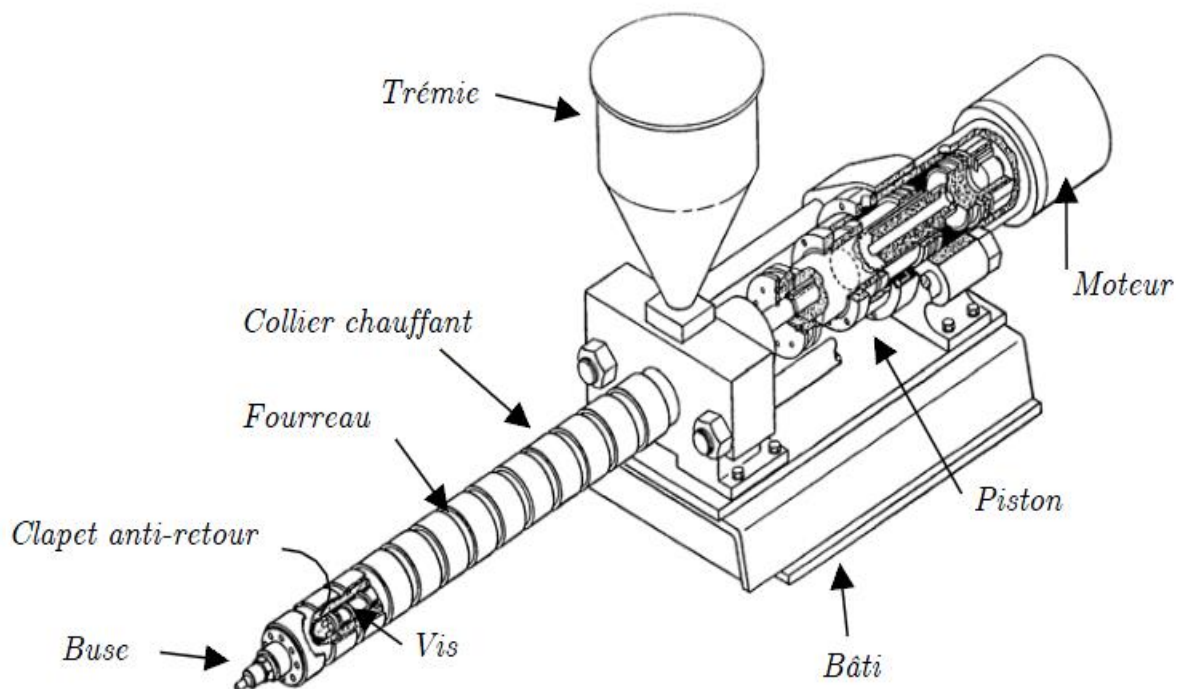


Figure II.1 - Schéma d'un groupe de plastification. [14]

II.2. Procède de fonctionnement :

La plastification consiste à faire passer une matière de l'état solide (poudre ou granulés) à l'état fluide en assurant la meilleure fluidités et homogénéisation possibles. Cette matière ainsi préparée doit être transférée à l'intérieur du moule. [15]

II.3. Les principaux éléments d'un groupe de plastification :

- vis de plastification (injection) :

Elle est réalisée en acier. Et sa surface subit différents traitement qui augmentent sa dureté, diminuent son coefficient de frottement et améliorent sa résistance chimique. pour obtenir une plastification parfait, la vis doit être conçus en fonction de la matière à transformer. En injection, les changements de matière étant très fréquents, on utilise des vis universelles (dites standard) aux performances moindres mais adaptées à la majorité des matières. Certaines matières ne peuvent pas être plastifiées avec une vis standard. L'utilisation de la vis spécifique est réservée aux matières thermosensibles ou au besoin de fortes capacités de plastification. Les indications de réglages données dans cet ouvrage sont applicables aux vis standard exclusivement. [16]

- Fourreau :

Cylindre métallique réalise en acier nitruré, et alésé avec précision. a son extrémité, l'embout de fourreau qui recevra les divers types de buse. L'ensemble est entouré de résistances chauffantes à reliées à des pyromètres assurant la montée en température et régulé par les prises d'information (sondes). [15]

- Clapet anti-retour :

Le clapet anti-retour est la pièce maîtresse de l'ensemble de plastification. Ils doivent assurer une fermeture sécurisée et garantir un matelas constant lors de la plastification, pour obtenir un dosage fiable et uniforme.

Il n'existe pas de bons ou de mauvais clapets anti-retour, mais uniquement des clapets anti-retour appropriés ou non appropriés en termes de qualité de fabrication. Elle atteint une longue durée de vie grâce à une usure minimale. [17]

- **Buse :**

Le refoulement de la matière plastique dans un moule relativement froid et à travers des sections d'écoulement relativement faible (afin de limiter les déchets) doit s'effectuer dans un temps relativement court, en vue d'éviter une solidification prématurée, cela exige l'emploi d'une pression élevée et l'on définit la pression d'injection comme étant la pression maximale atteinte à l'extrémité du cylindre de plastification pendant que la vis piston refoule le plastique dans les cavités de moule.

Une fois plastifiée, la matière est introduite avec une très grande vitesse dans le moule. [18]

II.4. Etude d'une vis standard d'injection plastique :

C'est l'élément le plus important de la presse à injecter. Le but étant de plastifier une matière sans lui faire perdre de ses caractéristiques au moment du passage en fusion. [19]

II.4.1. Composant d'une vis de transport :

Une mono vis standard d'injection comprend en général trois zones

- **Zone d'alimentation** : dans laquelle les granulés de polymère sont convoyés et Compactés dans le chenal de la vis. C'est ici que la profondeur du chenal est la plus grande, et elle reste constante.
- **Zone de compression** : de forme tronconique, le granulés vont y être progressivement fondus par action conjuguée des colis chauffants et du et du cisaillement de la matiere.la profondeur du chenal diminue progressivement pour atteindre sa valeur minimale en zone de pompage.
- **zone de pompage (homogénéisation)**: dans cette dernière partie la profondeur demeure constant, le Polymère est mis en pression et s'homogénéise.

Les deux premières zones d'une vis permettent de plastifier la matière. [20]

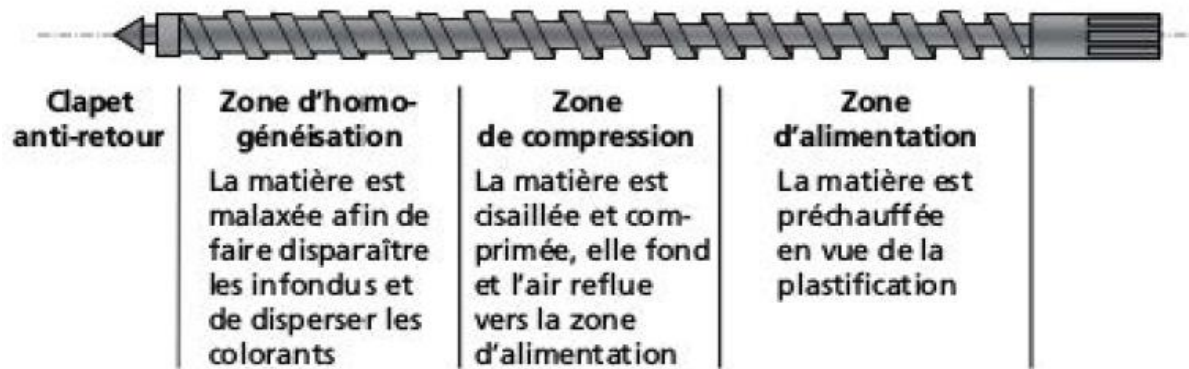


Figure II.2 - Profil d'une vis de plastification. [16]

II.4.2. Caractéristique d'une vis plastification :

- **La longueur de la vis** : une vis est généralement définie par le rapport entre sa longueur fixée (L) et son diamètre nominal (D). En général ce rapport oscille autour de $20L/D$. Les vis d'injection sont plus courtes qu'en extrusion ($30/35D$).
- **La profondeur du chenal** : une vis relativement profonde permet d'avoir une capacité de convoyage importante et réduit le cisaillement dans la matière, géométrie souhaitée pour les polymères sensibles à ce paramètre. Cependant, la vis serait plus sensible à la contre-pression.
- **Le taux de compression** : c'est le rapport entre la profondeur du chenal dans la zone d'alimentation et celle de la zone de pompage. Il varie entre 2 et 4 pour la majorité des vis industrielles. Une vis avec un faible taux de compression convient aux matières dont la plastification est aisée, comme les matières visqueuses, et inversement.
- **Pas de la vis** : la plupart des vis d'injection utilisent un pas « carré », ce qui signifie que le pas de l'hélice est égal au diamètre de la vis. Ce pas est proche de l'optimum pour le convoyage solide, mais peut être plus grand pour la partie fondue. [20]

II.4.3. Rôle d'une vis d'injection plastique :

- Convoyer et compacter le polymère solide.
- Plastifier le polymère.
- Convoyer de d'homogénéiser le polymère fondu.

- Transport et plastification de la matière.
- Injection sous pression de la masse fondue dans le moule. [21]

I.4.4. Types de vis d'injection:

- **vis barrière :**

Une vis à hautes performances dont les propriétés sont personnalisables pour s'adapter aux traitements des résines cristallines et amorphes. Elle est conçue pour offrir un meilleur contrôle de la force de cisaillement et de la température de fusion de la résine, ainsi que des vitesses de fonte et des performances de pompage de la matière fondue extrêmement efficaces.

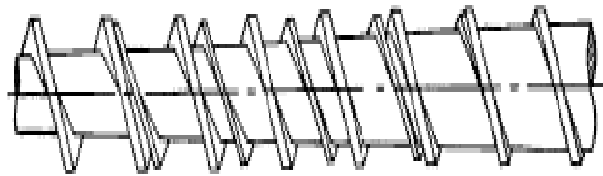


Figure II.3 - Profil d'une vis barrière de type "Maillefer. [22]

- **La vis de dégazage :**

La vis de dégazage est constituée de deux vis à 3 zones. elle est utilisée pour le traitement des thermoplastiques encore humides, mais pas pour le PBT. Avec cela, le temps de séchage précédent peut être raccourci.

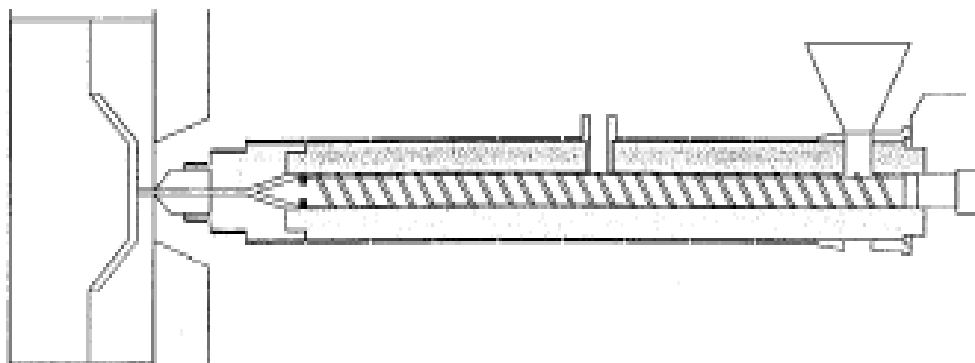


Figure II.4 - Schéma de principe de la vis avec système de dégazage. [23]

- Vis à énergie de transfert :

Ce profil de vis est développé tout d'abord par R. Barr pour le procédé d'extrusion, pour accroître la capacité de plastification et la qualité du polymère fondu. D'un point de vue énergétique, ce profil de vis est très économique, car son principal intérêt est de casser le lit solide en petites parties, de mélanger avec le polymère chaud par le mouvement de rotation de la vis en utilisant le moins d'énergie possible : la surface de contact entre le lit solide et le polymère fondu est beaucoup plus importante et la conduction thermique augmente.²⁴

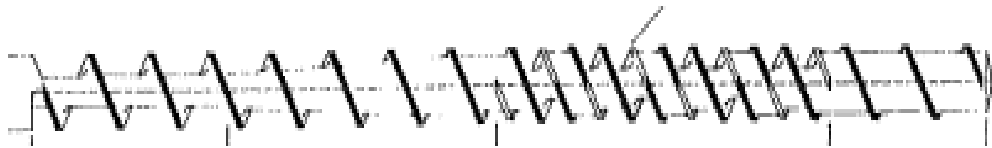


Figure II.5 - Vis à énergie de transfert, d'après C. Chung, "A novel energy efficient screw design», SPÉ Antec 168, page 168-169, Mai 1983 . [25]

II.4.5. Procède de fabrication de la vis :

Les vis subissent plusieurs opérations d'usinage depuis le barreau de matériau brut. La première opération consiste en un tournage de la barre afin d'obtenir une barre de dimension légèrement supérieure (1 mm) au diamètre final de la vis.

En deuxième opération, cette barre est ensuite mise sur une fraiseuse pour usiner les canaux de la vis. Cette fraiseuse peut être une fraiseuse en bout ou une fraiseuse trois tailles.

La troisième opération est le perçage de la vis, si celui-ci est nécessaire pour la régulation thermique. La quatrième opération consiste en un polissage de la vis. Son but est de supprimer les facettes obtenues lors de l'usinage. Ceci est fait en général de façon manuelle.

Puis la vis est redressée (cinquième opération). Ensuite, la sixième opération consiste en un durcissement superficiel, en général effectué par un processus de nitruration gazeuse.

La septième opération consiste à redresser la vis une nouvelle fois pour contrebalancer les dernières contraintes résiduelles dues aux diverses opérations d'usinage. Enfin, la huitième opération est la rectification des filets extérieurs et des filets de passage. [26]

II.4.6. Le groupe d'entraînement de la vis :

- Moteur électrique.
- Réducteur de vitesse.
- Vérin hydraulique.

II.5. Matériaux injecté :

II.5.1. Le polypropylène (PP) :

Le polypropylène (souvent dénommé «polypro»-PP) est la deuxième matière plastique la plus utilisée, elle est essentiellement utilisée dans l'emballage mais également dans des pièces automobiles et des accessoires de la vie quotidienne. Il existe différents types de PP. homopolymère (plus rigide) ou copolymère (plus résistant au choc).

II.5.2 domaine d'application :

Le PP est présent sous forme:

- de fibres dans les tapis et les textiles
- de film dans les emballages
- sous forme moulée, dans :
 - le secteur automobile (tableaux de bord, pare-chocs, etc.).
 - électroménager.
 - les ustensiles ménagers (vaisselle pour four à micro-ondes, boîtes pouvant aller dans le lave-vaisselle, etc.).
 - les jouets.
 - les bagages.
 - le mobilier de jardin, etc.



La chaise de jardin



La boîte à tartines



Le film d'emballage des barres chocolatées



Figure II.6 - liste de figure des applications de PP.

II.5.3. Caractéristiques techniques :

- Le PP est un thermoplastique cristallin.
- Le PP présente une caractéristique tout à fait particulière : il est capable d'être utilisé pour faire des charnières, Couvercle et boîtier sont injectés en même temps et reliés par la charnière d'épaisseur plus fine.
- Aspect et toucher légèrement cireux.
- **Translucide** : mais nouveaux grades pouvant être transparents en applications bouteille.
- **Rigidité** : plutôt semi-souple : Module de 1,7 à 2.2 GPa, voire 7 GPa si renforcé par des fibres de verre.
- **Résistance au choc** : de -10 à +80°C
- **Densité** : 0.9 kg/dm³
- **Perméabilité aux gaz** : médiocre ; à l'humidité : très bonne.
- **Température d'utilisation** : de -20° à +100°C
- **Température de mise en oeuvre** : 190 à 280°C
- **Soudabilité** : soudure à chaud. Se colle très mal. [27]

II.5.4. Type de polypropylène :

Le polypropylène est disponible en deux types principaux: Polypropylène Homopolymère (PP-H) et Polypropylène Copolymère (PP-C)

- Polypropylène H (PP-H)

Le PP-H est utilisé dans les applications d'ingénierie et d'outillage comme s'il offre une rigidité supérieure à celle du copolymère, le PP-H a une température de fonctionnement maximale marginalement meilleure ainsi qu'une meilleure stabilité chimique. Il résiste aux taches et a un faible taux d'absorption d'humidité. Polypropylène homopolymère trouve des applications dans les systèmes de vide et les systèmes où les liquides chauds et les gaz sont transportés. Si peut être trouvé dans les valves, les brides et les engrenages.

- PP-C (Copolymère de polypropylène)

Le copolymère de polypropylène est principalement trouvé dans des applications plus cosmétiques, telles que la gaine. En particulier est utilisé pour le revêtement hygiénique et une gamme d'autres applications dans l'industrie alimentaire. [28]

II.5.5. Procédé de transformation de la matière première en article :

- L'injection.
- L'extrusion.
- L'extrusion-soufflage.
- Le calandrage.

II.5.6. Avantages :

- Bonne résistance à la flexion.
- Bonne propriétés électriques.
- Bonne Résistance mécanique.
- Bonne résistance aux produits chimiques.

II.5.7. Inconvénients :

- Inserts métalliques à basse de cuivre déconseillés.
- Fragile à basse température.
- retrait non homogène. [29]

Conclusion

Ce chapitre nous a montré tous les éléments qui composent une presse à injection plastique, ainsi que leurs fonctionnements et pour finir une définition du matériau qu'on a choisi pour faire notre étude.

Chapitre III

Calcul et dimensionnement de la vis de plastification

INTRODUCTION :

L'évolution du secteur de la transformation des plastiques requiert une constante amélioration des produits et leur fabrication. Alliée à un savoir faire des méthodes de fabrication moderne et rationnelle permet d'obtenir des vis de très grande qualité au point de vue des profils et des aciers.

La vis est l'élément essentiel dans le groupe de plastification, sa caractéristique lui permet d'avoir une grande capacité de plastification et de mise en fusion en parfait adéquation avec le polymère transformé, pour cette raison le profil géométrique de la vis doit être adapté au type de production pour améliorer l'homogénéisation.

Pour bien comprendre ce qui se passe dans un écoulement de polymère fondu, il est important d'avoir quelque notion de rhéologie. Les polymères fondus abordés dans cet ouvrage sont naturellement viscoélastique. En fait, dans la majorité des écoulements rencontrés dans l'injection, le caractère visqueux prédominera, et nous allons nous limiter à la discussion de ce comportement.

III.1 Etude du comportement rhéologique :

III.1.1 La rhéologie :

La rhéologie (du grec *rheo*, couler et *logos*, étude), c'est la rhéologie est la science qui étudie la déformation et l'écoulement de la matière sous l'effet des contraintes appliquées en tenant compte du temps (ou vitesse d'application de contraintes).

Plus généralement, elle étudie la relation entre la contrainte et la déformation en fonction du temps dans le matériau. [30]

III.1.2 Comportement newtonien :

La viscosité a été définie par Newton comme le coefficient de proportionnalité entre la contrainte de cisaillement et la vitesse de cisaillement.

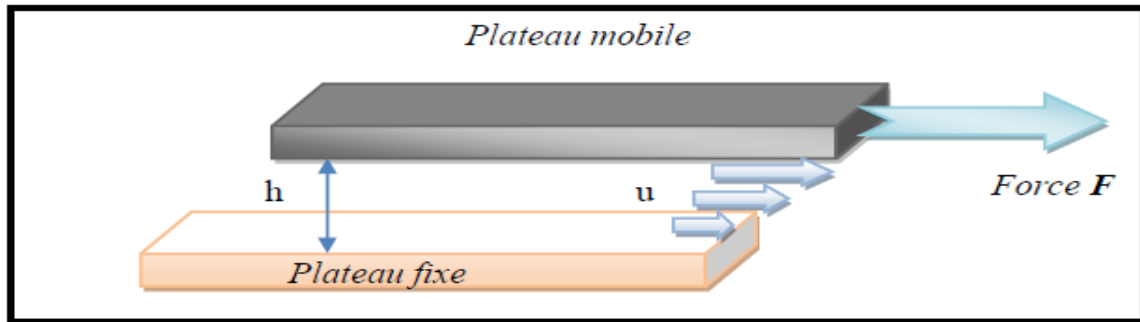


Figure III.1 - Schématisation le cisaillement entre deux plaques.

