

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOU MAMMERI DE TIZI-OUZOU  
Faculté de génie de la construction



Département de génie mécanique  
**Option** : Fabrication Mécanique et Productique  
En vue de l'obtention du diplôme Master en Génie Mécanique

# MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

## Thème

**ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOULE  
D'INJECTION PLASTIQUE POUR  
ENTRETOISE SUPERIEUR D'UN  
REFRIGERATEURE FB1-FB2**

Promoteur :

**Mr. BELAID.K**

Co-promotrice:

**Mme .MESSAOUDENE Aldjia**

Réalisé par:

**HAMDAOUI Sonia**

**SEBARGOUD Redouane**

Année universitaire : 2020/2021

# **Remerciements**

## ***DIEU MERCI***

*Nous tenons à présenter nos vifs et chaleureux remerciement a toutes les personnes qui nous ont aidés lors de la rédaction de ce mémoire.*

### ***On voudrait remercier :***

*Notre promoteur : Monsieur **BELAID.K** de nous avoir accordé sa confiance, sa disponibilité dans l'exécution de ce travail.*

*Madame **MESSAOUDENE.A.** Pour nous avoir répondu à nos questions et à partagé ses connaissances et expériences dans se domaine à l'entreprise **ENIEM** (L'unité froid service technique).*

*Ainsi le corps enseignants et étudiants du département génie mécanique.*

## **DÉDICACES**

**JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL  
PARTICULIÈREMENT À MES CHERS  
PARENTS, POUR LEUR SOUTIEN, PATIENCE,  
AFFECTION ET AMOUR POUR TOUT CE QU'ILS  
ONT FAIT POUR QUE JE PUISSE ARRIVER À  
CE STADE.**

**À MON FRÈRE KOUSSAILA**

**À MA SŒUR LINA**

**À MA CHÈRE KENZA**

**À TOUTE MA FAMILLE**

**À TOUS MES AMIS (ES) ET TOUS CEUX QUE  
J'AIME;**

**ET À TOUS CEUX QUI ONT CONTRIBUÉ DE  
PRÈS OU DE LOIN POUR QUE CE PROJET  
SOIT POSSIBLE ; JE VOUS DIS MERCI.**

**REDOUANE**

# *Dédicace*

**JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL EN SIGNE DE**

**RECONNAISSANCE ET DE RESPECT :**

**À MES TRÈS CHERS PARENTS QUE DIEU LES PROTÈGES**

**À MES TRÈS CHERS FRÈRES : YACINE ET YAZID**

**À TOUTE MA GRANDE FAMILLE**

**À TOUS MES AMIS (ES) ET TOUS CEUX QUE J'AIME ;**

**ET À TOUS CEUX QUI ONT CONTRIBUÉ DE PRÈS OU DE**

**LOIN POUR CE PROJET SOIT POSSIBLE ; JE VOUS DIS**

**MERCI.**

**SONJA**

Introduction générale.....	1
I. Présentation de l'entreprise .....	2
<b>Chapitre I</b>	
I.1. Introduction.....	8
I.2. Historique.....	8
I.3. Origine des plastiques .....	9
I.3.1. Origine animale .....	9
I.3.2. Origine végétal .....	9
I.3.3. Origine naturelle .....	9
I.4. Formation du plastique.....	10
I.5. Définition de la matière plastique .....	11
I.6. Composition générale de la matière plastique .....	11
I.7. Les polymères .....	12
I.7.1. Définition.....	12
I.7.2. Propriétés des polymères .....	12
I.7.3. La polymérisation .....	12
I.7.4. La polycondensation.....	12
I.7.5. Structure chimique des polymères.....	13
I.7.6. Architecture des polymères .....	13
I.7.7. Comportement physique des polymères.....	15
I.7.8. Température de transition vitreuse Tg.....	16
I.7.9. Le degré de polymérisation (DP).....	16
I.8. Les grandes familles des plastiques .....	18
I.8.1. Les thermoplastiques .....	18
I.8.2. Les thermodurcissables.....	18
I.8.3. Les élastomères.....	19
I.9. Principales matières plastiques .....	20
I.10. Propriétés des matières plastiques .....	21
I.10.1. Propriétés mécaniques .....	21
I.10.2. Propriétés chimiques.....	22
I.10.3. Propriétés thermique et physique.....	22
I. 11. Présentation des matières plastiques .....	23

I.11.1. La forme commerciale .....	23
I.11.2. Domaines d’application de la matière plastique .....	23
I.12. Le recyclage des matières plastiques .....	23
II. Présentation du polystyrène (PS).....	26
II.1. Historique .....	26
II.2. Définition.....	26
II.3. Fiche technique de PS .....	27
II.4. Caractéristiques technologiques du polystyrène (PS).....	27
II.5. Conditions de mise en œuvre des PS.....	27
II.6. Avantages du PS.....	28
II.7 .Inconvénients du PS .....	28
II.8. Caractéristiques du PS.....	28
II.9. Applications.....	30
III. Conclusion.....	31

## **Chapitre II**

I.1. Introduction.....	32
I.2. Procédés de transformations du plastique .....	33
I.2.1. Procédé d’injection .....	33
I.2.2. Injection soufflage .....	34
I.2.3. L’extrusion.....	34
I.2.4. Procédé d’extrusion soufflage .....	35
I.2.5. Procédé de thermoformage .....	36
I.2.6. Procédé de roto moulage .....	36
I.2.7. Procédé de calandrage .....	37
I.2.8. Moulage par Compression.....	37
I.2.9. Le procédé expansion-moulage .....	38
I.3. Presse d’injection .....	39
I.3.1. Structure de la presse d’injection.....	39
I.3.2. Les différentes architectures des presses à injection .....	40
I.3.3. Types de presses à injection .....	42
I.4. Techniques d’injection.....	43
I.4.1. Injection à grande cadence.....	43

I.4.2. Micro-injection .....	43
I.4.3. Injection lourde .....	43
I.4.4. Injection séquentielle .....	43
I.4.5. Injection sur noyau fusible.....	43
I.4.6. Sur-injection .....	44
I.4.7. Co-injection .....	44
I.4.8. Injection assistée par gaz .....	44
I.4.9. Injection sur noyaux tournants.....	44
I.5. Le choix d'une presse .....	45
I.6. Les différentes parties ou unités d'une presse .....	45
I.6.1. Unité d'injection .....	46
I.6.2. Le moule .....	48
I.6.3. Unité de fermeture .....	49
I.7. Le cycle de moulage par injection .....	50
I.8. Les caractéristiques d'une presse à injection .....	52
I.9. Défauts d'injection .....	53
I.10. Choix d'un procédé de fabrication adéquat .....	54
I.11. Conclusion .....	54

### **Chapitre III**

I.1. Introduction .....	55
I.2. Conception d'un moule à injection plastique.....	56
I.2.1. matériaux utilisés .....	56
I.2.2. la machine .....	56
I.3. Structure d'un moule.....	56
I.4. Les différents moules d'injection plastique .....	58
I.4.1. Moule à deux plaques .....	58
I.4.2. Moule à trois plaques.....	58
I.4.3. Moule à tiroir .....	59
I.4.4. Moule à coquilles.....	60
I.4.5. Moule à canaux chauffant.....	60
I.4.6. Moule à dévisage .....	61
I.5. Les fonctions d'un moule d'injection .....	61

I.5.1. Fonction mise en forme et empreinte.....	61
I.5.2. Fonction alimentation .....	64
I.5.3. Fonction refroidissement .....	71
I.5.4. Fonction éjection .....	72
I.5.4.1. Types d'éjection .....	72
I.5.4.2. Choix des éjecteurs.....	73
I.5.4.3. Ejection des carottes.....	74
I.5.5. Fonctions auxiliaires.....	74
I.6. Matériaux utilisés pour la fabrication des moules .....	76
I.7 conception assistée par ordinateur (CAO) .....	77
I.7.1. Définition de la CAO.....	77
I.7.2. Domaine de la CAO.....	77
I.7.3. Avantages de la CAO .....	77
I.7.4. Application .....	78
I.8 Conclusion .....	79

**Chapitre IV**

I.1 Introduction.....	80
I.2. Présentation du projet .....	80
1.3 Logiciel de conception CAO : SolidWorks 2017.....	80
1.4. Présentation de la pièce .....	80
1.5 Temps de refroidissement .....	81
I.6 Matériaux proposé .....	82
I.7 Caractéristiques d'injection.....	83
I.8 Le choix des ressorts .....	98
I.9 Conclusion .....	100
Conclusion générale .....	101
Bibliographie	
Annexes	

**Présentation de l'entreprise**

**Figure 1:** Organigramme de l'entreprise ENIEM. .... 4

**Chapitre I**

**Figure I. 1:** Origine animale des plastiques ..... 9

**Figure I. 2:** Origine végétale des plastiques ..... 9

**Figure I. 3:** origine naturelle des plastiques ..... 9

**Figure I. 4:** Etape de formation du plastique..... 10

**Figure I. 5 :** Structure chimique des polymères ..... 13

**Figure I. 6:** (a: homopolymère, b : copolymère statistique, ..... 14

**Figure I. 7:** Homopolymère ramifié (a) et copolymère ramifié (b)..... 14

**Figure I. 8 :** Polymère réticulé ..... 14

**Figure I. 9:** Comportement physique des polymères ..... 15

**Figure I. 10:** Variation du module d'élasticité en fonction de la température et représentation de la zone de transition vitreuse ..... 16

**Figure I. 11:** Courbe de distribution des masses moléculaires d'un polymère..... 17

**Figure I. 12 :** Code d'identification des résines thermoplastiques ..... 24

**Figure I. 13:** Le cycle de recyclage des matières plastiques ..... 26

**Chapitre II**

**Figure II. 1:** Etapes de transformation de polymères thermoplastiques ..... 32

**Figure II. 2:** Procède de l'injection ..... 33

**Figure II. 3:** Injection soufflage ..... 34

**Figure II. 4:** Procédé extrusion ..... 35

**Figure II. 5:** Extrusion soufflage..... 35

**Figure II. 6:** Procédé Thermoformage ..... 36

**Figure II. 7:** Les différentes phases d'obtention d'une pièce par rotomoulage ..... 36

**Figure II. 8:** Le calandrage..... 37

**Figure II. 9:** Moulage par compression..... 38

**Figure II. 10 :** L'expansion moulage Image de PSE expansé en différents états. .... 38

**Figure II. 11:** Presse à in injection plastique..... 39

**Figure II. 12:** Structure de la presse d'injection ..... 40

**Figure II. 13:** Presse horizontal..... 41

**Figure II. 14:** Presse vertical ..... 41

**Figure II. 15:** Presse à injection multi-matière et multi-couleur..... 42

**Figure II. 16:** Dispositif d'une presse d'injection ..... 45

<b>Figure II. 17:</b> Unité d'injection .....	46
<b>Figure II. 18:</b> Schéma d'un groupe de plastification. ....	47
<b>Figure II. 19:</b> Schéma d'une mono vis avec trois zones .....	47
<b>Figure II. 20 :</b> Différents composants d'un moule.....	48
<b>Figure II. 21:</b> Unité de fermeture d'un moule .....	49
<b>Figure II. 22:</b> Différentes fermeture du moule.....	50
<b>Figure II. 23:</b> Cycle d'injection .....	52

### **Chapitre III**

<b>Figure III. 1:</b> moule à injection plastique .....	55
<b>Figure III. 2:</b> Structure d'un moule à injection plastique .....	56
<b>Figure III. 3:</b> Exemple de moule simple à deux plaques .....	58
<b>Figure III. 4:</b> moule à trois plaques .....	59
<b>Figure III. 5 :</b> Moule à tiroirs.....	60
<b>Figure III. 6:</b> Exemple de moule à coquilles .....	60
<b>Figure III. 7:</b> Exemple de moule à canaux chauffant .....	61
<b>Figure III. 8:</b> Les différentes fonctions d'un moule.....	61
<b>Figure III. 9:</b> Exemple de dépouille.....	62
<b>Figure III. 10:</b> Nombre d'empreintes en fonction de critères techniques et économiques.....	63
<b>Figure III. 11:</b> la carotte d'injection .....	65
<b>Figure III. 12:</b> Injection dans le plan de joint. ....	65
<b>Figure III. 13:</b> Injection perpendiculaire au plan de joint.....	65
<b>Figure III. 14 :</b> Les différents canaux d'alimentation.....	67
<b>Figure III. 15:</b> Can aux cylindriques.....	67
<b>Figure III. 16:</b> Section trapézoïdale. ....	67
<b>Figure III. 17:</b> Contact courbé entre buse de la presse et buse d'injection.....	69
<b>Figure III. 18:</b> Seuil à tunnel courbé.....	69
<b>Figure III. 19:</b> Seuils en sous-marin. ....	70
<b>Figure III. 20:</b> Seuil en éventail.....	70
<b>Figure III. 21:</b> Seuil rectangulaire. ....	70
<b>Figure III. 22:</b> circuit obtenu à partir des canaux rectilignes.....	71
<b>Figure III. 23:</b> Ejecteur à lame.....	73
<b>Figure III. 24:</b> Ejecteur tubulaire .....	74

**Chapitre IV**

<b>Figure IV. 1:</b> Entretoise charnière supérieure .....	81
<b>Figure IV. 2:</b> Poids de la pièce .....	84
<b>Figure IV. 3:</b> La carotte .....	84
<b>Figure IV. 4:</b> Poids de la carotte .....	85
<b>Figure IV. 5:</b> Caractéristiques dimensionnelles de la presse 25T. ....	88
<b>Figure IV. 6:</b> Surface projetée de la pièce sur SolidWorks.....	89
<b>Figure IV. 7:</b> Surface de la porte empreinte fixe soumise au Matage.....	92
<b>Figure IV. 8:</b> Surface de la porte empreinte fixe .....	92
<b>Figure IV. 9:</b> Surface de la semelle fixe. ....	93
<b>Figure IV. 10:</b> Surface des tasseaux.....	94
<b>Figure IV. 11:</b> vis CHC M6 .....	96
<b>Figure IV. 12:</b> Schéma de dimensionnement d'un Ressort.....	98
<b>Figure IV. 13:</b> Classification des ressorts par couleur .....	99

**Chapitre I**

**Tableau I. 1:** Principales matières plastiques..... 21  
**Tableau I. 2:** caractéristiques technologiques du PS..... 27  
**Tableau I. 3 :** Conditions de mise en œuvre des (PS) ..... 28  
**Tableau I. 4:** Caractéristiques Thermique de PS..... 29  
**Tableau I. 5:** Caractéristiques mécaniques générales de PS. .... 29

**Chapitre III**

**Tableau III. 1:** Disposition des empreintes dans le plan de joint. .... 64  
**Tableau III. 2:** avantages et inconvénients des canaux ..... 68  
**Tableau III. 3:** choix des matériaux..... 76

**Chapitre IV**

**Tableau IV. 1:** Les températures réglées. .... 81  
**Tableau IV. 2:** Grandeurs thermiques de quelques matières de pièces injectées. .... 82  
**Tableau IV. 3:** choix de la presse en fonction de la moulée : ..... 86  
**Tableau IV. 4:** Caractéristiques technique des presses injection 25T ..... 87  
**Tableau IV. 5:** Pression d'injection ..... 89

**ENIEM** : Entreprise Nationale de l'Industrie de l'Electroménager

**CAM** : complexe d'Appareils Ménagers

**SONELEC**: société nationale de fabrication et de montage et de commercialisation des produits électroménagers

**ULM** : Unité Lampes de Mohamma

**ISO** : internationale standard organisation

**CFAO** : conception et fabrications assistées par ordinateur

**CAO** : conception assistée par ordinateur

**FAO** : fabrication assistée par ordinateur

**TD** : thermodurcissable, **TP** : thermoplastique

**PE** : polyéthylène

**PS** : polystyrène

**PVC** : polychlorure de vinyle

**PP** : Polypropylène

**ABS** : Acrylonitrile Butadiène Styrene

**PEhd** : Polyéthylène haute densité

**PEbd** : Polyéthylène basse densité

**Tg** : point de température de transition vitreuse [°c]

**Tf** : point de fusion [°c]

**Re** : limite élastique du matériau [N/mm<sup>2</sup>]

**Reg** : Résistance élastique au cisaillement [Mpa]

**Rpg** : Résistance pratique au cisaillement [Mpa]

**Spj** : surface du plan de joint [mm<sup>2</sup>]

**d**: diamètre [mm]

**e** : épaisseur [mm]

**L** : longueur [mm]

**S** : Surface [mm<sup>2</sup>]

**H** : hauteur [mm]

**Lc**: longueur totale des canaux [mm]

**dc** : diamètre des canaux [mm]

**F** : effort normal [N]

**F0**: force d'ouverture du moule [N]

**Fs**: force de serrage [N]

**Fv**: la force de verrouillage [ T]

**σ**: contrainte [Mpa]

**[τ]cis** : limite de cisaillement admissible [N/mm<sup>2</sup>]

**K** : Coefficient de sécurité.

**tr** : temps de refroidissement [s]

**ti** : temps d'injection [s]

**tm** : temps de maintien [s]

**te** : temps d'éjection [s]

**to** : temps d'ouverture [s]

**tf** : temps de fermeture [s]

**Tc** : temps de cycle [s]

**Ti** : température de la matière à l'injection [°c]

**Tm** : température moyenne du moule au cours du cycle [°c]

**Te** : température de la matière a l'éjection [°c]

**M** : masse de la grappe moulée [g]

**C** : puissance de plastification [kg/h]

**n**: le nombre de sections cisillées (nombre de vis)

**AN** : application numérique

# **INTRODUCTION GENERALE**

Les plastiques sont des matériaux les plus courants pour produire tout type de pièces et de produits finis, allant de simples produits de consommation à des dispositifs médicaux.

Les plastiques constituent une catégorie de matériaux très polyvalents, avec des milliers de combinaisons polymères possibles, chacun présentant des propriétés mécaniques spécifiques. Les procédés de fabrication avec des plastiques ont été élaborés pour couvrir une large gamme d'applications et de géométries de pièces.

L'entreprise nationale des industries de l'électroménager (**ENIEM**) est l'une des grandes sociétés qui fait face à la concurrence pour reconquérir le marché.

Pour pouvoir effectuer ces changements, la maîtrise des outils technologiques actuels est nécessaire, comme l'utilisation des logiciels de conception et de fabrication.

Les réfrigérateurs ENIEM FB1- FB2 sont les produits visés par l'entreprise pour les améliorer. Parmi les modifications apportées à ces réfrigérateurs, le changement des cales charnières, entretoise supérieur en matière plastique.

Ces entretoises supérieures sont en polystyrènes (PS), obtenues par le procédé d'injection plastique.

Et pour cela le bureau d'étude de l'entreprise, nous a confié dans le cadre de l'exécution du mémoire de fin d'études, la conception d'un moule à injection plastique pour entretoise supérieure.

L'objectif de ce travail est d'ausculter les matières plastiques et les procédés de mise en œuvre, puis de concevoir les pièces, les empreintes et le moule en utilisant un logiciel de conception CAO. Afin de bien mener notre travail, on la repartit en 4 chapitres :

- ❖ Chapitre I : la matière plastique.
- ❖ Chapitre II : procédé de mises en forme des matières plastiques.
- ❖ Chapitre III : conception du moule à injection plastique.
- ❖ Chapitre IV : calcul et vérification.

En dernier lieu on présentera les dessins de définition et les dessins d'ensemble qui sont présentés.

# **Présentation de l'entreprise**

## I. Présentation de l'entreprise [1]

L'Entreprise Nationale des Industries ElectroMénagères : ENIEM est née après la restriction de l'entreprise mère SONELEC (société nationale de fabrication et de montage et de commercialisation des produits électroménagers) et disposait à sa création de :



- Complexe d'Appareils Ménagers (CAM) de TIZI OUZOU, entrée en production en juin 1977.

- Unité Lampes de Mohammedia (ULM), entrée en production en février 1979. le 02 janvier 1983 dont cette dernière a été datée en août 1971.

En 1989, l'entreprise a connu une baisse brusque de production due à la concurrence du marché. Cette situation a provoqué sa transformation, en société par action dont le but est d'améliorer la recherche et le développement de ses produits, à l'échelle nationale.

Connu aujourd'hui, le leader de l'électroménager en Algérie, et cela, dans divers domaines tels que :

- La climatisation, la cuisson, la réfrigération et la conservation ( Oued Aissi).
- Sanitaire (Miliana).
- Filiale lampe (Mohammedia).

### I.1. Situation géographique de L'ENIEM

Elle est située dans la zone industrielle AISSAT IDIR de Oued Aissi, à 7 Km du chef-lieu de la wilaya Tizi-Ouzou, à proximité de la route nationale. Ce qui facilite son accès. Sa direction générale est située à la sortie sud-ouest, de la ville de Tizi-Ouzou.

La superficie totale est de 55 Hectares dont 12,5 HT couverts.

### I.2. Champ d'activité

Le champ d'activité de l'entreprise ENIEM consiste en la conception, la fabrication et la commercialisation des produits électroménagers, ainsi que la prise en charge de la fonction service après-vente

Actuellement, l'entreprise ENIEM est constituée de :

- La direction générale (D.G).
- L'unité froid (U.F).
- L'unité cuisson (U. Cuis).
- L'unité climatisation (U.C.L).
- L'unité prestation technique (U.P.T).
- L'unité commerciale (U.C).
- L'unité sanitaire (U.S).
- La filiale FILAMP.

L'entreprise ENIEM aujourd'hui a une importante gamme de production, elle possède des capacités de production et une expérience de plus de 30 ans dans la fabrication et le développement dans les différentes branches de l'électroménager :

➤ **Ces produits sont :**

- Les réfrigérateurs petit et grand modèle (R.P.M et R.G.M).
- Le congélateur vertical.
- Le combiné.
- Cuisinières à 4 et 5 feux.
- Climatiseurs.

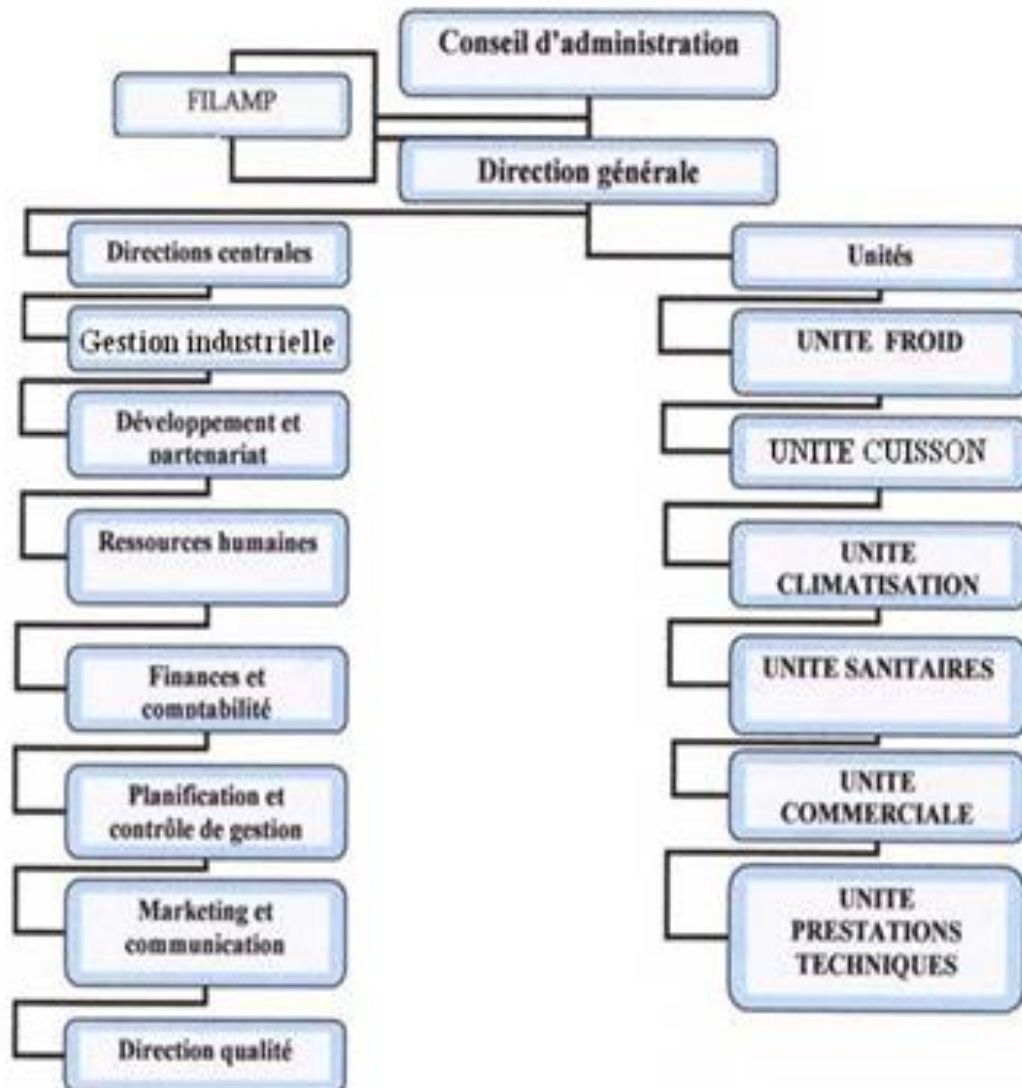
➤ **Ainsi :**

- Les appareils ménagers domestiques,
- Les appareils des collectivités,
- Les lampes d'éclairage,
- Les produits sanitaires.

Ces produits sont destinés au grand public et la distribution se fait par des agents agréés dont la liste se trouve au niveau de l'unité commerciale (Département vente).

L'Effectif est cette entreprise en 2021 est de 1692 travailleurs répartie dans tous les unités production et les structure administratif.

### I.3. Principales missions et activités de l'entreprise



**Figure 1:** Organigramme de l'entreprise ENIEM.

#### I.3.1. Direction générale

La direction générale est responsable de la stratégie et du développement de l'entreprise. Elle exerce son autorité hiérarchique et fonctionnelle sur l'ensemble des directions et des unités.

#### I.3.2. Unité froid

La mission globale de l'unité est de produire et développer les produits froids domestiques. Ses activités sont:

- Transformation des tôles.

- Traitement et revêtement des surfaces (peinture, plastification).
- Injection plastique et polystyrène.
- Fabrication de pièces métalliques.
- Isolation.
- Thermoformage.
- Assemblage.

### **I.3.3. Unité cuisson**

La mission principale de l'unité est de produire et développer la cuisson à gaz électrique ou mixte et tout produit de technologie similaire.

➤ **Ses activités sont :**

- Transformation de la tôle.
- Traitement et revêtement de surface (Zingage, Chromage).
- Assemblage.

### **I.3.4. Unité climatiseur**

La mission globale de l'unité est de développer les produits de climatisation. Ses activités sont:

- La Transformation.
- Le Traitement et revêtement de surface (peinture).
- Assemblage.

### **I.3.5. Unité sanitaire**

L'unité sanitaire de Miliana est acquise par l'entreprise ENIEM en l'an 2000. Elle n'entre pas dans le champ de certification de l'entreprise.

La mission globale de l'unité est de produire et développer les produits sanitaires (baignoires, lavabos ...).

### **I.3.6. Filiale Filamp**

L'Unité Lampe de Mohammedia (U.L.M) qui a démarré en février 1979, pour fabriquer

des lampes d'éclairage domestique ainsi que des lampes de réfrigérateurs. Cette unité est devenue une filiale à 100%, à l'ENIEM, le 01/01/1997. Cette filiale est dénommée «FILAMP».

### **I.4. Politique de l'entreprise**

L'ENIEM est certifiée ISO 14001/2004 ENVIRONNEMENT et ISO 9001/2008 QUALITÉ.

#### **a. Politique qualité :**

L'entière satisfaction durable du client constitue pour l'entreprise, l'objectif principal face aux enjeux économiques, l'ENIEM a mis en œuvre et développer un système de management, de la qualité conforme au référentiel international ISO 9001/2008.

Cette politique qualité basée sur l'amélioration continue des processus se manifeste par la volonté de la Direction Générale à :

- Comprendre les besoins présents et futurs de ses clients et y répondre efficacement en mettant à leur disposition des produits et des services compétitifs.
- Développer la culture de l'entreprise et le professionnalisme de son personnel.
- Améliorer en continu, l'efficacité du système management de la qualité.

#### **➤ Engagement de la direction :**

Pour mettre en œuvre sa politique, la Direction Générale de l'ENIEM s'engage à :

- Se conformer aux exigences légales et réglementaires, en vigueur.
- Appliquer et respecter les dispositions et procédures établies.
- Fournir les ressources nécessaires pour atteindre ses objectifs.

#### **➤ Ses objectifs :**

Pour faire aboutir les missions précitées, l'ENIEM se fixe les objectifs suivants :

- Accroître la satisfaction des clients.
- Améliorer les compétences du personnel.
- Réduire les rebuts.
- Augmenter la valeur de la production.
- Améliorer le chiffre d'affaire.

### **b. Politique environnementale :**

La politique environnementale de l'ENIEM s'inscrit dans le développement durable en intégrant un management proactif dans le domaine de la protection de l'environnement. Pour y parvenir, l'ENIEM se base sur la prévention de toute pollution, la préservation des ressources, la sensibilisation et la formation, la responsabilisation et l'implication de son personnel. Pour cela, l'ENIEM a décidé de s'engager dans une démarche volontaire d'amélioration continue, en mettant en place un système de management environnemental, selon le référentiel ISO 14001/2004. La direction générale met à disposition, les moyens nécessaires pour la réussite de ce projet.

### **I.5. Objectif de l'ENIEM**

L'ENIEM s'est assignée plusieurs objectifs afin d'assurer un impact plus performant au niveau de ses fonctions à savoir :

- L'amélioration de la qualité des produits.
- L'augmentation des capacités d'études et de développement
- L'amélioration de la maintenance d'outils de production et des installations.
- La valorisation des ressources humaines.
- La réduction des couts et de la relance d'autres sources de revenus.
- L'augmentation du volume de production en corrélation avec les variations de la demande (marché local, externe).
- Le renforcement de la sécurité du patrimoine et des installations.
- La restriction comme processus irréversible et impératif à la suivie de l'entreprise.
- Réduire les charges des structures.
- Le placement de son produit à l'échelle internationale

# **Chapitre I**

## **La matière plastique**

## I.1. Introduction

Les matières plastiques sont indissociables de notre environnement et de notre vie pratique. Ils se sont imposés dans tous les domaines de nos activités, en passant par leur utilisation dans les produits d'hygiène ou alimentaires.

Les matières plastiques couvrent une gamme particulièrement étendue de matériaux polymères synthétiques ou artificiels, ils doivent cet essor à leurs larges gammes de caractéristiques, durs, mous ou élastiques, transparents ou opaques, isolants et quelquefois conducteurs, plus ou moins résistants aux conditions de leur usage.

## I.2. Historique [1]

En 1865 aux U.S.A un concours est organisé pour trouver une matière capable de remplacer l'ivoire, devenu trop cher pour les boules de billard.

Deux américains découvrent alors la première matière plastique appelée «celluloïd» en mélangeant du camphre avec de la cellulose en 1869.

En 1909, la bakélite est brevetée par un chimiste américain d'origine belge : Léo Baekeland.

Dans les années 1930, on commence à fabriquer des matières plastiques à partir des dérivés du pétrole : PVC, PMMA (Plexiglas), PELD, PA (Nylon), PS, acétate de cellulose (Rhodoïd), PU, PTFE (Téflon).

L'arrivée du HDPE (1953 – chimiste allemand Ziegler) a entraîné l'augmentation de l'utilisation du procédé d'extrusion-soufflage pour la fabrication de bouteilles et de réservoir d'essence.

La seconde guerre mondiale va exacerber les besoins en matière plastique et d'autres produits voient le jour : Formica, SI, PET, PC, PEHD, PP, «Kevlar», ABS, caoutchouc Buna qui remplace le latex dont était privée l'Allemagne. Aujourd'hui le plastique fait tellement partie de notre quotidien qu'on oublie de s'étonner de pouvoir porter 10 kg de courses dans un sac qui pèse 6 g ou de pouvoir téléphoner en marchant.

### I.3. Origine des plastiques

#### I.3.1. Origine animale

Le lait était l'une des seules matières non végétales utilisées.

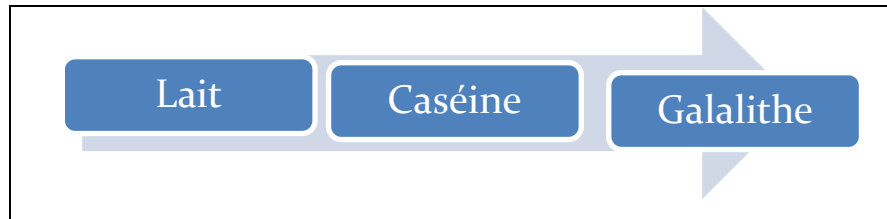


Figure I. 1: Origine animale des plastiques

#### I.3.2. Origine végétal

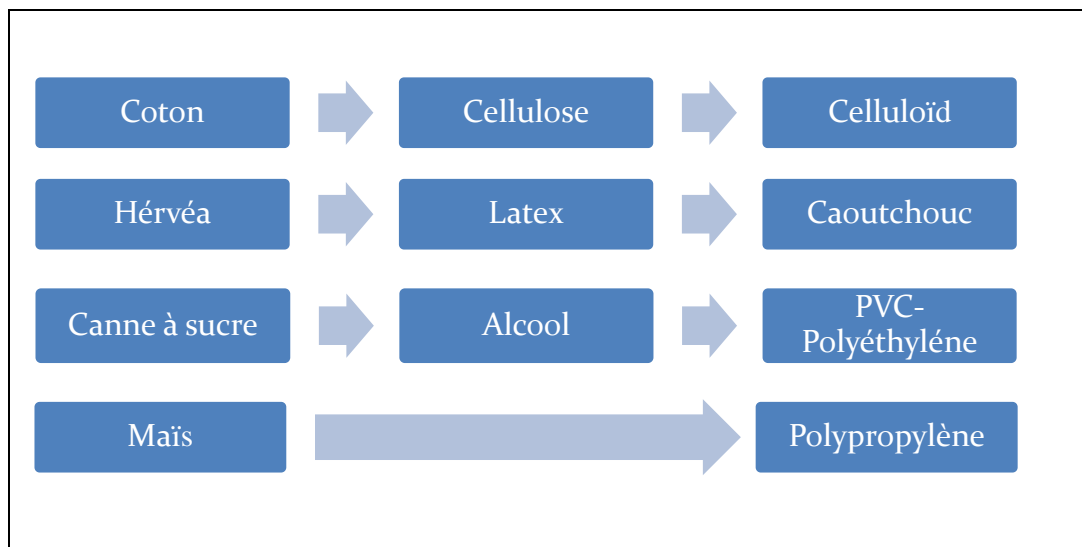


Figure I. 2: Origine végétale des plastiques

#### I.3.3. Origine naturelle

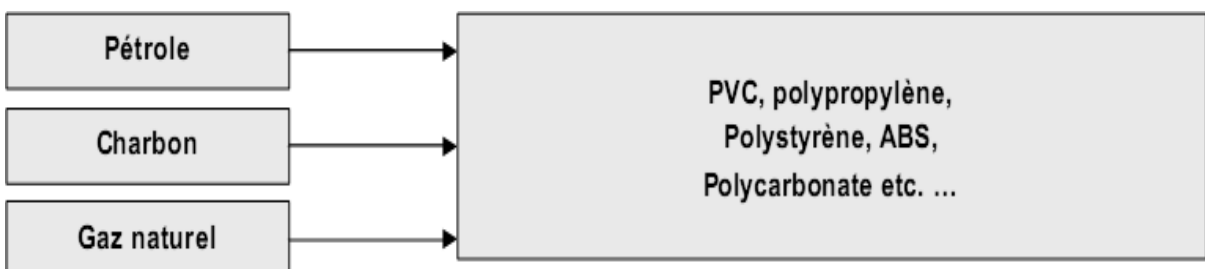


Figure I. 3: origine naturelle des plastiques

Les trois origines naturelles des matières plastiques sont :

Le pétrole à 55%, le charbon à 35% et le gaz naturel a donné 10%.

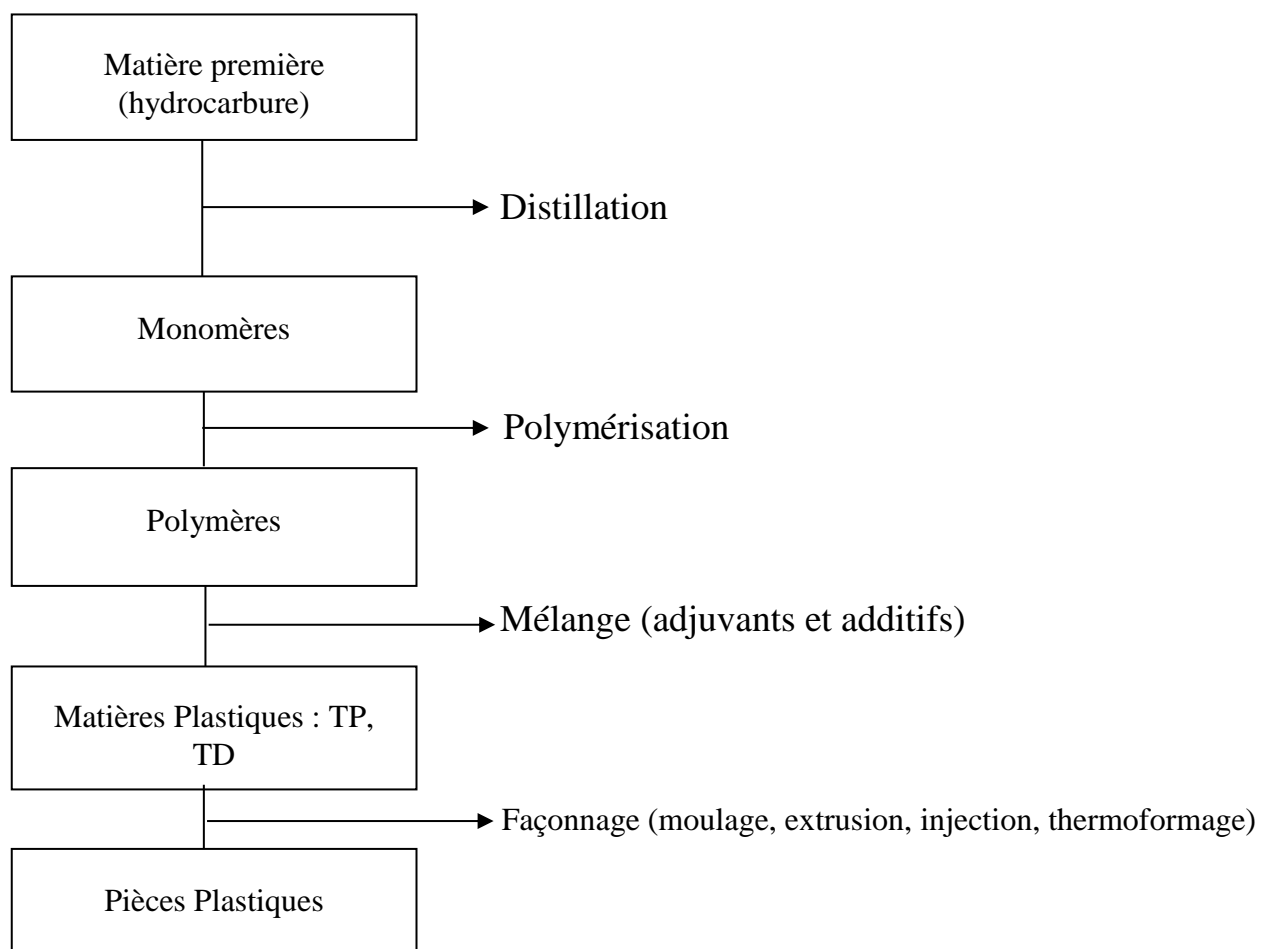
Un faible pourcentage des ressources pétrolières (4 à 6 %) est utilisé pour la fabrication de polymères

Par la pétrochimie on obtient :

- Des bitumes ;
- De pétrole ;
- Des kérosènes ;
- Des naphthas ;
- Des lourdes ;
- Des essences ;
- Des huiles ;
- Des éthers.

