

*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**

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master

**Filière : Génie Mécanique**

**Spécialité : génie des matériaux**

**Thème**

***Conception d'un moule d'une presse d'injection  
plastique***

**Réalisé Par :**

- **AZERRADJ Billal**
- **YAZID Riad**

**Encadré par :**

**M. YOUNES Rassim.**

**ANNÉE UNIVERSITAIRE 2020-2021**

# *Remerciements*

Nos vifs remerciements sont destinés à Mr R. YOUNES, notre promoteur, pour son aide, ces critiques constructives, ses explications et suggestions pertinentes et pour la qualité de ses orientations tout au long de ce travail et pour avoir apporté tant de soins à la réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements aussi sont destinés à Mr BOUKELLOUCHE, pour son aide, et pour la qualité de ses orientations tout au long de ce travail.

Nous ne pouvons pas oublier de présenter notre gratitude à nos parents pour les efforts inlassables qu'ils ne cessent de déployer pour nous.

Nous remercions également les membres de jury qui nous font honneur en acceptant d'examiner et de juger notre travail.

Sans oublier le personnel et tous les travailleurs du hall de technologie de l'université de Bejaia

Enfin, un merci particulier à tous ceux qui nous ont apporté leur soutien.

# Dédicace

Je tiens à dédier mon modeste projet de fin d'études à mes parents, mon père Mohand Seghir « Khellaf » et ma défunte mère Samia, sans qui je n'aurai certainement pas pu en arriver là, l'éducation et les valeurs qu'ils m'ont inculqué, leur soutien indéfectible et leurs encouragements m'ont toujours été d'un apport primordial pour la réussite de mes études, je ne saurai les remercier assez.

Je tiens également à citer mes deux sœurs Syndia et Nélia, qui ont toujours été et demeurent une source d'énergie qui font que ma détermination de réussir mes projets d'études et professionnels soit indemne.

Je remercie la femme de mon père Tekfa qui a contribué à la réussite de mon parcours en étant toujours à mes côtés, dans le meilleur et le pire.

Je citerai également, mes grands-parents Abderrahmane et Saadia, oncles et tantes maternels Yahia, Youcef et sa petite famille, Lakhdar et sa petite, Naima et ses enfants, Nabila, des personnes qui m'ont été d'un grand apport durant toutes les épreuves de la vie, je leur adresse mes remerciements les plus chaleureux.

Je remercie mes grands-parents paternels, le doyen de notre famille « Amar » du haut de ses 100 ans, ma défunte grand-mère Rekia, ainsi que mes oncles, Djamel, Youcef, Boualem, Mohamed et leurs familles respectives.

J'adresse notamment mes vifs remerciements à tous mes cousin(e)s et ami(e)s, ceux qui ont grandi à mes côtés dans mon village, mes amis de lutte que j'ai connus sur la scène politique ainsi que tous les êtres formidables que j'ai pu rencontrer à l'université avec qui j'ai partagé ma vie jusque-là, tous ceux qui ont contribué de près ou de loin, à la réussite de mon projet d'études et de cette aventure, que je me permets de qualifier ainsi, car j'ai vécu des moments intenses pendant mon parcours étudiant, et cela grâce en grande partie à vous tous.

# Dédicace

Je dédie ce travail à :

- à la mémoire de mon cher et regretté père. Paix a son âme.
- à la mémoire de mes oncles idir et kamel et mes grands-parents jeddi mouloud , yaya djida, jeddi said et yaya djida paix a leurs âmes
- à ma précieuse mère à qui je dois mon existence, et le succès dans mon cursus que dieu la garde pour moi.
- à mes chères sœurs
- à mes adorables neveux Aris et samir, amir , sans oublié ma chère nièce Mima
- à tous mes chers amis et amies et à tous ce qui m'ont aidé de près ou de loin.

## Table des matières

**Remerciements**

**Dédicaces**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Introduction générale**..... 1

### **Chapitre I Etude bibliographique**

I.1 Introduction..... 3

I.1.1 Le procédé injection plastique : ..... 4

I.1.1.1 Le procédé de mise en œuvre par injection plastique : ..... 4

I.1.1.2 Le cycle d'injection : ..... 4

I.1.2 Le principe : ..... 5

I.1.3 Le moulage par injection : ..... 6

I.1.4 Les étapes du procédé : ..... 7

I.2 Matériaux de l'injection : ..... 8

I.2.1. Les polymères : ..... 8

I.2.1.1 Différents types de polymères : ..... 8

I.2.1.2 Caractéristique des polymères : ..... 9

I.2.2 Les thermoplastiques (Les thermoplastes) : ..... 9

I.2.3 Les thermodurcissables (Les duroplastes) : ..... 9

I.2.4 Les élastomères : ..... 10

I.2.5 Polyéthylène de Téréphtalate (PET) : ..... 10

I.2.5.1 Présentation PET : ..... 10

I.2.5.2 La structure moléculaire : ..... 10

I.2.5.3 Les étapes de fabrication du PET : ..... 11

I.2.5.4 Les caractéristiques techniques du PET : ..... 12

I.3 Les machines utilisées en injection thermoplastique : ..... 13

I.3.1 Fonctionnement d'une presse à injection et de ses équipements périphériques : ..... 13

I.3.2 Description de la presse injection : ..... 13

I.3.3 Les différentes parties d'une presse à injection : ..... 14

I.3.4 Unité d'injection : ..... 14

I.3.4.1 Unité de verrouillage : ..... 15

I.4 Différents types des presses d'injection plastique : ..... 18

I.4.1 Presse à injection plastique horizontal : ..... 18

I.4.2 Presse à injection plastique vertical : ..... 18

I.5. Le moule: .....	19
I.5.1. Vue éclatée :.....	19
I.5.2. Terminologie des éléments constituant l’outillage : .....	20
I.5.3. Élément constitutif d’un moule :.....	20
I.5.4. Fabrication traditionnelle des moules : .....	21
I.5.5. Matériaux utilisés :.....	21
 <b>Chapitre II Etude technologique du procédé de soufflage plastique</b>	
II.1. Différents types de soufflage plastique : .....	23
II.1.1. Introduction : .....	23
II.1.2. L’extrusion soufflage :.....	23
II.1.2.1. Processus d'extrusion-soufflage :.....	24
II.1.3. Machine à extrusion-soufflage : .....	25
II.1.4. L'injection soufflage : .....	26
II.2. Principe général du procédé d’injection-soufflage en cycle froid.....	27
II.2.1. Fabrication de la préforme :.....	27
II.2.2. Mise en forme de la bouteille : .....	28
II.2.2.1. Conditionnement thermique de la préforme :.....	28
II.2.2.2. Etirage-soufflage de la préforme : .....	29
II.2.3. Les systèmes de chauffage infrarouge :.....	30
II.2.3.1. Description d’un module de chauffage :.....	30
II.2.3.2. Principaux paramètres de réglage du four IR : .....	30
 <b>Chapitre III Conception et Fabrication d’un moule</b>	
III.1. Introduction : .....	31
III.2. Etapes de conception SolidWorks d’un moule de soufflage PET :.....	31
III.2.1. Le système de fixation : .....	31
III.2.2. Conception et dimensionnement SolidWorks d’un moule de bouteille 1.5L : .....	33
III.2.3. Les dimensions de ce moule : .....	35
III.3. Les propriétés du moule :.....	36
III.3.1. Les propriétés thermiques : .....	36
III.3.2. Les propriétés physiques :.....	36
III.3.3. Propriétés mécaniques :.....	36
III.3.4. Les propriétés du matériau : .....	37
III.4. Etude des propriétés mécanique.....	38
III.4.1. Modélisation du problème.....	38
III.4.2. Le maillage :.....	38

III.4.3. Les résultats de l'étude des contraintes de Von mises : .....	39
III.4.4. Résultats de l'étude de déplacements de Von Mises : .....	40
III.4.6. Résultats de l'étude de déformations de Von mises : .....	41
III.5. Etude thermique du moule : .....	43
III.5.1. Fonction de refroidissement : .....	43
III.6. Etude de la vitesse du flux d'air dans la bouteille : .....	47
<b>Conclusion générale</b> .....	49
<b>Référence bibliographique</b>	
<b>Résumé</b>	

# Liste des figures

## *Chapitre I*

Figure I- 1: L'injection plastique .....	3
Figure I- 2: Principe de l'injection plastique .....	6
Figure I- 3: Le moulage par injection.....	7
Figure I- 4: La constitution d'un polymère.....	8
Figure I- 5: Thermoplastique et thermodurcissable .....	9
Figure I- 6: Distances interatomiques et énergies pour les deux types de liaisons. ....	11
Figure I- 7: Structure du PET en conformation cis. [13] .....	11
Figure I- 8: Organigramme représentatif de la fabrication du PET. [13].....	12
Figure I- 9: Cylindre de plastification et moule. ....	14
Figure I- 10: Vis-piston.....	15
Figure I- 11: Unité de fermeture hydraulique. ....	15
Figure I- 12: L'unité de fermeture mixte. ....	16
Figure I- 13: L'unité de fermeture mécanique. ....	16
Figure I- 14: Presse à injection horizontale.....	18
Figure I- 15: Presse à injection verticale.....	19
Figure I- 16: Vue éclatée d'un moule et terminologie des éléments constituant l'outillage... ..	19
Figure I- 17: Exemple de circuit obtenu à partir de canaux rectilignes. ....	22
Figure I- 18: Problème de refroidissement d'une pièce circulaire avec des canaux rectilignes. .....	23

## *Chapitre II*

Figure II- 1: principe de fabrication d'une bouteille en extrusion-soufflage. [11] .....	23
Figure II- 2: procédé d'extrusion soufflage. [12] .....	25
Figure II- 3: Schéma d'une Machine à extrusion-soufflage. [14].....	26
Figure II- 4: Procédé d'injection-soufflage.....	27
Figure II- 5: Préforme PET. ....	28
Figure II- 6: Schéma d'un module de chauffage infrarouge .....	30

## *Chapitre III*

Figure III- 1: Bride de fixation du moule.....	32
Figure III- 2: Plaque de fixation du moule ou semelle du moule.....	33
Figure III- 3: Dimensions de la bouteille 1.5L.....	34

Figure III- 4: Représentation Solidworks du moule double empreinte 1.5 L.....	35
Figure III- 5: Modèles 3D issus du logiciel SolidWorks .....	35
Figure III- 6: Représentation des déplacements imposés et chargements imposé sur le moule .....	38
Figure III- 7: modèle maillé. ....	39
Figure III- 8: Résultats de l'étude de contrainte de Von mises : (a) 201 acier inoxydable recuit(SS) (b) alliage 1060. ....	39
Figure III- 9: Résultats de l'étude de déplacements de Von mises : (a) 201 acier inoxydable recuit(SS) (b) alliage 1060. ....	40
Figure III- 10: Résultats de l'étude de déformations de Von mises : (a) 201 acier inoxydable recuit(SS) (b) alliage 1060. ....	42
Figure III- 11: Etude thermique du moule (a) 201 acier inoxydable recuit(SS) (b) alliage 1060 .....	44
Figure III- 12: Mesure du module élastique $G'$ et du module visqueux $G''$ du PET. Mesures de torsion à $1\text{rad.s}^{-1}$ avec un chauffage à $1^\circ\text{C.min}^{-1}$ [22].....	45
Figure III- 13: Maillage de la préforme réalisé sous SolidWorks.....	45
Figure III- 14: Variation de la température de la préforme en fonction du temps. ....	46
Figure III- 15: Comportement du fluide dans la bouteille .....	47

# Liste des tableaux

### Chapitre III

Tableau III- 1: Dimensions du moule 01litre .....	36
Tableau III- 2: Les principales propriétés de ces deux matériaux A et B .....	37

# *Introduction générale*

## Introduction générale

Depuis l'invention de la première machine en 1872 par les frères John et Tsiang-Hyatt [1]. L'importance majeure s'inscrit dans la fabrication des moules d'injection est une étape cruciale dans le processus de moulage par injection de pièces en plastique. En effet, ce dernier influe d'une manière significative la qualité et l'esthétique des composantes pour lesquelles ils sont conçus. L'injection moulage est le procédé le plus couramment utilisé industriellement pour la mise en forme des thermoplastiques, et même de thermodurcissables, en tout type d'objets finis [2]. L'avantage de ce procédé est d'obtenir des géométries de pièces très complexes tout en ayant un rendement élevé et une cadence de production élevée.

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. Ce procédé est utilisé pour fabriquer des corps creux. On produit une préforme de matière plastique appelée paraison, cette préforme est ensuite déformée à chaud par un jet d'air et plaquée contre les parois du moule. La paraison peut être fabriquée par extrusion (procède d'extrusion soufflage) ou par injection (injection soufflage) [3]. Le moule d'injection est l'une des pièces essentielles qui remplit plusieurs fonctions notamment celle de donner à la matière première une forme finale. En effet, un moule est constitué d'un ensemble de plaques usinées s'imbriquant parfaitement les unes dans les autres, et dont chacune a un rôle précis à jouer dans la fabrication de la pièce [4]. Les matériaux utilisés pour la fabrication des moules d'injection de thermoplastiques sont principalement des aciers choisis selon le procédé de fabrication retenu pour le moule et les conditions d'utilisation (solllicitations, interactions avec les polymères...).

L'augmentation des propriétés mécaniques se traduit par l'ajout d'éléments d'alliage qui peuvent être nuisibles aux propriétés thermiques. Les aciers inoxydables, couramment appelés inox, jouent un grand rôle dans d'innombrables domaines : industrie mécanique, agroalimentaire, chimie, médecine, etc. Ce sont des aciers, alliages de fer et de carbone, auxquels on ajoute essentiellement du chrome [5]. La résistance à la corrosion de ces aciers est obtenue grâce à la formation d'une couche d'oxyde protecteur à la surface de l'alliage, dite couche de passivation. La teneur minimale en chrome dans les aciers inoxydables se situe autour de 12% en masse [6]. D'autres éléments peuvent être ajoutés, le nickel qui améliore les propriétés mécaniques, et le molybdène ou le titane qui améliorent la stabilité de l'alliage pour des températures autres que l'ambiante.

Ce travail est basé sur une modélisation et simulation numériques des propriétés mécaniques d'un moule de matériau (201 acier inoxydable recuit (ss) et d'un autre matériau

(alliage 1060), cette étude est effectuée par logiciel de simulation SolidWorks, et les différents tests effectués lors de la simulation sont : Étude de la répartition du fluide lors d'un cycle de soufflage à chaud, étude thermique lors du fonctionnement d'un moule, étude des propriétés mécaniques telles que la résistance à la déformation et à la contrainte supportée.

# **Chapitre I**

## **Etude**

### **bibliographique**

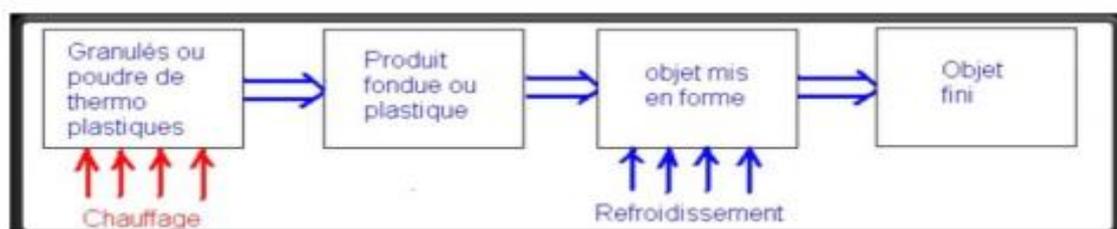
## I.1 Introduction

L'injection plastique est l'un des procédés le mieux adapté à la production en série de pièces microtechniques. L'importance prise par ce procédé dans la production des pièces microtechniques nous conduit vers l'étude des pièces injectées, la conception de ces outils d'injection ainsi que de leur mise en œuvre. Le principe de fonctionnement de ce procédé permet d'obtenir des pièces dont l'épaisseur est comprise entre 0,4 et 6 mm avec des géométries complexes. Le moulage par injection consiste à ramollir (état visqueux) la matière thermoplastique (TP), puis de la malaxer au niveau de la vis de plastification. Elle est ensuite injectée sous forte pression dans le moule. L'injection sous forte pression du polymère fondu dans un moule froid à une ou plusieurs empreintes. Au contact des parois froides, la matière se solidifie en forme puis l'objet peut être démoulé.

La qualité d'un objet injecté dépend de trois critères :

- La conception des formes de la pièce.
- La conception et la qualité de réalisation de l'outillage (le moule).
- Les conditions et les paramètres de moulage (injection).

Seul un travail collaboratif entre les différents spécialistes de ces trois domaines permet d'optimiser la fonctionnalité de la pièce. Ce procédé d'obtention permet de produire très rapidement (en une seule opération) des objets de qualité en grande quantité, même si les formes sont complexes, dans des gammes de poids allant de quelques grammes à plusieurs kilogrammes. On utilise l'injection plastique dans de très nombreux domaines : l'automobile, le jouet, l'électronique, la robotique, l'aéronautique, l'aérospatial, le médical... Téléphones, seringues, pare chocs, capots, carters, boîtes...



