

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la recherche scientifique

UNIVERSITE Abderrahmane MIRA BEJAIA  
Faculté de Technologie  
Département de Génie Mécanique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER**

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Construction mécanique

Par :

ACHOUR Mebarek

AIT ALI Islam eddine

## Thème

---

**Conception d'un moule de bouteille de 2L**

---

Soutenu le 26/06/2018 devant le jury composé de:

Mr.	BRADAI M.A.	Président
Mr.	YOUNES R.	Rapporteur
Mr.	SADEDINE A.	Examineur

**Année Universitaire 2017-2018**

# Remerciements

# *Remerciements*

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu qui nous a donné la santé, la volonté et le courage d'accomplir ce travail.

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.

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 l'équipe du hall de technologie de l'université de Bejaia, l'équipe SODA Fresh ou nous avons effectué notre stage.

Que tous ceux qui ont contribué à notre formation trouvent ici l'expression de nos sincères gratitude.

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

# *Dédicaces*

# Dédicaces

*On dédie ce mémoire aux personnes qui nous sont les plus chers :*

*À nos pères, la plus belle marque de reconnaissance et d'encouragement qu'on puisse leur offrir est notre réussite.*

*À nos très chères mères les être les plus nobles qui ont sacrifié les plus belles années de leur vie.*

- *À nos oncles*
- *À nos frères et sœurs .*
- *À nos grands-parents.*
- *À nos tantes.*
- *À tout les membres de nos familles.*
- *À nos meilleures ami(e)s.*
- *À tout les camarades de notre section.*
- *Enfin nous dédions notre travail à Mr AITALI Karim ,Mr ACHOUR Kamel et Mr AIT ALI AZDINE.*

# Liste des figures

## Liste des figures et liste des tableaux

---

### **Chapitre I**

<b>Figure I-1</b> Différentes parties d'une presse a injection.....	6
<b>Figure I-2</b> Différentes parties d'une presse a injection plastiques.....	7
<b>Figure I-3</b> Unité de verrouillage.....	8
<b>Figure I-4</b> Différentes parties d'un moule.....	10
<b>Figure I-5</b> Composant d'un moule a injection plastique.....	11
<b>Figure I-6</b> Canaux d'alimentations.....	12
<b>Figure I-7</b> Clapet anti-retour.....	14
<b>Figure I-8</b> Clapet anti retour phase de plastification.....	14
<b>Figure I-9</b> Clapet anti retour phase d'injection.....	15
<b>Figure I-10</b> Vis pour matières amorphes.....	16
<b>Figure I-11</b> Vis pour matières semi-cristallines.....	16
<b>Figure I-12</b> Presse à injection horizontale.....	17
<b>Figure I-13</b> Presse à injection verticale.....	17
<b>Figure I-14</b> Différentes étapes d'injection.....	19
<b>Figure I-15</b> Polymère linéaire.....	21
<b>Figure I-16</b> Polymère ramifié.....	22
<b>Figure I-17</b> Polymère réticulé avec ponts disulfure reliant deux chaînes.....	22
<b>Figure I-18</b> Structure moléculaire du PET.....	23
<b>Figure I-19</b> Réaction d'estérification entre l'acide téréphtalique et l'éthylène glycol.....	25

### **Chapitre II**

<b>Figure II-1</b> Procède d'extrusion soufflage.....	29
<b>Figure II-2</b> Souffleuse a injection plastique.....	30
<b>Figure II-3</b> Préforme PET.....	31
<b>Figure II-4</b> Illustration du principe général de la fabrication d'une bouteille par injection soufflage en cycle froid par une souffleuse rotative.....	34
<b>Figure II-5</b> Schéma d'un module de chauffage infrarouge.....	35

### **Chapitre III**

<b>Figure III-1</b> Exemple de circuit obtenu à partir de canaux rectilignes.....	38
<b>Figure III-2</b> Problème de refroidissement d'une pièce circulaire avec des canaux rectilignes.....	38
<b>Figure III-3</b> Différentes parties d'un moule.....	39

## Liste des figures et liste des tableaux

---

<b>Figure III-4</b> Eléments constituant l'outillage d'un moule en injection plastique .....	41
<b>Figure III-5</b> Bride de fixation du moule.....	42
<b>Figure III-6</b> Plaque de fixation du moule ou semelle.....	43
<b>Figure III-7</b> Dimensions de la bouteille 1.25L.....	44
<b>Figure III-8</b> Représentation solidworks du moule double empreinte 1.25l.....	45
<b>Figure III-9</b> Représentation solidworks des deux empreintes du moule.....	46
<b>Figure III-10</b> Les dimensions de la bouteille 2 L.....	48
<b>Figure III-11</b> Vue tridimensionnelle des conceptions des moules de soufflage.....	49
<b>Figure III-12</b> Comportement du fluide lors d'un procès de soufflage de la préforme dans le moule de 1L .....	50
<b>Figure III-13</b> Comportement du fluide à l'injection et à la dépressurisation dans le moule 2L.....	51
<b>Figure III-14</b> Etude thermique du moule 1L.....	53
<b>Figure III-15</b> Etude thermique du moule 2L.....	53
<b>Figure III-16</b> 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 $1^{\circ}\text{C.min}^{-1}$ .....	54
<b>Figure III-17</b> Maillage de la préforme réalisé sous SolidWorks.....	55
<b>Figure III-18</b> Variation de la température de la préforme en fonction du temps.....	56
<b>Figure III-19</b> Représentation des déplacements imposés et chargements imposé sur le moule 1L.....	57
<b>Figure III-20</b> Résultats de l'étude de contrainte de Von mises (a).....	58
<b>Figure III-21</b> Résultats de l'étude de déplacements (b).....	58
<b>Figure III-22</b> Résultats de l'étude de von mise (c) et du déplacement (d).....	59



## *Erratum*

---

### **Chapitre I**

<b>Figure I-1</b> Différentes parties d'une presse a injection.....	[2]
<b>Figure I-2</b> Différentes parties d'une presse a injection plastiques.....	[3]
<b>Figure I-3</b> Unité de verrouillage.....	[3]
<b>Figure I-4</b> Différentes parties d'un moule.....	[4]
<b>Figure I-5</b> Composant d'un moule a injection plastique.....	[4]
<b>Figure I-6</b> Canaux d'alimentations.....	[5]
<b>Figure I-7</b> Clapet anti-retour.....	[6]
<b>Figure I-8</b> Clapet anti retour phase de plastification.....	[6]
<b>Figure I-9</b> Clapet anti retour phase d'injection.....	[6]
<b>Figure I-10</b> Vis pour matières amorphes.....	[6]
<b>Figure I-11</b> Vis pour matières semi-cristallines.....	[3]
<b>Figure I-12</b> Presse à injection horizontale.....	[3]
<b>Figure I-13</b> Presse à injection verticale.....	[3]
<b>Figure I-14</b> Différentes étapes d'injection.....	[3]
<b>Figure I-15</b> Polymère linéaire.....	[3]
<b>Figure I-16</b> Polymère ramifié.....	[7]
<b>Figure I-17</b> Polymère réticulé avec ponts disulfure reliant deux chaînes.....	[8]
<b>Figure I-18</b> Structure moléculaire du PET.....	[9]
<b>Figure I-19</b> Réaction d'estérification entre l'acide téréphtalique et l'éthylène glycol.....	[9]

### **Chapitre II**

<b>Figure II-1</b> Procède d'extrusion soufflage.....	[14]
<b>Figure II-2</b> Souffleuse a injection plastique.....	[14]
<b>Figure II-3</b> Préforme PET.....	[16]
<b>Figure II-4</b> Illustration du principe général de la fabrication d'une bouteille par injection soufflage en cycle froid par une souffleuse rotative.....	[17]
<b>Figure II-5</b> Schéma d'un module de chauffage infrarouge.....	[17]

### **Chapitre III**

<b>Figure III-1</b> Exemple de circuit obtenu à partir de canaux rectilignes.....	[21]
<b>Figure III-2</b> Problème de refroidissement d'une pièce circulaire avec des canaux rectilignes.....	[21]
<b>Figure III-3</b> Différentes parties d'un moule.....	[21]

## Liste des figures et liste des tableaux

---

### **Liste des tableaux**

<b>Tableau I-1</b> Dimensions des canaux.....	13
<b>Tableau III-1</b> Terminologie des éléments constituant l'outillage de la figure III-4.....	40
<b>Tableau III-2</b> Les principales propriétés du matériau X39 CrMo17-1.....	48
<b>Tableau III-3</b> Tableau montrant les dimensions des bouteilles de 1L et 2L.....	49

# Liste des tableaux

# Sommaire

# Sommaire

---

Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I: Description d'une presse injection PET :</b>	
I-Introduction.....	3
I-2 Description d'une presse à injection.....	4
I-3 Le processus d'injection.....	5
I-4 Les différentes parties d'une presse à injection.....	5
I-4-1 Unité d'injection.....	6
I-4-2 Unité de verrouillage .....	7
I-4-2-1 Avantages de chacune des fermetures.....	8
I-4-3 Outillage .....	9
I-4-4 Moule.....	9
I-4-5 Canaux du moule.....	12
I-4-5-1 Canaux de distribution.....	13
I-5 La buse.....	13
I-6 rôle du Clapet.....	15
I-7 La vis de plastification.....	16
I-8 Différents types de presse injection plastique.....	16
I-8-1 Presses à injection horizontale.....	17
I-8-2 Presses à injection vertical.....	18
I-9 Le cycle de moulage par injection.....	18
I-9-1-1 Les étapes du procédé.....	20
I-10 Généralité sur les polymères.....	20
I-11 Définition d'un polymère.....	21
I-11-1 Structure des polymères.....	21
I-11-2 Polymère linéaire.....	22
I-11-3 Polymère ramifiés.....	22
I-11-4 Polymère réticulé.....	23
I-12 Cas Polyéthylène de Téréphtalate (PET).....	23
I-12-1 Présentation PET.....	23
I-12-2 La structure moléculaire.....	24
I-12-3 Propriétés de PET.....	24
I-13 Les étapes de fabrication du PET.....	24
I.13.1 Estérification.....	25

# Sommaire

---

---

I-13-2 La polycondensation.....	26
I-14 Les caractéristique technique du PET.....	26
<b>Chapitre II : Etude technologique du procédé de soufflage plastique :</b>	
I-1 Introduction.....	28
II-2 Différents types de soufflage plastique .....	28
II-2-1 L'extrusion soufflage .....	28
II-2-1-1 Machine à extrusion-soufflage .....	29
II-2-2 L'injection soufflage .....	29
II-3 Principe général du procédé d'injection-soufflage en cycle froid.....	30
II-3-1 Fabrication de la préforme.....	30
II-3-2 Mise en forme de la bouteille.....	32
II-3-3 Principales propriétés d'une bouteille.....	33
II-3-4 Les systèmes de chauffage infrarouge.....	34
II-3-4-1 Description d'un module de chauffage.....	34
II-3-4-2 Principaux paramètres de réglage du four IR.....	35
<b>Chapitre III : conception et Fabrication d'un moule :</b>	
III-1 Introduction.....	36
III-2 Fabrication "traditionnelle" des moules.....	36
III-2-1 Procédés.....	36
III-2-2 Matériaux.....	36
III-2-3 Technologies "traditionnelles" de régulation thermique des moules.....	37
III-3 Outillage d'un moule.....	38
III-4 Composition d'un moule a injection plastique .....	39
III-5 Etapes de conception SolidWorks d'un moule de soufflage PET.....	42
III-5-1 Système de fixation.....	42
III-6 Conception et dimensionnement SolidWorks d'un moule de bouteille 1L .....	44
III-6-1 Les propriétés du moule .....	46
III-6-2 étude de conception d'une bouteille .....	48
III-7 Etude thermique des moules de soufflage .....	50
III-7-1 Etude de la vélocité du flux d'air dans les moules 1L et 2L 2L.....	50
III-8 Etude thermique du moule.....	51
III-8-1 Fonction de refroidissement .....	51
III-9 Etude des propriétés mécanique du moule 1L et 2L .....	57

## Sommaire

---

III-10 usinage.....	60
Conclusion général.....	64
Références bibliographique.....	66

# Introduction générale



Le polyéthylène téréphtalate), ou PET, est un polymère semi-cristallin possédant de bonnes propriétés mécaniques et thermiques mais aussi une grande résistance chimique et une faible perméabilité aux gaz. Par conséquent, ses applications sont variées : fibres synthétiques, supports d'enregistrement, composants industriels, récipients alimentaires ou pour cosmétiques, pour n'en citer que quelques-unes.

A l'heure actuelle, la quantité de PET consommée dans ce cadre atteint millions de tonnes, dont 83% pour les boissons, ce qui représente plus de la moitié de la production mondiale. Le taux de croissance annuel du PET dans le domaine de l'emballage s'élève à 14% depuis 1996, et est notamment dû au marché des eaux minérales et des boissons. Les experts prévoient une intensification de cette tendance, qui serait le reflet de l'utilisation accrue de PET recyclé dans les bouteilles et de l'émergence de nouveaux marchés tels que le lait.

Injection-soufflage : permet de réaliser des corps creux qui présentent de bonnes propriétés mécaniques. Cette technique est essentiellement réservée aux thermoplastiques. Injection des thermodurcissables : se caractérisent par leur réseau macromoléculaire-tridimensionnel thermostable. Cela nécessite que la mise en forme (dans l'empreinte du moule) soit faite avec la réticulation, c'est à dire la création du réseau tridimensionnel définitif. La mise en œuvre relève donc à la fois de la chimie (réticulation, dosage stœchiométrique des composants) et la physique (écoulement des fluides, thermique).

Les méthodes citées ci-dessus ont leurs techniques propres, notre étude concerne le moulage par injection et l'injection-soufflage.

Le moulage par injection connaît un grand succès auprès de presque toutes les branches d'industrie, parce qu'il permet de réaliser des formes complexes en quelques dizaines de secondes et en grande série. Au début de l'ère de l'industrie de la transformation, les formes fabriquées étaient simples et les cotes avaient des tolérances larges. Mais du fait que le procédé se prêtait à une fabrication rapide et sans main-d'œuvre importante et à une fabrication de masse, des formes même très complexes et des tolérances plus serrées ont vite pris la place des formes simples.

## Introduction générale

---

Par ailleurs, cette étude a pour objectif de concevoir deux moules destinés au Soufflage plastique en se basant sur un bon choix du matériau.

Notre travail de recherche est divisé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à une étude bibliographique sur les différents des généralités de l'injection plastiques des moules et du polymère utilisé.

– Le deuxième chapitre est exclusivement consacré à étude technologique sur la machine MEGA MACHINERY SEMI-AUTO (MG 880) utilisé dans la société SARL AIT ALI, pour cela on décrira le système d'injection-soufflage : principe de fonctionnement de ses trois unité principales unité injection, unité de fermeture, unité robot et aussi ses systèmes de fonctionnement hydraulique et pneumatique,

– Quant au troisième chapitre est réservé aux conceptions du moule convenable à la création d'une bouteille par soufflage plastique et à l'analyse des résultats obtenus par le logiciel de simulation SolidWorks. Etude de la répartition du fluide lors d'un cycle de soufflage à chaud, étude thermique lors du fonctionnement d'un moule, étude des propriétés mécanique tels que la résistance à la déformation et au contrainte supporté

# **Chapitre I :**

## Description d'une presse à injection



## I-1 Introduction

L'utilisation de matières plastiques remonte à l'antiquité : les égyptiens employaient des colles à base de gélatine d'os, de caséine de lait, d'albumine d'œuf. Plusieurs siècles av. J.-C ; les hommes utilisaient les propriétés plastiques de la corne, des écailles de tortue, de l'ambre, du caoutchouc,... chauffés et moulés pour fabriquer de nombreux objets.

Cependant, à partir de la fin du XIXe siècle débute la mise au point de nouvelles matières : les plastiques semi-synthétiques faits de polymères naturels modifiés chimiquement par des produits chimiques.

Au début du XXème siècle, la fabrication de plastiques à partir de polymères naturels (cellulose et caséine notamment) fait place à la synthèse de nouvelles matières plastiques entièrement synthétiques. Les besoins militaires des première et seconde guerres mondiales entraînent un développement industriel et technologique de cette chimie de synthèse. Depuis, les matériaux plastiques se développent et accompagnent l'histoire contemporaine.

Après la Libération en 1945 et avec les années 50, la consommation de masse et la diversification crée une explosion des demandes et confortent l'essor de cette industrie nouvelle. Les matières plastiques seront essentiellement fabriquées par la pétrochimie, à partir du pétrole ou du gaz naturel. Les usages sont très variés et entrent « dans les petits objets de la vie de tous les jours ».

Le choc pétrolier de 1973 marque un tournant : les plastiques, considérés comme matières de substitution jetables et bas de gamme, deviennent souvent des matériaux sophistiqués et de haute technicité. La production mondiale de plastiques augmente chaque année (+ 2,9 % en 2012) et pose des problèmes liés à la pétrochimie et au devenir des plastiques usagés. La prise de conscience des enjeux environnementaux se développe et incite à de nouveaux progrès : amélioration du recyclage et de la biodégradabilité, utilisation de matières premières renouvelables, utilisation raisonnée des matériaux. [1]

En moins de soixante ans, les matières plastiques ont envahi la vie de tous les jours et des secteurs clés de l'industrie. La plasturgie est l'industrie de transformation des matières plastiques (polymères) en pièces finies.

Derrière tout usage des matières plastiques, il y a un matériau polymère et un procédé de mise en forme de celui-ci. C'est dire l'importance de :

- la connaissance de la physico-chimie du polymère, de sa microstructure et de son comportement rhéologique et mécanique ;
- la maîtrise du procédé thermomécanique qui transforme la matière première en produit fini. L'optimum du procédé de mise en forme est une notion qui comprend le temps de cycle, la consommation énergétique de l'outillage et son usure, les propriétés mécaniques de la pièce obtenue (tenue aux chocs), l'état de sa surface (aspect), ses dimensions et sa densité.[2]

Le procédé d'injection plastique occupe une place particulière par rapport aux autres procédés de mise en forme des matières plastique, il transforme le quart des produits en plastique et exploite la totalité des ressources. Pour obtenir une pièce par injection plusieurs ressources sont utilisées, outre le personnel qualifié pour des opérations de réglages, contrôle et suivi, on trouve les presses d'injection plastique, qui peuvent être horizontale, verticale, bi-vis ou des presses spéciales, enfin le moule qui constitue le composant de base puisqu'il offre à la matière la forme de la pièce voulue.

## **I-2 Description d'une presse à injection**

Les machines employées en injection plastique sont des presses à injecter. Elles sont utilisées pour des productions de grandes et 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 principales sont : buse, plateau mobile, plateau fixe, collier chauffant, trémie d'alimentation, vis sans fin (ou vis de plastification), système d'évacuation, mécanisme de fermeture et 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.

### **I-3 Le processus d'injection**

Les matières plastiques susceptibles d'être moulées se présentent à froid sous forme de granulés de poudre, pour qu'elles soient aptes à prendre la forme du moule les matières plastiques devront être rendu fluide par la chaleur et ainsi transformé en pate visqueuse.

La transformation de ces métiers exige aussi un organe capable d'exercer sur l'outillage un effort de fermeture suffisant. Injecter sous haute pression les matières plastiques ramollies sous l'effet de la chaleur dans le moule. Dans cette phase, il faut s'assurer que le moule soit complètement rempli (moule fermé) avant que le matériau ne se solidifie. Voilà pourquoi on continue à envoyer de la matière sous-pression, afin de pallier au retrait qui s'exerce lorsque la matière refroidit. Après la phase de l'injection la matière plastique prend la forme de l'empreinte du moule après refroidissement, la pièce est éjectée du moule, le refroidissement se fait par circulation d'eau froide dans le circuit de refroidissement du moule.

### **I-4 Les différentes parties d'une presse à injection**

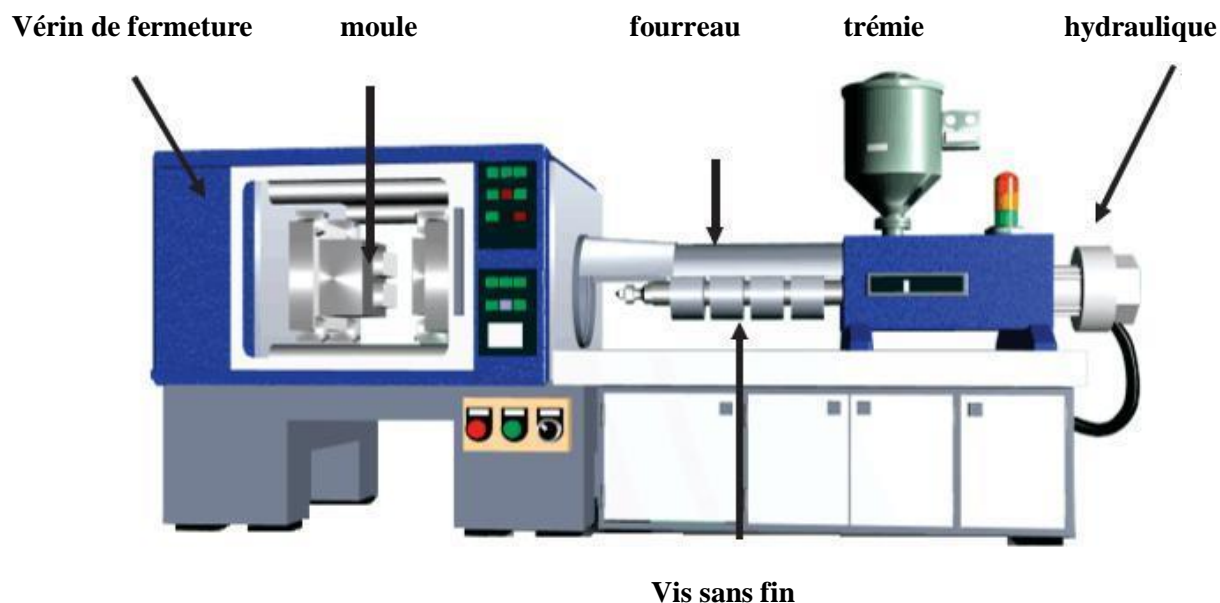
La presse à injecter est composée de 2 parties : Le groupe d'injection plastification et le groupe de fermeture. Ces deux fonctions permettent la fusion et le transfert de la matière fondue dans le moule.

Les fonctions du groupe d'injection sont les suivantes :

- Alimentation en granulés
- Fusion de la matière : transformation des granulés en état visqueux.
- Dosage de la matière injectée.
- Injection de la matière fondue sous pression.

Les fonctions du groupe de fermeture :

Le groupe de fermeture permet le verrouillage, l'ouverture et la fermeture du moule, ainsi que l'éjection des pièces.



**Figure I-1** Différentes parties d'une presse a injection.

#### **I-4-1 Unité d'injection**

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



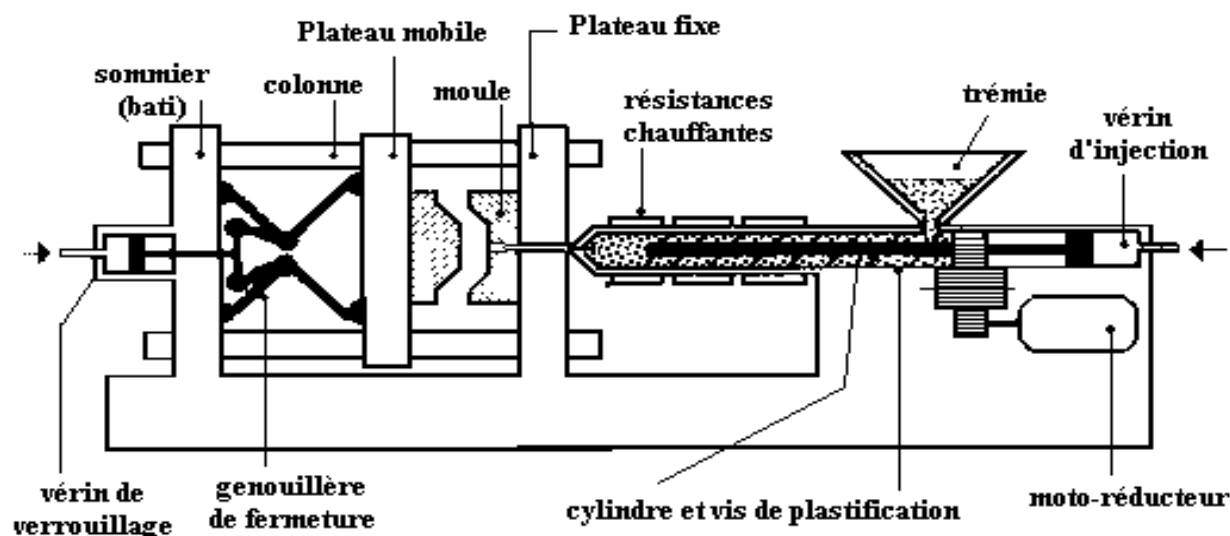


Figure I-2 Différentes parties d'une presse à injection plastique.

#### I-4-2 Unité de verrouillage

Il existe trois types de fermetures pour les machines à injection plastique : les fermetures mécaniques, hydrauliques et mixtes.

Les fermetures

-La fermeture mécanique (elle peut être simple ou double). Les mouvements sont assurés par un vérin. Cette technique est quand même appelée mécanique car la pression durant le verrouillage est faite par des genouillères. Lorsque l'on utilise une fermeture double, la force est plus importante.

-La fermeture hydraulique : elle ne présente pas de mouvements mécaniques. Les mouvements du plateau sont des mouvements hydrauliques. Le vérin principal a pour rôle de faire l'intermédiaire entre les deux plateaux. Le second vérin, de taille petite sert au verrouillage de la fermeture.

-La fermeture mixte : ce procédé, quant à lui, mixe vraiment les deux procédés. En effet, d'une part les différents mouvements se font par des genouillères et d'autre part le verrouillage se fait par un ou plusieurs vérins hydrauliques.

### I-4-2-1 Avantages de chacune des fermetures

#### a) Fermeture mécanique

À l'avantage d'être facile à utiliser et la vitesse de fermeture diminue de façon naturelle. De plus, le diamètre du vérin est faible, ce qui facilite l'opération.

#### b) Fermeture hydraulique

Il y a un effort à faire lors de la fermeture, les réglages sont simples à effectuer et elle est dotée d'une grande sécurité.

#### c) Fermeture mixte

Quant à elle, permet une fabrication et un entretien correct. Son réglage est également très facile.

#### d) L'unité de fermeture

L'unité de fermeture regroupe trois éléments : l'ouverture, la fermeture ainsi que le verrouillage. L'ensemble de ces éléments permet d'actionner la partie mobile de la presse sur la partie fixe. Le but est que l'unité de fermeture s'oppose à l'effort.

#### e) La force de fermeture

Elle sert à ce que le moule reste bien fermé durant toute la durée de l'opération. Cette force doit toujours être supérieure à la pression de l'injection.

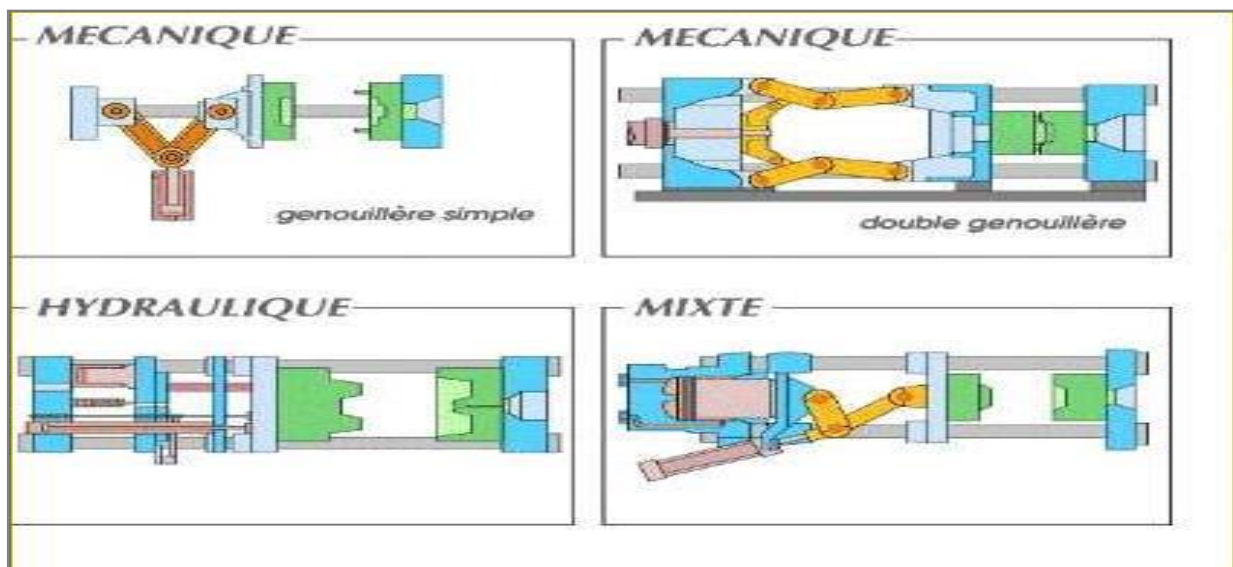


Figure I-3 Unité de verrouillage.

### I-4-3 Outillage

Le moulage par injection se fait grâce à une machine (presse à injection), la presse à injection est essentiellement composée de deux parties.

1. Cylindre de plastification qui transforme le polymère (PET) sous forme de granulés en état liquide à travers le passage de ce dernier dans le cylindre chauffée à haute température « résistance » jusqu'au seuil d'injection.
2. le moule qui subit les opérations suivantes :
  - Fermeture après réception du polymère fondu.
  - Remplissage en polymère fondu.
  - Le refroidissement de la matière dans le moule se fait de façon régulière et progressive afin d'assurer une production en série du modèle désiré.
  - Ejection du modèle fini.

### I-4-4 Moule

Le moule est l'outil utilisé en injection des matières plastiques, qui remplit plusieurs fonctions et il a pour but de donner à la matière une forme finale nommée pièce ou article. Le moule doit généralement remplir des fonctions, de moulage, éjection, guidage et refroidissements, plusieurs familles de moules trouvent leurs justifications en fonction du.

- Le nombre d'empreintes (1, 2, 4, 8, 16, 32 ...).
- Son architecture : nombre de plaques, tiroirs, coquilles
- Le système d'alimentation : carotte perdue, canaux chauffants
- Le type d'alimentation des empreintes : pin point, en masse, en parapluie, sous-marine, en ligne, en "n" points
- L'éjection des pièces (par éjecteur, bloc d'éjection ou autres)
- La régulation de la température
- La durée de vie (choix des matériaux) En fonction de ces paramètres on site les grandes familles de moules sont :  $f$ 
  - Moule standard (cylindrique ou cubique)  $f$
  - Moule 3 plaques
  - Moule multi plaque  $f$
  - Moule à dévissage.
  - Moule à tiroir, Moule à coins

La conception du moule influe de manière décisive sur la qualité et l'économie de la pièce injectée. L'aspect de la pièce, sa résistance mécanique, sa ténacité, ses cotes, sa forme et son coût dépendent de la qualité du moule.

Pour satisfaire les besoins de la production, quatre fonctions essentielles doivent être prévues lors de la conception de l'outillage.