#### I.4. Formation du plastique

Pour obtenir des produits finis en matière plastique, il faut faire subir aux matières premières une succession de transformations chimiques et physiques. Les principales étapes de fabrication sont indiquées ci-dessous:



**Figure I. 4:** Etape de formation du plastique

## I.5. Définition de la matière plastique [2]

Les matières plastiques, appelées aussi plastiques ou polymères, sont des matériaux synthétiques très souvent dérivés du pétrole.

Ils sont constitués de macromolécules obtenues par polymérisation de monomère.

Le polymère à caractère résineux, a une substance composée de longues chaînes moléculaires appelées macromolécules. Une macromolécule résulte de l'enchaînement par liaison covalente, d'unités constitutives (ou groupe d'atomes) de carbone(C), oxygène (O), hydrogène (H) ou azote (N).

### Structure typique d'une formule :

Matière plastique = polymère(s) brut(s) (résine(s) de base) + adjuvants

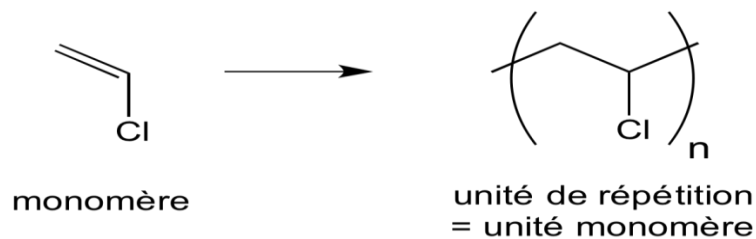
## I.6. Composition générale de la matière plastique [2]

La résine est la base, les additifs et adjuvants sont là pour améliorer les propriétés chimiques et physiques du matériau, notamment la résistance aux chocs, la couleur, la plasticité, la résistance au vieillissement, etc...

- **La résine de base** : composée essentiellement d'un matériau macromoléculaire.
- **Les adjuvants** : sont en général des produits organiques qui, lorsqu'on les mélange aux polymères, en modifient les propriétés :
  - **Plastifiants** : en général liquides ou visqueux, permettent de rendre la résine souple et élastique
  - **Lubrifiants** : facilitent le moulage.
  - **Pigments** : donnent la couleur du plastique.
  - **Stabilisants** : retardent la transformation du plastique, résistance aux ultraviolets
  - **Charges et renforts** : diminuent le coût, augmentent la résistance mécanique (marques kevlar et téflon) :
    - ❖ **Charges minérale** : amiante, graphite, silice, fibres de verre, mica, etc.
    - ❖ **Charges organiques** : farine de bois, fibre naturelles ou synthétiques, etc.
  - **Fongicide** : résistant aux micro-organismes, asepsie.
  - **Solvants** : pour peintures (enduction)
  - **Ignifugeant** : permettent de retarder la propagation des flammes et améliore la résistance au feu.

**REMARQUE :**

- Polymères : un polymère est un enchainement de motifs organiques identiques appelés monomères.
- Monomère : un monomère est une suite d'atomes de carbone reliés entre eux et combinés à d'autre éléments (hydrogène, azote, fluore, chlore, oxygène...).

**I.7. Les polymères [3][4]****I.7.1. Définition**

Les polymères sont constitués de macromolécules à squelette covalent, liées entre elles par des liaisons faibles (liaisons de Van der Waals ou liaisons hydrogène).

**I.7.2. Propriétés des polymères**

Leurs propriétés dépendent fortement du comportement de ces liaisons faibles, et évoluent considérablement avec la température. Ils auront généralement un faible module d'élasticité, et une limite élastique d'autant plus faible qu'ils seront portés à plus haute température. Ils seront donc faciles à mettre en forme. Ils ont aussi malgré leur bonne déformabilité, une bonne résistance à l'usure. Ils sont faciles à assembler et ont une bonne tenue à la corrosion. Enfin, ce sont des matériaux légers et ils peuvent être très bon marché.

**I.7.3. La polymérisation**

C'est une opération qui consiste à associer plusieurs molécules identiques par l'ouverture de la double liaison carbone-carbone du produit de départ (monomères) sous l'influence de chaleur et de la pression en présence d'un catalyseur (oxygène) et cela par amorçage radicalaire ou ionique par rayonnement. Généralement on obtient des polymères sous forme d'un réseau linéaire qui sont les thermoplastiques.

**I.7.4. La polycondensation**

C'est une réaction qui a lieu sans amorçage entre les molécules de base différentes.

Elle est plus lente et donne un résidu (souvent de l'eau). Le résultat est un poly condensateur présent souvent sous forme d'un réseau tridimensionnel autrement dit un thermodurcissable.

### I.7.5. Structure chimique des polymères

#### a. Les homopolymères

Ce sont des polymères qui ne possèdent qu'une seule unité, ces homopolymères sont des longues chaînes formées par la répétition d'un monomère, leurs propriétés mécaniques, écoulement à l'état fondu, optique, sont dues à la structure chimique des monomères et la longueur des chaînes. Il existe au sein des homopolymères différentes familles, on trouve : l'homopolymère linéaires, branchés et étoilés.

#### b. Les copolymères

Ce sont des polymères qui possèdent plusieurs unités, comme pour les homopolymères, les copolymères peuvent se classer différentes familles, citons : le mode statique, alterné, séquencé et greffer.

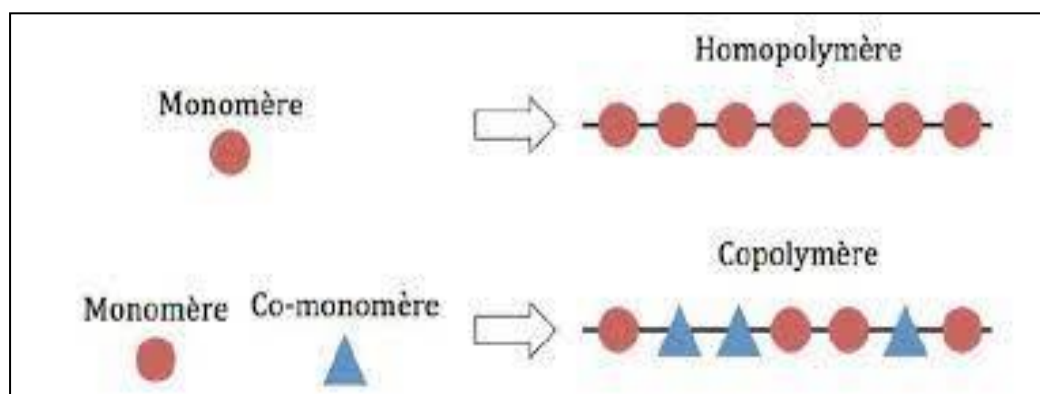
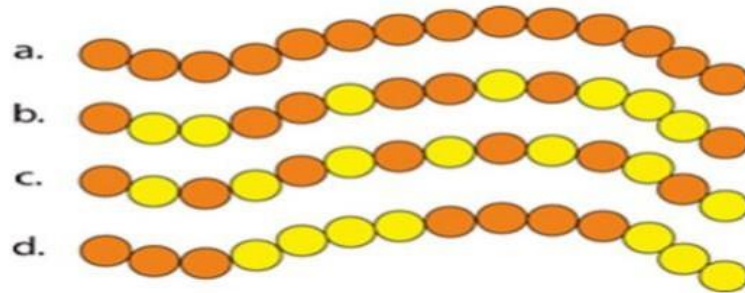


Figure I. 5 : Structure chimique des polymères

### I.7.6. Architecture des polymères

#### a. Polymères linéaires

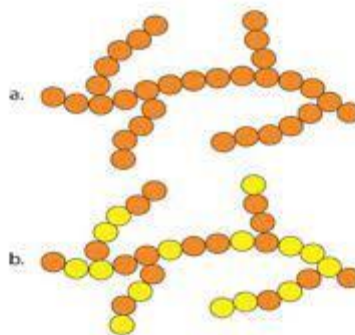
Les polymères linéaires sont constitués de grandes chaînes de monomères reliés entre eux par des liaisons covalentes. Ces macromolécules sont liées entre elles par des liaisons secondaires qui assurent la stabilité du polymère. Ces liaisons secondaires sont des liaisons ou ponts hydrogène ou des liaisons de Van der Waals. Lorsque ces liaisons existent, le matériau devient rigide et présente un comportement de solide.



**Figure I. 6:** (a: homopolymère, b : copolymère statistique, c: copolymère alterné, d : copolymère séquencé)

### b. Polymère ramifiés

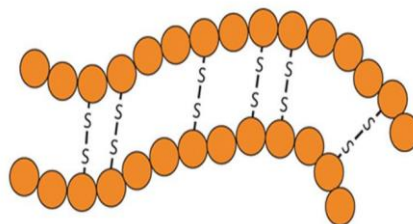
Des chaînes homopolymériques ou copolymériques peuvent se greffer sur d'autres chaînes au cours de la polymérisation. Au dessus de la température de transition vitreuse, ces matériaux présenteront un comportement visqueux plus marqué que les polymères linéaires.



**Figure I. 7:** Homopolymère ramifié (a) et copolymère ramifié (b)

### c. Polymères réticulés

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.



**Figure I. 8 :** Polymère réticulé

### I.7.7. Comportement physique des polymères

En fonction de la structure physique des polymères, on peut les classer en quatre types d'état :

#### a. L'état amorphe

Dans lequel les arrangements moléculaires n'ont pas d'ordre prédéfini. Cette absence d'ordre engendre une absence de point de fusion, l'existence d'une température de transition vitreuse qui marque le passage d'un état vitreux (ou les chaînes peuvent glisser plus facilement).

#### b. L'état amorphe orienté

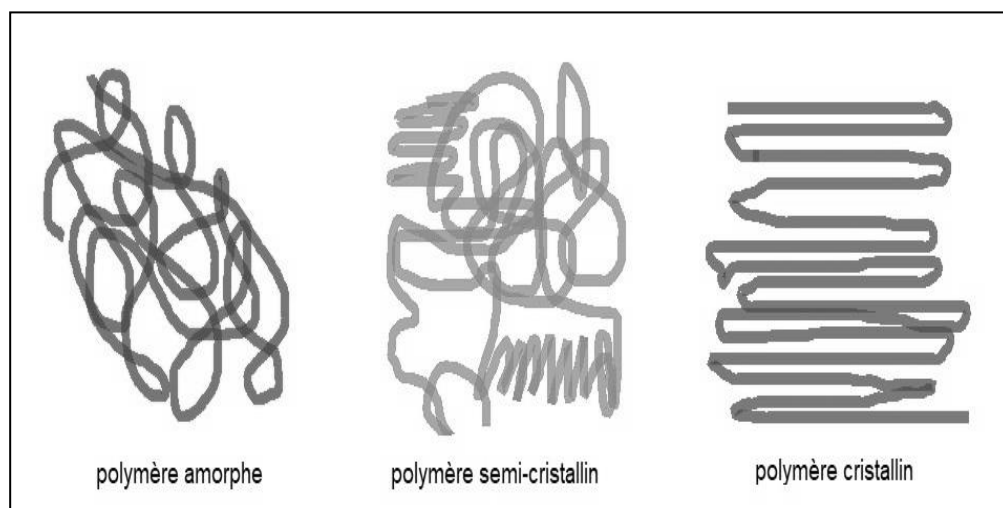
Où les arrangements moléculaires sont tous orientés dans la même direction.

#### c. L'état cristallin

Caractérisé par un arrangement organisé des molécules. Les chaînes s'organisent de façon ordonnée et compacte. Le cristal polymère est décrit par son réseau et son motif. Le réseau caractérise la périodicité dans les trois directions de l'espace. Les principales caractéristiques de l'état cristallin sont une compacité supérieure à celle de la phase amorphe, l'existence d'un point de fusion et l'absence de transition vitreuse, une rigidité supérieure à celle de la phase amorphe.

#### d. L'état semi cristallin

Qui associe à la fois un arrangement organisé et des zones amorphes.

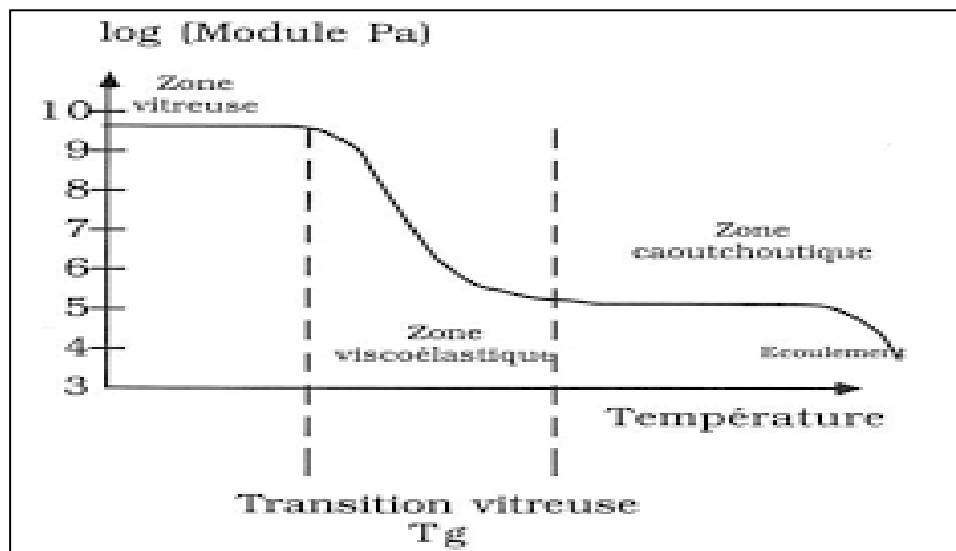


**Figure I. 9:** Comportement physique des polymères

### I.7.8. Température de transition vitreuse $T_g$

L'étude des variations d'une propriété physique déterminée d'un polymère quelconque en fonction de la température, à met évidence deux zones de température particulièrement distinctives. En effet, sur un intervalle de température 'très étroit' et pour un polymère donné, des changements brutaux et importants surviennent sur certaines caractéristiques telles que : le coefficient de dilatation, le volume spécifique, le module d'élasticité...etc.

Cet intervalle réduit à une valeur moyenne es appelé température de transition vitreuse noté  $T_g$  ou  $T_v$ . Cette dénomination est due au fait que sur cet intervalle de température très étroit, le polymère passe d'un état liquide très visqueux à un état vitreux.



**Figure I. 10:** Variation du module d'élasticité en fonction de la température et représentation de la zone de transition vitreuse

La température de transition vitreuse est donc une température au-dessous de laquelle, un polymère amorphe est rigide tandis qu'au-dessus il devient mou (caoutchouteux).

**N B :** la masse molaire d'un polymère est :  $M_p = n \times M_m$

- $M_p$  : la masse molaire du polymère
- $M_m$  : la masse molaire du motif
- $n$  : l'indice ou degré de polymérisation

### I.7.9. Le degré de polymérisation (DP) [10]

Le degré de polymérisation (DP) définit la longueur d'une chaîne polymère. DP est le nombre d'unités monomères (unités répétitives) constitutives de cette chaîne. Le degré de

polymérisation est directement proportionnel à la masse molaire du polymère.

Il est exceptionnel qu'un polymère synthétique soit formé de chaînes de même degré de polymérisation, on a plutôt une distribution de chaînes de longueurs différentes ; on parle plus précisément de degré de polymérisation moyen en nombre,  $\overline{DPn}$  ou  $\overline{Xn}$

Il est égal au rapport de la masse molaire moyenne en nombre du polymère à la masse molaire de l'unité monomère, soit :  $\overline{DPn} = \frac{\overline{Mn}}{M_0}$

Si le degré de polymérisation est compris entre 2 et quelques dizaines, les chaînes sont appelées oligomères.

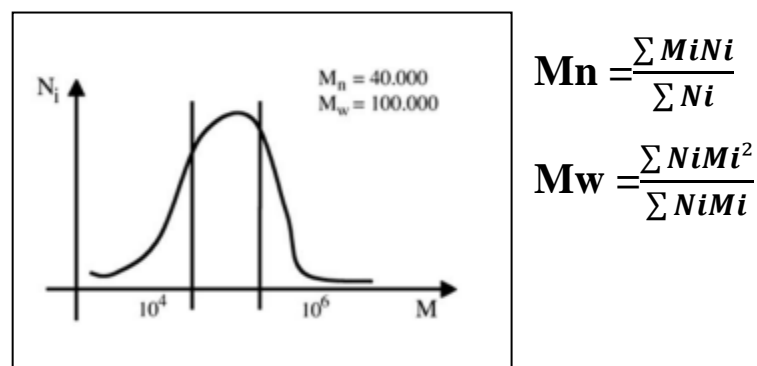
Un polymère peut être caractérisé par son : degré de polymérisation ou sa masse moléculaire.

Le degré de polymérisation est le nombre total de monomères contenus dans une macromolécule. Lorsque ce degré de polymérisation (DP) est inférieur à 30, on parle d'oligomère et lorsqu'il est supérieur à 30, c'est un polymère.

Lorsqu'on observe un polymère de synthèse ou un polymère naturel, il est souvent constitué d'un mélange de chaînes macromoléculaires de tailles différentes avec des degrés de polymérisation différents. La masse moléculaire M d'un matériau polymère est calculée de deux façons :

$M_w$  : est la masse moléculaire moyenne de toutes les macromolécules présentes dans le matériau,

$M_n$  : est la masse moléculaire majoritaire dans le mélange.



**Figure I. 11:** Courbe de distribution des masses moléculaires d'un polymère

## I.8. Les grandes familles des plastiques [5] [6]

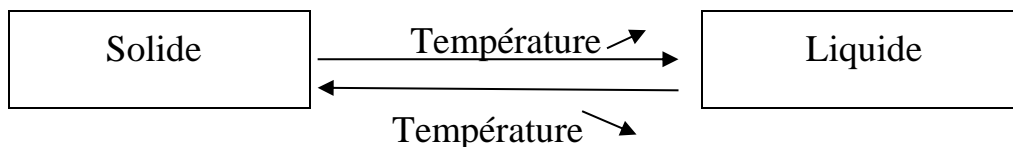
Les matières plastiques sont classées d'après leurs propriétés thermodynamiques en trois types :

### I.8.1. Les thermoplastiques

Les thermoplastiques sont, en première approximation, constitués par des enchainements unidimensionnels résultant de l'association des molécules simples (monomère) en chaînes macromoléculaires linéaires (éventuellement ramifiées). A température ambiante, ce matériau est solide. Par chauffages et refroidissement successifs, on peut modifier l'état et la viscosité des matières thermoplastiques, de façon réversible.

❖ Les variétés les plus couramment utilisées sont :

- Les polyesters thermoplastiques ;
- Les polyphénylène oxyde ;
- Les polyamides ;
- Les polyacétals (polyxyméthylène) ;
- Les polycarbonates ;
- Les polyéthers ;
- Les polysulfures(PS).



Ce phénomène réversible permet leur recyclage(les objets sont broyés et refondus pour en élaborer d'autres).Les thermoplastiques sont par ailleurs solubles dans des solvants spécifiques, ce qui permet leur utilisation comme revêtements et colles.

### I.8.2. Les thermodurcissables

Ce sont des composés macromoléculaires s'étendant dans les trois directions de l'espace ; ils sont d'autant plus rigides que le réseau tridimensionnel qui les caractérise est plus dense

Ils sont obtenus :

- Soit par polycondensation ou polymérisation de petites molécules dont tout ou partie possède plus de deux sites réactifs ;

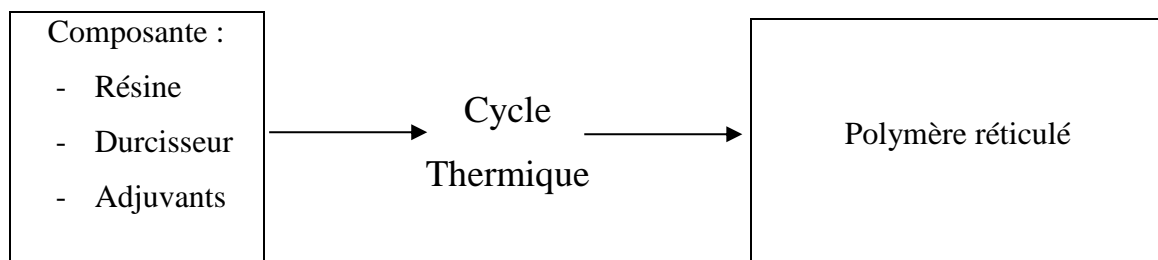
- Soit par réticulation de macromolécules linéaires (ou pontage) par des durcisseurs, généralement à l'aide d'un catalyseur

Dans les deux thermodurcissables initiaux se transforme chimiquement, de façon irréversible, en un objet fini, infusible et insoluble, thermo durci.

❖ **Les variétés les plus couramment utilisées sont :**

- Les polyesters insaturés ;
- Les époxydes ;
- Les phénoliques ;
- Les polyamides.

La transformation d'un thermodurcissable est chimique et irréversible, c'est l'opération de polymérisation(ou réticulation).



### I.8.3. Les élastomères

Élastomères (du mot élastique et polymère) .Ces polymères présentent les mêmes qualités élastiques que le caoutchouc, un élastomère au repos est constitué de longues chaînes moléculaires reliées sur elles mêmes, sous l'action d'une contrainte, les molécules peuvent glisser les unes par rapport aux autres et se déformer.

Les élastomères sont des matières réticulées d'une manière incomplète. Le degré de réticulation est faible. Les pontages permettent aux macromolécules de revenir en place plus ou moins rapidement après une déformation sous contraintes, c'est la propriété fondamentale des élastomères.

❖ **Les variétés les plus couramment utilisées sont :**

- Le caoutchouc naturel (cis-1,4-poly isoprène(NR) ;
- Poly isoprène synthétique (IR), très voisin du NR ;
- Le polybutadiène (BR) ;
- Le copolymère styrène-butadiène(SBR).

## I.9. Principales matières plastiques

Nom	Propriétés	Utilisations
Polyéthylène <b>(PE)</b>	Thermoplastique, translucide en film, souple, perméable aux hydrocarbures, aux alcools et aux gaz, résistant aux agents chimiques et rayons x.	Films, sacs, tuyaux a tubes, gaines isolants bouchons, emballages, jouets.
Polypropylène <b>(PP)</b>	Thermoplastique, faible densité, rigidité élevée, résistant aux rayonsX, très peu perméable à l'eau, résistant aux températures élevées (135°C) et aux chocs.	Articles ménagers, emballages, carrosserie, batterie, pare-chocs, mobilier de jardin, seringues, flacons, prothèses.
Polystyrène <b>(PS)</b>	Thermoplastique, non toxique par ingestion, propriétés optiques et électriques, faciles à colorer, résistant aux rayons X, aux huiles et aux graisses	Emballages, revêtement de meubles de bureau, rasoirs jetables.
Chlorure de polyvinyle <b>(PVC)</b>	Thermoplastique, souple ou rigide, résistant aux rayons X, acides, résistant aux rayon X, acides, bases, huiles, graisses et alcools	Articles ménagers, emballages, isolation de fils électriques, canalisation d'eau, volets et portes pliantes, articles de sport et de camping.
Poly tétra- fluor éthylène <b>(PTFE)</b> ou téflon	Chimiquement inerte, anti- adhérent, imperméable à l'eau et aux graisses, excellente tenue à la chaleur et à la corrosion.	Prothèses orthopédie, et auditives, joints, garniture, pièces.

Polyméthylacrylate de méthyle (PMMA) ou plexiglas	Thermoplastique, transparent, excellente optique, bonne tenue au vieillissement et aux intempéries.	Matériau remplace le verre, enseignes lumineuses, vitrines, fibres optiques, prothèses.
Polyamides (PA) Exemple : Nylon	Thermoplastique, excellentes propriétés mécaniques, bonne tenue en température (100°C) résistant aux rayons X, aux carburants, imperméable aux odeurs et aux gaz.	Emballages de produits alimentaires mécanismes des compteurs d'alimentation en eau, gaz électricité canalisation, carburant, chaussures.
silicones	Fluides, lubrifiantes, anti-adhérentes, faiblement toxiques	Fluides pour transformateurs électriques, mastic, moulages complexes, revêtements anti-adhérentes, vernis, cires, traitement de brûlures.
Polyesters	Thermodurcissable, transparent, propriétés mécaniques à haute température, propriétés électriques, résistant aux chocs, faciles à mettre en œuvre	Textiles, emballages, bouteilles, interrupteurs, prises et fusibles pour circuits à haute tension, prothèses.
Phénoplaste	Thermodurcissable, grande dureté.	Utilisation en couche : vernis durcissable.

Tableau I. 1: Principales matières plastiques.

## I.10. Propriétés des matières plastiques [8]

Les propriétés spécifiques des matières plastiques vont d'une matière à l'autre. Les principales propriétés sont :

### I.10.1. Propriétés mécaniques

#### a. Résistance à la traction :

Généralement pour les plastiques à l'état compact, la résistance varie entre 10 et 80 Mpa, alors que pour les plastiques renforcés elle se situe entre 200 et 800 Mpa.

**b. Résistance à la compression :**

Le comportement des plastiques à la compression, présente une résistance beaucoup plus élevée qu'à la traction (50 à 100% de plus).

**c. Élasticité :**

La résistance élastique (module) des plastiques voisine de 3000Mpa, ce qui situe ces matériaux entre les bois et les caoutchoucs. Certaines charges peuvent amener quelques thermoplastiques à 160Gpa.

**d. Allongement :**

Voisin de 150% en général, il peut atteindre 400 à 800% avant rupture pour certains produits comme les fils ou les fibres synthétiques.

**I.10.2. Propriétés chimiques****a. Humidité :**

Certains plastiques absorbent naturellement de l'eau. D'une façon générale, le taux d'humidité fait varier les caractéristiques mécaniques et dimensionnelles des plastiques.

**b. Toxicité :**

Tous les plastiques n'ont pas le label alimentaire ; il existe une législation assez contraignante à ce sujet. Certains plastiques peuvent provoquer chez des sujets sensibles certains troubles : allergies, inflammations, asthme, etc...

**c. Sensibilité aux agents extérieurs :**

Les matières plastiques offrent en général une bonne résistance aux produits chimiques (acides, bases, solvants). L'eau peut les dégrader à la longue.

Les plastiques sont insensibles aux bactéries, champignons et parasites.

**I.10.3. Propriétés thermique et physique****a. Inflammabilité :**

C'est le point faible des plastiques, ils se détruisent en température élevée et se cassant à basses température.

**b. Résistance thermique :**

La chaleur fait perdre aux matières plastiques leurs caractéristiques mécaniques jusqu'à

les décomposer, par contre, le froid leur fait perdre souplesse

**c. Isolation thermique :**

Les matières plastiques ont un coefficient de transmission de chaleur les plus bas.

**d. Légèreté :**

La densité de la plupart des matières plastique est comprise entre 0.9 (plus léger que l'eau) à 1.8 (plus lourd que l'eau). Le plus souvent 1 (aussi lourde que l'eau).

**e. Transparence :**

Certains plastiques ont un coefficient de transmission de la lumière voisin de celle du verre et bon nombre sont transparent ou translucides.

## **I. 11. Présentation des matières plastiques**

### **I.11.1. La forme commerciale**

On trouve les matières plastiques sous différentes formes :

- En poudre : Polychlorure de vinyle (PVC).
- En granulé : La majorité des thermoplastiques.
- En billes : Polystyrènes expansé (PS).
- En résines liquides : La majorité des thermodurcissables.
- En résines pâteuses : Silicones.

### **I.11.2. Domaines d'application de la matière plastique**

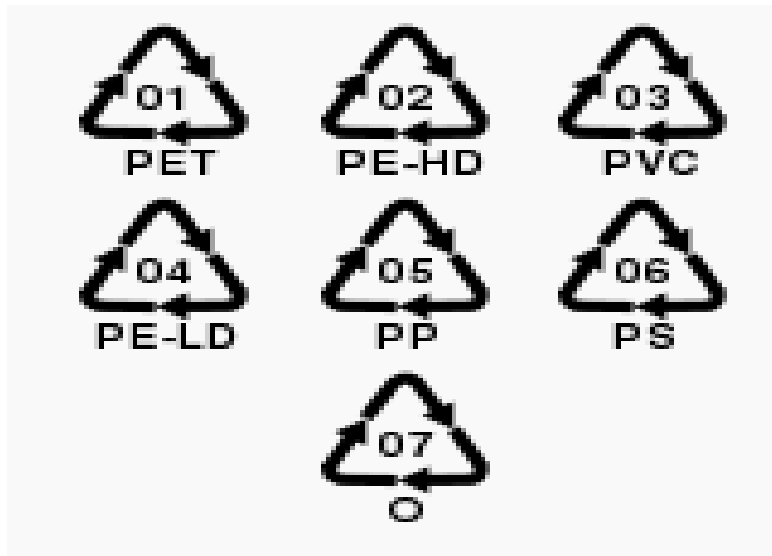
On trouve les produits plastiques dans de nombreux secteurs :

- Emballage : bouteilles, barquette, film, bouchons,...
- Bâtiment : tuyauteries, volets, fenêtres, revêtement,...
- Automobile : carrosserie, habitacle, pièces sous capot,...
- Electrique/Electronique : électroménager, télécommunication,...
- Médical, pharmaceutique, cosmétiques et bien d'autres domaines

## **I.12. Le recyclage des matières plastiques [7]**

Le plastique doit être trié par type pour le recyclage car chaque type de plastique a des propriétés différentes, pour cela, l'industrie du plastique a créé un système de sept codes :

(On les trouve en regardant généralement en dessous du produit, exemple: bouteilles d'eau minérale).



**Figure I. 12 :** Code d'identification des résines thermoplastiques

**01 : Le PET ou PETE, Polyéthylène Téréphtalate.** Il peut être transparent ou teinté. Il est souvent utilisé pour les bouteilles de boissons gazeuses, d'huile de cuisine, les boissons aux fruits et les eaux minérales. Et c'est actuellement le plastique le plus recyclable. Il est actuellement le plastique le plus recyclable.

Le PET est broyé puis fondu et transformé en fibres par étirage. Cette fibre sert à rembourrer des anoraks, des peluches ou des couettes...

**02 : Le PEHD ou HDPE, Polyéthylène haute densité,** c'est un matériau souvent opaque qui est employé pour réaliser des emballages de produits ménagers (détergents, lessives...), de liquides alimentaires et de produits de toilette. Il représente 50% du marché des bouteilles en plastiques

Le PEHD est broyé et transformé en granulés. Ces granulés sont fondus et servent à la fabrication de tubes, de flacons non alimentaires et de bacs de collecte des déchets ménagers.

**03 : Le polychlorure de vinyle (PVC).** C'est le 2<sup>ème</sup> plastique utilisé dans le monde (20% de l'ensemble des plastiques) après les polyéthylènes (32%).

La fabrication et l'incinération de ce plastique non recyclable rejettent des dioxines, des substances cancérigènes et des perturbateurs hormonaux. En contact avec la nourriture chaude et/ou grasse, le PVC peut aussi laisser filtrer des produits chimiques comme les adipates ou les

phthalates, dont on a vu qu'ils provoquaient sur les souris de laboratoire des malformations de naissances, et des dégâts sur le foie, les reins, les poumons et le système reproductif.

Malheureusement, les emballages en PVC sont utilisés dans la plupart des supermarchés et des épiceries pour emballer le fromage et la viande.

**04 : Polyéthylène** basse densité ou Low Density Polyethylene (LDPE).

Utilisé pour certains sacs, barquettes alimentaires souples ou emballages plastiques.

**05 : Polypropylène (PP)**. Utilisé pour certaines tasses pour enfant, Certaines gourdes souples réutilisables pour sportifs, des récipients alimentaires réutilisables, les pots de yogourt et de margarine.

**06 : Polystyrène (PS)**. Le polystyrène peut laisser filtrer du styrène, un cancérigène potentiel qui peut être également un disruptif hormonal. Il est facile de l'éviter en utilisant des tasses en verre ou en porcelaine au lieu de tasses en plastique, en évitant les couverts en plastique, et en ne chauffant jamais les aliments dans des récipients en polystyrène (ils fondraient dans votre nourriture et rejetteraient des gaz toxiques).

**07 : Polycarbonate**. Utilisé pour la plupart des biberons et certaines tasses pour bébés.

Le polycarbonate contient du bisphénol-A, un produit chimique œstrogénique et un disruptif hormonal chez les animaux de laboratoire. Des études ont démontré que le bisphénol-A présent dans le plastique pouvait s'exfiltrer s'il était chauffé ou après une utilisation prolongée.

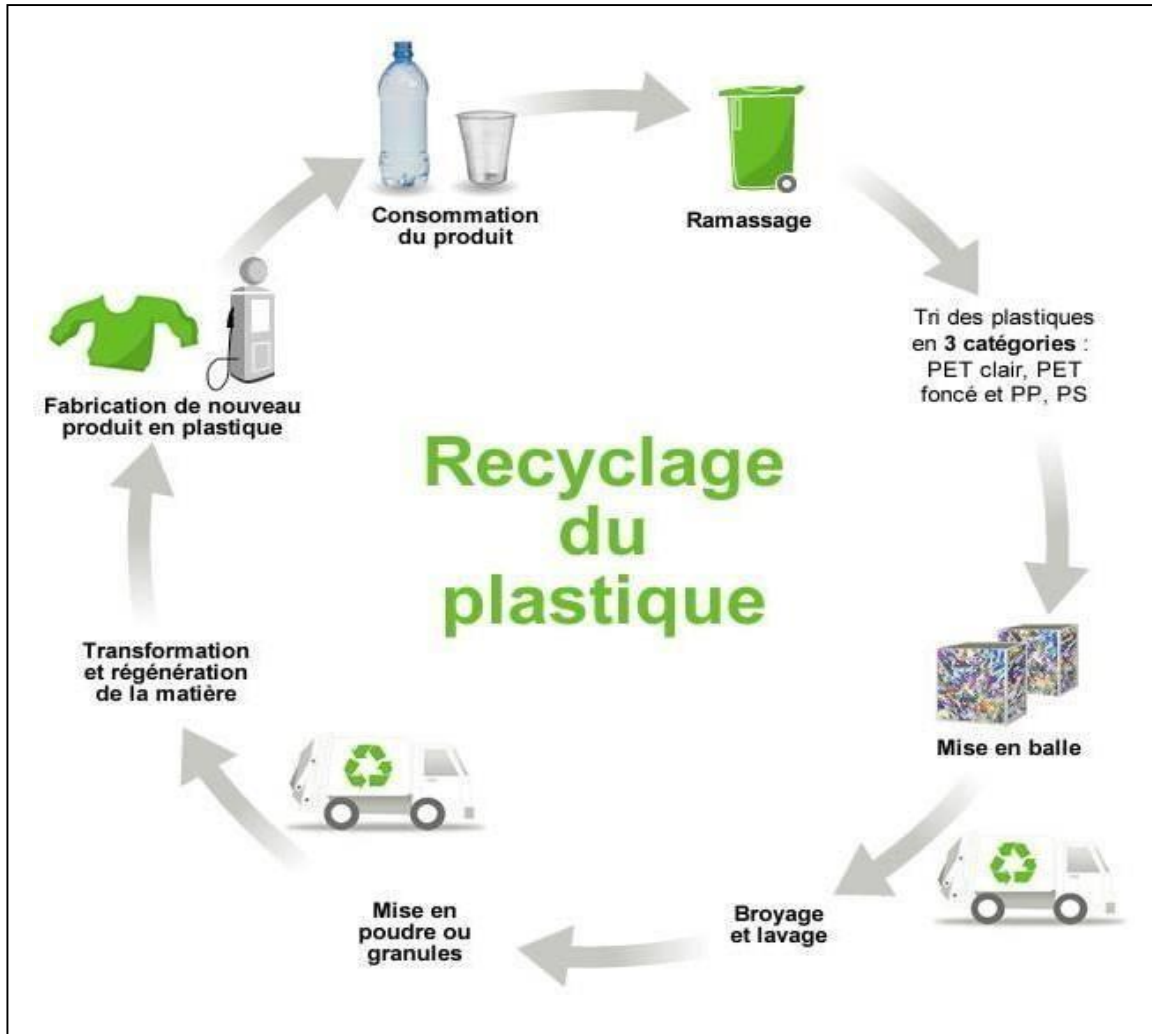


Figure I. 13: Le cycle de recyclage des matières plastiques

## II. Présentation du polystyrène (PS) [9]

### II.1. Historique

Les résines de polystyrène, commercialisées vers 1937, caractérisées par une grande résistance aux agressions chimiques et mécaniques à basse température, sont utilisées dans les équipements de réfrigération et les avions volant à haute altitude.

### II.2. Définition

Les polystyrènes (PS) sont des matériaux thermoplastique (amorphes) .ils résultent de la polymérisation du styrène, lui-même issu du pétrole.

### II.3. Fiche technique de PS

Le polystyrène (PS en abrégé)  $-(C-CH_2(Ph))-$  est le polymère obtenu par la polymérisation des monomères de styrène  $C=CH-Ph$  :

- Origine : Styrène
- Structure : Amorphe
- Retrait : 0,2 à 0,6
- Mise en œuvre : injection

### II.4. Caractéristiques technologiques du polystyrène (PS)

Usinabilité	Bon
Moulage	Facile
Transmission de lumière	Mauvais
Resistance aux chocs	Bon
Comportement au froid	Moyen
Comportement au feu	Mauvais
Comportement aux acides	Moyen
Comportement aux bases	Bon
Comportement aux solvants	Mauvais
Comportement à l'UV	bon

**Tableau I. 2:** caractéristiques technologiques du PS

### II.5. Conditions de mise en œuvre des PS

Les polystyrènes standards et choc se mettent facilement en œuvre selon les trois principales techniques : injection, extrusion, thermoformage.

Température de la matière à injecter (°C)	180 à 230
Température du moule (°C)	20 à 60 si possible 45 à 60
Pression d'injection (bar)	500 à 1000
Température d'extrusion (°C)	190 à 210
Vitesse d'injection (m/s)	maximale
Préchauffe (°C)	70 à 80
Dispositions supplémentaires	Parfois étuvage

**Tableau I. 3 :** Conditions de mise en œuvre des (PS)

### II.6. Avantages du PS

- Mise en œuvre facile.
- Grande cadence de production.
- Transparence cristal.
- Prix intéressant.
- Collage et soudure facile.
- Alimentation
- Peut se colorer.
- Etat de surface correct.

### II.7 .Inconvénients du PS

- Faible résistance aux chocs.
- électrostatique.
- soluble aux hydrocarbures.
- jaunissement à la lumière.
- combustion facile.

### II.8. Caractéristiques du PS

#### a. Thermique

Les PS ne contenant que du carbone et de l'hydrogène, un matériau PS très choc et très fluide présentera l'inconvénient d'une faible tenue thermique par contre, un matériau PS demi-choc et très visqueux présentera l'avantage d'une tenue thermique élevée.