*Figure I- 1: L'injection plastique*

**I.1.1 Le procédé injection plastique :****I.1.1.1 Le procédé de mise en œuvre par injection plastique :**

La matière plastique avant transformation se présente sous forme de petits granulés dépassant rarement les quelques millimètre. Ces granulés servent à alimenter la vis de plastification (type vis sans fin).

- Celle-ci est chauffée et régulée en température via le fourreau de plastification. La rotation de la vis de plastification (entraînée par un moteur hydraulique) et l'action conjuguée de la température du fourreau permet de ramollir les granulés de matière plastique les amenant jusqu'à un état de visqueux.
- Cette matière est acheminée à l'avant de la vis de plastification donnant ainsi une réserve de matière prête à être injectée (c'est ce que l'on appelle la phase de dosage).
- Viens ensuite la phase d'injection dynamique ou la matière présente à l'avant de la vis de plastification, est injectée sous forte pression à l'intérieur d'un moule (ou cavité) présentant la forme de la pièce souhaitée. Le moule est régulé à une température inférieure à la température de transformation (allant de 15 °C à 130 °C dans certains cas).
- La 3e étape est la phase de maintien, où l'on applique une pression constante durant un temps déterminé afin de continuer à alimenter les empreintes malgré que celle-ci soit remplie. Et ce afin de palier au retrait de la matière plastique qui se manifeste durant son refroidissement. La pièce est refroidie durant quelques secondes puis éjectée.
- Un nouveau cycle peut commencer Paramètres et réglages : Les temporisations principales à régler sont : - le dosage, l'injection, l'ouverture, la fermeture, l'éjection, la post pression. Autres paramètres : - La température du fourreau, la température de la matière, la température du moule injection – La pressions durant l'injection et durant le maintien, la contrepression, la vitesse de rotation de la vis, la course de dosage – La courses d'ouvertures et d'éjections etc. [7]

**I.1.1.2 Le cycle d'injection :**

- Déroulement du cycle d'injection.
- Le cycle d'injection minimal est décrit sur la figure 1.

Pour réaliser ce cycle, les principales fonctions d'une presse à injecter sont donc :

- ouvrir et fermer le moule.
- verrouiller le moule.

- Injecter la matière fondue dans le moule.
- maintenir la matière fondue sous pression dans les empreintes.
- éjecter les pièces après refroidissement.
- fondre la matière.

En partant de la matière plastique sous forme de granulés pour aboutir aux pièces injectées disponibles hors du moule, le cycle de transformation de la matière plastique.

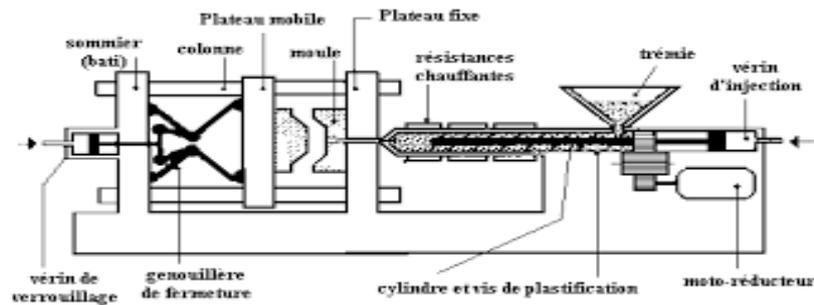
Pour réaliser ce cycle, les fonctions suivantes sont nécessaires :

- ✓ Alimenter la presse en granulés.
- ✓ Faire fondre les granulés.
- ✓ Doser le volume de matière fondue qui va être introduit dans le moule.
- ✓ Introduire la matière fondue dans le moule. [7]

### **I.1.2 Le principe :**

Les machines employées en injection plastique sont des presses à injecter. Elles sont utilisées pour des productions de grandes et de très grandes séries allant jusqu'à plusieurs milliers de pièces. Les matériaux principalement employés sont les plastiques et les élastomères, ainsi que des métaux comme l'aluminium et le laiton. La presse à injecter est une machine destinée à assurer l'exploitation industriel d'outillage conçue pour mouler ces matières, dont les composant principaux sont : La buse, le plateau mobile, le plateau fixe, le collier chauffant, la trémie d'alimentation, la vis sans fin (ou vis de plastification), le système d'évacuation, le mécanisme de fermeture et la console.

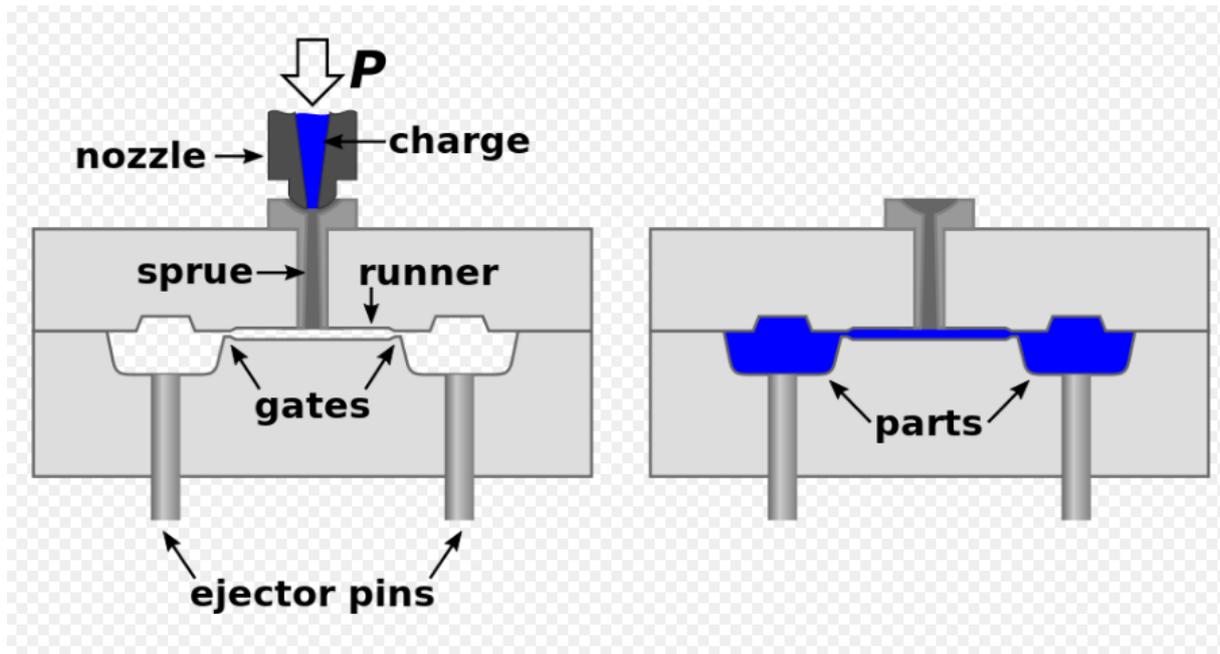
En outre, il est possible de catégoriser les éléments d'une presse à injecter en deux ensembles principaux. Premièrement, il y a un groupe d'injection plastification. Il permet plusieurs applications comme l'alimentation en granulés et la fusion de la matière, par la suite dosée et injectée sous pression. Deuxièmement, il y a un groupe de fermeture. Ce dernier permet de verrouiller, ouvrir, fermer le moule et d'éjecter les pièces. Ainsi, il est possible de fusionner la matière et de la transférer dans le moule.



*Figure I- 2: Principe de l'injection plastique*

### I.1.3 Le moulage par injection :

À la différence de la plastification en extrusion qui est un procédé stationnaire, la plastification en injection comprend des phases non stationnaires et le découpage du cycle en différentes phases (dosage, attente, injection, compactage, maintien, refroidissement) est une donnée expérimentale importante. Les vis de plastification en injection sont plus courtes que les vis d'extrusion car les temps de séjour dans le fourreau y sont plus longs. La spécificité de l'injection est qu'en plus de la phase de dosage où la vis est en rotation et plastifie comme une extrudeuse, il existe la phase d'attente où la vis est immobile et le polymère continue de fondre par conduction thermique uniquement. Il y a également la phase d'injection dynamique où la vis se translate uniquement ce qui produit une certaine quantité d'auto-échauffement. Le point le plus délicat est sans doute le fait que plusieurs profils de plastification sont présents dans un cycle d'injection selon l'instant où le granulé atteint la zone de transport de la vis. De plus, ce point dans la vis où la plastification commence varie lui-même selon que le recul de celle-ci l'éloigne plus ou moins de la première zone de colliers chauffants.



*Figure I- 3: Le moulage par injection.*

#### I.1.4 Les étapes du procédé :

Le procédé d'injection se déroule en cinq étapes :

- la phase de dosage : Les granules de polymère tombent depuis une trémie dans un ensemble vis-fourreau. Où ils sont ensuite fondus progressivement par les actions conjuguées des colliers chauffant du fourreau, et 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.
- 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.
- 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.

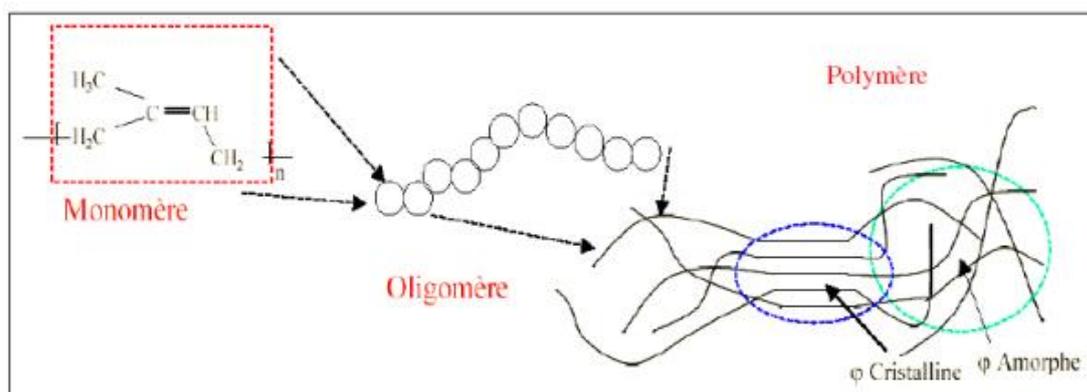
- la phase de refroidissement : Lorsque le polymère est entièrement figé au niveau du ou des seuils d'injection, il n'est plus nécessaire d'appliquer une pression de maintien, et la pièce continue de se refroidir jusqu'à ce qu'elle soit complètement solidifiée. La vis reprend son cycle de rotation à l'étape 1.
- la phase d'éjection : Le moule s'ouvre, et la pièce formée est éjectée du moule.

## I.2 Matériaux de l'injection :

### I.2.1. Les polymères :

Un polymère est une molécule à chaîne longue, composée de nombreuses molécules plus petites, appelées des monomères liées entre elles. Ils ont une masse molaire très importante. Différentes combinaisons de monomères donnent des résines qui sont utilisées dans les produits en plastique. Un monomère est le nom donné à la petite molécule à partir de laquelle est formée la macromolécule. C'est une molécule composée principalement de carbone et d'hydrogène. Le terme macromolécule désigne simplement des grandes molécules. Ce terme est souvent utilisé pour désigner un enchaînement de monomères.

On distingue deux grandes catégories de réactions chimiques permettant la préparation des polymères : la polymérisation en chaîne ou polyaddition (pour produire par exemple le polyéthylène, le polystyrène, le polypropylène...) et la polymérisation par étapes ou polycondensation (pour produire par exemple le PET ou (polyéthylène téréphthalate)). [8]



*Figure I- 4: La constitution d'un polymère.*

#### I.2.1.1 Différents types de polymères :

Il existe trois types de polymères :

- Les homopolymères : sont des polymères qui ne possèdent qu'une seule unité.

- Les copolymères : sont des polymères qui possèdent plusieurs unités.
- Les polymères réticulés : Les structures de ce type sont, en général, préparées à partir de pré polymères linéaires ou ramifiés de faible poids moléculaire, réticulés sous l'effet de la chaleur en présence de catalyseur. Leur structure est tridimensionnelle.[8]

### I.2.1.2 Caractéristique des polymères :

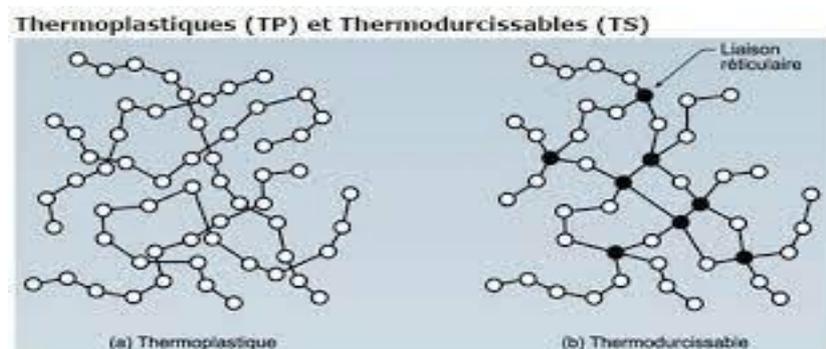
Un polymère donné n'est pas un corps pur, mais un mélange de macromolécules de différentes tailles et de compositions variées si l'on a plusieurs monomères différents. Ainsi, pour caractériser un polymère, on utilise des données statistiques : composition chimique moyenne, masse moléculaire moyenne, degré de polymérisation, structure (amorphe ou semi-cristallin), indice de polydispersité (dispersion en masse autour de la masse moyenne). [8]

### I.2.2 Les thermoplastiques (Les thermoplastes) :

Les thermoplastiques se ramollissent sous l'effet de la chaleur. Ils deviennent souples, malléables et durcissent à nouveau quand on les refroidit. Comme cette transformation est réversible, ces matériaux conservent leurs propriétés et ils sont facilement recyclables. La température d'utilisation est inférieure à 100°C.[9]

### I.2.3 Les thermodurcissables (Les duroplastes) :

Les thermodurcissables sont des plastiques qui prennent une forme définitive au premier refroidissement. La réversibilité de forme est généralement impossible car ils ne se ramollissent plus une fois moulés. Mais dans certains cas il peut y avoir ramollissement mais sans fusion. Sous de très fortes températures, ils se dégradent et brûlent (carbonisation). [9]



*Figure I- 5: Thermoplastique et thermodurcissable*

**I.2.4 Les élastomères :**

Ces polymères présentent les mêmes qualités élastiques que le caoutchouc. Un élastomère au repos est constitué de longues chaînes moléculaires repliées sur elles-mêmes. A température ordinaire, les macromolécules forment un réseau déformable. Elles peuvent sous l'effet d'une force de traction extérieure se déplier. Elles présentent alors un allongement considérable. Ce phénomène appelé haute élasticité est réversible. Sitôt relâché, le produit reprend ses dimensions primitives. [9]

**I.2.5 Polyéthylène de Téréphtalate (PET) :****I.2.5.1 Présentation PET :**

Le polyéthylène téréphtalate est un plastique. Chimiquement, c'est le polymère obtenu par la polycondensation de l'acide téréphtalate et de l'éthylène glycol. Pour simplifier, on peut décrire le PET comme un pétrole affiné. L'éthylène glycol et les connexions téréphtalate sont exploités du pétrole qui a été partiellement transformé avec l'oxygène, pour la fabrication de PET, ces connexions sont liées à de longues chaînes de molécules.

**I.2.5.2 La structure moléculaire :**

Le PET est un polyester thermoplastique dont le motif du monomère est illustré dans la figure I.11 Sa molécule est constituée d'atomes de carbone, d'oxygène et d'hydrogène reliés par des liaisons covalentes. Des liaisons covalentes (Rodriguez, Cohen et al. 2014). Ces liaisons entre les atomes sont très fortes par rapport aux liaisons intermoléculaires qui correspondent à des interactions de van der Waals. elle permettent d'assurer une forte stabilité dimensionnelle dans le polymère étudié qui se voit acquérir d'importantes propriétés physiques comme par exemple un point de fusion élevé dû à la rigidité des chaînes par la présence dans les chaînes des noyaux aromatiques. Les distances d'équilibre entre les différents atomes du monomère éthylène téréphtalate sont données dans le tableau (figure I.6) :

Les liaisons interatomiques	Distance (nm)
C (de l'anneau du benzène) à C de la liaison (C = O)	1,49
C = C, l'anneau du benzène	1,34
C - C, l'anneau du benzène	1,36
C = O	1,27
C - O	1,34
CH <sub>2</sub> - O	1,44
CH <sub>2</sub> - CH <sub>2</sub> , aliphatique	1,49

Figure I- 6: Distances interatomiques et énergies pour les deux types de liaisons.