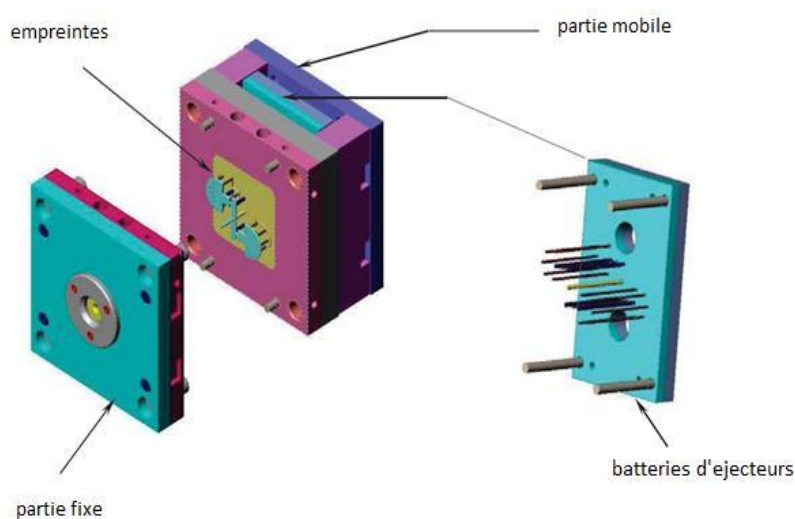
- Mise en forme de l'objet.
- Alimentation des canaux en matière.
- Refroidissement.
- Extraction des pièces.

L'étude du moule consiste à concevoir des formes en vue de réaliser au mieux ces fonctions, compte tenu des techniques d'exécution possibles. Un moule d'injection pour thermoplastique doit au cours d'une opération complète de production (cycle) passer par les phases suivantes:

- Fermeture du moule.
- Injection.
- Refroidissement.
- Ouverture du moule.
- Ejection.

La plupart des moules sont conçus selon le schéma ci-dessous. Dans un moule nous trouvons donc :

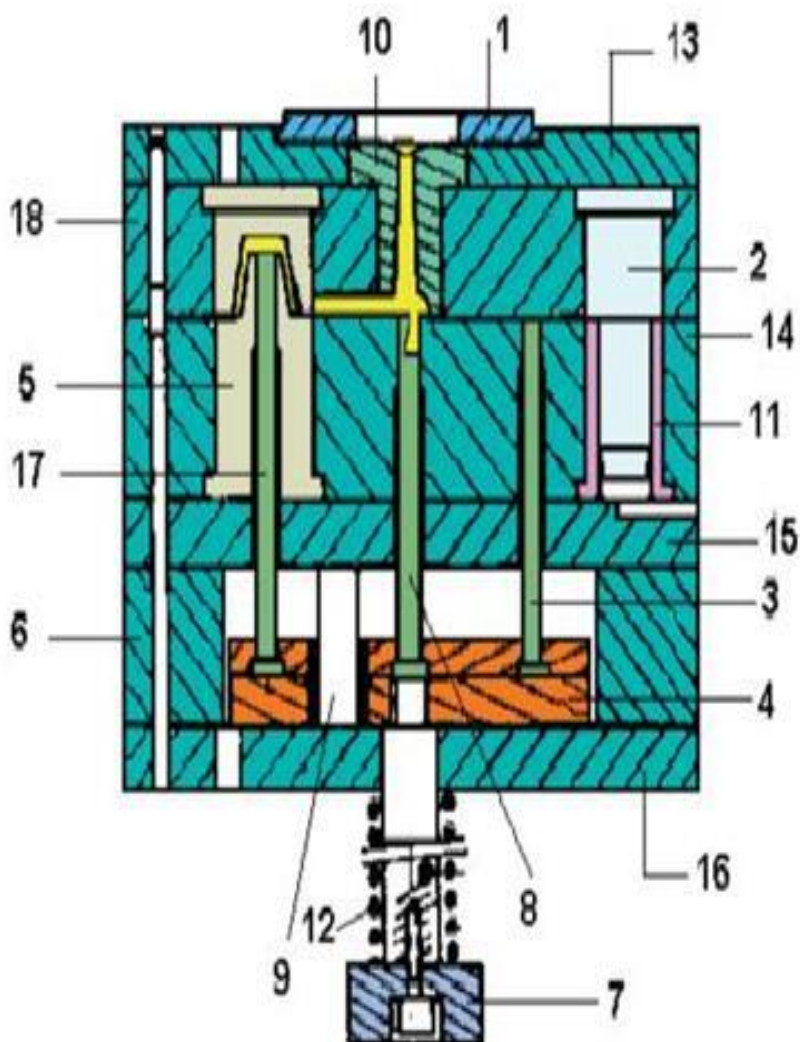
- Une partie fixe- Une partie mobile- Batterie d'éjecteurs[4]



**Figure I-4** Différentes parties d'un moule.

## Nomenclature

1. Bague de centrage.
2. Colonne de guidage.
3. Rappel d'éjection.
4. Plaque d'éjection.
5. Empreinte.
6. Tasseaux.
7. Queue d'éjection.
8. Arrache carotte.
9. Plot de soutien.
10. Contre buse.
11. Bague de guidage.
12. Ressort de rappel.
13. Plaque de fixation A.V.
14. Plaque porte empreinte Inf.
15. Plaque intermédiaire.
16. Plaque de fixation A.R.
17. Ejecteur.
18. Plaque porte empreinte Sup.

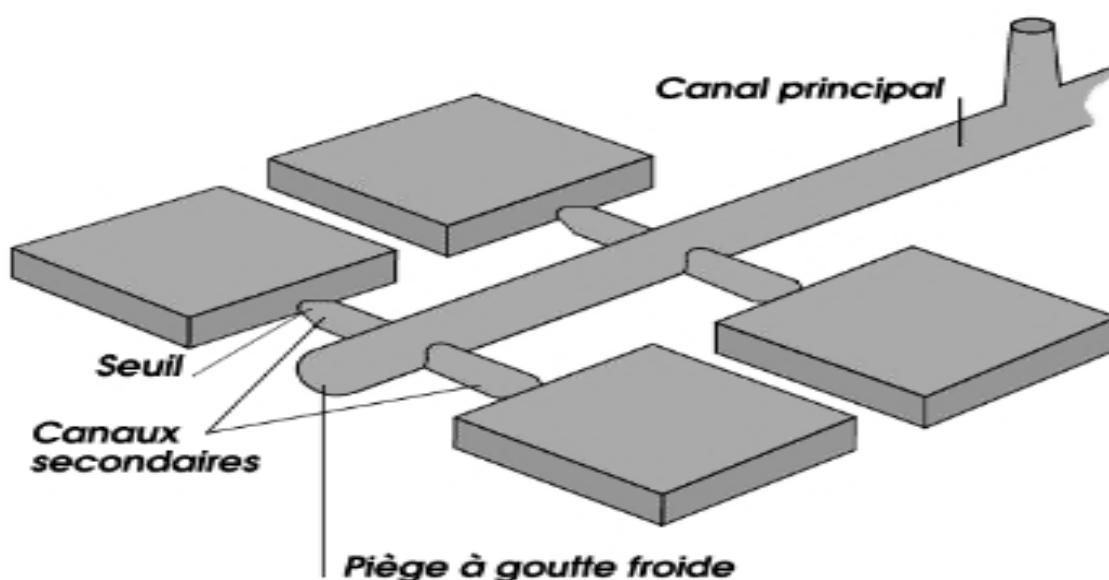


**Figure I-5** Composant d'un moule à injection plastique.

### I-4-5 Canaux du moule

La matière plastique fondue, préparée dans le dispositif de plastification (chargé d'assurer la fusion) de la presse à mouler, doit être transférée vers les cavités du moule au moyen d'un réseau de canaux dans lequel on peut distinguer:

- Le canal de la carotte " canal principal ".
- Les canaux de répartition ou de distribution "canaux secondaires ".
- Attaque ou seuil d'alimentation.



**Figure I-6** Canaux d'alimentations.

Canaux de carotte : De forme tronconique, il conduit le plastique depuis l'orifice d'entrée du moule jusqu'au plan de joint de conicité facilite l'extraction de la matière. Il est bon d'arrondir la base du canal de carotte, pour améliorer l'écoulement de la matière en fusion.

#### I-4-5-1 Canaux de distribution:

Le canal de carotte alimente un réseau de canaux de distribution, principaux et secondaires. Les matières plastiques en fusion sont des fluides dits viscoélastique n'obéissant pas aux lois des fluides visqueux élastiques tels que l'eau ou l'huile.

Il n'y a pas d'étude théorique applicable d'une manière simple à la détermination pratique des canaux usinés dans les moules.

Le tableau I.1 donne quelques recommandations sur les dimensions des canaux [5].

Epaisseur en [mm]	Longueur canal [mm]	Diamètre mini en[mm]
0.5 à 1.5	50.8	3.2
1.5 à 3.8	101.8	3.2
3.8 à 6.4	101.6	4.8 à 6.4 ou 7.9

**Tableau I-1** Dimensions des canaux.

### I-5 La buse

Une buse est un embout placé à l'extrémité d'un fourreau dans lequel circule un ou plusieurs fluides destinés à injecter un fluide dans un réceptacle (moule). Elles assurent le transfert de la matière fondue sortie de l'unité de plastification par la buse « Machine » jusqu'à la pièce par la buse « Outillage » soit directement ou par un canal d'alimentation.

- Pour certains cas, la buse outillage est directement remplacée par la buse machine
- Pour certains cas particuliers, la buse outillage ou buse directe, est définie par la matière injectée.

Le transfert peut se faire au plus proche de la pièce grâce à des systèmes dit « BLOC CHAUD ». On distingue plusieurs types de buse moule en fonction de la pièce, la matière et le moule.

- Buses Directes
- Buses Chauffantes Directes.
- Buses Chauffantes à Obturation.
- Blocs Chauds et Busettes d'alimentation directes
- Blocs Chauds et Busettes à Obturation»

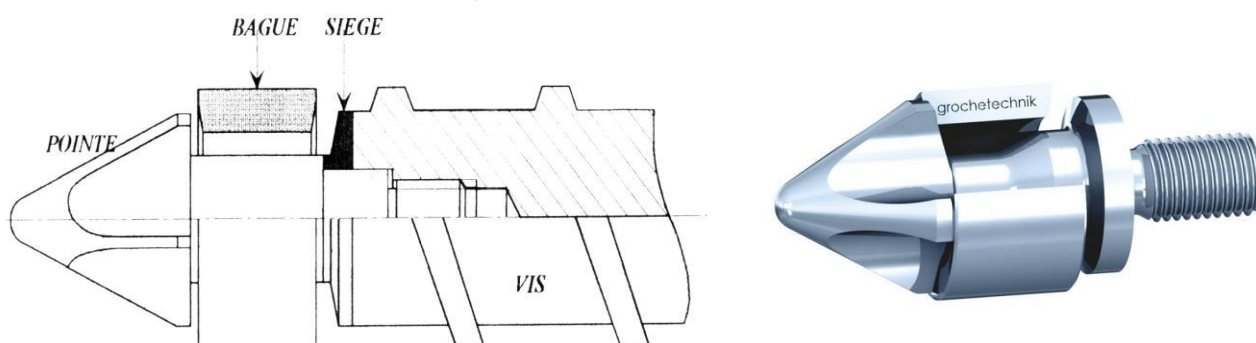
### I-6 rôle du Clapet

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



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

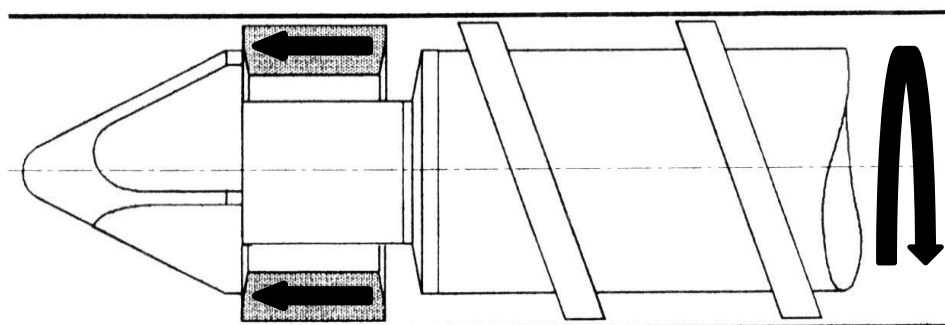
Le rôle du clapet (clapet anti-retour) est de laisser passer la matière vers l'avant durant le dosage et d'empêcher le refoulement vers l'arrière.[6]



**Figure I-7** Clapet anti-retour.

#### a) Phase de plastification

La bague, poussée par la matière vient en appui sur la pointe Injection

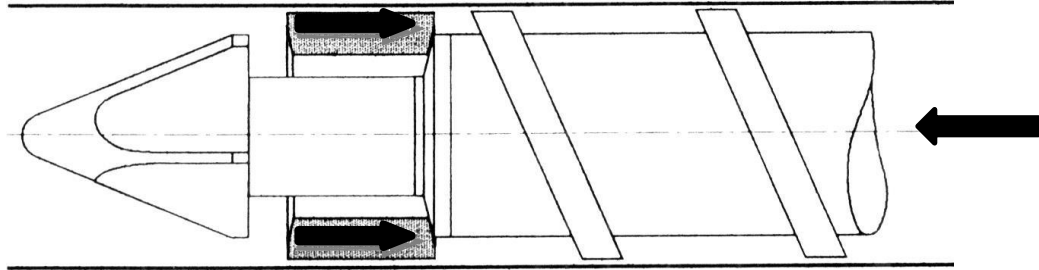


**Figure I-8** Clapet anti retour phase de plastification.



### b) Phase injection

La bague est refoulée sur le siège du clapet assurant l'étanchéité



**Figure I-9** Clapet anti retour phase d'injection.

## I-7 La vis de plastification

C'est l'élément le plus important de la presse à injecter. Le but étant de plastifier une matière sans lui faire perdre de ses caractéristiques au moment du passage en fusion. Elle assure deux fonctions essentielles :

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

Elle est composée de 3 zones :

### a) Zone d'alimentation

Alimenter et transporter les granulés à l'intérieur du cylindre Dans cette zone, la profondeur des filets de la vis est importante, et reste constante.

### b) Zone de compression

Dans cette zone la profondeur des filets diminue progressivement puis viennent la compression et le cisaillement de la matière. En fin les résistances chauffantes provoquent la fusion des granulés.

### c) Zone d'homogénéisation

Dans cette zone, la profondeur redevient constante, ce qui permet d'homogénéiser la masse de matière fondue et de bien mélanger les additifs.

Les longueurs de ces différentes zones et leur profil peut être différent, On retrouvera :

- Vis à profil pour matières amorphes.
- Vis pour matières semi-cristallines

- Vis pour matières spécifiques



**Figure I-10** Vis pour matières amorphes.



**Figure I-11** Vis pour matières semi-cristallines.

## **I-8 Différents types de presse injection plastique**

Il existe plusieurs types de presses d'injection plastiques chacun selon son domaine d'utilisation.

- Presse à injection horizontale
- Presse verticale
- Presse d'angle et bi-matière
- Presse spéciale

### **I-8-1 Presses à injection horizontale**

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.



**Figure I-12** Presse à injection horizontale.

### **I 8-2 Presses à injection vertical**

Cette situation donne à la presse un faible encombrement au sol, mais la hauteur est gênante pour l'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.



**Figure I-13** Presse à injection verticale.

## **I-9 Le cycle de moulage par injection**

À la différence de la plastification en extrusion qui est un phénomène 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.

### **I-9-1-1 Les étapes du procédé**

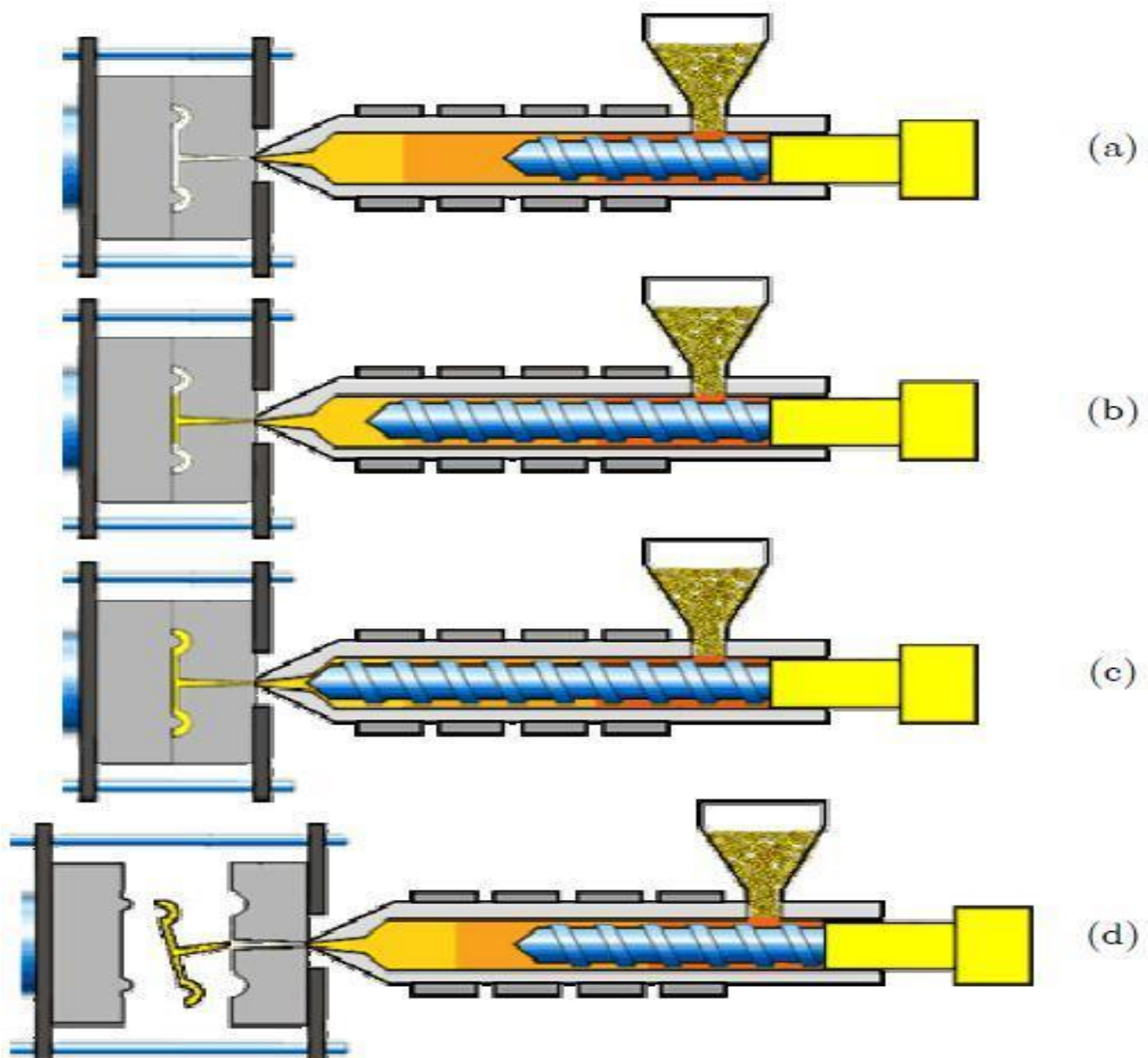
Le procédé d'injection se déroule en cinq étapes :

-la phase de dosage (Figure I-14-a) : Les granules de polymère tombent depuis une trémie dans un ensemble vis-fourreau. Ils sont ensuite fondus progressivement par actions conjuguées des colliers chauffant le fourreau, du cisaillement de la matière, provoqué par la rotation de la vis et la friction des granules (entre eux et contre les parois du fourreau et de la vis). La matière fondue est alors convoyée en avant de la vis (via un clapet anti-retour), dans l'espace créé par le recul progressif de cette dernière lors de sa rotation.

-la phase d'injection (Figure I-14-b) : 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 (Figure I-14-c) : 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 (Figure I-14-d) : 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 (Figure I-14-d) : Le moule s'ouvre, et la pièce formée est éjectée du moule.[3]



**Figure I-14** Différentes étapes d'injection.

## **I-10 Généralité sur les polymères**

Les matériaux polymères sont généralement utilisés pour leurs propriétés mécaniques particulières et leur aptitude à être mis en œuvre. Ces qualités sont étroitement liées à leur structure et il est possible, à partir d'une structure moléculaire donnée, d'imaginer la morphologie qui en découle et les propriétés qui s'y rattachent.

Ce n'est que dans les années 1920 que la notion de macromolécule a commencé à être largement acceptée par la communauté scientifique. Herman Staudinger, professeur de chimie à l'École polytechnique fédérale de Zurich entre 1912 et 1926, ensuite professeur à Fribourg-Brisgau et notamment Prix Nobel de chimie en 1953, en a été l'un des principaux artisans.

Il a démontré que les matières polymères comme la cellulose, la soie et le caoutchouc étaient formées de longues chaînes moléculaires, qualifiées de macromolécules. Cette idée a ouvert la voie à une recherche plus systématique, tant chimique que physique, sur la synthèse, la structure et le comportement des polymères solides.

## **I-11 Définition d'un polymère**

On appelle polymère une grande molécule constituée d'unités fondamentales appelées monomères (ou motifs monomères) reliées par des liaisons covalentes. Un monomère est un composé constitué de molécules simples pouvant réagir avec d'autres monomères pour donner un polymère.

Contrairement au polymère, un monomère a une faible masse moléculaire. Le terme macromolécule est souvent utilisé à la place de polymère.

Un homopolymère est un polymère qui comporte des motifs monomères tous identiques.

Un copolymère est un polymère qui comporte des motifs monomères de deux ou plus sortes différentes.

Les polymères peuvent être d'origine naturelle (animale ou végétale) ou d'origine synthétique. Les macromolécules naturelles sont les caoutchoucs, les polysaccharides, le glycogène, l'ADN, les protéines... Les macromolécules synthétiques sont représentées par exemple par le polyéthylène, le polypropylène, le polystyrène, le PVC, le PTFE, les polyesters, les polycarbonates, les polysiloxanes, les polyimides.

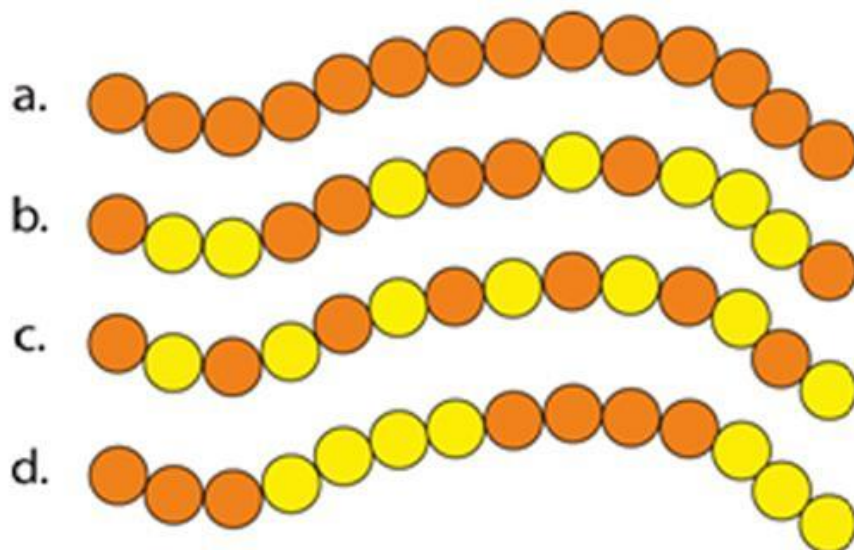


### I-11-1 Structure des polymères

Les polymères peuvent présenter des architectures extrêmement variables. Ils peuvent être linéaires, ramifiés ou réticulés. Le plus souvent, ils sont amorphes, parfois ils peuvent être, au moins partiellement, cristallisés.

### I-11-2 Polymère linéaire

Les polymères linéaires sont constitués de grandes chaînes de monomères reliés entre eux par des liaisons covalentes. Ces macromolécules sont liées entre elles par des liaisons secondaires qui assurent la stabilité du polymère. Ces liaisons secondaires sont des liaisons ou ponts hydrogène ou des liaisons de Van der Waals. Lorsque ces liaisons existent, le matériau devient rigide et présente un comportement de solide. Si la température s'élève, l'agitation moléculaire qui en résulte va rompre progressivement ces liaisons secondaires. Le matériau va pouvoir s'écouler sous son propre poids : il présente alors le comportement d'un liquide visqueux. La température à laquelle se produit cette évolution s'appelle la température de transition vitreuse. La transition vitreuse correspond à l'apparition de mouvements de longs segments de chaîne et marque le passage de l'état vitreux à l'état caoutchouteux.

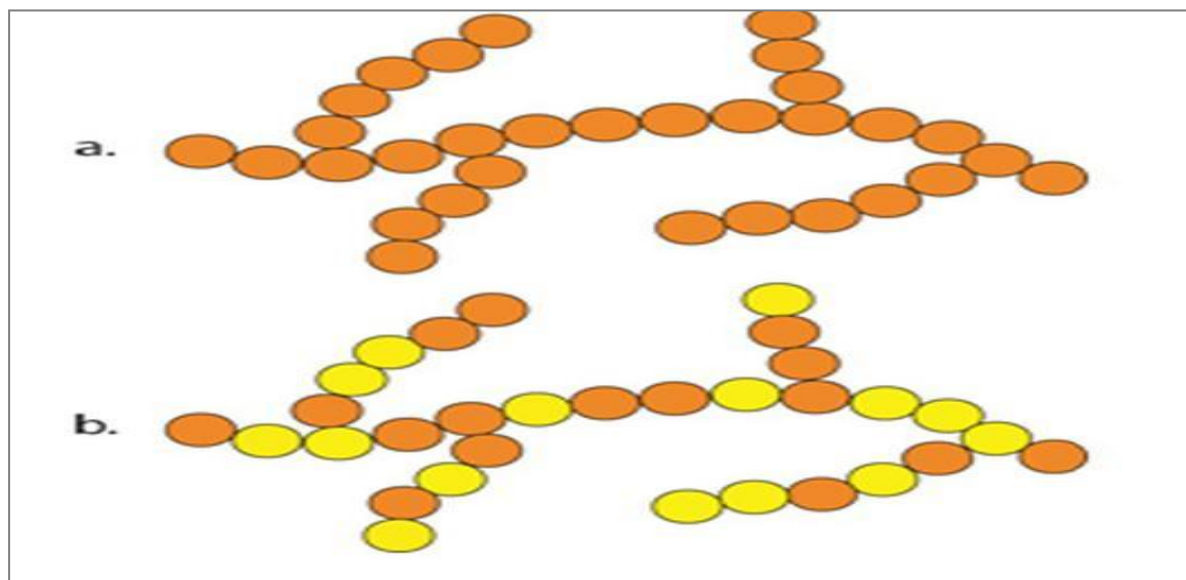


a : homopolymère, b : copolymère statistique, c : copolymère alterné, d : copolymère séquencé.

**Figure I-15** Polymère linéaire.

### I-11-3 Polymère ramifiés

Des chaînes homopolymériques ou copolymériques peuvent se greffer sur d'autres chaînes au cours de la polymérisation. Au-dessus de la température de transition vitreuse, ces matériaux présenteront un comportement visqueux plus marqué que les polymères linéaires.

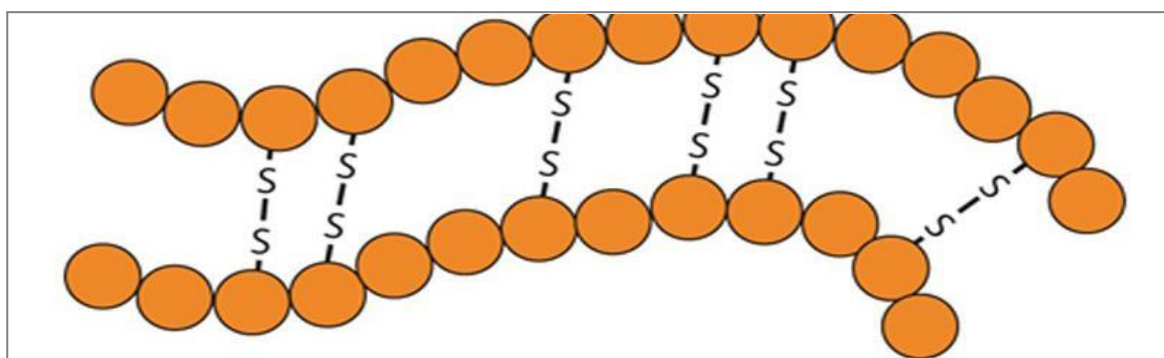


a : Homopolymère ramifié, b : copolymère ramifié.

**Figure I-16** Polymère ramifié.

### I-11-4 Polymère réticulé

La réticulation correspond à la formation de liaisons chimiques suivant les différentes directions de l'espace au cours d'une polymérisation, d'une polycondensation ou d'une polyaddition, et qui conduit à la formation d'un réseau.[7]



**Figure I-17** Polymère réticulé avec ponts disulfure reliant deux chaînes.



## I-12 Cas Polyéthylène de Téréphtalate (PET)

Parmi les polymères les plus courants, le polyéthylène téréphtalate (PET) occupe une place importante en raison de ses propriétés mécaniques et de sa facilité de mise en œuvre. Il est entre autres utilisé pour la fabrication de contenants alimentaires et pharmaceutiques, ainsi que pour certaines fibres vestimentaires.

### I-12-1 Présentation PET

Ce polymère, de la famille des polyesters, est composé d'un groupement éthylène et d'un groupement téréphtalate. Cette structure linéaire lui permet de s'empiler facilement et de cristalliser. Il peut coexister sous deux formes amorphes et semi-cristallines, dépendamment du traitement thermique qu'il a subi lors de la mise en œuvre. Par exemple, un refroidissement rapide du PET après la fusion mène à un polymère amorphe, alors qu'un retour lent à la température ambiante donne lieu à la formation de cristaux. Sous sa forme amorphe, le PET est un polymère malléable et transparent, alors que la formation de cristaux au sein de ce dernier le rend opaque et fragile selon le pourcentage de cristallinité. [8]

### I-12-2 La structure moléculaire

Le PET est un polyester thermoplastique linéaire obtenu par la réaction de l'éthylène glycol avec de l'acide téréphtalique. Le motif constitutif est formé d'un phényle, associé de chaque côté à un radical carboxyle (-COO-), dont l'un est relié à un radical éthyle. [9]

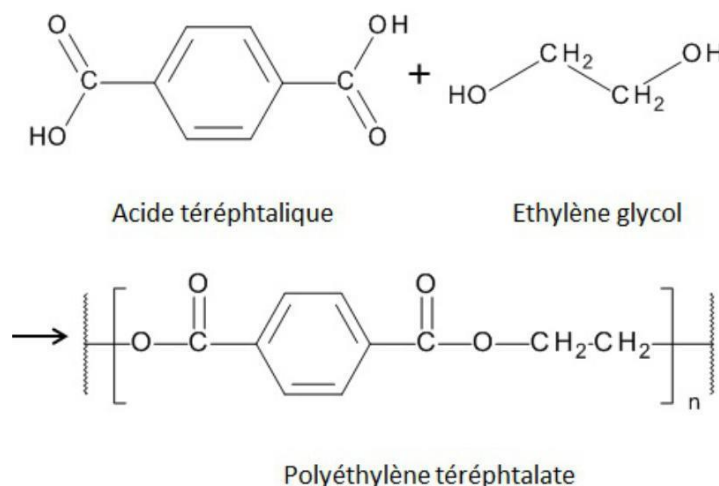


Figure I-18 Structure moléculaire du PET.