La température de décomposition du PS est de 280 à 320°C. Lors de sa combustion, le PS produit des fumées noires et denses du CO, CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O et coule sous forme de gouttelettes On peut constater que plus le matériau ne contient d'élastomère, plus la tenue thermique n'est faible. D'autre part, plus le matériau est apte à la mise en œuvre (plastifiant), plus la tenue thermique est basse.

Température de déformation (C°)	Coefficient de dilatation linéique	Capacité thermique massique (J/K Kg)	Conduction thermique (W/m k)
105-116	0.8-0.95*10 <sup>-4</sup>	1.6*10 <sup>-5</sup>	0.16

**Tableau I. 4:** Caractéristiques Thermique de PS

### b. Mécanique

Tenue aux chocs et résistance aux sollicitations à grande vitesse.

La température de transition vitreuse du PS amorphe est de 90 à 100 °C. Notons que lamasse molaire croissante entraine une élévation de la transition vitreuse assez nettement si  $M > 105$  et faiblement si  $M < 105$  (g/mol).

Les propriétés mécaniques varient peu aux basses températures (-40°C) jusqu'à 70°C. Dans cette plage de variation de température, le PS est dur, cassant et rigide, c'est ce qui augmente sa fragilité.

Pour améliorer les propriétés aux chocs des PS, fragiles à température ambiante, on dispersedans la phase styrénique des nodules sphériques de polybutadiène.

En traction, le matériau peu flué après le seuil d'écoulement les modules d'élasticité varient de 1000 à 3000 PMA selon les quantités.

Densité (g/cm <sup>3</sup> )	1.03 à 1.07
Resistance à la traction(Mpa)	40 à 45
Resistance à la compression (Mpa)	63 à 68
Resistance à la flexion (Mpa)	6 à 8
Allongement à la rupture(%)	500
Resistance au choque entaillé (Kg/m <sup>2</sup> )	6 à 10
Retrait après moulage en (%)	0.2 à 0.6
Module d'élasticité (Mpa)	1400

**Tableau I. 5:** Caractéristiques mécaniques générales de PS.

### c. Physico-chimiques

Pour le polystyrène-choc, système biphasé (élastomère polybutadiène dispersé dans lePS), les paramètres clefs, outre ceux du PS standard sont les suivants :

- La morphologie de la phase élastomère.

- La taille des particules d'élastomère.
- Le niveau de greffage et de réticulation de l'élastomère.
- La teneur en élastomère
- Absorption de d'eau : le PS absorbe peu d'eau <0.2%.
- Tous ces paramètres gouvernent :
- Les propriétés de mise en œuvre.
- Les propriétés mécaniques finales.
- Les propriétés optiques.

#### **d. Electriques**

Les PS sont des polymères non polaire et donc caractérisés par d'excellentes propriétés isolantes dans une large gamme de fréquences (50 à 106 Hz)

Leur forte résistivité volumique fait des PS des matériaux très électrostatique .Ceci peut compliquer des opérations de thermoformage en fixant des poussières marqueront la surface. Les faibles pertes diélectriques interdiront le soudage haute fréquence.

#### **e. Dimensionnelles**

Les styréniques présentent une excellente stabilité dimensionnelle car reprenant peu d'eau, le PS ne présente qu'un faible retrait au moulage.

### **II.9. Applications**

On l'utilise pour:

- Couvert en plastique.
- Verre en plastique.
- Fabriquer du mobilier.
- Des emballages, des grilles de ventilation.
- Les plaques de feuilles (profil, cabine de douche feuilles horticole).
- Isolant thermique sous forme expansée.

D'une manière pratique, on le reconnaît à son côté cassant avec un blanchissement sur les zones de contraintes. La façon la plus rapide de reconnaître un plastique est de les brûler pour observer la flamme, la fumée et sentir l'odeur. Le polystyrène est facilement reconnaissable à sa fumée noire et à son odeur caractéristique. On peut également le distinguer au bruit très métallique qu'il produit en subissant un choc, par exemple en tombant sur une surface dure.

Le polystyrène peut être transformé par injection ou extrusion par exemple :

Le polystyrène, outre son côté cassant, souffre aussi d'une faible résistance chimique et de faible résistance à la fissuration sous contrainte (ESCR).

Le polystyrène est le plus commun de la famille des plastiques styréniques, avec l'Acrylonitrile butadiène styrène (ABS) ou le SAN.

Il se recycle facilement avec un étuvage et peut se combiner avec les autres styréniques (ABS, PSB, SAN, SBC).

### **III. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons déterminé la matière plastique avec ses différentes composantes et ses variations. Ces caractéristiques nous ont permis de les employer dans plusieurs domaines en particulier dans l'injection plastique.

Nous avons aussi étudié le polystyrène qui constitue la matière de notre pièce qui est "l'entretoise supérieure d'un réfrigérateur" pour avoir une bonne conception.

# **Chapitre II**

## **Mise en forme des matières plastique**

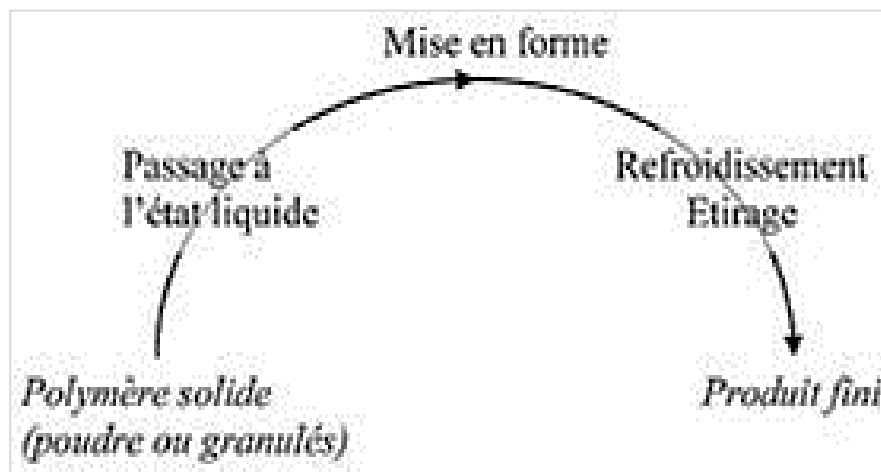
## I.1. Introduction

Les plastiques constituent une catégorie de matériaux très polyvalents, avec des milliers de combinaisons polymères possibles, chacun présentant des propriétés mécaniques spécifiques.

Les procédés de fabrication avec des plastiques ont été élaborés pour couvrir une large gamme d'applications et de géométries de pièces.

Pour les matières thermoplastiques, on emploiera principalement les procédés suivants:

- L'injection
- L'injection soufflage.
- L'extrusion.
- L'extrusion soufflage.
- Le thermoformage.
- Le roto moulage.
- Le calandrage



**Figure II. 1:** Etapes de transformation de polymères thermoplastiques

Ces procédés sont aussi utilisés pour les matières thermodurcissable, mais qui nécessitent une attention particulière pour la température, d'autres procédés prennent place comme la compression.

## I.2. Procédés de transformations du plastique [11],[12]

### I.2.1. Procédé d'injection

L'injection plastique ou le moulage par injection, est un procédé de mise en œuvre des thermoplastiques.

La matière plastique sous forme de granulés, est versée dans une trémie pour alimenter une vis sans fin logée dans un tube chauffé. Elle y est comprimée, malaxée et chauffée. Ce traitement mécanique et thermique fournit une pâte fondante et homogène qui est poussée par la vis en rotation vers un orifice. La matière expulsée sous pression par la vis d'injection à travers ce trou vient remplir un moule fermé et refroidi. Au contact des parois froides, elle prend la forme du moule et se solidifie. Le moule s'ouvre ensuite pour faire sortir la pièce.

Ce procédé permet une transformation en discontinu des thermoplastiques. On obtient après démoulage des produits finis ou semi-finis de formes complexes en une seule opération. C'est une méthode de production très rapide pour produire des objets en très grande quantité. La technique de fabrication est fréquente pour fabriquer des objets moulés de qualité, parfois de forme compliquée dans le domaine de l'automobile, des jouets et de l'électronique.

On peut réaliser des objets très volumineux, par contre, il n'est pas possible de faire des parois supérieures à 6 mm. Les préformes de bouteille d'eau minérale qui ne peuvent pas être réalisées par extrusion sont fabriquées par cette technique d'injection.

Pour changer la forme de la pièce, il faut changer le moule.

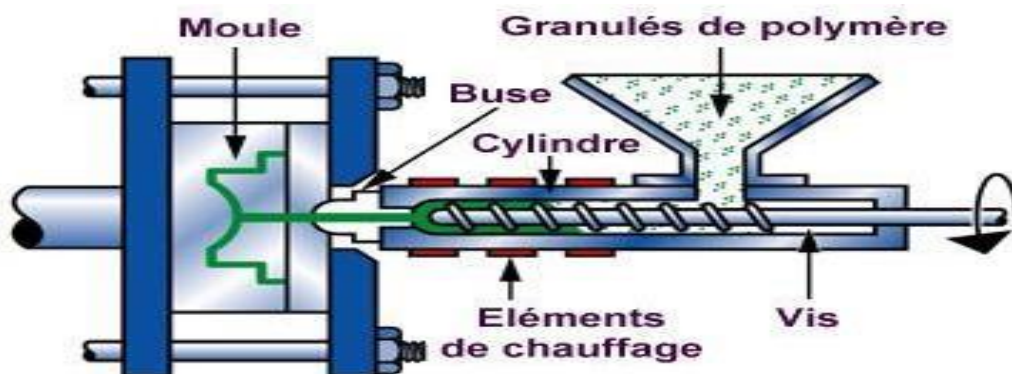


Figure II. 2: Procède de l'injection

### I.2.2. Injection soufflage

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

La matière est injectée pour former une "préforme" qui peut intégrer le vissage final de la pièce.

La préforme peut être stockée, transportée ou directement réchauffée pour être ensuite soufflée à la forme voulue. L'éprouvette est alors enfermée dans un moule de soufflage en deux demi-coquilles ayant la forme désirée. Une extrémité de la préforme est pincée. De l'air comprimé (le plus souvent) est ensuite injecté dans la cavité par l'orifice de la préforme afin de plaquer la matière contre l'empreinte refroidie et figer la pièce dans sa forme finale.

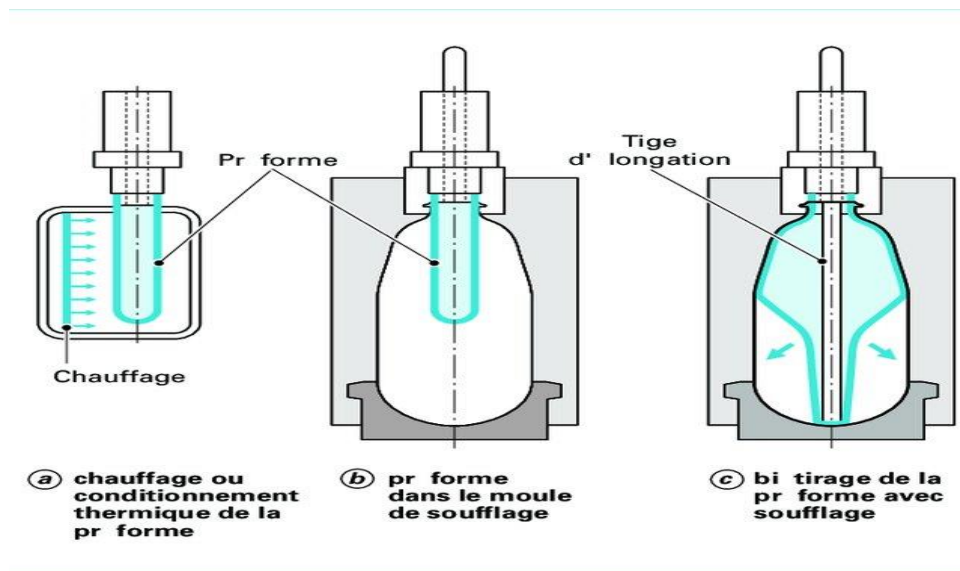


Figure II. 3: Injection soufflage

### I.2.3. L'extrusion

L'extrusion est un procédé très utilisé en plasturgie puisque la majorité des matières thermoplastiques est au moins extrudée une fois lors de sa préparation, néanmoins d'autres sortent sous forme d'objets finis.

Ce procédé de mise en œuvre en continu permet de transformer les poudres et granulés en : tubes, gaines, profilés, films, plaques et employée pour le revêtement des fils et câbles électriques, dont la longueur n'est pas limitée. On introduit la matière dans un cylindre chauffant à l'intérieur duquel une vis sans fin la pousse. En avançant, la matière fond, se comprime, puis

Il passe à travers une filière dont la forme est celle du produit à fabriquer. Celui-ci est ensuite éventuellement traité pour acquérir certaines propriétés, puis refroidi. En utilisant plusieurs machines conjointement, on réalise des produits constitués de différentes matières sous forme de couches. Cette Co-extrusion permet de combiner les propriétés de plusieurs matériaux.

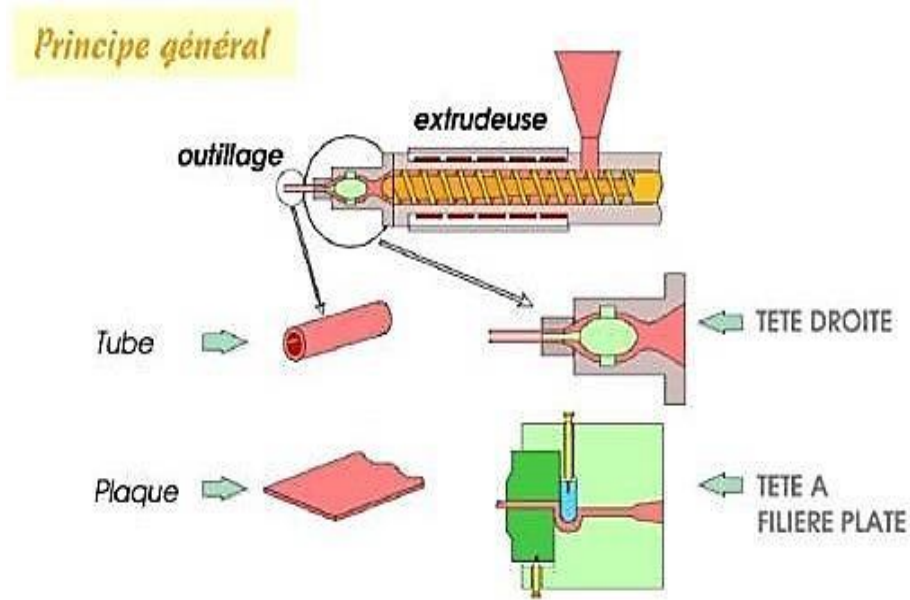


Figure II. 4: Procédé extrusion

**I.2.4. Procédé d'extrusion soufflage**

Ce procédé permet de réaliser des films d'épaisseur inférieure à 0,2 mm. Une filière annulaire (pouvant atteindre 1,80 m de diamètre) produit une gaine dans laquelle on admet de l'air sous pression. Le gonflage permet d'étirer la matière et d'obtenir l'épaisseur désirée.

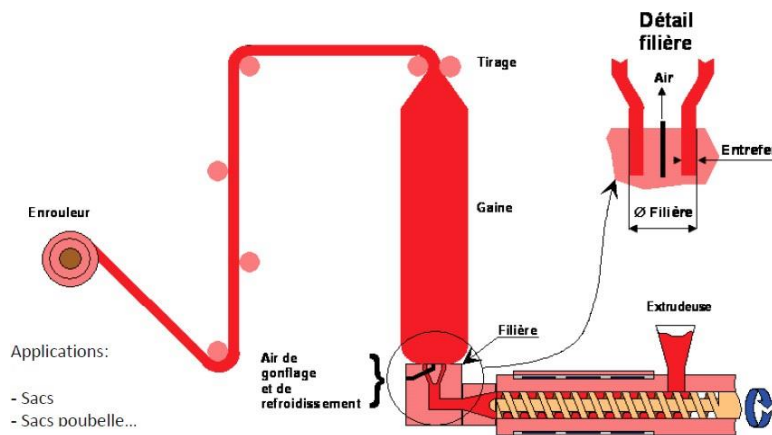


Figure II. 5: Extrusion soufflage

### I.2.5. Procédé de thermoformage

Le thermoformage est un procédé de traitement à chaud des semi-produits rigides en plaque, feuilles, tubes et profilés. Les semi-produits sont ramollis par chauffage pour être déformé et mis en forme par un moule métallique. La parfaite adhésion du polymère sur le moule se fait par aspiration sous vide ou par plaquage par injection d'air sur le moule froid.

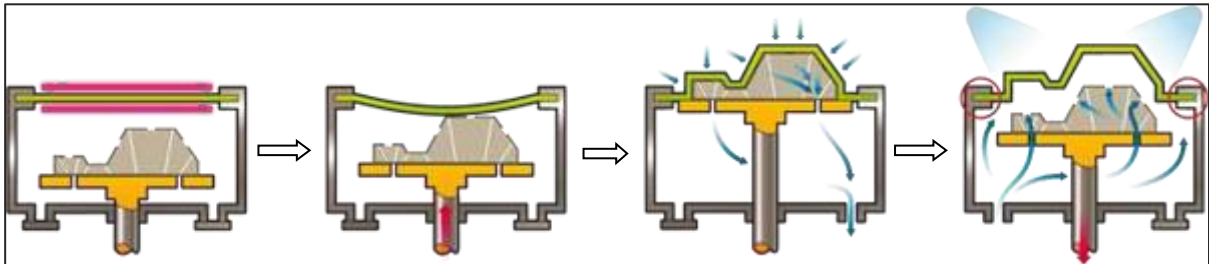


Figure II. 6: Procédé Thermoformage

### I.2.6. Procédé de roto moulage

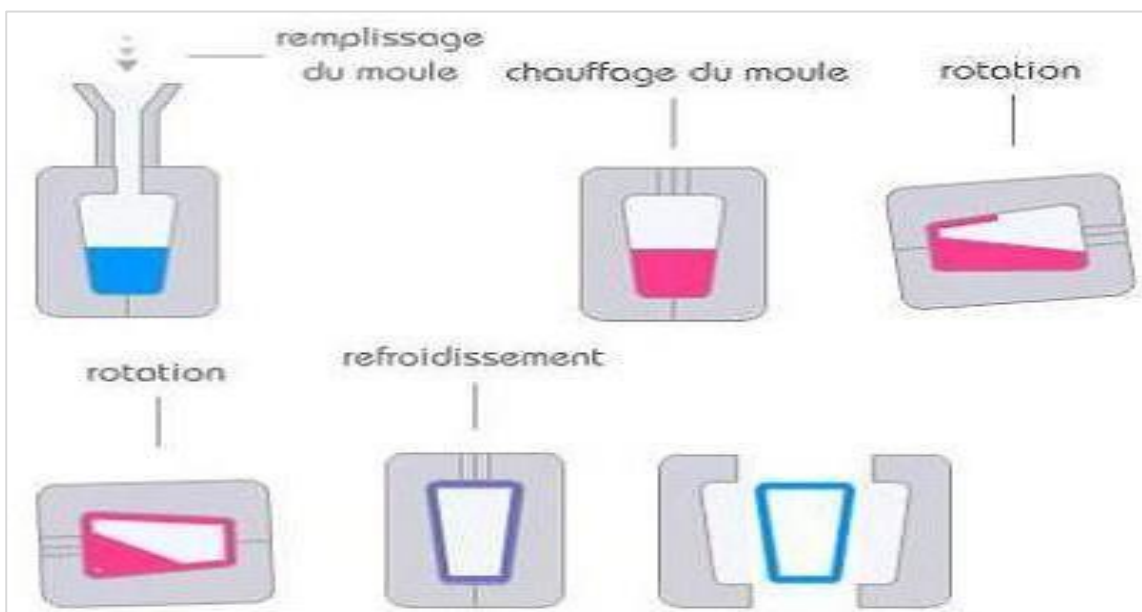


Figure II. 7: Les différentes phases d'obtention d'une pièce par rotomoulage

Il consiste à faire introduire la matière thermoplastique dans un moule sous forme de poudre très fine, le moule est fermé puis chauffé ; pendant que la matière devient fluide, l'ensemble est mis en double rotation autour de deux axes perpendiculaires pour couvrir toute la paroi. Lorsque la matière est fondue et correctement répartie dans l'empreinte, le moule est introduit dans un système de refroidissement.

Le moulage par rotation est utilisé plus spécialement pour la fabrication de corps creux de grande capacité (cuve de 10000 L).

### I.2.7. Procédé de calandrage

Le calandrage est un procédé de fabrication en continu de films de thermoplastiques par laminage de la matière entre plusieurs cylindres parallèles. Ces cylindres sont chauffés et entraînés mécaniquement et forment la machine de calandrage qu'on appelle : Calandre. Leur nombre se situe généralement entre 3 et 6 cylindres. La feuille obtenue est étirée puis refroidie avant d'être enroulée.

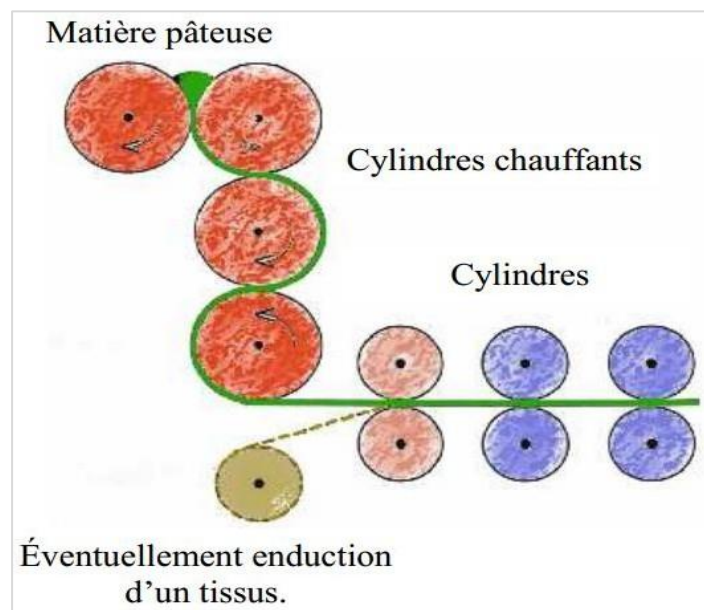
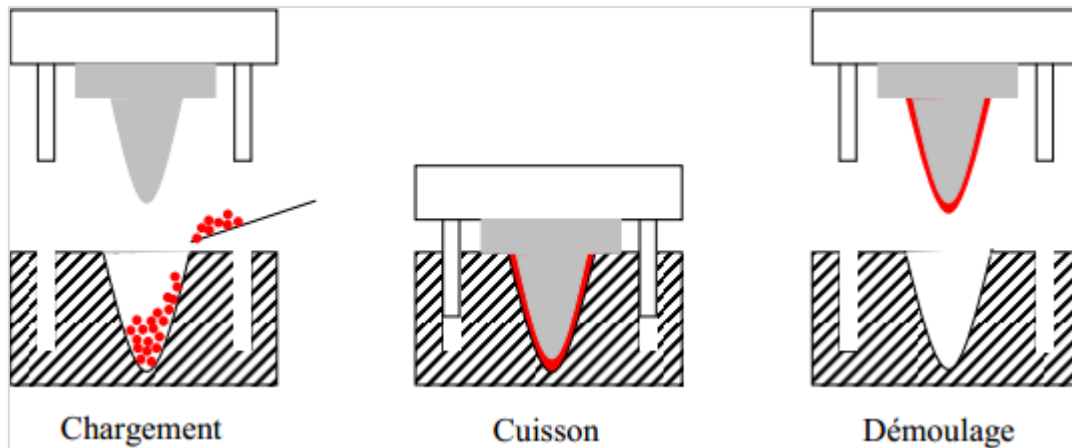


Figure II. 8: Le calandrage

### I.2.8. Moulage par Compression

C'est une technique de moulage très simple, elle consiste à faire subir l'action conjuguée de la pression et de la chaleur à une poudre, granulés ou de la matière pâteuse à mouler thermodurcissable.

La matière comprimée est chargée sur le moule ouvert chaud. Lorsque ce dernier est fermé et mis sous pression la matière plastique fond, opère sa polycondensation finale, et au bout d'un temps relativement court (1 min à 1 min 30) il est possible d'ouvrir le moule et d'éjecter la pièce.



**Figure II. 9:** Moulage par compression

### I.2.9. Le procédé expansion-moulage

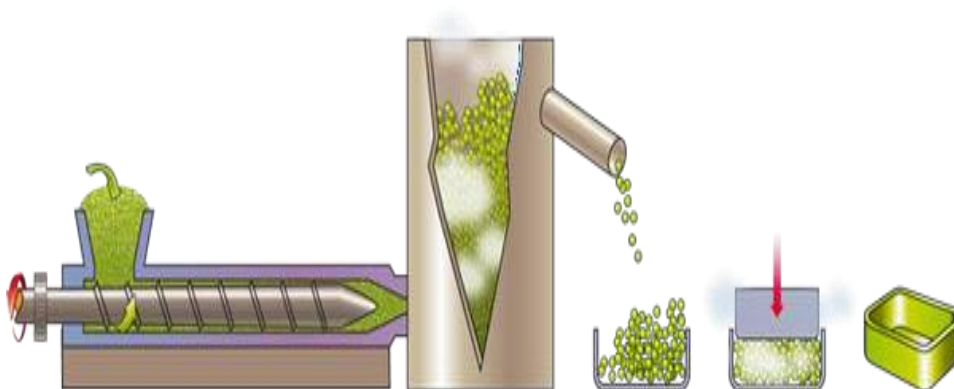
Cette technique est surtout utilisée pour fabriquer toutes sortes d'emballages en polystyrène expansé: caisses à poissons, barquettes...

Avant d'être expansé, le polystyrène se présente sous forme de petites billes qui renferment des micro-inclusions de gaz (à l'état liquide). Au contact de la vapeur d'eau, la matière plastique se ramollit et le gaz qu'elle contient se dilate. Les petites billes gonflent, comme le pop-corn grâce à l'air qu'il contient tout en gardant une forme plus régulière.

Cette première expansion est réalisée en usine dans de grandes cuves en inox et permet d'obtenir jusqu'à 30 fois le volume initial des petites billes de polystyrène.

Après séchage des billes pré-expansées dans un silo, cette matière est introduite dans un moule fermé et est soumise à une nouvelle injection de vapeur d'eau.

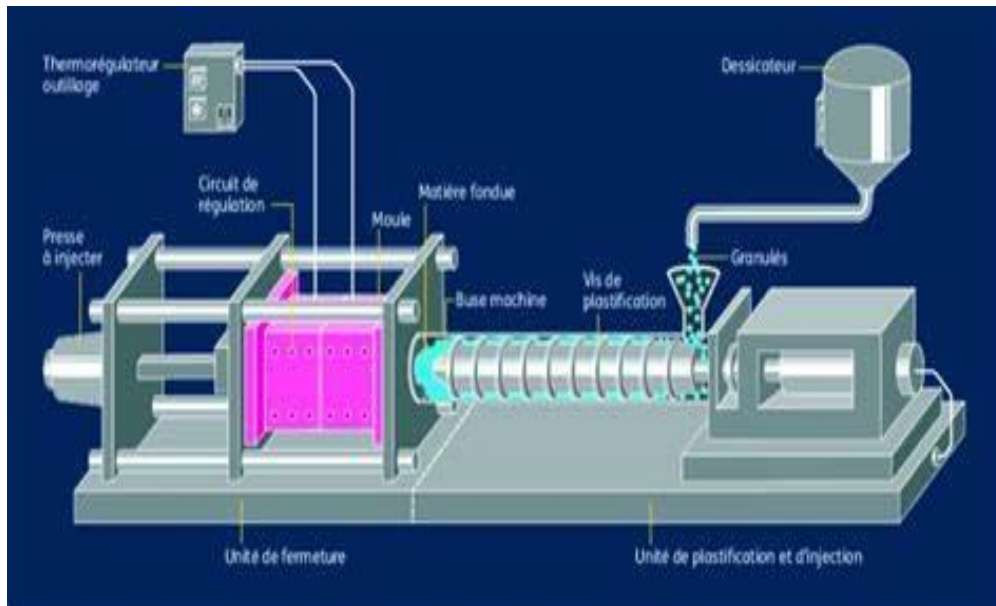
Les billes reprennent leur expansion, occupent tout l'espace du moule et se soudent entre elles pour obtenir la forme de l'emballage désiré.



**Figure II. 10 :** L'expansion moulage Image de PSE expansé en différents états.

### I.3. Presse d'injection [14]

La presse d'injection est une machine qui permet d'obtenir des pièces en plastique injecté sous pression dans un moule (monté sur la presse). L'injection du plastique se fait généralement à haute pression et à température supérieure à la température de transition vitreuse. A cet état la matière peut être injectée dans le moule et la matière plastique prend la forme de l'empreinte du moule.



**Figure II. 11:** Presse à in injection plastique

#### I.3.1. Structure de la presse d'injection

Une presse à injecter, est constituée de deux unités principales :

L'unité d'injection, et l'unité de moulage (Figure. II 12). Le plus souvent, les différences notables entre les types de machines concernent l'unité de plastification. Notons qu'il existe des presses verticales bien que les presses horizontales soient les plus fréquentes. Parmi ce type de machines, deux grands groupes se distinguent : les presses hydrauliques et les presses électriques. Elles présentent chacune des particularités plus ou moins intéressantes et adaptées à certaines fabrications.

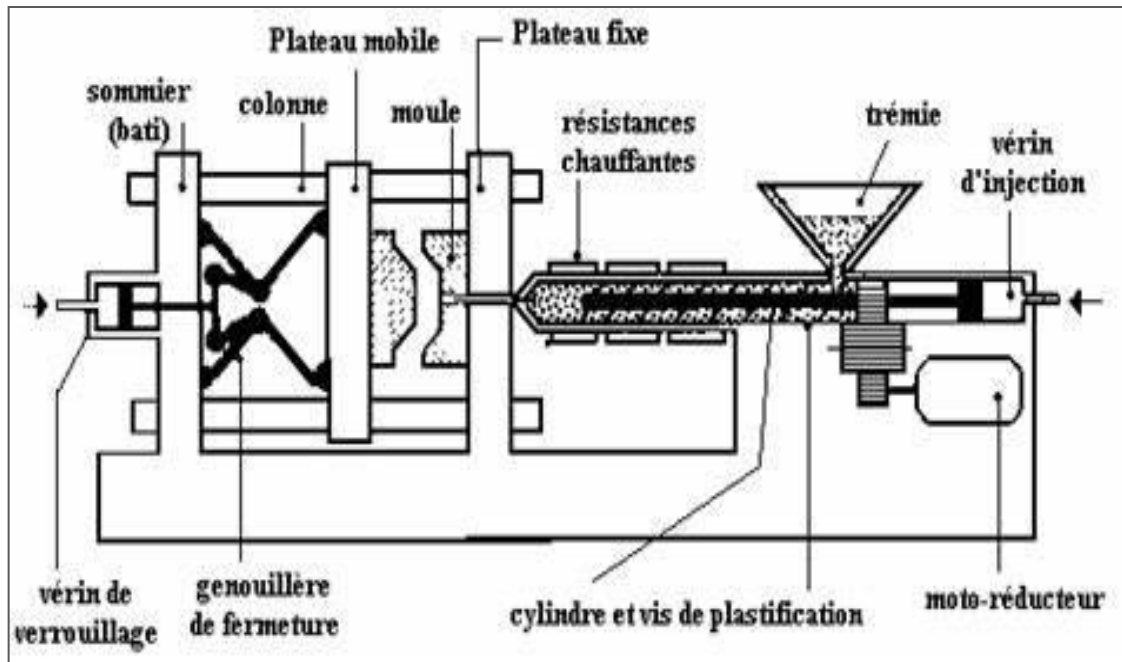


Figure II. 12: Structure de la presse d'injection

### I.3.2. Les différentes architectures des presses à injection [15]

Il existe plusieurs types de presse à injecter :

#### a. Presse horizontale:

La presse de moulage par injection horizontale est le type le plus courant. Sa partie de serrage de moule d'injection se trouve à la même position horizontale au centre de la ligne et son moule s'ouvre horizontalement.

#### ❖ Ses caractéristiques sont :

- Un petit corps,
- Facile à utiliser et réparer.
- Son barycentre est bas,
- Son installation stable.

On peut utiliser la force gravitationnelle pour le faire descendre automatiquement, ainsi l'éjection immédiate de la pièce.

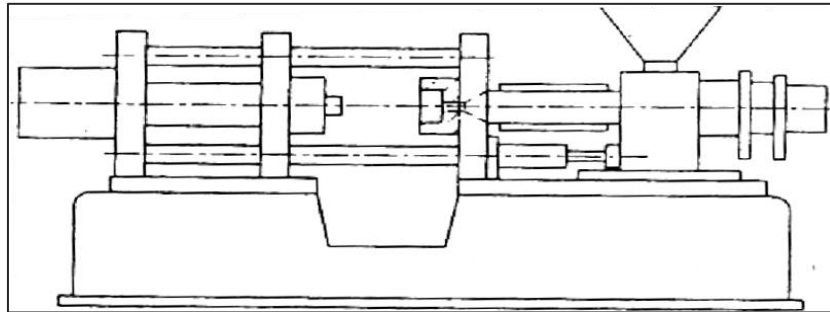
Opération entièrement automatisée facilement réalisable.

#### ❖ Ses défauts sont :

- L'installation de moule est plutôt difficile,

- L'insertion de pièce peut inclinée ou faire tomber le moule,
- La surface d'occupation de sol est plutôt grande.

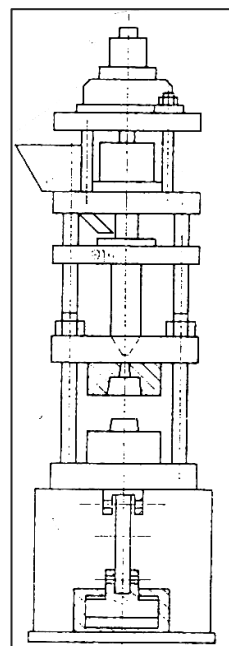
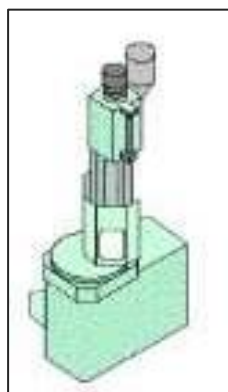
A présent, de nombreuses machines de moulage par injection sur le marché utilisent cette forme.



**Figure II. 13:** Presse horizontal

#### b. Presse verticale :

Elle a un encombrement au sol limité mais la hauteur peut devenir gênante et la stabilité laisse à désirer. La mise en place du moule est malaisée, le chargement de la trémie peu commode et les organes supérieurs sont peu accessibles. Les cadences élevées ne sont guère possibles, l'automatisation est plus difficile car les pièces ne tombent plus d'elles-mêmes. Pratiquement ce type de machine garde son intérêt dans les fabrications de pièces avec insertions, car le moule est très accessible et les prisonniers tiennent souvent en place par gravité. Les surmoulages sont également faciles ainsi que la fabrication de certaines pièces de précision.



**Figure II. 14:** Presse vertical

### I.3.3. Types de presses à injection

#### a. Presses à injection simple :

Les presses à injection simple sont les plus utilisées, elles possèdent une seule unité d'injection qui permet d'injecter un seul polymère et avec des plateaux fixes.

#### b. Presses à injection multi-matière et multi-couleur :

Les deux techniques (multi-matière et multi-couleur) sont identiques, elles font appel à des machines possédant plusieurs unités d'injection et on intègre à la machine un plateau rotatif, sur lequel est montée la partie du moule mobile. Les injections sont réalisées simultanément.

#### c. Presse d'angle et bi-matière :

Accessible, vu son architecture, l'injection se fait dans le plan de joint du moule. Les cadences sont très élevées. L'ensemble d'injection est réglable longitudinalement et transversalement.

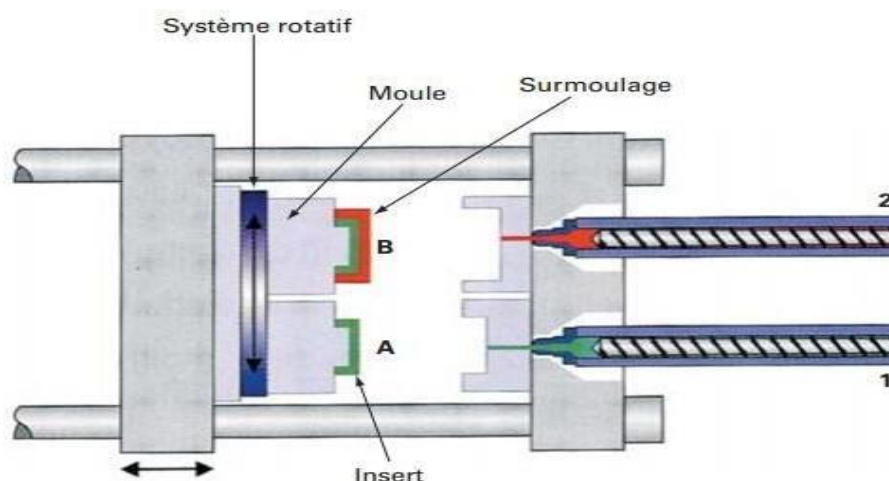


Figure II. 15: Presse à injection multi-matière et multi-couleur

#### ❖ Autre presse spéciale :

- Injection assistée par gaz : Petite presse rapide.
- Presse à plusieurs buses.
- Presse pour surmoulage.
- Presse électrique.

## **I.4. Techniques d'injection**

Pour pouvoir optimiser les pièces moulées, l'injection s'est fortement différenciée en une bonne quinzaine de technique.

### **I.4.1. Injection à grande cadence**

Elle concerne les pièces de faibles épaisseurs et de gros, on utilise alors des presses a vitesse d'injection rapide et bien stabilisées, pour éviter les vibrations, avec des moules multiples empreinte et des systèmes à canaux chauds évitant le décarottage

### **I.4.2. Micro-injection**

On réalise ainsi des petits pièces et des éléments d'un poids de 0.10 g, platine de montre de 0.7g La plus petite pièce actuellement produite pèse seulement 0.014 g dans certains cas, il est alors nécessaire de faire le vide dans les micros empreintes du moule, car du fait la précision de fermeture.

### **I.4.3. Injection lourde**

On pane de très grosse injection lorsque l'on utilise des presses de plus de 2000 t de force de fermeture, on utilise parfois des presses à mailles, dans lesquelles les classiques colonnes de retenues sont remplacées par des cadres d'acier qui bloquent le sommier et le plateau fixe.

Le moule et alors introduit sur une cote de la machine, puis roulé jusqu'aux plateaux de fixation.

### **I.4.4. Injection séquentielle**

Alors que dans la méthode classique, tous les points d'injections ont alimentes simultanément, ici ils sont pilotes pour débiter seulement au fur et à mesure que chacun d'eux est passe par le flux de matière venant du point place plus en amont.

### **I.4.5. Injection sur noyau fusible**

C'est une variante de la fabrication de pièces creuses ou complexe, qui concernent le moulage de pièces non déroulable. On pallie cet inconvénient en injectant le polymère sur un noyau fusible.