Reprenons le cas d'un fluide newtonien contenu entre deux plateaux selon la figure (III.1). Le plateau inférieur est fixe. La force F nécessaire pour animer le plateau supérieur d'une vitesse u est proportionnelle à cette vitesse. $F=Ku$

Les composantes du vecteur vitesse sont les suivantes $\begin{cases} u = \gamma \cdot u \\ v = 0 \\ w = 0 \end{cases}$

Cette force rapportée à la surface laquelle elle s'exerce est la contrainte de cisaillement $\tau = \frac{F}{S}$,

Proportionnelle à la vitesse de cisaillement : $\dot{\gamma} = \frac{u}{h}$

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$$

Le coefficient de proportionnalité entre τ et $\dot{\gamma}$ s'appelle la viscosité dynamique η .

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \text{ (Loi de Newton)}$$

Si, pour une substance newtonienne quelconque, on trace le graphe représentant la contrainte de cisaillement en fonction du gradient de vitesse, on obtient une droite qui passe par l'origine. Ce graphique est un rhéo-gramme (figure 2).

La viscosité représentée en fonction du gradient de vitesse donne une droite parallèle à l'axe des abscisses (figure III.2).

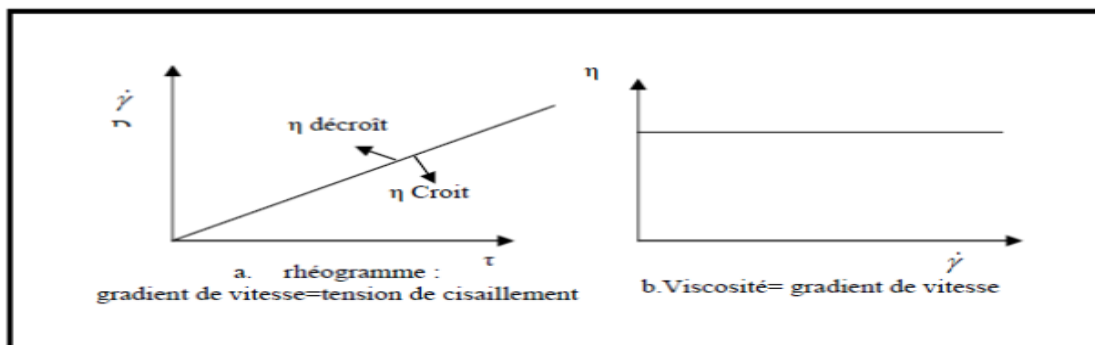


Figure III.2 - Viscosité d'un liquide newtonien.

On constate que la force F nécessaire pour animer le plateau supérieur d'un mouvement de translation n'est pas proportionnelle au déplacement U mais à la vitesse u du plateau supérieur.

Pour le fluide, ce qui distingue les deux cas précédents c'est la vitesse de déformation. Contrairement au cas des solides, la force n'est pas liée à la déformation mais à la vitesse de déformation du matériau. Pour décrire le comportement mécanique du polymère à l'état liquide il est nécessaire d'introduire la notion de vitesse de déformation. [31]

III.1.3 Modèle Pseudo-plastique :

La plupart des polymères n'ont pas un comportement newtonien. Cela signifie que leur viscosité n'est pas indépendante de la vitesse de cisaillement mais décroît en fonction de la vitesse de cisaillement. La pseudo-plastique est la propriété d'un matériau qui exprime le fait que la viscosité soit une fonction décroissante du taux de cisaillement. [32]

III.1.3.1 Loi de puissance (Loi Ostwald – de Waele) :

S'écrit traditionnellement sous la forme :

$$\eta = K \cdot |\dot{\gamma}|^{m-1} \quad \text{III.1}$$

Où K est la consistance du matériau (en Pa.s^m) et m est l'indice de pseudo-plasticité ($m = 1$ pour un fluide newtonien ; $m = 0$ pour un corps rigide plastique). Cette loi a le défaut de ne pas présenter de plateau newtonien à faible taux de cisaillement. Elle est donc souvent Complétée par une valeur de viscosité seuil, pour les faibles taux de cisaillement. En revanche, cette loi est normalement bien adaptée pour les forts taux de cisaillement. [33]

III.1.3.2 Loi de Cross :

La loi de Cross [Cross, 1965] a l'avantage de présenter le plateau newtonien à faible taux de cisaillement

$$\eta - \eta_{\infty} = \frac{\eta_0 - \eta_{\infty}}{1 + (\lambda \cdot \dot{\gamma})^m} \quad \text{III.2}$$

Où λ est le temps caractéristique de l'enchevêtrement, η_0 la viscosité du palier Newtonien à faible taux de cisaillement et η_∞ un deuxième plateau newtonien à taux de cisaillement élevé, m indice de loi de puissance. Ce dernier n'ayant jamais été observé pour un polymère fondu [Agassant, 1996], on prendra $\eta_\infty = 0$. [33]

Ce qui donne :

$$\eta = \frac{\eta_0}{1+(\lambda.\dot{\gamma})^m} \quad \text{III.3}$$

III.1.3.3 Loi de Carreau :

$$\eta - \eta_\infty = (\eta - \eta_\infty) [1+(\lambda.\dot{\gamma})^2]^{\frac{m-1}{2}} \quad \text{III.4}$$

Où η_0 est la viscosité à faible taux de cisaillement (plateau newtonien), η_∞ est la viscosité à des taux de cisaillement très élevée (ou théoriquement «infinie»), et λ est le temps Caractéristique du matériau. Dans la pratique, pour les polymères fondus, $\eta_\infty = 0$. Pour des taux de cisaillements élevés, cette loi est équivalente à la loi de puissance.

En revanche, elle permet d'introduire le plateau newtonien observé à faibles taux de cisaillement. [34]

III.1.3.4 Loi de Carreau-Yasuda :

Le modèle de la loi de puissance s'applique sur une plage limitée de la courbe de viscosité. En réalité à des faibles taux de cisaillement les polymères ont un comportement newtonien c.-à-d. que la viscosité est indépendante du taux de cisaillement. Carreau à développer un modèle qui représente complètement la courbe de viscosité et qui prend en charge ce plateau, son modèle s'écrit :

$$\eta = \eta_0. [1+(\lambda.\dot{\gamma})^a]^{\frac{m-1}{a}} \quad \text{III.5}$$

Où λ a le même sens que pour la loi de Cross. Le paramètre a sert à ajuster la transition plus ou moins rapide entre le plateau newtonien et la partie loi puissance. La loi de Carreau correspond à la valeur $a=1$ [Carreau, 1972], [Yasuda et al. 1981].

Les modèles d'Ostwald-de Waele, de Carreau-Yasuda et de Cross représentent des comportements sans contrainte seuil. Dans le cas des "fluides à seuil" on ajoute la contrainte seuil (τ_0).

Si la contrainte appliquée reste inférieure à cette valeur critique (τ_0), le matériau se comporte comme un solide. Dans le cas contraire, le matériau retrouve le comportement d'un fluide. Les deux modèles les plus utilisés pour caractériser les fluides à seuils sont, respectivement, le modèle de Bingham (1922) et le modèle de Herschel-Bulkley(1926).

[Figure III.3].

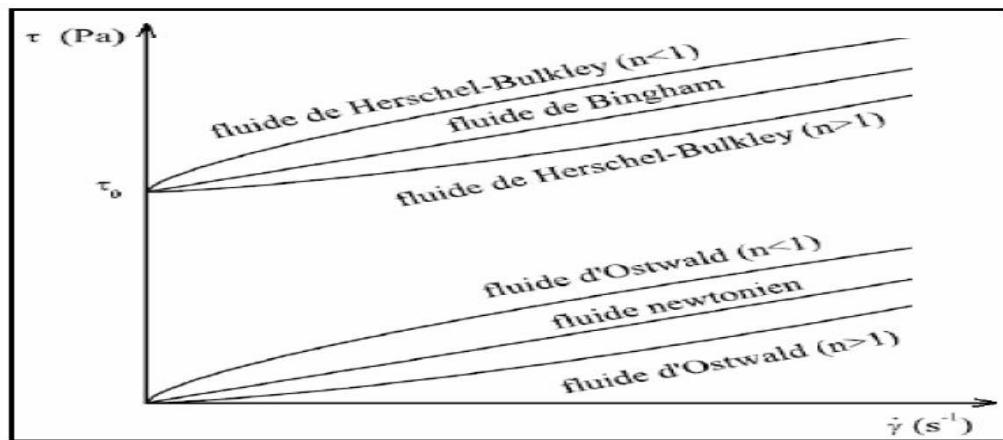


Figure III.3 - Lois de comportement élémentaires.

$$\tau = \tau_0 + \eta_{pl} \cdot \dot{\gamma} \quad \text{III.6}$$

$$\tau = \tau_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n \quad \text{III.7}$$

Où η_{pl} est la viscosité plastique, k la consistance du fluide et n l'indice d'écoulement. Ces deux modèles permettent de représenter le comportement rhéologique de beaucoup de fluides au-delà de la contrainte seuil. [35]

III.1.3.5 Effets sur la pression et la température :

La température a un grand impact sur la viscosité. Thermo-rhéologiquement les polymères simple suit le principe de superposition temps-température, à savoir on peut

exprimer la viscosité à la température T en fonction de sa valeur à la fois à une température de référence T_0 et le décalage facteur a_T :

$$\eta(\dot{\gamma}, T) = a_T \eta(\dot{\gamma} a_T, T_0) \quad \text{III.8}$$

Ce dernier est souvent exprimé par l'équation d'Arrhenius :

$$a_T = \exp\left[\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} + \frac{1}{T_0}\right)\right] \quad \text{III.9}$$

Où E_a est l'énergie d'activation et R est la constante des gaz parfaits. E_a varie entre 20 et 100 kJ/mol pour la plupart des polymères, ce qui signifie qu'un changement de 10 ° C provoque la viscosité de changer de 10 à 70%.

La viscosité dépend également de la pression et est exprimée comme suit:

$$\eta(p) = \eta_0 \exp(\chi p) \quad \text{III.10}$$

Le coefficient de compressibilité χ est d'environ 10^{-8} Pa^{-1} , lequel signifie que l'effet de la pression se manifeste au-delà de plusieurs dizaines MPa seulement. [34]

III.2 Etude des écoulements:

III.2.1. Modélisation :

L'analyse de l'écoulement à l'intérieur de la zone de pompage est beaucoup plus simple que la modélisation des zones de transport ou de fusion solides. La modélisation de cette zone peut être simplifiée en supposant que le fourreau est en rotation stationnaire autour de la vis. Dans cette section, nous discutons d'un flux 1D isothermes dans la zone de pompage pour un fluide newtonien et un fluide non newtonien. Dans le cas d'un fluide newtonien, le flux 2D plus réaliste sera également discuté. [34]

III.2.2. Importance de la nature du fluide et de l'écoulement :

Il est commode pour étudier la rhéologie des liquides (en général) de porter sur un graphique les valeurs de τ en fonction de D . Sur un tel graphique la viscosité apparente est

égale à la pente de la tangente à la courbe obtenue, encore appelée courbe rhéologique ou rhéogramme.

Un fluide newtonien ne possède qu'une seule caractéristique rhéologique, la viscosité. Dans les mêmes conditions de température et de pression, ce rapport est constant quel que soit le gradient de vitesse, tant que l'écoulement reste laminaire. La courbe caractéristique est une droite passant par l'origine. [36]

$$\eta = \tau / D = \tan \alpha.$$

III.2.3. Ecoulement isothermique d'un fluide newtonien :

Considérons l'écoulement isotherme d'un fluide newtonien dans un chenal de géométrie constante. Le régime est supposé être constant et établie le long de l'axe z, et le fluide incompressible. Le jeu entre le fourreau et les filets, ainsi que la courbure du chenal, sont négligeables. Selon ces hypothèses, l'équation d'écoulement dans la direction z du chenal s'écrit:

$$\rho_f [v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial y}] = - \frac{\partial p}{\partial z} + \eta [\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2}] \quad \text{III.11}$$

Le côté gauche représente les forces d'inertie. Pour un fluide de haute viscosité, ce qui est le cas pour la majorité des polymères fondus, ce terme est négligeable par rapport aux forces visqueuses. L'équation précédente, par conséquent, se transforme:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \eta [\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2}] \quad \text{III.12}$$

De la même manière, le long des directions x et y, respectivement, on obtient :

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \eta [\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2}] \quad \text{III.13}$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \eta [\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2}] \quad \text{III.14}$$

L'écoulement dans la zone de dosage est un flux 3D. Dans le cas d'un fluide Newtonien, cependant, il est possible de le diviser en un flux longitudinal, décrit par

l'équation (III.12), et un écoulement transversal, décrit par les équations (III.13) et (III.14). [34]

III.2.3.1. Ecoulement longitudinal :

La façon la plus simple de considérer le problème de l'écoulement dans la zone de pompage est de considérer un chenal avec une géométrie de plaque parallèle. Dans ce cas, la vitesse du fluide le long de l'axe z est fonction de y seulement.

En utilisant cette hypothèse, l'équation d'écoulement dans la direction z s'écrit:

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \eta \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} \quad \text{III.15}$$

En supposant qu'il n'aura pas de glissement aux murs du fourreau et de la vis, l'intégration de cette équation conduit au profil des vitesses suivantes:

$$V_z(y) = V_{fz} \frac{y}{h} - \frac{y(h-y)}{2\eta} \frac{dp}{dz} \quad \text{III.16}$$

Le débit massique est obtenu en intégrant le profil de vitesse:

$$Q = \frac{1}{2} V_{fz} Wh - \frac{Wh^3}{12\eta} \frac{dp}{dz} \quad \text{III.17}$$

C'est-à-dire : $Q = Q_c - Q_p$

Avec :

$$Q_c = \frac{1}{2} V_{fz} Wh \quad \text{III.18}$$

$$Q_p = \frac{Wh^3}{12\eta} \frac{dp}{dz} \quad \text{III.19}$$

Le premier terme du côté droit représente le débit de cisaillement (Q_c) induit par le mouvement du cylindre par rapport à la vis. le deuxième terme représente le débit de contre pression (Q_p). Le débit de cisaillement est proportionnel à la largeur et la profondeur du chenal, ainsi que de la vitesse de rotation de la vis. Le débit de pression est identique à celui

obtenue pour un écoulement 1D entre les deux plaques parallèles. Il est proportionnelle à la largeur et la profondeur du chenal et au gradient de la pression, et inversement proportionnelle à la viscosité.

III.2.3.2 Ecoulement transversal :

Dans ce cas, nous considérons l'écoulement dans le plan transversal. La vitesse des composantes de champ le long des axes x et y peuvent être obtenues à partir des équations (III.13) et (III.14).

Pour écoulement dans un chenal à faible rapport : $\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} \ll \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2}$

L'équation (III,13) se réduit à :

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \eta \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \quad \text{III.20}$$

En supposant qu'il n'aura pas de glissement aux murs du fourreau et de la vis, l'intégration de cette équation conduit au profil des vitesses suivantes: [34]

$$V_x(y) = V_{fx} \frac{y}{h} - \frac{y(h-y)}{2\eta} \frac{dp}{dx} \quad \text{III.21}$$

III.3. Géométrie et approximation :

III.3.1. Vis de référence :

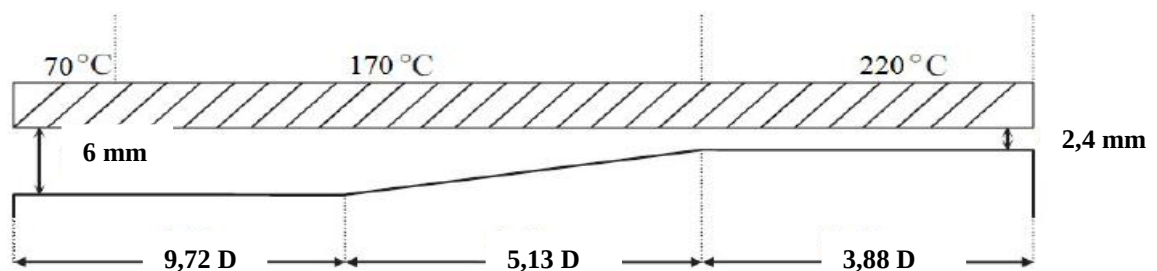


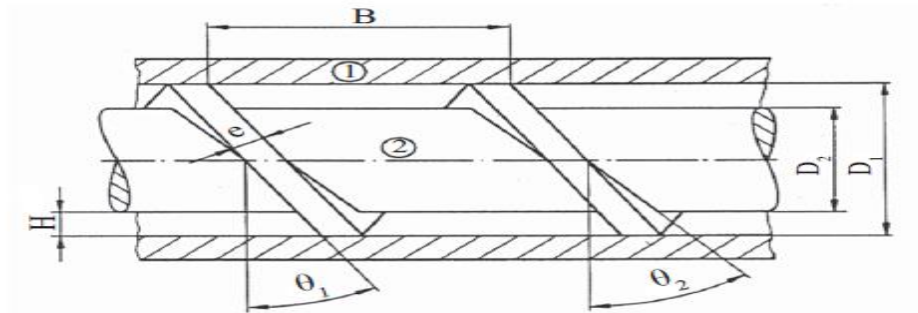
Figure III.4 - Schéma de la vis de référence. [37]

Tableau III.1 - Paramètres de la vis. [33]

Rapport L/D de la vis	18,75
Longueur de la zone d'alimentation	350 (mm)
Longueur de la zone de compression	185 (mm)
Longueur de la zone de pompage	140 (mm)
Profondeur du chenal de la zone d'alimentation	6 (mm)
Profondeur du chenal de la zone de pompage	2,4 (mm)
Pas de vis	36 (mm)
Taux de compression	2,5

III.3.2 géométrie de la vis :

Les éléments géométriques essentiels du système vis-fourreau sont indiqués sur la figure 5.

**Figure III.5** - Géométrie du système vis-fourreau. 1. Fourreau. 2. Corps de la vis. [37]

Quatre paramètres suffisent à définir cette géométrie :

- Le diamètre intérieur du fourreau : D_1 .
- Le diamètre du corps de la vis : D_2 .

Ces deux paramètres donnent accès à la profondeur du chenal H :

$$H = \frac{D_1 - D_2}{2}$$

AN :

$$H = \frac{36 - 31,2}{2}$$

$$H = 2,4$$

- Le pas de la vis : B . Il va déterminer l'angle que fait le filet avec un plan Perpendiculaire à l'axe de la vis. En fait, cet angle θ varie avec la distance à l'axe de la vis. $\theta(r)$ est tel que :

$$\operatorname{tg}\theta(r) = \frac{B}{2\pi r}$$

Au niveau du fourreau, il vaut θ_1 (tel que $\operatorname{tg}\theta_1 = \frac{B}{\pi D_1}$)

Et au niveau de la vis, θ_2 (tel que $\operatorname{tg}\theta_2 = \frac{B}{\pi D_2}$)

Le cas le plus courant pour l'extrusion des matières thermoplastiques est celui où le pas de la vis est égal au diamètre du fourreau. $B = D_1$

AN:

$$\operatorname{tg}\theta_1 = \frac{1}{\pi}$$

$$\theta_1 = 17,65^\circ$$

$$\operatorname{tg}\theta_2 = \frac{36}{\pi \cdot 31,2}$$

$$\theta_2 = 20,16^\circ$$

$e = e_1$ au sommet du chenal.

$e = e_2$ au pied du chenal de la vis.

Comme indiqué ci-après, l'épaisseur e permet de calculer la largeur du chenal de la vis.

III.3.3. Description Du Chenal De La Vis : [37]

Considérons deux hélices parallèles, de pas B , dessinées sur un cylindre de diamètre D (Figure III.6) :

- e est la distance entre les hélices.
- θ est l'angle des hélices avec les cercles directeurs du cylindre.

