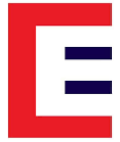




Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou  
Faculté de génie de la construction  
Département de Génie Mécanique

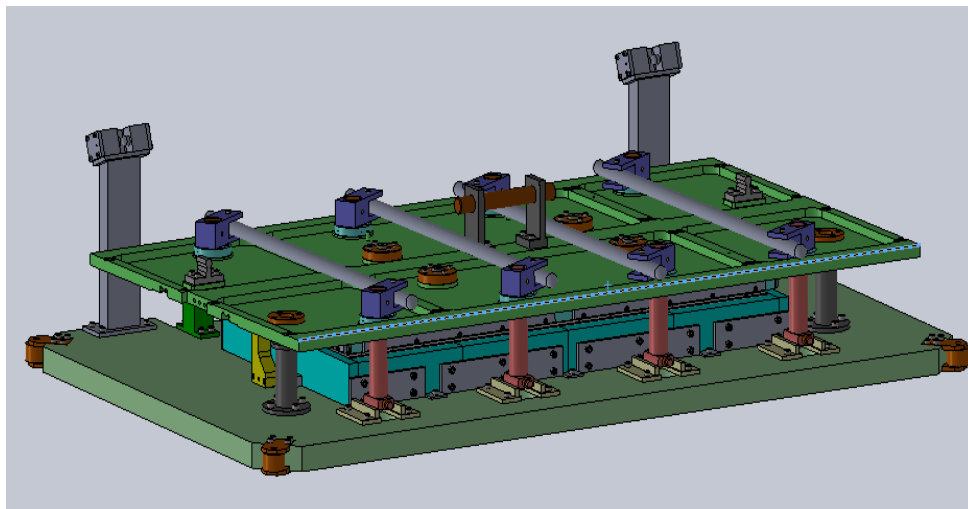


# *MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE*

SPECIALITE : *Génie Mécanique*  
OPTION : *Fabrication Mécanique et Productique*

*Thème :*

*Etude et modification d'un moule de moussage  
thermoplastique de porte congélateur 220F*



*Encadré et orienté par :*  
*M. Kacimi Bachir*

*Proposé par :*  
*M. Hammal Linda*

*Co-encadreur :*  
*TEKLAL Fatiha*

*Présenté par :*  
*ACID Massinissa*  
*BERKANE Abderrahmane*

***PROMOTION 2021/2022***

# Remerciements

## **REMERCIEMENTS**

Nous tenons en premier lieu à remercier le Bon Dieu pour le courage et la patience qui nous donné afin de mener ce projet à terme.

Le projet de fin d'étude présenté dans ce manuscrit a été réalisé en collaboration avec l'Entreprise ENIEM.

Ce travail que nous avons réalisé a été suivi par Madame Hammal Linda et mademoiselle Messaoudane aldjia toute l'équipe d'ingénieurs et de techniciens du secteur moyens productions de l'unité froid, que nous tenons à remercier énormément pour leur aide et leur orientation, tout au long de ce travail. Ils ont su nous faire profiter de leurs connaissances techniques, et de leurs méthodes. Ce fut un réel plaisir de travailler avec eux.

Nous tenons à remercier tout particulièrement, notre promoteur M. Kacimi Bachir, qui a encadré au quotidien notre travail. Son expertise, ainsi que ses conseils avisés ont été très formateurs et d'un très grand secours, au cours de ce projet, ce qui nous a aidé et soutenu tout le long de notre travail.

Nos remerciements vont également aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'examiner et de juger le présent travail.

Nous remercions, sincèrement tout l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation, et nous remercions ainsi, l'ensemble d'étudiants du département de Génie mécanique de l'U.M.M.T.O, pour leurs soutiens, qui nous a beaucoup aidés.

Enfin, nos remerciements vont à tous ceux qui, de près ou de loin, contribuer à l'élaboration de ce projet, en particulier nos familles et nos amis(es)

# Les dédicaces

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à la mémoire de mes Grand-père et ma grande mère  
a mes chers parents que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sentiments pour leurs  
patience illimitée leurs encouragements continue leurs aides en témoignage de mon  
profond respect et gratitude pour leurs grands sacrifices*

*a mes chères frères et sœurs Jugurtha ; Sabrina et Saloua Pour leurs soutient sans  
limite que je salue avec grand plaisir.*

*A mes chers amis (es) Hamza. Rafik. Rachid. Mourad Elqarya. Aissa. Momouh ;  
Hakim ; Aziz. Menad : Yazid ; Mahrez. Abderrahmane. ; Farid Et ma chère Thanina  
que sans eux ce travail n'aurait jamais vu le jour*

*a toute ma famille proche*

*a tous les enseignants et professeurs qui m'ont instruit depuis mon premier pas a  
l'école jusqu'à aujourd'hui*

*ACID Massinissa*

# *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire*

*a ma chère mère, ma chère grand-mère*

*a la mémoire de mon cher grand-père qui est décédé*

*a mon cher oncle et sa femme*

qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler

Pour que je puisse atteindre mes objectifs.

*A mes chers frères et ma belle-sœur,*

*A ma petite sœur,*

pour tous leurs soutiens et leurs conseils précieuses toute au long de mes études.