**❖ La technique comporte alors 4 phases:**

- Moulage en coquille d'un noyau.
- Injection du plastique sur ce noyau.
- Fusion du noyau par induction magnétique et bain d'huile.

**I.4.6. Sur-injection**

La sur-injection consiste, au noyau de plusieurs machines d'injection positionnée successivement sur le même moule, à injecter plusieurs matières de façon à former un objet complexe.

**I.4.7. Co-injection**

La co-injection consiste aussi à injecter successivement dans la même cavité diverse ses matières qui se superposent. Le moule mono empreinte passe successivement devant différents unités d'injection ou les différents couches sont injectées.

**I.4.8. Injection assistée par gaz**

L'injection assistée par gaz est destiné à la fabrication de corps contenant une cavité de forme moins régulière. Deux variantes sont possible, l'injection terminée par pression de gaz et l'utilisation d'une masse lotte de vidange.

Dans le premier cas, une cavité de moule d'injection est remplie à environ de 80%. Par canal d'injection, on introduit alors un gaz sous pression qui crée une bulle au sein de la matière chaude et applique celle-ci sur la paroi du moule.

L'autre technique consiste à remplir la cavité du moule complètement et à injecter un gaz dans celle-ci par un point opposé au point d'injection.

Ce gaz va repousser devant lui, vers masselotte placée sur le canal d'injection, la matière qui est encore à l'état liquide, créant ainsi un vide dans la pièce.

**I.4.9. Injection sur noyaux tournants**

Injection sur noyaux tournants est une technique encore en plein développement qui nous s'applique toutefois qu'à la fabrication d'objets de révolution. Pour obtenir l'effet désiré, on injecte la matière plastique sur un noyau mobile relié au axe de rotation.

Lors du refroidissement de la matière injectée, on imprime aux noyaux un mouvement de rotation entraînant un cisaillement de la matière encore fondue en prisonnier entre les noyaux et la paroi de la cavité. Cette rotation au mouvement en la matière on se refroidissant, atteint soit la température de cristallisation, soit le début du plateau caoutchouteuse, entraîne l'orientation circonférentielle des chaînes moléculaire.

### I.5. Le choix d'une presse

Le choix d'une presse dépend essentiellement, des critères suivants :

- La capacité d'injection
- La capacité de plastification
- L'encombrement entre colonnes
- La force de fermeture
- Epaisseur minimale du moule (fermeture maximale des plateaux)

Mais le choix de ces critères n'est pas suffisant pour avoir un meilleur rendement, puisque le temps de cycle d'une pièce est conditionné par la vitesse d'injection, la vitesse d'ouverture/fermeture ainsi que la vitesse d'éjection.

### I.6. Les différentes parties ou unités d'une presse [11]

Une presse d'injection est composée principalement de trois parties : Unité d'injection, le moule et le dispositif du mouvement du moule.

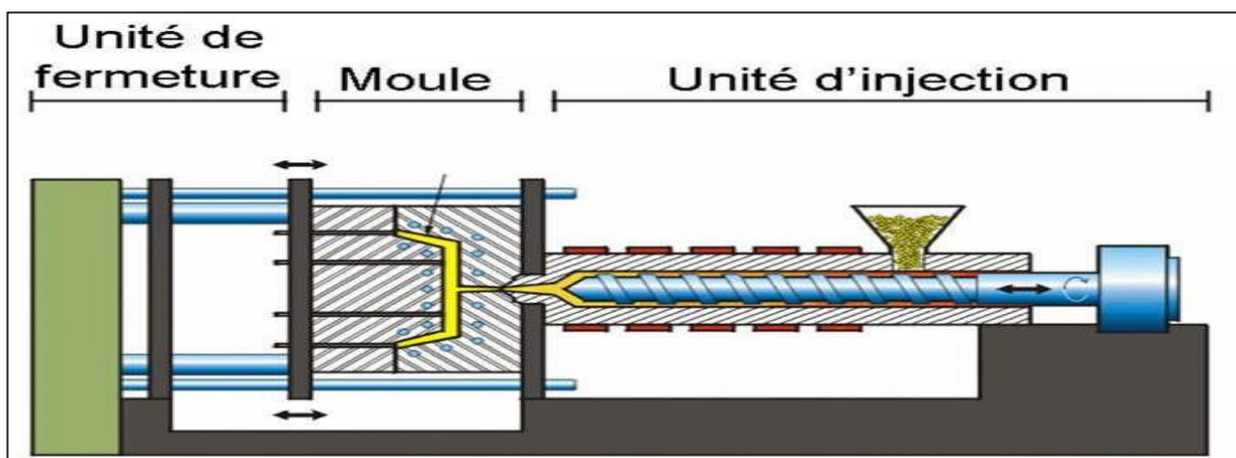


Figure II. 16: Dispositif d'une presse d'injection

### I.6.1. Unité d'injection

Cette partie de la presse, comporte le groupe injecteur, et c'est là, que se produit la plastification, qui se résume dans, le dosage, injection/purge.

Le dispositif vis-piston remplit les deux fonctions de plastification et d'injection en un seul mécanisme.



**Figure II. 17:** Unité d'injection [15]

- La vis avance, le clapet se plaque sur son siège.
- La matière ne peut plus refluer vers l'arrière.
- La matière est injectée dans le moule.
- Le volume injectable s'exprime en  $\text{cm}^3$

#### a. Phase de plastification :

- La vis tourne pour faire fondre et homogénéiser les granulés qui viennent de la trémie.
- Elle achemine la matière plastique faire l'avant de la vis par intermédiaire du clapet pour la stocker.
- A fur et à mesure que l'on stocke la matière, la vis recule.

b. Phase d'injection :

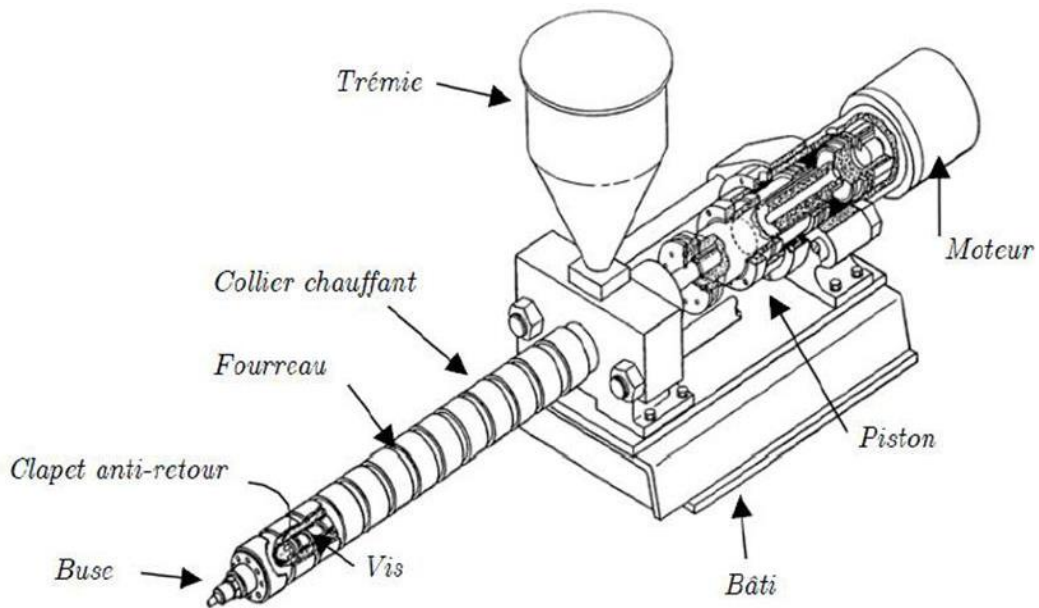


Figure II. 18: Schéma d'un groupe de plastification.

La vis par la variation de sa forme remplit trois fonctions importantes :

- Une zone d'alimentation
- Une zone de travail généralement conique (compression)
- Une zone d'homogénéisation ou de pompage généralement cylindrique

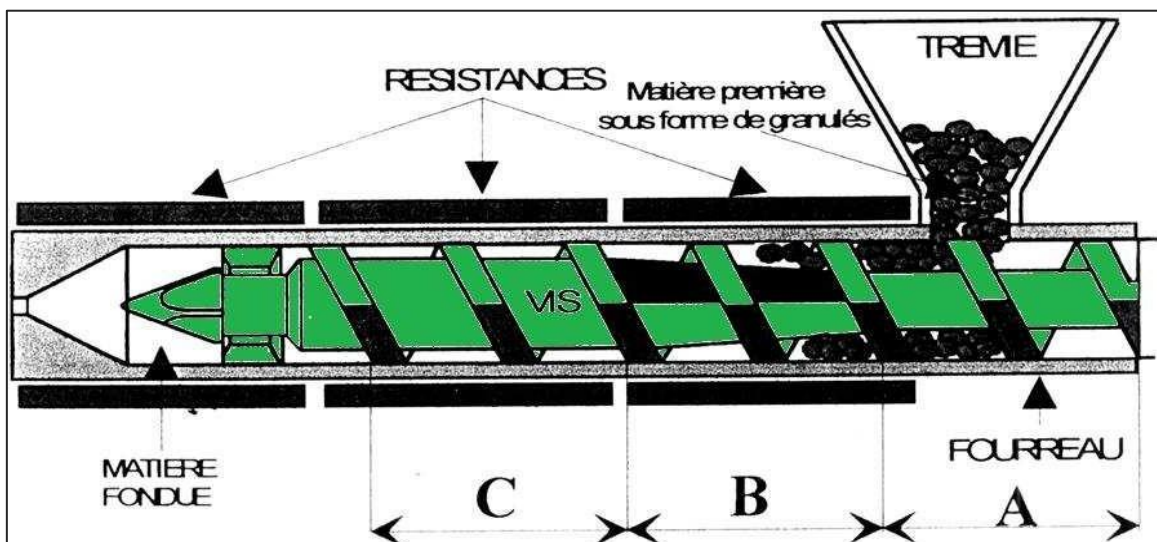


Figure II. 19: Schéma d'une mono vis avec trois zones

### I.6.2. Le moule [14]

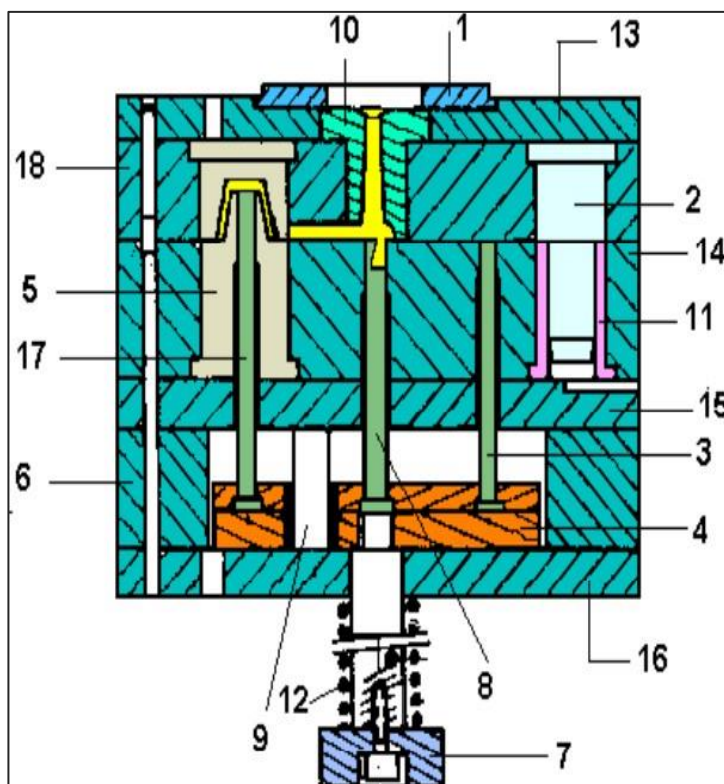
Le moule joue un rôle essentiel dans l'injection, il assure la mise en forme de la matière.

La matière plastifiée par une vis dans un cylindre chauffé est injectée sous pression dans un moule, au contact du métal froid, elle se solidifie et conserve les formes de l'empreinte (dont le dessin a été déterminé à l'avance).

La partie fixe du moule comporte : une plaque porte empreinte femelle, quatre colonnes de guidage, une plaque semelle, une buse d'injection, et une bague décentrage. Quant à la partie mobile, elle comporte : une plaque porte empreinte male, des bagues de guidage des colonnes, des tasseaux, une batterie d'éjection composée de deux plaque et d'éjecteurs cylindrique, et enfin, une plaque semelle.

❖ **Le moule subit les opérations suivantes :**

- Fermeture du moule après réception du polymère fondu.
- Remplissage du moule 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 désire.
- Ejection du modèle fini.



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 II. 20 : Différents composants d'un moule

### I.6.3. Unité de fermeture

Ce dispositif de manœuvre des plateaux porte moule doit assurer l'ouverture, la fermeture et le verrouillage du moule avec une force suffisante pour s'opposer à l'ouverture du moule pendant l'injection.

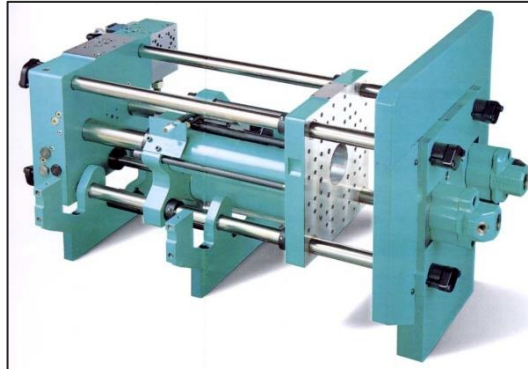


Figure II. 21: Unité de fermeture d'un moule [15]

❖ **Les fonctions principales de l'unité de fermeture sont :**

- Fermeture
- Verrouillage
- Déverrouillage
- Ouverture
- Ejection

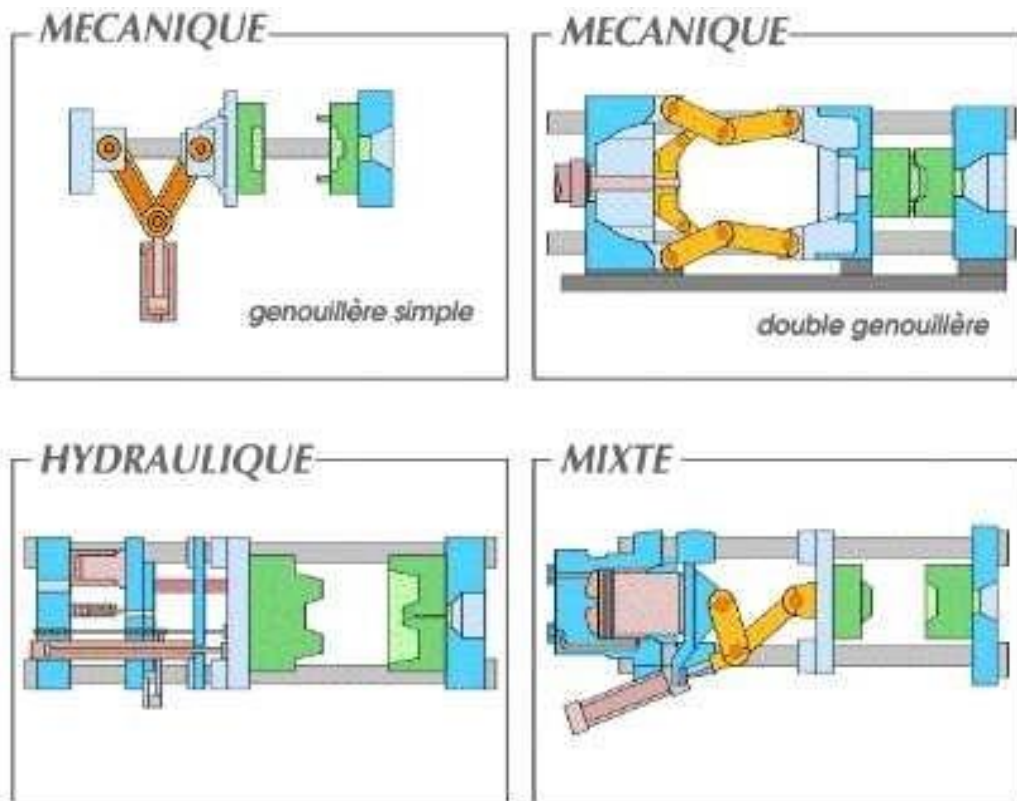
❖ **Son rôle est de :**

- Supporter le moule
- Assurer l'ouverture et la fermeture du moule
- Maintenir le moule fermé pendant l'injection

❖ **Ces fonctions importantes peuvent être assurées de différentes manières soit :**

- Mécanique.
- Hydraulique.
- Mixte.

la force de fermeture s'exprime en tonne :  $1T = 10 \text{ kN}$



**Figure II. 22:** Différentes fermetures du moule.[15]

**a. Fonctions de l'unité de fermeture**

❖ **Les fonctions assurées par l'unité de fermeture sont:**

- Le centrage du moule par diamètre de centrage du plateau fixe de la presse.
- La fixation du moule par bridage sur les plateaux de la presse.
- Le guidage du plateau mobile et du sommier par l'intermédiaire des colonnes de guidage.
- La fermeture et l'ouverture du moule par le vérin d'approche en basse pression avec des vitesses lentes ou rapides.
- La sécurité moule ou outillage.
- Le verrouillage et déverrouillage du moule par le vérin de verrouillage en haute pression avec une vitesse lente.

## I.7. Le cycle de moulage par injection

On peut distinguer six phases essentielles du procédé de moulage d'un polymère constituant le cycle de fabrication :

**a. Fermeture du moule :**

Ce mouvement commence avec une vitesse lente puis rapide, et se termine de nouveau lentement pour éviter le choc entre les plans de joint et pour donner le temps d'agir au système de sécurité.

**b. Verrouillage :**

Si le système de sécurité n'a décelé aucune anomalie, la commande peut appliquer la force de fermeture. Selon le système de fermeture, la force est créée par le produit de la surface et de la pression, ou par la mise en contrainte des colonnes.

**c. Injection :**

C'est la phase de remplissage de(s) (l') empreinte(s) avec la matière plastifiée et le maintien sous pression pour compenser les retraits.

**d. Refroidissement :**

Il a lieu le temps nécessaire pour que le plastique se solidifie dans le moule. Dans la pratique, on plastifie souvent, pendant ce temps, la matière pour le prochain cycle. De plus, si nécessaire au cours de ce temps, on peut séparer la buse du cylindre d'injection et le moule.

**e. Ouverture du moule :**

Le plastique étant suffisamment refroidi pour pouvoir être démoulé, la partie mobile du moule s'écarte de la partie fixe.

**f. Démoulage (éjection) :**

Le moule occupe la position de fin d'ouverture qui assure à la pièce l'espace libre pour être éjectée.

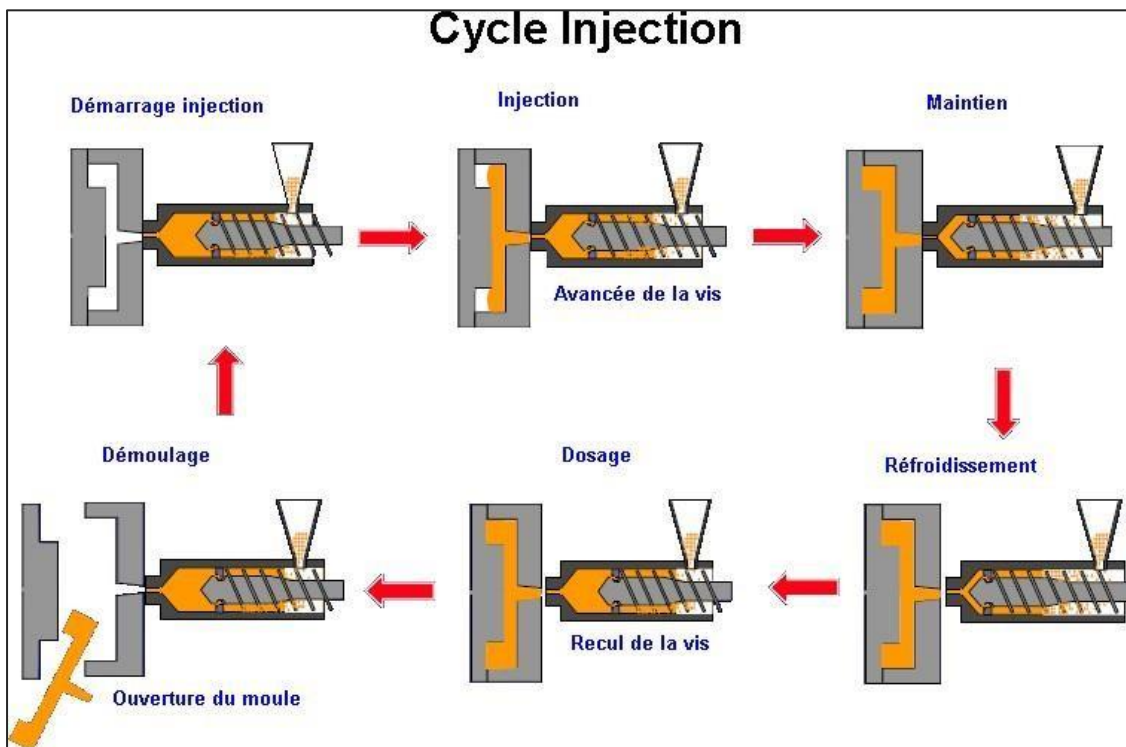


Figure II. 23: Cycle d'injection

### I.8. Les caractéristiques d'une presse à injection

Les caractéristiques fondamentales d'une presse à injection sont :

- La force d'injection c'est –à- dire la force produite par le piston lors de son avance sous l'action du système hydraulique qui la commande elle s'exprime en newtons.
- La pression d'injection qui est celle sous laquelle la matière a moulé pénètre dans le moule elle s'exprime en bar.
- La capacité d'injection qui est la masse maximale de matière injectable a chaque cycle suivant les machine cette masse peut varier de 15 g à 380 g.
- Le temps d'avance de piston, durée de parcours de piston dans le cylindre lors de remplissage d moule il s'exprime en seconde.
- La pression de verrouillage qui commande, pour une pression d'injection donne, la pression
- Utilisable en objet moulé doit rester supérieure à la pression totale exercée par la matière dans le moule, si non ce dernier s'ouvrirait.

## I.9. Défauts d'injection [15]

### a. Délaminage :

La pièce présente à la rupture des stratifications qui ressemblent à des couches de feuilles. Elles ne sont pas adhérentes les unes aux autres. On pourrait les comparer à une pâtisserie comme le " millefeuille ". Ce défaut provient en général d'un mélange de matière ou d'un moule trop froid (la peau se solidifie par rapport à la veine liquide).

### b. Jet libre :

Formation d'un cheminement visible sur la surface de la pièce moulée par la matière introduite au départ de l'injection. En effet, lors de l'injection si la matière ne rencontre pas d'obstacle devant le seuil d'injection, elle est projetée jusqu'au fond de l'empreinte puis la matière suivante la recouvre en introduisant des tensions internes et des déformations.

### c. Bavure :

Fuite de matière liquide qui, en se solidifiant, laisse sur la pièce moulée des excédents de matière. On rencontre des bavures lors de l'ouverture du moule pendant l'injection, lorsqu'il y a un mauvais ajustement des éléments de l'empreinte, lorsque le moule est usé et quand il y a un mauvais réglage de la sécurité moule.

### d. Pièce moulée incomplète :

Remplissage incomplet de l'empreinte, notamment à la fin du parcours de coulée ou aux emplacements de faible épaisseur dû à une vitesse d'injection trop lente ou à une matière pas assez fluide.

### e. Gauchissement :

Les pièces moulées ne sont pas planes et ne s'adaptent pas entre elles. Cela provient d'une différence d'épaisseur de paroi qui entraîne des vitesses d'écoulement différentes, d'une mauvaise régulation de l'outillage et d'un temps de refroidissement trop court (matière pas assez solidifiée lors de l'éjection pièce).

### f. Points noirs :

Petits points qui apparaissent sur la surface des pièces moulées. Ils peuvent provenir de diverses causes telles que la pollution de la matière avant transformation ; la conséquence d'une décomposition locale dans le fourreau (stagnation ou surchauffe dû à un séjour trop long de la matière dans le fourreau) ou d'un mauvais nettoyage du système d'alimentation matière et des

appareils d'étuvage.

**g. Bulles :**

Les bulles sont visibles uniquement dans les matières transparentes. Elles se caractérisent soit par une dépression (bulles de vide - retrait interne), soit par un léger gonflement (bulles de gaz).

La cause peut être une décomposition locale induisant des gaz qui, à l'injection forment des poches ou peut provenir du dosage quand le fourreau avale de l'air en même temps que les granulés.

**h. Ligne de soudure :**

La ligne de soudure se forme à la jonction du flux de matière (flux qui contourne un obstacle pendant le remplissage du moule) et en gendre une zone de fragilisation.

### **I.10. Choix d'un procédé de fabrication adéquat**

Lors du choix d'un procédé de fabrication, il convient de tenir compte des facteurs suivants :

- Forme de la pièce.
- Volume et prix.
- Délai de réalisation.
- Matériaux.

### **I.11. Conclusion**

Les procédés de mise en œuvre permettent d'obtenir des pièces en plastiques, de forme complexes et généralement en une seule opération.

L'injection plastique est le procédé le plus utilisé dans ce domaine.

# **Chapitre III**

## **Conception du moule d'injection plastique**

## I.1. Introduction [11]

Le moule est un ensemble mécanique de très grande précision qui permet de fabriquer des milliers de pièces en injection de matière plastique en fusion dans des empreintes prévues à cet effet, il est utilisé sur la presse à injecter.

Un moule est constitué de deux parties principales : une partie fixe pour l'injection de matière et l'autre mobile pour la fermeture du moule.

Quand le moule est fermé, la surface de contact entre ces deux parties est appelée plan de joint, c'est au niveau de ce plan que la pièce devra se démouler, la difficulté est de définir physiquement sa position, pour ne pas laisser de traces sur la pièce moulée, les deux parties doivent s'emboîter parfaitement pour établir l'étanchéité lorsque le moule fermé est sous pression.

Le but de ce chapitre est d'établir les règles générales de la conception d'un moule d'injection plastique.



**Figure III. 1:** moule à injection plastique

## I.2. Conception d'un moule à injection plastique

### I.2.1. matériaux utilisés

Dans ce point le choix est guidé principalement par les propriétés de la matière dont :

- Température de transformation.
- Coefficient de retrait
- Temps de refroidissement qui impose le temps de cycle donc la cadence du moulage.

### I.2.2. la machine

Lors de la conception d'un moule on doit choisir la machine en fonction:

- Du volume et de la forme de la pièce.
- Du nombre d'empreintes.
- Du calcul de rentabilité.
- De la précision de la pièce.

## I.3. Structure d'un moule

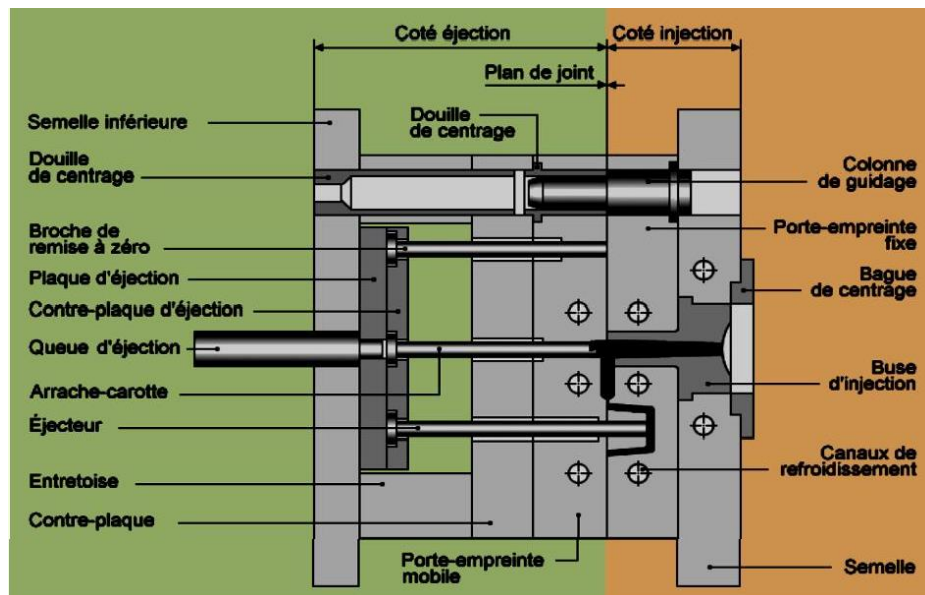


Figure III. 2: Structure d'un moule à injection plastique

➤ **Eléments standards : [17]**

**La buse moule** : permet le passage de la matière du fourreau vers l'empreinte

**La rondelle de centrage** : Permet le centrage du moule sur les plateaux de la machine (presse), dans le but de centrer la buse moule à la buse machine.

**Plaque arrière côté injection** : Permet de fixé la rondelle de centrage, la buse moule et les bagues de guidage, ainsi que le bridage.

**Bague de guidage** : Permet le guidage des colonnes de guidages

**Plaque porte empreinte côté injection** : Permet la fixation de la bague de guidage, contient le circuit de régulation de température.

**Colonnes de guidage** : Permet de guider la partie mobile (PM) sur la partie fixe (PF) pour aligner parfaitement l'empreinte.

**Plaque porte empreinte côté éjection** : Permet la fixation des colonnes de guidage, contient le circuit de régulation

**Ejecteur de rappel** : Permet la remise à zéro de la batterie d'éjection, dans le cas d'une éjection non-attelé.

**Ejecteurs** : Permet d'éjecter la pièce quand le moule est ouvert.

**Extracteur de carotte** (arrache-carotte) : Permet l'extraction de la carotte, ainsi lors de l'ouverture, la moulée ne reste pas bloqué dans la PF.

**Tasseaux d'éjection** : Permet d'obtenir une course optimum de la batterie d'éjection.

**Plaque arrière côté éjection** : Permet le blocage en translation de la batterie d'éjection, permet le bridage du moule sur le plateau mobile, permet également la fixation des tasseaux.

**Batterie d'éjection** : Permet la translation des arraches carottes, remise à zéro et éjecteurs. Est composé de la plaque porte éjecteurs et de la contre plaque d'éjection.

**Vis de fixations** : Permet de fixer la plaque arrière côté injection sur la plaque porte empreinte côté injection.

**Rainures de bridage** : Permet le passage de la bride.

**Raccord rapide du circuit d'eau** : Permet un raccord rapide du circuit d'eau.

**Circuit de régulation thermique** : permet de réguler le moule avec de l'eau.

## I.4. Les différents moules d'injection plastique

L'architecture du moule est déterminée selon la presse utilisée, la conception de la pièce (nombre d'empreinte) et son type d'alimentation, système de refroidissement ainsi que les difficultés d'usinage et de moulage. Et parmi ces différentes architectures nous avons ces quelques exemples :

### I.4.1. Moule à deux plaques

Les moules à deux plaques sont les plus simples et les plus fréquents.

Ils présentent beaucoup d'avantages:

- Ils sont privilégiés en termes de coût de fabrication et d'entretien.
- Montage le plus simple.
- Deux parties séparées par un plan de joint.
- Sens d'ouverture dans une seule direction.
- Démoulage par plaque d'éjection, douille, tige d'éjection.

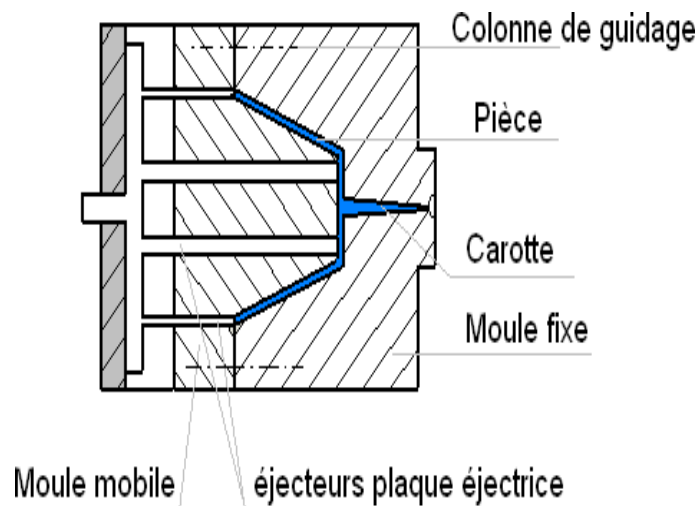


Figure III. 3: Exemple de moule simple à deux plaques

### I.4.2. Moule à trois plaques

Le moule à trois plaques est un moule à deux plaques modifié par une plaque centrale entre les plaques mobiles et fixe de la presse. Cette plaque centrale isole les carottes et les canaux des pièces. Il permet un décarottage automatique et un gain de temps.

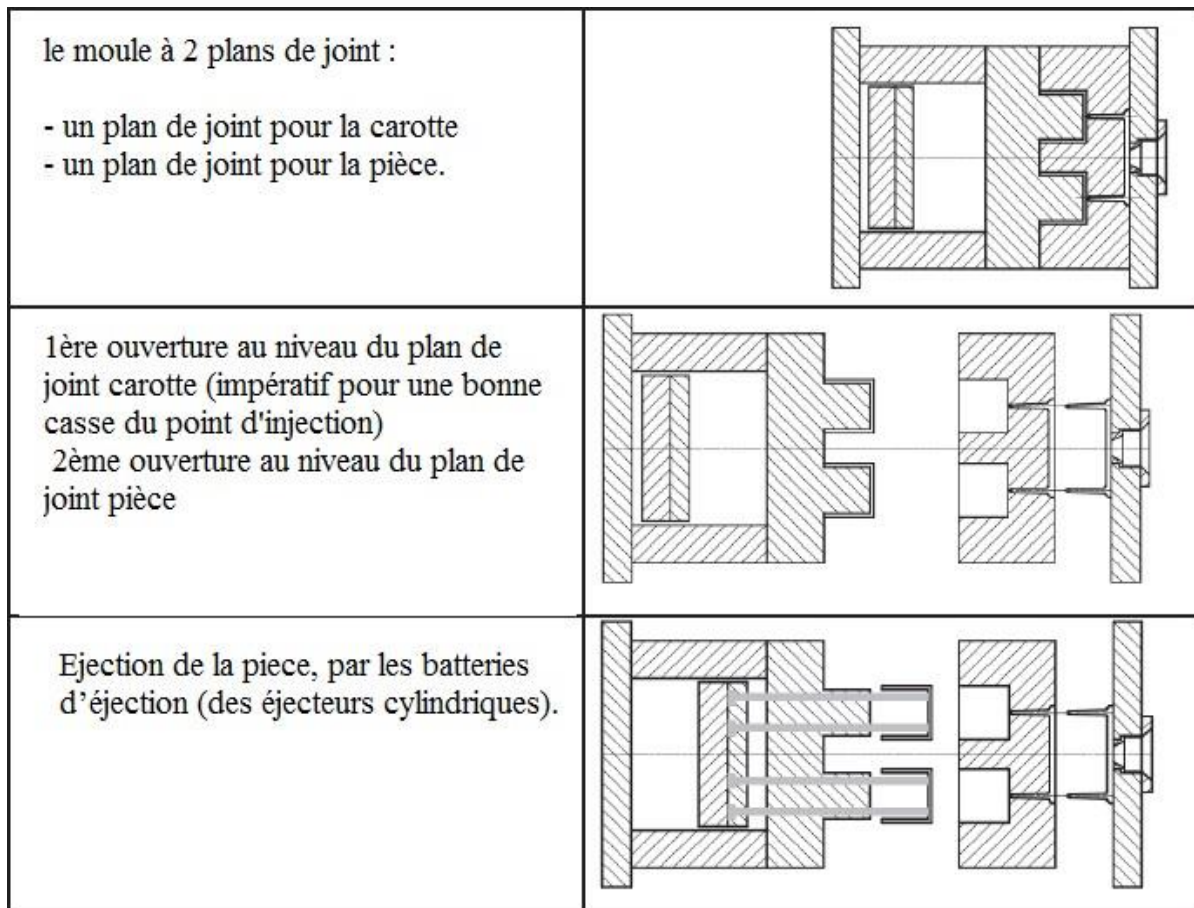


Figure III. 4: moule à trois plaques

#### I.4.3. Moule à tiroir

Ce type de moule est essentiellement utilisé pour sortir des pièces offrant des parties en contre-dépouille ou des trous. Le tiroir se retire à l'ouverture de la partie supérieure pour permettre l'éjection de la pièce.

Le tiroir est un organe mobile qui complète le moule dans le plan de joint auxiliaire. Il sert à donner la forme de la pièce en contre dépouille par rapport au sens d'ouverture du moule, ainsi il assure le bon démoulage de la pièce à l'éjection.

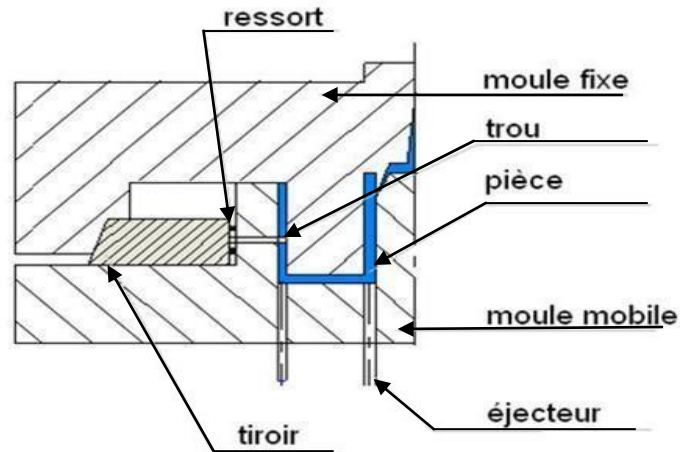


Figure III. 5 : Moule à tiroirs.

#### I.4.4. Moule à coquilles

Ce moule permet de réaliser les contre dégrossies extérieures, mais il est toujours demandé de prendre soins de la fermeture du moule et surveiller la fermeture de la machine.

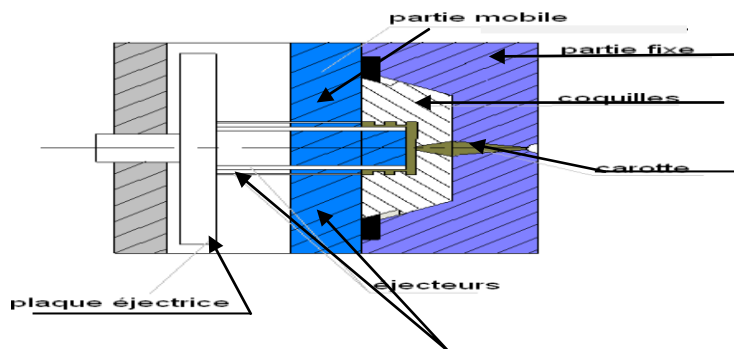


Figure III. 6: Exemple de moule à coquilles

#### I.4.5. Moule à canaux chauffant

On supprime ainsi les carottes et on économise du temps de cycle et de la matière

Ces moules sont plus chers (du type à 3 plaques), mais rentables par les gains de matière et de temps de cycle car la carotte n'a pas à se solidifier.