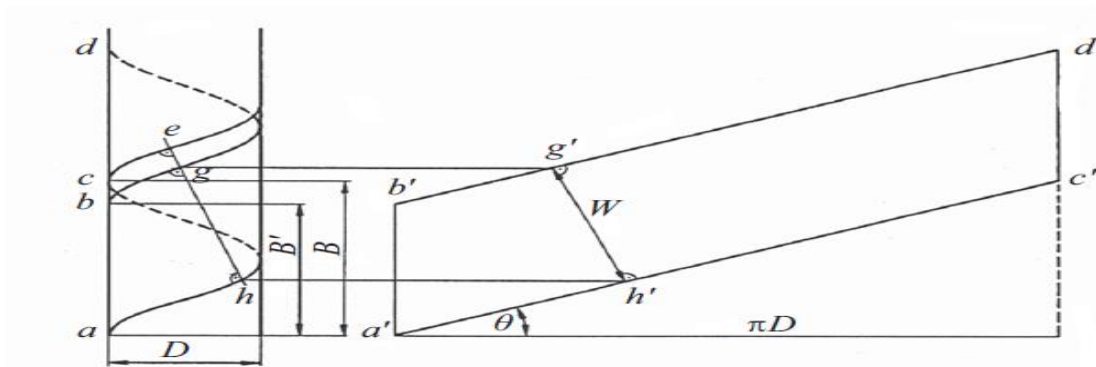


Figure III.6 - Géométrie de l'hélice.

$$B' = B - 5$$

$$B' = 36 - 5$$

$$B' = 31 \text{ mm}$$

La bande comprise entre les deux hélices a b c d se développe sur un plan en un parallélogramme a' b' c' d'. La longueur d'hélice sur un tour est :

$$Z = \frac{\pi D}{\cos \theta} = \frac{B}{\sin \theta}$$

$$Z = \frac{36}{\sin (17,65)}$$

$$Z = 118,68 \text{ mm}$$

Un plan normal aux deux hélices coupe le cylindre suivant un arc d'ellipse gh qui se développe suivant le segment $g'h'$ perpendiculaire à $a'c'$ et $b'd'$. La largeur du chenal peut donc être décrite par :

$$W = gh = g'h' = B' \cos \theta = B \cos \theta - e$$

$$W = 36 * \cos (17,65) - 5$$

$$W = 29,3 \text{ mm}$$

En réalité, la largeur du chenal varie elle aussi en fonction de la distance à l'axe de la vis :

$$W(r) = B \cos \theta (r) - e(r),$$

$$\text{Soit: } W_1 = B \cos \theta_1 - e_1 \text{ au niveau du fourreau.}$$

$$W_2 = B \cos \theta_2 - e_2 \text{ au niveau du corps de la vis.}$$

La longueur d'un tour d'hélice varie de la même façon :

$$Z(r) = \frac{\pi D(r)}{\cos \theta_1(r)} = \frac{B}{\sin \theta_1(r)}$$

III.3.4. Déroulement du chenal de la vis :

La géométrie hélicoïdale du chenal est difficile à utiliser pour la modélisation. On va donc la simplifier en « déroulant » le chenal, ce qui est possible du fait de la faible épaisseur du chenal par rapport au diamètre de la vis. Le chenal hélicoïdal peut donc être remplacé en première approximation par un chenal rectiligne, de section rectangulaire, de largeur équivalente W et de hauteur H .

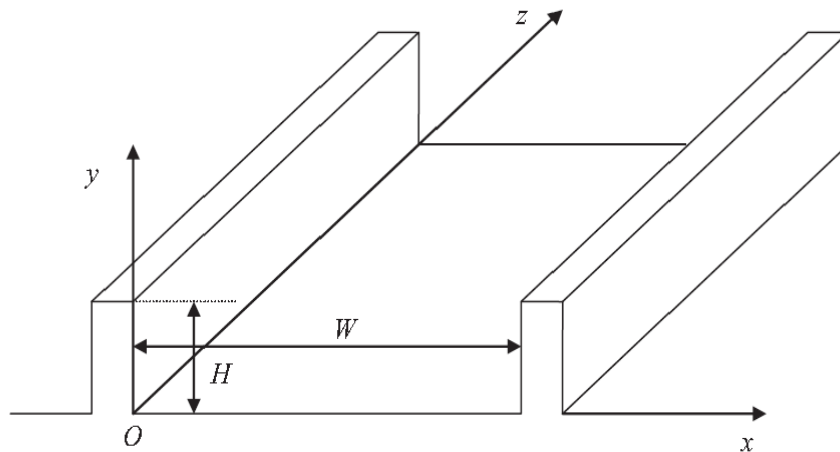


Figure III.7 - Géométrie du chenal de la vis : déroulement.

III.3.5 Vitesse relative du fourreau :

Nous pouvons combiner l'approximation de la vis statique et celle du déroulement du chenal de la vis. Dans ces conditions, le fourreau doit aussi être déroulé en un plan qui se déplace en biais par rapport au chenal rectiligne (Figure III.8).

V_F est la vitesse linéaire équivalente du fourreau. Elle s'écrit :

$$V_F = \Omega = \frac{2\pi N}{60} \cdot \frac{D}{2}$$

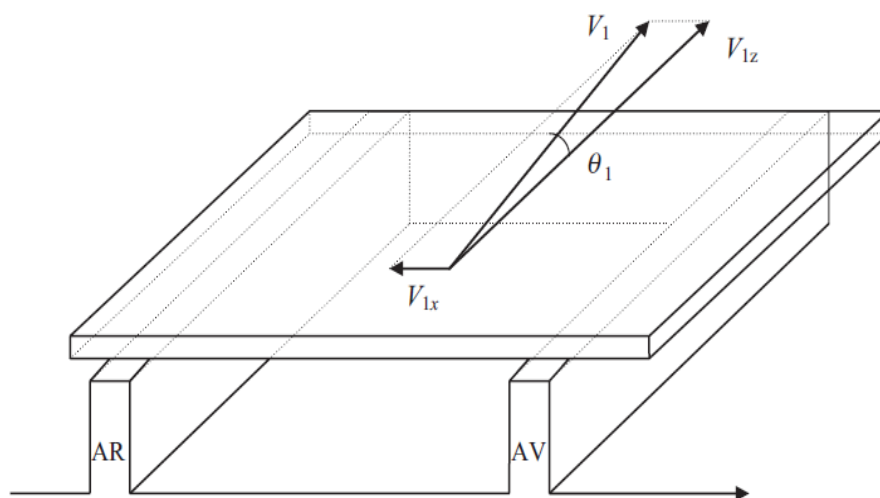


Figure III.8 - Représentation locale déroulée du système vis-fourreau. [37]

Avec Ω et N vitesse de rotation de la vis respectivement en rad/set en tr/min.

V_F peut se décomposer en :

V_{FZ} vitesse longitudinale dans l'axe du chenal : $V_{FZ} = V_F \cos \theta$.

V_{Fx} vitesse transversale perpendiculaire à l'axe: $V_{Fx} = V_F \sin \theta$.

Le mouvement transversal du fourreau se fait du filet avant vers e filet arrière (filet pousseur).

Nous décomposerons dans la suite tout écoulement dans le chenal de la vis en :

- un écoulement longitudinal, correspondant à la composante de vitesse suivant z.
- un écoulement transversal, correspondant aux composantes des vitesses suivant x et y, c'est-à-dire dans le plan perpendiculaire à l'axe du chenal.

AN :

$$V_F = \Omega = \frac{\pi ND}{60}$$

$$V_F = 0,164 \text{ m/s}$$

$$V_{FZ} = V_F \cos \theta.$$

$$V_{FZ} = 0,156 \text{ m/s}$$

$$V_{Fx} = V_F \sin \theta$$

$$V_{Fx} = 0,049 \text{ m/s}$$

III.4 Calcul et dimensionnement :

En veut fabriquée des gobelets en PPH. Sachant que un Goblet pèse 50,3 g ,avec un moule qui contient quatre empreint pour un temps de cycle qui est égale à 35 s .

Donc :

$$50,3 * 4 = 201,2 \text{ g}$$

$$0,2112 \text{ kg} \rightarrow 35 \text{ s}$$

$$\text{Donc on a : } Q_m = 20,69 \text{ kg/h}$$

$$Q_m = 21 \text{ kg/h}$$

Et pour cela on a besoin de calculer la course d'injection,

On va calculer le volume d'un gobelet. $m = \rho * v$

$$v = \frac{m}{\rho}$$

$$v = 55,58 \text{ cm}^3$$

Donc on aura un volume de 222,32 cm³ pour quatre gobelets.

La course d'injection :

$$v = \pi R^2 L$$

$$L = \frac{v}{\pi R^2}$$

$$L = \frac{222,3}{\pi (18,8)^2}$$

$$L = 200,22 \text{ mm}$$

III.4.1 Capacité de la presse d'injection :

Cahier de charge :

$$Q_m = 21 \text{ kg/h}$$

Matériau à injecter: PPH qui à

$$\rho = 905 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta = 1025 \text{ Pa.s à } 240^\circ \text{ C. (Tableau III.2)}$$

Tableau III.2 - Les paramètres du modèle visqueux de PPH a 240 ° c. [38]

Polymère	T ₀ (°C)	Energie d'activation (kJ/mole)	η ₀ (Pa.s)	λ (sec)	a	n
PPH	240	42..93	1025	0.07	0.57	0.38

Pour étudier la géométrie de la vis de plastification ; il faut faire un certain nombre d'approximations, portant sur la cinématique et la géométrie, pour pouvoir trouver les différents paramètres (vitesse de rotation N, débit volumique totale Q_T, etc....) :

- considérer que le fourreau est en mouvement et que la vis est statique,
- dérouler le canal de la vis, afin d'obtenir un écoulement bidimensionnel entre deux plaques,
- considérer que le canal est de profondeur constante tout le long de cette zone.
- négliger les effets thermiques et considérer la température constante.

Et donc on considère le fluide newtonien, de viscosité constante et sans propriétés élastique ou élongationnelles.

Dans ce cas, les différents débits se traduisent par les expressions suivantes :

- Débit de cisaillement :

$$B' H V/2 = \pi D_1^2 N H \sin \theta \cos \theta / 2$$

- Débit de contre pression

$$\pi D_1 H^3 P \sin^2 \theta / 12 \eta L_p$$

- Débit de fuite

$$\pi^2 D_1^2 J^3 P \sin^2 \theta / 12 \eta_e L_p$$

Où J est le jeu entre les filets et le fourreau.

La combinaison de ces trois débits donne le débit total. Le débit de fuite est très souvent négligé et le débit total peut donc s'exprimer sous la forme :

$$Q_t = a N \frac{bp}{2}$$

Où a et b valent :

$$a = \pi^2 D_1^2 \sin \theta \frac{\cos \theta}{2}$$

$$a = 4434,82$$

$$b = \frac{-\pi D_1 H^3 \sin \theta}{12 L_p}$$

$$b = -282,16 * 10^{-3}$$

III.4.2 Calcul de la vitesse de rotation de la vis, la pression à l'entrée de la buse :

- La vitesse de rotation de la vis :

Pour un écoulement libre le débit de contre pression égale à 0 ($Q_p = 0$) donc :

$$Q_T = a N$$

$$N = \frac{Q_T}{a}$$

$$Q_T = \frac{Q_m}{\rho}$$

AN :

$$Q_T = \frac{21 * 10^9}{905 * 60}$$

$$Q_T = 386740,33 \text{ mm}^3/\text{min}$$

$$N = \frac{386740,33}{4434,82}$$

$$N = 87,2 \text{ tr/min.}$$

- la pression à l'entrée de la buse :

$$p = \frac{\eta(aN - Q_T)}{b}$$

$$p = 5,23 \text{ Mpa}$$

- La pression maximale :

Dans le cas où la buse est complètement fermée

$$P_{max} = \frac{6 \pi N D_1 L_p \eta}{H^2 \tan \theta}$$

$$P_{max} = 77,22 \text{ Mpa}$$

III.4.3. Dimensionnement de la vis :

III.4.3.1. Résistance de la vis à la torsion :

Matériau : acier nitruré 41CrAlMo7

$$R_e = 720 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{M_t}{\frac{I_0}{\omega}} \leq R_{pg}$$

$$M_t = \frac{P}{\omega} = \frac{30 P}{\pi n}$$

$$M_t = \frac{30 P}{\pi n}$$

$$M_t = \frac{30 * 1500}{\pi * 87}$$

$$M_t = 164,64 \text{ N.m}$$

Pour un coefficient de sécurité : $c=3$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_T}{0,2 R_{pg}}}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{164,64 * 10^3}{0,2 * 240}}$$

$$d \geq 15,08 \text{ mm}$$

$D_3 = 24 \text{ mm}$ étant le plus petit diamètre de la vis, et comme $D_3 > d$ la vis résistera.

III.4.3.2. Résistance de la vis à la compression :

$$\sigma_{xp} = \frac{r P_{max}}{2H_f} \leq R_{pe}$$

Avec un coefficient de sécurité : $c=3$

$$r_v \geq \frac{H_f R_{pe}}{p_{max}}$$

AN :

$$r_v \geq \frac{2,4 * 240}{77,22}$$

$$r_v \geq 7,45 \text{ mm}$$

$r = 12 \text{ mm}$ étant le plus petit rayon de la vis, et comme $r > r_v$ la vis résistera à la compression.

III.4.3.3. Dimensionnement de filet de la vis :

- Résistance au cisaillement

$$\tau = \frac{h P_{max}}{e} \leq R_{pg}$$

Pour un coefficient $c = 3$

Sa donne :

$$e \geq \frac{4 h P_{max}}{\frac{R_e}{c}}$$

$$e_f \geq \frac{4 * 2,4 * 77,22}{\frac{720}{3}}$$

$$e_f \geq 3,08 \text{ mm}$$

Et donc pour une valeur de $e = 5 \text{ mm}$ (pris au début) les filets vont résister aux sollicitations subites pendant l'injection.

III.4.3.4. Flambage :

Le flambage c'est une flexion qui apparait quand on sollicite un élément en compression.

$$w = \frac{\pi}{2L}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{F}{EI}} = \frac{\pi}{2L}$$

$$\frac{P_k}{EI} = \frac{\pi^2}{2L^2}$$

$$P_k = \frac{\pi^2}{4L^2} \cdot EI$$

On a :

$E=190 \text{ Gpa}$

$L=735 \text{ mm}$

$$I = \frac{\pi \cdot 36^4}{64} = 82447,95 \text{ mm}^4$$

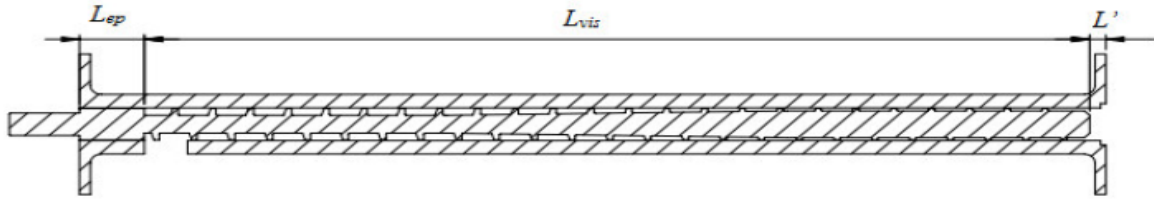
Alor :

$$P_k = \frac{\pi^2}{4(735)^2} \cdot 190 \cdot 10^3 \cdot 82447,98$$

$$P_k = 71,548 \cdot 10^3 \text{ KN}$$

III.4.4. Dimensionnement du fourreau :

$$L_f = L_{ep} + L_{vis} + L'$$

**Figure III.9 - Géométrie du fourreau. [37]**

Avec :

L_{ep} : Longueur de l'épaulement.

L_{vis} : Longueur active de la vis.

L' : Longueur entre la fin de la vis et le début de clapet.

$$L_f = 60 + 675 + 46$$

$$L_f = 781 \text{ mm}$$

- Epissure du fourreau

Matériau : acier nitruré 1.7005 (45Cr2)

$$R_e = 540 \text{ N/mm}^2$$

Le cylindre est creux et $e \ll L$ (paroi mince)

- Résistance à la traction

$$\sigma_{xp} = \frac{r P_{max}}{2e_f} \leq R_{pe}$$

$$\rightarrow e_f \geq \frac{r P_{max}}{\frac{R_e}{c}}$$

On va prendre un coefficient de sécurité $c = 3$

$$e_f \geq \frac{18,8 * 77,22}{180}$$

$$e_f \geq 8,06 \text{ mm}$$

- Résistance au cisaillement

Un coefficient de sécurité $c = 1,2$

$$\tau_{\theta p} = \frac{r P_{max}}{e_f} \leq R_{pg}$$

$$\rightarrow e_f \geq \frac{4 r P_{max}}{\frac{R_e}{c}}$$

$$e_f \geq \frac{4 * 18,8 * 77,22}{450}$$

$$e_f \geq 12,9 \text{ mm}$$

On prend $e_f = 15 \text{ mm}$.

III.4.5. Dimensionnement Du Réducteur :

Cahier de charges :

Moteur électrique triphasé de :

$P = 1,5 \text{ kw}$.

$n = 750 \text{ tr/min}$.

Matériau :

Acier A60.

$R_e = 335 \text{ N/mm}$.

III.4.5.1 Calculs sur l'arbre de transmission :

- Calcul du diamètre de l'arbre

L'arbre est court et plein donc il est soumis seulement à la torsion ($\sigma_f \simeq 0$)

$$\tau = \frac{M_t}{\frac{I_0}{v}} \leq R_{pg}$$

Ou

τ : est la contrainte de cisaillement (N/m^2)

M_t : le moment de torsion appliqué sur l'arbre (N.m)

I_0 : le moment d'inertie polaire (mm^4)

v : la distance du point le plus éloigné de la fibre neutre (mm).

$$M_t = \frac{P}{\omega} = \frac{30 P}{\pi n}$$

$$M_t = \frac{30 * 1500}{\pi * 750}$$

$$M_t = 19,1 \text{ N.m}$$

$$I_0 = \frac{\pi d^4}{32} \text{ et } v = \frac{d}{2}$$

$$\rightarrow 0,2 d^3 \geq \frac{M_t}{R_{pg}}$$

$$\rightarrow d \geq \sqrt[3]{\frac{M_t}{R_{pg}}}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{19,1 * 10^3}{0,2 * 83,75}}$$

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

On prend un diamètre normalisé $d = 15$.

III.4.5.2 Dimensionnement normalisées des engrenages cylindriques à denture droite :

On prendra $N = 87 \text{ tr/min}$ pour les calculs de dimensionnement du réducteur

On a :

$$A = \frac{N'}{N} = \frac{D_p}{D_{p'}} = \frac{Z}{Z'}$$

► Pignon A et la roue B

- **Vitesse de rotation**

$$N_A = n$$

Si on prend

$$N_B = r N_A$$

$$N_B = 300 \text{ tr/min}$$

- **Diamètres primitifs**

Et si on prend $D_A = 40 \text{ mm}$

Et $r = 0,4$

$$D_B = \frac{D_A}{r}$$

$$D_B = 100 \text{ mm}$$

- **Le module**

$$m \geq 2,34 \sqrt{\frac{2F}{KR_e}}$$

$$F = \frac{60 P}{\pi N D_B}$$

$$F = 954,92 \text{ N}$$

Et pour $K=10$ (cas courant)

$$m \geq 2,34 \sqrt{\frac{2 * 954,92}{10 * 335}}$$

$$m \geq 1,76$$

On prend une valeur normalisé de $m = 2$

- **Nombre de dents**

$$m = \frac{D_B}{Z} = \frac{Pas}{\pi}$$

$$\rightarrow Z = \frac{D_A}{m}$$

$$Z_A = \frac{40}{2}$$

$$Z_A = 20$$

$$Z_B = \frac{Z_A}{r}$$

$$Z_B = \frac{20}{0,4}$$

$$Z_B = 50$$

Et de (2) on a $D_p = m Z$

Donc

$$D_A = 40 \text{ mm}$$

$$D_B = 100 \text{ mm}$$

- **L'entraxe**

$$x = \frac{D_A + D_B}{2}$$

$$x = \frac{40 + 100}{2}$$

$$x = 70 \text{ mm}$$

- **Dimensions des dents**

Tableau III.3- Démentions normalisé des dents du pignon A et de la roue B.

	A	B
Module m	2	2
Pas = πm	6,28	6,28
Epaisseur des dent = $\frac{\pi m}{2}$	3,14	3,14
Saille s=m	2	2
Creux t = 1,25 m	2,5	2,5
Hauteurs h = s+t	4,5	4,5
Diamètre primitif	40	100
Diamètre tête = $D_p + 2 m$	44	104
Diamètre pied = $D_p - 2,5m$	35	95
Largeur dent l = k m	20	20
Nombre de dent	20	50

► **Le Pignon C et la roue D**

- **Vitesses de rotation**

On a

$$N_C = N_B = 300 \text{ tr/min}$$

Et

$$N_D = N_{vis} 87 \text{ tr/min}$$

- **Diamètres primitifs**

$$r = \frac{N_D}{r}$$

$$r = \frac{87}{300}$$

$$r = 0,29$$

Si on prend $D_c = 40$

$$D_D = \frac{D_c}{r}$$

$$D_D = \frac{40}{0,29}$$

$$D_D = 137,93$$

On le normalise 140 mm.