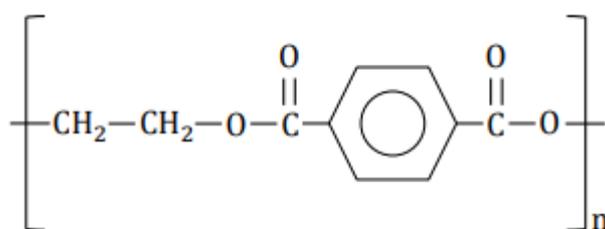
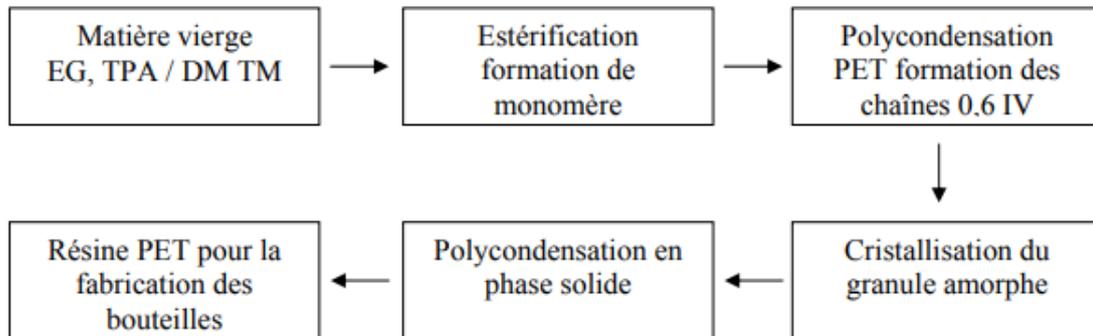


Figure I- 7: Structure du PET en conformation cis. [13]

### I.2.5.3 Les étapes de fabrication du PET :

- Estérification : Formation des monomères.
  - Etape 1 (estérification) : estérification directe (utilisation du TPA) : transestérification (utilisation du DMT).
- Polycondensation : Assemblage des monomères en phase visqueuse, environ 100 unités.
  - Etape 2 (polycondensation ou polymérisation), PET monomère ↔ PET + EG [la polycondensation et poursuivie jusqu'à l'obtention d'une viscosité ~ 0,6 (environ 100 unités)]
  - La solution devenant visqueuse, l'extraction d'EG est rendue difficile.
  - La température étant importante, la génération d'AA augmente (similairement au processus d'injection).
  - Le PET visqueux est extrudé, refroidi et coupé pour donner des granulés de PET amorphe.

- Enoncé de solide : Continuation de la polycondensation en phase solide (augmentation de 100 à 140 unités environ)
- Etape 3 (polycondensation en phase solide) –énoncé de solide est généralement faite entre 180°C et 240°C pendant 6 à 8 heures.



*Figure I- 8: Organigramme représentatif de la fabrication du PET. [13]*

#### I.2.5.4 Les caractéristiques techniques du PET :

- Une résistance mécanique élevée
- Rigidité et dureté élevées
- Une très faible absorption d'humidité
- Une bonne tenue au fluage
- Faible frottement dynamique et usure, due au glissement
- Une bonne tenue à l'hydrolyse (jusqu'à +70 °C)
- Non adapté au contact avec des milieux contenant >50 % d'alcool
- Une bonne résistance chimique aux acides
- Elles sont également résistantes aux hydrocarbures comme le xylène, les huiles minérales et le pétrole. La résistance aux hydrocarbures aliphatiques est limitée.
- Une bonne adhérence et soudabilité
- recyclage, respectueux de l'environnement, totalement combustible, sans émission de dioxine ni d'autres substances toxique polluantes pour les décharges publique.
- excellente transparence et brillance.
- réduit la transmission du bruit.
- peut s'utiliser en contact avec les produits alimentaires.
- Ductile, valeurs d'élongation à la rupture semblable au polycarbonate.
- Les articles fabriqués au moyen de ce produit ne doivent pas être exposés de manière continue à des températures supérieures à 60°C, selon leur application.

- Le PET est inodore et insipide, ce qui rend les plaques NUDECPET aptes aux usages alimentaires et aux applications médicales.

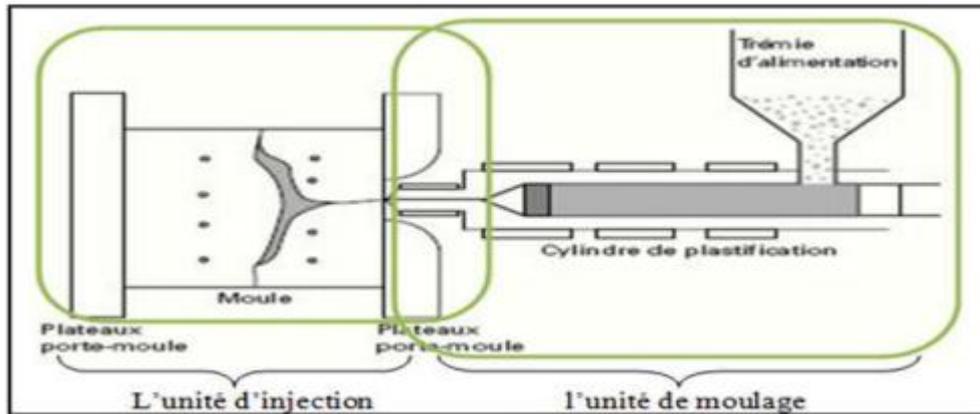
### **I.3 Les machines utilisées en injection thermoplastique :**

#### **I.3.1 Fonctionnement d'une presse à injection et de ses équipements périphériques :**

Le fonctionnement d'une presse à injecter pour la production de pièces est relativement simple. Des granulés de 2 à 3 mm de plastique sont versés dans la trémie. Ensuite, cette matière est ramollie en étant portée à 200°C – 250°C grâce à l'action combinée de la friction de la vis et des colliers de chauffe. La matière ainsi malléable est poussée vers la buse puis injectée dans le moule grâce au vérin d'injection. La pression d'injection peut atteindre 2 500 bars. La matière se répartit de façon homogène dans la cavité de l'outillage pour prendre sa forme définitive. La pièce est ensuite refroidie en quelques secondes entre 50°C et 80°C afin de la solidifier. La presse ouvre l'outillage et les éventuels tiroirs, la pièce est éjectée par la batterie d'éjection et chute dans un bac ou est saisie par un robot manipulateur. La presse se referme et le cycle recommence [10].

#### **I.3.2 Description de la presse injection :**

Une presse à injecter, ou machine d'injection moulage, est constituée de deux unités principales : l'unité d'injection, ou de plastification, et l'unité de moulage (moule et système de fermeture) (Figure .I.9). Le plus souvent, les différences notables entre les types de machines concernent l'unité de plastification. Notons qu'il existe des presses verticales bien que les presses horizontales soient les plus fréquentes. Parmi ce type de machines, deux grands groupes se distinguent : les presses hydrauliques et les presses électriques. Elles présentent chacune des particularités plus ou moins intéressantes et adaptées à certaines fabrications.



*Figure I- 9: Cylindre de plastification et moule.*

### I.3.3 Les différentes parties d'une presse à injection :

Les presses comportent essentiellement :

- un système de plastification
- une partie injection qui est chauffée électriquement
- Une trémie d'alimentation
- Un système de mise en mouvement de moule et de verrouillage.

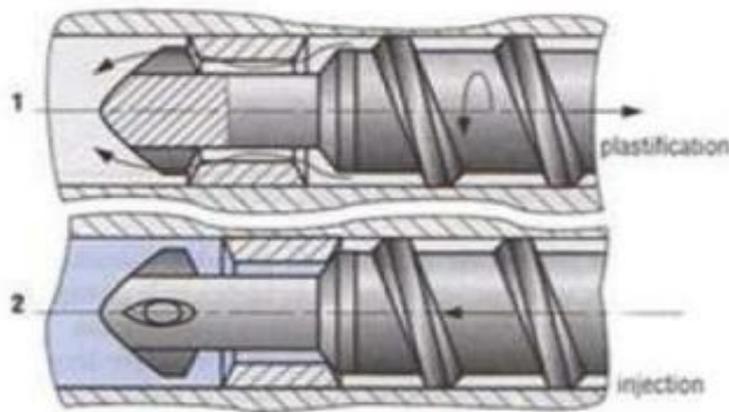
### I.3.4 Unité d'injection :

Le groupe d'injection assure les tâches suivantes : Recevoir la matière première ;

- Etablir le contact entre le moule et l'unité d'injection ;
- Injecter la matière plastifiée dans des conditions établies à l'aide d'un système vis-piston ;
- a.1) Système vis-piston :

Le dispositif (figure.10) remplit les deux fonctions de plastification et d'injection en un seul mécanisme. Pour la plastification, la vis tourne et plastifie la matière. Les granulés sont chauffés, fondus, et homogénéisés pendant leurs transports de la trémie vers la buse. Pour stocker la quantité de matière nécessaire à l'injection d'une pièce, le dispositif vis-piston peut reculer dans le fourreau de la machine pour doser la quantité voulue de matière plastifiée devant la vis, la vis arrête de tourner et de reculer. Pour injecter, un vérin hydraulique pousse la vis, celle-ci plaque le clapet sur son siège, la matière ne peut plus refluer vers l'arrière l'ensemble injecte sous pression dans le moule la matière dosée. Pendant cette phase,

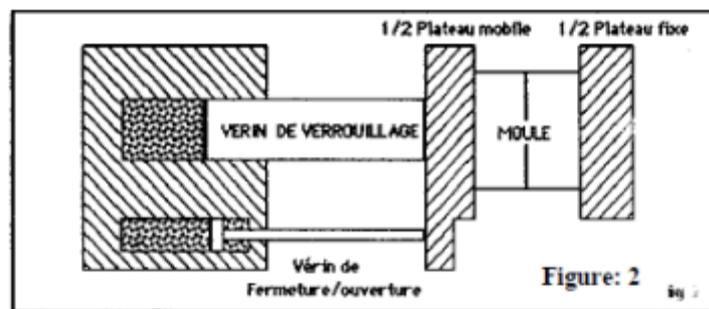
l'hydraulique peut être asservie pour harmoniser le remplissage du moule en fonction de la pièce et de la matière éjectée. C'est le système le plus répandu. [9]



*Figure I- 10: Vis-piston.*

#### I.3.4.1 Unité de verrouillage :

Les mouvements de fermeture, ouverture et le verrouillage sont exécutés uniquement avec un actionneur hydraulique (vérin). [12]



*Figure I- 11: Unité de fermeture hydraulique.*

#### ❖ Avantages :

- contrôle direct et très bonne stabilité de la force de verrouillage
- effort de verrouillage central qui entraîne une bonne répartition des pressions
- faible coût du système de fermeture [12]

#### ❖ Inconvénients :

- taille importante des pièces en mouvement
- volumes d'huile déplacés importants

- mouvements de fermeture/ouverture lents (amortissement difficile en fin de course).[12]

#### I.3.4.2 L'unité de fermeture mixte (fermeture/ouverture par genouillère, verrouillage hydraulique) :

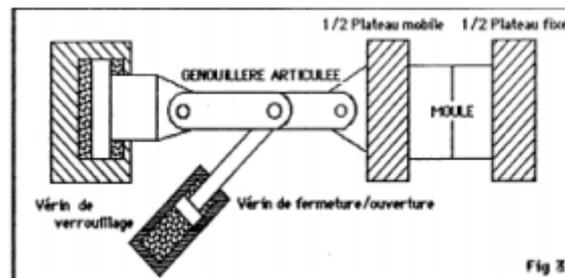


Figure I- 12: L'unité de fermeture mixte.

##### ❖ Avantages :

- vitesse de fermeture/ouverture élevée (application en grande série).
- faible consommation d'huile.
- effort de verrouillage central.
- contrôle direct de la force de verrouillage. [12]

##### ❖ inconvénients :

- au-delà de 600 tonnes le dimensionnement de la genouillère se traduit par un encombrement élevé.
- coût élevé.
- faible fiabilité due à la complexité du mécanisme et de la commande. [12]

#### I.3.4.3 L'unité de fermeture mécanique :

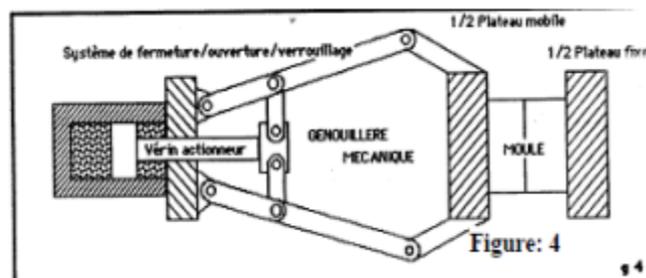


Figure I- 13: L'unité de fermeture mécanique.

**Avantage :**

- vitesse de fermeture/ouverture relevée (application en grande série)
- déformations axiales faibles
- fiabilité importante [12]

**Inconvénients :**

- contrôle difficile de la force de verrouillage
- chocs sur le plan de joint
- fatigue mécanique des articulations
- flexion du plateau mobile Le système de fermeture à genouillère est celui qui offre le plus d'avantages
- Le groupe de fermeture/ouverture joue un rôle passif en regard de la notion de qualité en injection. Son rôle essentiel consiste à supporter l'outillage d'une part et interdire l'ouverture de ce dernier d'autre part.

Le dernier point est essentiel. En effet, le remplissage de l'empreinte du moule définit un régime de pression. Ce dernier est rapporté à la surface du plan de joint de l'outillage. Une force minimale de verrouillage est nécessaire pour maintenir le moule fermé lors de l'injection.

Les presses d'injection représentent des investissements importants. Les outillages coûtent aussi très. Il est intéressant d'adapter au mieux un moule et une machine d'injection.

Cela explique l'apparition de logiciels qui simulent les écoulements du polymère dans les outillages. Le calcul des champs de pression qui apparaissent dans le moule, permet d'optimiser le réseau d'alimentation de l'empreinte et de choisir une machine adaptée à la production.

De la même manière, la cadence de production et la géométrie de l'outillage permettent de définir les capacités minimales du groupe de plastification. Ces derniers peuvent plastifier et injecter, selon leur taille, de quelques grammes à cent kilogrammes de polymère. La pression de ce dernier peut s'élever jusqu'à 2500 bars. [12]

## I.4 Différents types des presses d'injection plastique :

### I.4.1 Presse à injection plastique horizontal :

Ce type de presse est encore appelé en ligne. L'encombrement au sol est très important, mais cela facilite l'accès à tous les organes. Cela facilite également la mise en place du moule avec un palan. L'éjection des pièces peut-être automatisée. Les cadences de travail sont très élevées.[13]

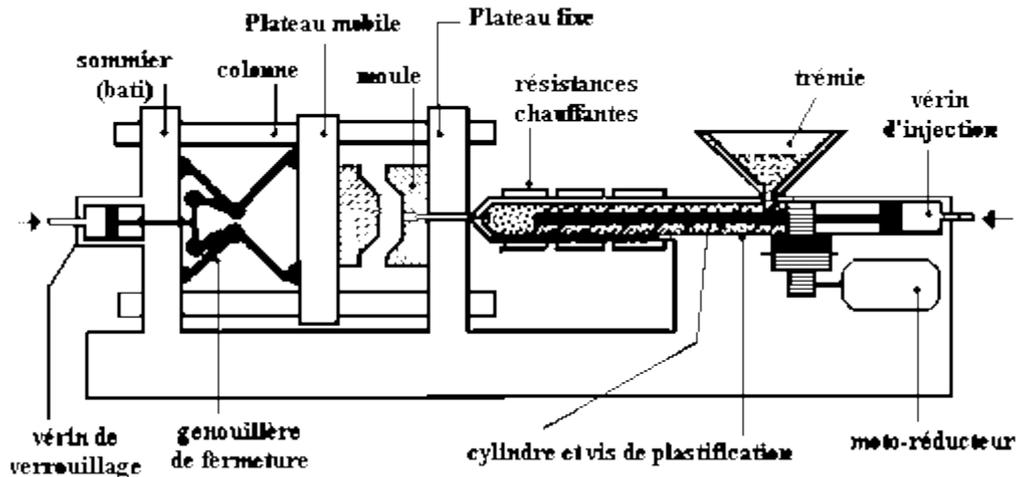


Figure I- 14: Presse à injection horizontale.

### I.4.2 Presse à injection plastique vertical :

Cette situation donne à la presse un faible encombrement au sol, mais la hauteur est gênante pour son alimentation en matière. La stabilité laisse à désirer, du fait de la faible surface au sol. L'automatisation n'est pas aisée, car l'éjection des pièces est généralement manuelle. Elle garde tout son intérêt, dans le moulage de pièces avec insert. [13]



Figure I- 15: Presse à injection verticale.