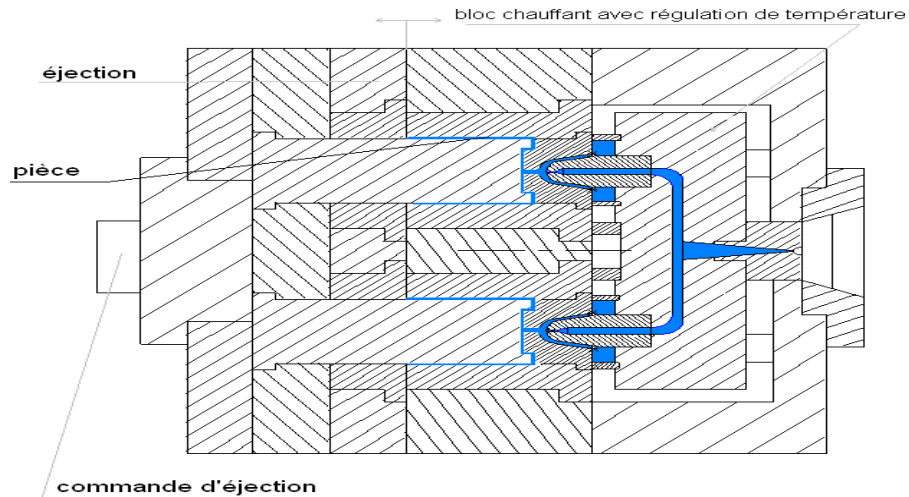


Figure III. 7: Exemple de moule à canaux chauffant

**I.4.6. Moule à dévisage**

Mouvement rotatif du noyau de filetage par engrenage commandé mécaniquement.

**I.5. Les fonctions d'un moule d'injection [17], [18]**

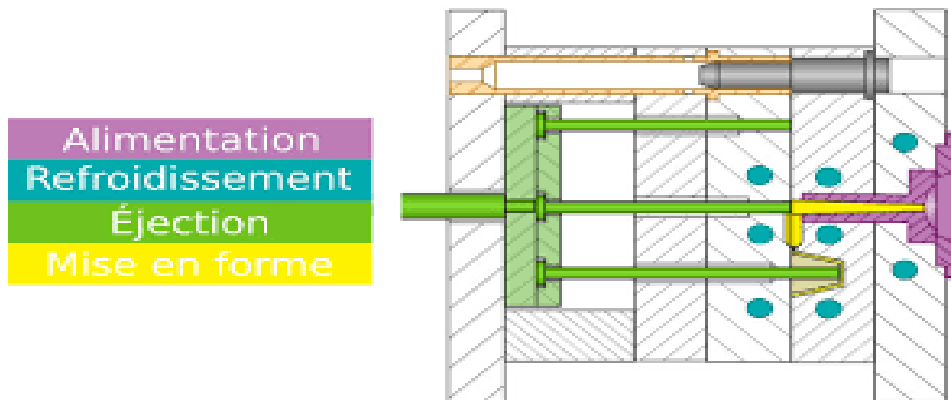


Figure III. 8: Les différentes fonctions d'un moule

La conception d'un moule doit remplir plusieurs fonctions telles que :

**I.5.1. Fonction mise en forme et empreinte**

Dans un moule d'injection, le nombre d'empreintes est généralement un nombre pair (en dehors des moules mono-empreinte). Ceci est fait pour des raisons d'équilibrage du remplissage.

La forme de la pièce se fait par l'empreinte qui se répartit entre les deux parties (fixe et mobile) du moule et d'autres éléments auxiliaires tels que (tiroirs-cales montantes-noyaux),

dans le but de faire des formes en contre dépouilles (des formes qui ne se démoulent pas dans le même axe d'ouverture du moule).

**a. Ligne de joint:**

La ligne de joint externe est l'inter section entre le plan de joint et la cavité de l'empreinte.

**b. Plan de jointe :**

C'est la surface d'intersection entre la partie mobile et fixe du moule, et le trace du plan de joint résulte de la morphologie de la pièce moulée.

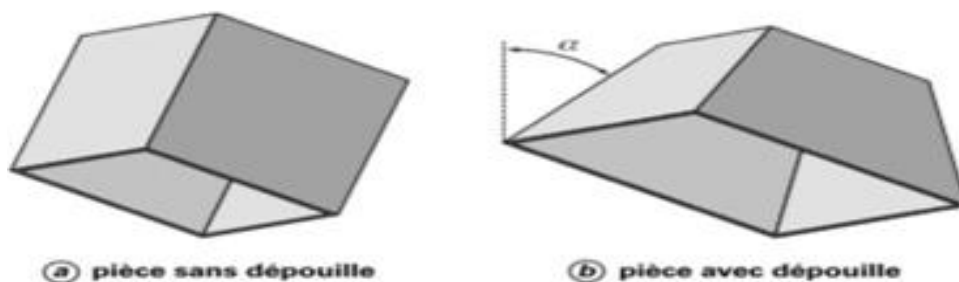
La surface de contact des deux parties, empreinte et noyau forment le plan de joint. Ce dernier n'est pas toujours une surface plane : elle peut être une gauche ou en créneau. Le plan de joint assure étanchéité au polymère fondu de l'empreinte au moment du remplissage sous pression de l'empreinte, et doit être résistant à la force de fermeture et à l'abrasion.

**c. Retrait:**

Lors du refroidissement de la pièce dans l'outillage, un retrait de la matière apparait. Il s'agit d'une contraction volumique.

**d. Dépouille :**

La dépouille est l'angle formé par la paroi de la pièce et la direction de démoulage. Le choix de la dépouille de démoulage, à l'interface entre la pièce et le côté injection de l'empreinte, permet d'assurer le maintien de la pièce sur le côté éjection lors de l'ouverture du moule.

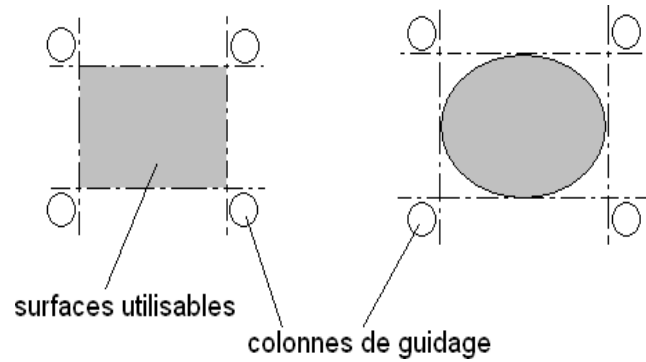


**Figure III. 9:** Exemple de dépouille

**e. Le nombre d'empreintes :**

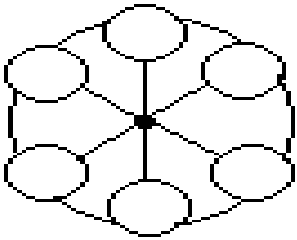
Le nombre des empreintes d'un moule doit être évalué d'après les critères suivants :

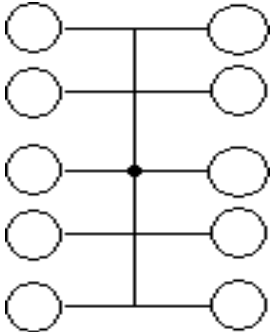
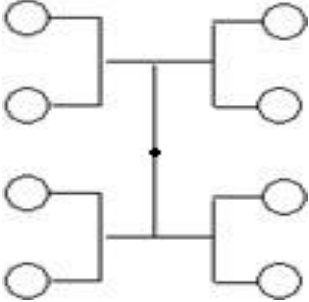
- Capacité d'injection de la machine.
- Critères techniques : distance entre colonne (voir la figure).
- Optimisation économique : le coût, délais de livraison,...



**Figure III. 10:** Nombre d'empreintes en fonction de critères techniques et économiques

**f. Disposition des empreintes dans le plan de joint:**

Dispositions	Avantages	Inconvénients
Repartition en étoile 	Même longueur d'écoulement vers toutes les empreintes Disposition favorable pour démoulage	Le nombre d'empreintes à placer est limité

<p>Répartition en lignes</p> 	<p>Placement d'un nombre plus élevé d'empreintes qu'avec la répartition étoile</p>	<p>Différentes longueurs d'écoulement jusqu'aux empreintes</p>
<p>Repartition symétrique</p> 	<p>Même longueur d'écoulement jusqu'aux empreintes, pas de reprise du seuil d'injection nécessaire</p>	<p>Grand volume de carotte, beaucoup de perte, refroidissement trop rapide de la matière à mouler</p>

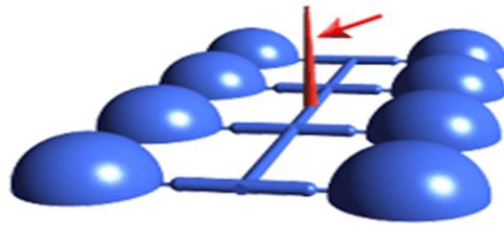
**Tableau III. 1:** Disposition des empreintes dans le plan de joint.

**I.5.2. Fonction alimentation**

La fonction alimentation a pour but de transférer la matière plastifiée du fourreau de la presse vers l'empreinte du moule. Le remplissage de l'empreinte doit se faire rapidement et le plus uniformément possible.

**a. Carotte :**

La carotte correspond à l'extension du nez d'injection dans le moule. Son rôle est d'alimenter la(les) pièce(s) en matière. Elle permet de traverser la partie fixe (supérieure) du moule jusqu'au plan de joint grâce à un élément standard c'est-à-dire la : buse d'injection.

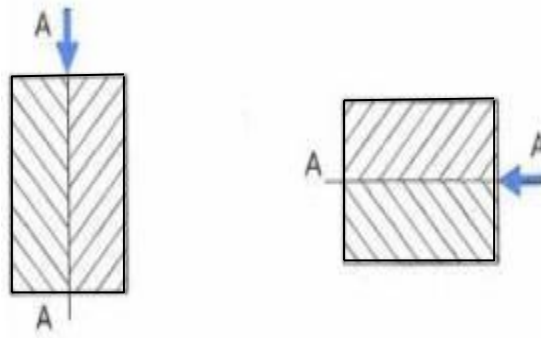


**Figure III. 11:** la carotte d'injection

L'alimentation du moule en matière à l'état visqueux est assurée de deux façons :

❖ **Injection dans le plan de joint :**

Mode d'injection peu développé. La pression d'injection entraîne des déformations sur les colonnes de la presse. La fermeture du moule est parfois incomplète.



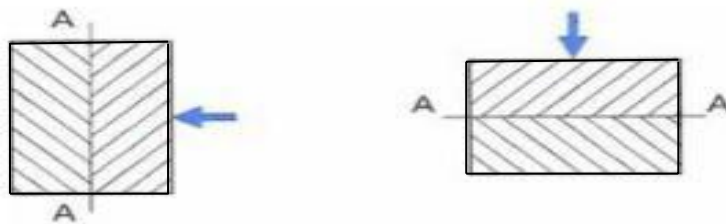
**Figure III. 12:** Injection dans le plan de joint.

❖ **Injection perpendiculaire au plan de joint :**

Mode d'injection très répandu.

➤ **Inconvénients :**

- Canaux d'alimentation assez longs.
- Prévoir une extraction de la carotte.



**Figure III. 13:** Injection perpendiculaire au plan de joint.

**b. Position du point d'injection :**

La bonne réalisation d'une pièce est conditionnée par un bon écoulement de la matière ainsi que la bonne fermeture de l'outillage. Pour cela, la Position du point d'injection est importante, l'équilibre des forces dans un outil doit être réalisé avec un soin et l'injection de la matière placée au point d'équilibre. Le meilleur point d'injection de la matière est le centre de gravité de la pièce.

**c. Canaux d'alimentation :**

Les canaux d'alimentation sont des canaux qui relient la carotte aux seuils. La conception des canaux d'alimentation est importante pour garantir le remplissage régulier des cavités.

Les canaux doivent être courts que possible pour diminuer les pertes de charges. Et le diamètre du canal d'injection principal doit être d'au moins de 5 mm.

**c.1. Les différents canaux d'alimentation :**

Il existe deux grands types de canaux d'alimentation :

**➤ Les canaux d'alimentations standards :**

Ils sont placés directement dans la plaque du moule et doivent être démoulés comme la pièce après chaque injection. La matière utilisée pour les canaux à chaque injection est perdue.

**➤ Alimentation sans déchets ou canaux chauds :**

Ils doivent conduire la matière dans l'empreinte sans déperdition de chaleur. Ils sont chauffés séparément de l'outillage (entre 180 °C et 300 °C suivant la matière injectée). Techniquement il faut donc isoler le canal du reste de l'outillage dont la température est nettement inférieure. La matière du canal n'est pas perdue.

**Elle est composée de:**

La carotte, la buse, Le canal principal, Les canaux secondaires , Les seuils.

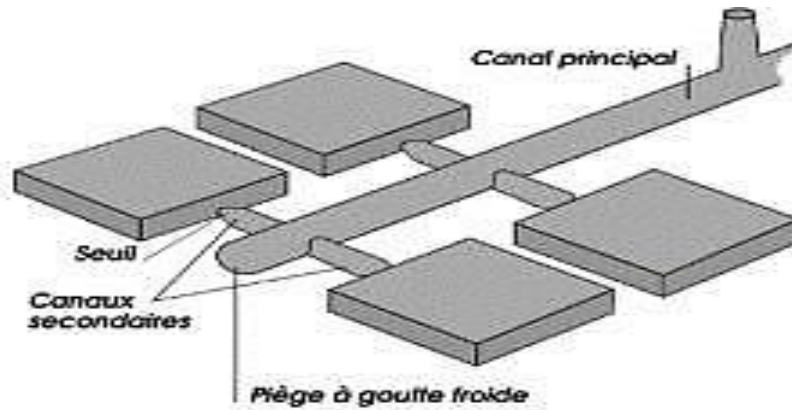


Figure III. 14 : Les différents canaux d'alimentation

#### d. Forme des canaux :

##### d.1. Canaux cylindriques :

Les canaux entièrement cylindriques ont le plus faible rapport surface/volume. Ce sont les canaux de distribution les plus efficaces, mais aussi les plus difficiles à fabriquer.

L'état de surface doit être de bonne qualité pour réduire les pertes de charge.

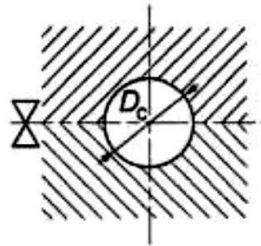
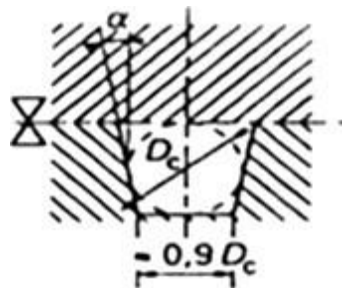


Figure III. 15: Canaux cylindriques.

##### d.2. Canaux à section trapézoïdale :

Ils garantissent un débit moyen et un refroidissement plus rapide



#### e. Implantation des canaux : [17]

Figure III. 16: Section trapézoïdale.

L'implantation des canaux se fait en fonction des empreintes et du nombre de pièces produites par le moule.

	Avantages	Inconvénients
Canal cylindrique	C'est le canal le plus performant, car il offre une section d'écoulement maximale pour un périmètre minimal.	Usinage sur 2 plaques du moule. Cependant avec les machines à commande numérique cet inconvénient disparaît. Utilisation difficile avec les moules 3 plaques.
Canal cylindrique plus dépouille pour déporter le plan de joint	Usinage sur une seule plaque Utilisation avec les moules 3 plaques.	-Difficulté pour la réalisation de l'outil spécial : affutage délicat. -Perte de matière par rapport au canal rond
Canal trapézoïdal	Usinage sur une seule plaque Utilisation avec les moules 3 plaques. Outil spécial plus facile à affuter	-Perte de matière par rapport au canal rond
Canal ½ cylindrique		Mauvais écoulement
Canal rectangulaire	Facilité d'exécution	Mauvais démoulage Mauvais écoulement

Tableau III. 2: avantages et inconvénients des canaux

**f. La buse d'injection :**

Après fermetures du moule, la buse de la machine est forcée contre la buse d'injection pour fermer hermétiquement le point de transition entre la presse et le moule qui est alors soumis à une grande force locale relativement rapide, c'est la raison pour laquelle on utilise des pièces rapportées (inserts) .

- Contact plan : rarement utilisé nécessité de grande pression de contact.
- Contact courbé: plus souvent utilisé pour un meilleur contact.
- $dN \geq dS + 1$

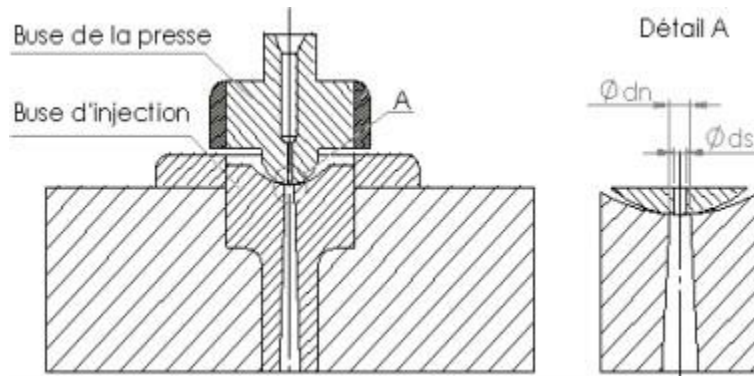


Figure III. 17: Contact courbé entre buse de la presse et buse d'injection

#### g. Seuils :

Les seuils relient le système d'alimentation à l'empreinte et sont les orifices à travers lesquels la matière à l'état fondu pénètre dans le moule.

##### ❖ Les seuils sont de plusieurs types:

##### ▪ Sous-marin courbé

Utilisé quand un système à canaux froids a été choisi. Les seuils circulaires coniques sont des seuils automatiquement décrottés. Ils se cisailent quand l'outil de montage est ouvert pour éjecter la pièce.

- **Avantage** : d'égrappage automatique.
- **Inconvénient** : Usinage coûteux. En plus il ne convient pas à toutes les matières

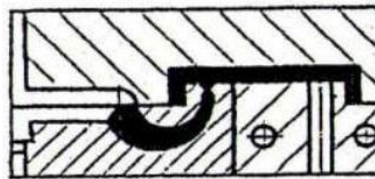


Figure III. 18: Seuil à tunnel courbé.

##### ▪ Sous-marin

Utilisé pour les petites pièces dans le but d'avoir un décarottage automatique. Mais leur utilisation engendre beaucoup de pertes de pression.

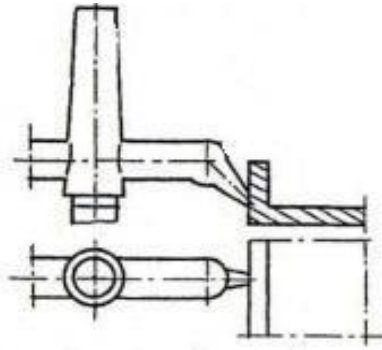


Figure III. 19: Seuil en sous-marin.

- **Seuil en éventail**

Utilisé pour des pièces plates de grande dimension devant présenter un faible voilage.

- **Avantage** : Bonne qualité dimensionnelle.
- **Inconvénient** : Opération de reprise Esthétique.

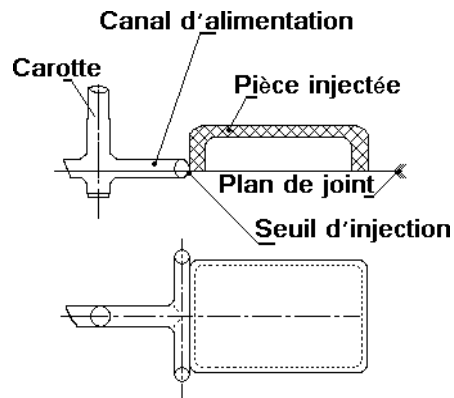


Figure III. 20: Seuil en éventail.

- **Seuils rectangulaires**

Les seuils rectangulaires sont des seuils ajustés manuellement et nécessitent l'intervention d'un opérateur pour éparer la pièce des canaux d'alimentation au cours d'une opération secondaire.

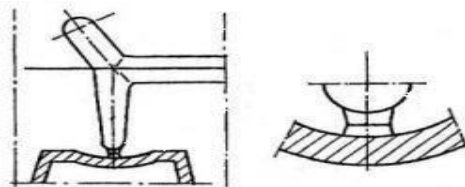


Figure III. 21: Seuil rectangulaire.

### I.5.3. Fonction refroidissement

Le système de refroidissement est formé d'un circuit d'eau fermé, il est intégré à l'intérieur du moule. Le refroidissement est réglé suivant les caractéristiques thermiques de la matière plastique.

#### a. Circuit de refroidissement :

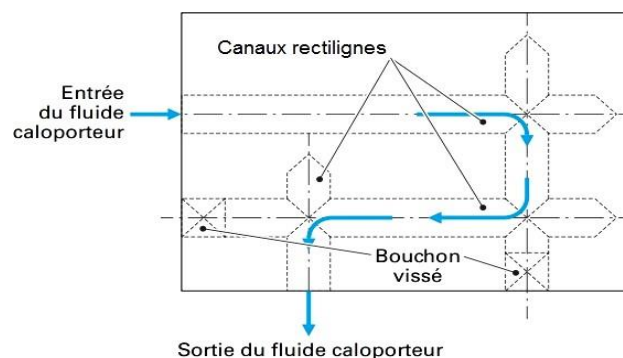
L'échange thermique entre le plastique injecté et le moule est un facteur décisif dans les performances économiques d'un moule d'injection. La chaleur doit être extraite du matériau thermoplastique jusqu'à ce qu'il atteigne l'état stable recherché pour pouvoir être démoulé. Le temps total de refroidissement intègre la séquence de compactage, même si celle-ci est décomptée séparément, le matériau échange de l'énergie avec le moule dès qu'il est en contact avec la surface moulante.

L'énergie calorifique qu'il faut extraire dépend :

- ◆ Du mélange plastique (température, masse, chaleur spécifique).
- ◆ De la température de démoulage.

#### b. Description du circuit de refroidissement:

Le système de refroidissement peut être un simple circuit linéaire ou en spirale. Pendant le refroidissement, la pièce peut subir une déformation ou un gauchissement dû à une différence de vitesse de refroidissement suivant la partie du moule. Cette déformation peut être supprimée par une variation de température.



**Figure III. 22:** circuit obtenu à partir des canaux rectilignes.

#### c. Le temps de refroidissement :

C'est le temps mis par la matière injectée pour atteindre sa température maximale autorisant le démoulage. L'échange de chaleur entre la matière plastique et le fluide de

refroidissement se fait grâce à la conduction thermique du moule. Ce temps de refroidissement dépend de la géométrie de la pièce à refroidir.

La durée de refroidissement représente environ 80% de la durée totale du cycle.

#### **d. Temps de cycle:**

Un cycle complet peut se décomposer de la manière suivante:

- Cycle à vide de la machine (mouvement de la presse) donné par les constructeur sou relevé dans l'atelier.
- Temps de remplissage obtenu théoriquement si on connaît le débit de la presse et le poids de la pièce.
- Temps de refroidissement établi par calcul.
- Pourcentage de temps rajouté ou non en fonction de l'expérience ou des difficultés particulières de démoulage (bossages, nervures, mouvement de coquilles, etc.).

### **I.5.4. Fonction éjection**

La plupart des pièces réalisées par injection plastique restent dans le moule après son ouverture et ne sont pas évacuées sous l'effet de la gravité, sans la présence de système d'éjection, le plus usuel est constitué par de petites broche lisses appelées : éjecteurs.

#### **I.5.4.1. Types d'éjection**

##### **a. Ejection coté bloc mobile :**

Sous l'effet du retrait, les pièces moulées se contractent sur les formes moulantes en saillie. Les noyaux sont montés du coté de la partie mobile.

##### **b. Ejection de contre-dépouille:**

Les contre-dépouilles sont placées de préférence du coté du bloc mobile. Les tiroirs animés d'un mouvement de translation sous l'action des doigts de démoulage dégagent les contre-dépouilles.

##### **c. Ejection par dévêtissage:**

Les pièces avec des encastremements profonds placés du coté mobile sont éjectées par une plaque de dévêtissage. Le retrait peut bloquer la pièce dans le moule.

**d. Ejection coté bloc axe:**

Suivant la position du point d'injection, l'éjection par plaque de devetissage peut être reportée sur la plaque fixe. Ce procédé est appelé également éjection inversée.

**I.5.4.2. Choix des éjecteurs****▪ Ejecteur latérale :**

Les dimensions des éjecteurs doivent être déterminées en fonction de la paroi et de la résistance de la matière:

•  $e < 2,5$ ; éjecteur  $\varnothing 3$

•  $e = 3$ ; éjecteur  $\varnothing 5$

•  $e = 3$ ; éjecteur  $\varnothing 10$

**▪ Ejecteur a lame :**

Les lames usinées ou rapportées permettant d'éjecter de pièces peu épaisses. Les éjecteurs à lame doivent être guides pour éviter les risques de flexion ou de flambage.

**▪ Ejecteur tubulaire :**

**Figure III. 23:** Ejecteur à lame

L'éjection tubulaire est employée pour les pièces présentant un encastrement assez profond. Un éjecteur tubulaire associé à une broche permet de réaliser facilement des trous ou formes en creux.



**Figure III. 24:** Ejecteur tubulaire

#### **I.5.4.3. Ejection des carottes**

Au cours de chaque cycle d'injection, la carotte accrochée aux canaux d'alimentation doit être dégagée de la buse du moule. Mais elle a tendance à adhérer au conduit tronconique. La solution retenue consiste à laisser la carotte sur la grappe démoulée avec les canaux.

L'ouverture du moule ne doit pas exiger d'efforts important. L'éjection de la Pièce ou de la grappe doit être réalisée avec le minimum d'efforts.

#### **I.5.5. Fonctions auxiliaires**

##### **a. Semelle partie fixe :**

Elle assure la liaison entre le moule et la partie fixe de la presse, elle permet la fixation de:

- La plaque porte empreinte fixe.
- La bague de centrage.
- La Colonne de guidage.
- La buse d'injection.

##### **b. Plaque porte empreinte partie fixe :**

Elle assure la liaison avec la semelle partie fixe et sert d'un support à l'empreinte.

##### **c. Plaque porte empreinte partie mobile :**

Elle sert d'un support à l'empreinte partie mobile.

##### **d. Tasseaux :**

Leur rôle est de relier la plaque d'appui à la semelle partie mobile, ce la a pour objectif de :

- Permettre la transmission du mouvement de cette dernière jusque à la plaque porte empreinte mobile.

- Assurer la rigidité de la plaque porte empreinte.
- Dégager un espace permettant le mouvement de la batterie d'éjection : la course d'éjection.

**e. Plaque éjectrice :**

Elle sert de support à l'ensemble des éjecteurs.

**f. Contre plaque éjectrice :**

- Elle assure la rigidité de la plaque porte éjecteurs.
- Elle assure la transmission du mouvement de la commande d'éjection à la plaque porte éjecteurs.
- Elle assure la liaison avec la semelle partie mobile à travers le plot de fixation

**g. Semelle partie mobile :**

- Elle assure la liaison entre le moule et la partie mobile de la presse.
- Elle assure la fixation des tasseaux.
- Elle assure le passage de la commande d'éjection.
- Elle supporte les éléments de guidage (douilles).

**h. Colonnes de guidage :**

Elle assure le guidage en alignement entre:

- La semelle fixe.
- La plaque porte empreinte fixe.
- La plaque porte empreinte mobile.

**i. Bagues de guidage :**

Elles assurent l'alignement entre:

- La plaque porte empreinte mobile.
- La plaque porte empreinte fixe.
- La plaque d'appui tasseau.

### I.6. Matériaux utilisés pour la fabrication des moules

La carcasse d'un moule est réalisée à partir d'éléments standards en acier prétraité ou traité. Le fabricant de l'outillage n'intervient que pour réaliser les blocs où pavées liés à la réalisation de l'empreinte, à la mise en place du système d'éjection et à l'obtention des formes en dépouille

Le tableau suivant regroupe les différents matériaux constitutifs du moule :

Matériaux	Observation	Emploi
C45 Acier non allié	Acier mi-dur	Plaque éjectrice; contreplaque éjectrice
C35 Acier non allié	Acier mi-dur	Les vis CHC et H
105 W Cr6 Acier faiblement allié	Acier extra-dur Résistance à l'usure par frottement ;dureté élevée; acier trempable; travail à chaud	Buse, bague de guidage
S235 Acier à usage général	Acier ordinaire	Bague de centrage ;semelles mobile et fixe; plaque de Sécurité et tasseaux
36NiCrMo16 Acier faiblement allié	Bonne résilience ; résistant à la corrosion ; résistance mécanique à chaud	Ejecteurs ;empreintes mobile et fixe ;tige de rappel ;arrache carotte et goupille; butée de Cours ed'éjection
CC 493 K (Cu Sn 7Zn4Pb7) Cuivremoulé	Inoxydable	Tétines
X 200 Cr12	Résiste à la corrosion; inoxydable; trempable	Colonnes de guidage ; tige de guidage
42 Cr Mo4	Acier doux	Porte empreinte mobile et fixe

**Tableau III. 3:** choix des matériaux

## I.7 conception assistée par ordinateur (CAO) [19]

### I.7.1. Définition de la CAO

La conception assistée par ordinateur (CAO) comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de concevoir, et de tester virtuellement des produits.

Lorsqu'un système est affecté d'un nombre trop grand de paramètres, il devient difficile de tout contrôler. La CAO permet de concevoir des systèmes dont la complexité dépasse la capacité de l'être humain, et d'apprécier globalement le

Comportement de l'objet créé avant même que celui-ci n'existe. En CAO, on ne dessine pas, on construit virtuellement un objet capable de réagir dans son espace réel selon des lois régies par le logiciel. Le résultat, appelé maquette numérique qui constitue alors un véritable prototype évolutif.

Durant notre conception nous avons utilisé le logiciel de conception appelé « Solid Works ».

### I.7.2. Domaine de la CAO

Le développement rapide de la CAO a permis à presque tous les domaines de l'industrie d'en profiter des avantages que présente cette technique, parmi ces domaines on cite:

- Fabrication mécanique: conception des moules, usinage des pièces, outillage divers,
- Domaine de la mécanique classique : simulation et calcul des matériaux, résistance des matériaux, vibration et acoustique
- Aéronautique: conception des coques d'avions, calculs d'écoulement et aérodynamique
- Automobiles et transports divers

### I.7.3. Avantages de la CAO

La CAO possède un nombre important d'avantages qui contribuent énormément à l'amélioration de l'industrie en général, de ce fait elle est devenue un élément essentiel. Parmi ces avantages :

- Gain de temps et productivité pour les équipes de conception avec l'utilisation de la modélisation solide.

- Amélioration considérable de la qualité des produits du fait que la CAO permet de contrôler leurs qualités avant même leurs productions.
- Diversification de la production, par la possibilité de conception des formes complexes.
- Importance des échanges entre concepteurs et réalisateurs, du fait d'une définition beaucoup plus complète en CAO.

#### I.7.4. Application

Durant la conception des pièces, nous avons utilisé les commandes du logiciel Solid Works tel que : Esquisses, fonctions et surfaces.

**Premièrement**, nous avons conçu les quatre tuyaux de purge avec les modifications appropriées, puis en utilisant la commande « noyau-empreinte » on a déduit les empreintes (fixe et mobile). Mais nous avons remarqué que l'utilisation de deux empreintes ne nous permet pas le démoulage des tuyaux de purge, alors on été obligé d'utiliser des tiroirs, en plus nous avons découpé les empreintes de manière à faciliter l'usinage. Et pour permettre l'éjection automatique des pièces moulées, on a prévu des plaques d'éjection (inserts) dans l'empreinte mobile. Et comme le matériau utilisé pour les empreintes est un matériau noble, on doit minimiser au maximum ces dimensions, afin d'éviter l'endommagement de ces derniers et augmenter leurs résistances, on a utilisé des portes empreintes avec des aciers résistants et moins chères.

**Deuxièmement**, nous avons conçu le reste des pièces constituant le moule en trois dimensions (3D) de manière à assurer les fonctions objectives et les normes de construction. En suite, l'utilisation de la commande assemblages nous a permis d'effectuer le montage de toutes les pièces en formant un moule complet et la détection des interférences qui peuvent exister entre les pièces assemblées.

**Finalement**, la commande Solidworks animator nous a permis d'élaboré une animation 3D qui rend notre conception très claire malgré sa complexité, et donne aussi une idée sur le fonctionnement et le montage d'un moule d'injection plastique.

**I.8 Conclusion**

A partir de ce chapitre, on peut comprendre les règles de conceptions des pièces en matière plastique, ainsi le choix des paramètres. L'utilisation du logiciel de C.A.O. permet de créer des pièces selon la demande du client quelle que soit la forme et mise dans des moules.

# **Chapitre IV**

## **Calcul et vérification**

## I.1 Introduction

Dans ce chapitre on a pour objectif de concevoir un moule d'injection plastique pour une entretoise supérieur d'un réfrigérateur ENIEM FB1-FB2.

On fera aussi le choix de la matière, de la presse et aussi les calculs nécessaire pour le cycle d'injection.

## I.2. Présentation du projet

Il s'agit de concevoir un moule multi empreintes, qui produira par cycle huit (08) pièces.

Dans ce projet la conception et diviser en deux partie :

- La première consiste à concevoir les modèles géométriques de la pièce.
- La deuxième partie : La conception des éléments du moule.

## I.3 Logiciel de conception CAO : SolidWorks 2017

SW a été créé en 1993 et a été acheté en 1997 par la société Dassault Systèmes Le logiciel SW de CAO "Conception Assistée par Ordinateur" également qualifié de logiciel de DAO "Dessin Assistée par Ordinateur" est une application de conception mécanique 3D paramétrique qui permet aux concepteurs d'esquisser rapidement des idées, d'expérimenter des fonctions et des cotes afin de produire des modèles et des mises en plan précises.

SW est assez intuitif. Modéliser une pièce est assez rapide contrairement à d'autres logiciels de CAO.

La version utilisée dans notre travail est celle de 2017.

## I.4. Présentation de la pièce

L'entreprise ENIEM possède des grands moyens matériels et humains, elle est dotée d'une grande compétence et expérience dans le domaine de la conception et la fabrication mécanique.

Le but du sujet est de concevoir et réaliser ce moule à injection plastique, ainsi que son traitement sur le logiciel de conception de fabrication (CAO).

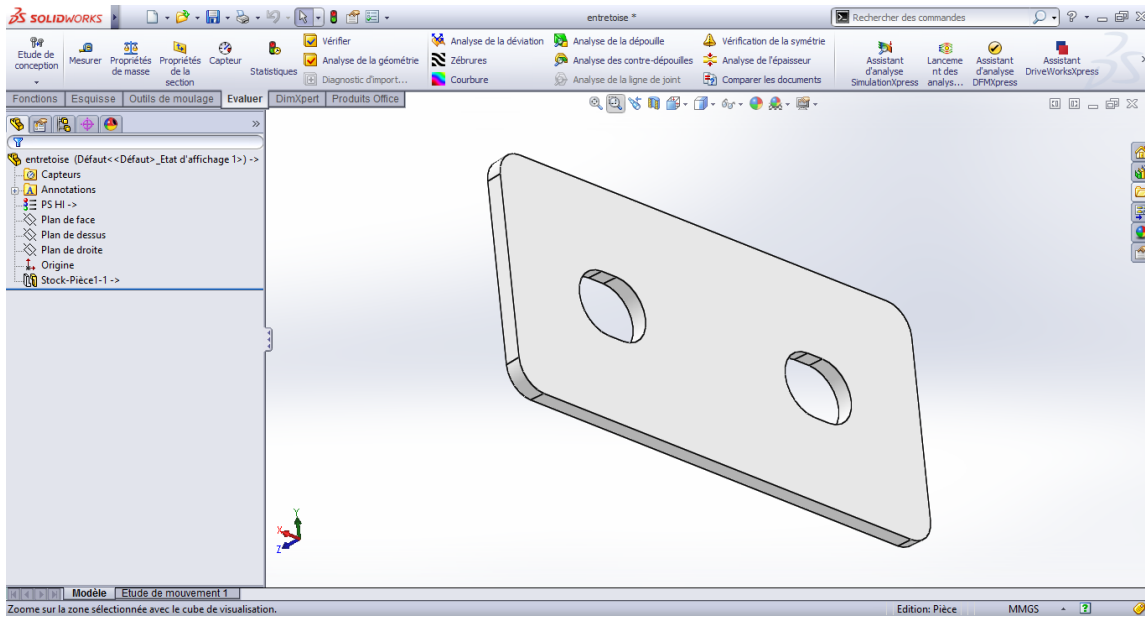


Figure IV. 1: Entretoise charnière supérieure

dimensions de la pièce :

- Longueur : 57,15mm
- Epaisseur : 1,84.mm
- Largeur : 26,52mm

1.5 Temps de refroidissement [17]

Matières	Température du moule (°c)
Polystyrène normal	50 à 80
Polystyrène choc	60 à 70
Styrène	60 à 90
Polyéthylène	50 à 80
Polychlorure de vinyle	70
Polyamides rilsan	40

Tableau IV. 1: Les températures régulées.

Le temps de refroidissement est déterminé par la relation ci-dessous :

$$Tr = \frac{e^2}{\pi^2 D} \ln \left[ \frac{8}{\pi^2} \left( \frac{Ti - Tm}{Te - Tm} \right) \right]$$

Avec :

e : épaisseur moyenne de la pièce ;

➤  $e=1,84 \text{ mm}$

**D**: la diffusivité thermique de PS ;

➤  $D = 8,3 \cdot 10^{-8} \text{ g/cm}^3$

**E**: m<sup>2</sup>/s

**Ti** : température d'injection ; **Ti=225°**

**Te** : température d'éjection ; **Te=70°C**

**Tm** : température du moule ; **Tm=65°C**

**AN**:

$$Tr = \frac{1,84^2}{\pi^2 8,3 \cdot 10^{-8}} \ln \left[ \frac{8}{\pi^2} \left( \frac{225 - 65}{70 - 65} \right) \right]$$

✓ **Tr = 9s**

Grandeurs thermiques permettant le calcul du temps de refroidissement des pièces injectées				
<b>T<sub>d</sub></b>		température moyenne d'extraction		
<b>λ</b>		conductivité thermique		
<b>a</b>		coefficient de diffusion thermique (ou diffusivité)		
Matière injectée		T <sub>d</sub> (°C)	λ (W · m <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> )	a (10 <sup>-8</sup> m <sup>2</sup> · s <sup>-1</sup> )
Cellulosiques	CA.....	80 à 105	0,22	
	CAB ....	80 à 105	0,21	
	CP .....	80 à 105	0,22	
Polystyréniques	PS .....	75	0,16	8,3
	SB .....	75	0,17	8,3
	SAN .....	90	0,16	8,3
	ABS .....	100 à 120	0,16	8,3

**Tableau IV. 2:** Grandeurs thermiques de quelques matières de pièces injectées.

### I.6 Matériaux proposé

Le PS HI a été choisi dans le cadre de ce projet. Ceci pour plusieurs raisons évoquées précédemment :

Son faible coût, sa large utilisation, son bon comportement tribologique et thermique.

Le PS HI représente les caractéristiques techniques suivantes:

- La limite de traction suivant X :

$$T_i = 24 \text{ N/mm}^2$$

- La température moyenne d'extraction :

$$T_e = 190 \text{ à } 210^\circ\text{C}$$

- La conductivité thermique :

$$\lambda = 0.251 \text{ W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$$

- La diffusivité :

$$a = 8,36 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$$

- Le facteur de retrait :

$$0.8 \text{ à } 2 \%$$

- la masse volumique :

$$\rho = 1,080 \text{ g/cm}^3$$

## I.7 Caractéristiques d'injection

### a. Poids de la pièce

Le poids de notre pièce est donné par le logiciel de conception SolidWorks. Son poids est de **2,75 g**.