*a mon cher père et sa femme,*

qui m'ont donné du courage pour dépasser les obstacles que je rencontre dans ma  
vie.

a toute ma famille qui ont cru en moi et qui m'ont doté d'une éducation digne, et  
leurs amour qui a fait de moi ce que je suis aujourd'hui, je vous dis merci infiniment

que dieu vous garde pour moi ;

a tous mes amis qui ont été là et m'ont soutenu soit de près ou de loin.

*a mon cher binôme*

avec qui j'ai eu le plaisir de partagé ce projet et avec qui je n'ai jamais trouvé de  
difficulté.

***Abderrahmane Berhane***

*Percy*

# Sommaire

<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	1
1- Présentation de l'ENIEM.....	2
2-Produits fabriqués .....	2
3-Organisation de l'ENIEM.....	3
<b>Chapitre I : Les matières plastiques</b>	
I.1. Introduction .....	5
I.2. Origine de matière plastique .....	5
I.3.Définition.....	5
I.4.Les familles de matières plastiques .....	6
I.4.1. Les thermoplastiques .....	6
I.4.2. Définition.....	6
I.4.3. Les propriétés des polymères.....	7
I.4.4. Le raffinage et le vapocraquage.....	8
I.4.5. Les réactions de polymérisation.....	8
I.4.6. La mise en forme des thermoplastiques.....	8
I.4.6.1. L'extrusion.....	9
I.4.6.2 L'injection.....	9
I.4.6.3 Le revêtement.....	9
I.5. Les thermodurcissables.....	9
I.5.1. Définition.....	9
I.5.2 La mise en forme des thermodurcissable.....	10
I.6 Les astomères.....	11
I.6.1 Définition.....	11

I.6.2 Les propriétés des polymères.....	12
I.6.3. Les propriétés thermiques .....	12
I.6.4. Les propriétés mécaniques.....	13
I.6.5. Propriétés chimiques.....	13
I.6.7. La formulation des polymères.....	13
I.6.7.1. Les résines.....	14
I.6.7.2. Les charges.....	14
I.7.Conclusion.....	15

## **Chapitre II : Les mousses**

II.1. Introduction .....	16
II.2. Définition .....	16
II.3. Les deux grands types de mousse.....	17
II.3.1. Les mousses liquides .....	17
II.3.1.1 Polyol.....	18
II.3.1.2 Isocyanate.....	18
II.3.1.3 Cyclopentane.....	18
II.3.2. Les mousses solides.....	18
II.4. Formation de la mousse polyuréthane rigide.....	19
II.5. Caractéristiques générales des mousses polyuréthanes rigides.....	20
II.6. Les propriétés de la mousses polyuréthane rigide (PUR).....	21
II.7. Paramètres physique de moussage.....	21
II.8. Conclusion.....	22

## **Chapitre III : Mise en œuvre de matière plastique**

III.1. Introduction.....	23
III.2. L'injection .....	23
III.2.1. Procédé de mise en œuvre par injection plastique.....	24
III.3. L'extrusion .....	24
III.3.1. Principe de l'extrusion monovis.....	24
III.4. Thermoformage.....	25

III.4.1. Présentation.....	25
III.4.2. Moule le pour thermoformage.....	26
III.4.3. Principe.....	26
III.5. Le Roto moulage.....	27
III.5.1 Définition.....	27
III.5.2. Principe de roto moulage.....	27
III.6. Le chauffage.....	28
III.7. Le refroidissement.....	28
III.8. Le démoulage.....	28
III.9. Le calandrage.....	29
III.9.1. Présentation.....	29
III.9.2. Description du procédé.....	29
III.10. Extrusion-soufflage et injection-soufflage.....	30
III.10.1. Présentation.....	30
III.10.2 Extrusion soufflage.....	30
III.10.3. Injection soufflage.....	30
III.10.2 Extrusion gonflage.....	31
III.11. Détails sur l'injection.....	32
III.11.1. Le cycle d'injection.....	33
III.12. Alimentation de moule.....	33
III.12.1. Machine de moussage.....	33
III.12.2. Machine à couler.....	34
III.12.2.1. Unité d'injection.....	34
III.12.3. Réservoir de machine.....	35
III.12.4. Motifs de sélection du moule interne en uréthane.....	36
III.12.5. Rôle de système d'alimentation.....	37
III.12.6. Equilibrage des écoulements dans le canal.....	37
III.12.6.1. Principe de fonctionnement.....	37
III.12.7. Les phases de cycle.....	39

III.12.7.1. La phase de dosage.....	39
III.12.7.2. La phase de remplissage dynamique.....	39
III.12.7.3. La phase de maintien (ou compactage).....	39
III.12.7.4. La phase de refroidissement.....	39
III.12.7.5. La phase d'éjection.....	39
III.13. L'unité de fermeture.....	39
III.13.1. Fermeture mécanique.....	40
III.13.2. Fermeture hydraulique.....	40
III.13.3. Fermeture mixte.....	41
III.14. Démoulage.....	41
III.15. Conclusion.....	41

## **Chapitre IV : Conception**

IV.1. Partie pratique.....	42
IV.1.1. Introduction.....	42
IV.1.2. Structure d'outillage d'injection « Le moule ».....	42
IV.1.3. Fonction mise en forme.....	45
IV.1.4. Fonction guidage / positionnement.....	46
IV.1.5. Bilan des centrages et des guidages.....	47
IV.1.6. Le guidage des parties fixe et mobile du moule.....	47
IV.1.7. Fonction régulation thermique.....	48
IV.1.8. Fonction manutention ; stockage ; sécurité et liaison machine.....	48
IV.1.9. Système de refroidissement.....	49
IV.1.9.1. Circuit de refroidissement.....	49
IV.1.9.2. Rôle du refroidissement.....	50
IV.1.10. Fonction éjection .....	50
IV.1.11. Choix des éjections.....	50
IV.1.12. Mode de fonctionnement du moule.....	51
IV.2. Cahier de charge de L'ENIEM.....	52
IV.2.1. Les caractéristiques de la matière (mousse).....	52
IV.2.1.1. Polyol.....	52
IV.2.1.2. Iso cyanate.....	52