I.5. Le moule:

I.5.1. Vue éclatée :

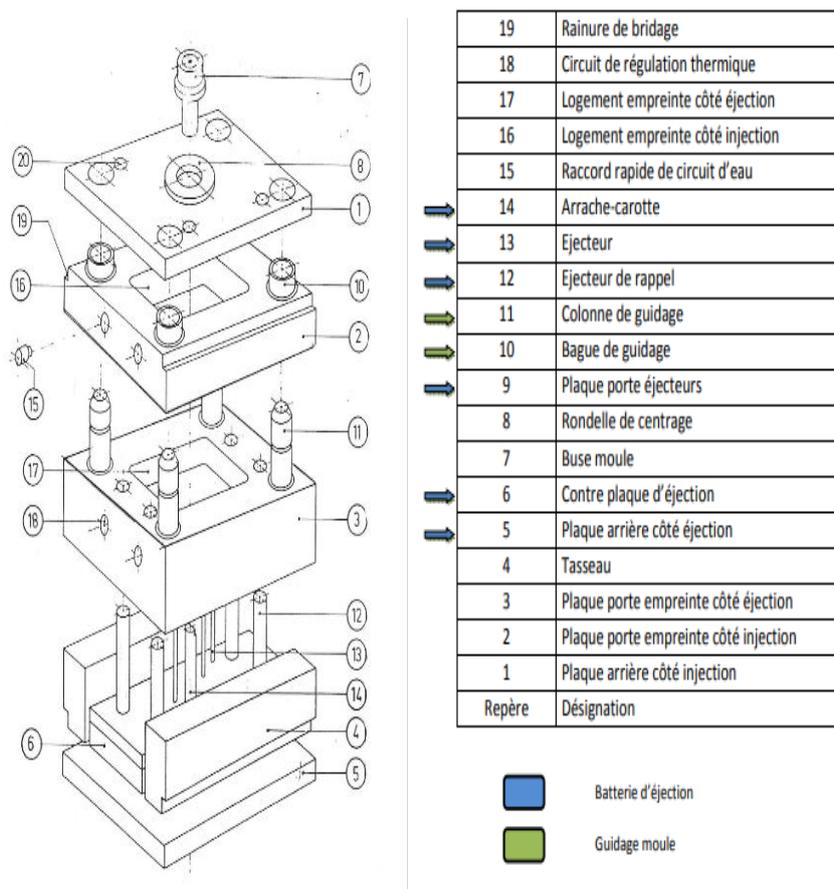


Figure I- 16: Vue éclatée d'un moule et la terminologie des éléments constituant l'outillage.

**I.5.2. Terminologie des éléments constituant l'outillage :**

- **La buse moule :** permet le passage de la matière du fourreau vers l'empreinte.
- **La rondelle de centrage :** Permet le centrage du moule sur les plateaux de la machine (presse), dans le but de centrer la buse moule à la buse machine.
- **Plaque arrière côté injection :** Permet de fixer la rondelle de centrage, la buse moule et les bagues de guidage, ainsi que le bridage.
- **Bague de guidage :** Permet le guidage des colonnes de guidages.
- **Plaque porte empreinte côté injection :** Permet la fixation de la bague de guidage, contient le circuit de régulation de température.
- **Colonnes de guidage :** Permet de guider la partie mobile PM sur la partie fixe PF pour aligner parfaitement l'empreinte.
- **Plaque porte empreinte côté éjection :** Permet la fixation des colonnes de guidage, contient le circuit de régulation.
- **Ejecteur de rappel :** Permet la remise à zéro de la batterie d'éjection, dans le cas d'une éjection non-attelé.
- **Ejecteurs :** Permet d'éjecter la pièce quand le moule est ouvert.
- **Extracteur de carotte (arrache-carotte) :** Permet l'extraction de la carotte, ainsi lors de l'ouverture, la moulée ne reste pas bloqué dans la PF.
- **Tasseaux d'éjection :** Permet d'obtenir une course optimum de la batterie d'éjection.
- **Plaque arrière côté éjection :** Permet le blocage en translation de la batterie d'éjection, permet le bridage du moule sur le plateau mobile, permet également la fixation des tasseaux.
- **Batterie d'éjection :** Permet la translation des arraches carottes, remise à zéro et éjecteurs. Est composé de la plaque porte éjecteurs et de la contre plaque d'éjection.
- **Vis de fixations :** Permet de fixer la plaque arrière côté injection sur la plaque porte empreinte côté injection.
- **Rainures de bridage :** Permet le passage de la bride.
- **Raccord rapide du circuit d'eau :** Permet un raccord rapide du circuit d'eau.
- **Circuit de régulation thermique :** permet de réguler le moule avec de l'eau.

**I.5.3. Élément constitutif d'un moule :**

Un moule est composé de 2 parties bien distinctes : Une partie mobile et Une partie fixe Ces appellations sont faites en fonctions de leurs utilisations sur une presse à injecter. La

partie fixe, ou se situe la buse moule, ne se déplace pas. Elle va être en contact avec le ponton lors de chaque cycle. La partie mobile, ou se situe l'éjection, va subir un déplacement en translation, d'où leurs nominations. La zone marquée de rouge est appelé « plan de joint ». C'est toute la surface ou les 2 parties citées précédemment sont en contact. [15]

#### **I.5.4. Fabrication traditionnelle des moules :**

Les méthodes d'enlèvement de matière représentent la grande majorité des méthodes Moules et inserts utilisés pour fabriquer des moules d'injection. Après traitement Par des procédés de fabrication mécanique traditionnels (fraisage, tournage, perçage, etc.), une ou plusieurs étapes de finition et un traitement de surface , généralement nécessaire pour obtenir la finition de surface souhaitée. D'autres méthodes d'enlèvement de matière peuvent être utilisées telle que : l'électroérosion, la coupe au fil, Usinage électrochimique, corrosion chimique...etc. Les autres principaux procédés disponibles C'est le moulage, le dépôt de métal ou la galvanoplastie. La sélection du procédé utilisé Dépendra de la taille et de la géométrie de la cavité, des matériaux disponibles, des coûts et des délais de fabrication.

#### **I.5.5. Matériaux utilisés :**

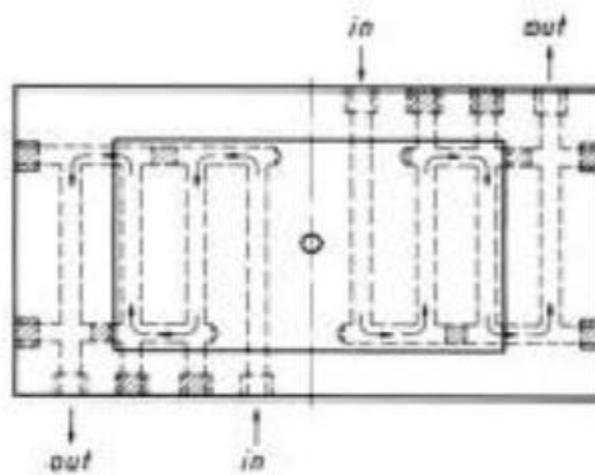
Les matériaux utilisés pour fabriquer les moules d'injection thermoplastiques sont principalement basés sur la nature et les propriétés de l'acier sélectionné et le procédé de fabrication choisi pour la fabrication de ce moule. Les conditions d'utilisation (stress, interaction avec le polymère, etc.) Sont toutes aussi importantes dans la conception et la réalisation de ces moules. La conductivité thermique de l'acier dépend de la composition et de la charge des éléments Alliage, elle varie entre 15 et 40W.m-1.K-1. La sélection de l'acier moulé dépend non seulement des performances thermiques, mais aussi des caractéristiques mécaniques de ce dernier telle que : la résistance mécanique et sa capacité à résister à la corrosion sèche et humide. L'augmentation des propriétés mécaniques est souvent tributaire d'ajout d'éléments d'alliage, ce qui peut être préjudiciable aux propriétés thermiques (Par exemple, le chrome utilisé pour la résistance à la corrosion a tendance à réduire la conductivité thermique).

L'utilisation de l'aluminium pour fabriquer des moules à injection est devenue courante après réflexion. Comparés aux aciers les alliages d'aluminium offre de nombreux avantages .En plus d'une meilleure maniabilité, ils présentent également les avantages suivants : La conductivité thermique est jusqu'à 5 fois supérieure à celle de l'acier. Meilleure uniformité Par conséquent, en utilisant moins de matière, la température dans le moule est possible

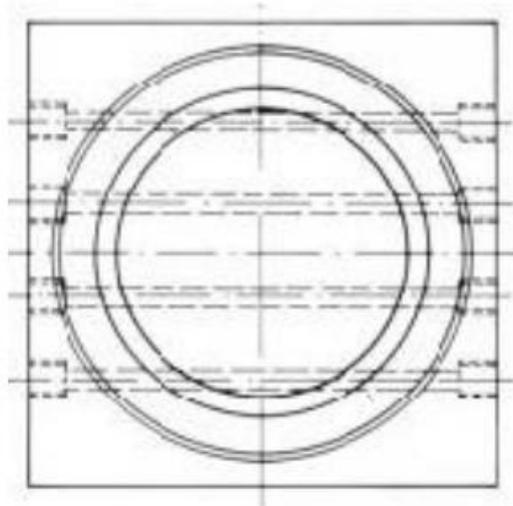
Rafrâchissez-vous (en particulier dans les zones critiques). La capacité calorifique élevée permet Pensez également à la réalisation de pièces difficiles à obtenir à partir de moules en acier : Pièces épaisses avec des sections plus grandes et pièces complexes.

### I.5.6. Technologies "traditionnelles" de régulation thermique des moules :

Dans la plupart des cas, le moule d'injection est ajusté par boucle de fluide caloporteur dans des canaux percés dans le moule ces canaux peuvent faire un circuit complet fermez le circuit en perçant le canal droit et en utilisant le bouchon. Le système est très efficace pour permettre le refroidissement rapide des plaques plates et rectangulaires Car les canaux peuvent être régulièrement répartis à une distance constante de la pièce. Par conséquent, un refroidissement presque uniforme sera assuré par ces canaux. D'autre part, l'utilisation des canaux La ligne droite ne permet pas un refroidissement uniforme des pièces rondes ou non circulaires avion. Pour les zones très chaudes, mais peu d'espace Permet l'établissement de la circulation des fluides (ex : noyau étroit), Le refroidissement peut utiliser une fontaine ou un insert très L'autre extrémité du conducteur (cuivre, bronze oubéryllium par exemple) et Un passage loin de la surface.



*Figure I- 17: Exemple de circuit obtenu à partir de canaux rectilignes.*



*Figure I- 18: Problème de refroidissement d'une pièce circulaire avec des canaux rectilignes.*

# **Chapitre II**

## **Etude technologique du procédé de soufflage plastique**

## II. Etude technologique du procédé du soufflage plastique :

### II.1. Différents types de soufflage plastique :

#### II.1.1. Introduction :

Les techniques d'extrusion-soufflage et d'injection soufflage sont des méthodes de mise en œuvre des matières thermoplastiques pour la fabrication d'objets tridimensionnels creux. Des petits flacons de quelques millilitres utilisés en pharmacie jusqu'aux cuves de mazout de 5000 L, ces corps creux en matières thermoplastiques sont utilisés pour le conditionnement de toutes sortes de produits liquides, pâteux.

#### II.1.2. L'extrusion soufflage :

L'extrusion-soufflage est un processus qui, utilisant plusieurs types de matériels plus ou moins sophistiqués, permet la production de récipients ou de corps creux, en matériaux thermoplastiques, dans une gamme de capacités pouvant s'étendre de quelques centimètres cubes à 1 000 litres et plus. Trois étapes principales peuvent être distinguées dans le processus d'extrusion-soufflage :

- extrusion d'un tube de résine fondue appelé paraison.
- mise en place de la paraison entre les deux moitiés d'un moule.
- soufflage de la paraison pour lui faire prendre la forme du moule.

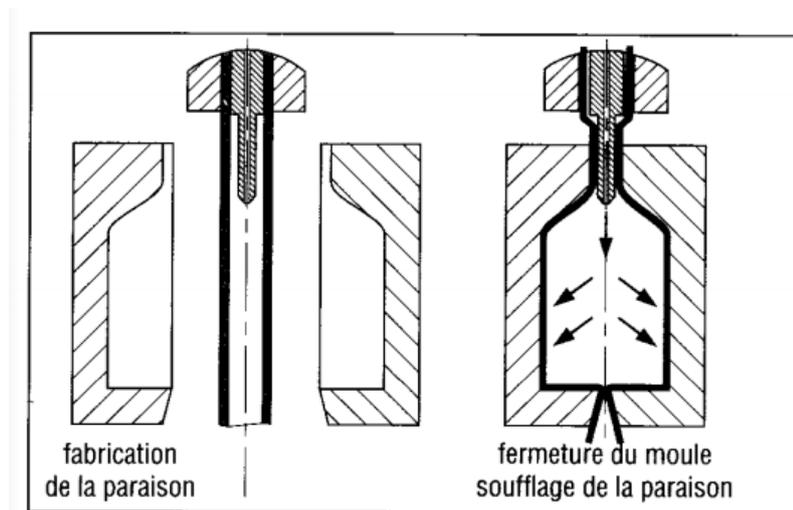


Figure II- 1: principe de fabrication d'une bouteille en extrusion-soufflage. [17]

**II.1.2.1. Processus d'extrusion-soufflage :**

Cette technique de mise en œuvre repose sur neuf étapes qui sont successivement :

**1. l'alimentation de la machine :**

Sous forme de granulés ou de poudre ; outre la résine vierge, on procède à ce stade à l'ajout d'éventuel de colorant, sous forme de mélange à maître et à l'incorporation des chutes de production, sous forme de broyés.

**2. l'extrusion de la résine thermoplastique :**

Au cours de cette opération, à l'aide d'un ensemble vis/fourreau appelé extrudeuse. Au cours de cette opération, la matière est comprimée et passe de l'état solide à l'état fondu avant de pénétrer dans la tête d'extrusion.

**3. le formage d'une paraison :**

Le formage de la paraison au cylindre de matière fondue au travers d'une filière annulaire ; celle-ci est la plupart du temps munie de dispositifs de régulation permettant de moduler son épaisseur.

**4. l'expulsion de la paraison :**

Cette étape se fait soit de manière continue, soit par accumulation. Dans ce dernier cas, la matière nécessaire à la formation de la paraison est accumulée dans la tête avant son expulsion.

**5. la découpe et le pincement de la paraison :**

Entre les deux blocs d'un moule.

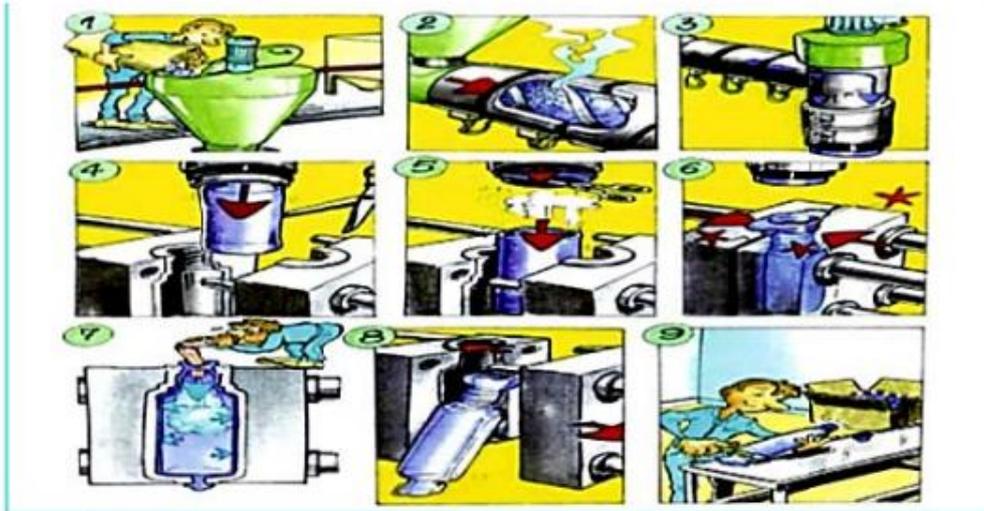
**6. le soufflage de la paraison :**

À la fermeture du moule, de l'air ou un autre mélange gazeux est injecté assurant le placage de la paraison sur les parois.

**7. le refroidissement de la pièce soufflée :**

Par contact avec les parois refroidies du moule et par brassage intense du mélange-gazeux compris dans le corps creux.