### **I-12-3 Propriétés de PET**

Le PET possède une température de transition vitreuse se situant autour de 80°C et une température de fusion élevée, environ 260°C, grâce à la présence d'un noyau benzénique. Le noyau confère aussi un aspect semi rigide au PET. Il possède également de bonnes propriétés mécaniques et thermiques, une grande résistance chimique et une faible perméabilité aux gaz. Le PET est un polymère semi-cristallin, la masse volumique de la phase cristalline est de 1,515 g.cm<sup>-3</sup> et celle de la phase amorphe est de 1,335 g.cm<sup>-3</sup>. La température de transition vitreuse dépend de l'importance des contraintes, du volume libre et de l'espace entre les agrégats de cristallites. Ainsi elle est souvent plus élevée dans le cas d'un film de PET semi-cristallin que dans le cas d'un film amorphe. Toutefois dans le cas d'un échantillon cristallisé avec un recuit, si la distance entre les cristallites est suffisante pour ne pas gêner les mouvements coopératifs des chaînes macromoléculaires, la température de transition vitreuse peut être proche de celle d'un échantillon amorphe. Chapitre I. Etude Bibliographique. 6 Le tableau suivant regroupe les résultats obtenus par Sauer et al sur différents échantillons avec une vitesse de montée en température de 3,5°C.min<sup>-1</sup>. [10]

### **I-13 Les étapes de fabrication du PET**

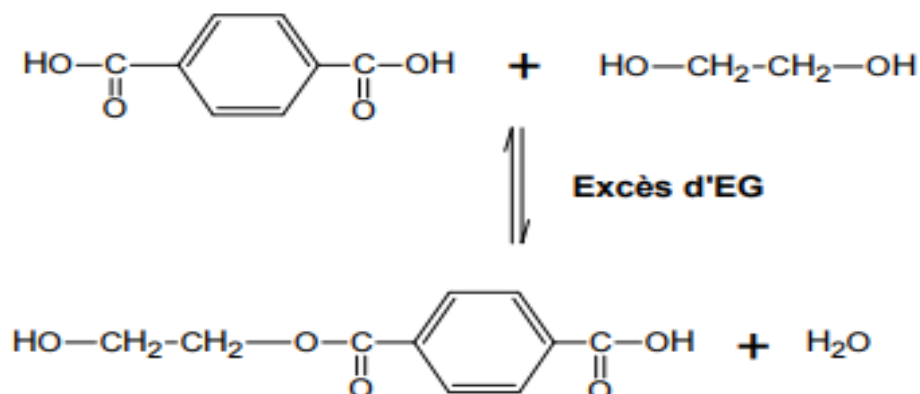
Le Polyéthylène Téréphtalate (PET) est un des plus importants polymères au niveau mondial avec 18% de la production totale de polymères, après le Polyéthylène et le Polypropylène. Les applications principales du PET sont les fibres en polyester (65% de la production de PET) et les résines pour les bouteilles (environ 30% du marché). Le PET est produit à partir d'éthylène glycol (EG) très pur et Acide Téréphtalique (TPA).

#### **I.13.1 Estérification**

La pré-polycondensation de l'acide téréphtalique (TA) et de l'éthylène glycol (EG) ne nécessite pas la présence d'un catalyseur puisque les groupements acides carboxyliques du TA sont réactifs et catalytiques (figure II-17). La réaction se fait néanmoins à haute température (230-260°C) et sous vide (0,3-0,5 MPa) jusqu'à ce que le rapport [EG]/ [TA] soit compris entre 1,3 et 1,5. L'eau et l'EG en excès sont alors éliminés à la fin de cette réaction qui dure entre 3 et 4h. La réaction ne nécessite pas l'utilisation d'un catalyseur métallique.

L'étape de polycondensation est commune aux deux voies de synthèse. Elle est catalysée par des sels métalliques, essentiellement par Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et GeO<sub>2</sub>. La réaction a lieu entre 280 et 300°C, sous vide (10-50 Pa), et par élimination progressive de l'excès en EG. La viscosité du

mélange augmente fortement au cours de la polymérisation, ce qui nécessite l'augmentation de la température en cours de réaction. Cela génère des réactions secondaires qui peuvent modifier fortement les propriétés du polymère obtenu. [11]



**Figure I-19** Réaction d'estérification entre l'acide téréphtalique et l'éthylène glycol.

### I-13-2 - La polycondensation

La polycondensation à l'état solide permet d'augmenter la masse molaire – en d'autres termes la viscosité – du polymère sans qu'il ne soit soumis à de hautes températures, évitant ainsi les réactions parasites de dégradation des chaînes. Le polymère est porté à une température comprise entre la température de transition vitreuse et la température de fusion, permettant ainsi la mobilité des chaînes et la diffusion de monomères encore présents dans le matériau. La polycondensation à l'état solide se fait en présence d'un catalyseur métallique, souvent de même nature que la polycondensation à l'état fondu [12].

Il est également possible de favoriser la polycondensation du polymère par gonflement dans un solvant [13]. Celui-ci ne doit pas mener à la solubilisation totale du polymère. Le gonflement permet ainsi d'augmenter la surface spécifique des paillettes de PET et favorise le contact avec des zones réactives telles que les fins de chaînes acides carboxyliques. L'utilisation d'un solvant permet d'obtenir de grandes masses, mais nécessite l'utilisation de hautes températures – entre 200 et 240°C selon les solvants.

## **I-14 Les caractéristique technique du PET**

### **Propriétés**

- Excellente transparence et brillance.
- Disponible avec protection UV.
- Haute résistance à l'impact, proche de celle du Polycarbonate.
- Thermo-formable, ne demande pas de séchage préalable.
- Pour les applications basées sur l'impact on peut utiliser des épaisseurs inférieures à celles des plaques acryliques avec de meilleurs résultats.
- Excellente résistance au feu, faible génération de fumée, non toxique.
- Recyclable, respectueux de l'environnement, totalement combustible, sans émission de dioxine ni d'autres substances toxiques polluantes pour les décharges publiques.
- Ductile, valeurs d'élongation à la rupture semblable au polycarbonate.
- Excellente résistance chimique.
- Réduit la transmission de bruit.
- Peut s'utiliser en contact avec les produits alimentaires.
- 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.

### **Résistance Chimique**

- Les plaques en PET résistent généralement à la plupart des acides, alcools et sels, ainsi qu'aux plastifiants.
- Elles sont également résistantes aux hydrocarbures comme le xylène, les huiles minérales et le pétrole. La résistance aux hydrocarbures aliphatiques est limitée.
- De la même manière, les plaques en PET résistent aussi à l'agression chimique de la pluie acide, aux gaz d'échappement des moteurs diesel et à l'air contenant une certaine salinité. Les composants aromatiques produisent diverses réactions.

### **Usage alimentaire et sanitaire**

- Les plaques en PET (à l'exception de la version UV) remplissent les conditions de la FDA (Food and Drug Administration, USA), et de la BGA (Bundes-gesundheitsamt, Allemagne), normes concernant les usages alimentaires.
- Le PET est inodore et insipide, ce qui rend les plaques NUDECPET aptes aux usages alimentaires et aux applications médicales.

- Les plaques en PET peuvent être stérilisées aux rayons gamma ou à l'oxyde d'éthylène.

**Applications**

- Vitrages de sécurité (bijouteries et banques)
- Signalisations et enseignes
- Protection de machines
- Articles à usage alimentaire et sanitaire
- Éclairage
- Distributeurs automatiques et machines à jeux
- Présentoirs et autres éléments publicitaires
- Mobilier urbain (anti-vandalisme)
- Composants pour le bâtiment

# **Chapitre II :**

## Etude technologique du procédé de soufflage plastique

### II-1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons parler du soufflage plastique et de deux types de machines à transformation plastique (presse à injection et souffleuse PET). Ces deux types de machines sont utilisés pour la fabrication de plusieurs types de produits plastiques, mais nous allons nous baser essentiellement sur la fabrication de bouchons et bouteilles PET. Il existe plusieurs marques de presses injection et souffleuses PET chacune selon les exigences du client (qualité, prix).

Dans notre entreprise nous utilisons deux marques de renommé mondial que sont (BILLON, MEGA Machinery), la première pour l'injection plastique dont nous avons parlé dans le chapitre précédent et la seconde pour le soufflage.

Créée par M. Léon Billion en 1949, l'entreprise possède une longue expérience dans la conception et la fabrication de presses à injecter les matières plastiques.

Billion est un fournisseur de solutions et un partenaire de services pour les transformateurs du monde entier. Son siège social est situé dans la Vallée française, au cœur de l'Europe. A l'international, un large réseau d'agents et de filiales représentent leurs savoir-faire et leurs expertises. Spécialiste de la multi-injection, Billion détient aussi un savoir-faire dans de nombreuses technologies de transformation.

Mega Machinery est le premier fabricant de machines de moulage par étirage-soufflage, de moulage par extrusion-soufflage, de moulage par injection et de moulage par injection de plastique en Chine. Son département d'emballage se concentre sur une large gamme de systèmes de moulage de préformes en PET, de lignes de production de moules de fermeture, d'équipements de moulage par étirage-soufflage et de machines de moulage par extrusion-soufflage. Département de moulage par injection est dédié dans divers moule en plastique, tels que les moules pour automobiles, palette, caisse. Mega services à l'industrie mondiale des plastiques.

### II-2 Différents types de soufflage plastique

Il existe plusieurs méthodes de mises en œuvre pour transformer les polymères ou mélanges polymères en semi-produits ou en produits finis. Parmi ces procédés le soufflage dont on distingue deux types l'injection et l'extrusion.

#### II-2-1 L'extrusion soufflage

Technique dérivée de l'extrusion permet l'obtention de corps creux. La technique consiste à extruder un tube/gaine chaud. Un moule se referme sur le tube chaud en sortie de l'extrudeuse. Le tube est soufflé avec de l'air par l'axe de la tête-filière utilisé pour épouser la





forme du moule. Le moule est refroidi et fige le thermoplastique dans la forme désirée. Cette technique est réservée aux thermoplastiques.

### II-2-1-1 Machine à extrusion-soufflage

L'extrudeuse est composée d'une vis d'extrusion placée dans un fourreau fixe transformant la matière solide en un flux homogène de plastique fondu. La matière fondue est alors transférée vers la tête d'extrusion (poinçon filière) qui règle la forme et l'épaisseur de la paraison. La forme désirée de la pièce à fabriquer est découpée dans un moule. La paraison est gonflée par injection d'air contre les parois du moule. Le moule comporte des canaux de refroidissement afin d'évacuer la chaleur du plastique pour solidifier le produit.

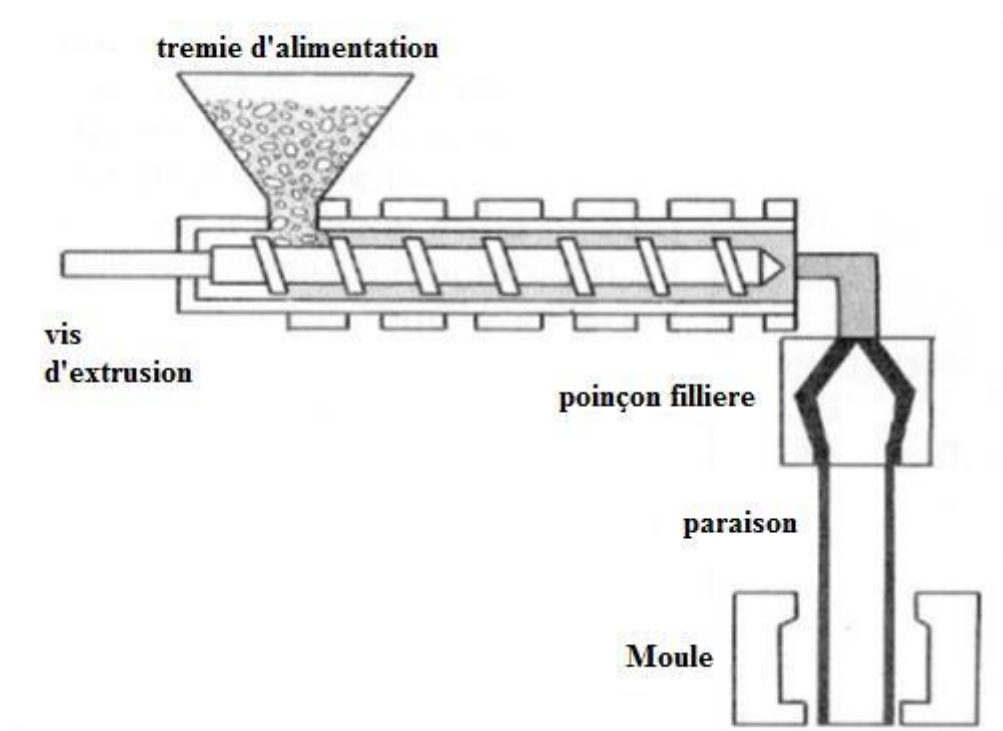


Figure II-1 Procède d'extrusion soufflage.

### II-2-2 L'injection soufflage

Le procédé d'injection-soufflage en cycle froid est utilisé pour la fabrication de corps creux, tels que les bouteilles ou les flacons, destinés au conditionnement des eaux minérales plates ou gazeuses, des jus de fruits, ou encore des boissons carbonatées. A l'heure actuelle, ce procédé permet d'atteindre des cadences de production de l'ordre de 60 000 bouteilles par heure. Sur un marché de grande consommation comme celui de la boisson, ces hautes cadences sont nécessaires pour une bonne rentabilité. Le procédé d'injection-soufflage

s'adresse essentiellement à des matières thermoplastiques. Citons par exemple le polypropylène (PP), ou encore le polylactide (PLA) qui est un polymère biocompostable issu de matières premières renouvelables. A l'heure actuelle, le poly (éthylène téréphtalate) (PET) reste toutefois le polymère le plus utilisé pour la fabrication des bouteilles par injection-soufflage.[14]

Cette technique se différencie de l'injection soufflage par l'étirage bi-axial de la matière. Dans ce cas on bénéficie des avantages de l'orientation des macromolécules dans les directions d'utilisation de la matière.

- L'étirage dans l'axe de l'objet se fait par un piston et un soufflage léger, les molécules s'orientent dans l'axe de l'objet
- L'étirage radial se fait par soufflage



Figure II-2 Souffleuse a injection plastique.

### II-3 Principe général du procédé d'injection-soufflage en cycle froid

#### II-3-1 Fabrication de la préforme

Le procédé d'injection-soufflage requiert la fabrication préalable d'un semi-produit, appelé préforme. Il s'agit d'une pièce cylindrique creuse, moulée par injection à partir de résine de PET. Cette préforme sera par la suite conformée en bouteille par une opération d'étirage-

soufflage. Lorsque l'injection de la préforme et le soufflage sont réalisés en ligne, le procédé est dit en cycle chaud (où "one-step"). En revanche, si à l'issue de sa fabrication la préforme est stockée pour être soufflée ultérieurement (éventuellement sur un autre site de production) le procédé est dit en cycle froid (où "two-steps") [15]. Cette seconde variante présente l'avantage de découpler la fabrication de la préforme de celle de la bouteille, ce qui permet de mieux gérer les flux de production et les éventuelles pannes. En contrepartie, elle génère des problèmes de stockage, ainsi que des problèmes de dégradation des préformes, notamment du fait de l'augmentation de leur taux d'humidité.

Notre production étant limitée au procédé d'injection-soufflage en cycle froid, les préformes doivent impérativement être injectées à l'état amorphe. Pour cela, le PET, injecté à l'état fondu, est trempé dans le moule de la presse à injecter. En pratique, les moules d'injection sont réglés en température grâce à des canaux de refroidissement. Les vitesses de refroidissement (environ  $300\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ ) sont alors suffisamment élevées pour limiter la cristallisation thermique du PET. [16]

Les préformes sont dimensionnées en fonction de la géométrie de la bouteille que l'on souhaite fabriquer, et des propriétés mécaniques du PET mis en œuvre. Pour une bouteille de 1.5 litre par exemple, la préforme aura typiquement une épaisseur comprise entre 3 et 4 mm, un diamètre variant de 20 à 30 mm, une hauteur d'environ 100 mm, pour un poids total avoisinant 26 grammes. La figure II-3 illustre un exemple de préformes destinées à la fabrication de bouteilles d'eau minérale

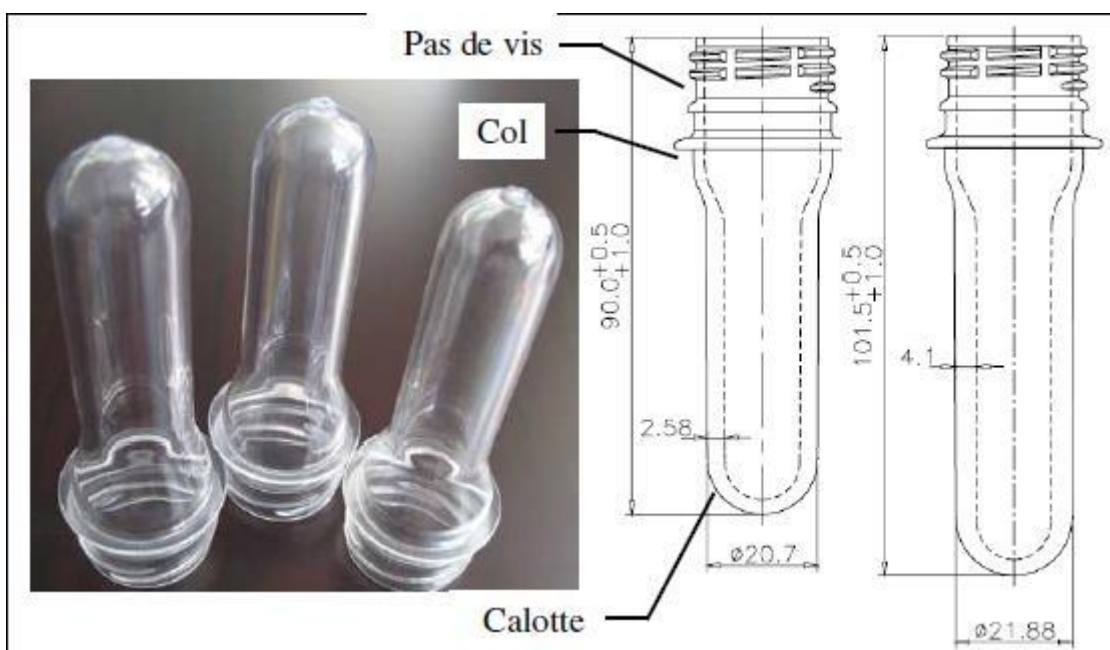


Figure II-3 Préforme PET.

### II-3-2 Mise en forme de la bouteille

A l'issue de la période de stockage, la préforme est acheminée vers une machine de soufflage à l'aide d'une rampe d'accès. La bouteille est alors fabriquée en deux étapes (FIG-II-4).

#### a) Conditionnement thermique de la préforme :

La préforme étant stockée à la température ambiante (soit approximativement 20°C), une étape de conditionnement thermique est nécessaire afin d'amener sa température au-delà de la température de transition vitreuse du PET (qui est d'environ 80°C). La gamme de température de formage est typiquement comprise entre 90 et 110°C pour le PET. Sur cette plage de températures, le PET adopte un comportement visqueux-caoutchouteux caractérisé, entre autres, par une forte élasticité qui autorise des taux de déformation pouvant atteindre 500 %.

Le conditionnement thermique est réalisé par le passage de la préforme dans un four infrarouge (IR) (FIG-II-4). La composition du four IR, ainsi que ses différents paramètres de réglage, seront présentés en détail dans la partie consacrée aux systèmes de chauffage. Le PET étant semi transparent vis à vis du rayonnement IR, une fraction du rayonnement IR est absorbé dans l'épaisseur de la préforme, ce qui permet d'obtenir un chauffage "à cœur". Les temps de chauffage sont généralement de l'ordre de 15 s à 30 s. Nous présenterons ultérieurement les différentes problématiques relatives au chauffage des préformes.

#### b) Etirage-soufflage de la préforme :

A l'issue du conditionnement thermique, la préforme est acheminée vers le module de soufflage, et confinée dans un moule. La bouteille est alors mise en forme en trois étapes :

- Une phase d'étirage pure : la préforme est étirée longitudinalement à l'aide d'une canne dont la vitesse de déplacement vertical est comprise entre 200 mm.s<sup>-1</sup> et 1000 mm.s<sup>-1</sup>.

La canne peut éventuellement être réglée en température. Le taux d'étirage longitudinal est de l'ordre de 200 %.

- Une phase d'étirage-soufflage : après un certain déplacement de la canne, appelé Retard au Pré-Soufflage (RPS), de l'air sous pression est injecté à l'intérieur de la préforme afin d'assurer la déformation ortho-radiale. La pression nominale de pré-soufflage est de l'ordre de 8 bars. Les phases d'étirage et de pré-soufflage cumulées durent généralement moins de 0.6 s. Cette durée est toutefois suffisante pour assurer la mise en forme quasi-complète de la bouteille. Les vitesses de déformations peuvent atteindre 30 s<sup>-1</sup>. Le taux d'étirage radial peut atteindre plus de 500 %.

- Une phase de soufflage pure : cette dernière étape consiste à appliquer une pression plus importante (environ 40 bars) afin de finaliser la déformation, mais surtout de maintenir la

préforme en contact avec le moule contre lequel elle se refroidit. La température du moule est généralement régulée, par le biais de canaux de refroidissement, à des températures avoisinant 12 °C. La phase de soufflage dure 2 s à 3 s, elle est aussi la plus longue.

Enfin, après dégazage, la bouteille est éjectée puis acheminée vers les lignes de remplissage, et d'étiquetage.

Les paramètres de réglage modifiables par l'opérateur (pour la phase d'étirage-soufflage) sont les suivants :

- 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-soufflage.
- La durée du pré-soufflage.
- 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 de la bouteille.

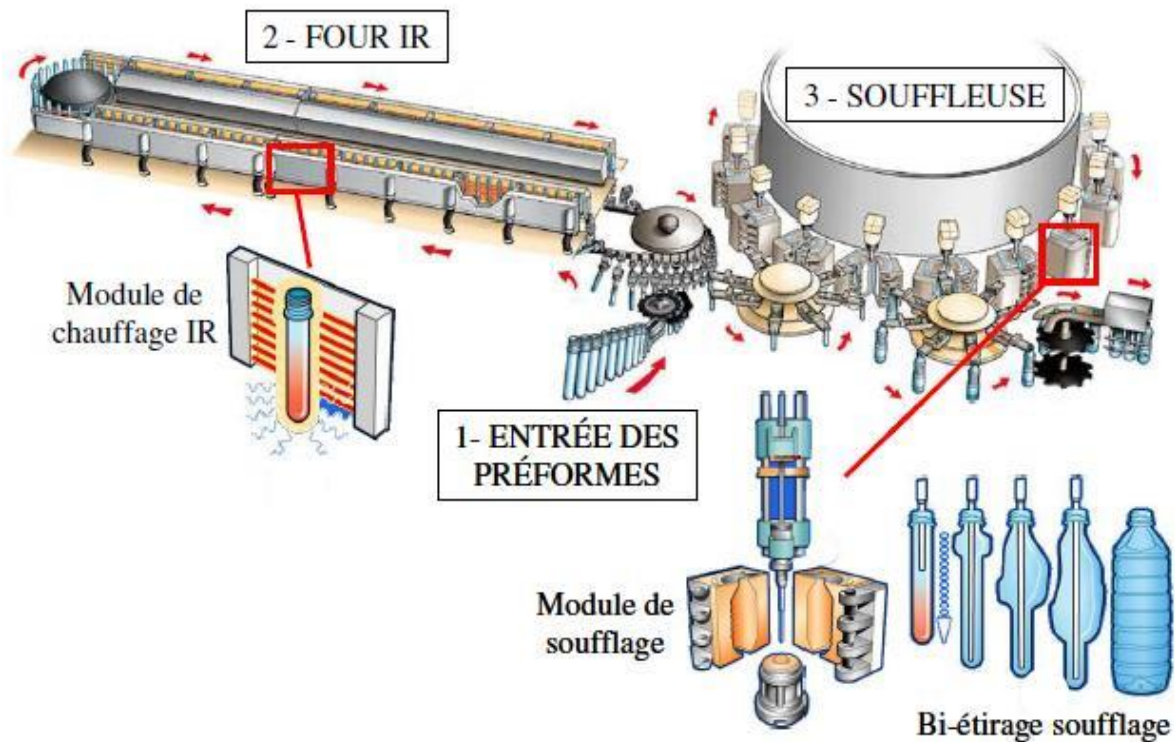
### **II-3-3 Principales propriétés d'une bouteille**

Les propriétés majeures utilisées pour mesurer la qualité d'une bouteille sont les suivantes :

- Ses propriétés mécaniques (par exemple sa résistance au choc, à l'écrasement, etc...).
- Ses propriétés optiques : notamment sa transparence vis à vis du rayonnement visible.
- Ses propriétés barrières : i.e. sa perméabilité au gaz. Cette propriété est cruciale pour le Conditionnement des boissons carbonatées.

Les propriétés mécaniques de la bouteille sont-elles même affectées par sa distribution d'épaisseur. Pour de nombreuses géométries de bouteilles, il est souhaitable que l'épaisseur du corps de la bouteille soit la plus uniforme possible afin d'assurer une bonne rigidité de la structure [17]. De plus, la maîtrise de l'épaisseur est indispensable afin de réduire la quantité de matière consommée.

Comme nous l'avons évoqué précédemment, ces différentes propriétés sont étroitement liées à l'état microstructural du PET à l'issue de la mise en forme de la bouteille. Or l'évolution de la microstructure du PET est elle même fortement dépendante des conditions de mise en œuvre, notamment des conditions de chauffage de la préforme.



**Figure II-4** Illustration du principe général de la fabrication d'une bouteille par injection soufflage en cycle froid par une souffleuse rotative.

### II-3-4 Les systèmes de chauffage infrarouge

#### II-3-4-1 Description d'un module de chauffage

Le four infrarouge est composé de modules de chauffage dont le nombre varie en fonction de la machine de soufflage. Les souffleuses destinées aux petites séries disposent d'un ou deux modules de chauffage seulement, tandis que les souffleuses rotatives les plus performantes en possèdent plusieurs dizaines. Chaque module est composé, d'une part, d'un râtelier équipé de lampes halogènes montées sur un panneau radiant, et d'autre part, d'un réflecteur en aluminium poli (figure II-5). La préforme transite entre le râtelier et le réflecteur métallique, absorbant ainsi une fraction du flux radiatif émis par les lampes. La préforme est animée d'un mouvement de rotation afin d'assurer une bonne homogénéité de sa température dans la direction circonférentielle. D'autre part, les modules de chauffage sont généralement équipés d'un système de ventilation. Celui-ci permet d'évacuer la chaleur excédentaire afin de limiter



l'échauffement du four, et d'éviter l'usure prématurée des éléments chauffants. Ce système de ventilation contribue aussi à refroidir la paroi externe de la préforme, afin d'éviter que celle-ci se cristallise thermiquement durant le chauffage. Enfin, le col de la préforme, injecté aux dimensions définitives de la bouteille, est protégé du rayonnement grâce à deux déflecteurs refroidis par circulation d'eau. Le but d'un tel système est de limiter les risques de déformation du col susceptible de compromettre, après remplissage, l'opération de bouchage de la bouteille.

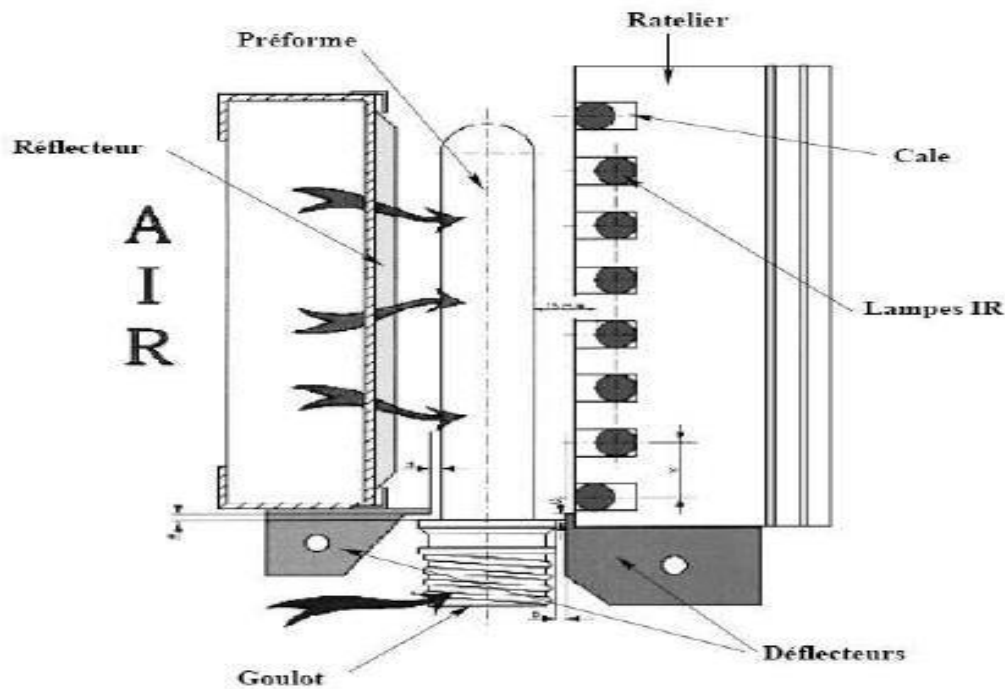


Figure II-5 Schéma d'un module de chauffage infrarouge.

#### II-3-4-2 Principaux paramètres de réglage du four IR

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

- 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

L'injection est aujourd'hui l'un des procédés les plus utilisés pour la mise en forme des polymères avec l'extrusion et le soufflage (30% des polymères transformés). Il est généralement utilisé pour la production de très grandes séries pour l'automobile ou l'électroménager par exemple ou pour des séries plus réduites en aéronautique.

Le procédé d'injection permet d'obtenir une productivité élevée avec une très bonne reproductibilité des pièces.

Afin de limiter les rebuts et de diminuer les temps de cycle, le choix des paramètres d'injection est important. En particulier, une mauvaise distribution de température dans le moule peut être à l'origine de défauts sur les pièces ou entraîne une augmentation inacceptable du temps de cycle. Toutefois, la conception initiale du moule joue un grand rôle pour faciliter l'obtention de bonnes pièces avec un temps de cycle raisonnable.

La simulation numérique est de plus en plus utilisée dans l'industrie, aussi bien pour modéliser les écoulements que les transferts thermiques dans le moule.

### III-2 Fabrication "traditionnelle" des moules

#### III-2-1 Procédés

Les méthodes par enlèvement de matière représentent la très grande majorité des méthodes utilisées pour la fabrication des moules et inserts pour moules d'injection [18]. Après usinage par les procédés classiques (fraisage, tournage, perçage...), une ou plusieurs étapes de finition et un traitement de surface sont souvent nécessaires pour obtenir l'état de surface souhaité. Les autres méthodes par enlèvement de matière peuvent être l'électroérosion, la découpe à fil, l'usinage électrochimique, les attaques chimiques... Les autres grands procédés utilisables sont la fonderie, le dépôt de métal ou le dépôt électrolytique. Le choix du procédé utilisé dépendra de la taille et de la géométrie de la cavité, des matériaux utilisables, du coût et des délais de fabrication.

#### III-2-2 Matériaux utilisés

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 (solicitations, interactions avec les polymères...) [18].

La conductivité thermique des aciers dépend de la composition et de la charge en éléments d'alliages [19] et varie environ entre 15 et 40 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Le choix des aciers pour moules d'injection ne doit cependant pas dépendre uniquement des propriétés thermiques mais aussi de la résistance mécanique et à la corrosion. L'augmentation des propriétés mécaniques se

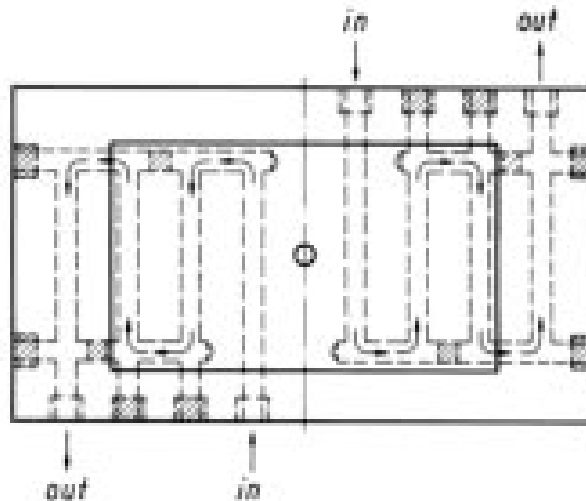


traduit par l'ajout d'éléments d'alliage qui peuvent être nuisibles aux propriétés thermiques (par exemple le chrome utilisé pour la résistance à la corrosion a tendance à faire diminuer la conductivité thermique).