IV.2.1.3. Cyclopentane.....	52
IV.2.2. Les indices et ses équipements.....	53
IV.2.3. Chaîne de moussage .....	53
IV.2.4. Chaîne de moulage par transfert.....	54
IV.2.5. Dispositif d'ouverture .....	55
IV.2.6. Dispositif de positionnement des moules.....	55
IV.2.7. Dispositif de la fermeture.....	56
IV.2.8. Caractéristique sur la pièce .....	56
IV.2.9. La pièce.....	56
IV.2.9.1. Dessin de définition de la pièce.....	57
IV.2.9.2. Le joint.....	57
IV.2.9.3. Dessin de plant de joint.....	58
IV.3. Partie calculs.....	58
IV.3.1. Données de l'ENIEM.....	58
IV.3.1.1. Temps de cycle.....	58
IV.3.1.2. Résultats .....	59
IV.3.3. Calcul de la capacité de réfrigération.....	62
IV.3.4. Pression de refoulement .....	62
IV.3.5. Débit de refoulement.....	62
IV.3.7. Calcul la force de verrouillage.....	62
IV.3.9. Temps de refroidissement.....	63
IV.3.10. Calcul de la conductivité thermique .....	63
IV.3.11. La densité.....	64
IV.4. Conclusion .....	64
Conclusion générale.....	65

## Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Différents types de copolymères .....	6
<b>Figure II.1</b> : Structure d'une mousse liquide.....	16
<b>Figure II.2</b> : Mousse ferme et mousse ouverte.....	17
<b>Figure II.3</b> : différentes mousses solides.....	19
<b>Figure II.4</b> : Croissance cellulaire lors de la formation de mousse PUR rigide.....	20
<b>Figure II.5</b> : évolution d'une mousse.....	20
<b>Figure III.1</b> : Une extrudeuse et ses différentes zones phénoménologiques.....	25
<b>Figure III.2</b> : Profils de vis : zones géométriques.....	25
<b>Figure III.3</b> : Moule pour le thermoformage.....	26
<b>Figure III.4</b> : Les différentes phases d'obtention d'une pièce par roto moulage.....	27
<b>Figure III.5</b> : Principe du calandrage à quatre cylindres.....	29
<b>Figure III.6</b> : Poste d'injection-soufflage de corps creux.....	31
<b>Figure III.7</b> : Extrusion gonflage .....	32
<b>Figure III.8</b> : schéma synoptique de la machine à mousser.....	33
<b>Figure III.9</b> : Machine à couler (à mousser) .....	34
<b>Figure III.10</b> : Principe de fonctionnement de la tête de mélange.....	35
<b>Figure III.11</b> : Réservoirs des produits R et P dans la salle MPU.....	35
<b>Figure III.12</b> : fermeture du moule.....	40
<b>Figure III.13</b> : dessin de fermeture.....	40
<b>Figure IV.1</b> : moule complet.....	43
<b>Figure IV.2</b> : Dessin du moule.....	43
<b>Figure IV.3</b> : Les différentes parties d'un moule d'injection plastique.....	44
<b>Figure IV.4</b> : noyau inférieur.....	44
<b>Figure IV.5</b> : l'empreinte.....	45
<b>Figure IV.7</b> : mise en forme du moule.....	46
<b>Figure IV.8</b> : fonction guidage .....	46
<b>Figure IV.9</b> : positionnement de moule.....	47
<b>Figure IV.10</b> : la colonne de guidage et le porte centreur.....	48
<b>Figure IV.11</b> : accessoires de refroidissement.....	49
<b>Figure IV.12</b> : Schéma de la circulation réfrigérée.....	49
<b>Figure IV.13</b> : déroulement du cycle d'injection.....	51
<b>Figure IV.14</b> : Chaîne de moussage d'uréthane pour portes.....	53
<b>Figure IV.15</b> : Chaîne servant à transporter les moules pour moussage.....	54
<b>Figure IV.16</b> : Dispositif d'ouverture de moule.....	55

<b>Figure IV.17 :</b> Positionnement des moules.....	55
<b>Figure IV.18 :</b> contre porte congélateur 220F.....	56
<b>Figure IV.19 :</b> Dessin technique de la conte porte.....	57
<b>Figure IV.20:</b> joint de profil.....	57
<b>Figure IV.21 :</b> dessin de plan de joint pour la contre porte de congélateur 220F.....	58
<b>Figure IV.22:</b> Changement de température du moule en uréthane.....	60

## **Listes des tableaux**

<b>Tableau I.1 :</b> Les matières thermoplastiques les plus courantes et leurs domaines d'utilisation.....	9
<b>Tableau I.2 :</b> Les matières thermodurcissables les plus courantes et leur domaines d'utilisation.....	10
<b>Tableau I.3 :</b> Les élastomères les plus courants et leurs domaines d'utilisation.....	12
<b>Tableau III.1:</b> les applications courantes des pièces injectées.....	23
<b>Tableau IV.1:</b> les propriétés de Polyol.....	52
<b>Tableau IV.2:</b> les propriétés d'iso cyanate.....	52
<b>TableauIV.3 :</b> propriétés de Cyclopentane.....	52
<b>Figure IV.4 :</b> Chaine de moussage d'uréthane pour portes.....	53