**8. l'ouverture du moule et l'extraction de la pièce.****9. l'élimination des carottes, qui sont broyées et réintroduites dans le procédé.**



*Figure II- 2: Le procédé d'extrusion soufflage. [18]*

### II.1.3. Machine à extrusion-soufflage :

Une extrudeuse mono-vis est constituée d'une vis sans fin en rotation à l'intérieur d'un fourreau chauffé. Ce système assure les trois fonctions suivantes :

- Une fonction de convoyage : le polymère descendant de la trémie sous forme de poudre ou de granulés est compacté et convoyé : c'est le principe de la vis d'Archimède ;
- Une fonction de plastification : le passage de l'état solide à l'état liquide de la matière plastique se produit progressivement grâce à la synergie de la chaleur fournie par la conduction et à la dissipation d'énergie sous sa forme calorifique lors des cisaillements des granulés entre eux et avec les hélices de la vis,
- Une fonction de pompage : le diamètre de la vis augmente entre la zone d'alimentation et la zone terminale de l'extrudeuse, ce qui aboutit à mettre le polymère liquide en pression pour obtenir un débit régulier dans la filière. [21]

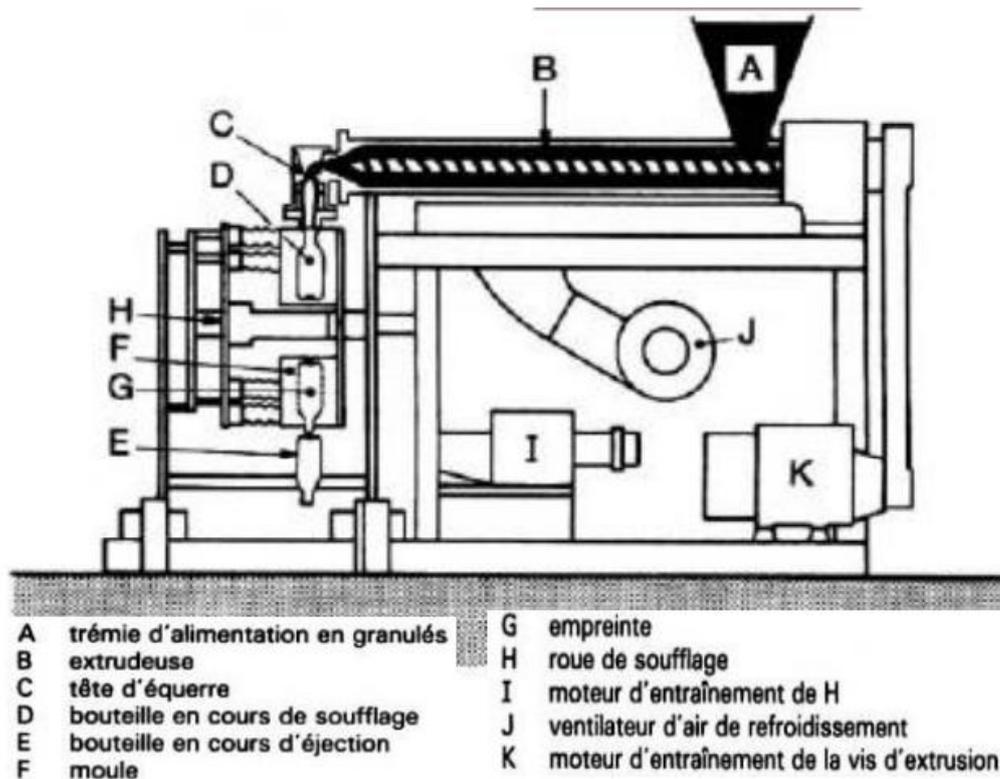


Figure II- 3: Le schéma d'une Machine à extrusion-soufflage. [20]

#### II.1.4. L'injection soufflage :

Ce procédé est utilisé pour l'obtention de corps creux en grande série tels que les récipients pour produits pharmaceutiques, cosmétiques, bouteilles en plastique, et bien d'autres objets.

L'obtention de ces corps se fait en deux opérations fondamentales et indispensables l'une comme l'autre :

- Réalisation d'une paraison par une technique d'injection classique.
- Le transfert de cette ébauche chaude dans un autre moule par le soufflage.

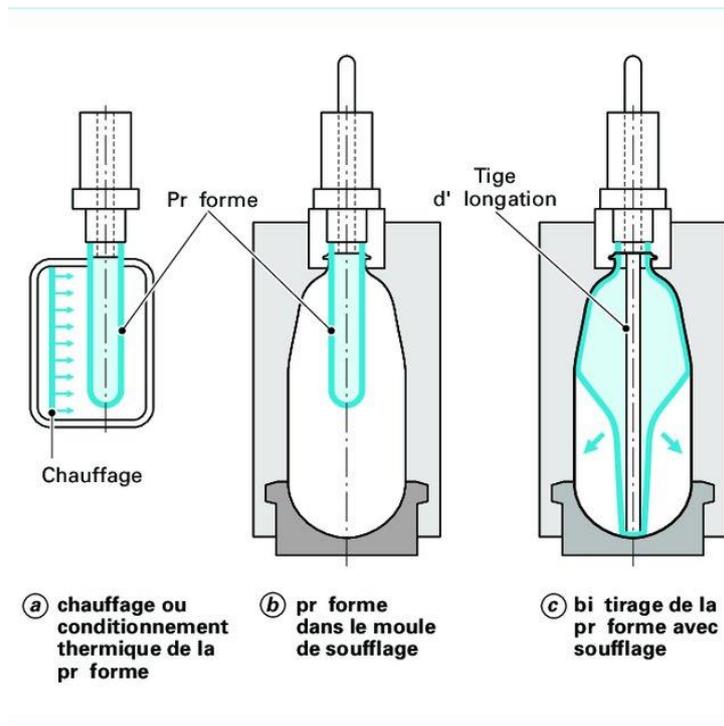


Figure II- 4: le procédé d'injection-soufflage.

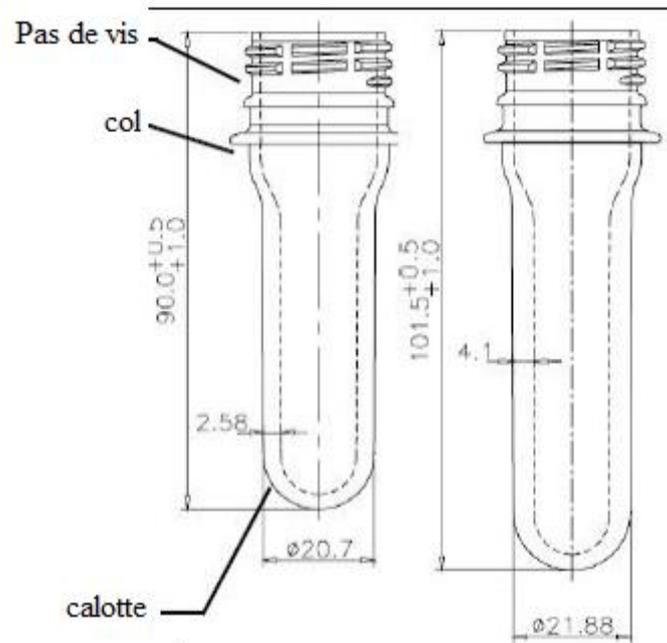
## II.2. Principe général du procédé d'injection-soufflage en cycle froid

### II.2.1. Fabrication de la préforme :

Le procédé de moulage par injection-soufflage nécessite une pré-production de produits semi-finis, appelés préformes. Il s'agit d'une pièce cylindrique creuse, moulée par injection à partir de résine PET. La préforme est ensuite mise en bouteille par une opération d'étirage-soufflage. Lorsque l'injection et le soufflage de la préforme sont effectués en ligne, le procédé est appelé cyclagethermique (ou « one step »). En revanche, si la préforme est stockée en fin de fabrication pour un soufflage ultérieur (éventuellement sur un autre site de production), le procédé est appelé cycle à froid (ou « en deux étapes »). L'avantage de la deuxième variante est de découpler la production de la préforme de la production de la bouteille, afin de mieux gérer le processus de fabrication et les défaillances éventuelles. D'autre part, il peut entraîner des problèmes de stockage et de dégradation des préformes, notamment en raison de l'augmentation du taux d'humidité.

Notre production est limitée au procédé de moulage par injection-soufflage à froid. Préforme Il doit être implanté à l'état amorphe. A cet effet, le PET est injecté sous forme de Après fusion, il est immergé dans le moule de la presse à injecter. En pratique, dans les moules d'injection la température est ajustée par le canal de refroidissement. La vitesse de refroidissement est régulée au début (environ 300 °C. min<sup>-1</sup>) puis elle est assez haute pour

limiter la cristallisation thermique du PET [22] La taille de la préforme dépend de la géométrie de la bouteille à fabriquer et aussi de propriétés mécaniques du PET. Pour une bouteille Par exemple, 1,5 litre, l'épaisseur de la préforme est généralement comprise entre 3 à 4 mm, Le diamètre varie de 20 à 30 mm, la hauteur est d'environ 100 mm, et le poids total environ 26 grammes. La figure II-3 illustre l'utilisation de la fabrication des bouteilles d'eau minérale.



*Figure II- 5: La préforme PET.*

### II.2.2. Mise en forme de la bouteille :

A l'issue de la période de stockage, la préforme est convoyée vers une machine de soufflage par le biais d'une rampe d'accès. La bouteille est alors fabriquée en deux étapes :

#### II.2.2.1. Conditionnement thermique de la préforme :

Les préformes étant stockées à température ambiante (environ 20 °C), L'étape de conditionnement thermique est nécessaire pour rendre la température supérieure à la température de transition vitreuse du PET (environ 80°C). L'intervalle de températures de moulage du PET est généralement compris entre 90 et 110°C. Sur cette plage de température, le PET adopte un comportement de caoutchouc visqueux caractéristique, qui permet qui permet un taux de déformation allant jusqu'à 500 %.Le conditionnement thermique de la préforme est obtenu par son passage dans un four Infrarouge (IR) : Le PET est translucide au rayonnement infrarouge, une petite partie du rayonnement infrarouge est Absorbé dans l'épaisseur de la préforme, de manière à réaliser un chauffage de "pénétration". Ce Le temps de chauffe est généralement compris entre 15s et 30s.

### II.2.2.2. Etirage-soufflage de la préforme :

A la fin du conditionnement thermique, les préformes sont envoyées pour insuffler de l'air et le confiner dans le moule. Ensuite, la bouteille est formée en trois étapes :

- Étape d'étirement pur : étirer la préforme longitudinalement avec une canne Sa vitesse de déplacement vertical est comprise entre 200mm.s<sup>-1</sup> et 1000 mm.s<sup>-1</sup>. La tige peut éventuellement être réglée en température. Le taux d'étirement longitudinal est de l'ordre de 200 %.
- Etape de soufflage étiré : après un certain mouvement de la tige, on parle de retard Pré-soufflage (RPS), de l'air sous pression est injecté alors dans la préforme pour assurer une déformation radiale et orthogonale. Les phases cumulées d'étirement et de pré-soufflage durent généralement moins de 0,6 seconde. Cependant, cette durée est suffisante pour assurer une formation presque complète de la bouteille. La vitesse de déformation peut atteindre 30 mm.s<sup>-1</sup>, le taux d'étirement radial Il peut atteindre plus de 500 %.
- Etape de soufflage pur : cette dernière étape consiste à appliquer une pression plus élevée (environ 40 bars) pour terminer la déformation, mais le plus important est de mettre la préforme en contact avec le moule et de la refroidir. La température du moule est généralement ajustée par le canal de refroidissement environ 12°C. La phase de soufflage dure de 2 s à 3 s, ce qui est aussi la plus longue. Enfin, après dégazage, la bouteille est éjectée puis transportée vers la ligne de remplissage et d'étiquetage.

Les paramètres de réglage que l'opérateur peut modifier (pour la phase d'étirage soufflage) sont ce qui suit :

- La vitesse de déplacement de la canne d'étirage, ainsi que sa température de régulation.
- Le Retard au Pré-Soufflage (RPS) (en mm).
- La pression nominale de pré-soufflage et la position du limiteur de débit de pré-
- La pression de soufflage.
- La durée du soufflage.
- La température de régulation du moule.

Ces paramètres de réglage, de même que les paramètres de réglage du four IR, jouent un rôle déterminant sur les propriétés finales de la bouteille.

### II.2.3. Les systèmes de chauffage infrarouge :

#### II.2.3.1. Description d'un module de chauffage :

Le four infrarouge se compose de modules chauffants, le nombre de modules chauffants dépend de la machine de moulage par soufflage. La préforme passe entre la crémaillère et le réflecteur métallique, Par conséquent, une petite partie du flux radiant émis par la lampe est absorbée. Le préfabriqué consiste en une animation par un mouvement rotatif de la préforme pour assurer une bonne uniformité de température dans le sens circonférentiel. D'autre part, les modules du four infrarouge se composent de modules chauffants, le nombre de modules chauffants dépend de machine de moulage par soufflage. J'ai une ou deux souffleuses à neige Seul module de chauffage, et le ventilateur rotatif le plus efficace Il y en a des dizaines. D'une part, chaque module est équipé de la lampe halogène est installée sur la plaque rayonnante, par contre, le réflecteur est installé sur l'aluminium poli.

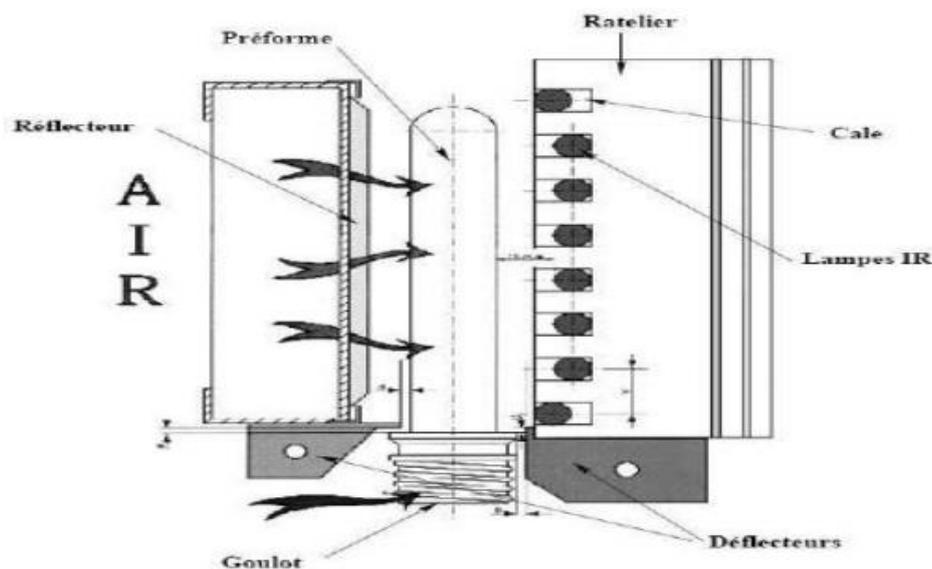


Figure II- 6: Le schéma d'un module de chauffage infrarouge

#### II.2.3.2. Principaux paramètres de réglage du four IR :

Il existe de nombreux paramètres de réglage du four affectant la distribution de la température de la préforme parmi eux on retrouve :

- La fraction de la puissance nominale affectée à chacune des lampes.
- La position de chacune des lampes vis à vis de la préforme.
- La vitesse d'avancée de la préforme dans le four IR : cette vitesse conditionne le temps de chauffage ainsi que le temps de maintien.
- La puissance délivrée au ventilateur.

# **Chapitre III**

## **Conception et Fabrication d'un moule**

**III.1. Introduction :**

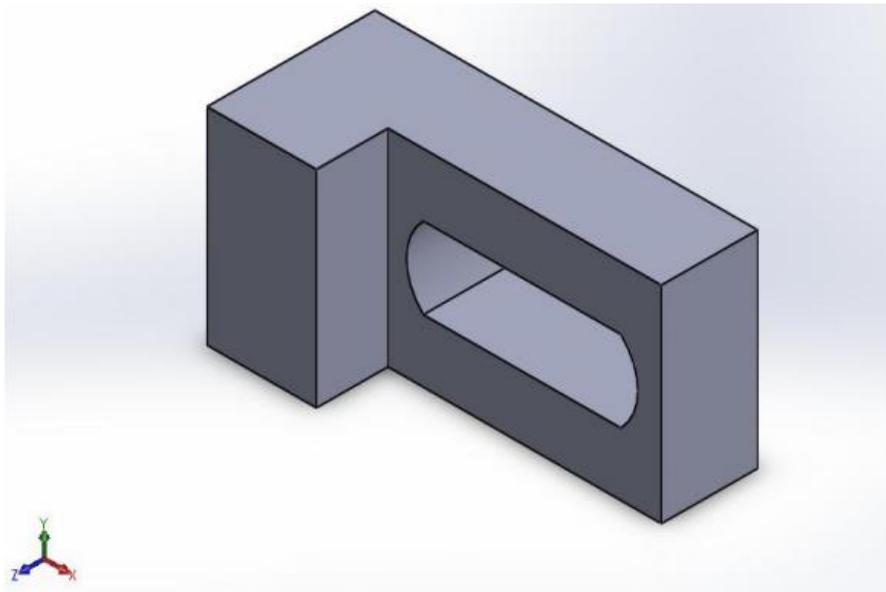
Le moulage par injection est l'un des procédés de moulage les plus largement utilisés aujourd'hui. Les polymères extrudés et moulés par soufflage représentent 30% de polymère traité. C'est Habituellement utilisé pour produire de très grandes séries de voitures ou Tels que les appareils électroménagers, ou de plus petites séries utilisées dans le domaine de l'aviation. Le processus d'injection atteint une productivité élevée avec une bonne reproductibilité des pièces.