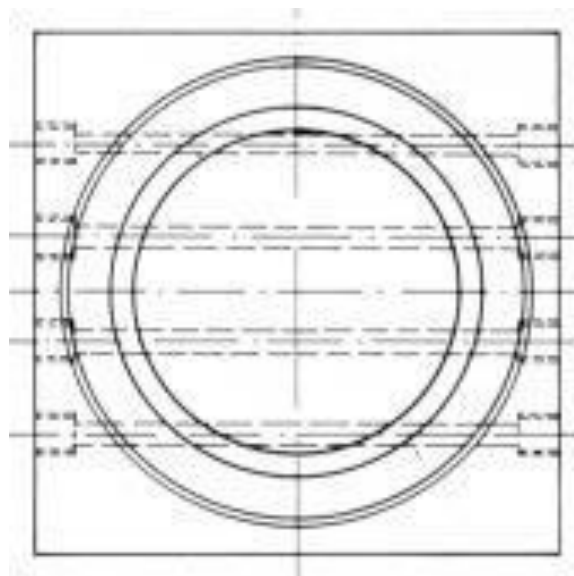
L'utilisation d'aluminium pour la fabrication de moules d'injection commence à être souvent envisagée. Les alliages d'aluminium offrent en effet un grand nombre d'avantages par rapport aux aciers [20]. En plus d'une meilleure usinabilité, ils présentent l'avantage d'avoir une conductivité thermique jusqu'à 5 fois supérieure à celle des aciers. Une meilleure uniformité de température est donc possible dans le moule en utilisant moins de canaux de refroidissement (en particulier dans les zones critiques). La grande capacité thermique permet également d'envisager la production de pièces difficiles à obtenir dans des moules acier : pièces épaisses et à section plus massive et pièces complexes.

### **III-2-3 Technologies "traditionnelles" de régulation thermique des moules**

Dans la plupart des cas, la régulation des moules d'injection est assurée par circulation d'un fluide caloporteur dans des canaux percés dans le moule. Un circuit complet peut être fabriqué par perçage de canaux rectilignes et l'utilisation de bouchons pour fermer le circuit (figure III-1). Ce système est très efficace pour le refroidissement de plaque plane et rectangulaire puisque les canaux peuvent être repartis régulièrement à une distance constante de la pièce. Un refroidissement quasiment uniforme sera donc assuré. Par contre, l'utilisation de canaux rectilignes ne permet pas d'obtenir un refroidissement uniforme de pièces circulaires ou non planes (figure III-2). Pour des zones très chaudes mais disposant de peu d'espace pour permettre la mise en place d'une circulation du fluide (par exemple les noyaux étroits), le refroidissement peut être effectué en utilisant des fontaines ou des inserts de matériaux très conducteurs (cuivre, bronze ou béryllium par exemple) en contact à l'autre extrémité avec un canal éloigné de la surface (figure III-2) [21].



**Figure III-1** Exemple de circuit obtenu à partir de canaux rectilignes



**Figure III-2** Problème de refroidissement d'une pièce circulaire avec des canaux rectilignes

### III-3 Outillage d'un moule

En fonction du type de pièce, du nombre d'empreintes, de la position du point d'injection, du type d'injection, des contre-dépouilles, nous aurons des outillages différents. Le dimensionnement de l'outillage sera fonction de :

- La forme de la pièce
- Les dimensions de la pièce
- La matière de la pièce

- Les tolérances de la pièce
- Des capacités de la machine
- Des cadences de production
- Du budget

### III-4 Composition d'un moule a injection plastique

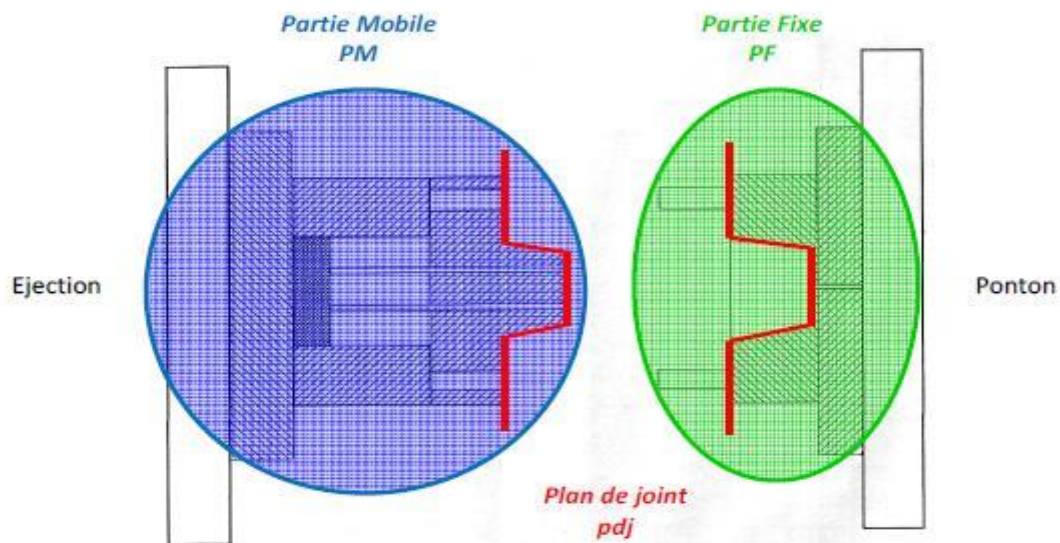
Un moule est compose de 2 parties bien distinctes :

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.



**FigureIII-3** différentes parties d'un moule

Repère	Désignation
19	Rainure de bridage
18	Circuit de régulation thermique
17	Logement empreinte cote éjection
16	Logement empreinte cote injection
15	Raccord rapide de circuit d'eau
14	Arrache-carotte
13	Ejecteur
12	Ejecteur de rappel
11	Colonne de guidage
10	Bague de guidage
9	Plaque porte éjecteurs
8	Rondelle de centrage
7	Buse moule
6	Contre plaque d'éjection
5	Plaque arrière cote éjection
4	Tasseau
3	Plaque porte empreinte cote éjection
2	Plaque porte empreinte cote injection
1	Plaque arrière cote injection

**Tableau III-1** Terminologie des éléments constituant l'outillage de la figure III-4

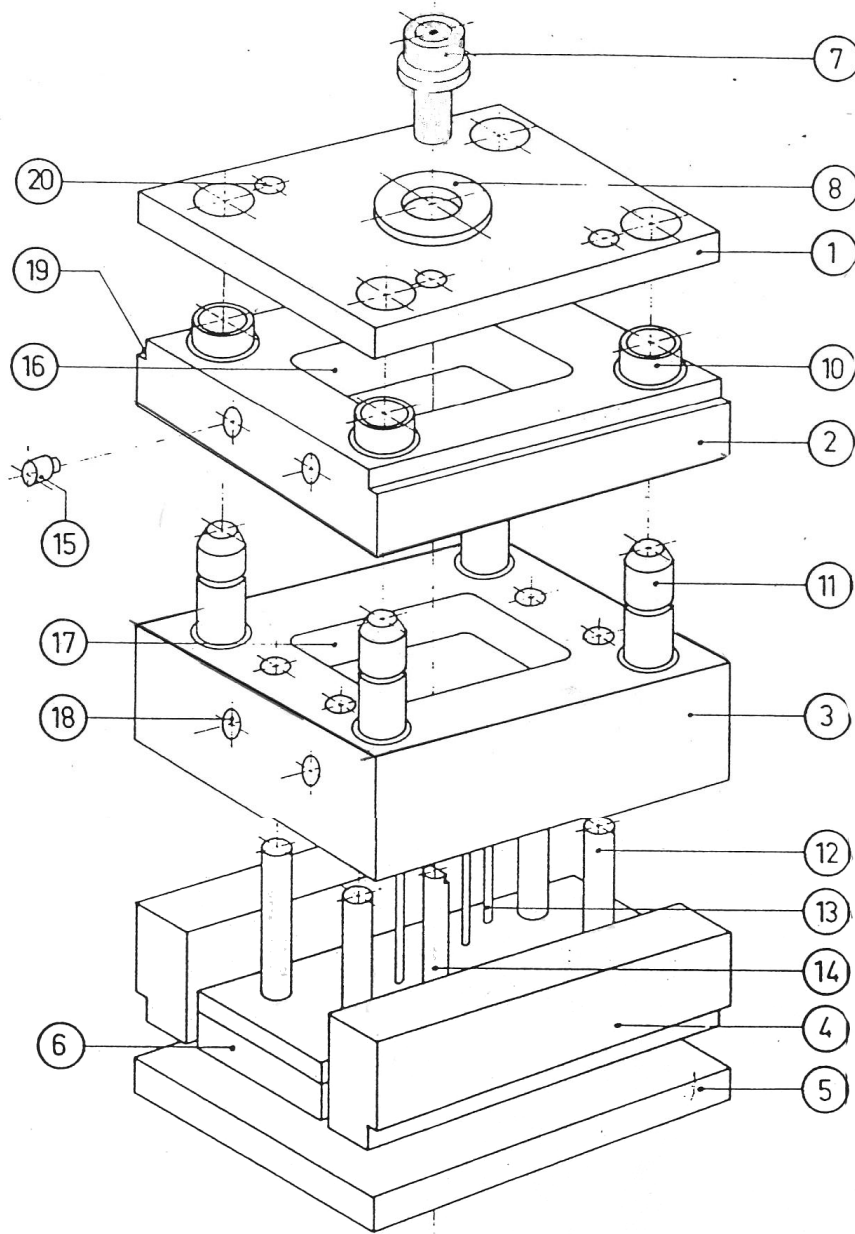
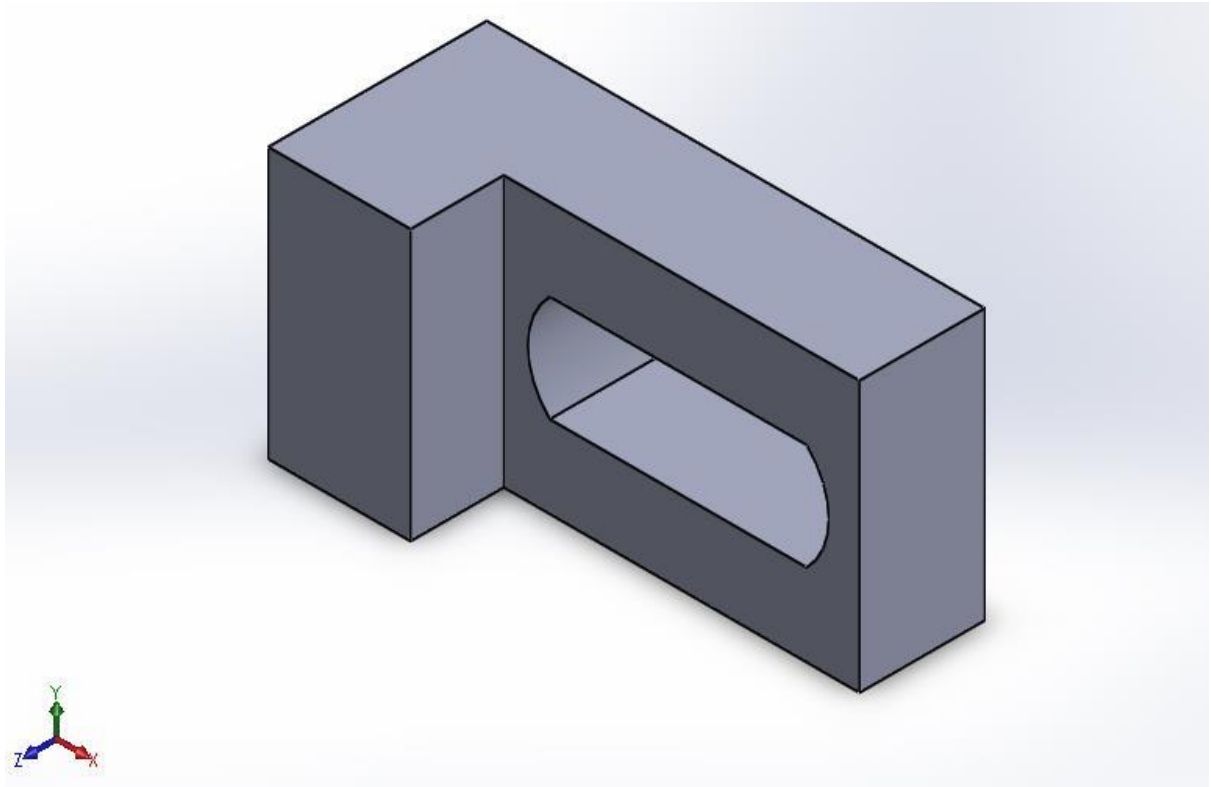


Figure III-4 Eléments constituant l'outillage d'un moule en injection plastique

### III-5 Etapes de conception SolidWorks d'un moule de soufflage PET

#### III-5-1 Système de fixation

Dans notre cas on utilise les brides de fixation afin de maintenir notre moule sur un plateau horizontal, celle-ci sert à retenir et éventuellement guider le moule. La bride est un mécanisme de fixation pour tenir un objet afin de l'immobiliser en sécurité, ou de le déplacer sans le lâcher ou encore le transporter sans le perdre.



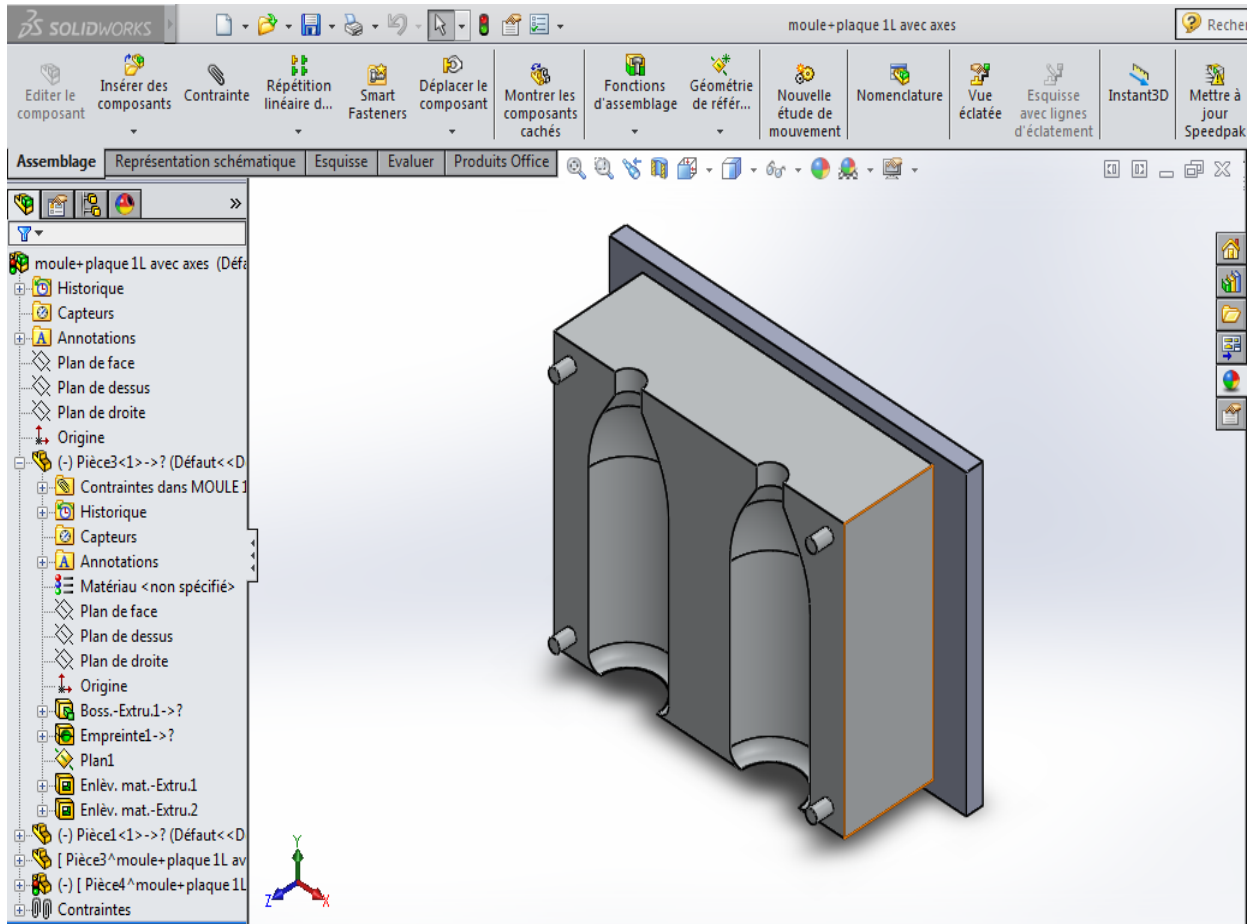
**Figure III-5** Bride de fixation du moule

Sachant que notre bride est fixé sur un plateau grâce à des boulons qui maintiennent le moule en place.

Les Dimension de notre bride sont :

- Longueur 70 mm
- 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





**Figure III-6** Plaque de fixation du moule ou semelle du moule.

Le moule étant fixé grâce à des brides de fixation, ces brides se maintiennent sur les deux plaques de fixation de chaque partie de notre moule. Ces plaques sont assemblées au moule grâce à des vis, tout cet ensemble permet de fixer notre moule ainsi il suit une seule direction qui est la direction du déplacement du plateau.

### III-6 Conception et dimensionnement SolidWorks d'un moule de bouteille 1L

La cavité de l'empreinte représente le négatif tridimensionnel de l'objet, dessin établi en accord avec le transformateur en se basant sur la nature de la matière, du matériel et des conditions d'utilisation de la pièce. La force de fermeture du moule se répartit sur la surface du plan de joint et doit assurer l'étanchéité. La température du moule doit être contrôlée pendant la solidification du polymère, ce qui amène à prévoir des canaux de circulation de fluide de refroidissement pour une meilleure protection de la pièce et de l'empreinte.

#### a) Etape 1 : Conception de la bouteille 1L

Dans cette partie nous avons conçu une bouteille de volume 1L avec le logiciel SolidWorks à partir des mesures prélevées durant notre stage au sein de la société **SARL AIT ALI**, cette bouteille est adaptée aux normes de l'industrie avec un grammage bien précis équivalent à 39g. Destiné aux boissons non alcoolisée.

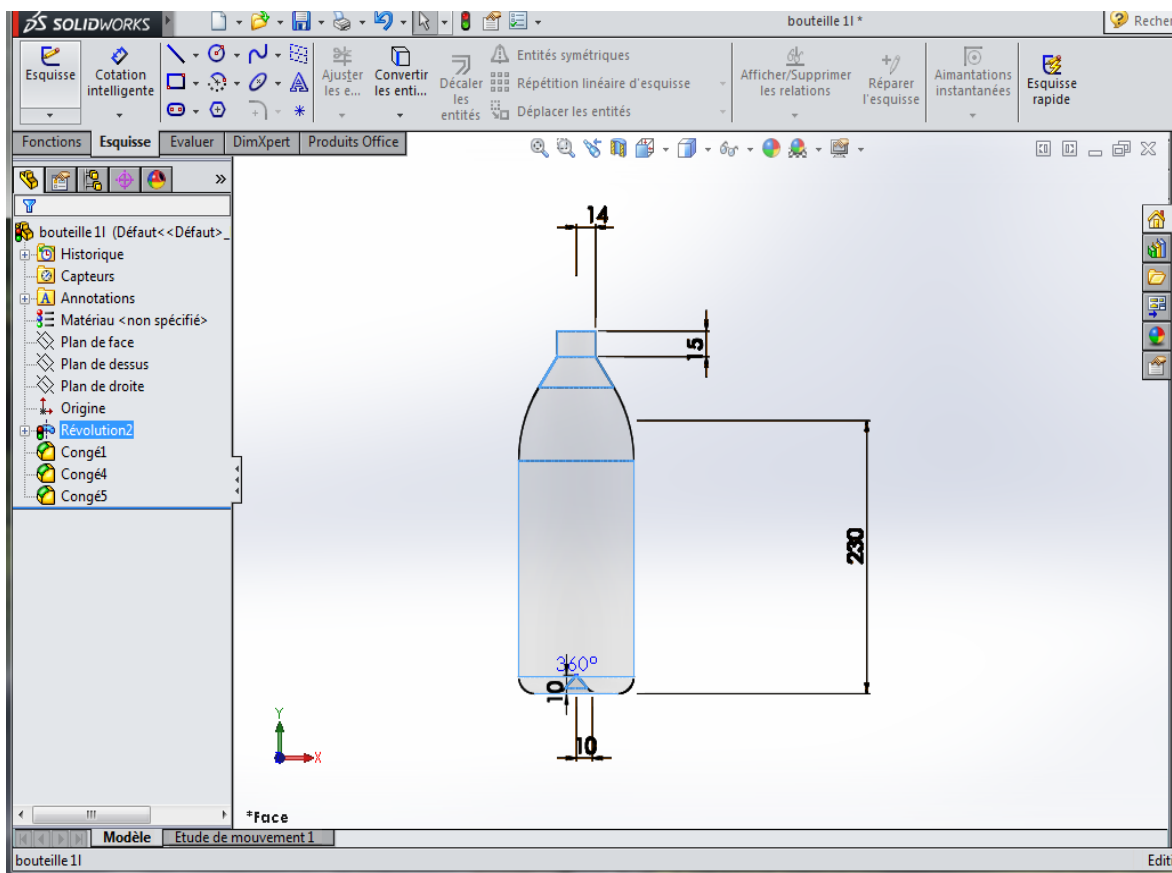
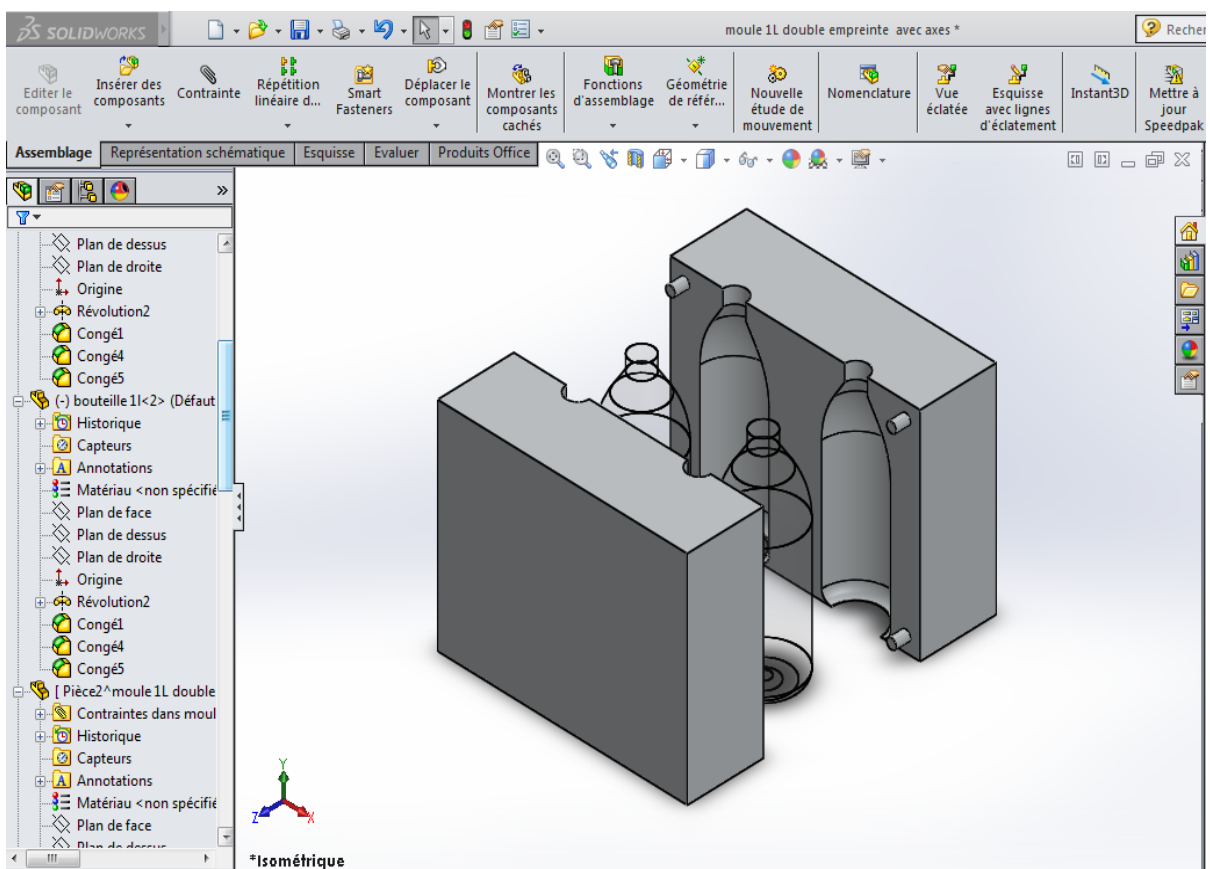


Figure III-7 Dimensions de la bouteille 1L.

**b) Etape 2** conception du moule

Cette étape a pour but de concevoir un moule pour la bouteille ci-dessus. Ce moule qui comporte deux empreintes pour augmenter les cadences de production et avoir un gain de temps qui est un atout majeur pour la société.

Après avoir pris les mesures nécessaires et avoir dimensionné notre moule nous avons créé les deux empreintes avec une grande précision destinée à la mise en forme des matériaux polymères thermoplastiques



**Figure III-8** Représentation SolidWorks du moule double empreinte 1L.

Notre moule est divisée en deux parties une partie fixe et une autre mobile toute deux symétriques qui viennent se plaquer l'une contre l'autre pour que le produit épouse la forme après l'injection d'un gaz comprimé à l'intérieur de l'empreinte qui contient notre préforme préalablement réchauffée. Après refroidissement le moule s'ouvre et on extrait notre produit.

Notre moule comporte quatre axes dans une partie qui servent à assurer la symétrie des deux parties vu que ces axes s'emboîtent dans la partie opposée pour obtenir un bon verrouillage du moule.

### Les dimensions de ce moule :

Notre moule est un parallélépipède en aluminium inoxydable pour éviter toute impureté ou déformation composé de deux parties symétriques dont les dimensions de chaque partie sont :

-Longueur : 270mm      - largeur : 265mm      - épaisseur : 80mm

Chaque face contient deux empreintes

-Espace entre les deux empreintes : 24 mm

-Distance entre l'empreinte et la bordure : 34 mm

-largeur de l'empreinte : 74 mm

-rayon du goulot : 9.5mm

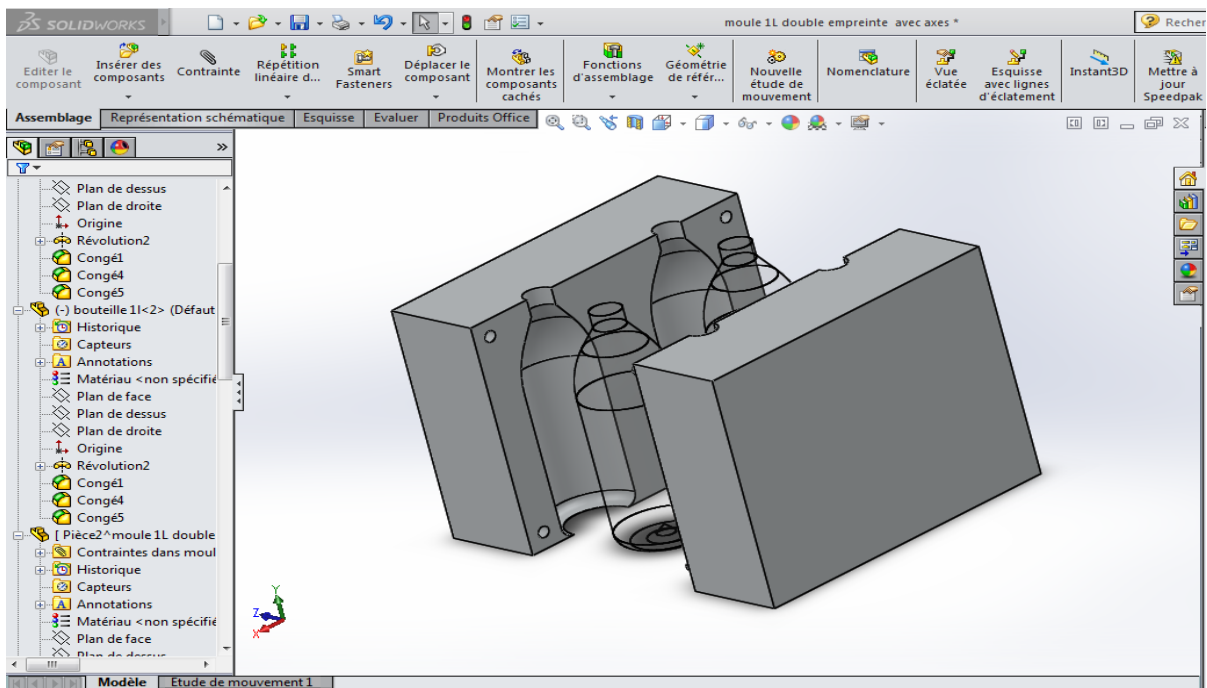


Figure III-9 Représentation SolidWorks des deux empreintes du moule 1L.

### III-6-1 Les propriétés du moule : Ce moule comporte plusieurs propriétés :

- 1) **Propriétés thermiques** : la température du moule au repos est selon la température ambiante, en état de marche sa température est de 25 degrés , la préforme sort d'un four qui la chauffe grâce à ces 7 ampoules (résistances) sa température dépend de la

préforme utilisé elle varie entre 40 et 60 degrés , le moule doit donc être capable de supporter la température de cette préforme , c'est pour cela qu'il est doté d'un système de refroidissement, grâce à un refroidisseur de l'eau froide rentre dans le moule a une température de 5 degrés et en ressort à 15 degrés environs. À la fin de ce processus on obtient notre produit prêt à l'utilisation.