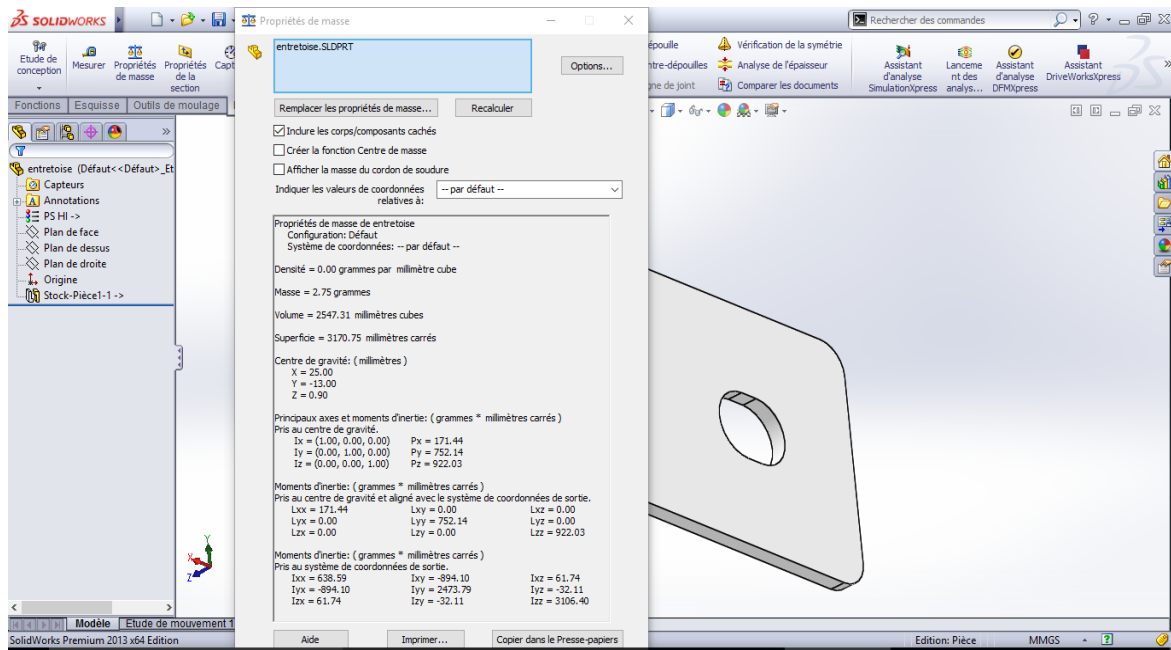


Figure IV. 2: Poids de la pièce

**b. Poids de la carotte**

Le poids de notre carotte est donné par le logiciel de conception SolidWorks. Son poids est de **5,76g**.

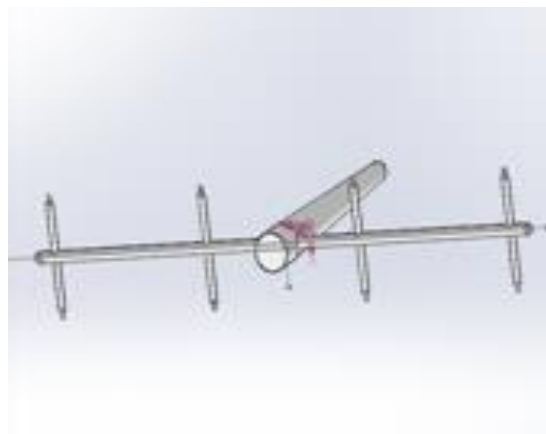


Figure IV. 3: La carotte

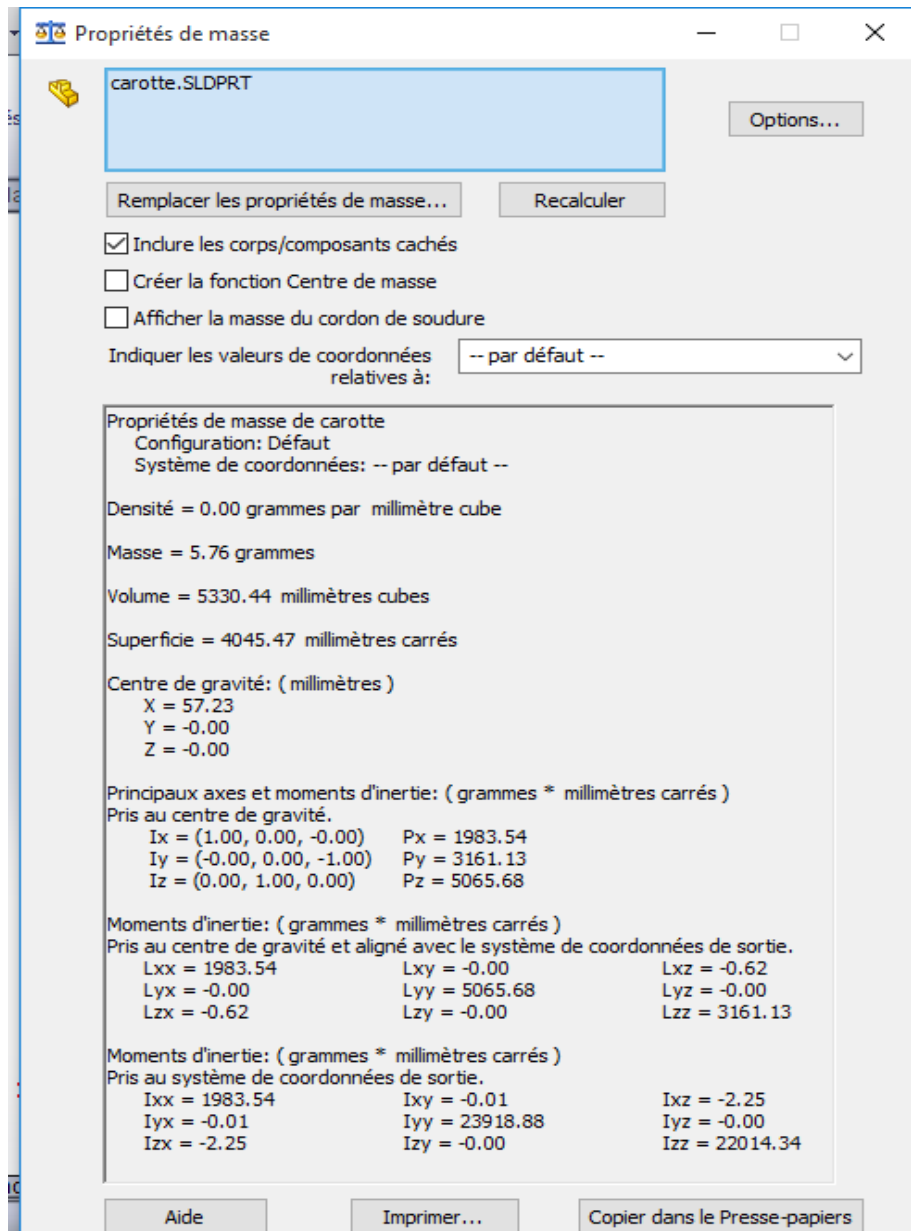


Figure IV. 4: Poids de la carotte

**c. Masse de la moulée (M)**

Calcul du nombre de cavités (n) du moule qui fait projet de notre étude.

$$n = \frac{C}{T \times H \times L}$$

L'ENIEM souhaite réaliser un taux de production de 2 000 000 et notre moule produit dans chaque cycle huit (08) pièces.

- T = 320 JOURS/AN
- H = 7H/Jour
- S = 120 Cycles/ heure
- c= 2 000 000 pièces

A.N:

$$N \geq 2000\ 000/320 \times 7 \times 120$$

$$N \geq 7,44$$

A partir de notre résultat on constate qu'on peut réaliser huit empreintes.

On a:

**M= (la masse de la pièce x 8) + la masse de la carotte**

**AN:**

$$M = (2,75 \times 8) + 5,76$$

$$M = 27,76 \text{ g}$$

A partir de notre résultat la capacité de notre machine doit être  $\geq 25 \text{ T}$ . Le tableau ci-dessous indique ces caractéristiques

Machine	PP[g]	PS[g]
350T	680	850
150T	180	230
75T	83	100
25T	36	45

**Tableau IV. 3:** choix de la presse en fonction de la moulée :

Specifications	
Symbole d'injection	i 3
Symbole du cylindre	A
Pression d'injection	1850 Kg/cm <sup>2</sup>
Taux d'injection	140 Cm <sup>3</sup> /sec
Quantité d'injection	P.S 150 Gr
	P.E 120 Gr
Diamètre de la vis	36 mm
Puissance de plastification (P.S)	70 Kg/h

<b>Puissance de serrage</b>	25 Tonnes
<b>Puissance d'ouverture</b>	9,4 Tonnes
<b>Vitesse Max. de rotation de la vis</b>	350 t p m
<b>Intervalle des tirants</b>	150x510 mm
<b>Dimension de la plaque matrice</b>	730x730 mm
<b>Coure de serrage</b>	660 mm
<b>Epaisseur Min du moule</b>	190 mm
<b>Ouverture</b>	850 mm
<b>Puissance de foulage(Hydraulique)</b>	4,5 Tonnes
<b>Course de foulage</b>	80 mm
<b>Quantité d'huile d'usage</b>	670 Litres
<b>Moteur destiné à la pompe</b>	22 KW
<b>Capité du réchauffeur</b>	6,1 KW
<b>Dimensions de la machine (Lx l x H)</b>	5,4x1, 4x2.2 m
<b>Poids de la machine</b>	7 Tonnes

**Tableau IV. 4:** Caractéristiques technique des presses injection 25T

#### **d. La distance entre colonnes [15]**

La presse possède quatre colonnes de guidages des plateaux sur lesquels le moule sera fixé. Pour ce faire, l'une des dimensions transversales du moule doit être inférieure à la distance entre colonnes. Comme illustré sur la figure

Les dimensions de notre moule sont :

- Longueur : 396
- Largeur : 346

#### **e. Epaisseur minimale du moule**

Les caractéristiques dimensionnelles de la presse 25T sont :

- La distance entre plateaux de la presse 430 mm ;
- La course maximale du piston de serrage 280 mm ;

A partir de là, on voit que l'épaisseur minimale du moule doit être supérieure à 150mm (Notre moule a une épaisseur de 316 mm).

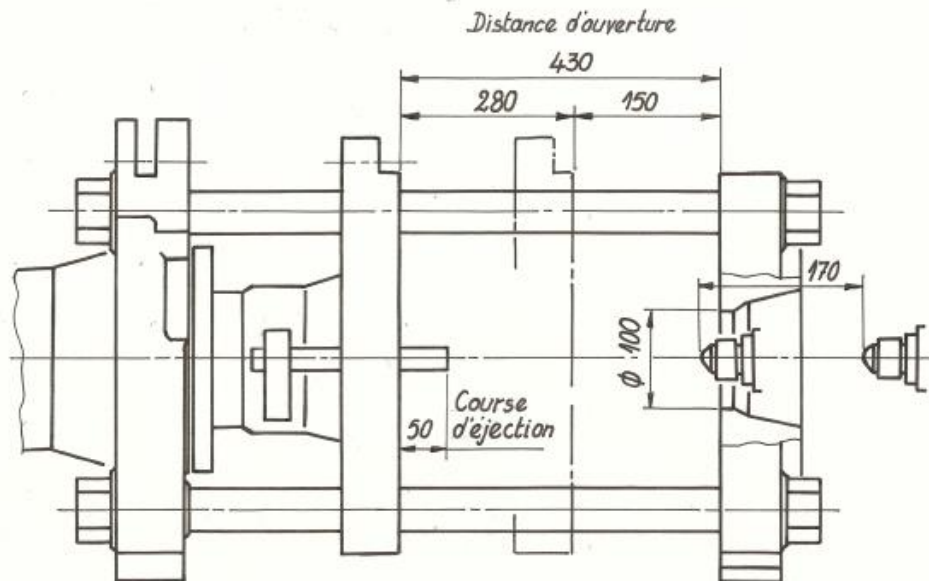


Figure IV. 5: Caractéristiques dimensionnelles de la presse 25T. [16]

f.

#### Calcul de la force de fermeture de la machine [17]

L'injection de matière à l'intérieur du moule provoque de grandes pressions engendrant de forces qui ont tendance à ouvrir le moule (force de verrouillage), et pour faire face à ces efforts la presse doit appliquer une force de fermeture supérieure.

##### 1. Force de verrouillage :

$$F_v = P \times S$$

Avec:

**F<sub>v</sub>** : la force de verrouillage [tonnes].

**P** : la pression moyenne d'injection [tonnes /cm<sup>2</sup>].

**S** : la surface projeté [cm<sup>2</sup>]

**P=0,5 [tonnes /cm<sup>2</sup>]**

**S=13,97cm<sup>2</sup>**

Matière	La pression intérieure moyenne (tonnes/cm <sup>2</sup> )	Grande parcoure de fluctuation (tonnes/cm <sup>2</sup> )
PS	0,3-0,4	0,4-0,5

Tableau IV. 5: Pression d'injection (tonnes /cm<sup>2</sup>).

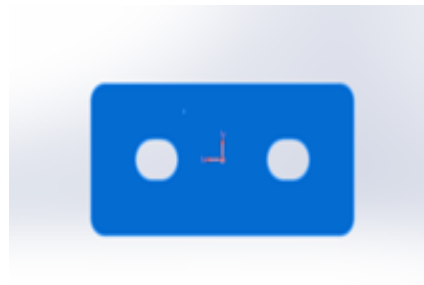
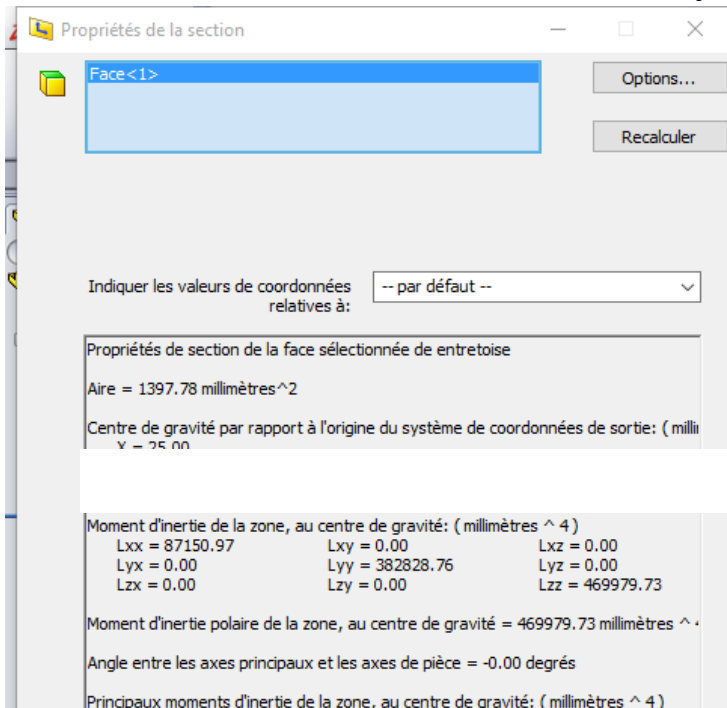


Figure IV. 6: Surface projetée de la pièce sur SolidWorks

AN :

$$F_v = 13,97 \times 0,102$$

❖  $F_v = 1,43 \text{ T}$

2. Force de fermeture :

$$F = F_v \times K$$

F<sub>v</sub>: force de verrouillage

K: coefficient de sécurité;  $1 \leq K \leq 2$

AN:

$$F = 1,43 \times 1,5$$

❖  $F = 2,145 \text{ T}$

**3. Puissance de plastification (C) :**

Même si la machine 25T peut injecter 27,76 g, on doit vérifier sa capacité de plastification (la quantité de matière plastifiée par heure) qui est en fonction du poids de la pièce moulée et du temps de cycle.

$$C = \frac{M \times n3600}{Tc}$$

**Avec :**

**C:** puissance de plastification [Kg/h]

**M:** poids de la pièce moulée en [g]

**Tc:** temps de cycle en [sec]

$$Tc = tr + ti + tm + te + to + tf$$

**Avec:**

**tr :** temps de refroidissement (**26.25 sec**)

**ti :** temps d'injection (remplissage) (**2.63 sec**)

**tm:** temps de maintien pression (**4.44**)

**te:** (1sec) **to :** temps d'ouverture de moule (**5sec**)

**tf :** temps de fermeture moule (**5sec**)

**AN:**

$$\diamond \quad Tc = 44,32 \text{ sec}$$

$$c = \frac{0,0277 \times 2 \times 3600}{44,32} = 4,38 \text{ kg/h}$$

- ✓ Cette condition est vérifiée puisque notre machine peut injectée 25kg/h.

**g. Résistance des matériaux :**

Cette partie concerne l'étude de la résistance des pièces sollicitées mécaniquement.

**1. Résistance des éléments constituant le moule au matage dû à la force de fermeture du moule**

La force de fermeture d'une presse 25 tonnes égales :

Nous avons :

- $25T=25000 \text{ Kg} =250000 \text{ N}$
- $1\text{Kg.f} \longrightarrow 10\text{N}$

Donc la force de fermeture du moule est de  $F= 250000\text{N}$ .

❖ **Condition de résistance au matage :**

$$\sigma_e = \frac{F}{S} \leq R_{pe}$$

$$R_{pe} = \frac{R_e}{s}$$

**Re** : résistance limite à la traction pour les aciers fortement alliée

( $R_e = 370 \text{ N/mm}^2$ ).

**s** : coefficient de sécurité ( $s = 2$ ).

**S** : surface soumise au matage

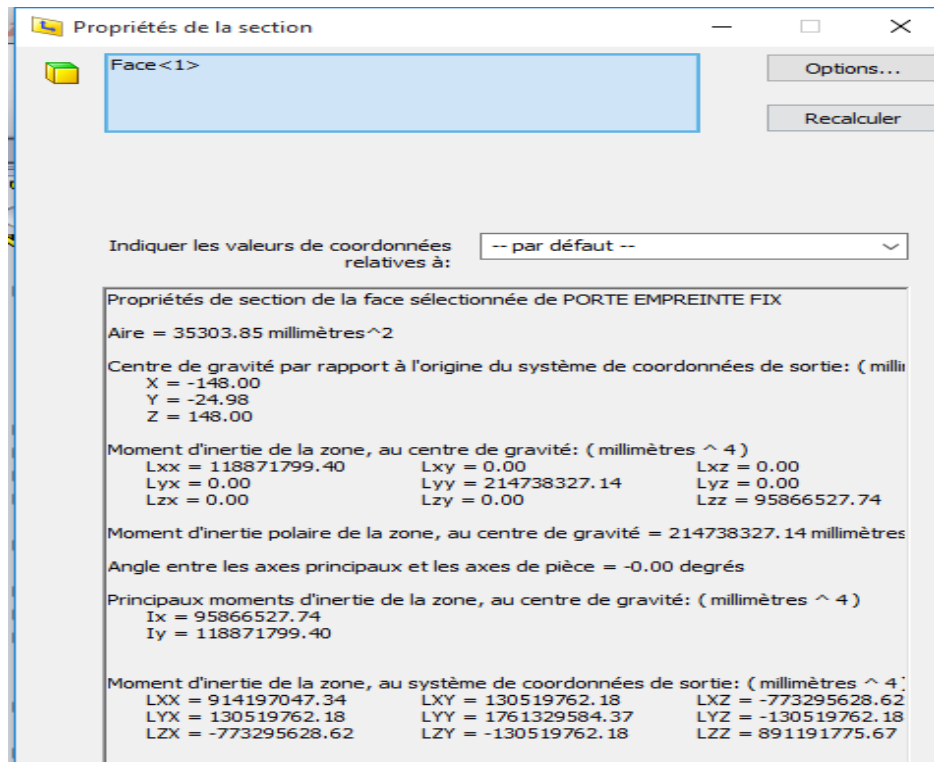
$S = L \times E$  avec **L** et **E** sont respectivement la longueur et la largeur d'élément soumis décrivant la surface matée.

**AN:**

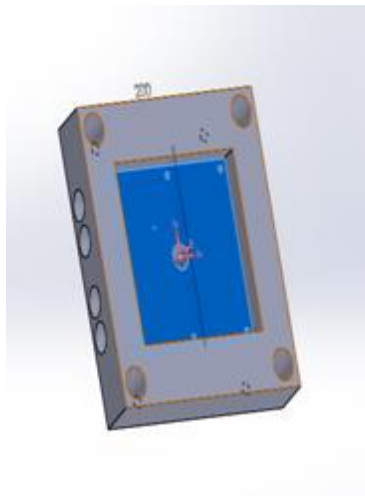
$$R_{pe} = \frac{370}{2} = 185 \text{ N/mm}^2$$

### 1.a. partie fixe

► **Porte empreinte fixe:**



**Figure IV. 7:** Surface de la porte empreinte fixe soumise au Matage



**Figure IV. 8:** Surface de la porte empreinte fixe

❖ **Surface soumise au matage :**

$S = e \cdot l$  (Surface matée).

$$S = 35303,85 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_e = \frac{F}{S} = \frac{25 \times 10^4}{35303,85}$$

$$\sigma_e = 7,08 \text{ N/mm}^2 < R_{pe}$$

✓ Puisque la condition est vérifiée la porte empreinte fixe résistera au matage.

► **Résistance de la semelle fixe :**

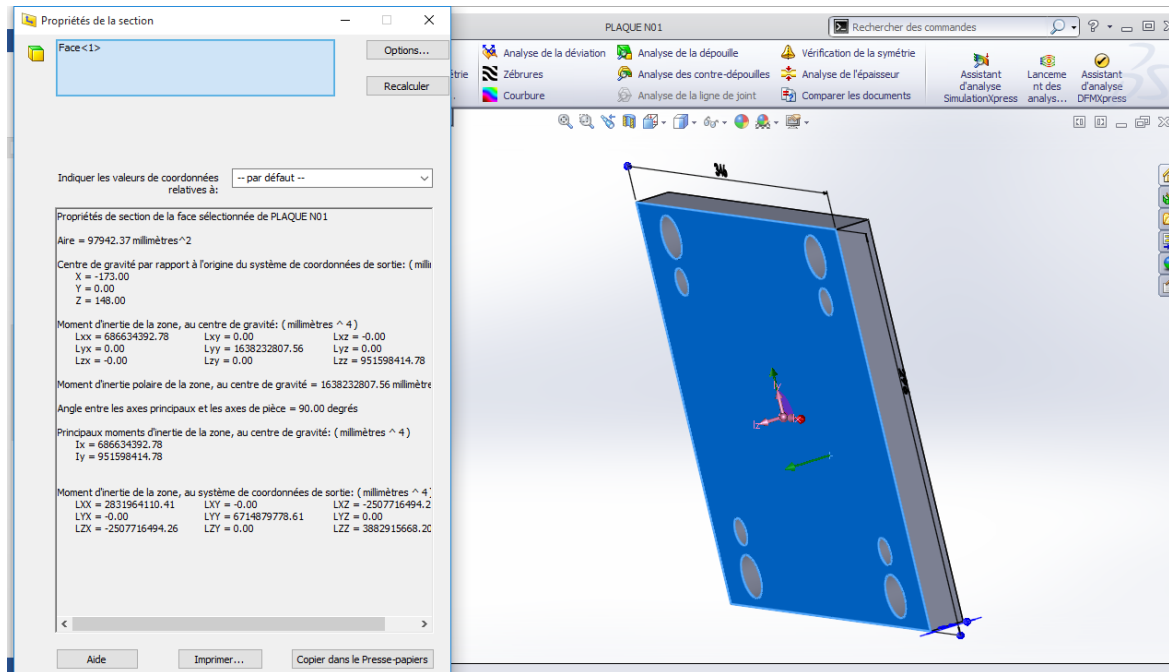


Figure IV. 9: Surface de la semelle fixe.

**La surface :**

$$S = 97942,37 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_e = \frac{F}{S}$$

$$\sigma_e = \frac{25 \times 10^4}{97942,37}$$

✓  $\sigma_e = 2,55 \text{ N/mm}^2$

✓ Puisque la condition est vérifiée la semelle mobile résistera au matage.

► Résistances des tasseaux :

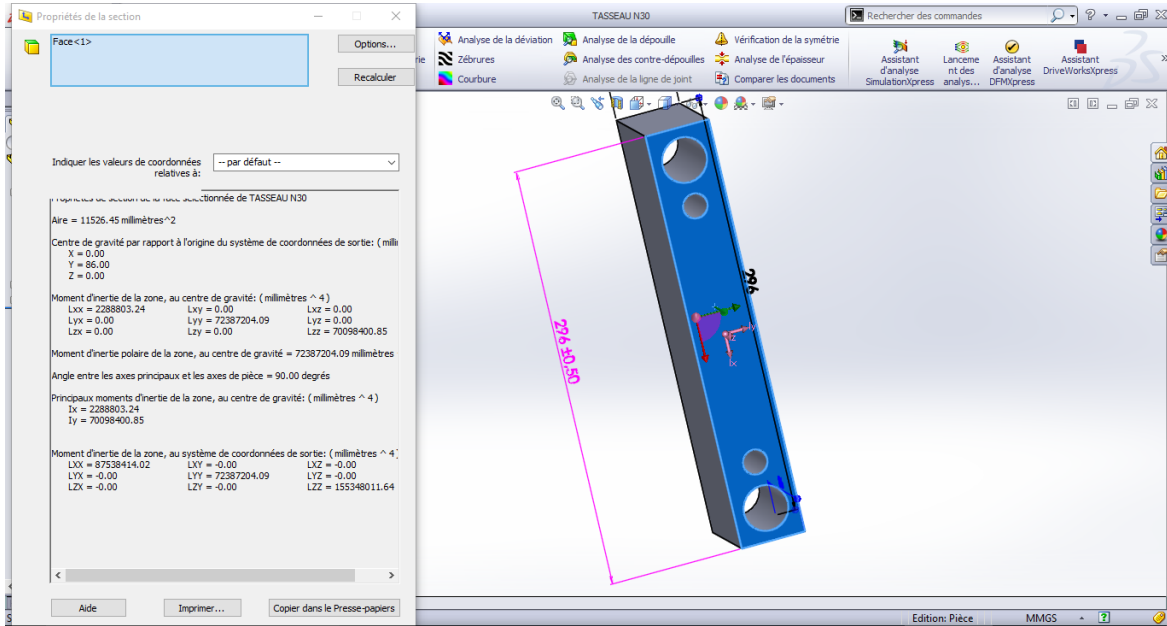


Figure IV. 10: Surface des tasseaux

Avec :

$$S = 11526,45 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_e = \frac{F}{S}$$

$$\sigma_e = \frac{25 \times 10^4}{11526,45}$$

✓  $\sigma_e = 21,68 \text{ N/mm}^2$  : la condition est vérifiée.

1.b. partie mobile du moule

► Résistance de la semelle mobile :

Cet élément aussi présente les mêmes dimensions extérieures que la semelle fixe, la valeur de la contrainte exercée étant la même, cet élément résiste au matage.

► Résistance de porte empreinte mobile :

Même cet élément aussi présente les mêmes dimensions extérieures que le porte empreinte fixe, la valeur de la contrainte exercée étant la même, cet élément résiste au matage.

2. Vérifications des éléments de guidage et de fixation aux efforts de cisaillement

► Résistances des colonnes de guidage au cisaillement :

Les colonnes de guidages sont soumises à l'effort de cisaillement dû au poids de la partie mobile lors de la manutention.

❖ **Condition de résistance :**

$$\tau = \frac{F}{n.s} \leq [\tau]_{\text{cis}}$$

$$[\tau]_{\text{cis}} = \frac{\sigma_e}{K} \times 0,8$$

AN :

$$[\tau]_{\text{cis}} = \frac{1350}{2} \times 0,8 = 540 \text{ N/mm}^2$$

Avec :

$\sigma_e$  : limite élastique du matériau ;  $\sigma_e = 1350 \text{ N/mm}^2$

$k$  : coefficient de sécurité ; on prend  $k=2$

$F$  : effort normal (poids de la partie fixe),

$$[64539,49 \text{ g} = 64539,49 \times 10^{-3} \text{ Kg} = 64,53 \times 10 \text{ N}]$$

$$\checkmark F = 645,3 \text{ N}$$

$S$  : section de la colonne

$$S = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

$$S = \frac{3,14 \times 24^2}{4} = 452,16 \text{ mm}^2$$

$n$  : le nombre de sections cisailée ( $n=2$ )

AN :

$$\tau = \frac{F}{n.s}$$

$$\tau = \frac{645,3}{2 \times 452,16} = 0,712 \text{ N/mm}^2 \leq [\tau]_{\text{cis}}$$

► **Résistance des 4 vis CHC M6 au cisaillement dû au poids de l'empreinte fixe et porte empreinte fixe :**

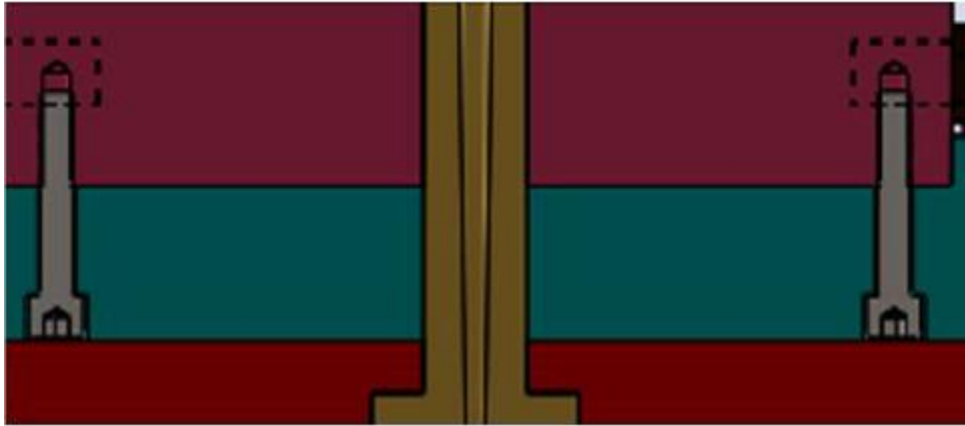


Figure IV. 11: vis CHC M6

❖ Condition de résistance au cisaillement :

$$[\tau] = [\tau] \text{ cis}$$

Avec :

- Reg : Résistance élastique au cisaillement [Mpa]
- Rpg : Résistance pratique au cisaillement [Mpa]
- S : Facteur de sécurité =2
- Sv1 : Section d'une vis
- P1 : la charge totale supportée par les 4 vis
- Sv= 4 x Sv1 (section de 04 vis CHC)

$$Rpg = \frac{Reg}{2S'} = \frac{335}{2 \times 2} = 83,75 \text{ [Mpa]}$$

$$\tau = \frac{P1}{Sv} \leq Rpg$$

$$Sv1 = \frac{\pi d v^2}{4}$$

➤ Sv1 = 28,26mm<sup>2</sup>  
P1 = 66,60 + 273,32

➤ P1 = 339,92N

$$\tau = \frac{339,92}{4 \times 28,26} = 3 \leq Rpg$$

✓  $\tau \leq R_p$  : Donc les 04 vis résistent largement.

► **Résistance des vis M12 au cisaillement dû au poids de la contre plaque et porte empreinte mobile :**

Les 4 vis de diamètre  $d=12$  mm, sont soumises à la **charge P2** du poids de l'ensemble des pièces suivantes : porte empreinte, plaque support.

$$P2 = 288,013 + 291,29$$

➤  $P2 = 579,3N$

➤  $R_{pg} = 83,75[Mpa]$

➤  $S_{v2} = 113,04 \text{ mm}^2$

➤  $\tau = \frac{579,3}{4 \times 113,04} = 1,2 \leq R_{pg}$

✓  $\tau \leq R_{pg}$  : Donc les 4 vis résistent largement.

► **Résistance des vis M12 au cisaillement dû au poids des tasseaux et la plaque support :**

Les 4 vis de diamètre  $d=12$  mm, sont soumises à la **charge P3** du poids de l'ensemble des pièces suivantes : tasseau et plaque support.

$$P3 = 291,29 + 75,82$$

➤  $P3 = 336,82N$

$$\tau = \frac{P1}{S_v} \leq R_{pg} = 83,75[Mpa]$$

➤  $S_{v2} = \frac{\pi d^2}{4}$

➤  $S_{v2} = 113,04 \text{ mm}^2$   
 $\tau = \frac{336,82}{2 \times 113,04} = 1,6 \leq R_{pg}$

✓  $\tau \leq R_{pg}$  : Donc les 2 vis résistent largement.

► **Résistance des vis M12 au cisaillement dû au poids des tasseaux et la contre plaque :**

Les 02 vis de diamètre  $d=12$  mm, sont soumises à **la charge P4** du poids de l'ensemble des pièces suivantes : tasseau et contre plaque.

$$P4 = 75,82 + 118,2$$

➤  $P4 = 194,02\text{N}$

$$\tau = \frac{P1}{Sv} \leq Rpg = 83,75[\text{Mpa}]$$

$$Sv2 = \frac{\pi d^2}{4}$$

➤  $Sv2 = 113,04\text{mm}^2$

➤  $\tau = \frac{194,02}{2 \times 113,04} = 0,85 \leq Rpg$

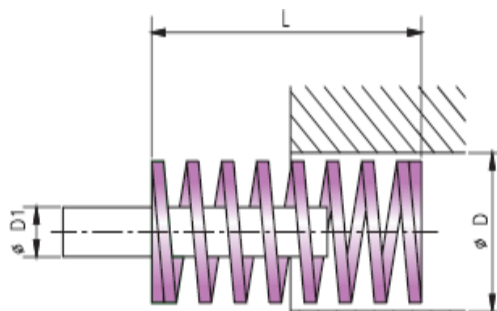
✓  $\tau \leq Rpg$  : Donc les 2 vis résistent largement.

### I.8 Le choix des ressorts [16]

La presse **25T** n'est pas équipée d'un système de retour de la batterie éjectrice (une tige filetée sur l'extrémité du piston d'éjection de la machine). Pour cela on a utilisé des ressorts qui ont pour but essentiel d'assurer le retour de cette batterie à sa position initiale afin d'éviter l'effort de fermeture du moule sur les colonnes de rappel.

**Le choix des ressorts dépend essentiellement de :**

- La course d'éjection qui assure le démoulage des pièces (180mm)
- La charge à supporter (Poids de la batterie éjectrice  $P=1120.91$  N) ;
- L'encombrement ( $d1=16\text{mm}$ ,  $d=32\text{mm}$ ), voir la figure ;



**Figure IV. 12:** Schéma de dimensionnement d'un Ressort

L'utilisation d'un seul ressort peut provoquer l'arc-boutement de la batterie, pour cela on a prévu quatre ressorts disposés sur les colonnes de rappels afin d'avoir un bon guidage. Le poids de la batterie est donc reparti sur les quatre (4) ressorts.

L'effort de rappel (F) que doit exercer un ressort est égal au poids total de la batterie sur le nombre de ressorts utilisés, donc :

$$F = \frac{198,07}{4} = 49,51 \text{ N}$$

Pour le dimensionnement du ressort qui supportera l'effort (F), il est nécessaire de consulter des abaques. Ces abaques classent les ressorts par couleur qui signifie le type de charge comme le montre la figure suivante.



**Figure IV. 13:** Classification des ressorts par couleur [16]

Le ressort qui répond à nos exigences est un ressort de couleur verte Réf. 355, et qui a les caractéristiques suivantes :

- D1=10mm
- D=20 mm
- F=375 N
- L=51 mm
- A=51x 30%= 15.3 mm
- Section rectangulaire S=4 x 2,1

**I.9 Conclusion**

Cette partie nous a permis de vérifier le calcul du dimensionnement du moule, et la résistance des différents éléments agissant lors de la fermeture du moule. Et passer avec assurance à la phase de réalisation des plans d'exécution à l'atelier d'usinage.

# **CONCLUSION GENERALE**

L'industrie de la plasturgie représente un secteur majeur, malgré une forte compétition. La présente étude nous a permis d'élargir nos connaissances dans ce domaine ainsi donner le plus d'information sur ces matériaux, leurs structures, leurs caractéristiques mécaniques et physiques

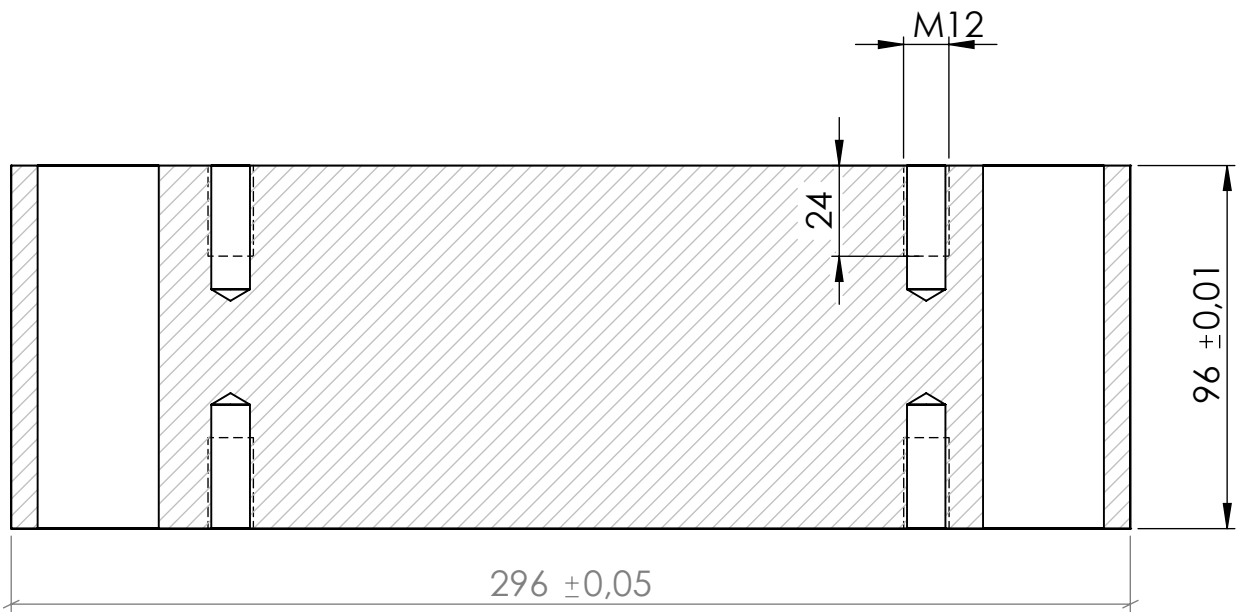
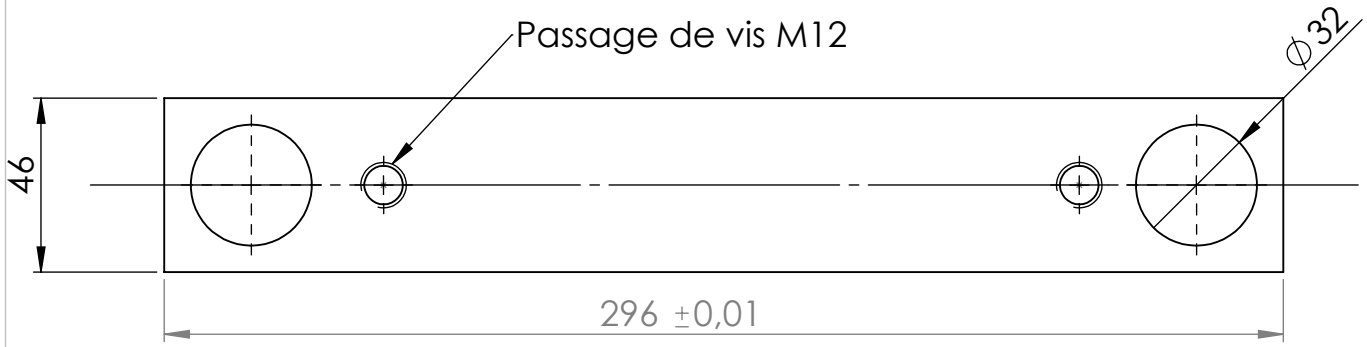
On utilise souvent le procédé d'injection pour la transformation des polymères, car il permet la production en série des pièces avec une grande précision.