Afin de limiter les produits défectueux et de réduire le temps de cycle, la sélection des paramètres d'injection est très importante. La répartition inégale de la température particulièrement causée par les moisissures peut être la source de défauts dans les pièces et provoquer une augmentation du temps du cycle est inacceptable. Cependant, la conception initiale du moule joue un rôle important afin d'obtenir plus facilement des pièces de qualité dans un temps de cycle raisonnable.

La simulation numérique est de plus en plus utilisée dans l'industrie. Aussi bien pour étudier les propriétés mécaniques et modéliser les écoulements que les transferts thermiques dans le moule.

**III.2. Etapes de conception SolidWorks d'un moule de soufflage PET :****III.2.1. Le système de fixation :**

Dans notre exemple, nous utilisons un support de fixation pour fixer le moule sur la palette de niveau, celui-ci sert à maintenir et éventuellement à guider le moule. Les rênes sont un mécanisme de fixation, utilisé pour fixer des objets afin qu'ils puissent être fixés ou déplacés en toute sécurité ne le laisseront pas tomber ou ne le transporteront pas sans le perdre en raison des brides fixes.

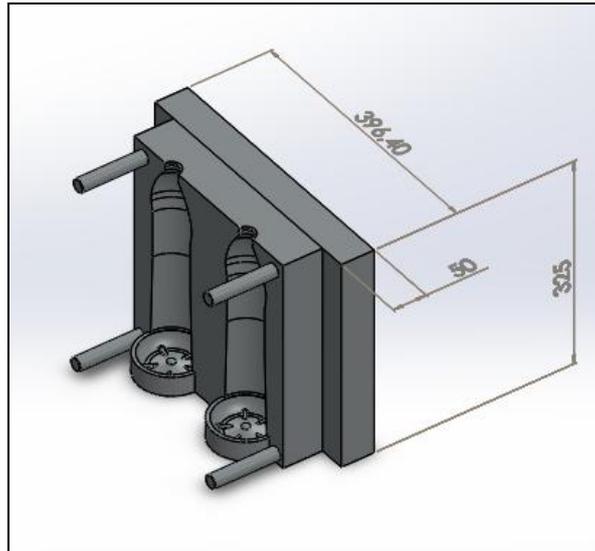


*Figure III- 1:Une bride de fixation du moule.*

Sachant que notre bride est fixée sur un plateau grâce à des boulons qui maintiennent le moule en place. Les dimensions de notre bride sont :

Largeur 38 mm

- Epaisseur 30 mm
- Profondeur de la rainure 17.6 mm
- Longueur de la rainure 48.5 mm
- Largeur de la rainure 15 mm
- Longueur 70 mm



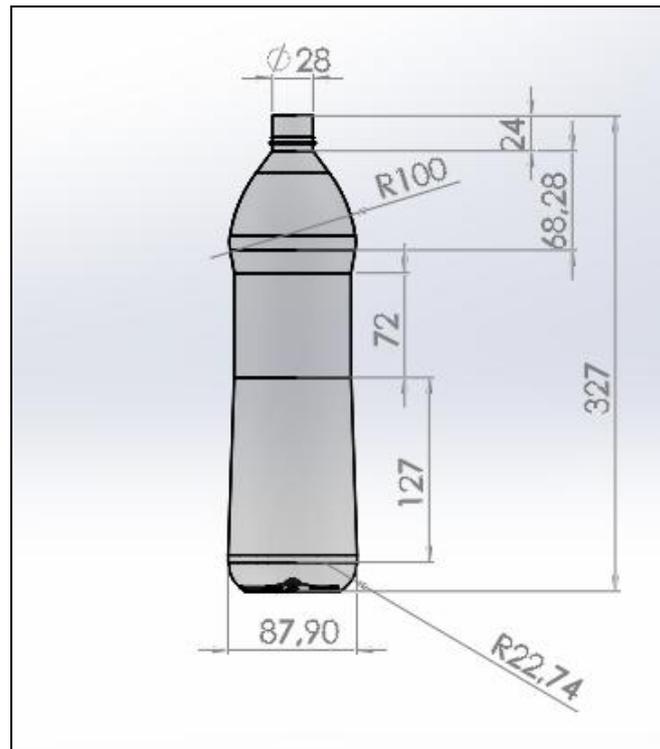
*Figure III- 2: La plaque de fixation du moule ou semelle du moule*

Le moule est fixe et ces brides sont maintenues sur les deux plaques fixes pour chaque partie de notre moule. Ces plaques sont assemblées sur le moule, grâce à il y a des vis, tout cet ensemble peut se fixer sur le moule, ce système de fixation rend le moule solidaire avec le plateau et suit les mêmes déplacements que ce dernier.

### **III.2.2. Conception et dimensionnement SolidWorks d'un moule de bouteille 1.5L :**

La cavité de l'empreinte représente un négatif tridimensionnel de l'objet, dessiné sur Selon la nature de la matière, s'entend avec le transformateur, la matière et Les conditions d'utilisation de la salle. La force de fermeture du moule est répartie sur la surface du plan de joint qui doit assurer l'étanchéité. La température du moule doit être bien contrôlée Pendant le processus de durcissement du polymère, et par le contrôle des canaux de la circulation du liquide de refroidissement pour une meilleure protection des pièces élaborées et de la cavité du moule.

- Étape 1 : Concevoir une bouteille de 1.5L dans cette partie, nous utilisons le logiciel solidworks pour concevoir une bouteille d'une contenance de 1.5L.



*Figure III- 3: Dimensions de la bouteille 1.5L.*

La deuxième étape de la conception du moule Le but de cette étape est de concevoir un moule pour la bouteille précitée. Dans la conception de ce moule, deux cavités sont prévues selon un axe de symétrie quasi-identique sur ces cavités et ce dans le but de booster la productivité du procès par l'optimisation des temps de différentes opérations. Après avoir pris les mesures nécessaires et déterminé la taille du moule, nous avons créé deux empreintes très précises pour le moulage de la matière polymère thermoplastique.

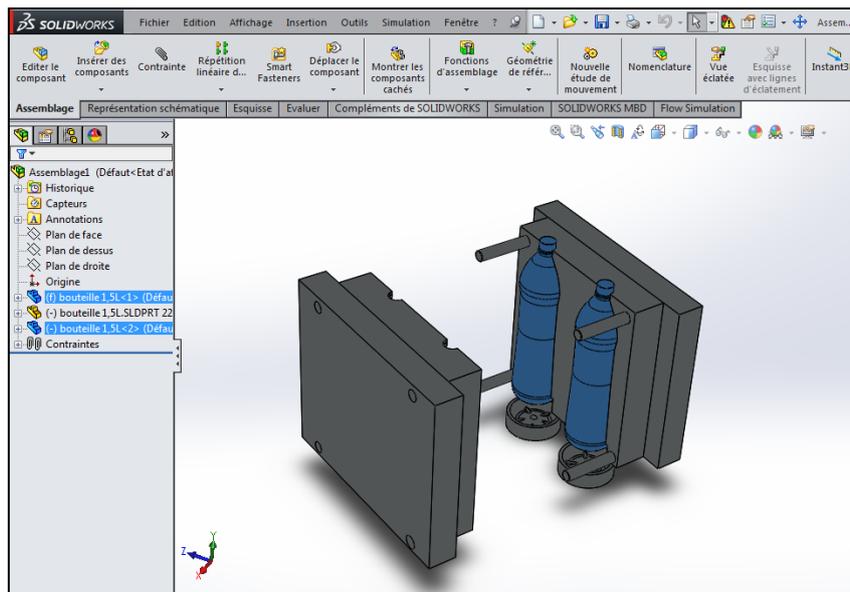


Figure III- 4: Représentation Solidworks du moule double empreinte 1.5 L

Notre moule est divisé en deux parties, une partie fixe et une partie mobile. Symétrique, se pressant pour rendre le produit conforme à sa forme finale souhaitée après injection de gaz comprimé dans la cavité contenant notre préforme préchauffée avant. Après refroidissement, le moule est ouvert pour permettre l'éjection et la récupération de l'objet injecté.

### III.2.3. Les dimensions de ce moule :

La figure III.5 montre une vue 3D de notre moule conçu au moyen du logiciel SolidWorks.

Notre moule possède une forme parallélépipédique comporte deux empreintes composées de deux parties symétriques. Les dimensions de chaque partie de moules sont indiqués dans le tableau.1.

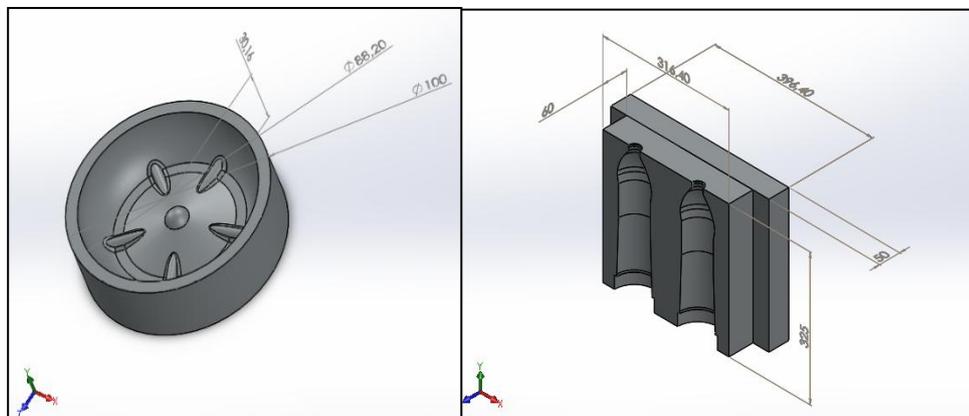


Figure III- 5: Modèles 3D issus du logiciel SolidWorks

Dimensions	Moule 1L
Longueur	361,4mm
Largeur	325mm
Epaisseur	60mm
Distance entre les deux empreintes	70mm
Distance entre l'empreints et la bordure	35mm
Diamètre de l'empreinte	87,9mm

*Tableau III- 1: Dimensions du moule 01litre*

### III.3. Les propriétés du moule :

#### III.3.1. Les propriétés thermiques :

La température statique du moule dépend de la température ambiante. Dans les conditions de travail, sa température est de 25 degrés. Grâce à ces 7 bulbes (résistances) la préforme est chauffée à la sortie du four et sa température dépend de la température de la préforme utilisée elle est comprise entre 40 et 60 degrés, le moule doit donc pouvoir supporter la température de cette préforme, c'est pourquoi il est équipé d'un système de refroidissement. Du fait du refroidisseur, la température de l'eau froide entrant dans le moule est de 5 degrés. Et en sort environ 15 degrés a la fin de ce processus, nous sommes prêts à utiliser nos produits.

#### III.3.2. Les propriétés physiques :

Pour que la préforme prenne la forme requise dans le moule, Il faut injecter du gaz sous une pression très précise et la tige descend jusqu'au fond du moule en utilisant un cylindre à air pour étirer la préforme et la souffler sous une pression de 8 bars, C'est ce qu'on appelle le pré-soufflage, qui est suivie de la phase de soufflage. La pression est 30 bars, sachant que ces pressions restent les mêmes et ne changent pas, c'est pour cela que l'on joue sur les temps de pré-soufflage et de soufflage, pour obtenir notre bouteille.

#### III.3.3. Propriétés mécaniques :

Le verrouillage du moule se fait grâce à des vérins pneumatiques et a des genouillères mécaniques qui ferment le moule avec une force de pression de 150KN.

### III.3.4. Les propriétés du matériau :

Dans notre travail, nous avons utilisé deux matériaux différents le premier est un acier inoxydable recuit de type X201(matériau A) et l'autre est un alliage d'aluminium1060 (matériau B). Ces matériaux sont utilisés généralement sur les surfaces d'appui pour résister à l'oxydation dans le bio alimentaire, Les principales propriétés de ces deux matériaux sont dans le tableau ci-dessous :

Matériau	Matériau A (201 acier inoxydable recuit(SS))	Matériau B (alliage 1060)	Unité
Module d'élasticité	2.07 e +10	6.9 e+10	N/m <sup>2</sup>
Coefficient de poisson	0.27	0.33	S.O
Module de cisaillement	/	2.7 e+10	N/m <sup>2</sup>
Masse volumique	7860	2700	Kg /m <sup>2</sup>
Limite de traction	685000000	68935600	N/m <sup>2</sup>
Limite de compression	/	/	N/m <sup>2</sup>
Limite d'élasticité	292000000	27574200	N/m <sup>2</sup>
Coefficient de dilatation thermique	1.7 e-05	2.4 e-0.5	/K
Conductivité thermique	/	200	W/ (m.k)
Chaleur spécifique	/	900	j/ (kg.k)
Facteur d'écrouissage	0.85	/	S.O

*Tableau III- 2: Les principales propriétés de ces deux matériaux A et B*

### III.4. Etude des propriétés mécanique

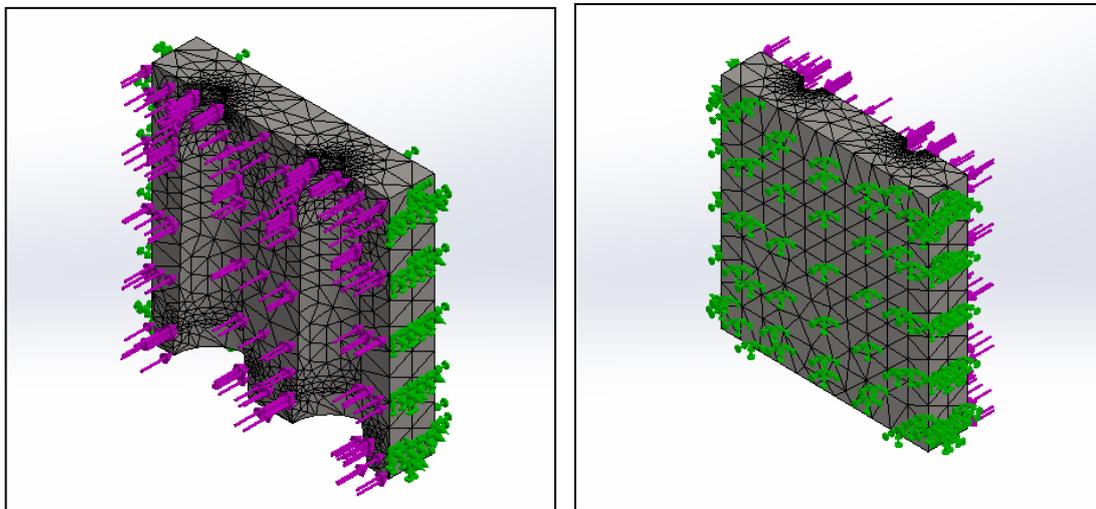
Dans ce contexte, le comportement mécanique des différents moules on été étudié, dans le but de quantifier leur résistance mécanique. Pour ce faire, un essai de compression sous une force de pression 150KN a été réalisé.

#### III.4.1. Modélisation du problème

Pour obtenir un moule solide nous devons lui faire subir plusieurs études celle qui intéresse aux contraintes comporte les étapes suivantes :

- Etape 1 : déplacement imposés : fixation du moule sur 3 face (gauche, droite, derrière) afin d'éviter que notre moule ne bouge (figure III.6).
- Etape 2 : le chargement : notre moule subis une force de pression totale de 150KN sur la face avant comme le montre sur la figure III.6.
- Etapes 3 : le choix du matériau : -Matériau A : **d'acierinoxydable recuit de type X201.**

-Matériau B : **Aluminium de type 1060.**



*Figure III- 6: la représentation des déplacements imposés et les chargements imposés sur le moule*

#### III.4.2.Le maillage :

A ce stade nous allons générer le maillage élément fini. Il est possible de choisir la technique de maillage, le type d'éléments et leurs formes.

Nombre total de nœuds	13120
Nombre total des éléments	7663

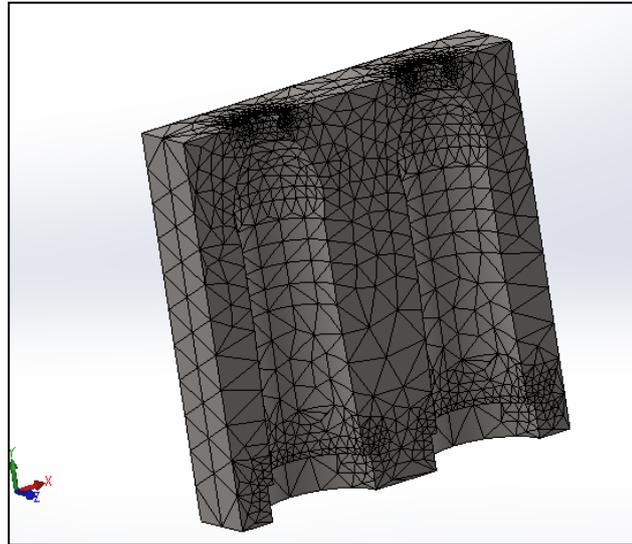


Figure III- 7: modèle maillé.

III.4.3. Les résultats de l'étude des contraintes de Von mises :

La Figure III.8 représente la distribution des contraintes Von Mises dans les différents moules A et B.