- Le module

$$m \geq 2,34 \sqrt{\frac{F}{k R_{pe}}}$$

$$F = \frac{60 P}{\pi N_c D_c}$$

$$F = \frac{60 * 1500 * 10^3}{\pi * 300 * 40}$$

$$F = 2387,32 \text{ N}$$

Pour $k = 10$ (cas courant)

$$m \geq 2,34 \sqrt{\frac{2387,32}{10 * 167,5}}$$

$$m \geq 2,79$$

On prend une valeur normalisé de $m = 3$.

- Nombre de dents

$$Z_c = \frac{40}{3}$$

$$Z_c = 13,33$$

On prendra $Z_c = 14$

Et

$$Z' = \frac{Z}{r}$$

$$Z_D = \frac{14}{0,29}$$

$$Z_D = 48,27$$

$$D_p = m Z$$

$$D_C = 3 * 14$$

$$D_C = 42$$

$$D_D = 3 * 42$$

$$D_D = 126$$

- **L'entraxe**

$$x = \frac{D_C + D_D}{2}$$

$$x = \frac{42 + 126}{2}$$

$$x = 84 \text{ mm}$$

- **Dimensions des dents**

Tableau III.4 - Démentions normalisé des dents du pignon C et de la roue D.

	C	D
Module m	3	3
Pas = πm	9,42	9,42
Epaisseur des dents = $\frac{\pi m}{2}$	4,71	4,71
Saille s=m	3	3
Creux t = 1,25 m	3,75	3,75
Hauteurs h = s+t	6,75	6,75
Diamètre primitif	42	126
Diamètre tête = $D_p + 2 m$	48	132
Diamètre pied = $D_p - 2,5m$	34,5	118,5
Largeur dent l = k m	30	30
Nombre de dent	14	42

III.4.5.3 Dimensionnement des clavettes (rectangulaire) :

Matériau acier A60

$$R_p = 500 \text{ N/mm}^2$$

En pratique, on choisit

$$w = \frac{1}{4} d$$

$$w = \frac{1}{4} * 20$$

$$w = 5 \text{ mm}$$

- **Condition de résistance au cisaillement**

$$\tau = \frac{2 M_t}{l w d} \leq R_{pg}$$

$$l \geq \frac{2 M_t}{w d R_{pg}}$$

$$l \geq \frac{2 * 170,52 * 10^3}{5 * 20 * 250}$$

$$l \geq 13,64$$

- **Condition de résistance à la compression**

$$\sigma_c = \frac{2F}{l h} \leq R_p$$

Et comme $F = \frac{2M_t}{d}$

$$\rightarrow \frac{4 M_t}{l h d} \leq R_p$$

$$h \geq \frac{4 M_t}{l d R_p}$$

$$h \geq \frac{4 * 170,52 * 10^3}{13,64 * 20 * 500}$$

$$h \geq 5$$

On a

$$d = d + \frac{h}{2}$$

$$d = 20 + \frac{5}{2}$$

$$d = 22,5 \text{ mm}$$

Le diamètre normalise de l'arbre va être $d = 25 \text{ mm}$.

- **Diamètre normalisé de la clavette**

$$w = 7,5 \text{ mm.}$$

$$l = 18 \text{ mm.}$$

$$h = 5 \text{ mm.}$$

Conclusion :

Dans ce chapitre on a calculé la géométrie de la vis et le dimensionnement des composantes afin déterminer leurs résistance aux déférents sollicitations au qu'elles sont exposé.

Chapitre IV

Modélisation
géométrique et
numérique

INTRODUCTION

Le présent de ce chapitre est considéré comme la partie principale de cette étude car elle est consacrée à donner une valeur au calcul que nous avons fait et obtenir un produit de meilleure précision en un moindre temps, ce qui confère une grande importance quant à l'utilisation des logiciels de CAO dans la conception des produits en général.

IV.1. Généralités :

IV.1.1. Définition de la CAO :

Nous pouvons définir la Conception Assistée par Ordinateur (CAO) par l'ensemble des outils logiciels et des techniques informatiques qui permettent d'assister les concepteurs lors de la conception et la mise au point d'un produit.

IV.1.2. Logiciel utilisée

Un programme en général de type industriel doit être capable de résoudre des problèmes variés de grandes tailles (de mille à quelques centaines de milliers de variables). Ces programmes complexes nécessitent un travail d'approche non négligeable avant d'espérer pouvoir traiter un problème réel de façon correcte. Citons à titre d'exemple quelques noms de logiciels : SOLID WORKS (COSMOS WORKS), KATIA, ABAQUS, ANSYS.... Etc. les possibilités offertes par de tels programmes sont nombreuses :

- Analyse statique ou dynamique.
- Prise en compte de lois de comportement complexe.
- Prise en compte de phénomènes divers (élasticité, thermique,).
- Problèmes d'optimisation,... etc.

L'utilisation de tels programmes nécessite une formation de base minimale.

IV.1.3. Les différentes utilisations de Solid Works

Ce logiciel est utilisé par des concepteurs, des ingénieurs, des étudiants et d'autres professionnels pour concevoir des pièces, des assemblages et des mises en plan complexes. De plus ils peuvent être utilisés dans plusieurs domaines, nous citons par exemple :

- Produit du design industriel.
- Ouvrages de génie civil.
- Ouvrages d'architecture. [39]

IV.2. Modélisation géométrique des composantes :

La modélisation géométrique des pièces d'une extrudeuse avec le logiciel SolidWorks passe par 3 étapes :

- Création des pièces en model de 2D (2 dimensions).
- Création des pièces en model 3D (3 dimensions).
- Assemblage des pièces.

IV.2.1. Modélisation géométrique de groupe de plastification:

➤ La vis

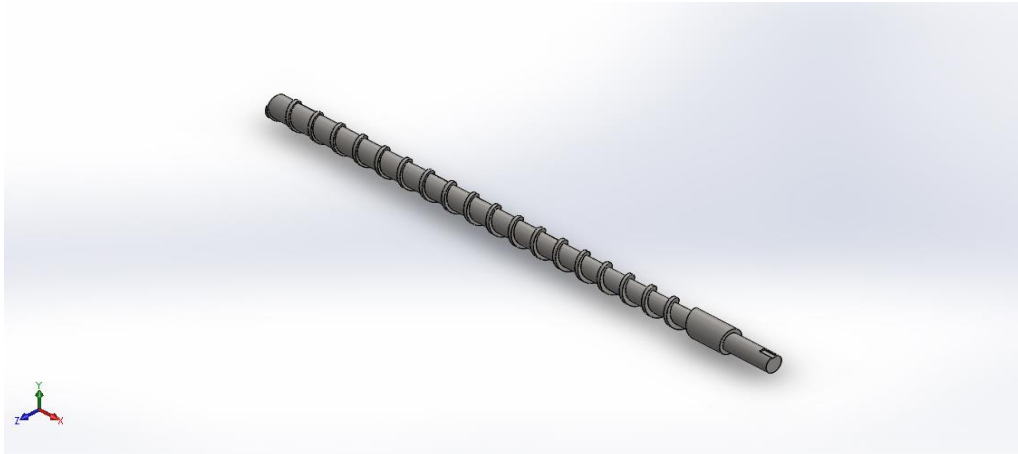


Figure IV.1- Modèle CAO de la vis.

➤ Fourreau

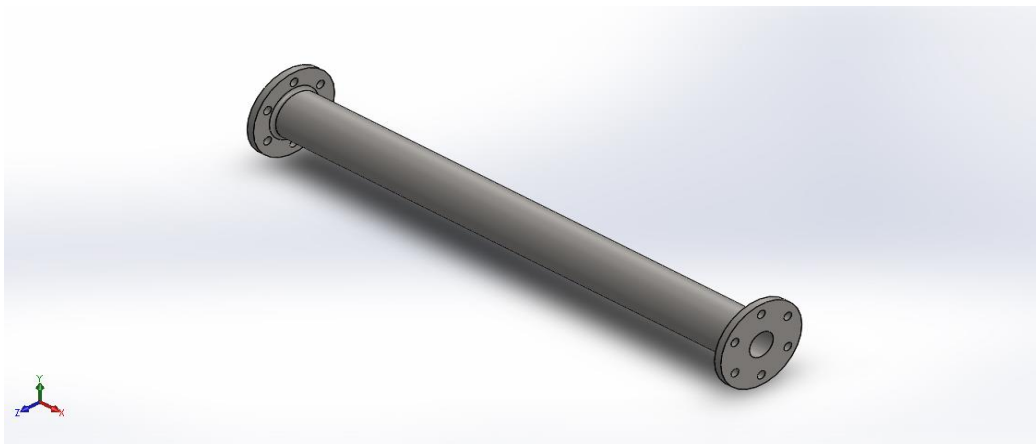


Figure IV.2 - Modèle CAO du fourreau.

➤ La buse

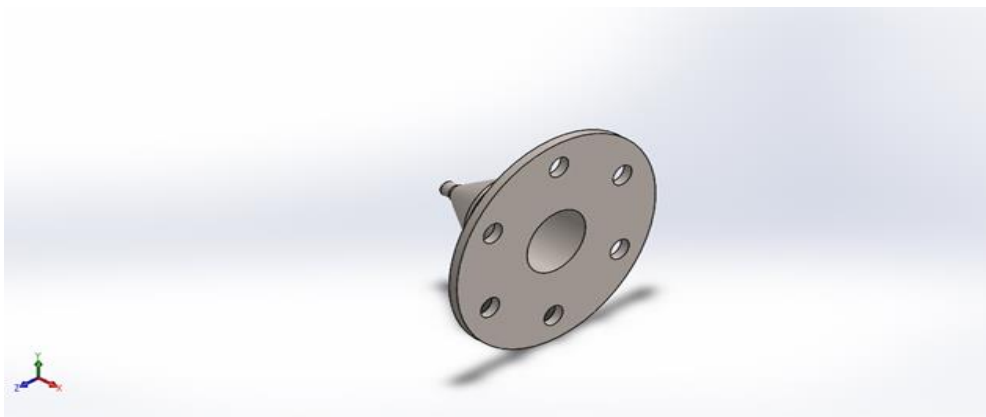


Figure IV.3 - Modèle CAO de la buse.

➤ **Le clapet**

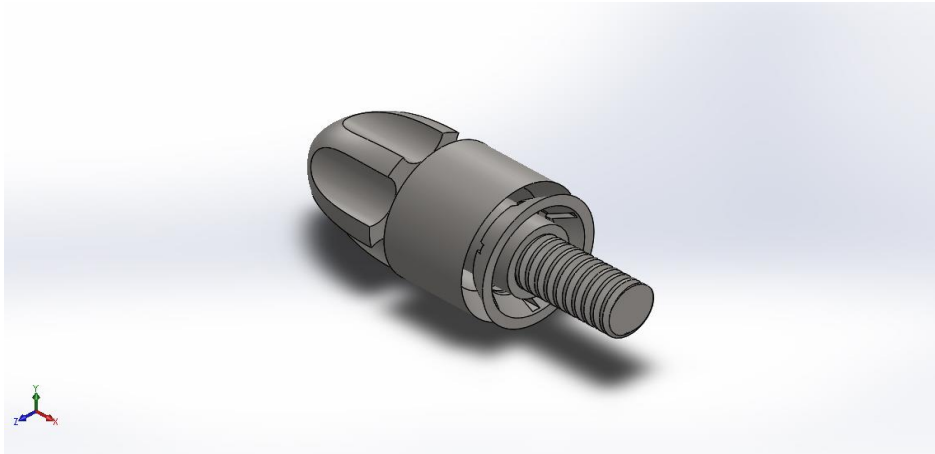


Figure IV.4 - Modèle CAO du clapet.

➤ **La trémie**

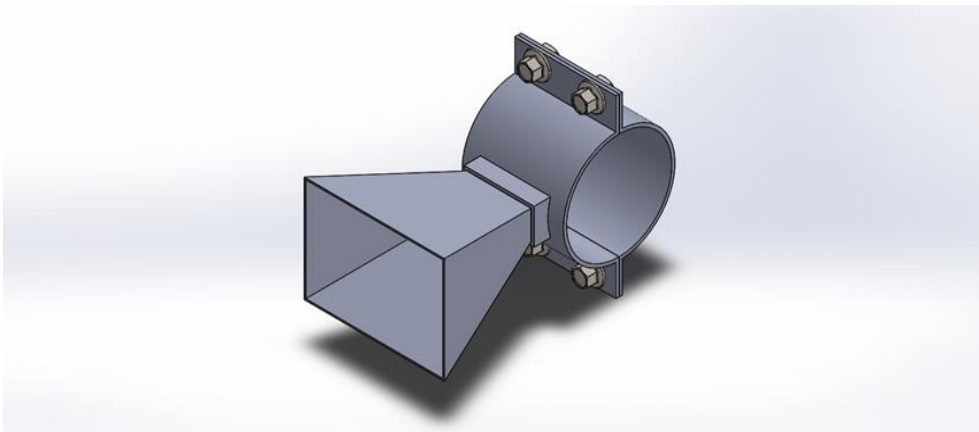


Figure IV.5 - Modèle CAO de la trémie.

➤ **Assemblage des composantes :**

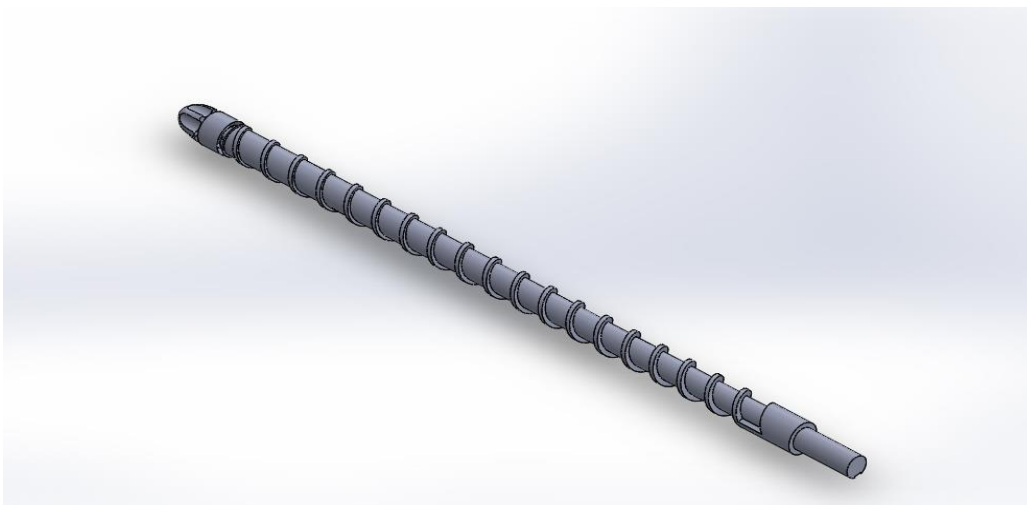


Figure IV.6 - Modèle CAO de l'assemblage vis/clapet.

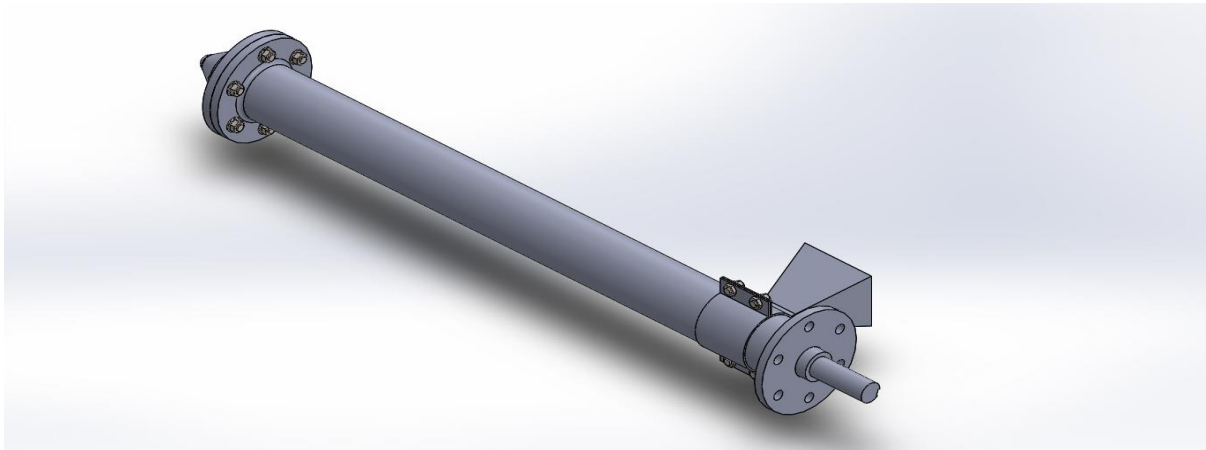


Figure IV.7 - Modèle CAO de l'assemblage du groupe de plastification.

IV.2.2. Modélisation géométrique de groupe de réducteur de vitesse :

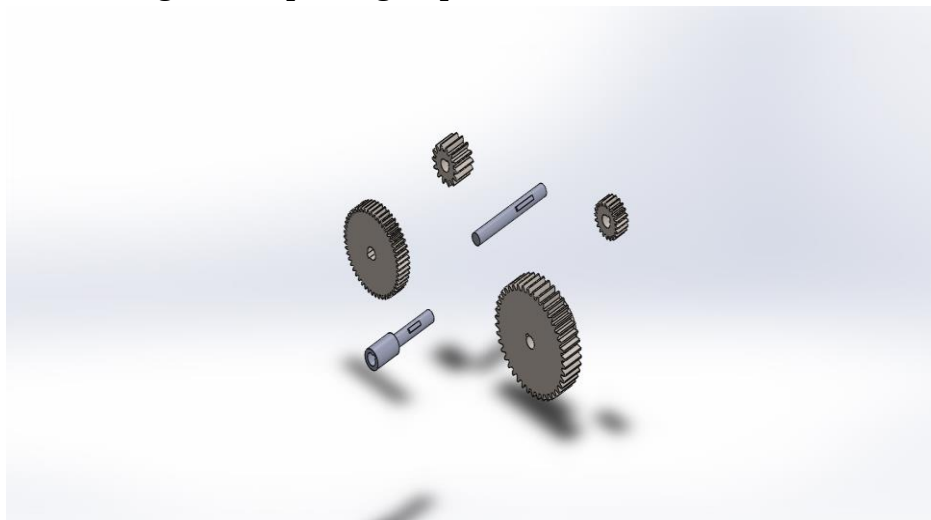


Figure IV.8 - Modèle CAO des composantes de réducteur.

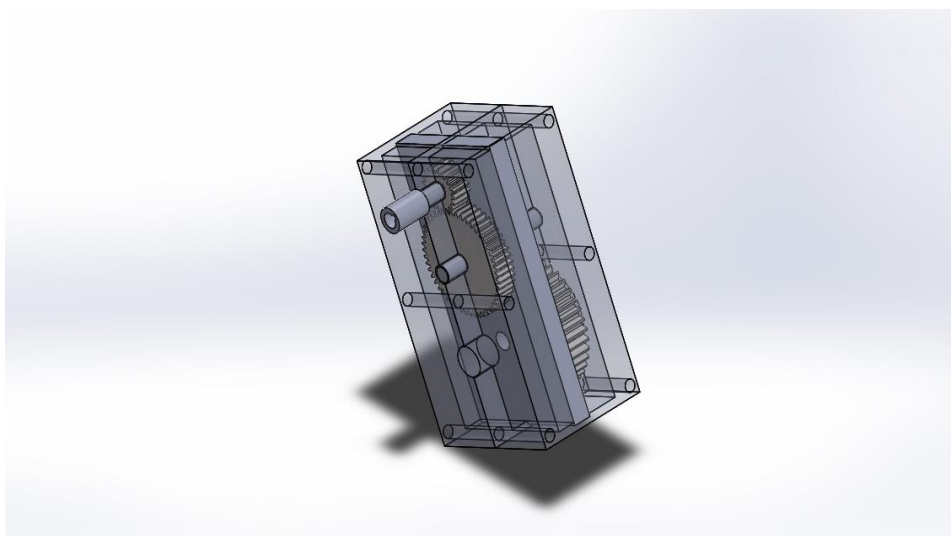


Figure IV.9 - Modèle CAO de réducteur.