# Liste des symboles

## Liste des symboles

$Q_1$  : Quantité de chaleur nécessaire pour la réfrigération [kcal/h]

$Q_2$  : Quantité de chaleur nécessaire pour refroidir le liquide brut [kcal/h]

$Q_3$  : Quantité de chaleur dégagée par la pompe [kcal/h]

$k$  : Coefficient de transmission thermique [kcal/m<sup>2</sup>.h.°C]

$A$  : Superficie de réservoir d'eau de refroidissement [m<sup>2</sup>]

$W$  : Poids du liquide brut (eau) [kg]

$C_p$  : Chaleur spécifique du liquide brut (eau) [kcal/kg]

$T_0$  : Température de l'air ambiant [°C] (prévision)

$T_i$  : Température dans le réservoir [°C]

$E$  : Capacité nominale du moteur [kw]

$W$  : Poids du réservoir d'eau de refroidissement [kg]

$T$  : Taux de dégagement de chaleur

$e$  : Taux de charge à la capacité nominal du moteur

$T_e$  : Taux d'engagement

$P$  : pression [ kg/cm<sup>3</sup>]

$F_v$  : force de verrouillage [Newton]

$S$  : section de porte [m<sup>2</sup>]

$V_i$  : Volume injectable [L]

$F_v$  : Force de verrouillage [N]

$P_m$  : pression de la matière [bar]

$S_f$  : surface frontale de la pièce [cm<sup>3</sup>]

$S$  : épaisseur de la pièce [mm]

**a** : diffusivité thermique de la matière injectée [ $\text{mm}^2/\text{s}$ ]

**$\theta_i$**  : température d'injection [ $^{\circ}\text{C}$ ]

**$\theta_M$**  : température du moule [ $^{\circ}\text{C}$ ]

**$\theta_{dém}$**  : température de démoulage [ $^{\circ}\text{C}$ ]

**$\lambda$**  : La conductivité thermique [ $\text{W}/\text{m.K}$ ]

**Q** : quantité de chaleur transféré kcal/h]

**d** : épaisseur de l'isolant [cm]

**A** : surface de la porte [ $\text{cm}^2$ ]

**$\Delta T$**  : différence de température [ $^{\circ}\text{C}$ ]

**D** : Diamètre d'un cylindre en [cm]

**H** : Hauteur d'un cylindre en [cm]

**V** : Volume en [ $\text{cm}^3$ ]

**d** : La densité (sans unité)

**$\rho_{\text{corps}}$**  : La masse volumique du corps [ $\text{Kg}/\text{m}^3$ ]

**$\rho_{\text{ref}}$**  : La masse volumique du corps de référence [ $\text{Kg}/\text{m}^3$ ].

**R** : La résistance thermique [ $\text{m}^2.\text{K}.\text{W}^{-1}$ ]

**e** : L'épaisseur de la mousse des parois du congélateur[m]

**$\lambda$**  : La conductivité thermique [ $\text{W}.\text{K}^{-1}.\text{m}^{-1}$ ]

# Introduction générale

## Introduction générale

La révolution industrielle a été l'avènement de la fonte et de l'acier, et nous vivons aujourd'hui dans un monde dominé par le plastique. Les applications dans les domaines de l'électrotechnique, de l'énergie électrique, la médecine, la construction, des transports, l'agriculture et d'autres domaines deviennent de plus en plus courantes. Le moulage par injection thermoplastique est l'un des procédés de moulage de polymères les plus largement utilisés aujourd'hui. Il est généralement utilisé dans la production de très grandes séries telles que les automobiles, les appareils électroménagers, les articles de sport et les produits de santé, ou dans la production de petites séries dans le domaine de l'aviation. Il permet une production automatisée à grande vitesse, à faible coût et à haute régularité de grandes pièces et de formes complexes.

Dans ce mémoire, nous avons un moule d'injection plastique qui produit une contre porte congélateur 220 F, construite avec des vis, l'entreprise veut faire un changement. Elle utilise les vis pour fixer le joint ; cette solution pose un problème technique et économique c'est pour cela elle nous a confié la mission de modifier et concevoir un moule pour la fabrication de nouvelle pièce.

Nous voulons construire un noyau de moussage (changer une solution par une autre) qui va nous permettre de mettre en place une rainure a la place des vis. Afin d'effectuer notre travail, nous avons confiés l'étude de ce moule d'injection plastique à la modification de noyau interne (les repères des vis par une rainure) ; dont le joint prendre sa place dans ce dernier, il s'agit d'une opération qui va nous faire gagner le temps ; la main d'ouvre ; plus de fraîcheur et aussi une diminution de température.

Ce travail s'articule donc autour de quatre chapitres, le premier chapitre étudié les notions fondamentales sur les polymères, le second chapitre est consacré à la présentation de la mousse, le 3ème chapitre se consacre à l'étude de comportement des matériaux polymères (mise en œuvre des polymères). Dans le chapitre IV, nous présenterons les techniques expérimentales utilisées avec une présentation des résultats et leurs interprétations. Enfin une synthèse du travail sera donnée dans la conclusion générale.