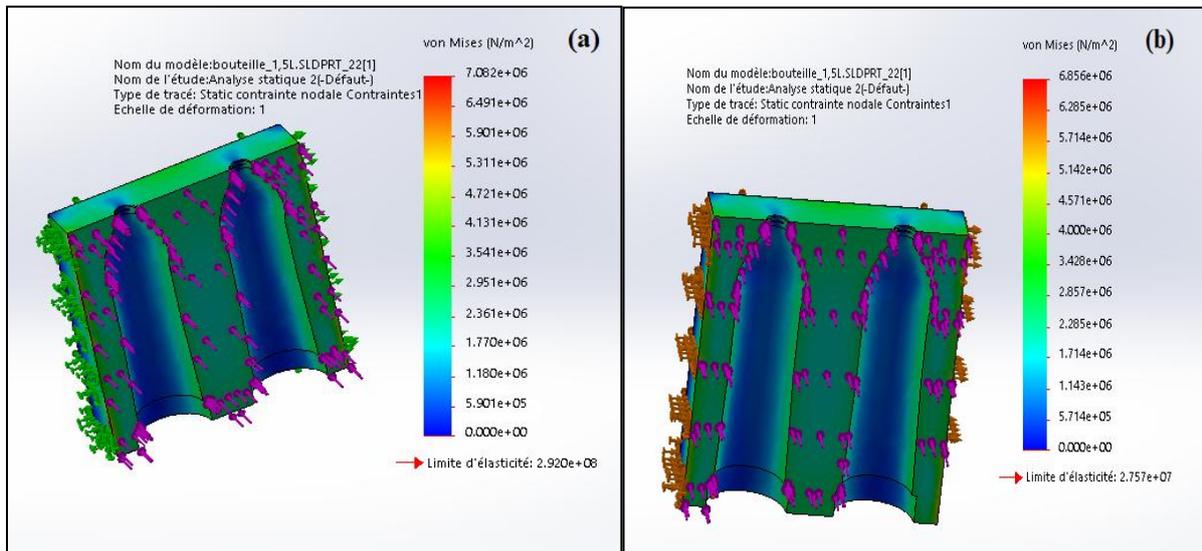


Figure III- 8: Les résultats de l'étude de contrainte de Von mises : (a) 201 acier inoxydable recuit(SS) (b) alliage 1060.

Dans cette figure, on peut voir que la distribution des contraintes minimale et maximale de moule de matériau A (figure III.8-a) (**201 acier inoxydable recuit(SS)**) selon le critère de Von mises varie de l'ordre de  $0.000e-00\text{N/m}^2$  et  $7.082*10^6\text{ N/m}^2$  respectivement et pour le moule de matériau B (figure III.8-b) (**alliage 1060**) La contrainte Von Mises minimale est de  $0.000e-00\text{N/m}^2$  et la contrainte maximale est de  $6.856*10^6\text{N/m}^2$ . D'après les caractéristiques du matériau utilisé on en conclue que nos moules restent toujours dans le domaine élastique vu que  $7.082*10^6\text{N/m}^2$  est inférieur à  $2,92*10^8\text{ N/m}^2$  qui représente la limite d'élasticité du matériau A (Acier inoxydable série 201), et  $6.856*10^6\text{N/m}^2$  est inférieur à  $2,757*10^7\text{ N/m}^2$  qui est celle de l'alliage d'aluminium 1060 (matériau B), De ce fait, on peut conclure les deux matériaux candidat pour la fabrication du moule d'injection sont capable de répondre favorablement aux éventuelles sollicitations mécaniques qui surviennent lors des différentes phases de la fabrication de la bouteille. Avec toutefois une marge de performances relativement plus importante sur les moules en acier inoxydable 201 (matériau A) et ce en raison des propriétés mécaniques plus élevées de ces aciers et qui leur confère une meilleure résistance aux contraintes de pression que subissent les parois internes des moules lors de la fabrication et le moulage des préformes (150 KN).

#### III.4.4. Résultats de l'étude de déplacements de Von Mises :

La Figure III.9 représente la distribution des déplacements Von Mises dans le moule respectivement avec les deux matériaux A et B

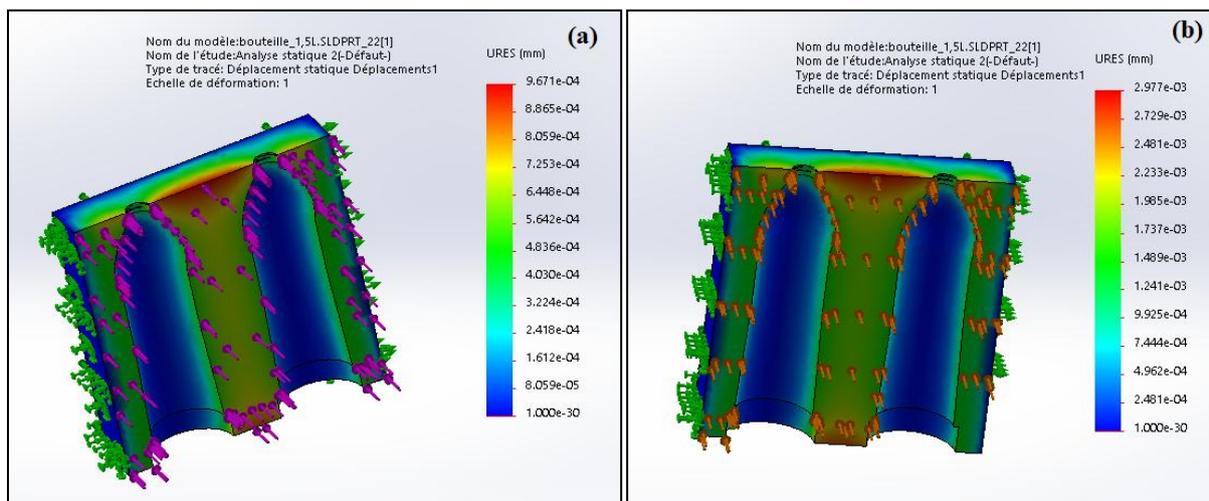


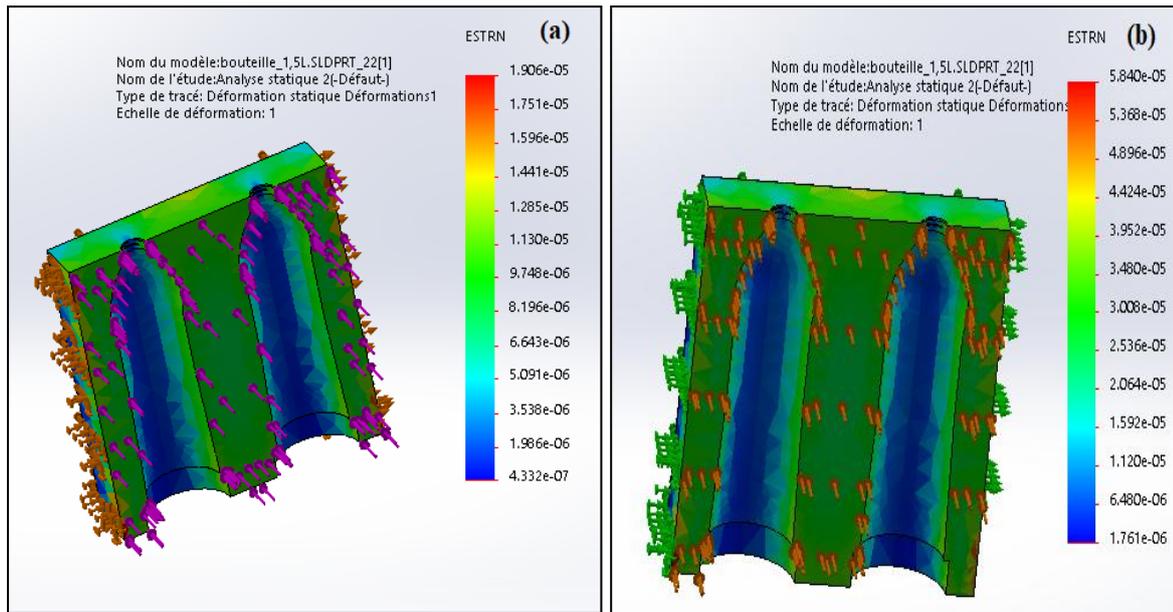
Figure III- 9: Les résultats de l'étude de déplacements de Von mises : (a) 201 acier inoxydable recuit(SS) (b) alliage 1060.

D'après cette figure, les valeurs relevées de déplacement sur deux différentes configuration de matériaux étudiées dans les moules A et B montrent l'existence d'un faible écart, pour le moule de matériau A (figure III.9-(a)) le déplacement minimal est nul et le déplacement maximale est de  $9.671e-004$ mm qui très petit et négligeable et pour le moule de matériaux B (figure III.9-(b)) le déplacement minimal est nul et maximale est  $2.977e-004$ mm

En comparant les valeurs des déplacements enregistrées sur ces deux études, nous pouvons conclure que sur les deux matériaux étudiées sont apte à garantir une stabilité dimensionnelle du moule lors de la phase de sollicitation (moulage et maintien de la pression sur la préforme). Ce constat est à nuancé dans le cas du moule en acier inoxydable 201 (matériau A (figure III.9-(a)) puisqu'on effet, de part ces propriétés de rigidité plus accrues, l'acier inoxydable 201 se déforme moins et montre une meilleure résistance a la déformation comparée a celle de l'alliage d'aluminium 1060. L'intérêt de cette étude vient souligner l'importance de la conformité dimensionnelle et part conséquent de la reproductivité dans le processus industriel de la production de ces bouteilles. Les contrôles de qualité des produits finis prévu en avale doivent être tous satisfaisant pour toutes les bouteilles produite pour minimiser les rebuts et optimiser la productivité de l'opération.

#### **III.4.6. Résultats de l'étude de déformations de Von mises :**

La Figure III.10 représente la distribution de la déformation dans le moule et ce dans les cas de figure respectivement avec le matériau A et B.



**Figure III- 10: Les résultats de l'étude de déformations de Von mises : (a) 201 acier inoxydable recuit(SS) (b) alliage 1060.**

On remarque dans la figure III.10 correspondant aux résultats de l'étude des déformations du moule dans le cas de l'acier 201 (matériau A (figure III.10( a)) et de l'alliage 1060(matériau B (figure III.10 (b))). Ces résultats montrent que les valeurs de la déformation et presque nul, elle varie de l'ordre de  $4.332 \times 10^{-7}$  N/m<sup>2</sup> à une valeur maximal de  $1.906 \times 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup> pour le moule avec le matériau A et de  $1.761 \times 10^{-6}$  N/m<sup>2</sup> jusqu'à  $5.84 \times 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup> pour le moule avec le matériau B.

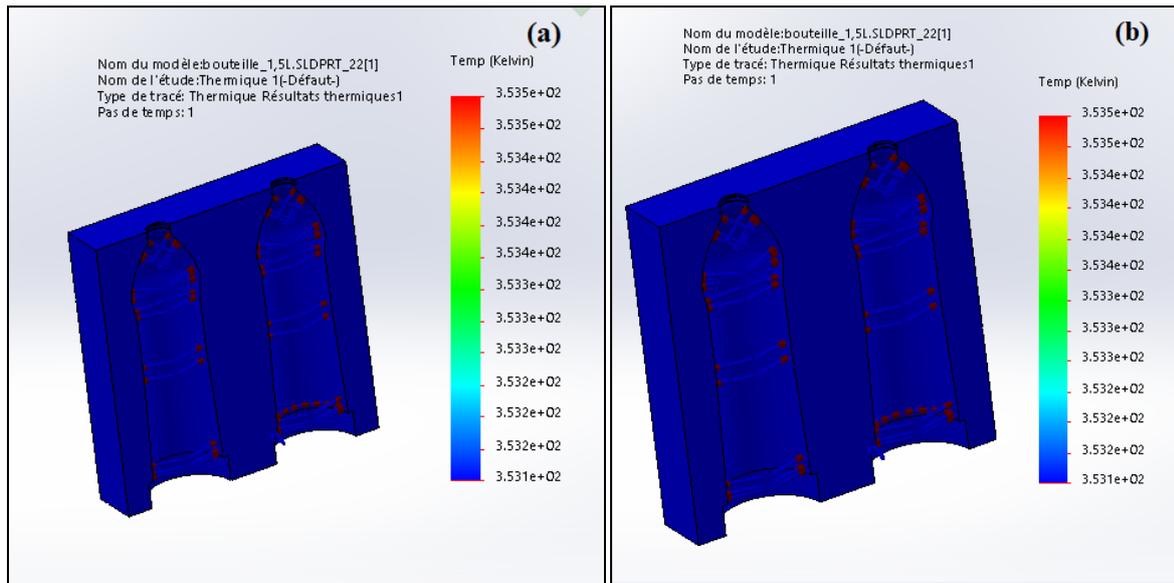
En vue de ce constat nous pouvons donc conclure de l'écart insignifiant relevé entre les déformations de vos mises enregistrées sur les deux matériaux étudiés. Ceci nous amène à qualifier favorablement l'usage de ces deux matériaux pour la réalisation de notre moule en vu des considérations purement mécanique de ces matériaux. Ces résultats de la déformation de Von mises viennent aussi conforter la conclusion retenue des résultats de l'étude précédente (étude des déplacements de Von mises) qui met en avant la supériorité de l'acier inoxydable série 201 dans sa capacité à mieux s'accommoder des sollicitations mécaniques résultantes de la pression qui est exercer par l'air comprimé sur les parois du moule lors du soufflage et du maintien de la pression sur la préforme.

### III.5. Etude thermique du moule :

#### III.5.1. Fonction de refroidissement :

Les performances mécaniques du matériau avec lequel le moule doit être fabriqué ne sont pas les seuls garants d'une qualité optimale de produits finis mais que celles –ci dépendent de d'autres caractéristiques intrinsèques à ces matériaux toutes aussi importantes. Les propriétés physique en générale de ces matériaux et les caractéristiques thermiques en particulier impactent considérablement la qualité et performances des moules d'injection et influent ainsi le choix du matériau avec lequel nous devons concevoir et réaliser ces moules.

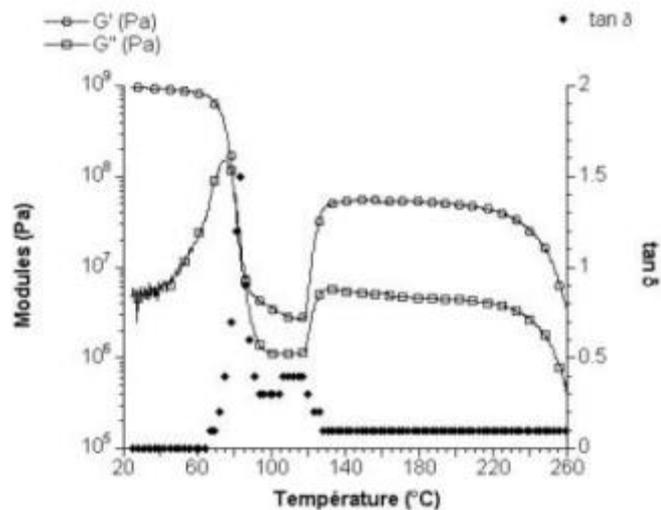
La figure III.6 illustrent le comportement thermique de la cavité des moules A et B après le procès de soufflage du PET. Dans cette partie nous avons réalisé une étude thermique sur notre moule de 1,5L, respectivement avec les mêmes matériaux adoptés dans les précédentes études mécaniques, à savoir l'acier inoxydable série 201 (matériau A) et l'alliage d'aluminium 1060 (matériau B) . Les résultats de cette étude, représentés sur la figure III.11, montrent une répartition quasi homogène de la température sur les parois du moule et ce pour les deux matériaux étudiées (uniformité de la couleur bleu). Mis à part quelques points chaud (point rouge) qui sont toutefois quasi identique sur les deux figures III. 11 (a) et (b), l'homogénéité de la température du moule dans les deux cas de figures (matériaux A et B) souligne la capacité de ces matériaux a ce refroidir de manière homogène favorisée par la qualité des échanges thermique entre le moule et l'air a travers le système de refroidissement.



**Figure III- 11: Etude thermique du moule (a) 201 acier inoxydable recuit(SS) (b) alliage 1060**

La localisation exacte des points chaud dans le moule d'injection, rendu possible par l'étude thermique du moule, est une donnée très importante dans la conception du système de refroidissement du moule en question indépendamment du choix du matériau. Ces points chauds doivent être abondamment irrigués par le réseau des canaux qui constituent le système de refroidissement du moule.