IV.3. Modélisation numérique :

IV.3.1. Introduction aux éléments finis :

La méthode des éléments finis fait partie des outils mathématiques appliqués. Il s'agit de mettre en place à l'aide des principes hérités de la formulation variationnelle ou formulation faible, un algorithme discret mathématique permettant de rechercher une solution approchée d'une équation aux dérivées partielles (EDP) sur un domaine compact avec conditions aux bords et/ou dans l'intérieur du compact.

Il s'agit donc avant tout de la résolution approchée d'un problème, ou, grâce à la formulation vibrationnelle, les solutions du problème vérifient des conditions d'existence plus faibles que celles des solutions du problème de départ et où une discrétisation permet de trouver une solution approchée.

Le but du calcul par éléments finis est la détermination des déplacements puis des contraintes dans la structure de manière à valider la conception. Nous utilisons la méthode des éléments finis dans notre étude pour déterminer le comportement des pièces sollicitées (arbre et lame) du broyeur, et nous avons choisi le logiciel de simulation numérique SolidWorks®.

De façon générale, une résolution par éléments finis comporte trois étapes :

- Préparation des données ou pré-processing (génération de données) définir le problème.
- Les étapes majeures sont données ci-dessous :
 - Définition des points clés (keypoints) /lignes/surfaces/volumes .
 - Définir le type d'élément fini, ses propriétés géométriques et les propriétés physiques des matériaux.
 - Maillage des lignes /surfaces/volumes si cela est requise.
 - Définition des matériaux.
 - Traitement ou processing : assigner les charges, contraintes (conditions aux limites) et résolution ; nous spécifions notamment la nature des charges localisées et/ ou distribuées), contraintes ou conditions aux limites (translation et rotation) et, finalement, on résout le système d'équation :
 - Post-processing (post traitement) : visualisation et interprétation des résultats ; lors de cette étape, on peut examiner :
 - La liste des déplacements nodaux.
 - Les forces et des moments au niveau des éléments.
 - Tracé des déformés.

IV.3.2. Le maillage :

La méthode des éléments finis repose sur un découpage de l'espace selon un maillage. Il n'est pas non plus nécessaire que le maillage soit régulier et nous avons tendance à resserrer le maillage près des endroits d'intérêts (par exemple aux endroits où nous pensons que la solution va beaucoup varier), cependant il faut veiller à avoir des éléments faiblement distordus (se rapprocher d'un polygone régulier). Plus ce maillage est resserré plus la solution que nous obtiendrons par la méthode des éléments finis sera précise et proche de la solution de l'équation aux dérivées partielles. [40]

IV.3.3. Génération d'un maillage :

Pour générer un maillage volumique, il faut tout d'abord créer un modèle géométrique ou importer directement un modèle géométrique issu d'un logiciel CAO comme SolidWorks.

Pour SolidWorks nous avons choisi un maillage par défaut (maillage volumique).

IV.3.4. Matériau utilisé :

L'acier nitrure et le matériau le plus utilise dans la fabrication des composante du groupe de plastification, ces caractéristiques particulière offre à ces composant une meilleur résistance et ça dureté peut être conservée jusqu'à des températures de l'ordre de 500 °C. [40]

IV.3.4.1. Matériau utilise pour la réalisation de la vis et la point de vis :

Acier nitruré 41CrAlMo7 est un acier non allié trempé dans l'azote pour augmente sa dureté. Il offre une résistance optimale à l'usure par frottement et abrasion, c'est un acier qui permet de fabriquer des pièces soumises à de fortes pressions de surface comme les vis , foret, cylindre,

La composition :

C (Carbone) 0,4% , Cr (chrome) 1,8% , Al(Aluminum) 1%, MO(Molybdène) 0,25%,

Fe (Fer) restant.

La propriété :

Module de Young : $E = 190 \text{ Gpa}$

Coefficient de Poisson : $\nu = 0,28$.

$R_e = 720 \text{ N/mm}^2$

IV.3.4.2. Matériau utilisé pour la réalisation de fourreau :

Acier nitruré 1.7005 (45Cr2) est un acier non allié trempé dans l'azote pour augmente sa dureté. Les aciers nitrure ont une bon résistance à la corrosion et à la forte pression, c'est un acier qui permet de fabriquer des pièces soumises à de fortes pressions de surface comme les fourreaux, foret, cylindre,

La composition chimique :

C (Carbone) 4,5 % , Cr (chrome) 2 % , Fe (Fer) restant

La propriété :

Module de Young : $E = 190 \text{ GPa}$

Coefficient de Poisson : $\nu = 0,28$

$R_e = 540 \text{ N/mm}$

IV.4. Vérification des Condition aux limites des différents composants :

Les conditions aux limites consistent à déterminer les déplacements imposés et les cas de chargement sur les pièces dans les différents cas de sollicitations.

IV.4.1. condition limite de la vis :**IV.4.1.1. Etude de la résistance de la vis à la torsion :**

- Maillage :**

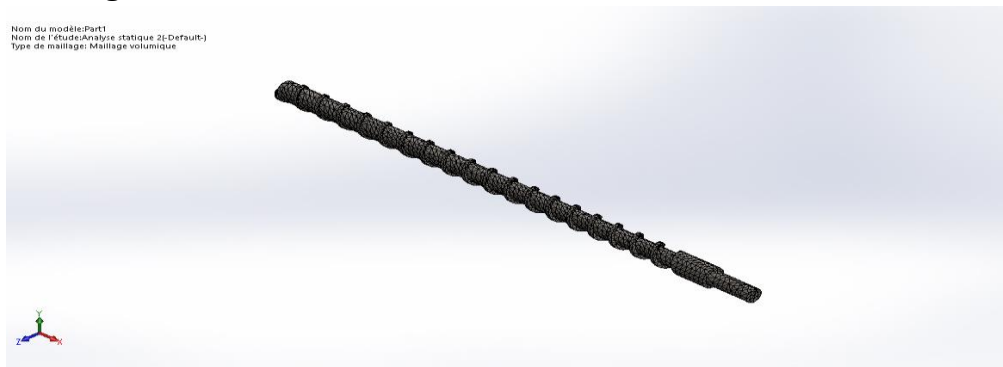


Figure IV.10 - vis maillée.

Nombre totale de nœud : 21479.

Nombre totale d'élément : 12351.

- condition limite :**

Déplacement imposé : géométrie fixe sur la surface des filets.

Chargement : un moment de torsion qui est de $164,64 \text{ [N.m]}$ sur le tourillon de la vis.

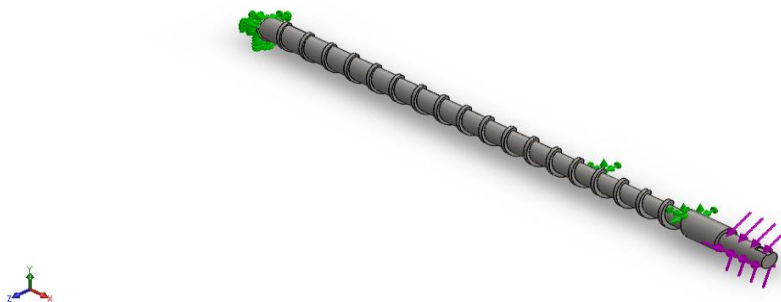


Figure IV.11 - Application des conditions aux limites à la vis.

- **Résultat de l'analyse :**

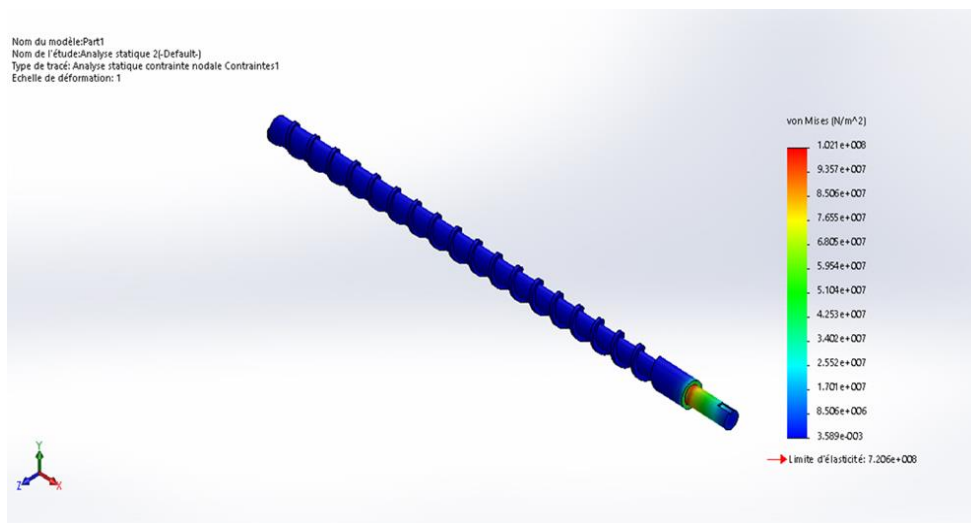


Figure IV. 12 - Contrainte appliqués sur la vis.

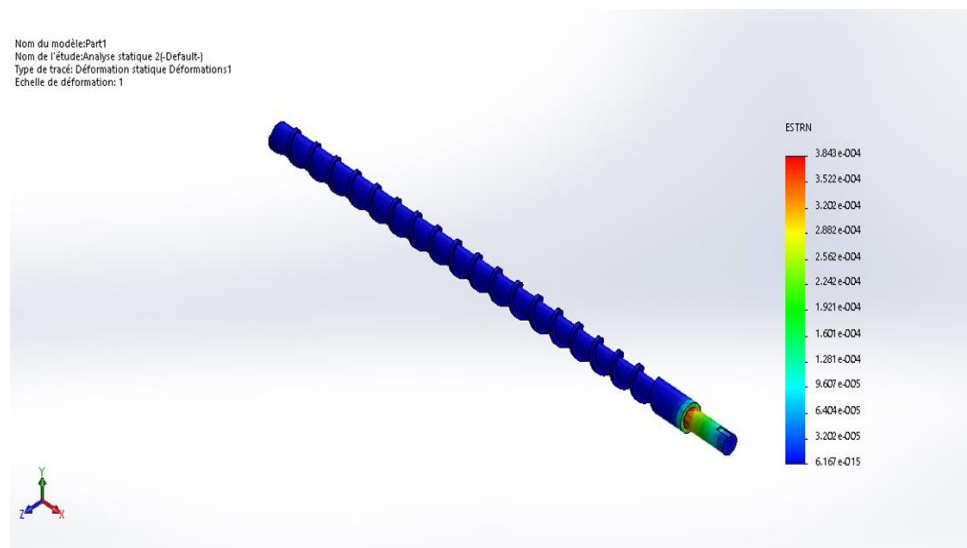


Figure IV.13 - déformation de la vis.

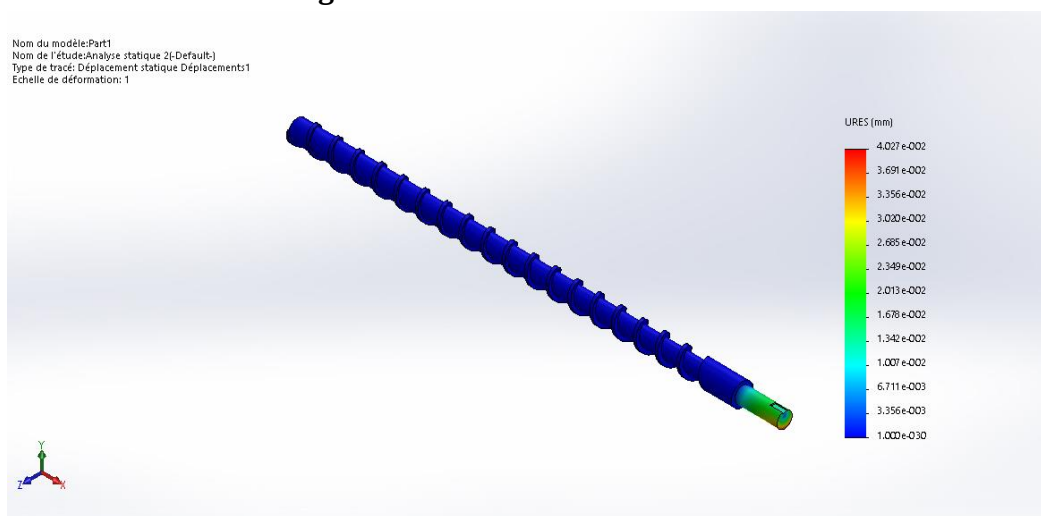


Figure IV.14 - déplacement de la vis.

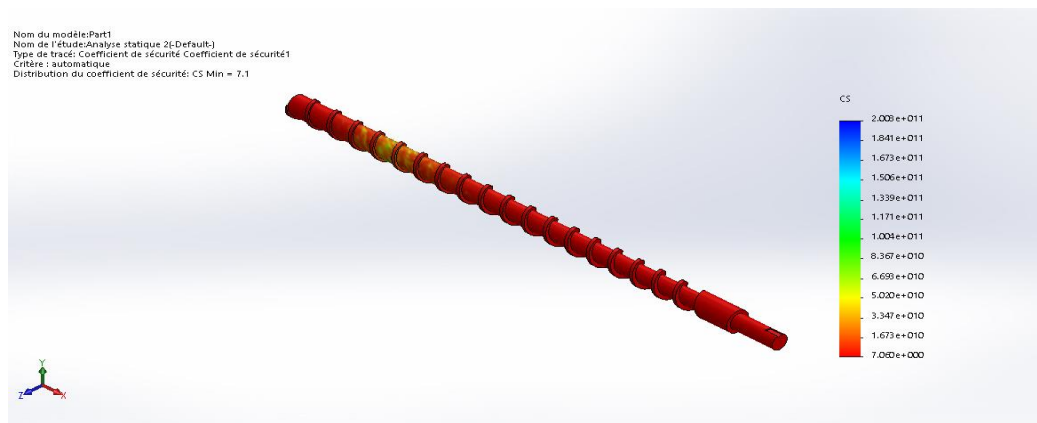


Figure IV.15 - coefficient de sécurité.

Tableau IV.1 : Résultat d'étude de torsion de la vis.

Moment torsion [N.m]	Contrainte		Déformation	Déplacement
	$\sigma_{\max}$ [MPa]	$\sigma_{\min}$ [MPa]	$\cdot 10^{-4}$	$U_{\max} = \cdot 10^{-2}$ [mm]
164.64	102,1	$3,589 \cdot 10^{-9}$	3.843	4.027

- **Analyse des résultats obtenue :**

D'après les résultats illustrés dans le tableau (IV.1) et les figures (IV.10, IV.11 et IV.12) on remarque que la limite d'élasticité n'est pas atteinte. On remarque aussi que le déplacement est de l'ordre de 10^{-2} [mm], donc la vis va résister à la torsion.

IV.4.1.2. Etude de la résistance de la vis à la compression :

- **Maillage :**

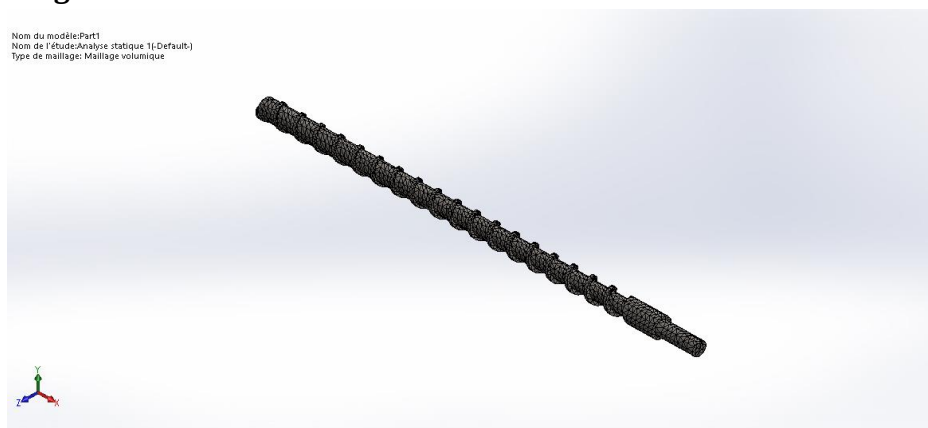


Figure IV.16 - vis maillée.

Nombre totale de nœud : 21479.

Nombre totale d'élément : 12351.

- **Condition limite :**

Déplacement imposé : géométrie fixe sur la surface des filets.

Chargement : un moment de torsion qui est de 77.22 [N.m] sur le tourillon de la vis.

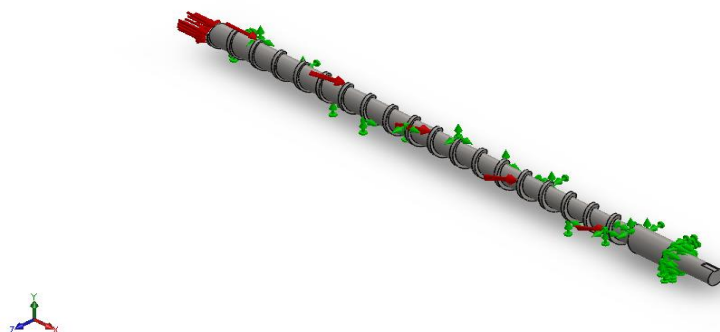


Figure IV.17 - Application des conditions aux limites à la vis.

- **Résultat de l'analyse :**

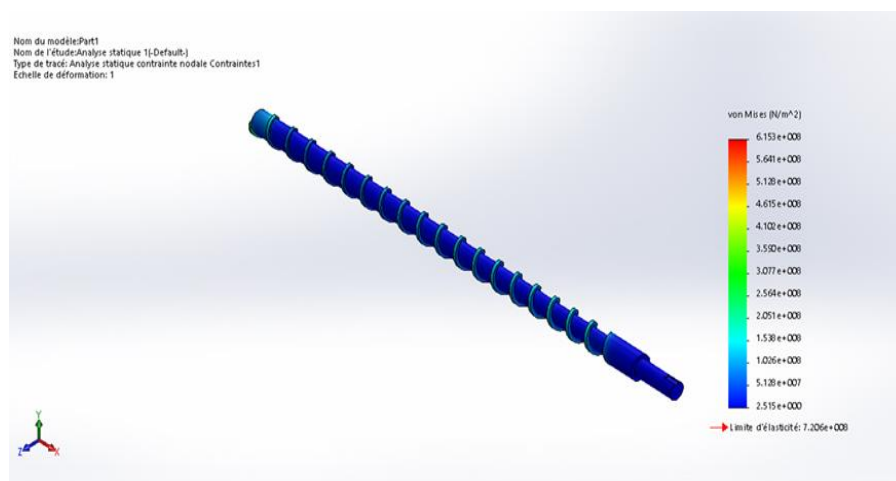


Figure IV. 18 - Contrainte appliquées sur la vis.

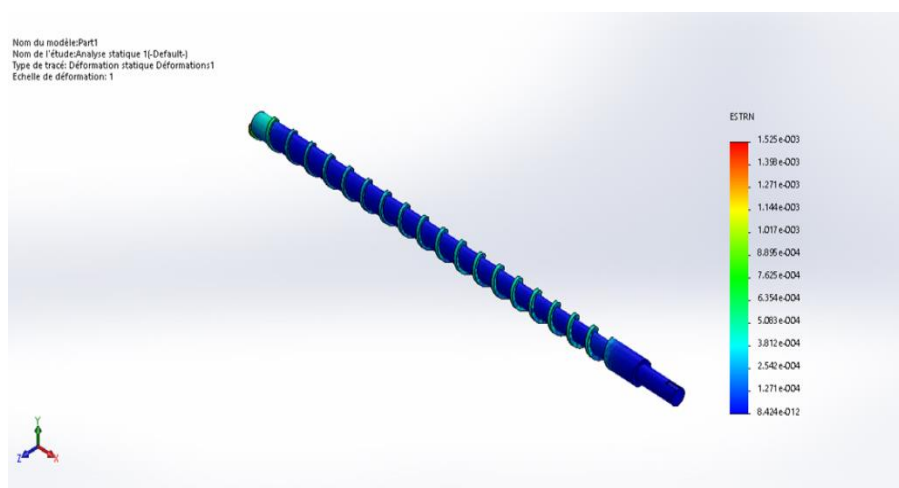


Figure IV.19 - déformation de la vis.