# Présentation de l'ENIEM

## **I. Présentation et organisation de l'ENIEM**

ENIEM (Entreprise Nationale des Industries de l'Electro-Ménager) est une entreprise publique de droit Algérien constituée le 2 janvier 1983 mais qui existe depuis 1974 sous tutelle de l'entreprise SONELEC (société nationale de fabrication et de montage de matériel électronique et électrique).

Son siège social est situé au chef-lieu de la wilaya de Tizi Ouzou. Les unités de production froid, cuisson, et climatisation sont implantées dans la zone industrielle Aissat Idir d'Oued Aissi, distante de 7 Km du chef-lieu de wilaya. Les filiales sanitaire et lampe sont installées respectivement à Miliana wilaya de Ain Defla et Mohammadia, wilaya de Mascara.

L'ENIEM a été transformée juridiquement en société par action le 08 octobre 1989. Son capital social est de 10 279 800 000 DA détenu en totalité par la SGP INDELEC.

## **II. Produits fabriqués**

### **1. Produits froid**

- Réfrigérateurs (10 modèles) ;
- Conservateurs vitrés (2 modèles) ;
- Congélateurs bahut (2 modèles).

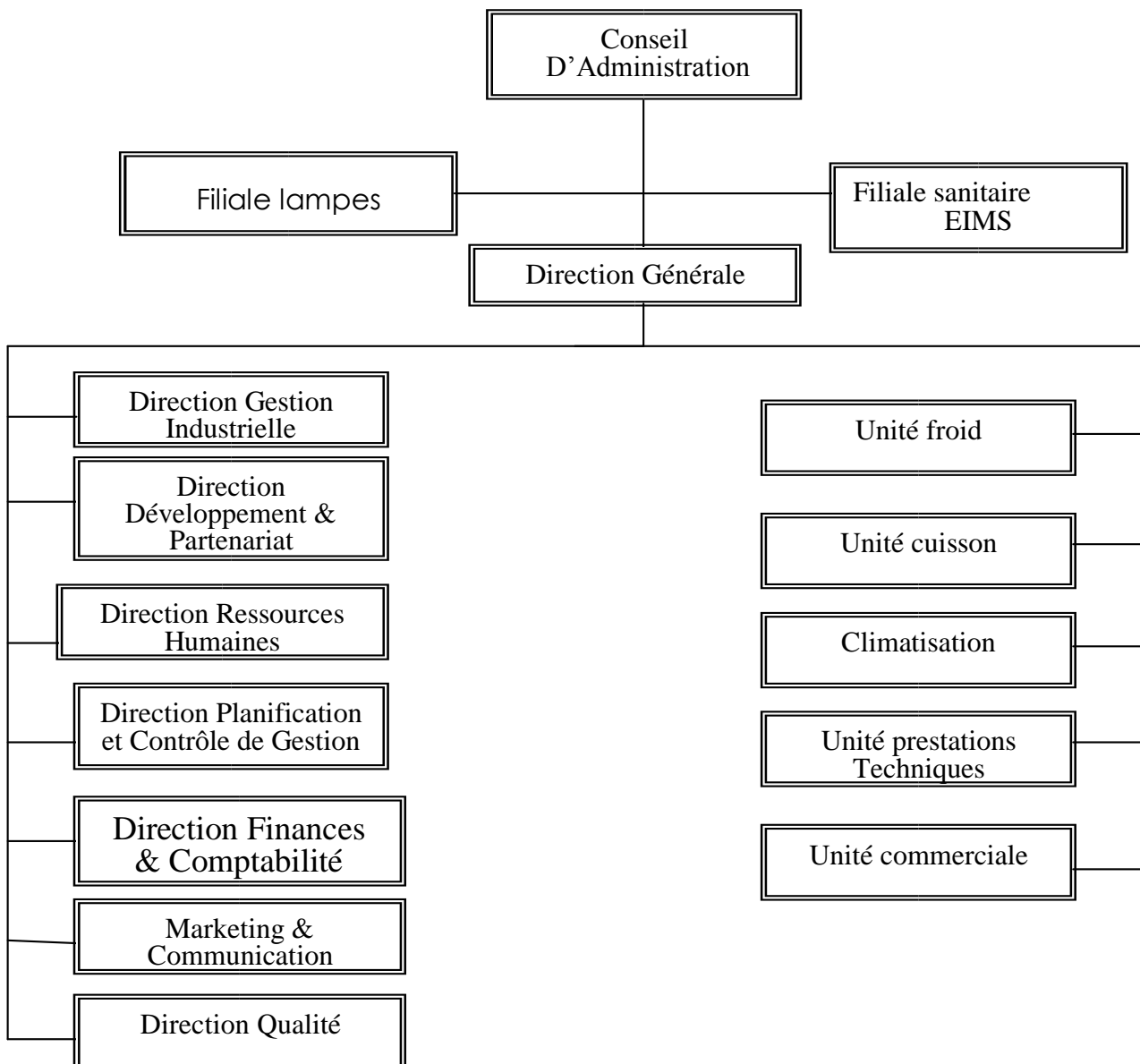
### **2. Produits cuisson**

- Cuisinière 4 feux (5 modèles) ;
- Cuisinière 5 feux (2 modèles).

### **3. Produits de climatisation et autres**

- Climatiseurs split système (de 9.000 à 24.000 BTU) ;
- Machine à laver 7 kg ;
- Chauffe-eau 10 L ;
- Radiateur à gaz butane.