- 2) **Propriétés physiques** : pour que la préforme prenne forme voulue dans le moule il nous faut lui injecter un gaz a des pressions bien précises, des tiges descendent dans le moule grâce à des vérins a fin d'étirer la préforme et soufflent à une pression de 8 bar on appelle ça le pré-soufflage, vient ensuite la phase de soufflage avec une pression de 30 bar, 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. On obtient ainsi notre bouteille.
- 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.
- 4) **Propriétés du matériau** : Dans notre travail, nous avons utilisé un matériau d'acier inoxydable de type **X39 CrMo17-1**. Ce matériau est utilisé généralement sur les surfaces d'appui pour résister à l'oxydation dans le bioalimentaire, à la corrosion et aux températures élevées. Les principales propriétés du X39 CrMo17-1 sont répertoriées le tableau ci-dessous (Tableau III-2)

propriété	Valeur	Unité
<b>Module d'élasticité</b>	2.15e+05	MPa
<b>Coefficient de poisson</b>	0.28	S.O.
<b>Module de cisaillement</b>	7.9e+04	MPa
<b>Masse volumique</b>	7700	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Limite de traction</b>	800	MPa
<b>Limite de compression</b>		MPa
<b>Limite d'élasticité</b>	6e+002	MPa
<b>Coefficient de dilatation thermique</b>	1.1e-005	/K
<b>Conductivité thermique</b>	14	W/(m.K)

<b>Chaleur spécifique</b>	440	J/(Kg.K)
---------------------------	-----	----------

**Tableau III-2** Les principales propriétés du matériau X39 CrMo17-1.

## III-6-2 Etude de conception du moule de bouteille 2L

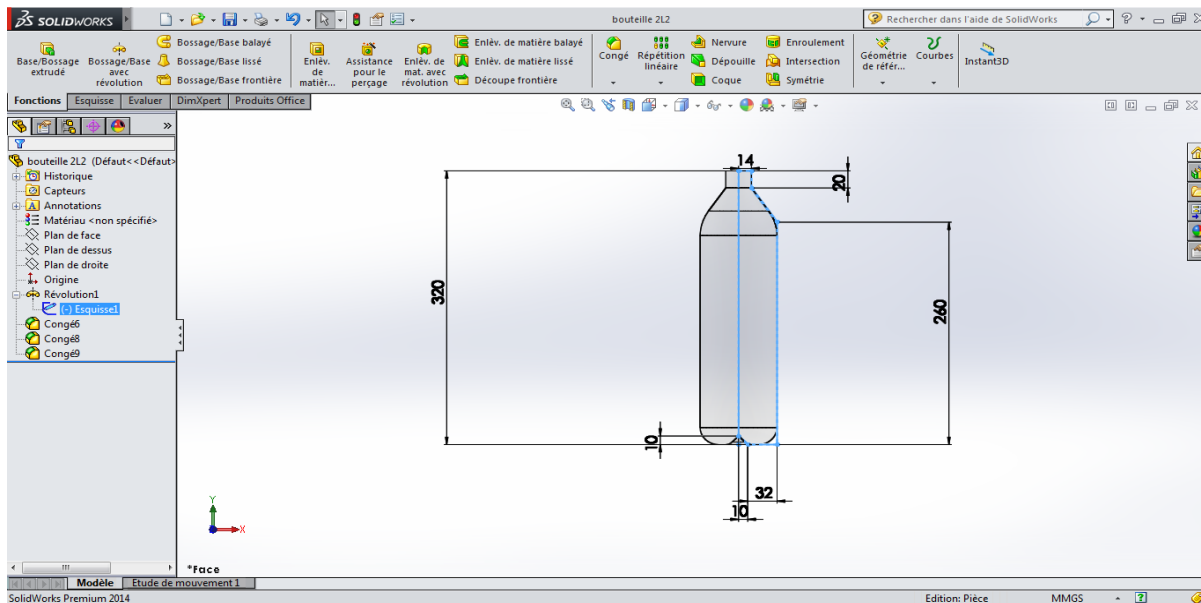
### III-6-2-1 Choix du modèle

Un sondage commercial à l'intérieur du marché local concernant les boissons gazeuses, nous avons considéré une bouteille plus grande afin de satisfaire nos clients.

Nous avons opté pour le polyéthylène téréphtalate comme matière de production de la Bouteille.

### III-6-2-2 Dimensionnement

Selon les besoins de notre société on a conçu un moule pour bouteille de 2L pour satisfaire la demande de la clientèle.



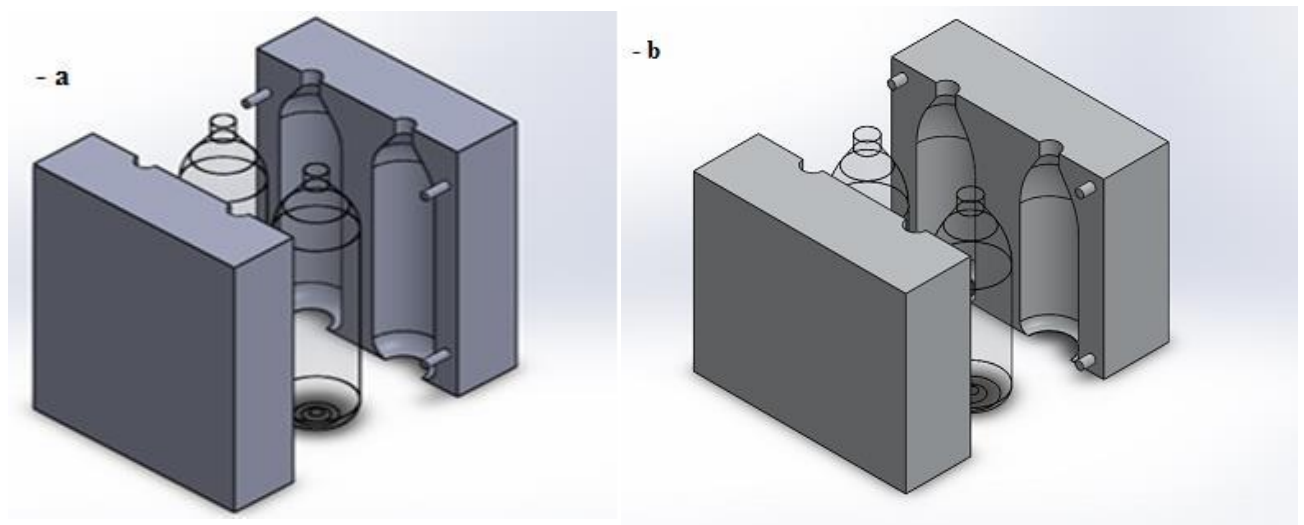
**Figure III-10** Les dimensions de la bouteille 2 L.

Nous nous sommes d'abord basé sur les mêmes dimensions que le moule déjà existant en opérant des modifications sur la profondeur du moule, mais après une longue réflexion le résultat obtenu n'était pas très satisfaisant car esthétiquement notre produit n'était pas à la hauteur. Alors on a procédé à la modification complète des dimensions de notre moule et nous

avons obtenu le résultat qu'on espérait. Une bouteille plus volumineuse sans pour autant perdre de son esthétique et qui vas satisfaire la clientèle.

Dimensions	Moule 1L	Moule 2L
Longueur	270 mm	320 mm
Largeur	265 mm	280 mm
épaisseur	80 mm	80 mm
Distance entre les deux empreintes	24 mm	18 mm
Distance entre l'empreinte et la bordure	34 mm	53 mm
Diamètre de l'empreinte	74 mm	82.5 mm
Diamètre du goulot	19 mm	22 mm

**Tableau III-3** Tableau montrant les dimensions des bouteilles de 1L et2L.



**Figure III-11** Vue tridimensionnelle des conceptions des moules de soufflage : a) 2L face n°1. b) 1L face n°2.

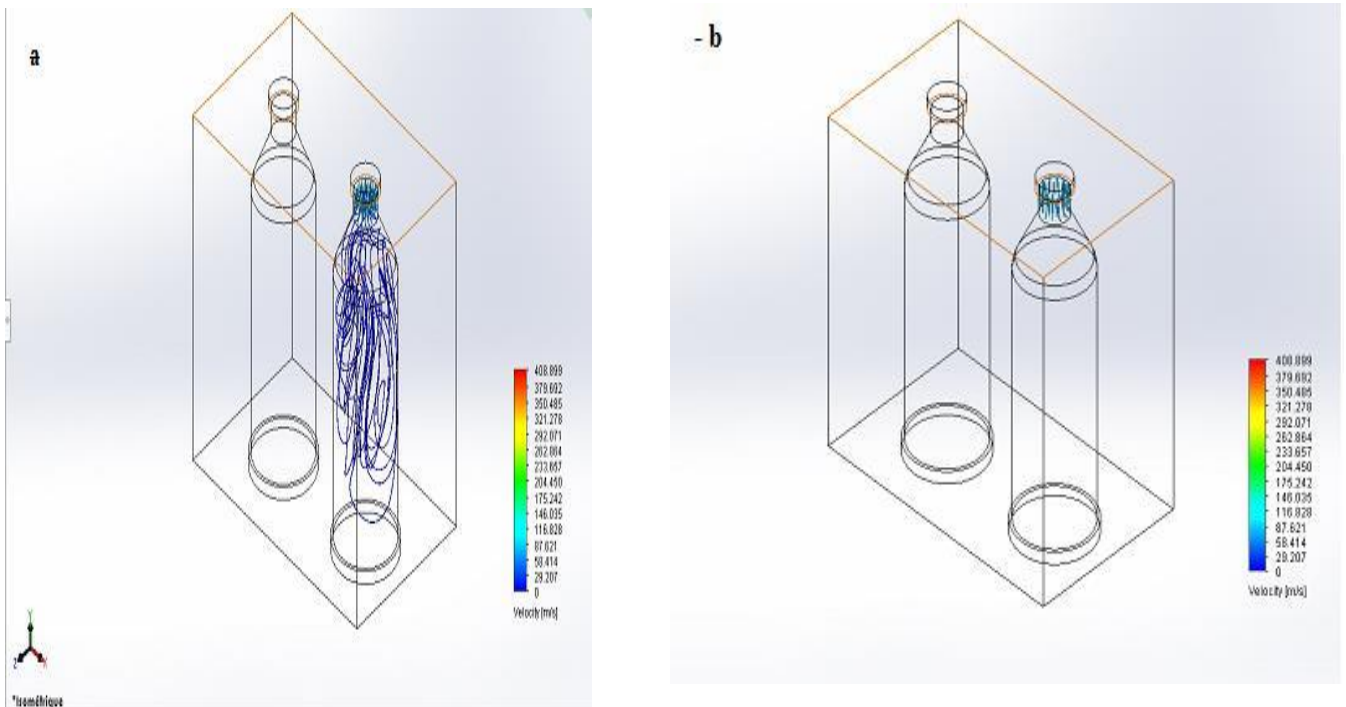


### III-7 Etude thermique des moules de soufflage

Cette étude consiste à injecter de l'air comprimé dans notre moule à une température de 80°C avec une pression de 30bar pour vérifier la circulation du flux d'air à l'intérieur de nos moules lors de l'injection et de la dépressurisation ainsi que sa vitesse.

#### III-7-1 Etude de la vitesse du flux d'air dans les moules 1L et 2L

La figure (III.12) illustre le comportement du fluide qui de l'air à l'injection et dépressurisation dans le moule d'un Litre et deux litre. Dans les deux étude le fluide injecte est sous forme d'air comprimé à une pression de 30bar et injecte à une température de 353.00 K

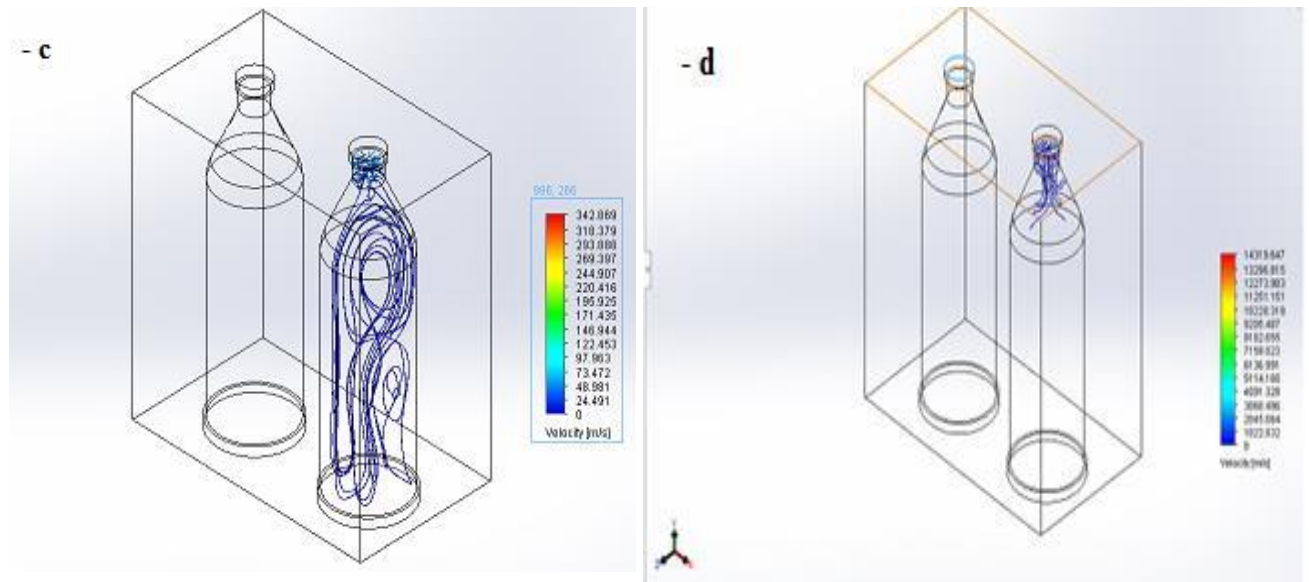


**Figure III-12** Comportement du fluide lors d'un procès de soufflage de la préforme dans le moule de 1L: **a)** Procès d'injection de l'air, **b)** Procès de dépressurisation de l'air.

D'après l'étude effectuée sur les moules d'un litre, on remarque durant le processus d'injection sous une pression de 30 bar que le flux d'air épouse la forme de l'empreinte figure III-12 (a), on remarque aussi que la vitesse de propagation du flux dans un état isostatique libre que la vitesse aux abords de la paroi est moins importante que ceux au milieu, ceci est probablement dû aux différents phénomènes de constriction thermique et aussi au frottement avec la cavité d'empreinte.



Après que l'injection de l'air est occupé toute la cavité du moule, on remarque un mouvement turbulent du fluide comme est montré dans la figure III-12 a et b, ceux régime turbulent ce résume sous forme d'un flux d'air de dépressurisation, la vitesse de sorti est de 401.560 m/s, ainsi qu'une pression 29bar sous une température de 293.20 K



**Figure III-13** Comportement du fluide à l'injection et à la dépressurisation dans le moule 2L.

Selon la figure III-13 on remarque que lors du procès d'injection (c) sous une pression de 30bar le flux représenté en bleu va se disperser sur tous le long de l'empreinte jusqu'au fond de notre moule avec une vitesse moins importante au long des parois que celle au milieu. Arrivé au fond nous allons avoir un retour qui va engendrer des turbulences. La figure III-13 (b) ont aura une dépressurisation du flux d'air la vitesse de sorti est de 401.560 m/s, ainsi qu'une pression 29bar sous une température de 293.20 K.

### III-8 Etude thermique du moule

#### III-8-1 Fonction de refroidissement:

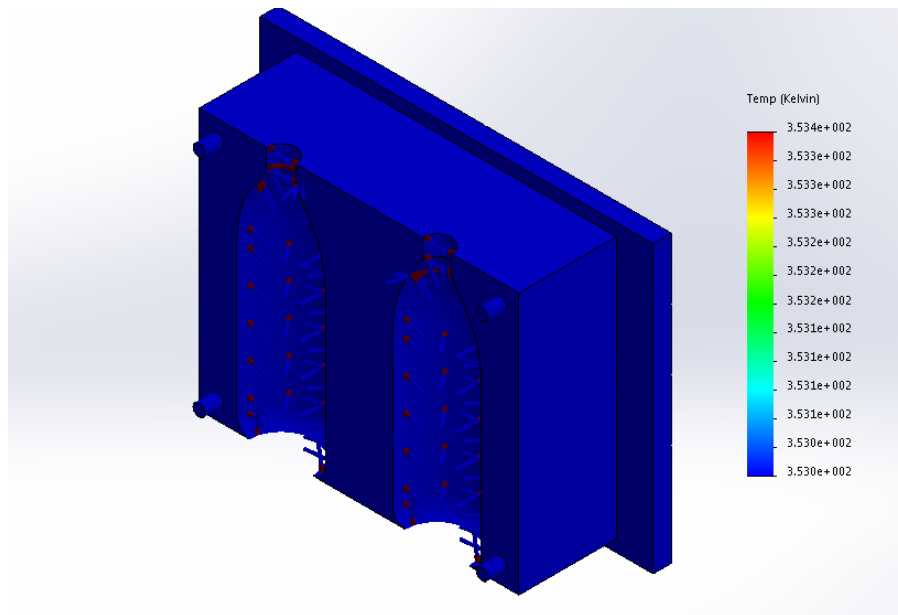
Le refroidissement des moules est une nécessité technique et économique. Une pièce moulée ne peut être extraite sans dommage de l'outillage qui l'a produit si elle n'a pas acquis une rigidité suffisante pour résister aux efforts d'éjection, donc si la température du plastique ne s'est pas abaissée au-dessous du point de fusion. Au-delà de la température de transition vitreuse pour les polymères amorphes, un refroidissement, est basé sur les seules pertes calorifiques à travers les parois du moule. C'est pourquoi un refroidissement artificiel accéléré

s'impose. La vitesse de refroidissement influence aussi la structure et, par suite, les propriétés physiques et mécaniques des matières plastiques, en particulier des polymères

Le temps de refroidissement, à l'intérieur du moule, d'un objet en matière plastique représente presque toujours la phase la plus longue du cycle de production, en particulier pour les épaisseurs de pièces courantes de 1,5 à 3 mm, Pour une pièce d'épaisseur régulière, située dans les limites indiquées et présentant des surfaces latérales internes et externes importantes, le temps de refroidissement dépend directement du rapport du volume de la pièce moulée à la surface totale de refroidissement.

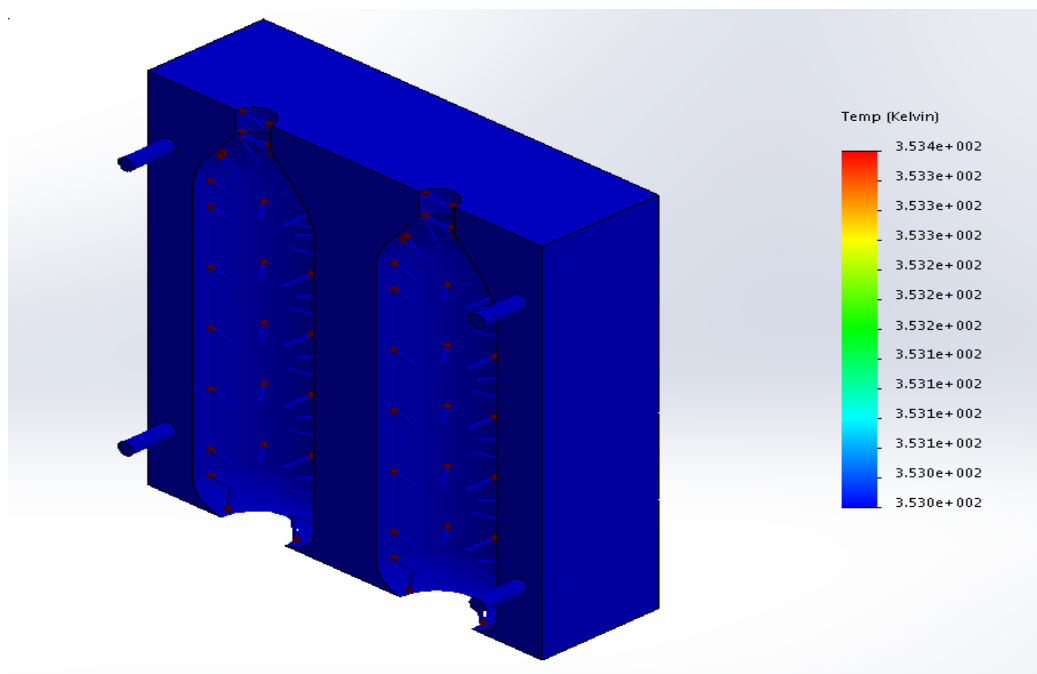
Le transfert de chaleur se fait depuis la pièce à travers l'empreinte jusqu'aux canaux de refroidissement. Le transfert de la paroi du moule jusqu'au liquide de refroidissement dépend du type d'écoulement du fluide. Le coefficient de transmission "h" augmente avec le nombre de Reynolds qui est beaucoup plus élevé pour un écoulement turbulent. On a donc intérêt à provoquer ce type d'écoulement dans les canaux de refroidissement. On introduit souvent dans les canaux, des obstacles qui provoquent un écoulement turbulent à vitesse plus faible.

Les figures (III-14) et (III-15) illustrent le comportement thermique de la cavité des moules d'un litre et deux litres après le procès de soufflage du PET. Dans les deux étude le fluide injecte est sous forme d'air comprime à une pression de 30bar et injecte à une température de 353.00 K, le de maintien d'un cycle de formation d'une bouteille dépend de son volume, il est de 3 s pour une bouteille d'un litre et de 4s a 5s pour une bouteille de 2L.



**Figure III-14 :** Etude thermique du moule 1L.

Dans cette partie on a effectué une étude thermique sur notre moule de 1L, lors de l'injection le flux entre à une température de 80°C (353k), celle-ci n'influe pas comme on peut le remarquer sur la figure III-16 le moule est représenté en bleu car il est très résistant à la chaleur et ce grâce à l'utilisation d'un acier inoxydable avec de bonne propriétés thermiques.



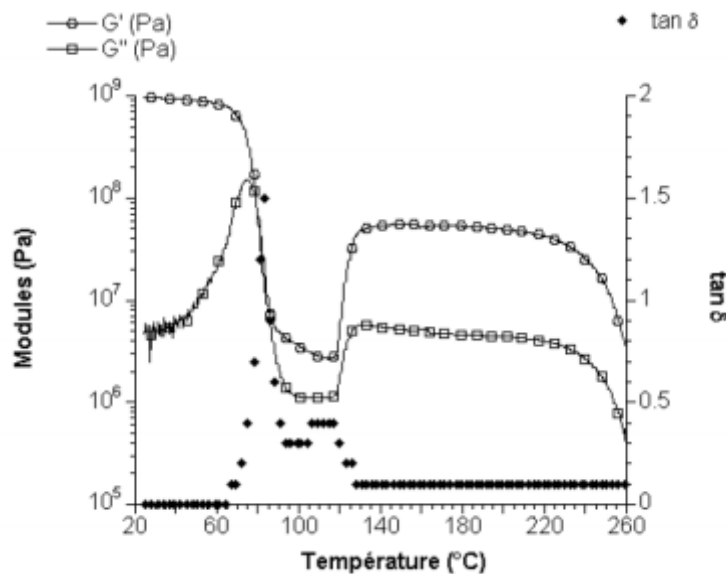
**Figure III-15** Etude thermique du moule 2L.

On remarque lors de notre étude thermique du moule 2L que la température n'influe pas sur notre moule (le même cas du moule 1L).

A la fin de notre étude thermique les deux moules ont donnée des résultats cohérent et très satisfaisant la dissipation du flux thermique et là même dans les deux moules et ne joue pas un rôle majeur.

On en conclu d'après nos deux études (étude thermique, étude du flux) que la température reste constante malgré le changement de dimensions. Seul la vitesse et le temps d'injection changent.

Industriellement, le soufflage de bouteilles en PET est généralement réalisé entre 90 et 110°C Cette plage de température de mise en œuvre se trouve limitée, aux basses températures, par la transition  $\alpha$ , 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, avec notamment une chute des modules élastique et visqueux (FIG. 3.1).

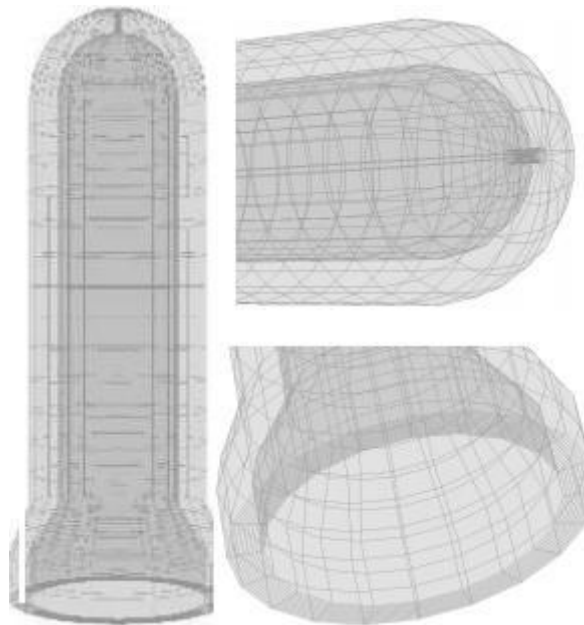


**Figure III-16** - Mesure du module élastique  $G'$  et du module visqueux  $G''$  du PET. Mesures de torsion à  $1\text{rad.s}^{-1}$  avec un chauffage à  $1^\circ\text{C.min}^{-1}$ [22]

Dans notre gamme d'étude les 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°C au abords alors que la plus haute température est de 40° 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.

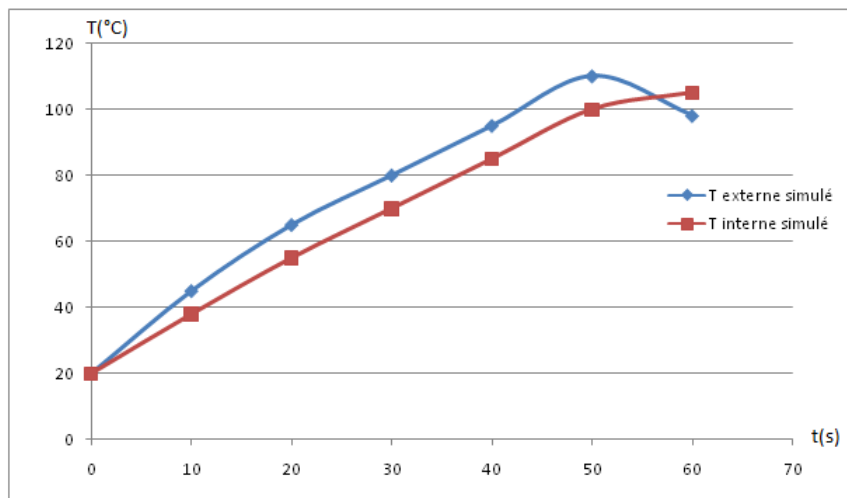


**Figure III-17** Maillage de la préforme réalisé sous SolidWorks.

La figure 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 :

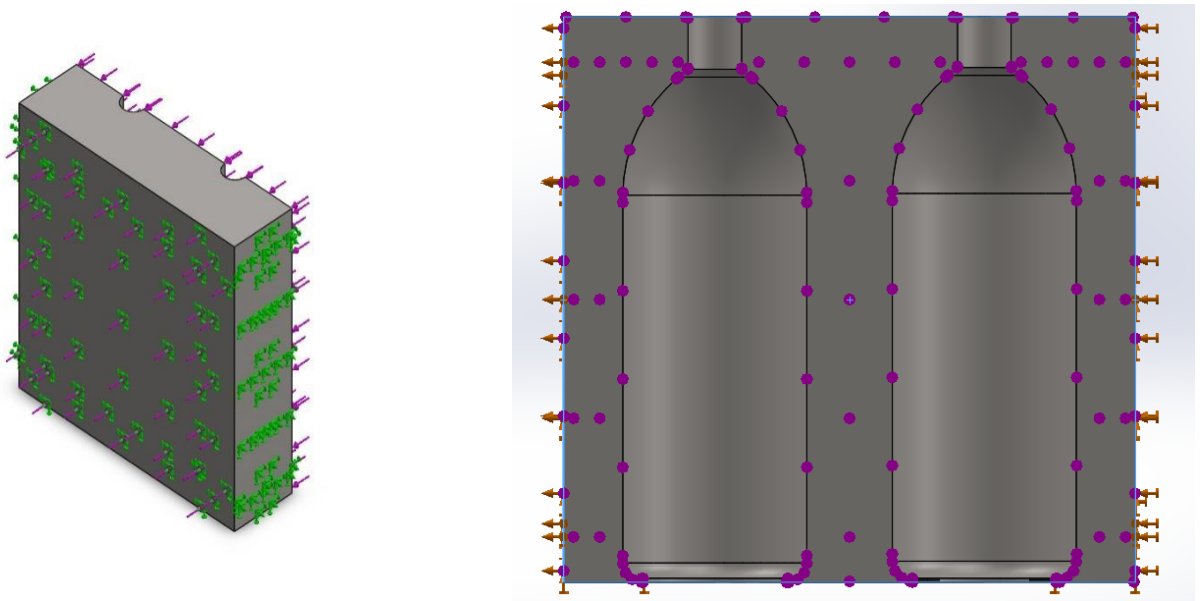
- Tout d'abord nous constatons un très bon accord entre la température externe prédite numériquement A l'issue de la phase de chauffage l'erreur sur la température est inférieure à 5 %.

- 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 3 s de maintien, 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 a tendance à augmenter la température de la face interne.



**Figure III-18** 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. Le gradient de température dans l'épaisseur de la préforme permet donc d'homogénéiser la contrainte.

**III-9 Etude des propriétés mécaniques des moules de 1L et 2L**

**Figure III-19** Représentation des déplacements imposés et chargements imposés sur le moule 1L.

Pour obtenir un Moule solide nous devons lui faire subir plusieurs études dont l'étude de contraintes qui comportent les étapes suivantes :

- a) Etape 1 déplacements imposés : fixation du moule sur 3 faces (gauche, droite, derrière) afin d'éviter que notre moule ne bouge.
- b) Etape 2 chargements : notre moule subit une force de pression totale de 150KN sur les deux faces (avant et arrière).
- c) Etape 3 choix du matériau : nous avons optés pour un acier inoxydable léger et solide avec de bonnes propriétés.



Nous avons obtenu les résultats suivants :

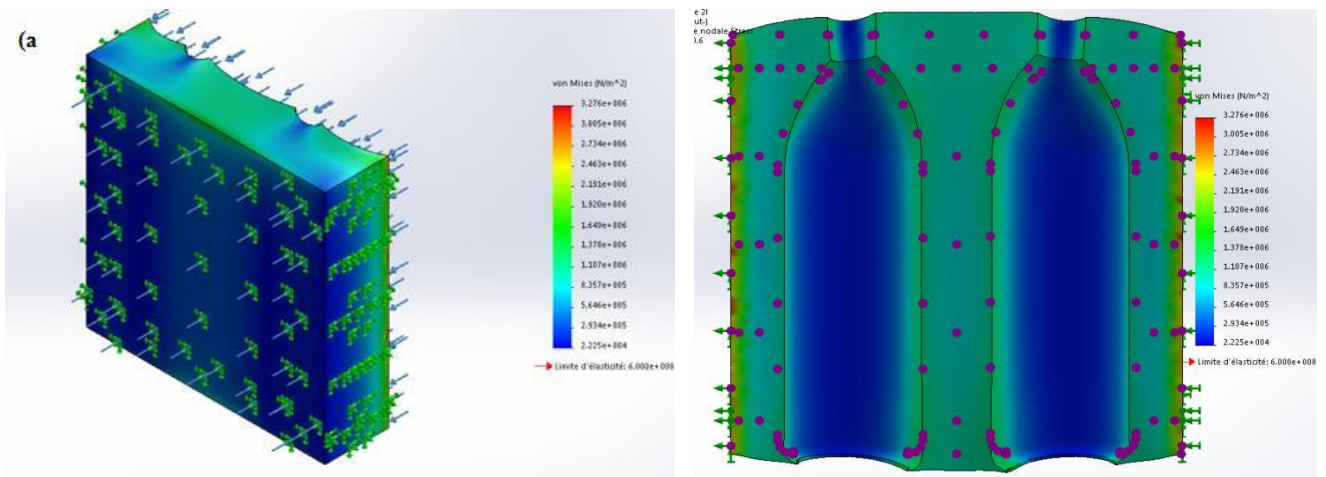


Figure III-20 Résultats de l'étude de contrainte de Von mises (a).