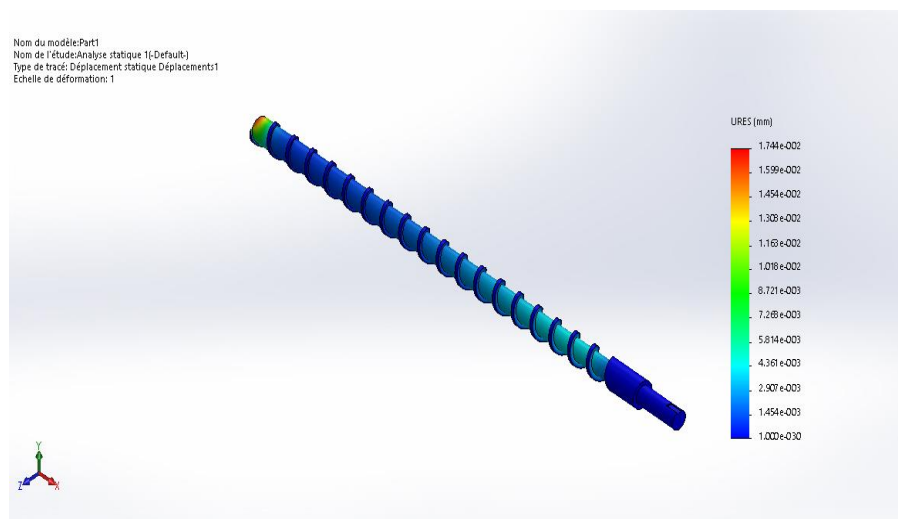


Figure IV.20 - déplacement de la vis.

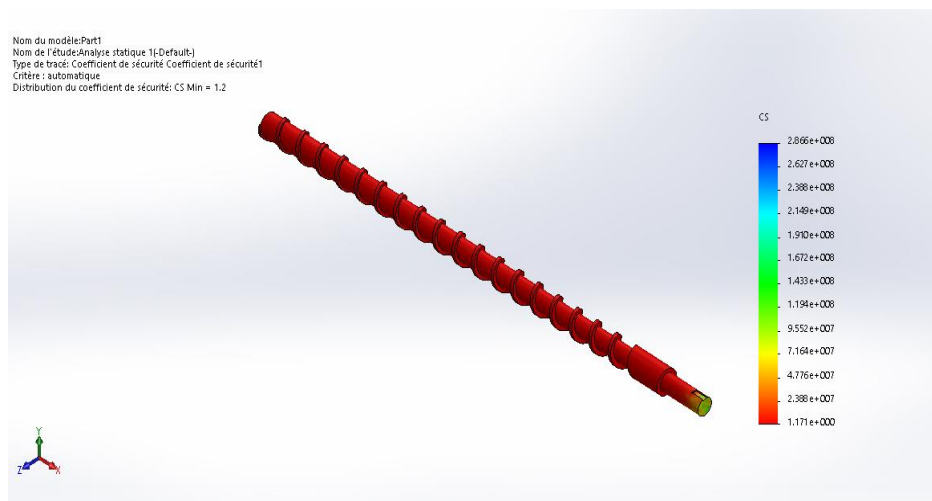


Figure IV.21 – coefficient de sécurité de la vis.

Tableau IV.2 - Résultat d'étude de compression de la vis.

compression [Mpa]	Contrainte		Déformation	Déplacement
	$\sigma_{\max}$ [MPa]	$\sigma_{\min}$ [MPa]	$\cdot 10^{-3}$	$U_{\max} = \cdot 10^{-2}$ [mm]
77.22	615,3	$2,715 \cdot 10^{-6}$	1,525	1,744

- **Analyse des résultats obtenue :**

D'après les résultats illustré dans le tableau (IV.2) et les figures (IV.15, 16,17) on remarque qu'il y a une différence entre la contrainte obtenue et la limite d'élasticité.

La déformation qu'on a obtenue et de l'ordre 10^{-3} , on remarque aussi que le déplacement est de l'ordre de 10^{-2} [mm], Donc la vis va résistée a la compression.

IV.4.1.3. Application de la force critique (flambage) :

Chargement : une force de $71,548.10^3$ KN est applique sur L'extrémité de la vis.

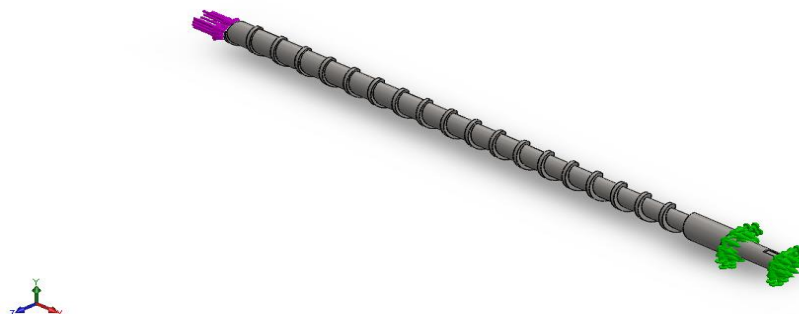


Figure IV.22 - Application des conditions aux limites à la vis.

- Résultat de l'analyse :

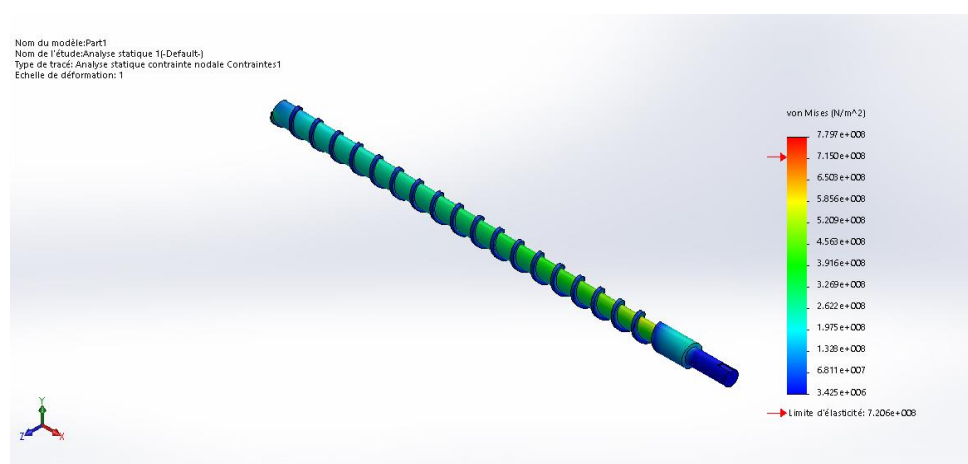


Figure IV.23 - Contraintes de la vis au flambage.

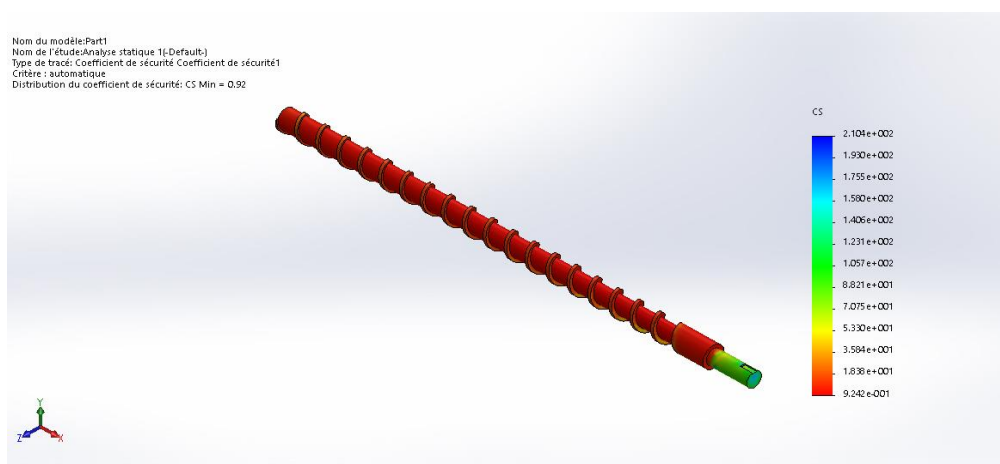


Figure IV.24 – coefficient de sécurité.

Tableau IV.3 - Contraintes de la vis.

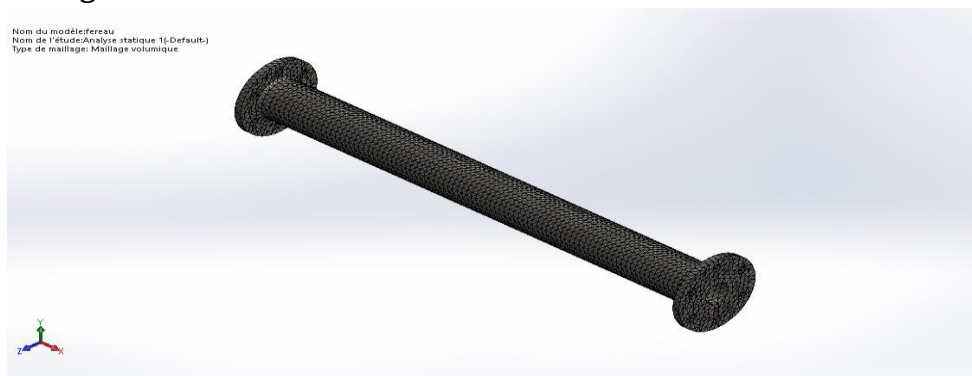
Force critique (flambage) [KN]	Contrainte	
	$\sigma_{\max}$ [MPa]	$\sigma_{\min}$ [MPa]
$71,55.10^3$	777,7	342,5

- Résultat de l'analyse :**

Lors de l'application de la force critique, on constate que le matériau a dépassé sa limite d'élasticité jusqu'à atteindre une contrainte de 797,7 Mpa lorsque le matériau atteint cette valeur il est au domaine plastique.

IV.4.2. Etude de la résistance du fourreau a la pression :

- Maillage :**

**Figure IV.25** - fourreau maillée.

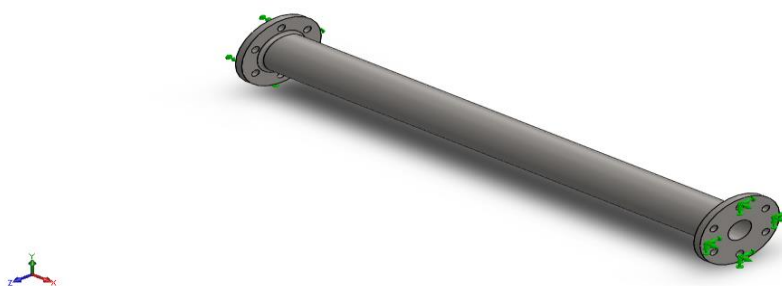
Nombre totale de nœud : 48828

Nombre totale d'élément : 29167

- Condition limite:**

Déplacement imposé : géométrie fixe sur les extrémités de fourreau.

Chargement : une pression interne qui est de l'ordre 77.22 Mpa.

**Figure IV.26** - Application des conditions aux limites.

- **Résultat de l'analyse :**

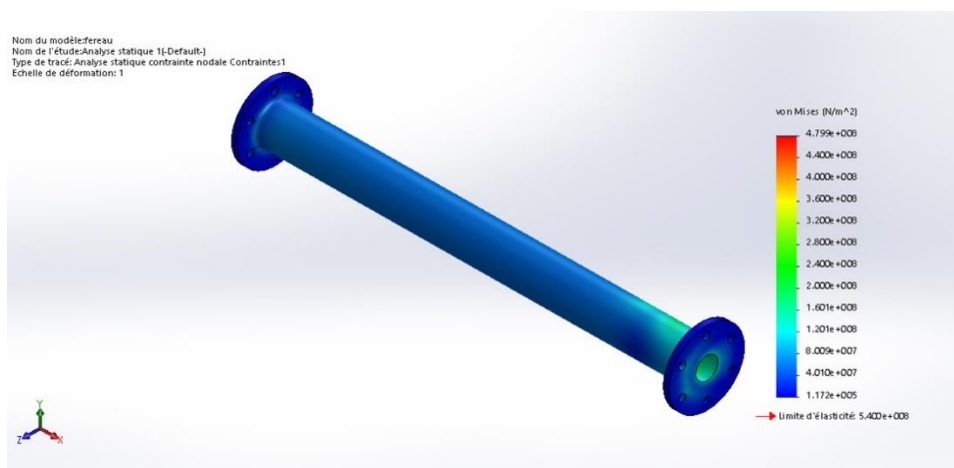


Figure IV.27 - Contrainte appliqués sur le fourreau.

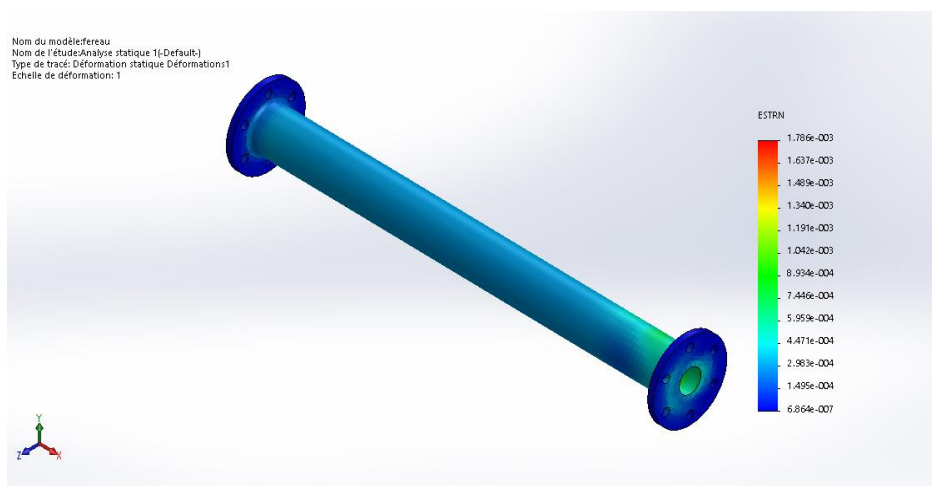


Figure IV.28 - déformation du fourreau.

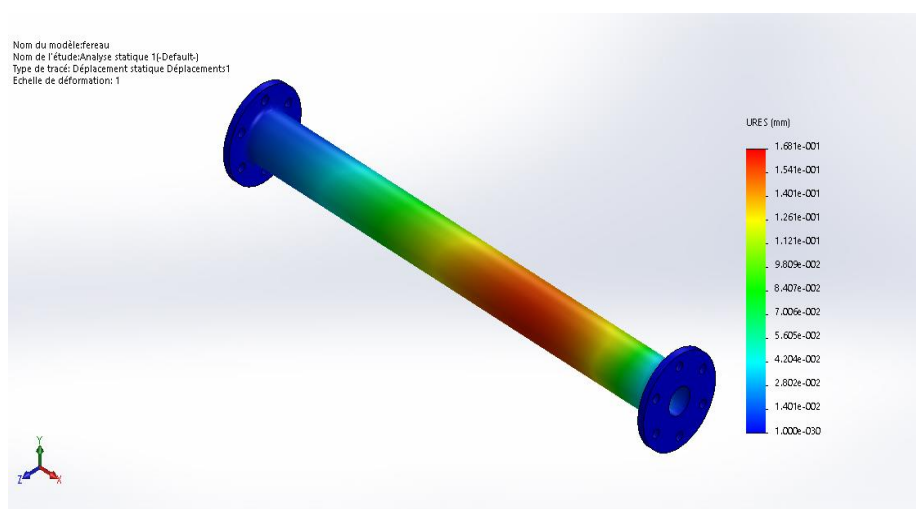


Figure IV.29 - déplacement du fourreau.

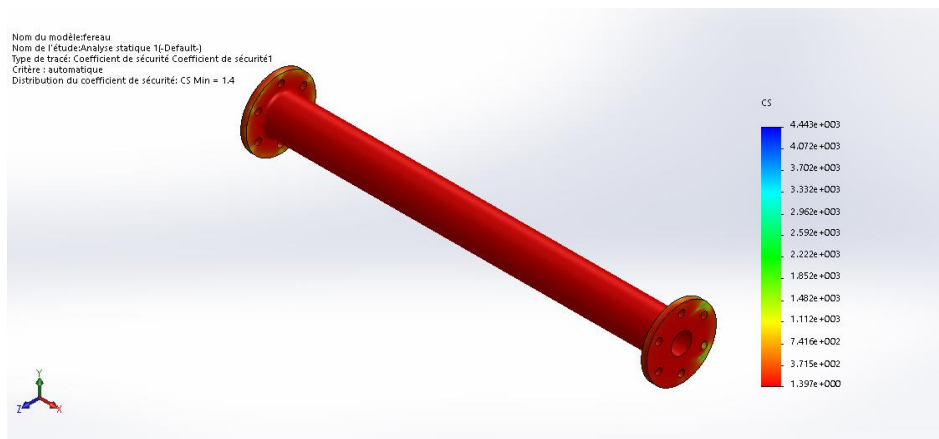


Figure IV.30 - coefficient de sécurité du fourreau.

Tableau IV.4 - Résultat d'étude de la pression.

Pression interne [MPa]	Contrainte		Déformation	Déplacement
	$\sigma_{\max}$ [MPa]	$\sigma_{\min}$ [MPa]	$\cdot 10^{-3}$	$U_{\max} = \cdot 10^{-1}$
77.22	479,9	$1.172 \cdot 10^{-1}$	1.786	1.681

- **Analyse des résultats obtenue :**

D'après les résultats illustré dans le tableau (IV.4) et les figures (IV.22, 23 ,24) on déduit que le fourreau va résistée a la pression maximale.

IV.4.3. Les conditions limites de la pointe de vis :

IV.4.3.1. Etude de la résistance de la pointe de vis à la compression :

- **Maillage :**

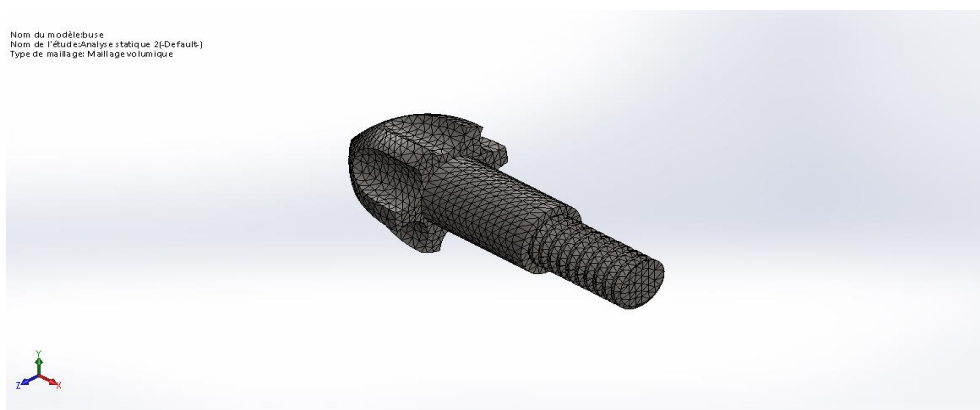


Figure IV.31 – pointe de vis maillée.

Nombre totale de nœud : 48828.

Nombre totale d'élément : 29167.

- **Condition limite :**

Déplacement imposé : géométrie fixe sur l'extrémité de la pointe de vis.

Chargement : une pression interne qui est de l'ordre 77.22 [N.m].

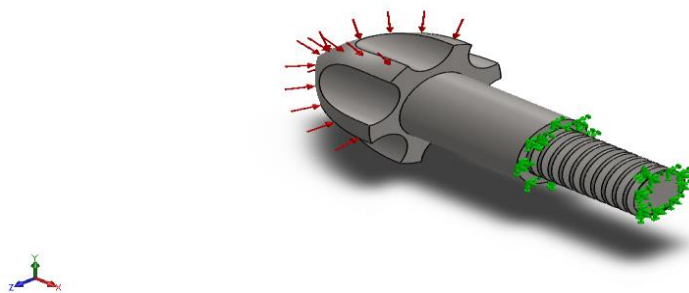


Figure IV.32 - Application des conditions limites à la pointe de vis.