La partie essentielle de ce travail, est la conception d'un moule qui va servir, à la réalisation d'une entretoise supérieur pour les réfrigérateurs FB1-FB2 de l'ENIEM. Ce travail est réalisé en utilisant le logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO – Solidworks2017), qui a permis la détermination des caractéristiques dimensionnelles et géométriques des différents éléments du moule.

La solution que nous avons proposé pour cette conception devait répondre au cahier des charges, faciliter la réalisation du produit, en tenant compte de la qualité et de minimiser le coût.

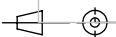
Enfin nous espérons que ce modeste travail soit d'une utilité et de support pour les études qui suivent.

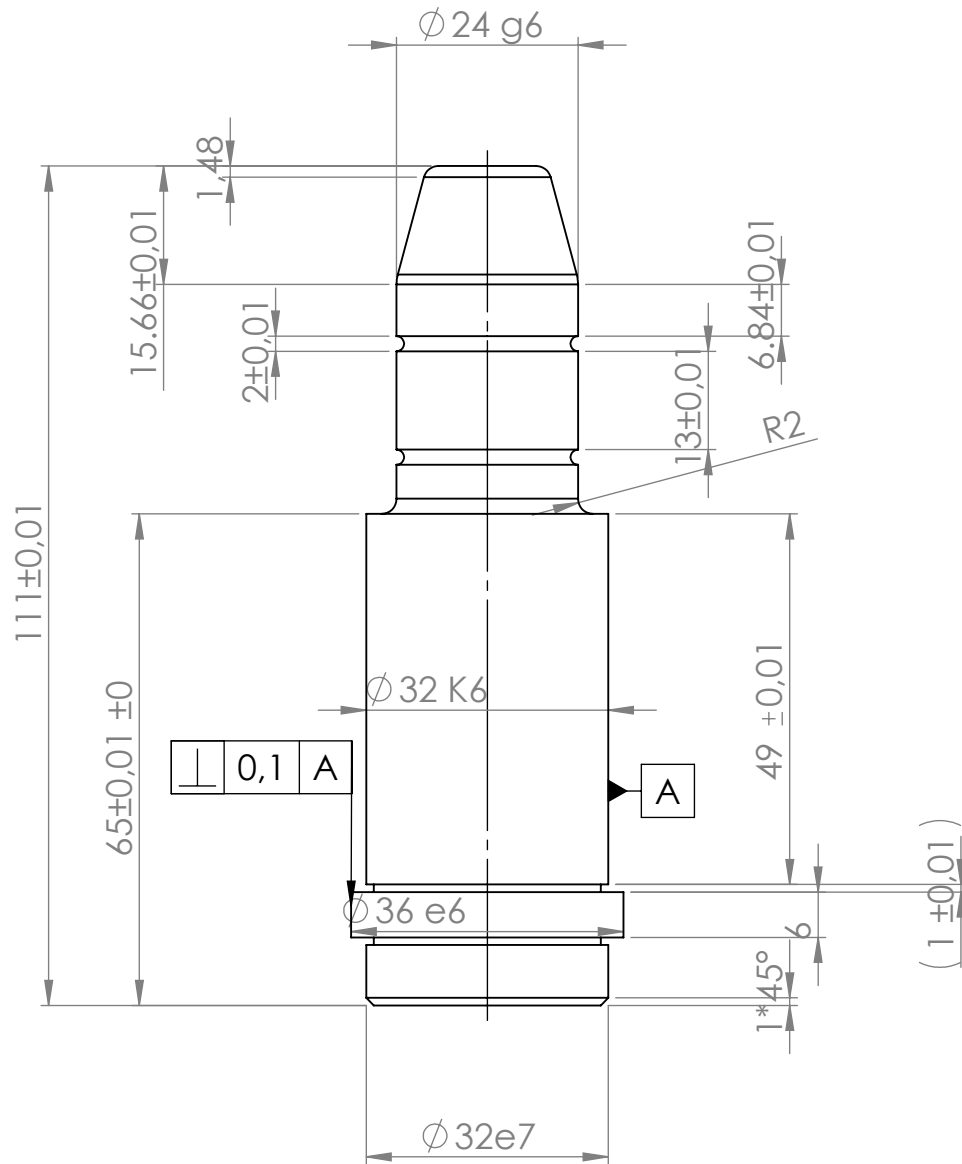
- [1]: Documents E.N.I.E.M.
- [2] : <https://www.schiltz.be/PDF/F1920-généralités-sur-les-matières-plastiques>.
- [3] : cours master 1 .FMPGM UMMTO. Génie mécanique chapitre2 : les polymères.
- [4]: Structure et propriétés des polymères .Cours Sur les matériaux plastiques.  
AUTEUR : VALR.
- [5] : Classification des matières plastiques- Version 2- Avril 2019
- [6]: PROPRIETES DES MATIERES PLASTIQUES ET CARACTERISATION  
.Auteur : BECHIR
- [7] : <https://www.hellocarbo.com> le recyclage du plastique : méthodes, chiffres et conseils à connaître.
- [8] : Claude CORBET : Mémotech matières plastiques, Edition CASTEILLA, 2001.
- [9]: Aide-mémoire 2ème Edition DUNOD/ Marc Carrega et coll.
- [10] : chapitre-1-propriétés-matières-plastiques-caractérisation .Auteur : SAADA BECHIR
- [11] : Untitled-3 Procédure de conception d'un moule à injection plastique d'une multiprise électrique A3/ Mémoire D'ingénieur / Université Blida 2015/2016.
- [12] : Cours de PMF des Matières plastiques chapitre II, Enseignants : HAMMAMI.T et LOUATI. H.
- [13] : PDF. Innovation Technologique et Eco Conception 5349 / Ressources: Injection.
- [14] : chapitre II Les presses d'injection.de 28099-2020-étudiant.
- [15] : PDF. Technologie Injection. *INJECTION DES THERMOPLASTIQUES*
- [16] :[https://www.madeforindustry.com/exposant\\_rabourdin-industrie\\_4ed8856951c2517.html](https://www.madeforindustry.com/exposant_rabourdin-industrie_4ed8856951c2517.html)
- [17] : CHAPITRE 3 : CONCEPTION DE MOULE D'INJECTION PLASTIQUE .Auteur : SAADA BECHIR.
- [18] : K. LATTARI : Etude, conception et réalisation d'un moule d'injection plastique / Mémoire D'ingénieur / Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, Promotion 2010.
- [19] : <https://fr.m.wikipedia.org>
- [20] : cour (et chaine You tube) d'injection plastique ,conception du moule .Professeur : ASMA Farid. Université Mouloud Mammeri. Tizi Ozou




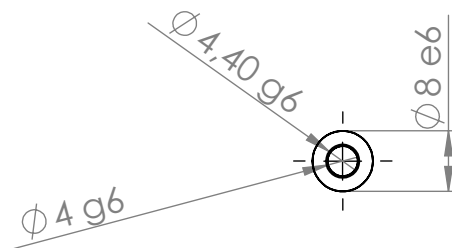
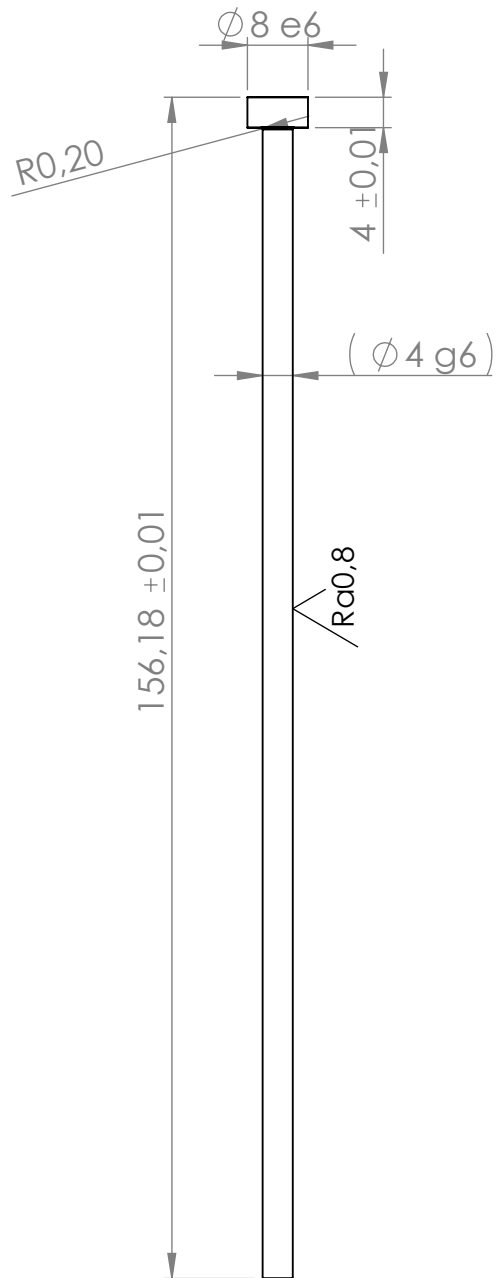
COUPE A-A

09	02	TASSEAU	C45	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 1:2		MOULE D'INJECTION PLASTIQUE POUR ENTRETOISE D'UN REFRIGIRATEUR ENIEM FB1-FB2	SEBARGOUD REDOUANE HAMDAOUI SONIA	
A4				





			36NiCrMo16	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle 1:1		MOULE D'INJECTION PLASTIQUE POUR ENTRETOISE D'UN REFRIGERATEUR ENIEM FB1-FB2		SEBARGOUD REDOUANE HAMDAOUI SONIA
				
A4		UMMTO-FGC-GM		2020/2021



Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
		EJECTEUR CYLINDRIQUE	X42Cr13	
		MOULE D'INJECTION PLASTIQUE POUR ENTRETOISE D'UN REFRIGERATEUR ENIEM FB1-FB2		SEBARGOUD REDOUANE HAMDAOUI SONIA
		UMMTO-FGC-GM		2020/2021

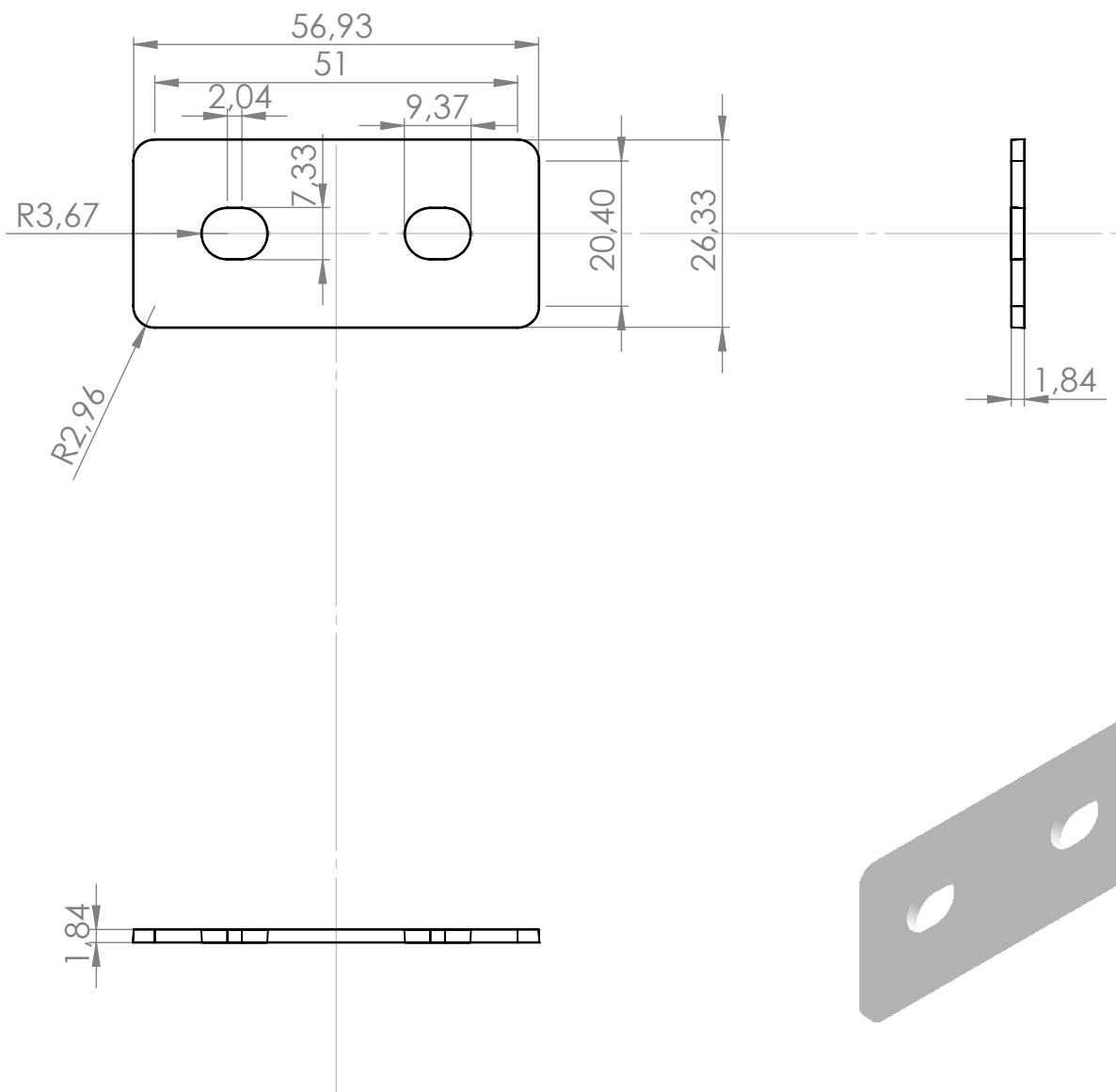
Echelle  
1:1




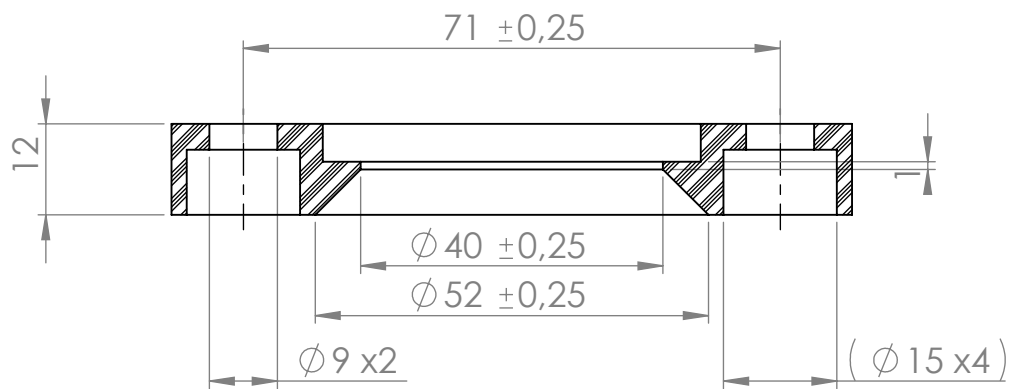
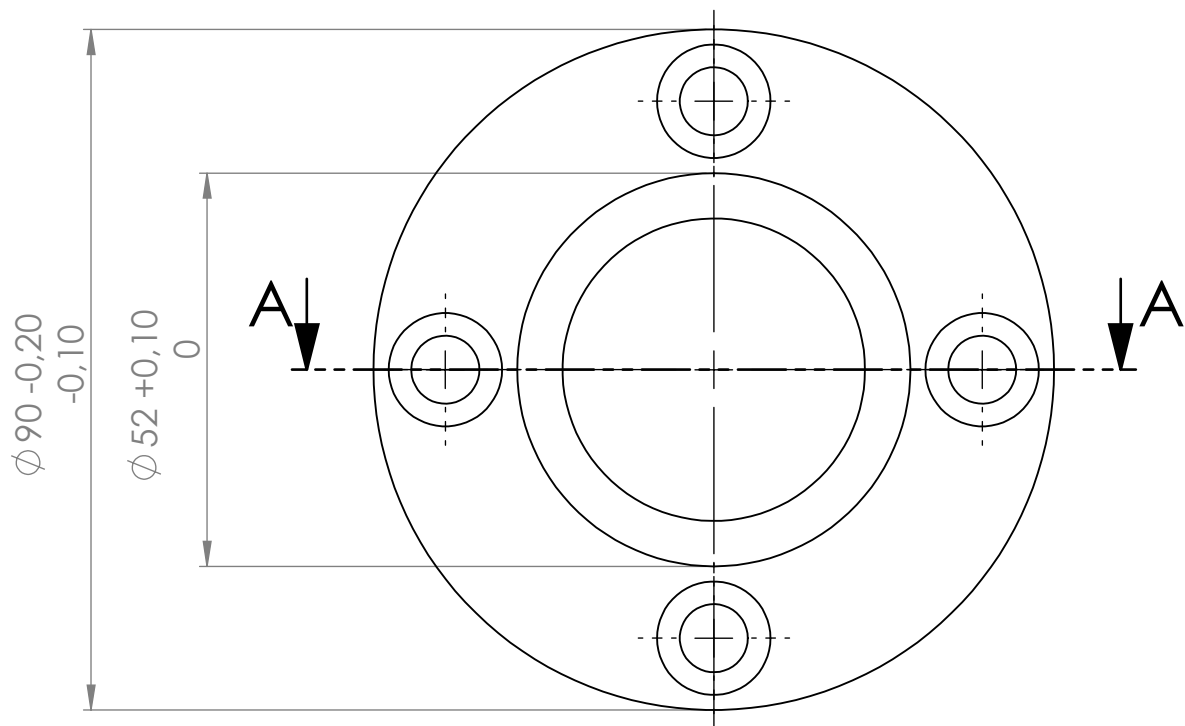
A4

UMMTO-FGC-GM

2020/2021

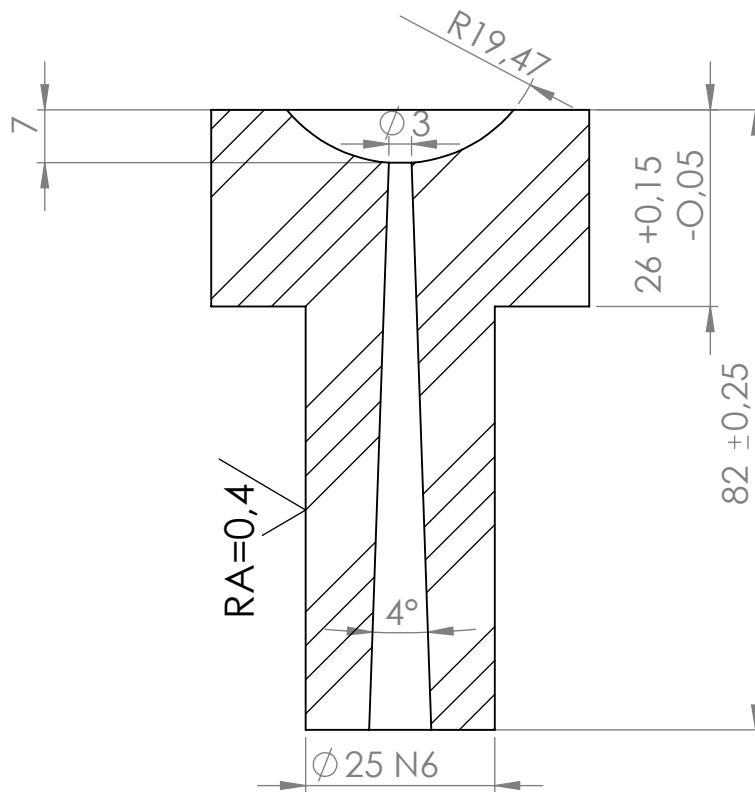


			PSHI	
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
	Echelle 1:1	MOULE D'INJECTION PLASTIQUE POUR ENTRETOISE D'UN REFRIGERATEUR ENIEM FB1-FB2		SEBARGOUD REDOUANE HAMDAOUI SONIA
				
	A4	UMMTO-FGC-GM		2020/2021



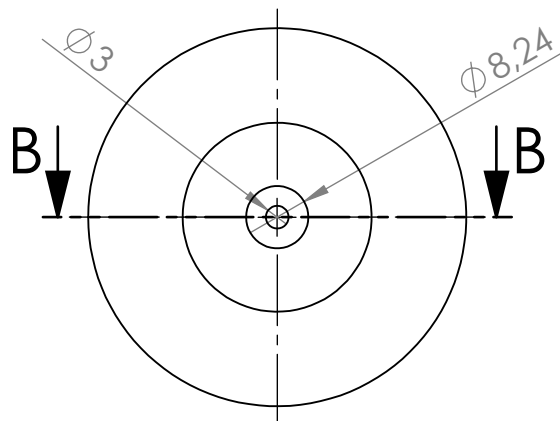
COUPE A-A

Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
		Anneau de centrage	bronze	
Echelle 1:1		MOULE D'INJECTION PLASTIQUE POUR ENTRETOISE D'UN REFRIGERATEUR ENIEM FB1-FB2		SEBARGOUD REDOUANE HAMDAOUI SONIA
A4		UMMTO-FGC-GM		2020/2021



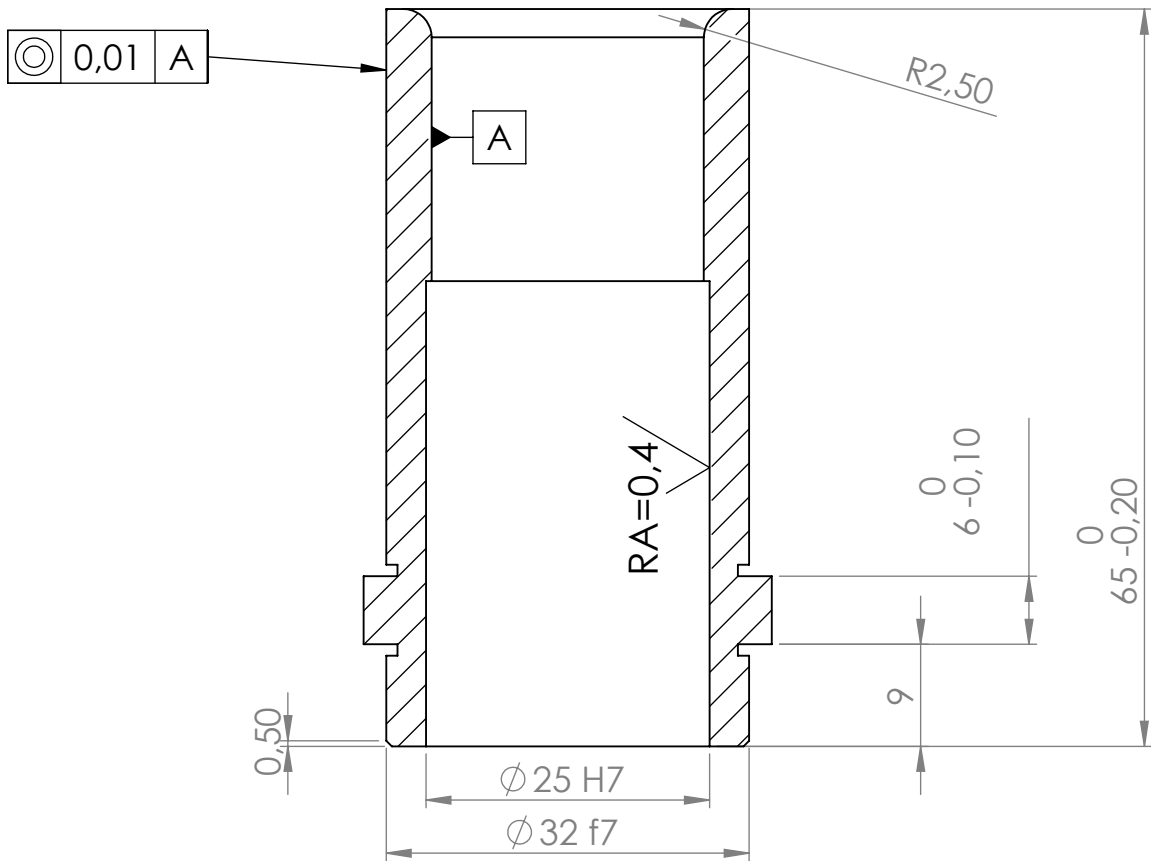
## COUPE B-B

ECHELLE 1 : 1



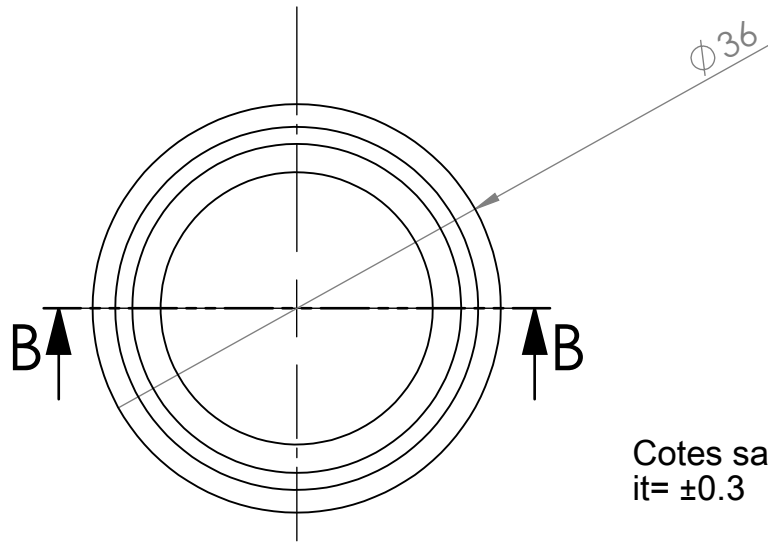
Cotes sans tolérances  
it= ±0.3

Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
		Buse d'injection	35NC15	
		MOULE D'INJECTION PLASTIQUE POUR ENTRETOISE D'UN REFRIGERATEUR ENIEM FB1-FB2		SEBARGOUD REDOUANE HAMDAOUI SONIA
		Echelle 1:1		
		A4	UMMTO-FGC-GM	2020/2021



**COUPE B-B**

ECHELLE 3 : 2



Cotes sans tolérances  
it= ±0.3

Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
		Douille épaulée	bronze	
		MOULE D'INJECTION PLASTIQUE POUR ENTRETOISE D'UN REFRIGERATEUR ENIEM FB1-FB2		SEBARGOUD REDOUANE HAMDAOUI SONIA
		UMMTO-FGC-GM		2020/2021

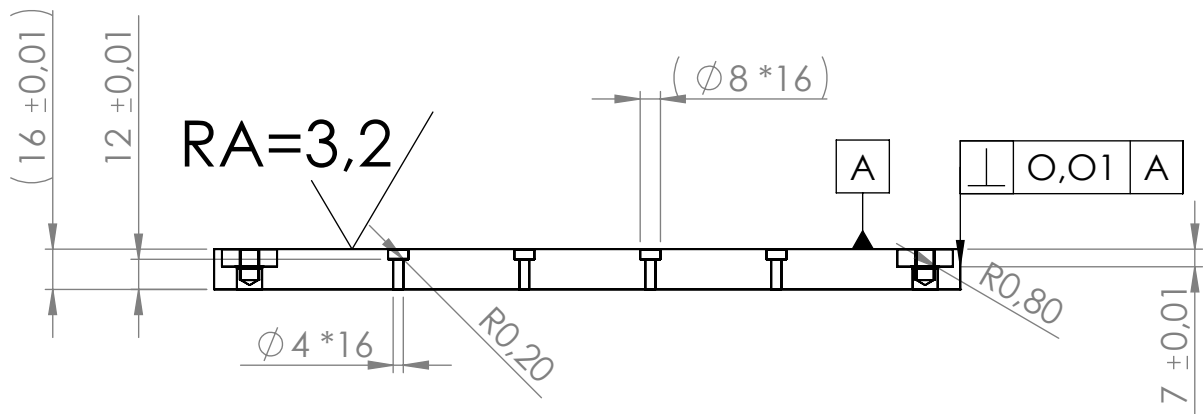
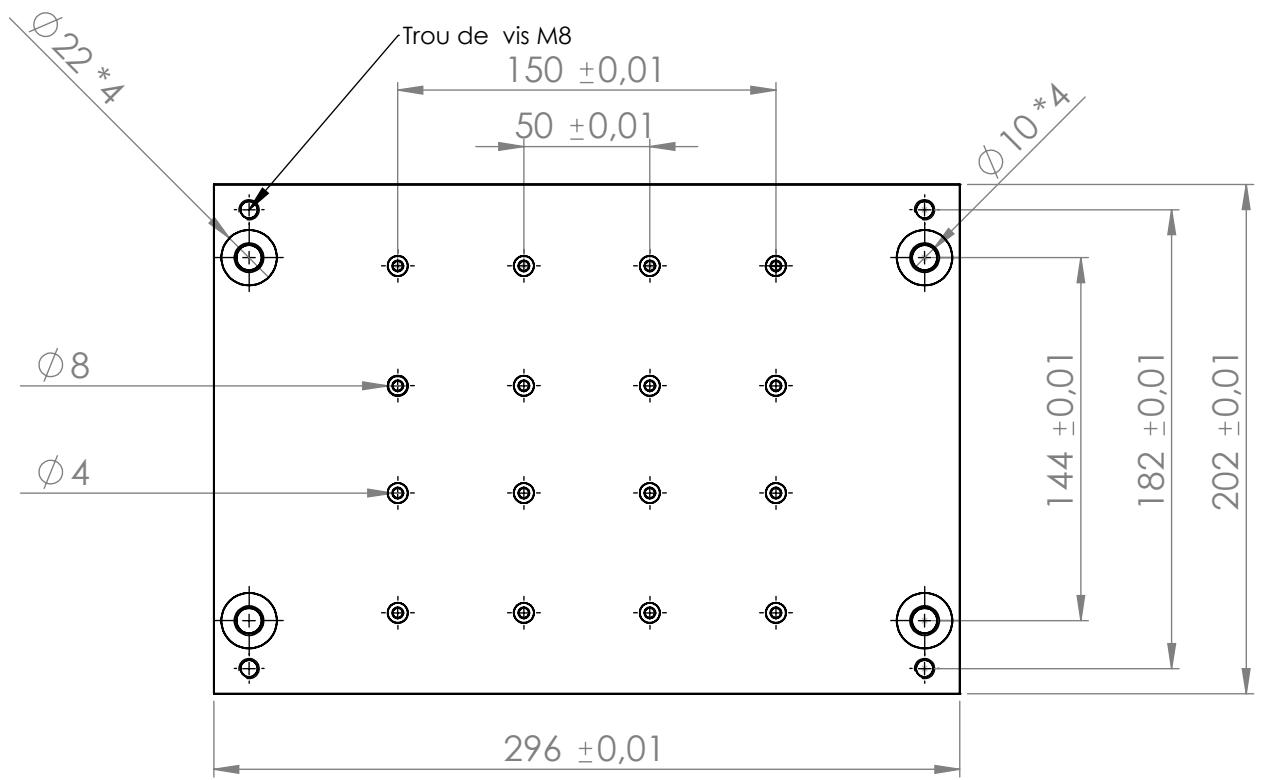
Echelle  
3:2



A4

UMMTO-FGC-GM

2020/2021



Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
		Plaque éjectrice	C45	
		MOULE D'INJECTION PLASTIQUE POUR ENTRETOISE D'UN REFRIGERATEUR ENIEM FB1-FB2		SEBARGOUD REDOUANE HAMDAOUI SONIA
		UMMTO-FGC-GM		2020/2021

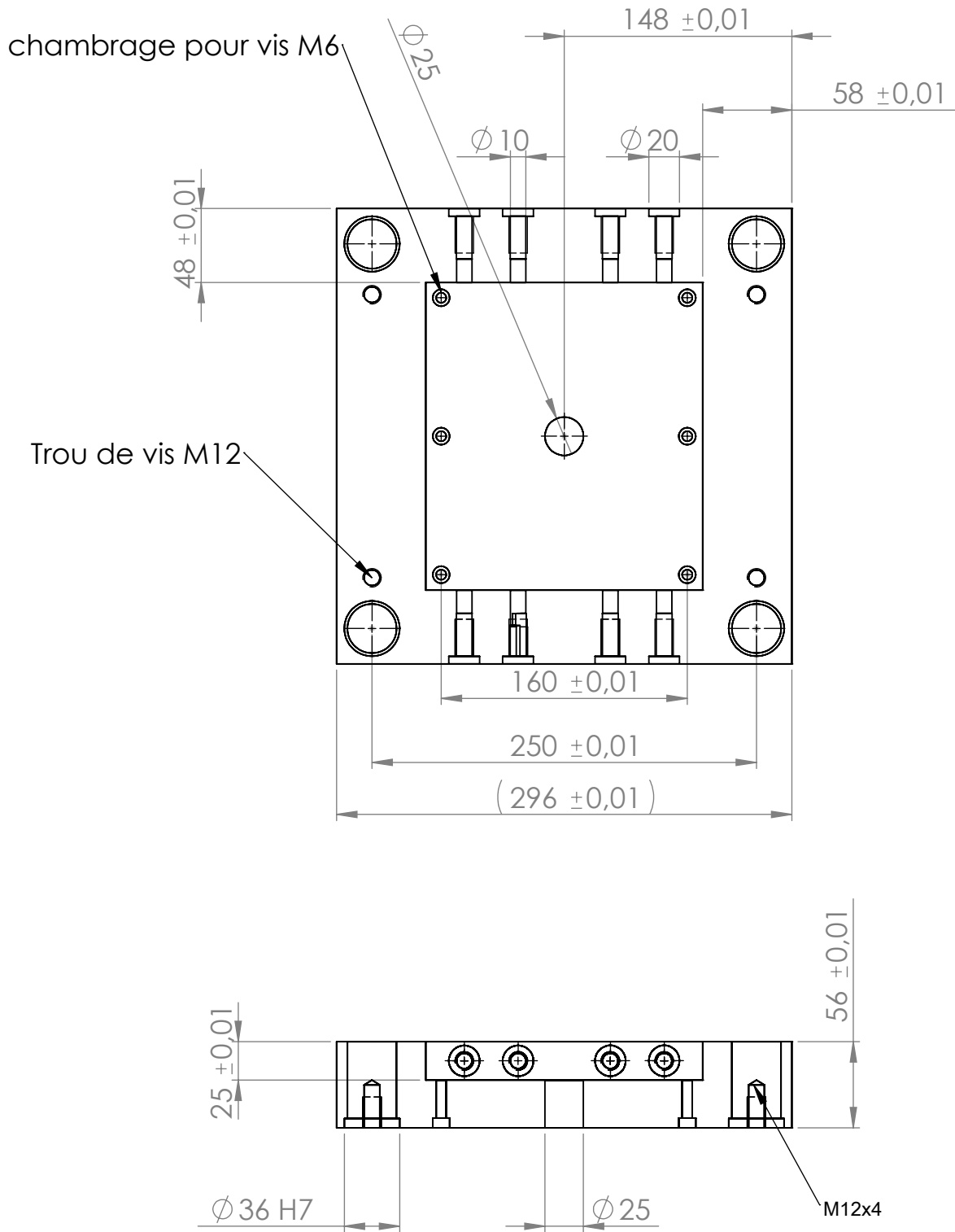
Echelle  
1:3



A4

UMMTO-FGC-GM

2020/2021



Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
		PORTE EMPREINTE FIX	C45	
		MOULE D'INJECTION PLASTIQUE POUR ENTRETOISE D'UN REFRIGERATEUR ENIEM FB1-FB2		SEBARGOUD REDOUANE HAMDAOUI SONIA
		UMMTO-FGC-GM		2020/2021

Echelle

1:4

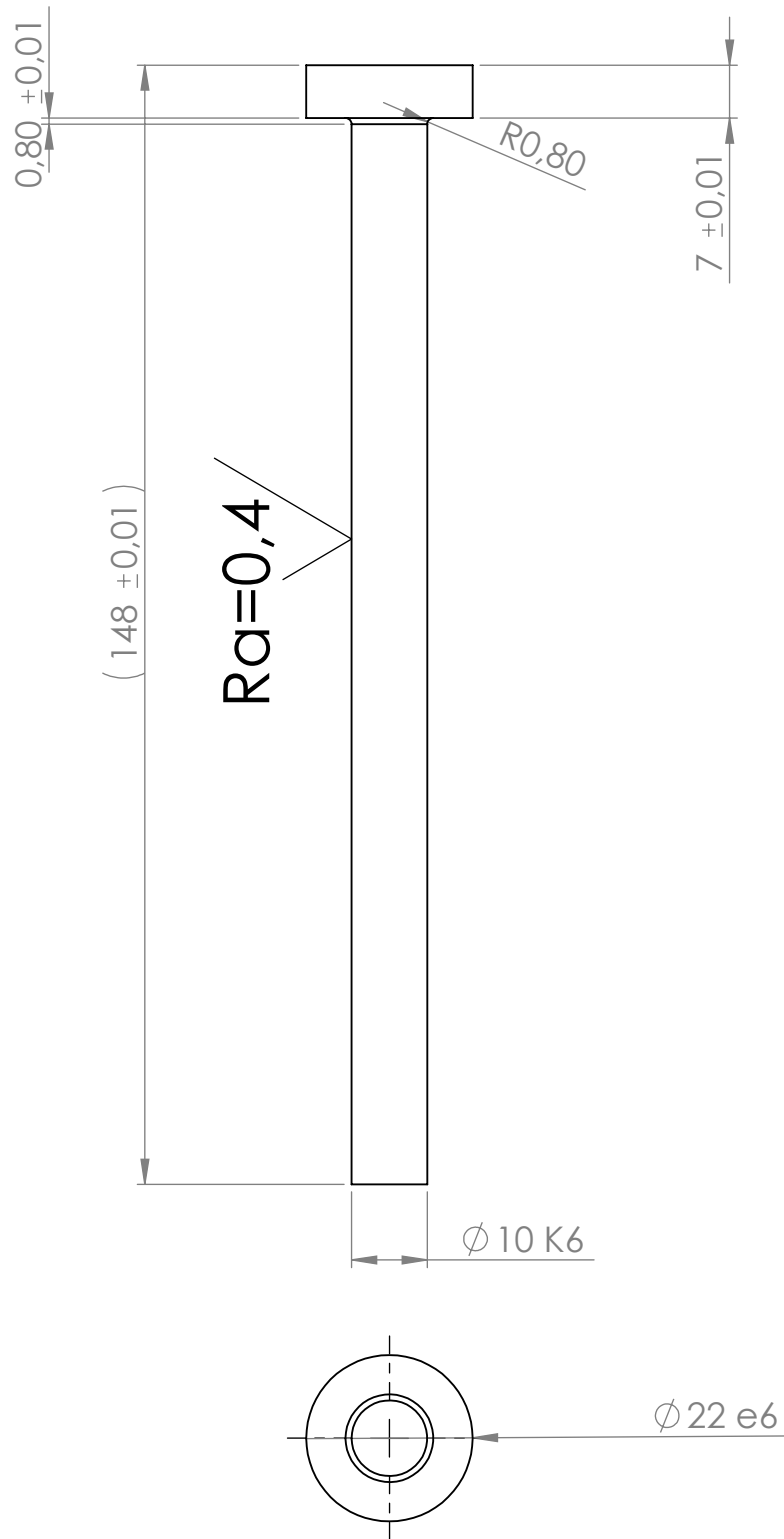


A4

UMMTO-FGC-GM

2020/2021





Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
		Repoussoir	C25	
		MOULE D'INJECTION PLASTIQUE POUR ENTRETOISE D'UN REFRIGERATEUR ENIEM FB1-FB2		SEBARGOUD REDOUANE HAMDAOUI SONIA
		UMMTO-FGC-GM		2020/2021