### III. Organisation générale de l'entreprise



#### - Métier de l'ENIEM

L'Entreprise utilise plusieurs métiers technologiques pour la fabrication de ses produits notamment

#### - Transformation plastiques.

- Injection plastique ;
- Injection polystyrène ;
- Thermoformage de plaque ;
- Plastification.

#### - Transformation de tôles.

- Refendage ;

- Découpage ; pliage ; emboutissage ...
- **Transformation de tubes et fils.**
- Redressage et coupe ;
- Pliage ; formage.
- **Soudage**
- Par points ;
- Par induction ;
- Brasage.
- **Traitements et revêtement de surfaces.**
- Peinture électrostatique (liquide) ;
- Emaillage ;
- Décapage, phosphatation ;
- Zingage, chromage et nickelage.
- **Moussage**
- Injection de polyuréthane.
- **Contrôle qualité des produits**
- A la réception ;
- En cours de fabrication.
- **Maintenance des équipements et moyens de production**
- Production et distribution d'eau chaude et surchauffée et d'air comprimé ;
- Distribution de gaz (Cyclopentane, Azote, Argon.)
- **Contrôle et analyse**
- Chimie ;
- Métallurgie ;
- Essais produits.
- **Fabrication mécanique**
- Tournage, fraisage, rectification ;
- Usinage par électroérosion.
- **Traitement thermique**
- **Fonctions de soutien technique.**
- Etudes produits ;
- Méthodes fabrication ;
- Ordonnancement.

# Chapitre I : Les matières plastiques

**I.1. Introduction**

Les plastiques sont utilisés dans tous les domaines comme l'électronique, l'électrotechnique, l'anticorrosion, l'automobile, la médecine, le bâtiment, les transports, l'agriculture, etc. Ils font un usage de plus en plus courant.

Les premiers plastiques artificiels résultaient de la transformation chimique des polymères naturels tels que le caoutchouc, la cellulose et la caséine. Généralement, les polymères artificiels ne sont pas utilisés à l'état pur, mais mélangés à des substances miscibles ou non dans la matrice polymère.

La structure de la formule d'un plastique est la suivante :

Matière plastique = polymères bruts + charges + plastifiants + additifs

**I.2. Origine de la matière plastique**

Les polymères naturels ont été parmi les premiers matériaux utilisés par l'homme comme les bois et fibres végétales, cuir, tendons d'animaux, laine, etc.

La notion de macromolécule n'est apparue que tardivement dans l'histoire de la science des matériaux. Bien que présagée par certains chercheurs au début du XIX<sup>ème</sup> siècle, ce n'est que vers les années 1920-1930 que l'idée de macromolécule est acceptée par les chercheurs. Le développement industriel consécutif de la science macromoléculaire a été accéléré ensuite par la seconde guerre mondiale, quand les États-Unis ont été privés de leur approvisionnement en caoutchouc naturel en provenance d'Asie du Sud-Est, lors de leur entrée en guerre, alors ils ont lancé un immense programme de recherche visant à trouver des substituts de synthèse des plastiques [1].

**I.3. Définition**

Le terme "matière plastique" réfère premièrement à un état de fusion à haute viscosité, ce qui est une propriété importante pour la transformation.

Un deuxième élément de la définition est la structure organique de cette matière. Leur structure chimique est proche de celle d'une matière organique naturelle, d'origine animale ou végétale. Les matières premières pour la synthèse des plastiques sont d'ailleurs des fractions ou des dérivés du pétrole, lui-même résidu d'un monde animal et végétal abondant dans un passé lointain.

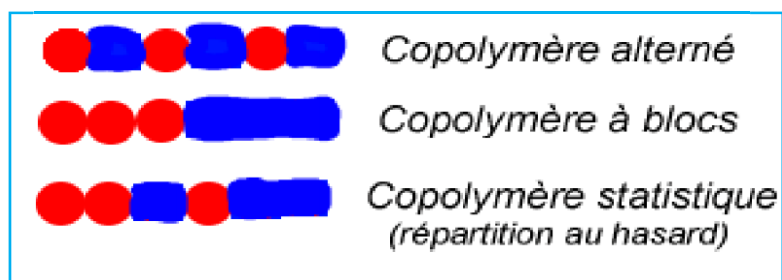
Le troisième aspect est la structure macromoléculaire, le chimiste fait la synthèse des plastiques en liant entre eux des composants chimiques élémentaires appelés les monomères. Ces monomères sont des molécules simples, composées de quelques atomes. Les nouvelles structures ainsi obtenues,

les macromolécules ou « polymères » contiendront des milliers d'atomes. Cette technique de synthèse est appelée en général « polymérisation ».

On distingue deux types de polymères, les homopolymères, qui sont la répétition d'une unique structure moléculaire et les copolymères, qui sont la répétition de plusieurs structures différentes. Ils existent plusieurs types de copolymères suivant la manière dont les motifs monomères sont répartis dans les chaînes moléculaires :

- Copolymère statistique : les différents motifs monomères se mélangent en fonction de la réactivité et de la concentration de ceux-ci.
- Copolymère séquencé : il peut être un copolymère à blocs ou un copolymère alterné [2].