- **résultat de l'analyse :**

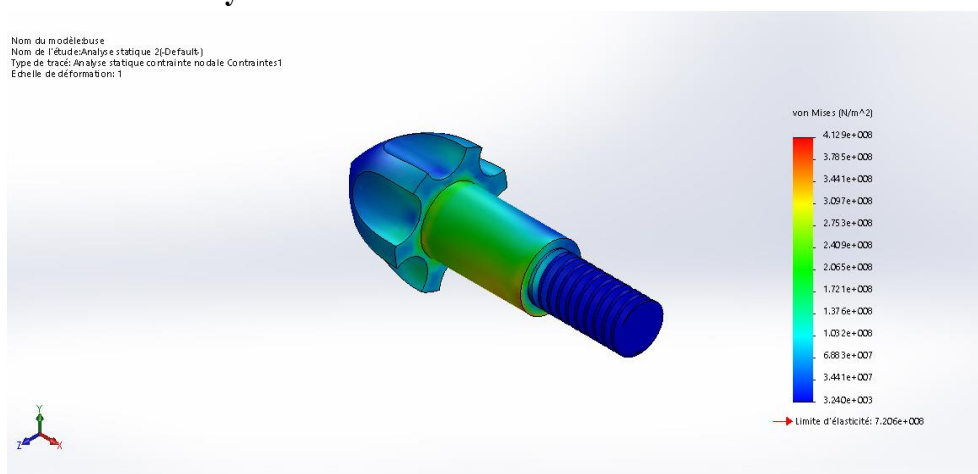


Figure IV.33 - Contrainte appliquées à la pointe de vis.

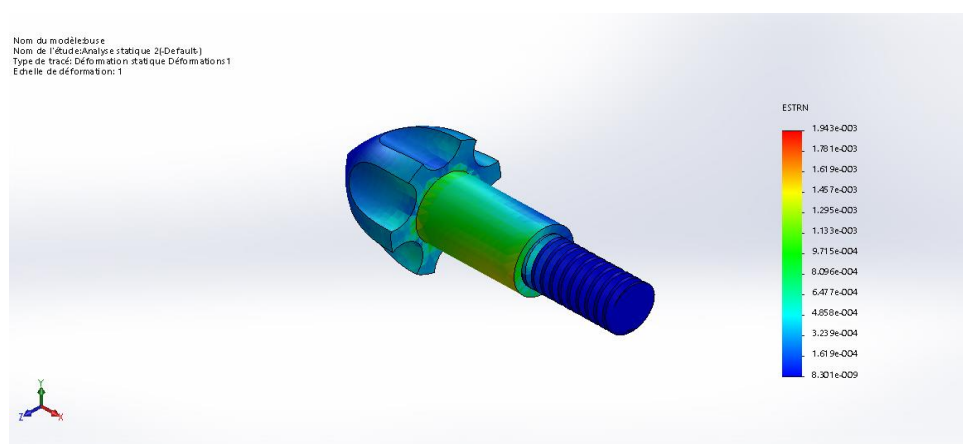


Figure IV.34 - Déformation de la pointe de vis.

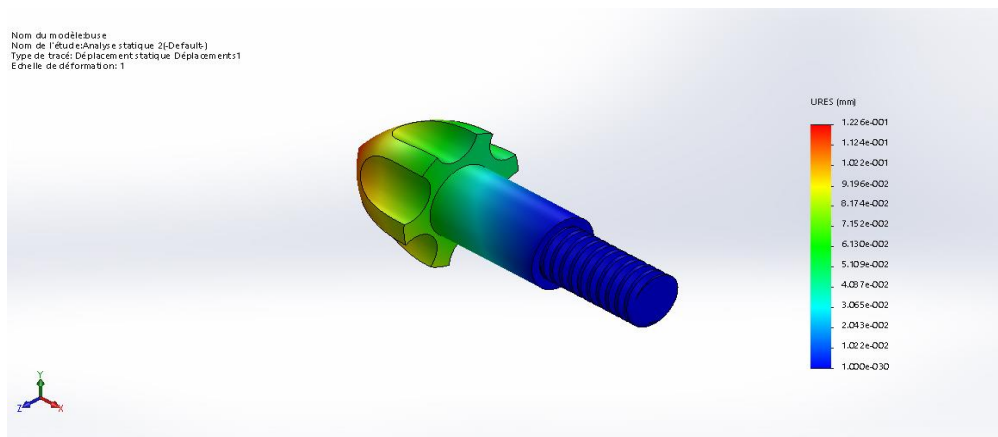


Figure IV.35 - Déplacements de la pointe de vis.

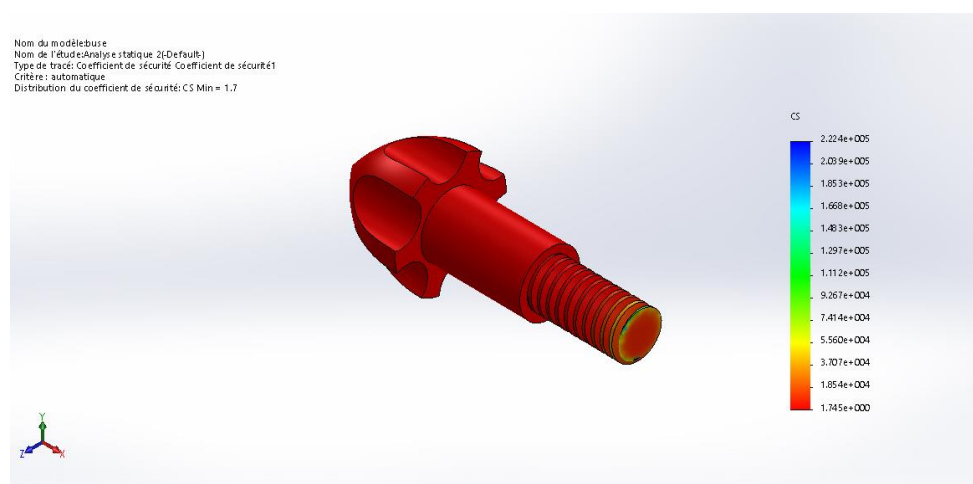


Figure IV.36 - coefficient de sécurité.

Tableau IV.5 - Résultat d'étude de la pointe la vis à la compression.

Pression interne [MPa]	Contrainte		Déformation	Déplacement
	$\sigma_{\max}$ [MPa]	$\sigma_{\min}$ [MPa]	$\cdot 10^{-3}$	$U_{\max} = \cdot 10^{-1}$
77,22	412,9	$3,240 \cdot 10^{-3}$	1,943	1,226

- **Analyse des résultats obtenue :**

D'après les résultats illustré dans le tableau (IV.5) et les figures (IV.27, 28 ,29) on déduit que la pointe de vis va résistée a la compression.

IV.4.3.2. Etude de la résistance de la pointe vis à la torsion :

- **Maillage :**

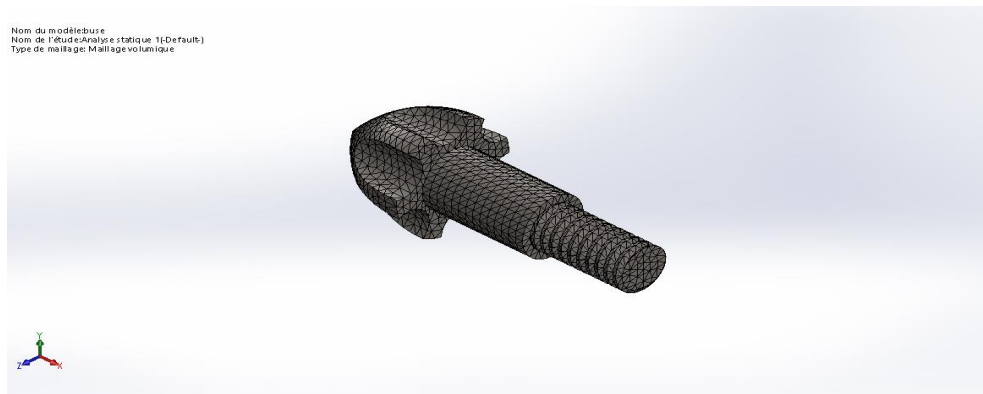


Figure IV.37 – pointe de vis maillée.

Nombre totale de nœud : 25383.

Nombre totale d'élément : 16296.

- **Condition limite :**

Déplacement imposé : géométrie fixe sur la surface des deux extrémités de la pointe de vis.

Chargement : un moment de torsion qui est de 164.64 Mpa sur la pointe de vis.

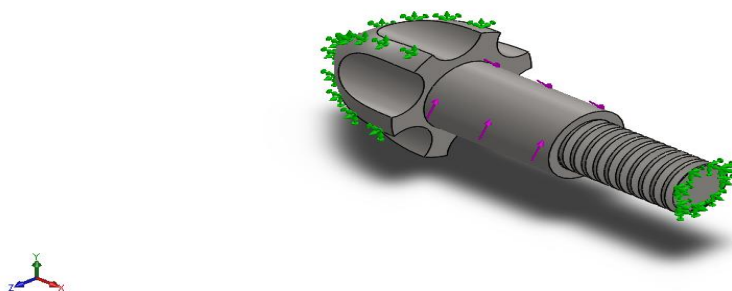


Figure IV.38 - Application des conditions aux limites à la pointe de vis.

- **résultat de l'analyse :**

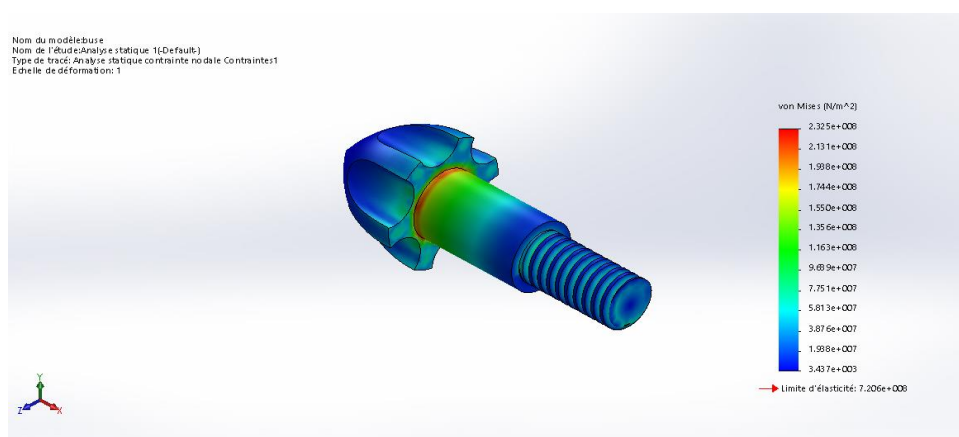


Figure IV.39 – contrainte appliqués à la pointe de vis.

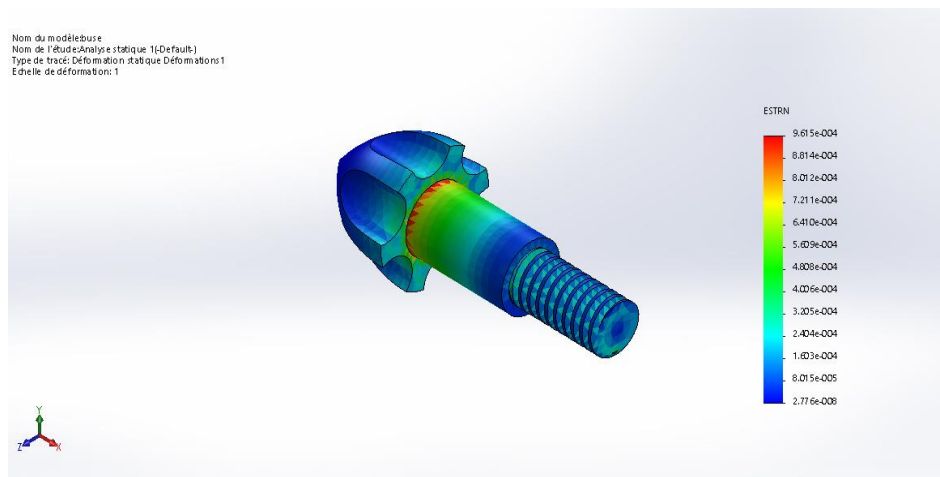


Figure IV.40 - Déformation de la pointe de vis.

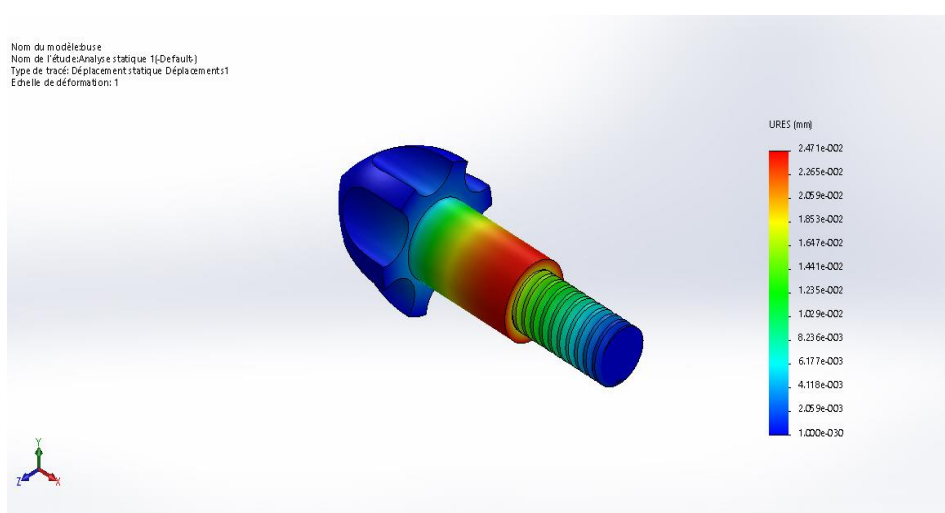


Figure IV.41 - Déplacements de la pointe de vis.

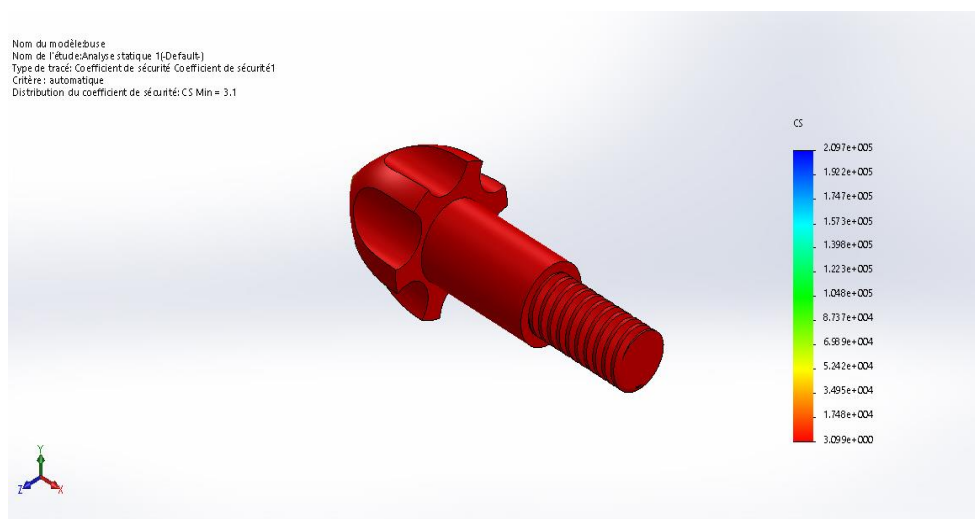


Figure IV.42 - coefficient de sécurité.

Tableau IV.6 - Résultat d'étude de la pointe de vis à la torsion.

Moment torsion [MPa]	Contrainte		Déformation	Déplacement
	$\sigma_{\max}$ [MPa]	$\sigma_{\min}$ [MPa]	$\cdot 10^{-4}$	$U_{\max} = \cdot 10^{-2}$
164,46	232,5	$3,437 \cdot 10^{-3}$	9,615	2,471

- **Analyse des résultats obtenue :**

D'après les résultats illustré dans le tableau (IV.6) et les figures (IV.32, 33 ,34) démontre la limite d'élasticité est supérieure a la contrainte max. la déformation est d'ordre 10^{-4} , le déplacement est de $2,471 \cdot 10^{-2}$ mm, ce qui indique que la pointe de vis va résister à la torsion.

Conclusion

D'après notre études de simulation par la méthode des éléments finis effectuée sur les composantes principales de groupe de plastification particulièrement les zones de concentration des contraintes nous a conduit à obtenir des résultats assez suffisantes, donc le matériau est sure a tous les endroits de chaque composante on conclue que notre vis de plastification est conforme aux charges appliqués.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Le procédé de moulage par injection a pris une importance considérable sur le marché de la mise en forme des polymères. Cependant les industriels recentrent plusieurs problèmes lors de la fabrication des pièces moulées liées à différents facteurs, Mais le vrai problème est liée d'une part à la géométrie complexe de la vis et d'autre part au différent sollicitation quelle doit résister et la nature des matériaux injectés, le but de tout concepteur est de créer une vis de plastification à hautes performances est résistante aux forces de traction, cisaillement, compression, et la température de fusion de la résine.

Ce travail a pour objectif l'étude et la conception d'une vis de plastification pour le procédé d'injection.

Premièrement, on s'est basé sur l'étude des généralités de l'injection plastique, et les différents matériaux utilisés dans ce processus. Afin de mieux comprendre le procédé d'injection par moulage.

Deuxièmement on a fait une étude approfondie sur tout ce qui concerne les vis de plastification, on a décidé de prendre une vis standard (universelle) comme modèle de référence, car elle est adaptée à la majorité des matériaux, et on a choisi le polymère thermoplastique le polypropylène (PP) pour la suite de notre étude.

Ensuite on a étudié l'aspect rhéologique et différent écoulement, on est passé à l'étude géométrique de la vis, et élaborer les différents calculs concernant le dimensionnement des différents composants du système étudié.

Enfin pour la vérification de la conception de cette pièce nous avons utilisé le logiciel SolidWorks® outil (logiciel) de CAO et de simulation numérique. Pour vérifier sa résistance aux différentes sollicitations imposées. Et d'après cette analyse on a constaté que notre vis de plastification résiste aux différentes sollicitations subites au cours du processus d'extrusion.

Ce projet nous a permis de nous familiariser avec un domaine jusqu'à lors inconnu, il a nécessité beaucoup de recherches bibliographiques et une maîtrise de l'anglais technique. Nous retiendrons de ceci la difficulté de collecter des données fiables concernant la géométrie des vis et leurs différentes caractéristiques, ce peut s'expliquer par la sensibilité du domaine traité, qui est souvent soumis au secret industriel.

Comme tout travail le nôtre comporte certaines limites, on aurait aimé concevoir et réaliser notre modèle, malheureusement faute de moyens et du temps nécessaires, seule la partie théorique est présentée.