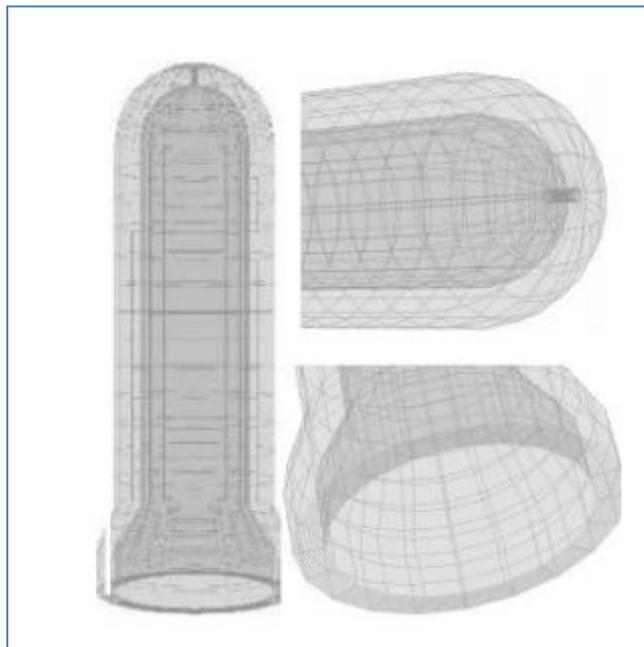
Dans l'industrie, le soufflage des bouteilles en PET est généralement réalisé dans la plage de température qui s'étend entre 90 et 110°C. Cette plage de température de mise en œuvre se trouve être limitée, aux basses températures, par la transition  $\alpha$  du PET à 80°C, et aux hautes températures, par l'apparition d'une phase cristalline thermiquement activée. Ces deux limites, qui dépendent en outre de la vitesse de sollicitation, marquent un changement profond du comportement du PET amorphe. Ce changement se manifeste notamment par une chute brusque des modules élastique  $G'$  et du module visqueux  $G''$  du PET, comme nous pouvons le constater sur la figure III.11.



**Figure III- 12: Mesure du module élastique  $G'$  et du module visqueux  $G''$  du PET.**

*Mesures de torsion à  $1\text{rad.s}^{-1}$  avec un chauffage à  $1^\circ\text{C.min}^{-1}$  [22]*

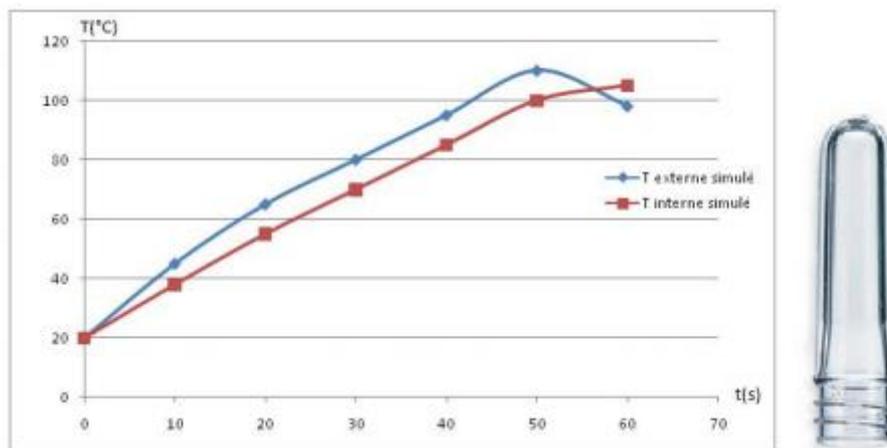
Dans notre gamme d'étude des températures de formage, le PET possède un comportement majoritairement caoutchouteux auquel se superpose une composante visqueuse non négligeable [23]. La distribution de température est homogène tout au long de la cavité d'empreinte du moule qui atteint  $30^\circ\text{C}$  aux abords alors que la plus haute température est de  $40^\circ$  au niveau de l'empreinte. On peut dire aussi qu'il subsiste une dépendance à la vitesse de déformation du fait de la nature visqueuse du PET. De plus, ce comportement est fortement affecté par la température et le temps de maintien.



**Figure III- 13: Maillage de la préforme réalisé sous SolidWorks.**

La figure III.13, illustre la variation de la température de la préforme au cours du temps, au niveau d'un point localisé à une distance de 40 mm du pas de vis (point choisi car il correspond au nœud médian du maillage). Cette figure permet de mettre en évidence plusieurs points :

- Tout d'abord nous constatons sur la figure III.13, l'évolution quasi similaire et linéaire des valeurs de la température interne et externe simulées en fonction du temps. Ainsi que l'écart relativement constant de 5% en tout point, entre les valeurs de températures internes et les températures externes. Cette tendance conforte les résultats de l'étude thermique du moule et confirme l'homogénéité des échanges thermique du moule avec le milieu externe.
- L'évolution de la température externe durant la phase de maintien est elle aussi en accord avec les mesures. Ceci révèle que les pertes thermiques sont correctement estimées.
- Enfin, nous pouvons constater qu'après un temps de maintien de 60 s, la température interne de la préforme devient supérieure à la température externe. Ce phénomène d'inversion de température est dû au fait que la paroi externe de la préforme est refroidie par convection, tandis que la diffusion de la chaleur dans l'épaisseur de la préforme à tendance à augmenter la température de la face interne.



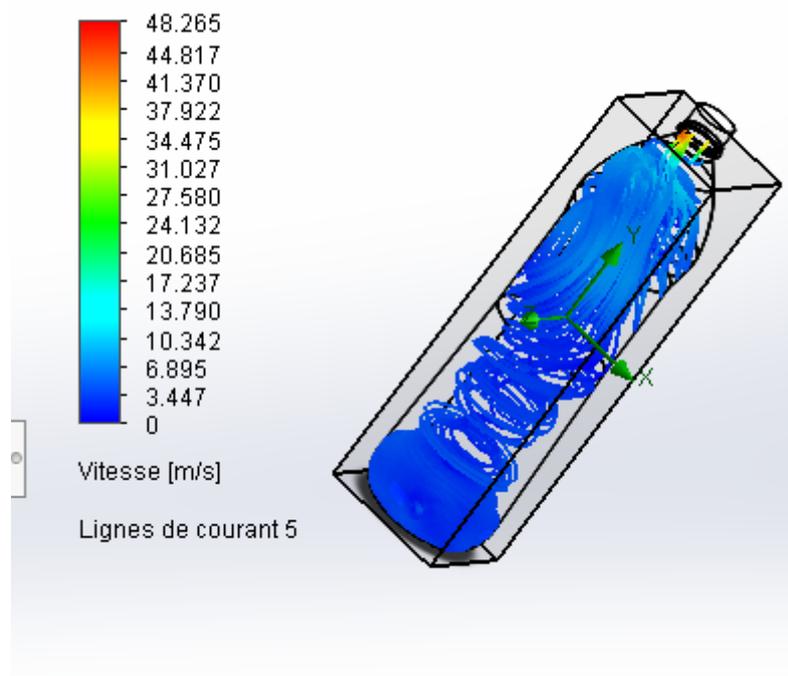
**Figure III- 14: Variation de la température de la préforme en fonction du temps.**

Le gradient thermique généré par cette inversion de température joue un rôle crucial durant la phase de mise en forme. En effet, le taux d'étirage (rapport entre le rayon initial et le rayon final) au niveau de la paroi interne de la préforme est largement supérieur à celui de la paroi externe. Les contraintes induites durant la mise en forme sont par conséquent très supérieures au niveau de la paroi interne. Ce gradient de contraintes existant entre les deux

parois interne et externe de la bouteille lui confère alors une meilleure tenue (posture) une fois la bouteille remplie et une résistance supplémentaire à l'écrasement dans la prise en mains en cours d'usage.

### III.6. Etude de la vitesse du flux d'air dans la bouteille :

Dans la phase d'injection, de l'air chaud et comprimé est injecté dans notre bouteille à une température de 80°C. La vérification de la circulation de l'air chaud dans le moule avec une pression de 30 bars pendant le processus d'injection et de décompression et la vitesse à laquelle le remplissage de la préforme en air se produit sont représentés dans la figure (III.15). Cette figure illustre le comportement de l'air comprimé dans la bouteille et sur laquelle nous pouvons constater.



*Figure III- 15: Le comportement du fluide dans la bouteille.*

Lors de l'injection du flux d'air sous une pression de 30 bars, l'air se distribue et occupe rapidement l'ensemble du volume de la bouteille. On note toutefois l'existence d'une zone où la vitesse de l'air est nettement plus importante (le contraste de la couleur du fluide qui vire progressivement du bleu à l'orange). Cette partie de la bouteille sera visée et qui représente une singularité importante dans le parcours du fluide. La célérité de l'air est occasionnée dans cette partie de la bouteille par une détente soudaine de l'air favorisée par l'augmentation de la section de circulation de l'air qui passe du diamètre du bouchon au diamètre de la partie supérieure de la bouteille.

A l'injection l'air occupe toute la cavité de la bouteille, avec un mouvement turbulent du fluide qui s'est traduit sous forme d'un flux d'air de dépressurisation qui s'accompagne d'une légère variation dans la vitesse et de la pression de l'air qui varie l'ordre de 48.260 m/s et 29bars respectivement sous une température de 353.20 K.

# Conclusion générale

## **Conclusion générale**

Le moulage par injection connaît un grand succès auprès de presque toutes les branches d'industrie. Il permet de réaliser des formes complexes en quelques dizaines de secondes et en grande série. Les matériaux utilisés pour la confection des moules doivent présenter plusieurs propriétés telles que une bonne résistance à l'usure, une bonne tenue à la corrosion et offrir de bonnes caractéristiques agroalimentaires à savoir : polarité, inertie chimique, non toxicité ...etc.

Ce travail consiste en une étude de conception et dimensionnement de d'un moule de matériau (a) 201 acier inoxydable recuit (ss) et d'un autre matériau (b) alliage 1060. Le comportement thermomécanique des différents moules ont été étudié par la méthode des éléments finis au moyen du logiciel SolidWorks. Les principaux résultats obtenus indiquant :

- Aucune différence significative du comportement de flux d'air dans les deux moules sous une pression de 30 bar.
- La variation des champs de vitesse de flux d'air été moins prononcée sur les parois intérieure de la préforme.
- La distribution de contraintes thermique homogène dans tout le volume occupé par les différents moule (201 aciers inoxydables recuits (ss) et alliage 1060).
- Le taux d'étirage (rapport entre le rayon initial et le rayon final) au niveau de la paroi interne de la préforme est largement supérieur à celui de la paroi externe
- Aucune différence significative des déformations élastiques des différents moules sous une charge de 150KN.

# **Référence bibliographique**

**Référence bibliographique:**

- [1] MAEL M. 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 de verre longues Thèse doctorat, l'institut National des Sciences Appliquées de Lyon(2005).
- [2] ROSATO, D. V., ROSATO, D. V. ETROSATO, M. G. Injection Molding Handbook. Boston/Dordrecht/London, Kluwer Academic Publishers. (2000).
- [3] Mohamed R, Jean-Marie R & Jean-Louis B (1994) Simulation numérique du soufflage et du thermoformage des plastiques, Revue Européenne des Éléments, 3:2, 187-210
- [4] Rubin, I. I. Injection molding Theory and Practice. New York, London, Sydney, Toronto, John Wiley and Sons. (1972).
- [5] Les Aciers Inoxydables" - Les éditions de physique - Editeurs scientifiques P. Lacombe - B. Baroux - G. Beranger.
- [6] BAFFIE N. influence de la microstructure de différents aciers inoxydables sur leurs mécanismes d'endommagement en fatigue oligocyclique Thèse doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble (juillet 2002)
- [7] S Bechir. le procédé injection. chapitre 3 : conception de moule d'injection plastique
- [8] MALEK M et MANSEUR M :étude et conception d'un moule d'injection plastique d'un tuyau de purge d'un réfrigérateur 520 L, mémoire de master, université mouloud mammeri de tizi-ouzou ,2013/2014
- [9] : MAMMA I et OUZZOUG K et OUDAHMANE O : Conception et Fabrication d'un moule à injection plastique d'une grille d'aération Ø100 ,mémoire de master , université mouloud mammeri de tizi-ouzou ,promotion 2014.
- [10] : plastisem, LES FONDAMENTAUX DE LA CONCEPTION D'UNE PIÈCE POUR L'INJECTION PLASTIQUE, chapitre 01, L'INJECTION PLASTIQUE
- [11] : HOCINE Kh et CHALAL S : Etude et conception d'un nouveau produit "application l'injection plastique", mémoire de master ,université mouloud mammeri de tizi-Ouzou , promotion 2012/2013

[12] : KEMKEM Y et IHAMOUTENE A : Etude et conception d'un moule à injection plastique pour barrette de connexion (domino), mémoire de master , université de tizi-Ouzou , promotion 2016/2017 .

[13] : ACHOUR M ET AIT ALI I , Etude technologique d'une presse à injection PET, mémoire de master, université Abderrahmane mira de Bejaia, promotion 2018.

[14]: P Weiss, université médicale virtuelle francophone-société francophone de biomatériaux dentaires, support de cours (version PDF) - 2009-2010.

[15] : LES MOULES D'INJECTION TP- 2008/2009 la plasturgie

[16] : Les Plastiques en débat, collège le Monteil Monistrol sur Loire, 2012. RECORD, Etat de l'art concernant les grands procédés de mise en œuvre des matières plastiques issues de processus de régénération de déchets. Efficacité économique des filières de recyclage des plastiques, 2003, 175 p, n°00-0905/1A.

[17] : RECORD, Etat de l'art concernant les grands procédés de mise en œuvre des matières plastiques issues de processus de régénération de déchets. Efficacité économique des filières de recyclage des plastiques, 2003, 175 p, n°00-0905/1A.

[18] : CHIBANI N , Cours : Procédés de transformation et mise ne forme des matériaux, M1 Génie des Procédés des Matériaux ,département génie des procédé , université Abderrahmane mira Bejaia.

[19] : BEN HAFSIA KH , Identification Des Micro-Mécanismes De Déformation Du Pet Amorphe Et Semi-Cristallin In Situ Au Cours D'un Essai Mécanique , thèse de doctorat , université de lorraine , juin 2016.

[20] : CHOUCHE S , cours procédé de mise en forme de matière plastique extrusion des mp , tube et profilés s2.

[21] : BABACI A , AMRANE A , DJIDJA N , étude et conception d'un moule d'injection plastique pour enjoliveurs de congélateur eniem225L ,mémoire de master ,université mouloud mameri de tizi-ouzou 2017/2018.

## Résumé

Dans ce travail, nous avons utilisé deux matériaux (201 acier inoxydable recuit (ss) et alliage 1060) pour la conception du moule dans le but de résister à l'oxydation dans le bio alimentaire. Il doit aussi présenter de bonnes propriétés thermiques qui permet de conserver les températures de cristallisation des préformes réalisés en polyéthylène Téréphtalate (PET). L'objectif de ce travail est basé en premier lieu sur une conception d'un moule pour une presse à injection. En second lieu, une étude par simulation numérique par le logiciel Soli Works a été effectuée. Les différents tests effectués lors de la simulation par la méthode des éléments finis sont : la répartition du fluide lors d'un cycle de soufflage à chaud au bord des parois du moule, étude thermique et la distribution des températures lors du fonctionnement de la presse à injection et étude des propriétés mécaniques telles que la résistance à la déformation et à la contrainte supportée. Les résultats obtenus nous ont montré que sous une pression de 30 bars d'air injectées dans la préforme, le flux épouse la forme de l'empreinte de notre moule. La simulation de la distribution des contraintes a montré les différents moules réalisés s'inscrit dans un intervalle de tolérance important, ce qui justifie que ces derniers présentent une grande résistance vis-à-vis la force de pression appliquée (150KN), Les déplacements sont approximativement proches en ce qui concerne le déplacement qui est très faible et quasi invisible à l'œil nu et n'influe pas négativement sur nos moules. On remarque aussi que le gradient thermique généré par cette inversion de température joue un rôle crucial durant la phase de mise en forme.

**MOTS-CLÉS :** Moule, 201 acier inoxydable recuit (ss) ,alliage 1060, Simulation numérique, Contraintes, Déformations.

## Abstract

In this work, we used two materials (201 annealed stainless steel (ss) and alloy 1060) for the design of the mold with the aim of resisting oxidation in the bio food industry. It must also have good thermal properties that allow to maintain the crystallization temperatures of the preforms made of polyethylene Terephthalate (PET). The objective of this work is based primarily on a design of a mold for an injection mold. Secondly, a numerical simulation study by the Soli Works software was carried out. The different tests carried out during the simulation by the finite element method are: the distribution of the fluid during a hot blowing cycle at the edge of the mold walls, thermal study and temperature distribution during the operation of the injection press and study of mechanical properties such as resistance to deformation and stress supported. The results obtained showed us that under a pressure of 30 bar of air injected into the preform, the flow follows the shape of the imprint of our mold. The simulation of the stress distribution showed the different molds made is part of a large tolerance interval, which justifies that these last ones have a high resistance to the pressure force applied (150KN), The displacements are approximately close with regard to the displacement which is very small and almost invisible to the naked eye and does not negatively influence our molds. It is also noted that the thermal gradient generated by this temperature inversion plays a crucial role during the shaping phase.

**KEYWORDS :** Mold, 201 annealed stainless steel (ss), alloy 1060, Numerical simulation, Stresses, Deformations.