La figure I.1 représente les différents types de copolymères



**Figure I.1** : Différents types de copolymères

## **I.4. Les familles de matière plastique**

### **I.4.1. Les thermoplastiques**

Les matières thermoplastiques se ramollissent et deviennent malléables quand ils sont chauffés, ce qui permet leur mise en forme ; elles peuvent même être fondues bien que cet état de fusion soit toujours très visqueux, très pâteux, le changement d'état solide/liquide ou pâteux peut se faire plusieurs fois mais avec une perte de caractéristiques à chaque cycle.

### **I.4.2. Définition**

Les thermoplastiques, sont composés de macromolécules de structure linéaire, éventuellement avec des ramifications, ces macromolécules se déforment, elles peuvent même se déplacer sous l'action combinée d'une force extérieure et de l'agitation thermique [2].

Les thermoplastiques ont un point de fusion et ils comportent deux classes : les amorphes et les cristallins.

**a) Les amorphes**

Ils n'ont pas d'ordre apparent (structure semblable à un liquide) et pas de température de fusion précise, mais ils présentent une phase de ramollissement.

Ils sont caractérisés par un faible retrait, une tenue au choc, une tenue dimensionnelle et une résistance au fluage.

**b) Les semi-cristallins**

Ils ont une structure ordonnée dans une matrice amorphe. Le taux de cristallinité donne l'importance de la structure cristalline dans l'ensemble de la matière. Ce taux dépend de la matière et du refroidissement lors du moulage.

**I.4.3. Les propriétés des polymères**

Le développement de l'utilisation des matières plastiques dans tous les secteurs d'activités s'explique par le fait que les polymères sont, par leurs propriétés, en parfaite adéquation avec les applications envisagées ; chaque polymère ayant des propriétés qui lui sont propres. Les matières plastiques ont su se substituer à d'autres matériaux car :

- Leur densité est faible (légèreté) ;
- Leur coût est peu élevé ;
- Leurs performances sont notables surtout si elles sont ramenées à leur unité de masse ;
- Leur facilité de mise en œuvre permet des cadences élevées et des géométries complexes.

Le tableau I.1 regroupe les principales caractéristiques des polymères

NOM SCIENTIFIQUE	ABREVIATION	MATIERES PREMIERES	APPLICATIONS
VINYLIQUES 1. Acétate de polyvinyle	PVAC	Éthylène + Acide acétique	Finition pour mur et Sol, adjuvant pour béton
2. Chlorure de vinyle	PVC	Éthylène + chlore	Tubes flexibles, Tuyaux, gouttières, Tôles ondulées, Profilés, planchettes,
POLYOLEFINES 1. Polyéthylène * faible densité * haute densité	PE PELD PEHD	éthylène	Tubes flexibles, Tuyaux, mousse pour étanchéité de Joints,
2. Polypropylène	PP	propylène	tuyaux (eaux chaudes, liquides agressifs)
STYRENIQUES Polystyrène	PS	Benzène + éthylène	Isolation thermique, béton léger...

**Tableau I.1 :** Les matières thermoplastiques les plus courantes et leurs domaines d'utilisation.

Certains polymères sont également associés afin d'obtenir une complémentarité des propriétés finales voire même une synergie. Si l'association des polymères s'effectue au niveau moléculaire (microscopique), on parle d'alliages de polymères ; si l'association est au niveau macroscopique, on parle alors de complexes.

#### **I.4.4. Le raffinage et le vapocraquage**

Le pétrole brut est raffiné et donne différentes fractions après distillation. La fraction d'essences légères, appelée naphte ou naphtha, est isolée pour être ensuite « craquée » (distillée) à la vapeur. Cette opération permet d'obtenir les molécules chimiques indispensables à la fabrication des polymères, les monomères : éthylène, propylène, butadiène, ...

#### **I.4.5. Les réactions de polymérisation**

Chaque monomère est isolé. Il est ensuite combiné avec d'autres monomères de même nature ou de nature différente lors d'une réaction chimique appelée réaction de polymérisation. Il existe plusieurs types de réaction de polymérisation.

##### **a. La polyaddition**

Les monomères se soudent les uns aux autres de façon (Polymérisation en chaîne) consécutive (un à un) sans élimination de résidus.

##### **b. La polycondensation**

Les fonctions chimiques des monomères interagissent entre elles, toutes en même temps et s'assemblent en dégageant de petites molécules. Le polymère obtenu est aussi appelé **polycondensat**.

##### **c. Les adjuvants**

De nombreux additifs entrent dans la composition finale des matières plastiques pour améliorer ou adapter plus finement leurs propriétés à leur utilisation. Ces adjuvants sont de plusieurs types avec des rôles spécifiques, fonctions de la quantité incorporée.

##### **d. Les transformations ou mises en forme**

Une fois synthétisés, les polymères se présentent sous forme de poudres ou granulés, prêts à être transformés en demi-produits ou en produits finis. Il existe également de nombreux procédés de transformation adaptés à la nature du polymère à mettre en œuvre et à la forme finale souhaitée.

#### **I.4.6. La mise en forme des thermoplastiques**

Les techniques de transformation des thermoplastiques imposent le réchauffement de la matière avant sa mise en forme, les techniques les plus utilisées sont :

**I.4.6.1 L'extrusion**

L'extrusion est une technique de fabrication continue. La matière plastique est introduite, sous forme de poudre ou de granulés, dans un cylindre chauffé, à l'intérieur de celui-ci tourne une vis assurant le transport et l'homogénéisation de la masse fondue. Cette masse plastique est ensuite pressée à travers une matrice d'extrusion ou "filière", qui donne la forme finale à la section de la pièce [3].