Liste bibliographique

Références bibliographiques

- [1]. <https://prototechasia.com/injection-thermoplastique/histoire-injection-thermoplastique>
- [2]. [www.infineo-economic iruclaire.com](http://www.infineo-economic.iruclaire.com), le moulage par injection MAJ 2018
pdf.www.infineo-economiccirculaire.co
- [3]. Thuy Linh PHAM / THESE Plastification en injection des polymères fonctionnels et chargés /2013
- [4]. Ressources injection pdf
- [5]. chapitre 2 procédé de mise en forme matière plastique PDF
- [6]. <https://www.usinenouvelle.com/expo/guides-d-achat/la-multi-injection-de-matieres-plastique-167>
- [7]. Gassou Mostafa et Rahmani Ahmed, «Etude de la qualité des pièces fabriquées en moulage par injection», mémoire master professionnel, département de mécanique, UKM Ouargla, 20138 :
- [8]. HEDDAR Djamel Eddine, « ETUDE ET CONCEPTION A L'AIDE DE L'OUTIL CAO D'UN MOULE A INJECTION PLASTIQUE » mémoire de magister, département de mécanique, université de Biskra, 2014.
- [9]. <https://www.scribd.com/doc/208143768/Machines-D-injection-Plastique-2>
- [10]. <http://www.spirit-science.fr/Matiere/polymeres.html>
- [11]. Julien HUMBERT, « Conception, élaboration et production d'agrocomposite à partir de tourteau de tournesol : étude du procédé d'extrusion-formulation-granulation Et d'injection-moulage », DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, 2008 France
- [12]. www.manufacturingterms.com
- [13]. <http://www.resinex.fr/types-de-polymeres/tpe.html>
- [14]. R. Nunn, *"The reciprocating screws process"*, Chapter 8, p. 56-88, Injection Moulding Handbook, 1986
- [15]. JM MAUCOTEL, conception et dessin des outillages d'injection

- [16]. Jean-François Pichon / Christophe Guichou Aide-mémoire INJECTION DES MATIÈRES PLASTIQUES , 4^e édition ,Dunod, Paris, 2001, 2005, 2011, 2015
- [17]. https://fr.groche.com/clapets_anti-retour.html
- [18]. R.Nunn, « The reciprocating screws process », injection Molding Handbook, 1986
- [20]. C. Rauwendaal, "*Polymer extrusion*", Munich, Hanser, 4th edition, 2001
- [21]. C.P.J.M. Verbraak, H.E.H. Meijer, "*Screw Design in Injection Moulding*", Polymer Eng. & Sc., 29(7), page 479-487, 1989
- [22]. C. Rauwendaal, "*Extruder screw with barrier sections*", Polymer Engineerin and Science, vol. 26, n° 18, p. 1245-1253, 1986
- [23]. H. Nakagawa, "*Improvevement of screw plasticizing in injection molding*", Japan Plastics, page 20-28, Octobre 1971
- [24]. R. Barr, "*High performance screw is custom designed for molding engineering polymers*", Retec 87, pase 57-59, 1987
- [25]. C. Chung, "*A novel energy efficient screw design*", SPE Antec 168, page 168-169, Mai 1983
- [26]. extrait Techniques de l 'I ingénieur, plasturgie : procédés d'extrusion Techniques, réf internet 42150
- [27]. <https://www.steelexpress.co.uk/plastics/polypropylene.html>
- [28]. <https://recherche-technologie.wallonie.be>
- [29]. AHMED HAMADI, « Conception générale des moules pour injection plastique », mémoire du diplôme d'ingénieur, département de mécanique, université de M'sila, 2003.
- [30]. MIDOUX.N. « Mécanique et rhéologie des fluides ». Technique et Documentation, Lavoisier (1993).
- [31]. HANS-HENNING.K; NICOLE.H et CHRISTOPHER.J.P, « Matériaux Polymères : Propriétés Mécaniques et Physiques ». Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lyon (2001).

[32]. Maël Moguedet. « Développement d'un outil d'aide à la conception et au fonctionnement d'un ensemble vis/fourreau industriel - Application à l'injection des thermoplastiques chargés fibres de verre longues » Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (2005).

[33]. Cyril PUJOS, « Estimation de la rhéologie d'un polymère dans une filière d'extrusion Simulation d'écoulement avec transferts thermiques et Inversion de mesures », L'université Bordeaux école doctorale de sciences physiques et de l'ingénieur, Thèse de Doctorat, (2006).

[34]. G.LAFLEUR P., VERGNES B., « Polymer Extrusion », Materials science series, ISTE, Wiley, 2014.

[35]. BENCHABANE.A, thèse doctorat « Etude du comportement rhéologique de mélanges argiles - polymères. Effets de l'ajout de polymères ». ULP – INSA – ENGEES, l'Université Louis Pasteur – Strasbourg 2006.

[36]. Cyril PUJOS, « Estimation de la rhéologie d'un polymère dans une filière d'extrusion Simulation d'écoulement avec transferts thermiques et Inversion de mesures », L'université Bordeaux école doctorale de sciences physiques et de l'ingénieur, Thèse de Doctorat, (2006)

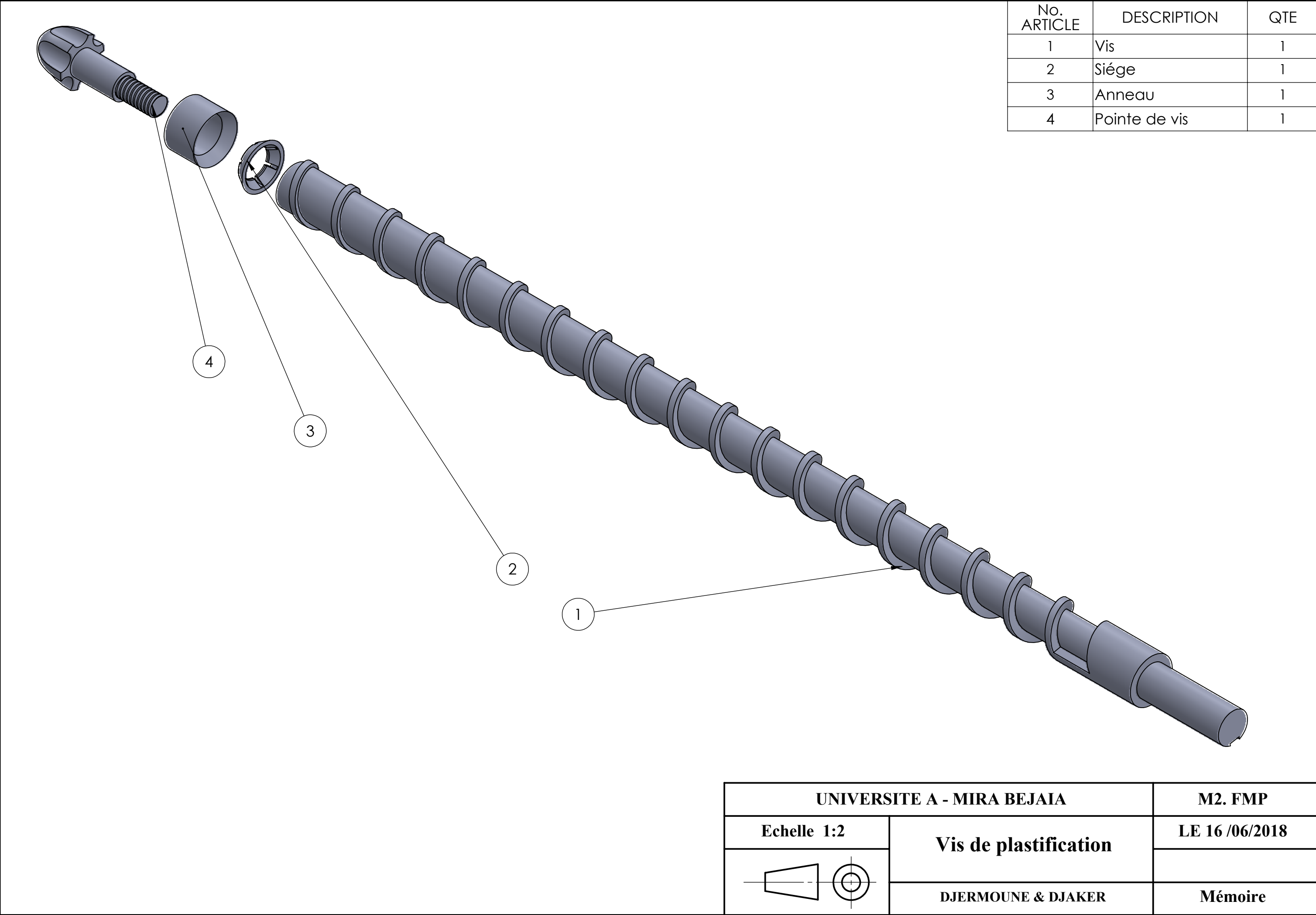
[37]. AGASSANT J-F., AVENAS P., SERGENT J-F., VERGNES B., VINCENT M., « Mise en forme des polymères. Approche thermomécanique de la plasturgie », 4e édition, Tec & Doc, Lavoisier.

[38]. Thèse Nadia BRAHMIA Contribution à la modélisation de la cristallisation des polymères sous cisaillement : application à l'injection des polymères semi-cristallins [p 154]/ Année 2007.

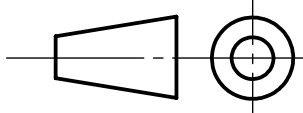
[39]. <http://www.solidworks.com/education>

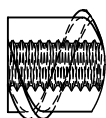
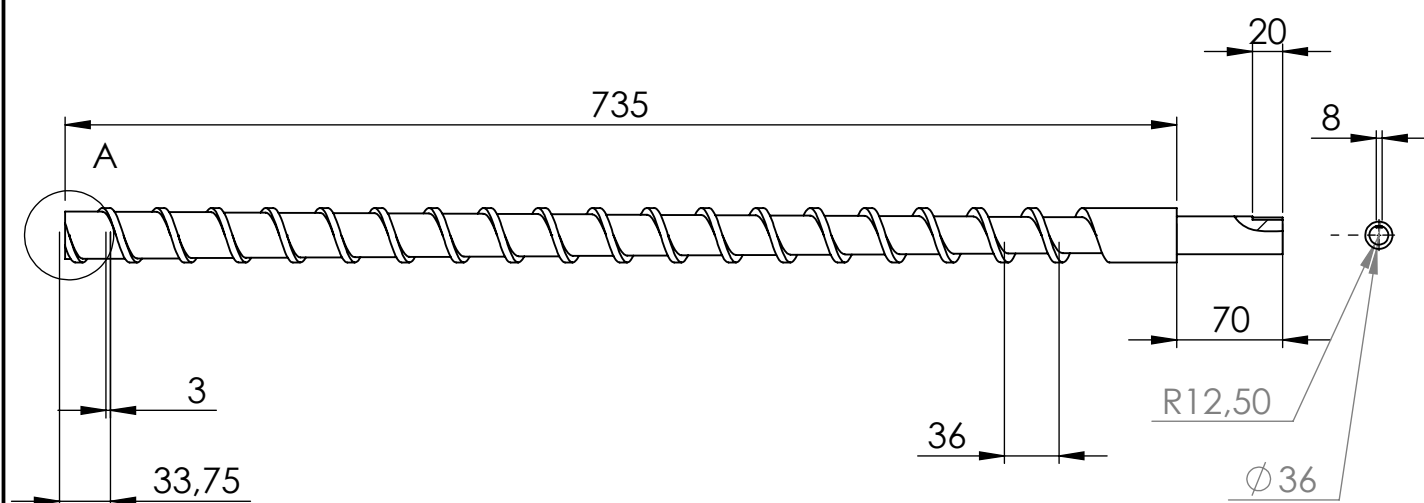
[40]. Thèse Hervé Oudin , introduction à la Méthode des éléments finis, 26 May 2011.

Annexes



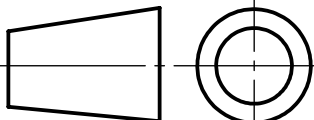
No. ARTICLE	DESCRIPTION	QTE
1	Vis	1
2	Siège	1
3	Anneau	1
4	Pointe de vis	1

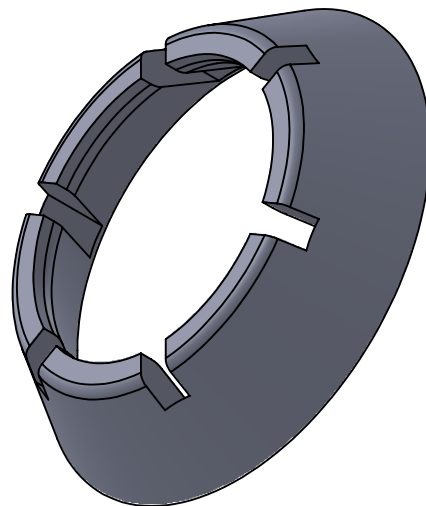
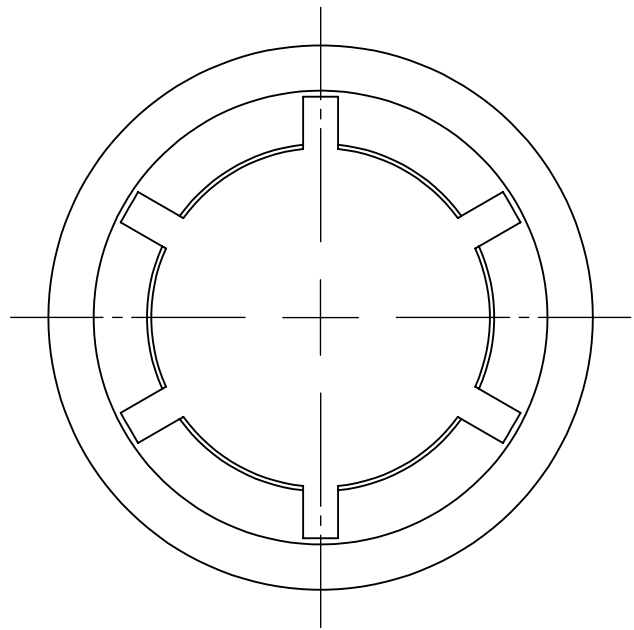
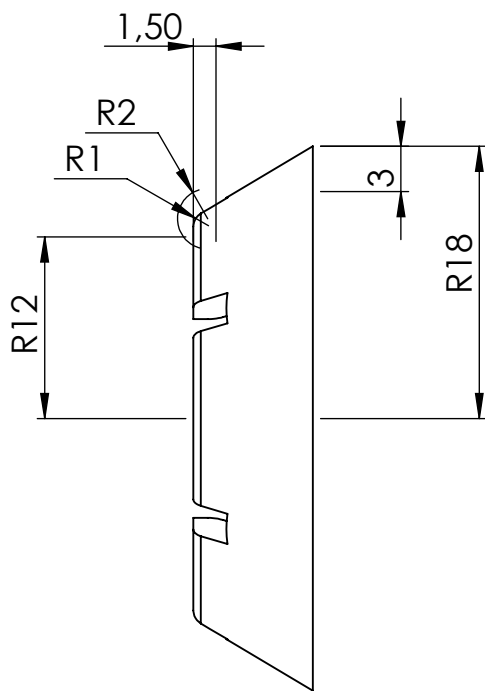
UNIVERSITE A - MIRA BEJAIA		M2. FMP
Echelle 1:2	Vis de plastification	LE 16 /06/2018
		
DJERMOUNE & DJAKER		Mémoire

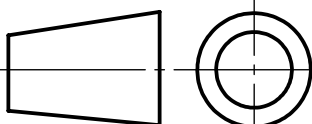


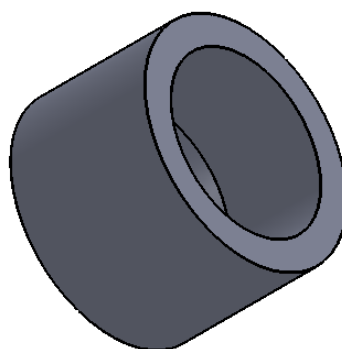
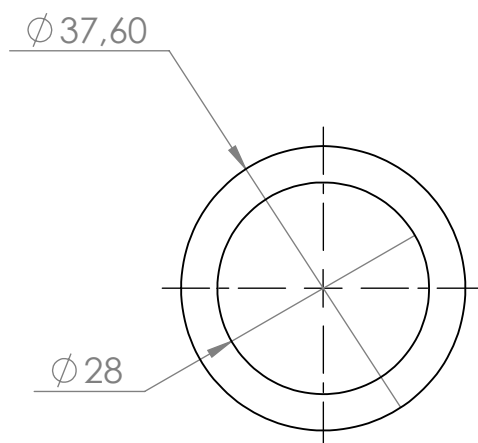
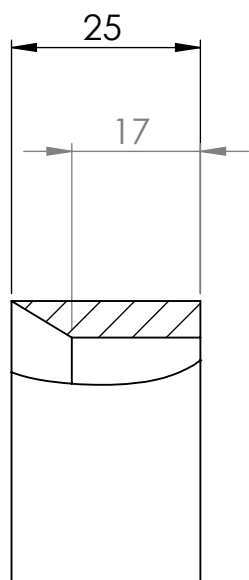
DÉTAIL A
ECHELLE 2 : 5

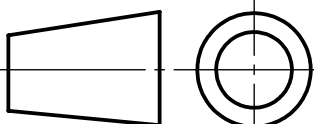


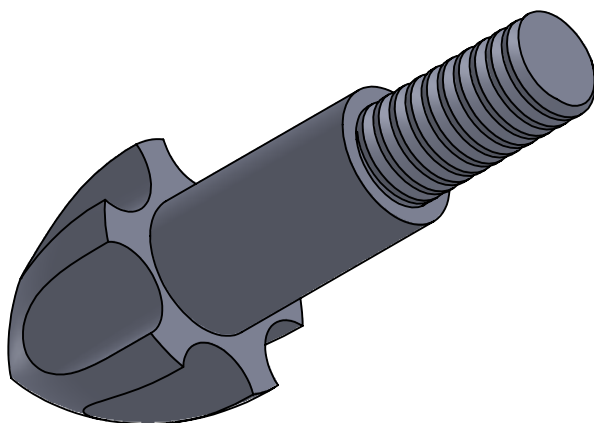
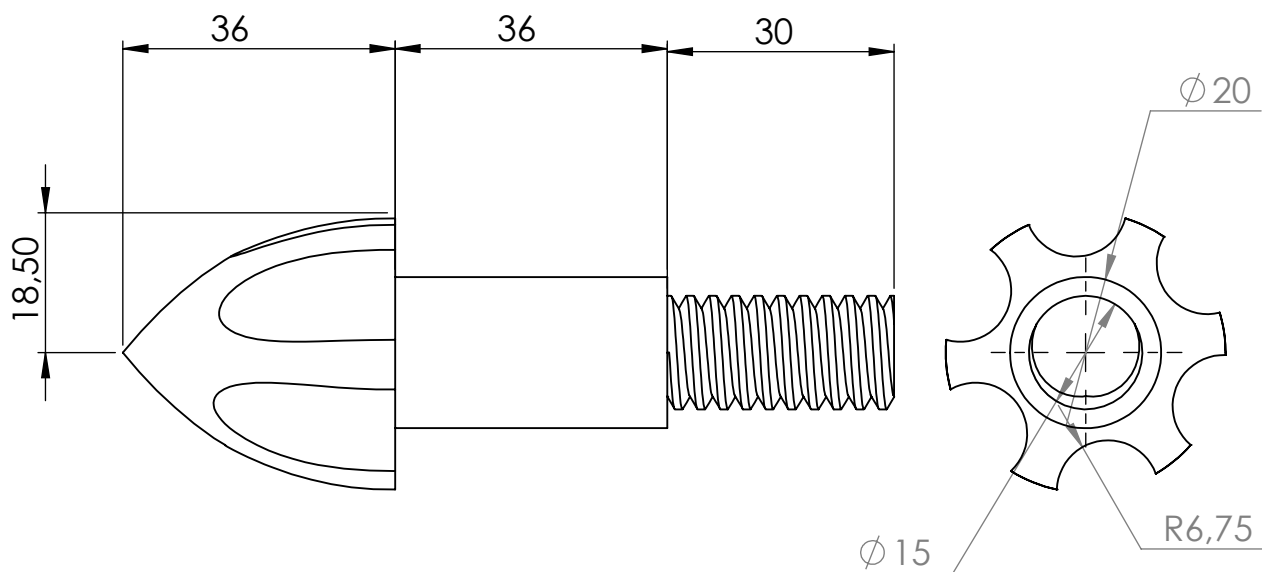
UNIVERSITE A - MIRA BEJAIA		M2 FMP
Echelle 1:5	vis de plastification	Le 16/06/2018
		Acier nitruré
DJERMOUNE & DJAKER		Pièce n 01

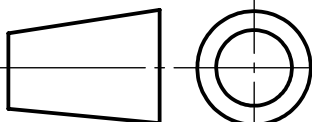


UNIVERSITE A - MIRA BEJAIA		M2 FMP
Echelle 2:1	Ciège	Le 16/06/2018
		Acier nitruré
DJERMOUNE & DJAKER		Pièce 2



UNIVERSITE A - MIRA BEJAIA		M2 FMP
Echelle 1:1	Anneau	Le 16/06/2018
		Acier nitruré
DJERMOUNE & DJAKER		Pièce n 03



UNIVERSITE A - MIRA BEJAIA		M2 FMP
Echelle 1:1	Pointe de vis	Le 16/06/2018
		Acier nitruré
DJERMOUNE & DJAKER		Pièce n 04