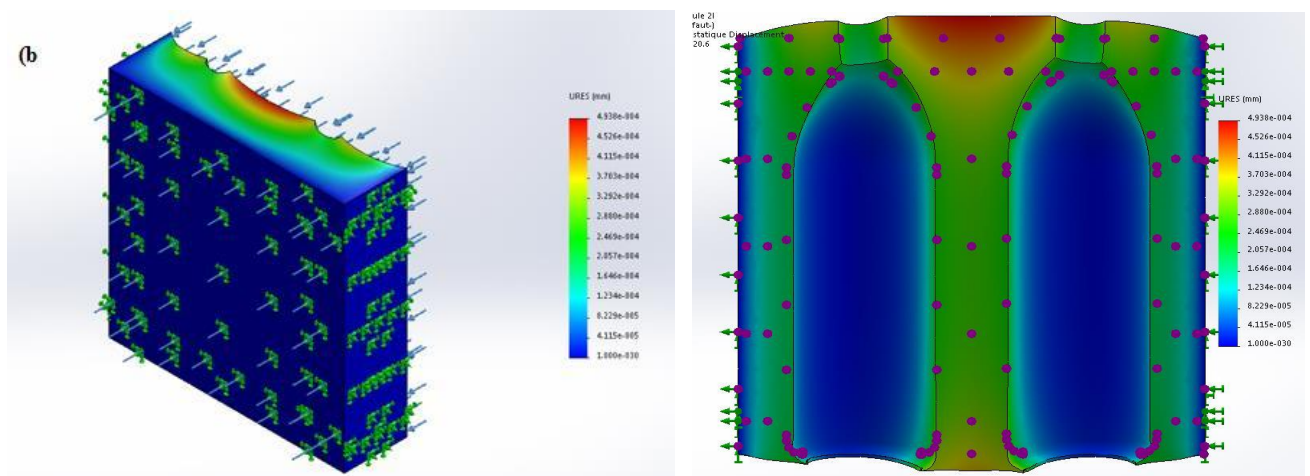


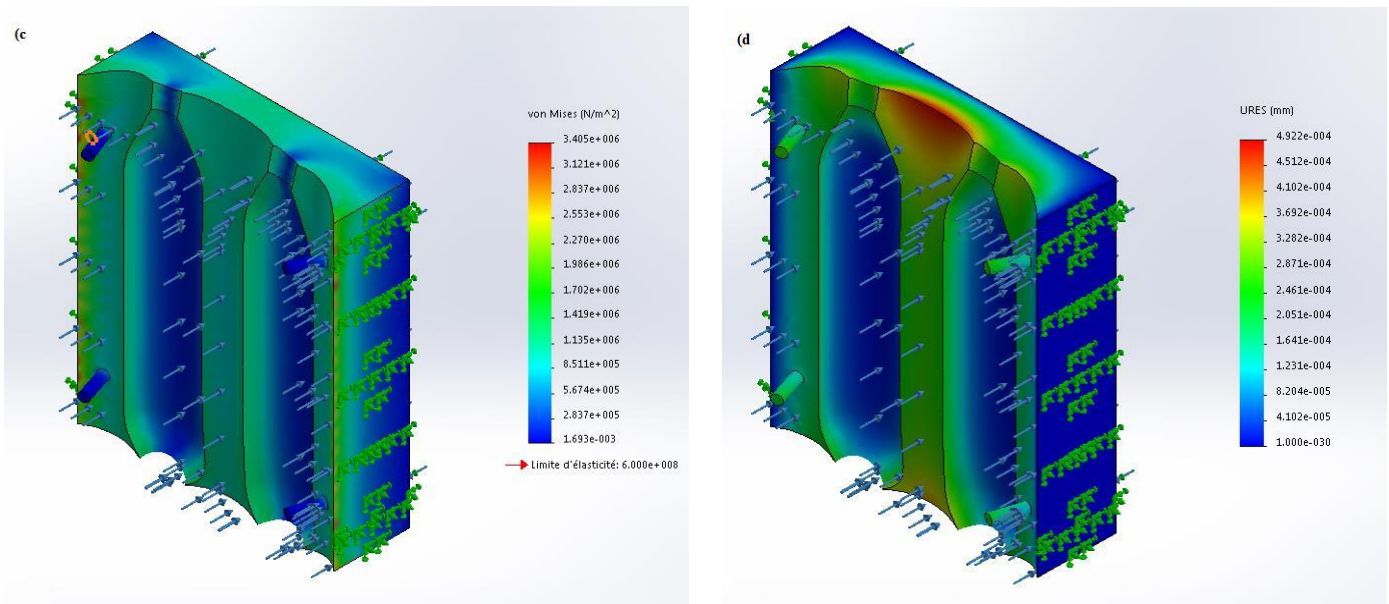
Figure III-21 Résultats de l'étude de déplacements (b).

Résultats de l'étude :

La contrainte de von Mises minimale est de  $2.225e+004 \text{ N/m}^2$  et  $6e+006 \text{ N/m}^2$  pour la contrainte maximale, notre moule est compris dans un intervalle de tolérance très large alors il supporte toute les contraintes et les charge induite par notre machine.

Quant au déplacement on voit que sa valeur minimum est nul  $0.000e+000 \text{ mm}$  et la valeur maximale et de  $4.938e-004 \text{ mm}$  ce qui est très faible et quasi invisible a l'œil nu on en conclue que notre moule est apte à l'utilisation.





**Figure III-22** Résultats de l'étude de Von mise (c) et du déplacements (d).

Nous avons refait les mêmes études mais cette fois pour un moule de bouteille de 2L. nous avons gardé les mêmes chargements et appliquer les mêmes forces 150KN et avons garder le même matériau (acier inoxydable). Les Résultats obtenus sont les suivants :

La contrainte von mises minimale est de  $1.693e-003\text{N/m}^2$  et la contrainte maximale est de  $3.405e+006\text{N/m}^2$  et d'après les caractéristiques du matériau utilisé on en conclue que notre moule reste dans le domaine élastique vu que  $3.405e+006\text{N/m}^2$  est inferieur a  $6e+08\text{N/m}^2$  (limite d'élasticité du matériau).

Quant au déplacement le résultat obtenu est le suivant : le déplacement minimal est nul et maximale est  $4.922e-004\text{mm}$  ce qui très petit et négligeable.

En comparant les deux études on en conclue que les résultats sont approximativement proches en ce qui concerne le déplacement qui est très faible et n'influe pas négativement sur notre produit.

Ce qui nous mène à dire que lors de sa mise en production nous allons obtenir un produit bien fini est apte à l'emploi.

**III-10 usinage**

L'usinage de pièce est un besoin permanent. Que ce soit pour concevoir un moule ou un prototype, reproduire des pièces d'origine ou en produire de nouvelles, cette technique de fabrication garantit en effet des résultats très précis, notamment pour la réalisation de pièces à géométries complexes dans des matériaux divers. Grâce aux différentes technologies qui lui sont aujourd'hui associées, cette opération s'effectue assez rapidement. Cependant, quels que soient le matériau concerné et le résultat escompté, le respect de quelques étapes-clés est nécessaire pour un résultat optimal.

**-Etape 1 : La validation des dessins techniques**

C'est une étape préalable qu'il convient de mentionner dans le cadre d'un processus d'usinage efficace. Avant de commencer un quelconque travail, le prestataire se doit en effet de valider, avec le donneur d'ordre, les différentes données figurant sur les dessins techniques qui lui sont fournis, qu'il s'agisse des dimensions, des formes, des matériaux ou des degrés de précision recherchés pour chaque partie de la pièce à usiner. La moindre incompréhension ou erreur peut en effet fortement impacter la qualité du résultat final. De même, il est important de savoir que c'est en fonction de ces différents paramètres que sera choisi le procédé d'usinage adéquat

**-Etape 2 : La modélisation**

L'informatique intervient très tôt dans les processus modernes d'usinage. Une fois les différents schémas techniques validés, ils sont en effet désormais modélisés grâce à différents logiciels qui permettent d'avoir une vue en 3D de la pièce que l'on s'apprête à fabriquer et de ses différentes faces.

**-Etape 3 : Le choix des outils**

Selon la matière à traiter et en fonction du niveau de complexité de la pièce, l'outil d'usinage adéquat sera différent. Le fraisage, l'alésage, le mortaisage, le perçage et les nombreux autres procédés d'usinage nécessaires à la réalisation d'une pièce sur mesure sont en effet exécutés par différentes machines et outils, et ont différentes actions sur la matière. Leur choix doit donc se faire en fonction du résultat escompté.

**-Etape 4 : Usinage**

Après le choix du matériau et la validation des étapes précédentes, l'usinage de pièce proprement dit peut-être lancé. Il peut être effectué manuellement en recourant à différentes machines. Cependant, grâce aux développements de nombreuses machines-outils à commande

numérique, il est désormais possible d'automatiser tout ou partie du processus jusqu'à la matérialisation de la pièce.

L'usinage de pièce est un besoin permanent. Que ce soit pour concevoir un moule ou un prototype, reproduire des pièces d'origine ou en produire de nouvelles, cette technique de fabrication garantit en effet des résultats très précis, notamment pour la réalisation de pièces à géométries complexes dans des matériaux divers. Grâce aux différentes technologies qui lui sont aujourd'hui associées, cette opération s'effectue assez rapidement. Cependant, quels que soient le matériau concerné et le résultat escompté, le respect de quelques étapes-clés est nécessaire pour un résultat optimal.

#### **-Etape 1 : La validation des dessins techniques**

C'est une étape préalable qu'il convient de mentionner dans le cadre d'un processus d'usinage efficace. Avant de commencer un quelconque travail, le prestataire se doit en effet de valider, avec le donneur d'ordre, les différentes données figurant sur les dessins techniques qui lui sont fournis, qu'il s'agisse des dimensions, des formes, des matériaux ou des degrés de précision recherchés pour chaque partie de la pièce à usiner. La moindre incompréhension ou erreur peut en effet fortement impacter la qualité du résultat final. De même, il est important de savoir que c'est en fonction de ces différents paramètres que sera choisi le procédé d'usinage adéquat

#### **-Etape 2 : La modélisation**

L'informatique intervient très tôt dans les processus modernes d'usinage. Une fois les différents schémas techniques validés, ils sont en effet désormais modélisés grâce à différents logiciels qui permettent d'avoir une vue en 3D de la pièce que l'on s'apprête à fabriquer et de ses différentes faces.

#### **-Etape 3 : Le choix des outils**

Selon la matière à traiter et en fonction du niveau de complexité de la pièce, l'outil d'usinage adéquat sera différent. Le fraisage, l'alésage, le mortaisage, le perçage et les nombreux autres procédés d'usinage nécessaires à la réalisation d'une pièce sur mesure sont en effet exécutés par différentes machines et outils, et ont différentes actions sur la matière. Leur choix doit donc se faire en fonction du résultat escompté.

#### **-Etape 4 : Usinage**

Après le choix du matériau et la validation des étapes précédentes, l'usinage de pièce proprement dit peut être lancé. Il peut être effectué manuellement en recourant à différentes machines. Cependant, grâce aux développements de nombreuses machines-outils à commande

numérique, il est désormais possible d'automatiser tout ou partie du processus jusqu'à la matérialisation de la pièce.

Dans notre cas on prend un bloc d'acier inoxydable que nous avons précédemment choisis comme matériau X39 CrMo17-1.

Nous allons ensuite le tailler de façon à ce qu'on obtienne un bloc homogène et symétrique 280mm x320mm x160mm.

Nous allons ensuite le découper de façon à obtenir deux blocs de 80 mm d'épaisseur dans les quels nous allons usiner nos deux cavité.

Ensuite nous allons percer sur la face du haut un demi-cercle de 14 mm de rayon et 20 mm de profondeur.

Sur la face de dessous nous faisons un perçage de 42 mm de rayon et de 280 mm de profondeur, enfin nous allons percer les 30 mm restant de façon a obtenir un congé de 40 mm de rayon et nous obtenons ainsi notre cavité.

Ce travail ce ferra deux fois sur chacune des deux moitié de notre parallélépipède, pour obtenir un moule avec deux empreintes.

- **Procédure générale de l'usinage sur fraiseuse numérique :**

Lors de la réalisation d'un programme CN (Commande numérique), la programmation, à savoir la transposition des opérations élémentaires d'usinage en langage CN, ne représente souvent qu'une petite partie du travail de programmation.

Avant toute programmation proprement dite, il est important de planifier et de préparer méticuleusement les opérations d'usinage.

Plus votre préparation aura été précise quant à la structure de votre programme CN, plus la programmation sera simple et rapide et moins vous aurez d'erreurs dans le programme terminé. Des programmes claires s'avéreront par ailleurs d'autant plus avantageux le jour où des modifications devront être entreprises

Une pièce ne ressemblant pas à une autre, il n'est pas judicieux de créer chaque programme selon la même méthode mais la procédure suivante sera appropriée dans la plus part des cas.

Les codes utilisé dans un programme différent chacun ordonne a notre machine une tache a faire voici les plus communs :

T : adresse de l'outil, F : vitesse de déplacement, S : vitesse de broche

D : numéros des registres des correcteurs d'outils

M03 : rotation de la broche dans le sens horaire

M04 : rotation de la broche dans le sens anti-horaire

M05 : arrêt de la broche

M06 : changement d'outil

M07, M08, M09 : mise en route arrosage, arrêt arrosage

M30 : fin du programme, réinitialisation, rembobinage

G00 : Déplacement rapide de la broche

G01 : Interpolation linéaire

G02 : Interpolation circulaire (sens horaire, anti-trigo)

G03 : Interpolation circulaire (sens anti-horaire, trigo)

G17 : Sélection du plan X-Y

G18 : Sélection du plan X-Z

G19 : Sélection du plan Y-Z

G40 : désactivation de la correction de rayon de l'outil

G54 à G59 : Activation du décalage d'origine pièce

G90 : Déplacements en coordonnées absolues

G91 : Déplacements en coordonnées relatives

G94 : Déplacement en mm par minute

G95 : Déplacement en mm par tour

G96 : Vitesse de coupe constante

G97 : Vitesse de rotation constante ou annulation de G96

En ce qui concerne notre moule son usinage se fera comme suit :

G54 G90 G17 G40 on commence par décaler notre origine on choisit un plan de travail et la cotation absolue, en fin on bloque la correction du rayon de la fraise.

On choisit en suite notre brute workpiece ("BOX" 320, 280, 80).

T=Fraise perçage D24 et on met M06 pour le changement de l'outil, S50 pour la vitesse de rotation de la broche, M3 pour démarrer la rotation de la broche.

G00 le déplacement rapide de notre broche G01 pour l'interpolation linéaire et on introduit nos coordonnées et sa nous donnera notre premier perçage qui est celui du goulau. A la fin de notre premier perçage on a M05 qui ordonne l'arrêt de la broche.

En ce qui concerne notre deuxième perçage on passe sur les mêmes étapes que notre usinage précédant sauf que cette fois on change de diamètre de perçage alors T=fraise perçage D84 et M06 pour le changement d'outil. Notre origine restera le même seul la profondeur de perçage changera. Nos deux perçage fini on change notre plan de travail a fin d'usiner notre congé on utilise pour cela une broche de finition de diamètre D20 et encore une fois les mêmes étapes seront nécessaire pour commencer notre usinage.

Une fois notre programme fini on introduit le code M30 qui annonce la fin de notre usinage (fin du programme, réinitialisation, rembobinage). (Programme complet en G-code dans Annexes).

# Conclusion générale

## Conclusion générale

---

L'objectif de ce projet de fin d'étude est de traiter l'étude technologique de la presse à injection billon stabilog 2 et cela sous plusieurs angles telle que le fonctionnement de ces trois unités, unité injection, unité de fermeture et unité de robot et pour cela nous avons partagé notre travail en trois chapitres.

Le premier chapitre de notre étude est une introduction au domaine de l'injection plastique, dans cette partie on va éclaircir les différentes techniques de moulage, les procédés de machines et leurs outillages, les moules d'injection plastique et leurs composants mais aussi les différents polymères utilisés et leurs caractéristiques.

Le second chapitre comporte une étude approfondie sur tout ce qui concerne l'étude technologique sur le procédé de l'injection soufflage, une technique de mise en forme d'objets creux comme les récipients pour les boissons. Suivi par une description des préformes en Polytéraphthalate d'éthylène, qui après son passage dans un four infrarouge, celui-ci préchauffe notre préforme pour réduire sa dureté. Enfin cette préforme qui passera à l'étape finale du cycle celle du soufflage pour obtenir notre produit fini prêt au conditionnement.

A la lumière de ces résultats, il ressort que :

- A l'issue de cette étude, nous avons pu épargner à l'entreprise l'un des problèmes majeurs au niveau de la production, d'où l'optimisation des procédés de fabrication et aussi possibilité d'un usinage.
- Etude technologique nous a permis d'approfondir notre idée de conception et positionnement des modifications à apporter au moule de deux litres.
- Optimisation de la distribution du flux d'air injecté pour le moule de deux litres, nous montre que même si on change la dimension du moule passant de 1 litre à deux litres, sous une pression de 30 bar le flux d'air se comporte de la même manière, régime turbulent mais qui épouse la forme de la cavité d'empreinte afin de passer au moule de deux litres demandé par la société.



## Références bibliographiques

---

- Optimisation de la distribution de température du moule, nous montre que l'obtention d'une bouteille dont l'épaisseur calculée est la plus uniforme possible, on peut conclure aussi que 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. Le gradient de température dans l'épaisseur de la préforme permet donc d'homogénéiser la contrainte.
- Optimisation de la distribution de contrainte nous a montré que sous une charge de 150KN, appliqué sur le moule soufflage, le déplacement engendrée est de  $4.44 \cdot 10^{-4}$  mm, ce déplacement qui reste infime par rapport au domaine de ductilité de nos matériaux

En dépit des résultats obtenus, nous sommes conscient que ce travail est une première approche et il pourrait être complété par :

- ✓ L'étude des mécanismes de fatigue des brides de fixation, du au travaille cyclique des moule de soufflage;
- ✓ L'étude du comportement de refroidissement des systèmes hydraulique afin d'optimiser la température de cristallisation des préformes PET.
- ✓ L'étude de conception esthétique de la bouteille 2L.

# Références bibliographiques

## Bibliographie

---

- [1] **N. Billion, E. Gorlier**, *Comportement mécanique du PET amorphe au-dessus de sa transition vitreuse*, Matériaux 2001, Tours, France, **2002**
- [2] **Y. Bereaux**, *procédés de plasturgie : approche par des modèles numériques, thermiques et mécaniques*. Insa de Lyon France, **2012**.
- [3] **T. Pham**, *plastification en injection des polymères fonctionnels*, thèse de doctorat insa de Lyon France, **2013**.
- [4] **M. Carrega**, *propriétés mise en forme et applications industrielles des matériaux polymères*, édition dunod, **2017**.
- [5] **S. Bag & Pal**, *bioactive coating on newly developed composite hip prosthesis*, engineer preparation, school of bioscience & engineering, India Teheran, **2009**.
- [6] **R. Deterre & G. Froyer**, *Introduction aux matériaux et polymères. Technique et documentations*, Paris France, **1997**.
- [7] **J. Nkongo**, *Les polymères dans l'industrie*, thèse de doctorat université de Douala, Cameroun 2005.
- [8] **E. C. Duchesne**, mémoire présenté à la faculté des études supérieures de l'université Laval pour l'obtention du grade de maîtres science, décembre 1999.
- [9] **A. E. Langroudi**, *étude de la déformation viscoélastique et plastique du PET amorphe et semi-cristallin autour de la transition vitreuse*, l'université de technologie sharif, r.i. d'iran **1998**.
- [10] **L. Benmekideche-gouissem**, *étude de l'effet des paramètres de transformation et des extenseurs de chaînes sur les propriétés du poly (éthylène téréphtalate) (PET) recyclé*, doctorat en sciences, Université Ferhat ABBAS Sétif -1, **2015**.
- [11] **K. L. Naït-ali**, *le PET recycle en emballages alimentaires approche expérimentale et modélisation*, thèse de doctorat, insa de Lyon France, **2008**.
- [12] **D. E. Kokkalas, D. N. Bikiaris, G. P. Karayannidis**, *effect of the Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst on the solid-state postpolycondensation of poly(ethylene terephthalate)*, journal of applied polymer science, volume 55, pp. 787-791, **1995**.
- [13] **S. Tate, Y. Watanabe, A. Chiba**, *synthesis of ultra-high molecular weight poly (ethylene terephthalate) by swollen-state polymerization*, in polymer, volume 34, pp. 4974-4977. **1993**.
- [14] **M. Bordival**, *modélisation et optimisation numérique de l'étape de chauffage infrarouge pour la fabrication de bouteilles en PET par injection-soufflage*, thèse, l'Ecole des Mines de Paris France, **2009**.
- [15] **A. Denis**, *Étude expérimentale et modélisation du chauffage par rayonnement infrarouge de polymères semi-cristallins : influence des centres diffusants*, Thèse de Doctorat, Université de Rouen France, **1995**.
- [16] **Y. Marco**, *Caractérisation multi-axiale du comportement et de la microstructure d'un semi-cristallin : application au cas du PET*, Thèse de Doctorat, ENS Cachan France, **2003**.

## Bibliographie

---

- [17] **V.Berrou, L.Chevalier, C.Linhone, Y.Marco**, *Evolution de la microstructure au cours du processus de moulage par étirage-soufflage et l'influence sur la résistance mécanique de bouteilles de poly (téréphtalate d'éthylène)*, La 15ème réunion annuelle de The Polymer Société de transformation ,Hertogenbosch Hollande), **1999**.
- [18] **G. Menges & P. Mohren**. Comment faire des moules d'injection. Hanser éditeurs, 1993.
- [19] **D.Q. Chenou et L. Cadiou**. Les aciers pour moules d'injection plastique : une évolution permanente. La Revue de Métallurgie, **1998**.
- [20] **F. Catteau, A. Fourray, C. Jaquerod, et B. Marandet**. Les moules de plasturgie en aluminium. CETIM, **2003**.
- [21] **B.Dowlerand et L.Coppari**. Optimisation du refroidissement des petites pièces moulées par injection. Ingénierie des plastiques, 1997.
- [22] **E. Gorlier, J. M. Haudin, N.Billion**, *Strain-induced crystallization in bulk amorphous PET under uni-axial loading*, Polymer 42, p. 9541-9549. **2001**.
- [23] **D. Delaunay, P.Le Bot, R. Fulchiron, J.F. Luye, G. Regnier**, *Nature of contact between polymer and mold in injection molding. Part I: Influence of a non-perfect thermal contact*, Polymer Engineering and Science 40 (7), p.1682-1691. **2000**.

# Annexes

### **1-LA PRÉSENTATION DE LA SOCIÉTÉ**

Sarl AIT ALI est une société nationale dont les activités principales sont la fabrication et la vente de boissons non alcoolisées et de différents produits plastique. Au fil du temps l'activité c'est développé et diversifié.

### **2-Historique**

ETS AITALI est une entreprise qui a vu le jour dès les années 2000, elle fut créée par des fonds privés. Son complexe de production situe à la sortie de la ville de Bejaia dans la commune de mellala, Elle s'étend sur une superficie d'environ 2500M<sup>2</sup>.

Les premiers pats de la société dans le secteur du soufflage plastique plus exactement en 2005 qu'a commencés la diversification de la fabrication et l'acquisition de nouveaux marchés. Puis en 2008 il fut l'ouverture d'une nouvelle filiale spécialisée dans la fabrication de boissons non alcoolisées, et enfin pour compléter la production ont a eu en 2009 l'introduction d'un nouveau secteur de fabrication plastique (injection plastique).

### **3-Situation géographique de la société**

La fabrication est basée essentiellement à Bejaïa, dans la commune de Mellala daïra de oued-ghir un emplacement majeur qui facilite les transactions et le transport des marchandises. Cette entreprise compte aussi d'autres annexes spécialisées dans la vente et le marketing dans les willayas d'Alger et d'Oran.

### **4-Activités de la société**

La société AIT ALI se diversifie au fur et à mesure des années en fonction des demandes des clients aujourd'hui on peut distinguer plusieurs activités qui sont :

Laboratoires chimique

Unité de fabrication

Maintenance des différentes machines et équipements (réparation et suivi)

Service client

Recherches et négociations

<b>Activité</b>	<b>Détails</b>
<b>Laboratoires chimique</b>	Spécialisé dans la recherche et la conception des différents goûts de boissons.
<b>Unité de fabrication</b>	Dont l'activité essentiel est la fabrication des produits de la société (boissons, bouteilles en plastique, palettes, bouchons)
<b>Maintenance</b>	Maintenance des différentes machines et équipements (réparation et suivi et fabrication des pièces mécanique)
<b>Service client</b>	Chargé des rapports entre le fabricant et le consommateur
<b>Recherches et négociations</b>	Consiste à trouver de nouveaux marchés et de nouveau clients

**Tableau-1** représentant les activités de la société

#### **4-Missions et objectifs de la société**

A ce titre, la société peut mener plusieurs activités en même temps :

- La prospection, qui est sa tâche première et qui consiste à ramener de nouveaux clients à l'entreprise.
- La communication, qui lui permet de transmettre des informations concernant le produit ou le service aux clients ciblés.
- Le service, qui doit intervenir avant et après la vente en se mettant à la disposition du client et en écoutant ses remarques.
- La vente à proprement parler, qui vient conclure la phase de l'approche du client et de la présentation commerciale du produit ou service.
- La fidélisation des clients, en leur proposant des offres complémentaires et des promotions.
- Pour ce faire, les commerciaux doivent tenir compte des spécificités du marché ciblé et du positionnement recherché par l'entreprise sur chaque marché.
- Parmi nos objectifs :

- La recherche de solutions optimales pour notre société , nos clients , nos consommateurs .
- La mise en avant de la diversité de l'inclusion
- Agrandir notre société et élargir le secteur de vente

### **5-Traitement des déchets**

Pour solutionner les problèmes d'environnement ou pour la valorisation de nos déchets en matières plastiques, le recyclage et la régénération des matières plastiques est un choix stratégique pour notre société dans la filière plasturgie. Compoundage, ou broyage sont tous deux des solutions fructueuses pour appréhender nos problématiques de recyclage et de régénération des matières plastiques.

### **6-Conditionnement**

A la fin de la fabrication nos produits sont directement acheminer vers la chaîne d'emballage ou plusieurs ouvriers sont chargés de mettre le produit dans les meilleures conditions d'hygiène et de sécurité avec un emballage conforme et dans les normes.

Présentation générale :

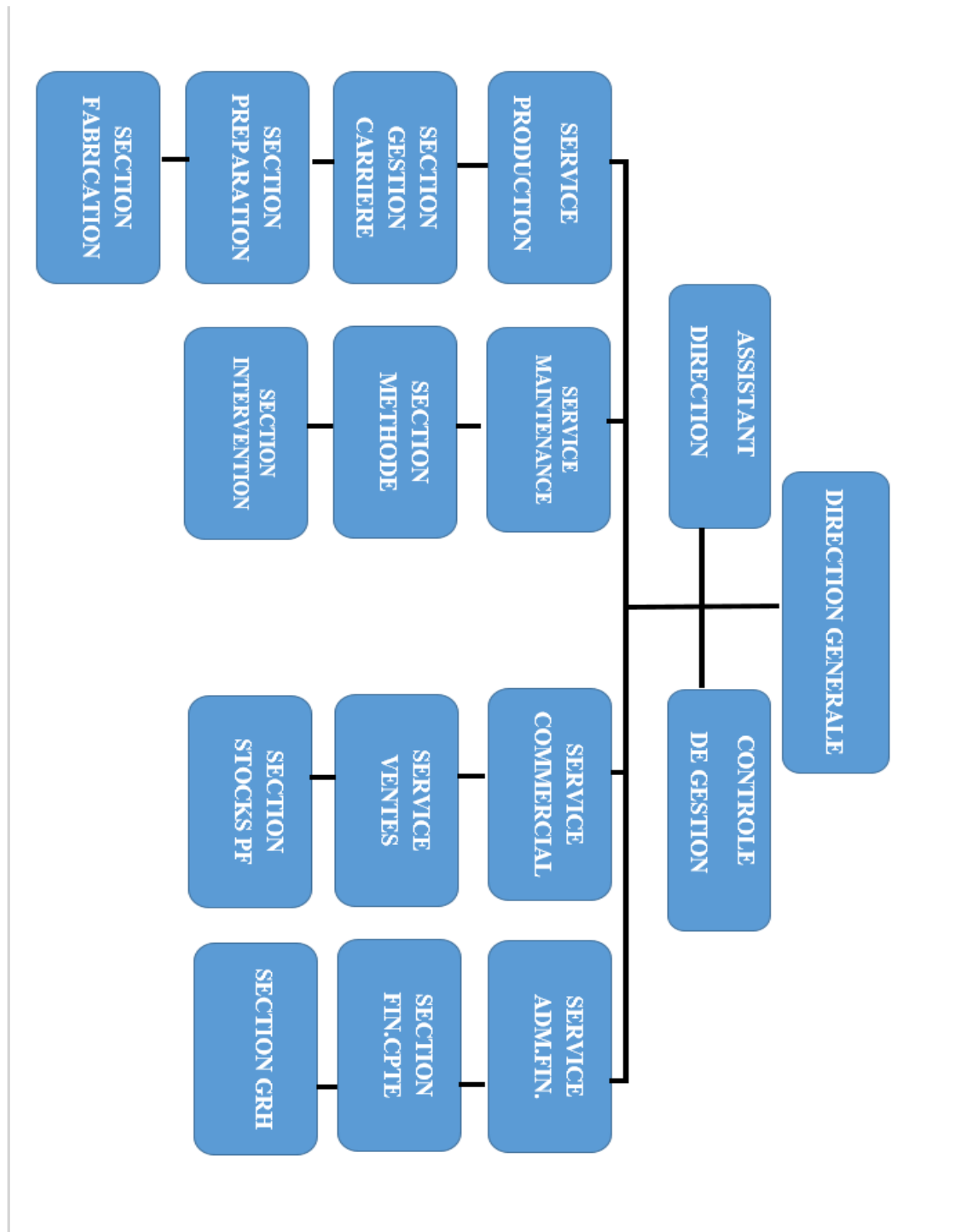
#### **6-1-Présentation de la direction technique :**

La direction des services techniques organise les moyens techniques nécessaires au bon fonctionnement de la société et coordonne les services annexes et l'activité de l'entreprise (Maintenance, fabrication, équipements, logistique, Etc.)

Elle a pour objectif de garantir la disponibilité des moyens techniques (bon fonctionnements des appareils, sécurité des hommes et des bâtiments) mais aussi manager les services techniques et s'occuper de la gestion administrative, financière et humaine des services.