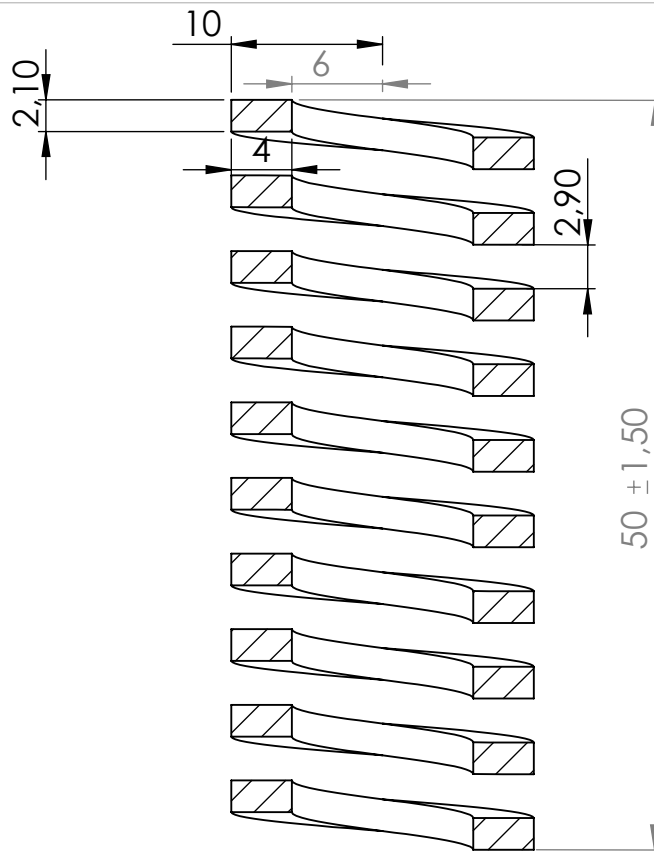
Echelle  
1:1



A4

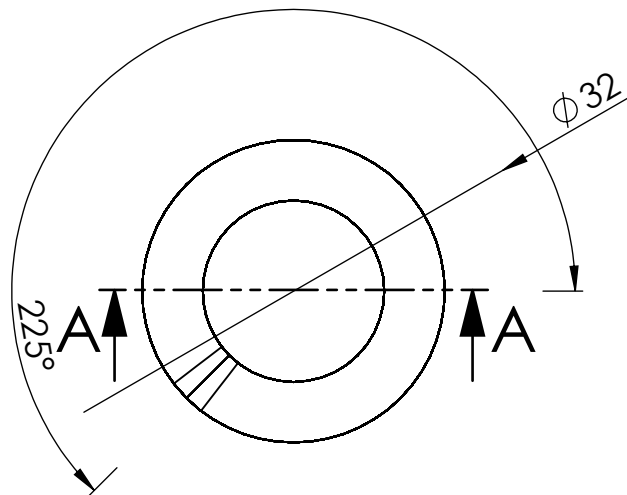
UMMTO-FGC-GM

2020/2021



## COUPE A-A

ECHELLE 2 : 1



Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
		Ressort	51 Si 7	
		MOULE D'INJECTION PLASTIQUE POUR ENTRETOISE D'UN REFRIGERATEUR ENIEM FB1-FB2		SEBARGOUD REDOUANE HAMDAOUI SONIA
		Ummto-Fgc-Gm		2020/2021

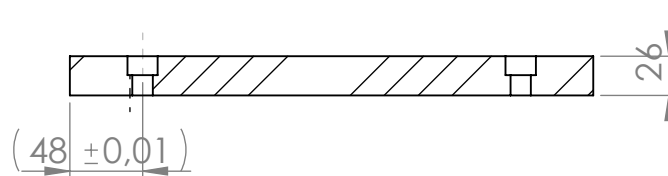
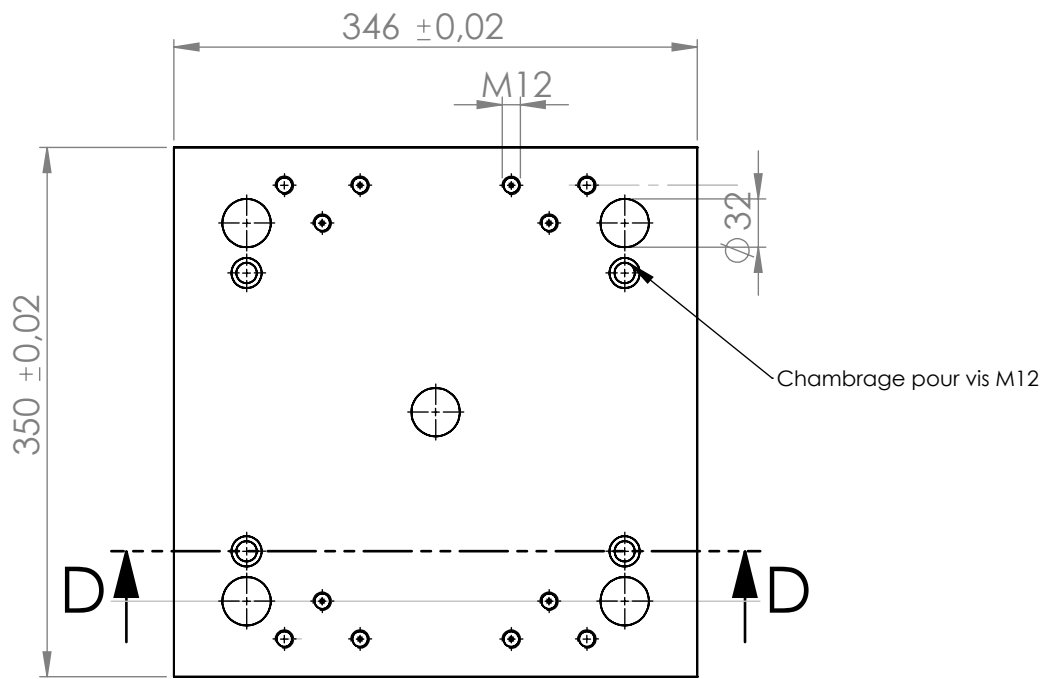
Echelle  
2:1



A4

Ummto-Fgc-Gm

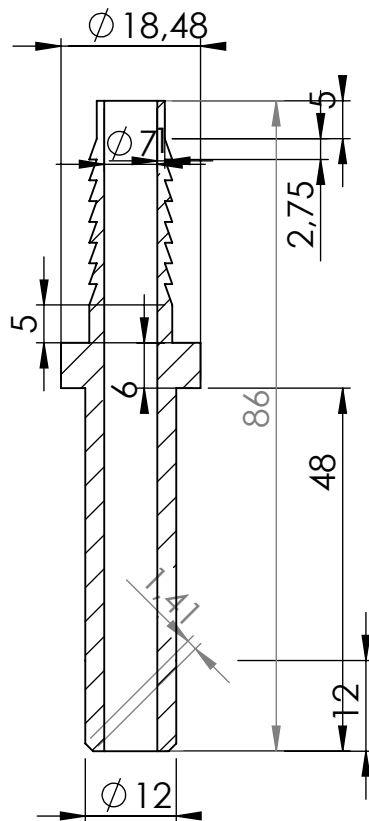
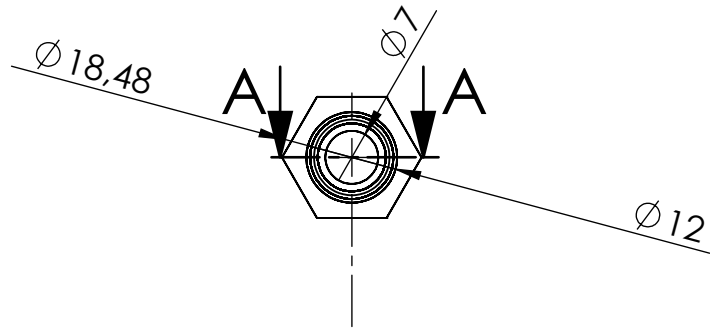
2020/2021



COUPE D-D

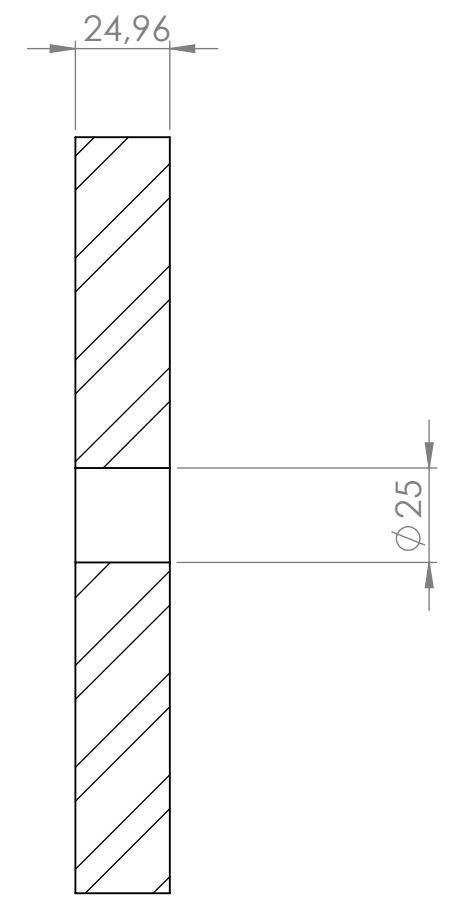
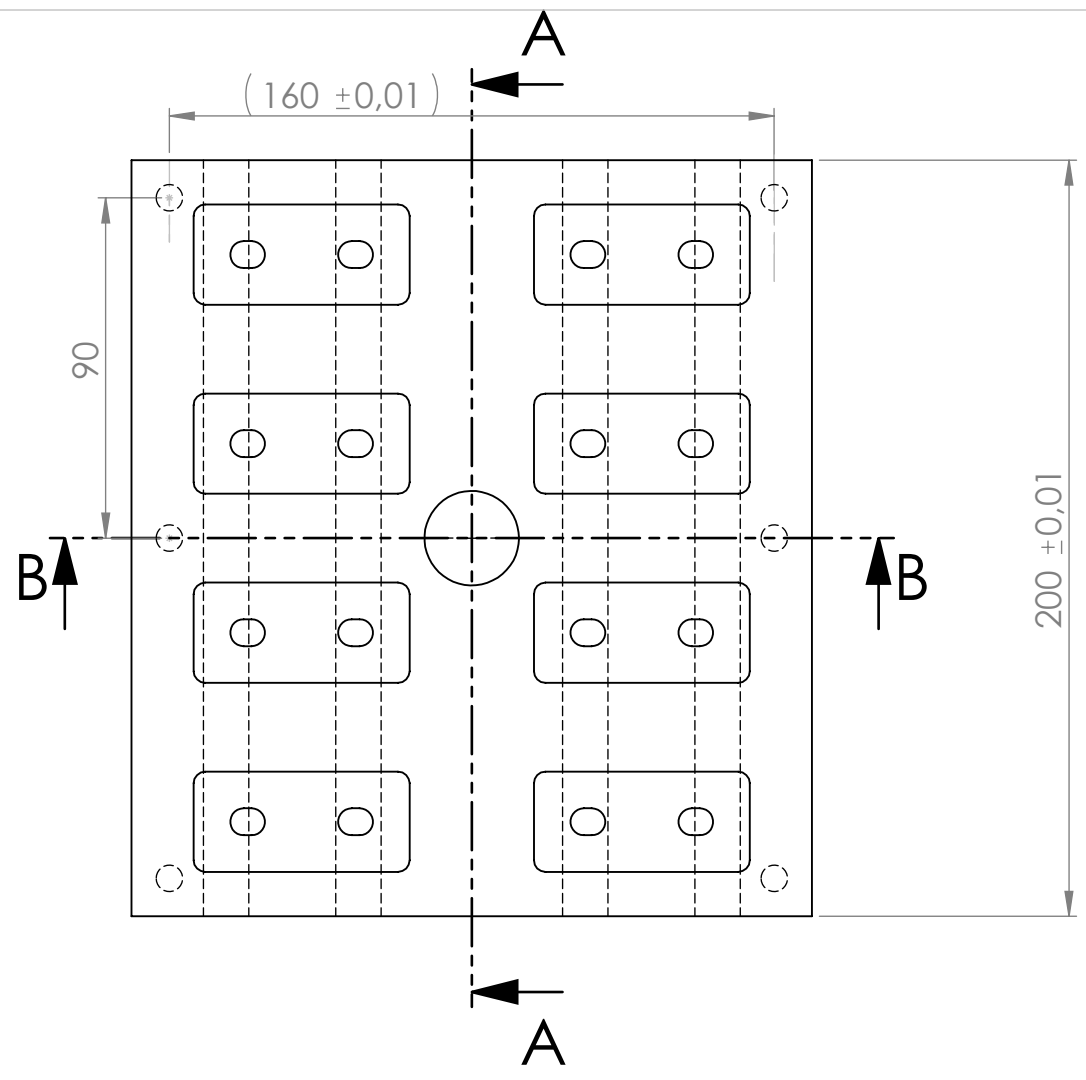
ECHELLE 1 : 5

Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
	Echelle 1:1	MOULE D'INJECTION PLASTIQUE POUR ENTRETOISE D'UN CONGLATEUR		SEBARGOUD REDOUANE HADIOUI SONIA
A4		UMMTO-FGC-GM		2020/2021

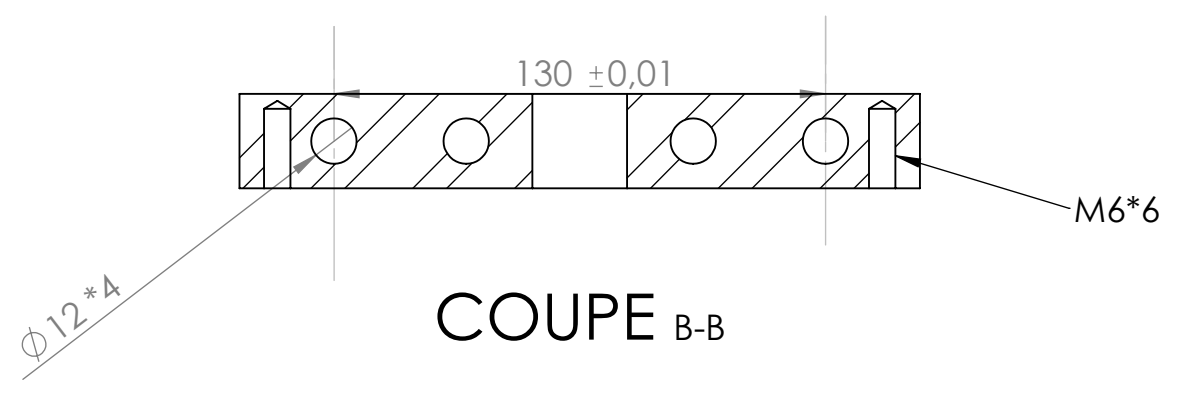


COUPE A-A

Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
		Tétine	bronze	
		MOULE D'INJECTION PLASTIQUE POUR ENTRETOISE D'UN REFRIGERATEUR ENIEM FB1-FB2		SEBARGOUD REDOUANE HAMDAOUI SONIA
		Echelle 2:1		
		A4	UMMTO-FGC-GM	2020/2021

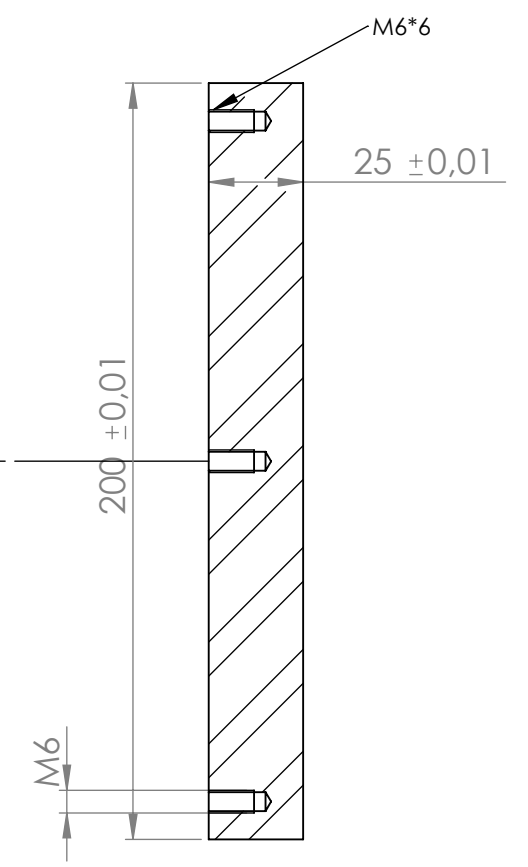
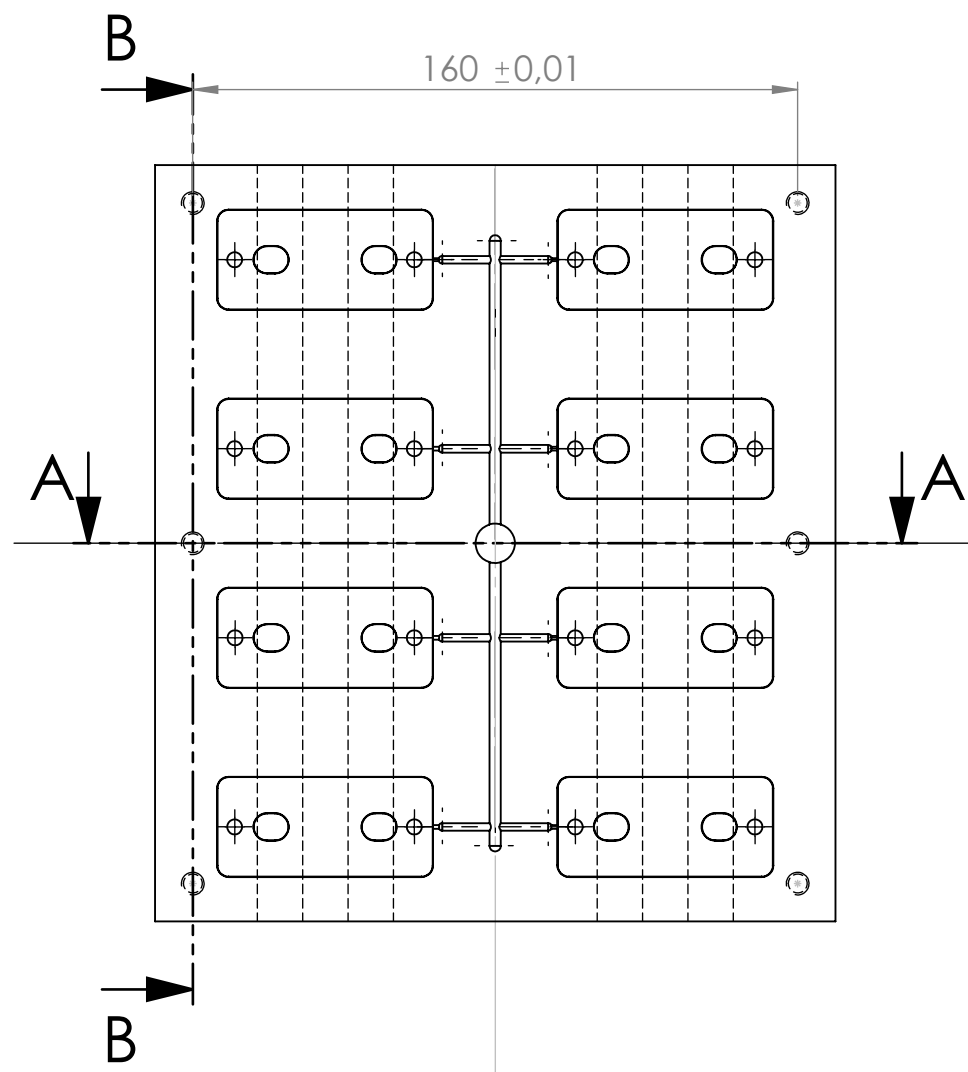


COUPE A-A

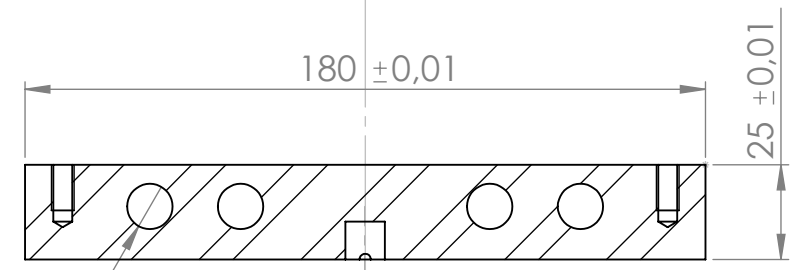


COUPE B-B

Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
		EMPREINTE FIXE	acier allié	
		MOULE D'INJECTION PLASTIQUE POUR ENTRETOISE D'UN REFRIGIRATEUR ENIEM FB1-FB2		SEBARGOUD REDOUANE HAMDAOUI SONIA
		UMMTO-FGC-GM		2020/2021
		Echelle 1:2		
		A3		

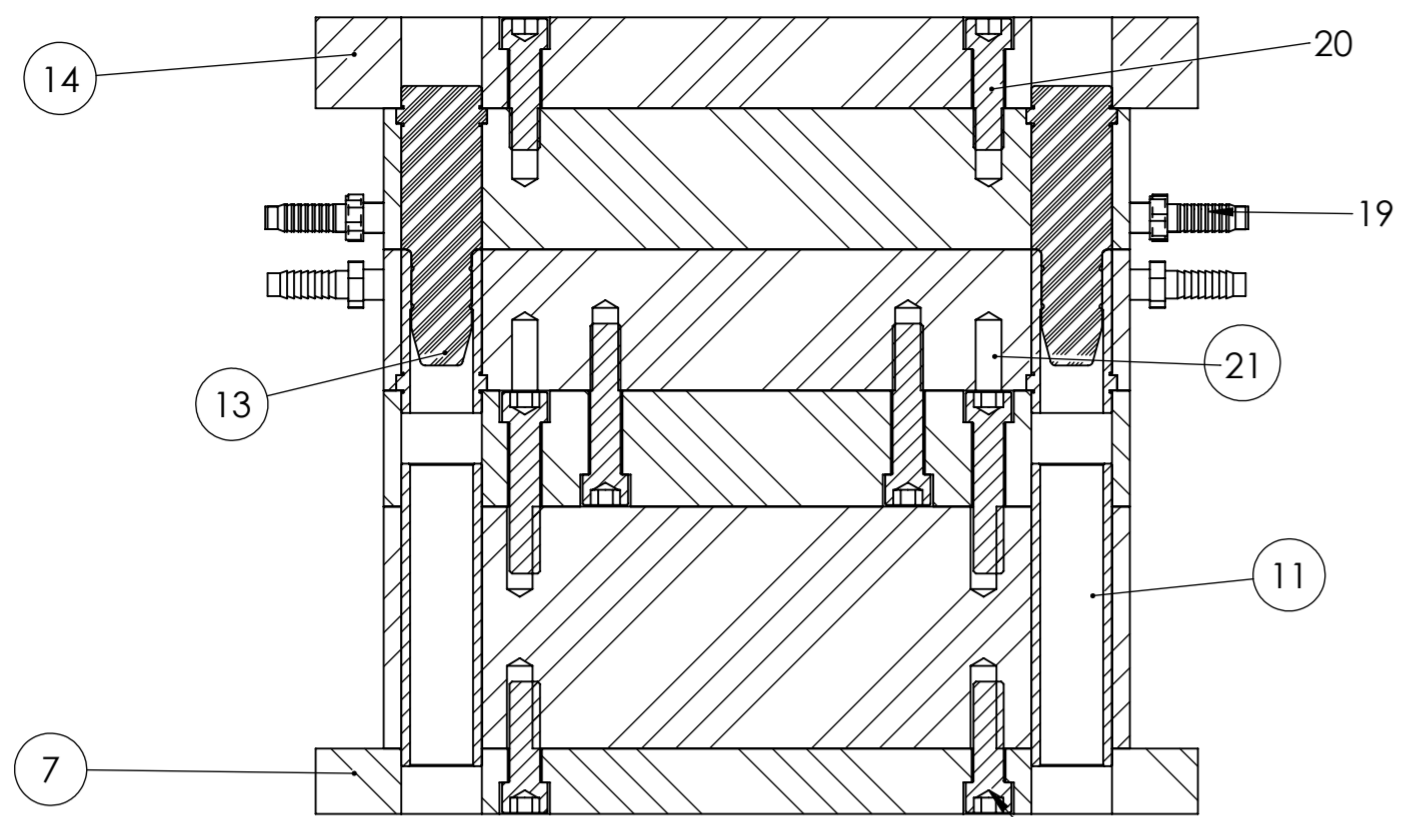


COUPE B-B

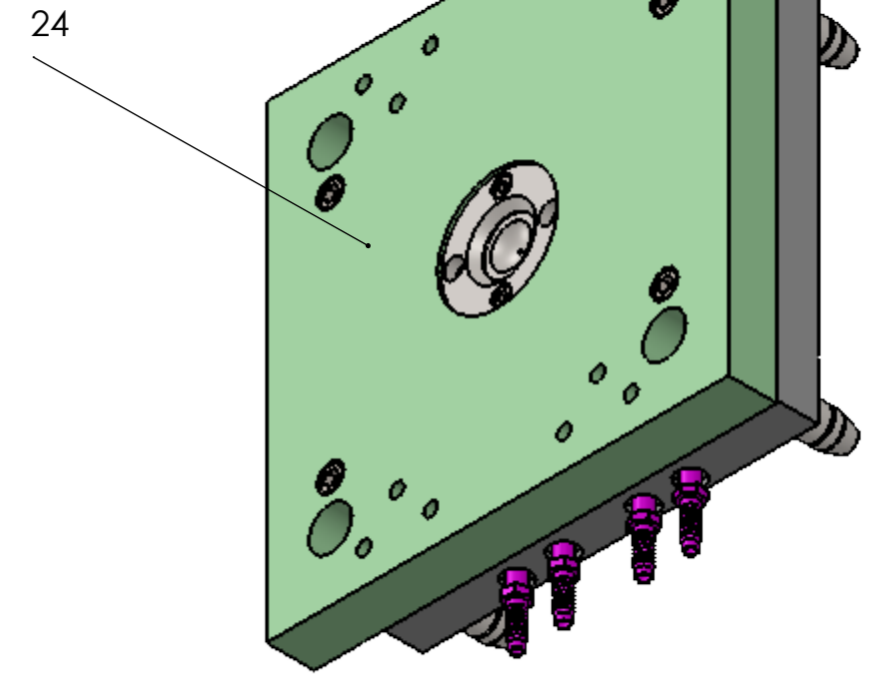
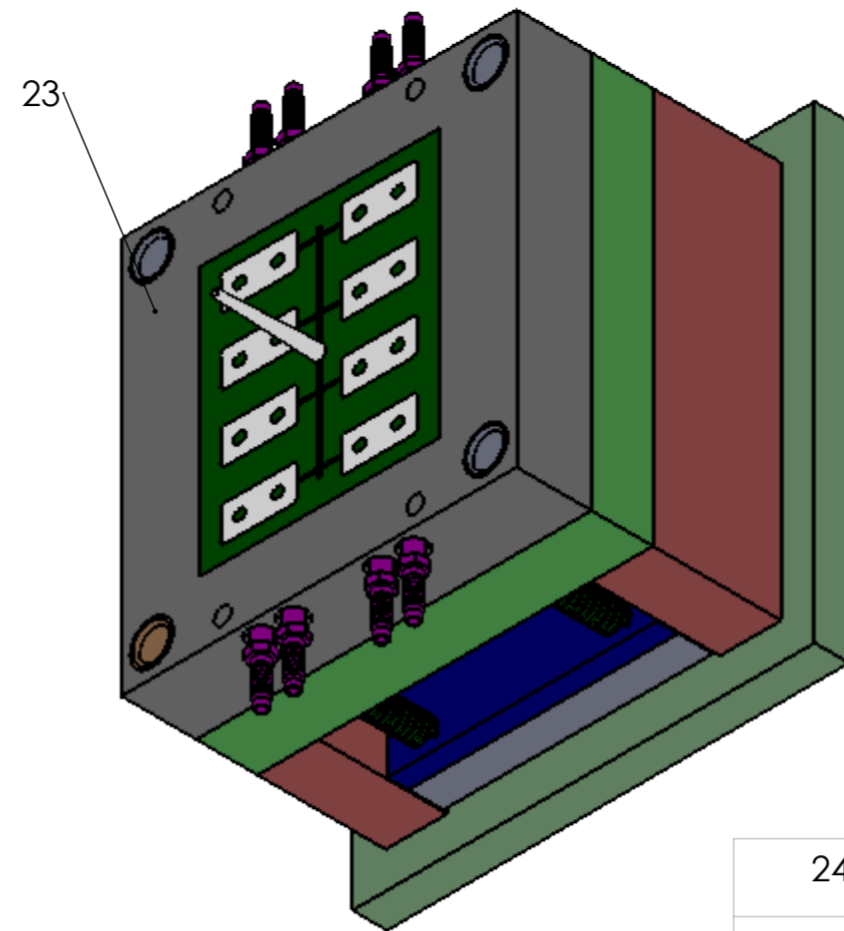


COUPE A-A

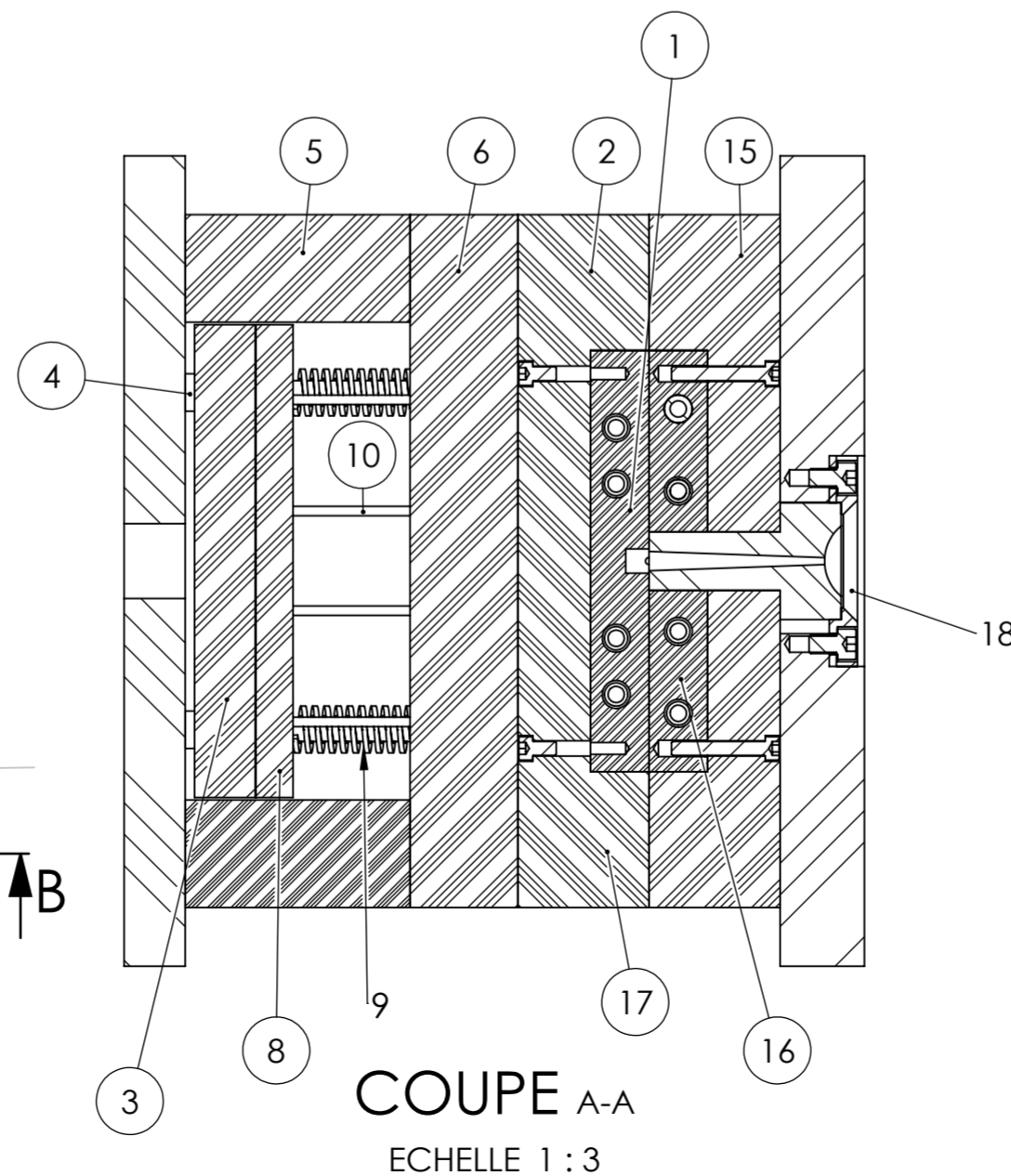
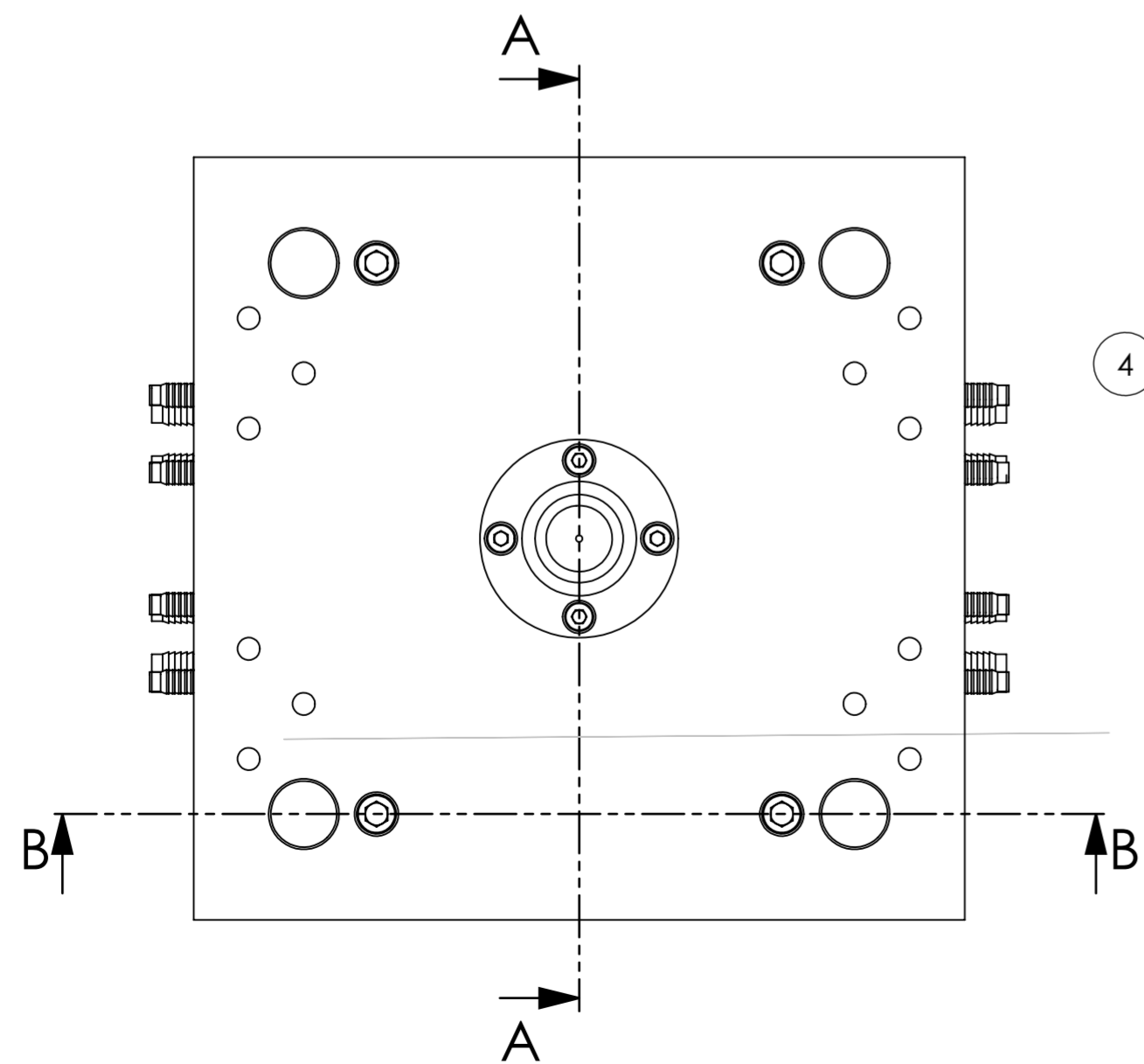
Rep	Nbr	EMPREINTE MOBILE	acier allié	
		Désignation	Matière	Observation
Echelle		MOULE D'INJECTION PLASTIQUE POUR ENTRETOISE D'UN REFRIGIRATEUR ENIEM FB1-FB2		SEBARGOUD REDOUANE HAMDAOUI SONIA
1:2				
A3		UMMTO-FGC-GM		2020/2021



COUPE B-B  
ECHELLE 1 : 3



24	Partie fixe du moule	/	1
23	Partie mobile du moule	/	1
22	Vis CHC M12	/	12
21	Vis CHC M6	/	4
20	Vis CHC M12	/	4
19	Tétine	cuivre	16
18	Anneau de centrage	36NiCrMo16	1
17	Colonne de guidage	C45	4
16	Empreinte fixe	Acier alliée	1
15	Porte empreinte fixe	C45	1
14	Contre plaque fixe	C45	1
13	Douille épaulée FBC	Bronze	4
12	Buse d'injection	35NC15	1
11	Douille TD	bronze	4
10	Ejecteur	Acier nitruré	2
9	Ressort	51Si7	4
8	contr plaque ejective	C45	1
7	contre plaque mobile	C45	1
6	plaque support	C45	1
5	Tasseau	C45	2
4	Butée	acier	4
3	Plaque ejective	C45	1
2	Porte empreinte mobile	C45	1
1	Empreinte mobile	Acier alliée	1
N° Article	DESIGNATION	DESCRIPTION	QTE
Echelle 1:3	MOULE D'INJECTION PLASTIQUE POUR ENTRETOISE D'UN REFRIGERATEUR ENIEM FB1-FB2		SEBARGOUD REDOUANE HAMDAOUI SONIA
A2	UMMTO-FGC-GM		2020/2021



COUPE A-A  
ECHELLE 1 : 3