## 10 – Diagramme du complexe de la société



## Annexes

%	N72 X2.9273 Y-5.1444	N110 X2.725 Y-5.3655	N148 X2.9871 Y3.9863	N186 X2.275	N224 X2.4879 Y5.163
N1 G40 G49 G80 G98	N73 X2.9317 Y3.2696	N111 X2.775 Y-5.4499	N149 X3.109 Y3.7912	N187 X2.2038 Y-5.8644	N225 X1.7328 Y4.1489
:Horizontal Roughing	N74 X2.9187 Y3.4291	N112 X2.9583 Y-5.3415	N150 X3.1709 Y3.6441	N188 X2.0642 Y-5.7148	N226 X1.5959 Y3.9281
N2 G20 G90	N75 X2.8893 Y3.5519	N113 X3.1241 Y-5.2868	N151 X3.2112 Y3.4757	N189 X1.9072 Y-5.6185	N227 X1.5152 Y3.7364
N3 S1000 M03	N76 X2.846 Y3.6548	N114 X3.1285 Y3.2775	N152 X3.2269 Y3.2815	N190 X1.6159 Y-5.5481	N228 X1.4639 Y3.5223
N4 G00 Z0.2362	N77 X2.7426 Y3.8204	N115 X3.1137 Y3.4602	N153 X3.2225 Y-5.3673	N191 X1.5674 Y-5.5212	N229 X1.4454 Y3.2934
N5 X2.4293 Y-4.6833	N78 X2.4851 Y4.1703	N116 X3.077 Y3.6134	N154 X3.1598 Y-5.3787	N192 X1.5435 Y-5.4213	N230 X1.4451 Y-5.4301
N6 G01 Z-0.1219	N79 X2.2214 Y3.8163	N117 X3.0213 Y3.7457	N155 X2.9891 Y-5.435	N193 X1.5438 Y3.2894	N231 X1.4644 Y-5.5366
F3.45	N80 X2.1222 Y3.6563	N118 X2.9056 Y3.931	N156 X2.8256 Y-5.5338	N194 X1.5614 Y3.5068	N232 X1.4871 Y-5.5801
N7 Z-0.1469 F1.294	N81 X2.0782 Y3.5518	N119 X2.486 Y4.5012	N157 X2.8772 Y-5.617	N195 X1.609 Y3.7056	N233 X1.5148 Y-5.6079
N8 Y-4.9049 Z-0.1859	N82 X2.0489 Y3.4292	N120 X2.0586 Y3.9272	N158 X3.0205 Y-5.5282	N196 X1.6836 Y3.8828	N234 X1.5828 Y-5.6415
N9 X2.4803 Y-4.9401	N83 X2.0359 Y3.2695	N121 X1.9468 Y3.7469	N159 X3.1772 Y-5.4755	N197 X1.8142 Y4.0934	N235 X1.8574 Y-5.7034
Z-0.1969	N84 X2.0356 Y-5.1568	N122 X1.8905 Y3.6133	N160 X3.3209 Y-5.4496	N198 X2.4874 Y4.9975	N236 X1.9936 Y-5.7833
N10 X2.5337 Y-4.909	N85 X2.1767 Y-5.2069	N123 X1.8539 Y3.4602	N161 X3.3254 Y3.2855	N199 X3.1501 Y4.097	N237 X2.1166 Y-5.91
F1.725	N86 X2.4307 Y-5.3863	N124 X1.8391 Y3.2775	N162 X3.3087 Y3.4912	N200 X3.2843 Y3.8821	N238 X2.1972 Y-6.0643
N11 X2.538 Y3.2538	N87 X2.4816 Y-5.4441	N125 X1.8388 Y-5.3018	N163 X3.2647 Y3.6749	N201 X3.3586 Y3.7056	N239 X2.2056 Y-6.0993
N12 X2.5288 Y3.367	N88 X2.6369 Y-5.3028	N126 X2.0655 Y-5.3693	N164 X3.1966 Y3.8367	N202 X3.4062 Y3.5067	N240 X2.7607 Y-6.0992
N13 X2.4956 Y3.4726	N89 X2.6758 Y-5.2807	N127 X2.283 Y-5.5165	N165 X3.0686 Y4.0416	N203 X3.4238 Y3.2894	N241 X2.8539 Y-5.9038
N14 X2.4836 Y3.4913	N90 X2.725 Y-5.3655	N128 X2.4498 Y-5.7055	N166 X2.487 Y4.8321	N204 X3.4241 Y-5.427	N242 X2.9463 Y-5.8058
N15 X2.4536 Y3.4288	N91 X2.6864 Y-5.388	N129 X2.5236 Y5.6273	N167 X1.8957 Y4.038	N205 X3.4142 Y-5.4897	N243 X2.9836 Y-5.7812
N16 X2.4388 Y3.3671	N92 X2.5059 Y-5.5559	N130 X2.5737 Y-5.6273	N168 X1.7714 Y3.8375	N206 X3.3973 Y-5.5238	N244 X3.0388 Y-5.8617
N17 X2.4296 Y3.2535	N93 X2.48 Y-5.5911	N131 X2.7365 Y-5.4727	N169 X1.7028 Y3.6748	N207 X3.3724 Y-5.5403	N245 X3.0019 Y-5.887
N18 X2.4293 Y-4.9049	N94 X2.3568 Y-5.4514	N132 X2.775 Y-5.4499	N170 X1.6589 Y3.4913	N208 X3.1947 Y-5.5724	N246 X2.9269 Y-5.9698
N19 X2.4803 Y-4.9401	N95 X2.1207 Y-5.2878	N133 X2.8256 Y-5.5338	N171 X1.6422 Y3.2855	N209 X3.0526 Y-5.6213	N247 X2.852 Y-6.1346
Z-0.1969	N96 X1.9372 Y-5.2284	N134 X2.7874 Y-5.5569	N172 X1.6419 Y-5.4097	N210 X2.9298 Y-5.6995	N248 X2.8413 Y-6.1976
N10 X2.5337 Y-4.909	N97 X1.9375 Y3.2735	N135 X2.6423 Y-5.6979	N173 X1.6529 Y-5.4558	N211 X2.9836 Y-5.7812	N249 X2.1281 Y-6.1977
F1.725	N98 X1.9514 Y3.4447	N136 X2.5798 Y-5.8039	N174 X1.9586 Y-5.5346	N212 X3.0854 Y-5.7141	N250 X2.1015 Y-6.0874
N11 X2.538 Y3.2538	N99 X1.9844 Y3.5826	N137 X2.3943 Y-5.804	N175 X2.1362 Y-5.6476	N213 X3.2122 Y-5.6692	N251 X2.0302 Y-5.9573
N12 X2.5288 Y3.367	N100 X2.0345 Y3.7016	N138 X2.3783 Y-5.7733	N176 X2.2911 Y-5.8189	N214 X3.4043 Y-5.6346	N252 X1.9246 Y-5.8535
N13 X2.4956 Y3.4726	N101 X2.14 Y3.8717	N139 X2.2092 Y-5.5816	N177 X2.3347 Y-5.9024	N215 X3.4481 Y-5.6121	N253 X1.8095 Y-5.7894
N14 X2.4836 Y3.4913	N102 X2.4855 Y4.3358	N140 X2.0114 Y-5.4516	N178 X2.6383 Y-5.9023	N216 X3.4782 Y-5.5822	N254 X1.5504 Y-5.7353
N15 X2.4536 Y3.4288	N103 X2.8241 Y3.8757	N141 X1.7403 Y-5.3767	N179 X2.7118 Y-5.7676	N217 X3.5091 Y-5.5199	N255 X1.4566 Y-5.6889
N16 X2.4388 Y3.3671					
N17 X2.4296 Y3.2535					
N18 X2.4293 Y-4.9049					
N19 X2.4803 Y-4.9401					
Z-0.1969					
N10 X2.5337 Y-4.909					
F1.725					
N11 X2.538 Y3.2538					
N12 X2.5288 Y3.367					
N13 X2.4956 Y3.4726					
N14 X2.4836 Y3.4913					
N15 X2.4536 Y3.4288					
N16 X2.4388 Y3.3671					
N17 X2.4296 Y3.2535					
N18 X2.4293 Y-4.9049					
N19 X2.4803 Y-4.9401					
Z-0.1969					
N10 X2.5337 Y-4.909					
F1.725					
N11 X2.538 Y3.2538					
N12 X2.5288 Y3.367					
N13 X2.4956 Y3.4726					
N14 X2.4836 Y3.4913					
N15 X2.4536 Y3.4288					
N16 X2.4388 Y3.3671					
N17 X2.4296 Y3.2535					
N18 X2.4293 Y-4.9049					
N19 X2.4803 Y-4.9401					
Z-0.1969					
N10 X2.5337 Y-4.909					
F1.725					
N11 X2.538 Y3.2538					
N12 X2.5288 Y3.367					
N13 X2.4956 Y3.4726					
N14 X2.4836 Y3.4913					
N15 X2.4536 Y3.4288					
N16 X2.4388 Y3.3671					
N17 X2.4296 Y3.2535					
N18 X2.4293 Y-4.9049					
N19 X2.4803 Y-4.9401					
Z-0.1969					
N10 X2.5337 Y-4.909					
F1.725					
N11 X2.538 Y3.2538					
N12 X2.5288 Y3.367					
N13 X2.4956 Y3.4726					
N14 X2.4836 Y3.4913					
N15 X2.4536 Y3.4288					
N16 X2.4388 Y3.3671					
N17 X2.4296 Y3.2535					
N18 X2.4293 Y-4.9049					
N19 X2.4803 Y-4.9401					
Z-0.1969					
N10 X2.5337 Y-4.909					
F1.725					
N11 X2.538 Y3.2538					
N12 X2.5288 Y3.367					
N13 X2.4956 Y3.4726					
N14 X2.4836 Y3.4913					
N15 X2.4536 Y3.4288					
N16 X2.4388 Y3.3671					
N17 X2.4296 Y3.2535					
N18 X2.4293 Y-4.9049					
N19 X2.4803 Y-4.9401					
Z-0.1969					
N10 X2.5337 Y-4.909					
F1.725					
N11 X2.538 Y3.2538					
N12 X2.5288 Y3.367					
N13 X2.4956 Y3.4726					
N14 X2.4836 Y3.4913					
N15 X2.4536 Y3.4288					
N16 X2.4388 Y3.3671					
N17 X2.4296 Y3.2535					
N18 X2.4293 Y-4.9049					
N19 X2.4803 Y-4.9401					
Z-0.1969					
N10 X2.5337 Y-4.909					
F1.725					
N11 X2.538 Y3.2538					
N12 X2.5288 Y3.367					
N13 X2.4956 Y3.4726					
N14 X2.4836 Y3.4913					
N15 X2.4536 Y3.4288					
N16 X2.4388 Y3.3671					
N17 X2.4296 Y3.2535					
N18 X2.4293 Y-4.9049					
N19 X2.4803 Y-4.9401					
Z-0.1969					
N10 X2.5337 Y-4.909					
F1.725					
N11 X2.538 Y3.2538					
N12 X2.5288 Y3.367					
N13 X2.4956 Y3.4726					
N14 X2.4836 Y3.4913					
N15 X2.4536 Y3.4288					
N16 X2.4388 Y3.3671					
N17 X2.4296 Y3.2535					
N18 X2.4293 Y-4.9049					
N19 X2.4803 Y-4.9401					
Z-0.1969					
N10 X2.5337 Y-4.909					
F1.725					
N11 X2.538 Y3.2538					
N12 X2.5288 Y3.367					
N13 X2.4956 Y3.4726					
N14 X2.4836 Y3.4913					
N15 X2.4536 Y3.4288					
N16 X2.4388 Y3.3671					
N17 X2.4296 Y3.2535					
N18 X2.4293 Y-4.9049					
N19 X2.4803 Y-4.9401					
Z-0.1969					
N10 X2.5337 Y-4.909					
F1.725					
N11 X2.538 Y3.2538					
N12 X2.5288 Y3.367					
N13 X2.4956 Y3.4726					
N14 X2.4836 Y3.4913					
N15 X2.4536 Y3.4288					
N16 X2.4388 Y3.3671					
N17 X2.4296 Y3.2535					
N18 X2.4293 Y-4.9049					
N19 X2.4803 Y-4.9401					
Z-0.1969					
N10 X2.5337 Y-4.909					
F1.725					
N11 X2.538 Y3.2538					
N12 X2.5288 Y3.367					
N13 X2.4956 Y3.4726					
N14 X2.4836 Y3.4913					
N15 X2.4536 Y3.4288					
N16 X2.4388 Y3.3671					
N17 X2.4296 Y3.2535					
N18 X2.4293 Y-4.9049					
N19 X2.4803 Y-4.9401					
Z-0.1969					
N10 X2.5337 Y-4.909					
F1.725					
N11 X2.538 Y3.2538					
N12 X2.5288 Y3.367					
N13 X2.4956 Y3.4726					
N14 X2.4836 Y3.4913					
N15 X2.4536 Y3.4288					
N16 X2.4388 Y3.3671					
N17 X2.4296 Y3.2535					
N18 X2.4293 Y-4.9049					
N19 X2.4803 Y-4.9401					
Z-0.1969</					

## Annexes

N295 X2.5378 Y5.5339 N296 X2.5369 Y6.2958 N297 X2.4327 N298 X2.424 Y5.4803 N299 X2.3762 Y5.3425 N300 X1.5699 Y4.2597 N301 X1.4205 Y4.0188 N302 X1.3275 Y3.7979 N303 X1.269 Y3.5533	N334 X1.4876 Y- 5.9239 N335 X1.3403 Y- 5.8509 N336 X1.2461 Y- 5.7567 N337 X1.1819 Y- 5.6333 N338 X1.1498 Y- 5.4567 N339 X1.1501 Y3.3054 N340 X1.1715 Y3.5689 N341 X1.2336 Y3.8286 N7292 X-2.7771 Y3.3823 N7293 X-2.7456 Y3.4846 N7294 X-2.695 Y3.5804 N7295 X-2.5888 Y3.7027 N7296 X-2.4831 Y3.7865 N7297 X-2.367 Y3.688 N7298 X-2.2724 Y3.5794 N7299 X-2.2256 Y3.491 N7300 X-2.1903 Y3.3791 N7301 X-2.1766 Y3.2407 N7302 X-2.1812 Y-5.2115 N7303 X-2.4664 Y-5.2707 N7304 X-2.4977 Y-5.2708 N7305 X-2.7945 Y-5.2117 N7306 Y-4.9695 N7307 X-2.8929 N7308 Y-5.2975 N7309 X-2.7542 Y-5.3166 N7310 X-2.508 Y- 5.3693 N7311 X-2.456 Y- 5.3691 N7312 X-2.1777 Y-5.3103 N7313 X-2.0828 Y-5.2976 N7314 X-2.0782 Y3.2455 N7315 X-2.0934 Y3.3989 N7316 X-2.1344 Y3.5292 N7317 X-2.1908 Y3.6355 N7318 X-2.2977 Y3.7582 N7319 X-2.4326 Y3.8727 N7320 X-2.482 Y3.9018	N372 X3.8886 Y- 5.6406 N373 X3.9162 Y- 5.4656 N374 X3.9159 Y3.3094 N375 X3.8936 Y3.5844 N376 X3.8278 Y3.8594 N377 X3.7225 Y4.1094 N378 X3.5571 Y4.3743 N379 X2.7639 Y5.4344 N7331 X-2.9284 Y3.5601 N7332 X-2.8585 Y3.6924 N7333 X-2.7276 Y3.843 N7334 X-2.6218 Y3.9328 N7335 X-2.4824 Y4.0162 N7336 X-2.3753 Y3.9532 N7337 X-2.2283 Y3.8284 N7338 X-2.1091 Y3.6916 N7339 X-2.0433 Y3.5673 N7340 X-1.9965 Y3.4188 N7341 X-1.9797 Y3.2504 N7342 X-1.9845 Y-5.3838 N7343 X-2.1647 Y-5.4078 N7344 X-2.4455 Y-5.4675 N7345 X-2.5182 Y-5.4678 N7346 X-2.7748 Y-5.4129 N7347 X-2.9914 Y-5.3835 N7348 Y-4.9695 N7349 X-3.0898 N7350 Y-5.4578 N7351 X-3.0435 Y-5.4758 N7352 X-2.7954 Y-5.5091 N7353 X-2.5285 Y-5.5662 N7354 X-2.4349 Y-5.5659 N7355 X-2.1517 Y-5.5054 N7356 X-1.9268 Y-5.4755 N7357 X-1.8861 Y-5.4583 N7358 X-1.8813 Y3.2552 N7359 X-1.8995 Y3.4386	N410 X1.7571 Y- 6.4719 N411 X1.7212 Y- 6.4931 N412 X3.2459 Y- 6.4928 N413 X3.178 Y- 6.4406 N414 X3.146 Y- 6.3906 N415 X3.1265 Y- 6.3156 N416 X3.1274 Y- 6.2406 N417 X3.1571 Y- 6.1545 N7370 X-3.0197 Y3.5979 N7371 X-3.0678 Y3.4413 N7372 X-3.0897 Y3.229 N7373 X-3.0898 Y-4.9695 N7374 X-3.1882 N7375 X-3.1881 Y3.2341 N7376 X-3.1647 Y3.461 N7377 X-3.1111 Y3.6357 N7378 X-3.0219 Y3.8044 N7379 X-2.8664 Y3.9834 N7380 X-2.7393 Y4.0913 N7381 X-2.5884 Y4.1885 N7382 X-2.4916 Y4.2206 N7383 X-2.4301 Y4.2112 N7384 X-2.3752 Y4.1874 N7385 X-2.2594 Y4.113 N7386 X-2.0897 Y3.9689 N7387 X-1.9458 Y3.8038 N7388 X-1.8609 Y3.6436 N7389 X-1.8026 Y3.4585 N7390 X-1.7829 Y3.2601 N7391 X-1.7877 Y-5.5072 N7392 X-1.8041 Y-5.5305 N7393 X-1.9007 Y-5.5713 N7394 X-2.1387 Y-5.603 N7395 X-2.4243 Y-5.6643 N7396 X-2.5387 Y-5.6647 N7397 X-2.816 Y- 5.6054	N449 G01 Z- 0.1219 F3.45 N450 Z-0.1469 F1.294 N451 X-2.5372 Y- 5.0037 Z-0.1868 N452 X-2.4938 Y- 5.0403 Z-0.1969 N453 X-2.4305 Y- 4.9991 F1.725 N454 X-2.4289 Y3.2029 N455 X-2.4397 Y3.3347 N456 X-2.4751 Y3.4413 N457 X-2.4838 Y3.4547 N7409 X-3.0852 Y-5.6688 N7410 X-2.8366 Y-5.7016 N7411 X-2.549 Y- 5.7631 N7412 X-2.4136 Y-5.7627 N7413 X-2.1257 Y-5.7005 N7414 X-1.8769 Y-5.6674 N7415 X-1.7707 Y-5.6282 N7416 X-1.7329 Y-5.6003 N7417 X-1.6893 Y-5.5384 N7418 X-1.6844 Y3.2649 N7419 X-1.7057 Y3.4784 N7420 X-1.7697 Y3.6818 N7421 X-1.8642 Y3.8599 N7422 X-2.0203 Y4.0391 N7423 X-2.2007 Y4.1923 N7424 X-2.3288 Y4.2745 N7425 X-2.4013 Y4.306 N7426 X-2.4802 Y4.3205 N7427 X-2.5119 Y4.3176 N7428 X-2.6312 Y4.278 N7429 X-2.7981 Y4.1706 N7430 X-2.9358 Y4.0536 N7431 X-3.1037 Y3.8604 N7432 X-3.2025 Y3.6734 N7433 X-3.2616 Y3.4807 N7434 X-3.2865 Y3.2392 N7435 X-3.2866 Y-4.9695	N488 X-2.6993 Y3.458 N489 X-2.7234 Y3.3622 N490 X-2.7353 Y3.2125 N491 X-2.7341 Y- 5.1156 N492 X-2.655 Y- 5.1606 N493 X-2.4883 Y- 5.3076 N494 X-2.383 Y- 5.2025 N495 X-2.3298 Y- 5.2853 N7447 X-2.2823 Y4.3617 N7292 X-2.7771 Y3.3823 N7410 X-2.7456 Y3.4846 N7294 X-2.695 Y3.5804 N7295 X-2.5888 Y3.7027 N7296 X-2.4831 Y3.7865 N7297 X-2.367 Y3.688 N7298 X-2.2724 Y3.5794 N7299 X-2.2256 Y3.491 N7300 X-2.1903 Y3.3791 N7301 X-2.1766 Y3.2407 N7302 X-2.1812 Y-5.2707 N7303 X-2.4664 Y-5.2708 N7304 X-2.4977 Y-5.2708 N7305 X-2.7945 Y-5.2117 N7306 Y-4.9695 N7307 X-2.8929 N7308 Y-5.2975 N7309 X-2.7542 Y-5.3166 N7310 X-2.508 Y- 5.3693 N7311 X-2.456 Y- 5.3691 N7312 X-2.1777 Y-5.3103 N7313 X-2.0828 Y-5.2976 N7314 X-2.0782 Y3.2455 N7315 X-2.0934 Y3.3989 N7316 X-2.1344 Y3.5292 N7317 X-2.1908 Y3.6355 N7318 X-2.2977 Y3.7582 N7319 X-2.4326 Y3.8727 N7320 X-2.482 Y3.9018
--	--	--	---	--	--

## Annexes

N60 X2.2099 Y3.611	N104 X2.9336	N142 X1.7406	N180 X2.8392 Y-	N218 X3.5225 Y-	N256 X1.4068 Y-
N61 X2.3029 Y3.7609	Y3.7003	Y3.2815	5.6406	5.4347	5.639
N62 X2.4846 Y4.0049	N105 X2.9832	N143 X1.7564	N181 X2.8772 Y-	N219 X3.5222	N257 X1.3702 Y-
N63 X2.6611 Y3.765	Y3.5826	Y3.4757	5.617	Y3.2934	5.5688
N64 X2.7583 Y3.6094	N106 X3.0162	N144 X1.7967	N182 X2.9298 Y-	N220 X3.5037	N258 X1.3466 Y-
N65 X2.7955 Y3.5211	Y3.4446	Y3.6441	5.6995	Y3.5223	5.439
N66 X2.8212 Y3.4136	N107 X3.0301	N145 X1.8591	N183 X2.8921 Y-	N221 X3.4524	N259 X1.3469
N67 X2.8332 Y3.2656	Y3.2736	Y3.7922	5.7236	Y3.7364	Y3.2974
N68 X2.8289 Y-5.0799	N108 X3.0257 Y-	N146 X1.9771	N184 X2.7823 Y-	N222 X3.3719	N260 X1.3665
N69 X2.627 Y-5.1952	5.2156	Y3.9826	5.8363	Y3.9276	Y3.5378
N70 X2.6758 Y-5.2807	N109 X2.9275 Y-	N147 X2.4865	N185 X2.6986 Y-	N223 X3.2316	N261 X1.4213
N71 X2.8966 Y-5.1546	5.248	Y4.6667	6.0008	Y4.1523	Y3.7671
N262 X1.5082	N304 X1.2485		N380 X2.7428		N458 X-2.5121
Y3.9735	Y3.3014	N342 X1.3328	Y5.4844	N418 X3.1821 Y-	Y3.3953
N263 X1.6513	N305 X1.2482 Y-	Y4.0641	N381 X2.7347	6.1207	N459 X-2.5285
Y4.2043	5.4479	N343 X1.4884	Y5.5344	N419 X3.2165 Y-	Y3.3302
N264 X2.4551	N306 X1.276 Y-	Y4.3151	N382 X2.7321	6.0922	N260 X1.3665
Y5.2837	5.6011	N344 X2.2972	Y6.3158	N420 Z-0.1719	Y3.2046
N265 X2.4819 Y5.347	N307 X1.3265 Y-	Y5.4013	N383 X2.74	F3.45	N461 X-2.5372 Y-
N266 X2.4885	5.6978	N345 X2.3298	Y6.3594	N421 G00	5.0037
Y5.3282	N308 X1.3985 Y-	Y5.5088	N384 X2.7821	Z0.2362	N462 X-2.4938 Y-
N267 X3.313 Y4.2076	5.7699	N346 X2.3343	Y6.4386	N422 X5.8466 Y-	5.0403
N268 X3.4596 Y3.973	N309 X1.5186 Y-	Y6.3088	N385 X2.8504	6.1103	N463 X-2.4361 Y-
N269 X3.5462	5.8294	N347 X2.3174	Y6.4926	N423 G01 Z-	5.1196
Y3.7671	N310 X1.7639 Y-	Y6.3942	N386 X2.1159	0.1219 F3.45	N464 X-2.4925 Y-
N270 X3.6011	5.8766	N348 X2.6491	N387 X2.1658	N424 Z-0.1469	5.1727
Y3.5378	N311 X1.8577 Y-	N349 X2.6352	Y6.4594	F1.294	N465 X-2.5899 Y-
N271 X3.6207	5.9257	Y6.3333	N388 X2.2187	N425 X5.8467 Y-	5.0868
Y3.2974	N312 X1.9453 Y-	N350 X2.6363	Y6.3844	6.3939 Z-0.1969	N466 X-2.6356 Y-
N272 X3.6209 Y-	6.0069	Y5.5341	N389 X2.2359	N426 X5.6601	5.0583
5.4424	N313 X2.0058 Y-	N351 X2.6456	Y6.3094	F1.725	N467 X-2.6369
N273 X3.6039 Y-	6.1105	Y5.4687	N390 X2.2314	N427 X5.6726 Y-	Y3.2085
5.5501	N314 X2.0371 Y-	N352 X2.6733	Y5.5094	6.3337	N468 X-2.6259
N274 X3.5592 Y-	6.2402	Y5.396	N391 X2.2045	N428 X5.6743	Y3.3462
5.6405	N315 X2.0366 Y-	N353 X3.4758	Y5.4344	Y6.3094	N469 X-2.6057
N275 X3.5066 Y-	6.2962	Y4.3186	N392 X1.4071	N429 X5.6603	Y3.4266
5.6927	N316 X2.9305 Y-	N354 X3.6349	Y4.3707	Y6.3944	N470 X-2.58
N276 X3.4363 Y-	6.296	Y4.0639	N393 X1.2451	N430 X5.8443	Y3.4875
5.7288	N317 X2.9426 Y-	N355 X3.7339	Y4.1094	Y6.3945	N471 X-2.484
N277 X3.2297 Y-	6.173	Y3.8286	N394 X1.1398	N431 X5.8467 Y-	Y3.6349
5.7661	N318 X3.0015 Y-	N356 X3.7961	Y3.8594	6.3939	N472 X-2.3879
N278 X3.1192 Y-	6.0341	Y3.5689	N395 X1.074	N432 Y-6.4923	Y3.4878
5.8065	N319 X3.0594 Y-	N357 X3.8175	Y3.5844	N433 X5.9451	N473 X-2.3601
N279 X3.0388 Y-	5.9668	Y3.3054	N396 X1.0517	N434 X5.9427	Y3.4223
5.8617	N320 X3.0957 Y-	N358 X3.8178 Y-	Y3.3094	Y6.4929	N474 X-2.3423
N280 X3.0957 Y-	5.9407	5.4579	N397 X1.0514 Y-	N435 X5.4589	Y3.3508
5.9407	N321 X3.1547 Y-	N359 X3.7937 Y-	5.4656	N436 X5.4821	N475 X-2.3304
N281 X3.1544 Y-	6.0178	5.6104	N398 X1.0877 Y-	Y6.4813	Y3.2069
5.8984	N322 X3.1193 Y-	N360 X3.7211 Y-	5.6656	N437 X5.5321	N476 X-2.3321 Y-
N282 X3.2471 Y-5.863	6.045	5.7573	N399 X1.1658 Y-	Y6.4342	5.0529
N283 X3.4682 Y-	N323 X3.078 Y-	N361 X3.6236 Y-	5.8156	N438 X5.5696	N477 X-2.4361 Y-
5.8231	6.096	5.8539	N400 X1.2821 Y-	Y6.3594	5.1196
N284 X3.5651 Y-	N324 X3.0344 Y-	N362 X3.5002 Y-	5.9319	N439 X5.5759	N478 X-2.383 Y-
5.7733	6.2085	5.9173	N401 X1.4571 Y-	Y6.3094	5.2025
N285 X3.6401 Y-	N325 X3.0281 Y-	N363 X3.2646 Y-	6.0186	N440 Y-6.3156	N479 X-2.2337 Y-
5.6989	6.3143	5.9598	N402 X1.6821 Y-	N441 X5.5665 Y-	5.1067
N286 X3.6988 Y-	N326 X3.0453 Y-	N364 X3.1915 Y-	6.0556	6.3656	N480 X-2.232
5.5802	6.3944	5.9896	N403 X1.7321 Y-	N442 X5.5446 Y-	Y3.211
N287 X3.7194 Y-	N327 X1.9247 Y-	N365 X3.1547 Y-	6.0772	6.4156	N481 X-2.2448
5.4502	6.3946	6.0178	N404 X1.7821 Y-	N443 X5.5009 Y-	Y3.3668
N288 X3.7191	N328 X1.9379 Y-	N366 X3.2165 Y-	6.1169	6.4656	N482 X-2.2665
Y3.3014	6.3345	6.0922	N405 X1.8169 Y-	N444 X5.4626 Y-	Y3.4536
N289 X3.6986	N329 X1.9387 Y-	N367 X3.2321 Y-	6.1656	6.4924	N483 X-2.3004
Y3.5533	6.2393	6.0793	N406 X1.8403 Y-	N445 X5.8467 Y-	Y3.5337
N290 X3.6401	N330 X1.9108 Y-	N368 X3.2821 Y-	6.2406	6.4923	N484 X-2.3837
Y3.7979	6.1363	6.0567	N407 X1.8413 Y-	N446 Z-0.1719	Y3.6649
N291 X3.5472	N331 X1.8622 Y-	N369 X3.5321 Y-	6.3156	F3.45	N485 X-2.4835
Y4.0185	6.0597	6.0116	N408 X1.8315 Y-	N447 G00	Y3.7995
N292 X3.3945 Y4.263	N332 X1.7933 Y-	N370 X3.6821 Y-	6.3656	Z0.2362	N486 X-2.5851
N293 X2.5813 Y5.361	6.0001	5.9345	N409 X1.8071 Y-	N448 X-2.5373 Y-	Y3.6641
N294 X2.5482	N333 X1.7211 Y-	N371 X3.802 Y-	6.4172	4.777	N487 X-2.6675
Y5.4547	5.9653	5.8156			Y3.5332

## Annexes

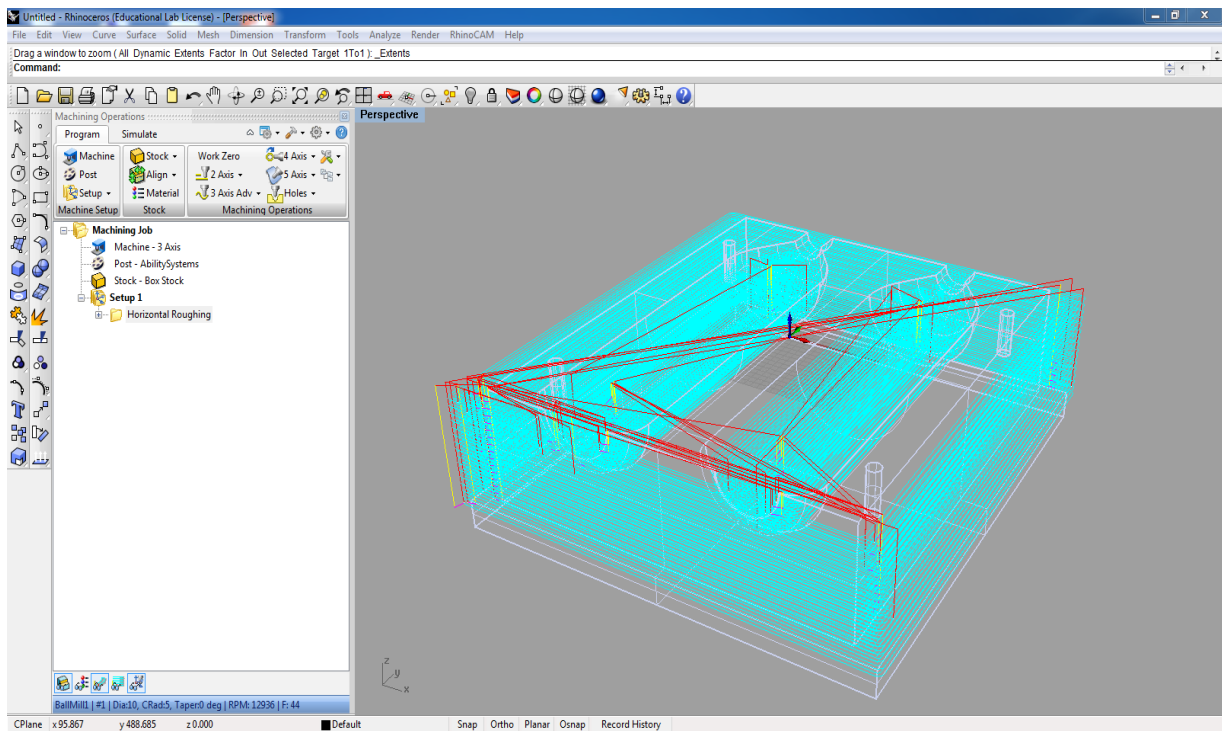
N7283 X-2.4852 Y3.6592 N7284 X-2.5205 Y3.6312 N7285 X-2.6133 Y3.5244 N7286 X-2.6543 Y3.4468 N7287 X-2.6801 Y3.3626 N7288 X-2.696 Y3.2088 N7289 X-2.6961 Y- 4.9695 N7290 X-2.7945 N7291 X-2.7944 Y3.2139 N7955 X-2.7964 Y3.2294 N7956 X-2.8948 N7957 X-2.8905 Y- 5.4953 N7958 X-2.8412 Y- 5.5287 N7959 X-2.6824 Y- 5.5757 N7960 X-2.4687 Y- 5.5907 N7961 X-2.3579 Y- 5.5851 N7962 X-2.2388 Y- 5.5668 N7963 X-2.1278 Y- 5.5279 N7964 X-2.073 Y- 5.4847 N7965 X-2.067 Y- 5.4575 N7966 Y3.2075 N7967 X-2.0987 Y3.438 N7968 X-2.1877 Y3.6098 N7969 X-2.2229 Y3.6495 N7970 X-2.3276 Y3.7349 N7971 X-2.4029 Y3.7607 N7972 X-2.4875 Y3.7694 N7973 X-2.5767 Y3.7578 N7974 X-2.6396 Y3.7358 N7975 X-2.7422 Y3.6514 N7976 X-2.7889 Y3.5976 N7977 X-2.8692 Y3.4396 N7978 X-2.8948 Y3.257 N7979 Y3.2294 N7980 X-2.9933 N7981 Y3.2638 N7982 X-2.9644 Y3.4695 N7983 X-2.8711 Y3.653 N7984 X-2.8111 Y3.7222	N7321 X-2.5643 Y3.8526 N7322 X-2.6582 Y3.7728 N7323 X-2.7767 Y3.6364 N7324 X-2.837 Y3.5224 N7325 X-2.874 Y3.402 N7326 X-2.8928 Y3.2189 N7327 X-2.8929 Y-4.9695 N7328 X-2.9914 N7329 X-2.9913 Y3.224 N7330 X-2.9709 Y3.4216 N7994 Y-5.4683 N7995 X-1.9845 Y-5.5402 N7996 X-2.0797 Y-5.6153 N7997 X-2.2148 Y-5.6627 N7998 X-2.3479 Y-5.6832 N7999 X-2.4696 Y-5.6893 N8000 X-2.694 Y- 5.6735 N8001 X-2.7457 Y-5.6648 N8002 X-2.8854 Y-5.6177 N8003 X-2.9536 Y-5.5714 N8004 X-2.9839 Y-5.5408 N8005 X-2.9924 Y-5.5096 N8006 X-2.9933 Y3.2294 N8007 X-3.0917 N8008 X-3.0908 Y-5.5199 N8009 X-3.0806 Y-5.5676 N8010 X-3.0648 Y-5.5991 N8011 X-3.0167 Y-5.6475 N8012 X-2.9295 Y-5.7066 N8013 X-2.7698 Y-5.7606 N8014 X-2.7086 Y-5.7709 N8015 X-2.6262 Y-5.7817 N8016 X-2.4691 Y-5.7879 N8017 X-2.3379 Y-5.7812 N8018 X-2.1908 Y-5.7586 N8019 X-2.0341 Y-5.7037 N8020 X-1.9459 Y-5.6412	N7360 X-1.9521 Y3.6055 N7361 X-2.0275 Y3.7477 N7362 X-2.159 Y3.8987 N7363 X-2.3181 Y4.0338 N7364 X-2.4576 Y4.1158 N7365 X-2.4831 Y4.1197 N7366 X-2.5456 Y4.099 N7367 X-2.6806 Y4.0121 N7368 X-2.797 Y3.9132 N7369 X-2.9402 Y3.7484  N8033 X-2.8801 Y3.7929 N8034 X-2.9534 Y3.7084 N8035 X-3.0596 Y3.4995 N8036 X-3.0917 Y3.2707 N8037 Y3.2294 N8038 X-3.1901 N8039 Y3.2775 N8040 X-3.1548 Y3.5294 N8041 X-3.0357 Y3.7637 N8042 X-2.949 Y3.8636 N8043 X-2.7866 Y3.9973 N8044 X-2.6451 Y4.0467 N8045 X-2.4916 Y4.0666 N8046 X-2.3392 Y4.0511 N8047 X-2.1818 Y3.997 N8048 X-2.0178 Y3.8632 N8049 X-1.9425 Y3.7782 N8050 X-1.8131 Y3.5287 N8051 X-1.7717 Y3.2277 N8052 Y-5.4832 N8053 X-1.7878 Y-5.5885 N8054 X-1.8234 Y-5.6572 N8055 X-1.8819 Y-5.7165 N8056 X-1.9885 Y-5.792 N8057 X-2.1669 Y-5.8545 N8058 X-2.3279 Y-5.8793 N8059 X-2.4685 Y-5.8864	N7398 X-3.0644 Y-5.5723 N7399 X-3.1143 Y-5.5572 N7400 X-3.1652 Y-5.528 N7401 X-3.1829 Y-5.5041 N7402 X-3.1882 Y-5.4646 N7403 Y-4.9695 N7404 X-3.2866 N7405 Y-5.4712 N7406 X-3.2771 Y-5.5423 N7407 X-3.2321 Y-5.6031 N7408 X-3.1535 Y-5.6481  N8072 X-3.2679 Y-5.6334 N8073 X-3.2266 Y-5.7156 N8074 X-3.1429 Y-5.7997 N8075 X-3.0179 Y-5.8846 N8076 X-2.8179 Y-5.9521 N8077 X-2.7378 Y-5.9656 N8078 X-2.6429 Y-5.9781 N8079 X-2.4679 Y-5.9849 N8080 X-2.3179 Y-5.9773 N8081 X-2.1429 Y-5.9504 N8082 X-1.9679 Y-5.8924 N8083 X-1.9429 Y-5.8803 N8084 X-1.8461 Y-5.8156 N8085 X-1.8321 Y-5.8063 N8086 X-1.8179 Y-5.7918 N8087 X-1.7429 Y-5.7157 N8088 X-1.7179 Y-5.6737 N8089 X-1.6929 Y-5.6194 N8090 X-1.6733 Y-5.4906 N8091 Y3.2344 N8092 X-1.7179 Y3.5589 N8093 X-1.8429 Y3.8075 N8094 X-1.8508 Y3.8232 N8095 X-1.8607 Y3.8344 N8096 X-1.9494 Y3.9344 N8097 X-2.1332 Y4.0844	N7436 X-3.3851 Y-4.9694 N7437 X-3.385 Y3.2442 N7438 X-3.3586 Y3.5004 N7439 X-3.2938 Y3.7112 N7440 X-3.1854 Y3.9164 N7441 X-3.0052 Y4.1238 N7442 X-2.8568 Y4.2498 N7443 X-2.674 Y4.3674 N7444 X-2.5321 Y4.4146 N7445 X-2.4757 Y4.4197 N7446 X-2.3724 Y4.4007 N8111 Z-1.5248 F1.294 N8112 Y3.2048 Z- 1.5448 N8113 X-2.5182 Y3.3634 Z-1.5748 N8114 X-2.4857 Y3.3737 F1.725 N8115 X-2.451 Y3.3645 N8116 X-2.398 Y3.2288 N8117 X-2.3988 Y-5.4395 N8118 X-2.4777 Y-5.4535 N8119 X-2.5243 Y-5.4484 N8120 X-2.5772 Y-5.4383 N8121 X-2.579 Y3.2048 N8122 X-2.5182 Y3.3634 N8123 X-2.6101 Y3.3986 N8124 X-2.6774 Y3.223 N8125 X-2.6786 Y-5.4574 N8126 X-2.6641 Y-5.4964 N8127 X-2.6178 Y-5.5307 N8128 X-2.5389 Y-5.5458 N8129 X-2.4745 Y-5.5529 N8130 X-2.3468 Y-5.5302 N8131 X-2.3003 Y-5.4879 N8132 X-2.2995 Y3.2473 N8133 X-2.3749 Y3.4403 N8134 X-2.3852 Y3.4488 N8135 X-2.4881 Y3.4762	N7320 X-2.482 Y3.9018 N7321 X-2.5643 Y3.8526 N7322 X-2.6582 Y3.7728 N7323 X-2.7767 Y3.6364 N7324 X-2.837 Y3.5224 N7325 X-2.874 Y3.402 N7326 X-2.8928 Y3.2189 N7327 X-2.8929 Y-4.9695 N7328 X-2.9914 N7329 X-2.9913 Y3.224 N7330 X-2.9709 Y3.4216 N8150 X-2.6584 Y-5.6232 N8151 X-2.7461 Y-5.558 N8152 X-2.777 Y- 5.4751 N8153 X-2.7758 Y3.2412 N8154 X-2.702 Y3.4338 N8155 X-2.794 Y3.469 N8156 X-2.8743 Y3.2594 N8157 X-2.8754 Y-5.4906 N8158 X-2.8432 Y-5.5906 N8159 X-2.8179 Y-5.6273 N8160 X-2.6991 Y-5.7156 N8161 X-2.6679 Y-5.7263 N8162 X-2.5683 Y-5.7406 N8163 X-2.4929 Y-5.7514 N8164 X-2.4788 Y-5.7535 N8165 X-2.4679 Y-5.7517 N8166 X-2.2929 Y-5.7236 N8167 X-2.2649 Y-5.7156 N8168 X-2.1429 Y-5.6217 N8169 X-2.1256 Y-5.5906 N8170 X-2.1081 Y-5.5406 N8171 X-2.1035 Y-5.5274 N8172 Y-5.5156 N8173 X-2.1027 Y3.2844 N8174 X-2.2101 Y3.5594 N8175 X-2.2929 Y3.628
--	---	--	--	--	--

## Annexes

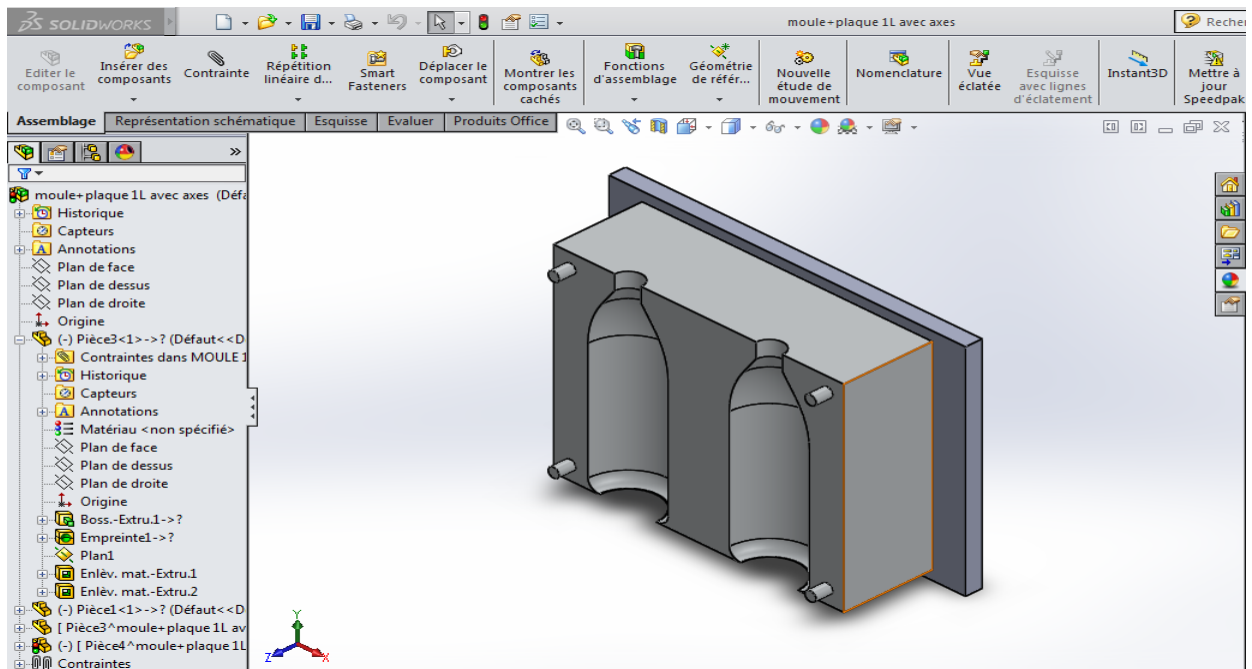
N7985 X-2.6886 Y3.823 N7986 X-2.5995 Y3.8541 N7987 X-2.4889 Y3.8684 N7988 X-2.3817 Y3.8575 N7989 X-2.279 Y3.8223 N7990 X-2.1546 Y3.7207 N7991 X-2.106 Y3.6659 N7992 X-2.0035 Y3.4682	N8021 X-1.9039 Y-5.5987 N8022 X-1.8826 Y-5.5576 N8023 X-1.8702 Y-5.4757 N8024 Y3.2209 N8025 X-1.9083 Y3.4984 N8026 X-2.0242 Y3.7221 N8027 X-2.0862 Y3.7919 N8028 X-2.2304 Y3.9096 N8029 X-2.3604 Y3.9543	N8060 X-2.6346 Y-5.8799 N8061 X-2.7232 Y-5.8683 N8062 X-2.7938 Y-5.8564 N8063 X-2.9737 Y-5.7956 N8064 X-3.0798 Y-5.7236 N8065 X-3.1457 Y-5.6574 N8066 X-3.1743 Y-5.6005 N8067 X-3.1892 Y-5.5303 N8068 X-3.1901 Y3.2294 N8069 X-3.2885	N8098 X-2.3179 Y4.1478 N8099 X-2.4929 Y4.1657 N8100 X-2.6679 Y4.143 N8101 X-2.8356 Y4.0844 N8102 X-3.0179 Y3.9344 N8103 X-3.1179 Y3.8191 N8104 X-3.25 Y3.5594 N8105 X-3.2886 Y3.2844 N8106 X-3.2885 Y3.2294 N8107 Z-1.353 F3.45	N8136 X-2.5932 Y3.4429 N8137 X-2.6101 Y3.3986 N8138 X-2.702 Y3.4338 N8139 X-2.6761 Y3.5015 N8140 X-2.6435 Y3.5302 N8141 X-2.4905 Y3.5787 N8142 X-2.3391 Y3.5384 N8143 X-2.2925 Y3.4999 N8144 X-2.2011 Y3.2659 N8145 X-2.2019 Y-5.5076	N8176 X-2.4929 Y3.6812 N8177 X-2.6929 Y3.6178 N8178 X-2.7593 Y3.5594 N8179 X-2.794 Y3.469 N8180 Z-1.5498 F3.45 N8181 G00 Z0.2362 N8182 M30 %
---	--	---	--	--	---



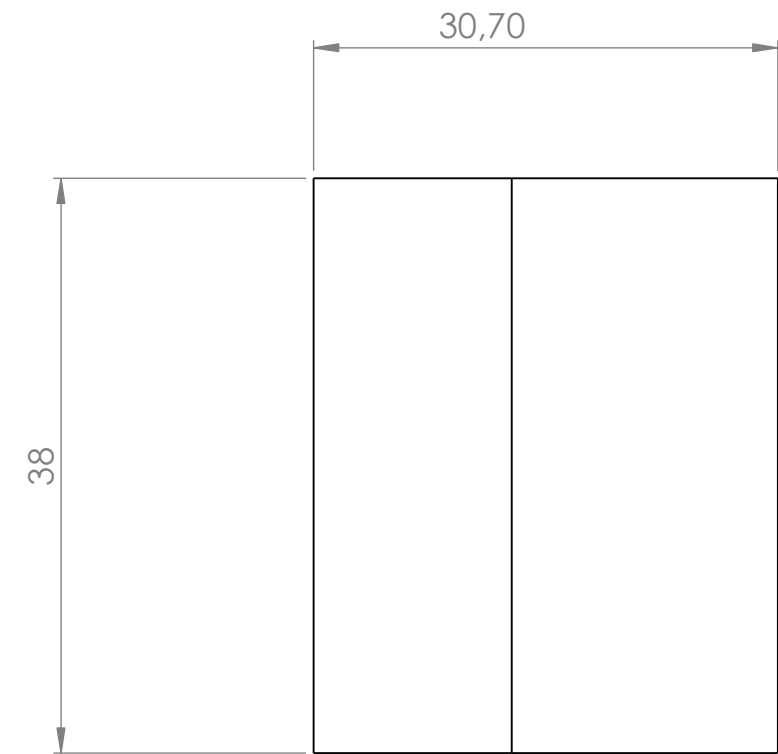
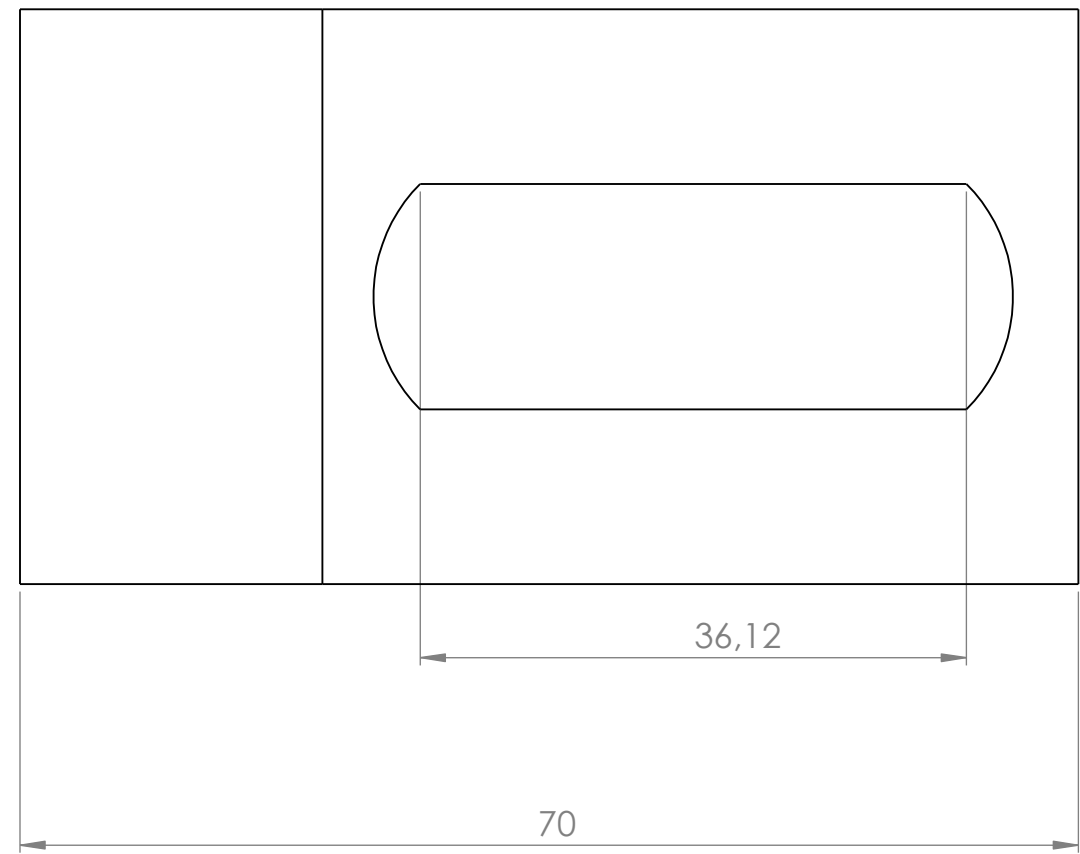
# Annexes



Représentation de l'usinage de notre moule 2L sur rhinocam

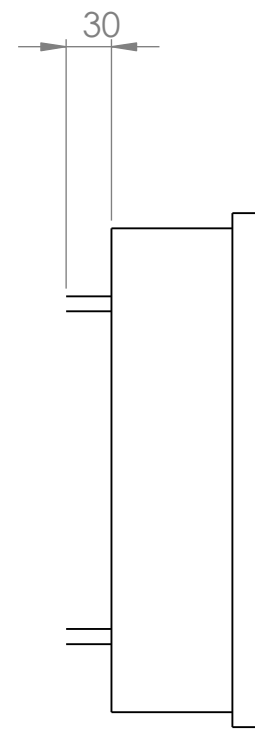
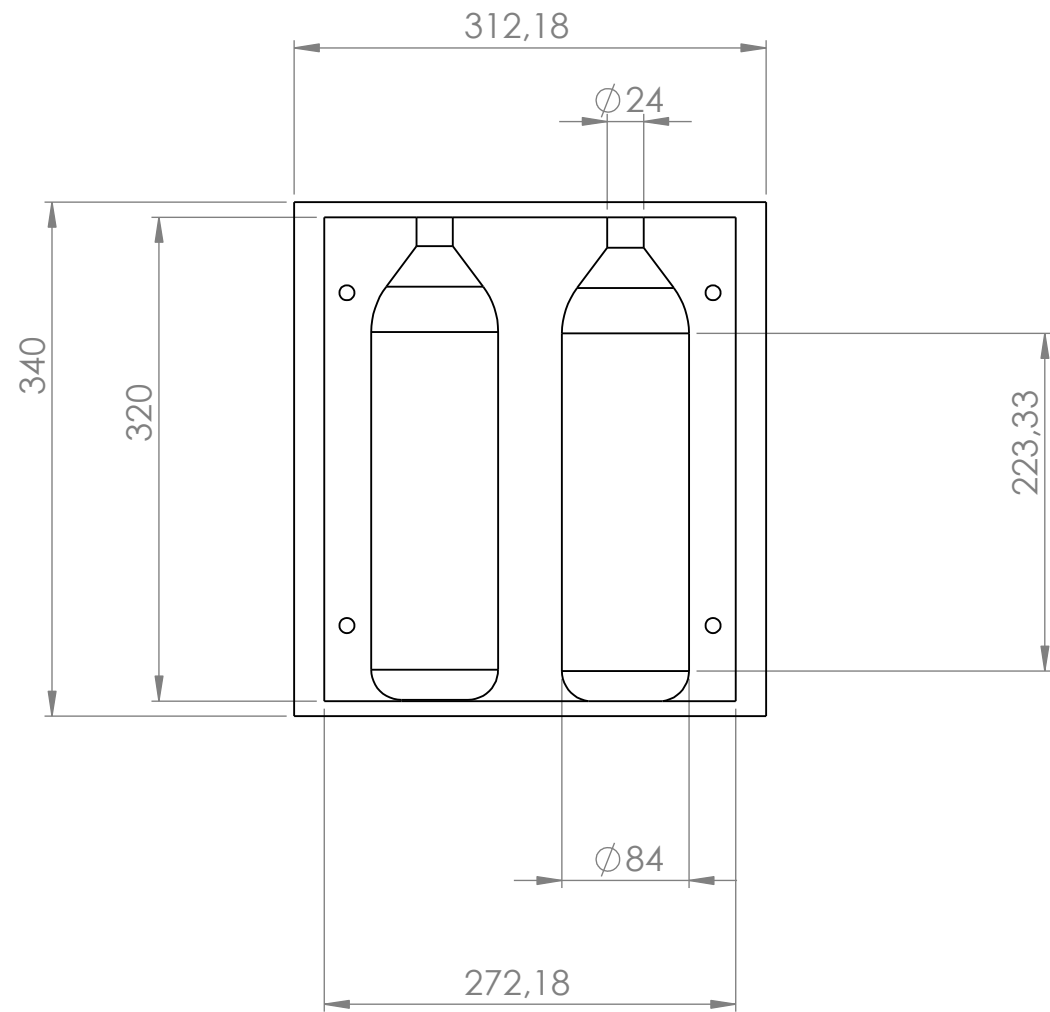
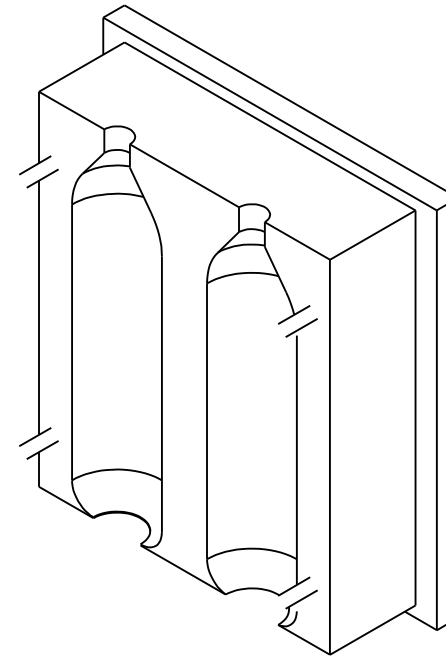
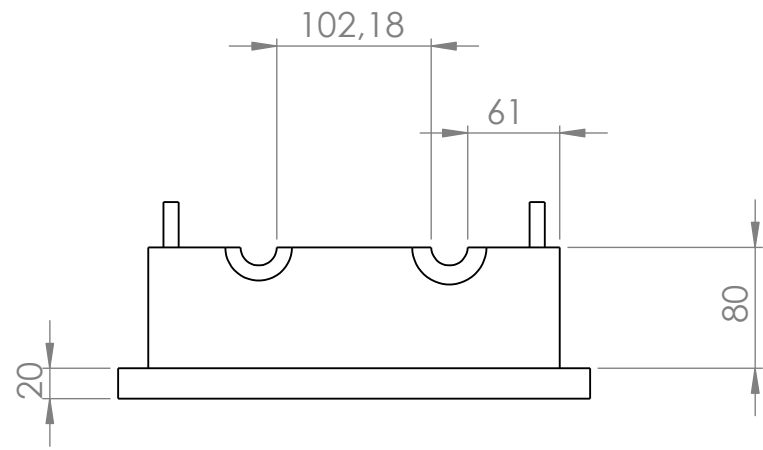


Représentation de l'usinage de notre moule 2L sur SolidWorks.

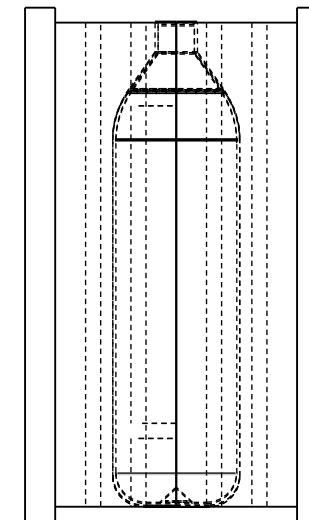
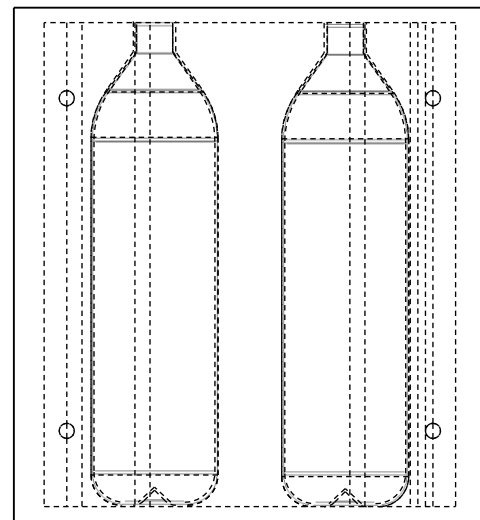
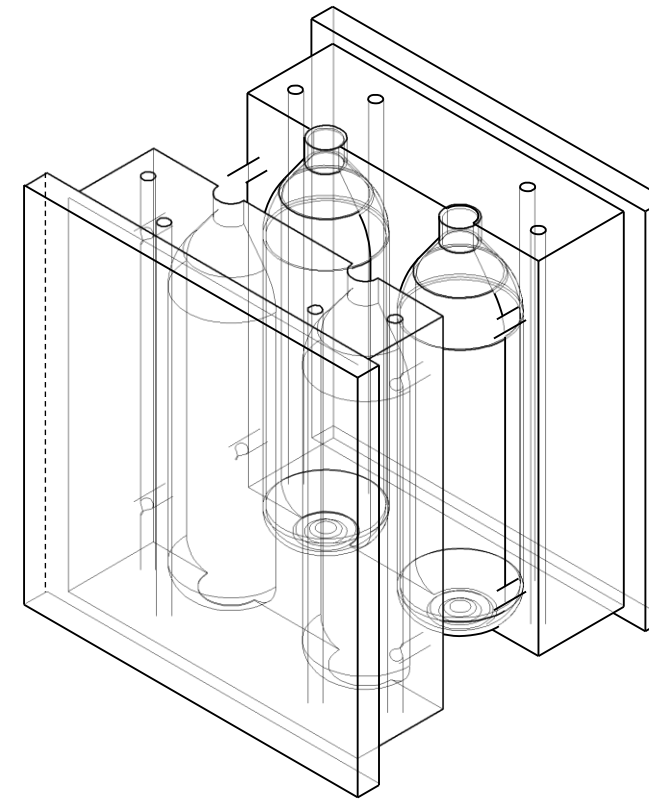
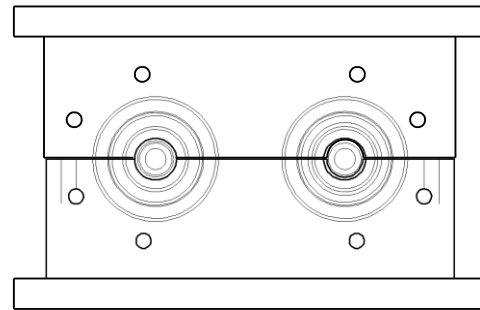


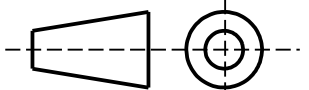
<b>UNIVESITE A-MIRA BEJAIA</b>		<b>Le 18/06/2018</b>	
<b>Echelle</b>	<b>2:1</b>	<b>BRIDE DE FIXATION</b>	
		<b>ACHOUR.M et AITALLI</b>	
		<b>Master 2 CM</b>	





<b>UNIVESITE A-MIRA BEJAIA</b>		<b>Le 18/06/2018</b>	
<b>Echelle</b>	<b>5:1</b>	<b>CONCEPTION DU MOULE 2L</b>	<b>ACIER INOX X39CrMo17-1</b>
			<b>ACHOUR.M et AITALL.I</b>



<b>UNIVESITE A-MIRA BEJAIA</b>		<b>Le 18/06/2018</b>	
<b>Echelle</b>	<b>5:1</b>	<b>CONCEPTION DU MOULE 2L</b>	<b>ACIER INOX X39CrMo17-1</b>
			<b>ACHOUR.M et AIT ALI.I</b>

# Résumé

---

## **Résumé :**

Le but de notre travail est la conception d'un moule de bouteille 2L selon la demande de la société où nous avons effectué notre stage.

La première partie comporte une étude technologique d'une presse à injection où nous avons décrit ces différentes parties et son procédé de fonctionnement.

En deuxième lieu nous avons décrit le soufflage plastique où nous nous sommes basés sur le procédé d'injection soufflage.

La dernière partie de notre travail est la conception d'un moule de 2L où nous avons effectué trois études qui ont pour but de montrer la fiabilité de notre moule, la première est une étude du flux puis nous sommes passées à l'étude thermique et enfin une étude de contraintes.

Tout cela pour passer à la dernière étape qui est l'étape d'usinage où nous avons parlé des différentes étapes d'un usinage et les techniques utilisées pour obtenir notre moule apte à l'utilisation.

## **Abstract :**

The purpose of our work is the design of a 2L bottle mold according to the request of the company where we did our internship.

The first part involves a technological study of an injection press where we have described the different parts and the method of operation.

Secondly we have described the plastic blowing where we based ourselves on the blow molding process.

The last part of our work is the design of a 2L mold where we carried out three studies which aim to show the reliability of our mold, the first one is a study of the flow then we went to the thermal study and finally a study of constraints.

All this, to go to the last step which is the machining step where we talked about the different steps of a machining and the techniques used to get our mold fit for use.