**I.4.6.2 L'injection**

L'injection est une technique de production de pièces détachées en plastique. Comme pour l'extrusion, la matière plastique est fondue et homogénéisée dans un cylindre chauffé. La vis est de plus utilisée comme piston pour injecter la masse fondue dans un moule fermé. Après refroidissement, ce moule est ouvert et la pièce plastique en est ôtée [3].

**I.4.6.3 Le revêtement**

Les objets métalliques peuvent recevoir une couche protectrice en projetant une poudre thermoplastique sur l'objet préchauffé. La poudre fond et forme une couche homogène, résistante à la corrosion.

**I.5. Les thermodurcissables****I.5.1. Définition**

Les thermodurcissables ont un réseau macromoléculaire tridimensionnel, ce dernier résulte de la réticulation des polymères linéaires (monodimensionnels). Ils sont souvent préparés par la réticulation de deux composants (dont l'un est une résine) qui réagissent sous l'action de la chaleur en présence de réactifs ce qui conduit à leur durcissement de façon irréversible, la structure tridimensionnelle formée est stable et elle présente une résistance thermomécanique et chimique ; Cette structure est très rigide et résistante à la température [4].

Un matériau thermodurcissable ne peut être mis en œuvre qu'une seule fois et devient infusible et insoluble après polymérisation. Une fois durci, sa forme ne peut plus être modifiée, un chauffage éventuel ne permettra pas de le fondre c'est-à-dire qu'il n'est pas recyclable, mais on peut l'incorporer dans d'autres matériaux comme renfort.

Les matériaux thermodurcissables sont généralement plus résistants que les matériaux thermoplastiques. On leur reconnaît une très bonne résistance diélectrique, mécanique, et à la chaleur et ils gardent leur rigidité et leurs autres propriétés mécaniques jusqu'à la température de décomposition [4].

On citera les polymères thermodurcissables les plus utilisés dans le tableau I.2 :

NOM SCIENTIFIQUE	ABREVIATION	MATIERES PREMIERES	APPLICATIONS
POLYURETHANE	PUR	polyalcools polyisocyanates	Colles, laques, Profils de fenêtres, mousse d'isolation...
PHENOPLASTE 1. Phénol- formaldéhyde	PF	Phénol + formaldéhyde	Colles, Moules, interrupteurs, mousse d'isolation...
2. Mélamine- formaldéhyde	MF	Mélamine formaldéhyde	Colles, recouvrements minces et durs...
POLYESTER	UP	Acide Maléique + glycérol	Tubes flexibles, gouttières, coupoles, ondulées, profilés de bord de toitures,
RESINE EPOXY	EP	Épichlorhydrine (Chlore et éthylène) Diphénylol-propane (phénol et acétone)	Colles, isolateurs, finition de murs et de sols, réparation de béton...

**Tableau I.2 :** Les matières thermodurcissables les plus courantes et leur domaines d'utilisation.

### **I .5.2. La mise en forme des thermodurcissables**

Les techniques les plus utilisés pour la mise en forme des thermodurcissables sont :

#### **a. Moulage par coulée**

Une résine liquide est coulée dans un moule, les réactifs et la chaleur provoquent le durcissement de la résine.

#### **b. Moulage par compression ou moulage par compression-transfert**

Ces deux procédés sont utilisés pour former la plupart des pièces thermodurcissables (récipients cylindriques de faible épaisseur).

#### **c. Le moussage**

L'allègement des polymères par le moussage permet de créer des structures légères, résistantes, ayant des propriétés mécanique et thermique intéressante, plusieurs techniques peuvent être utilisées pour réaliser des mousses de polymères, elles dépendent du polymère qui sera moussé et du procédé de mise en forme utilisée [4].

#### **- Moussage par gonflage**

La fabrication de mousses implique souvent la formation au sein de la matière d'un gaz générateur de cellules lorsque la température est suffisamment élevée pour ramollir le polymère.

**- Moussage direct en extrusion**

L'extrusion de la masse fondue se faisant sous pression élevée, en pratique, par l'évent de dégazage d'une machine à double vis très mélangeuse, on introduit dans le polymère fondu un gaz (cyclopentane aujourd'hui, CFC auparavant) qui s'y dissout, le gaz est mélangé à la formule de polymère durant son séjour dans la machine. A la sortie de la filière, il se vaporise et forme des bulles sur des sites de germination incorporés dans le polymère. En outre, la détente du gaz provoque un refroidissement intense de la masse fondue qui se superpose à celui provenant du refroidissement externe de celui-ci.

**- Moussage par injection**

Dans ce cas, il s'agit de provoquer le moussage d'une masse fondue lors de son injection dans une cavité fermée, en suite on incorpore à la masse à injecter un agent gonflant, substance qui se décompose thermiquement à la température d'injection en provoquant la formation d'une quantité abondante de gaz. C'est le procédé utilisé pour la mousse polyuréthane rigide.

**- Moussage de billes expansibles**

Cette technique est principalement utilisée pour le PS. Les billes formées de cette manière sont alors mises en œuvre par moulage simple. Un moule est rempli des billes expansibles, fermé et chauffé, en générale à la vapeur, provoquant le gonflement et la soudure des billes conduisant ainsi à la formation de l'objet fini.

**I.6. Les élastomères****I.6.1 : définition**

Les élastomères sont composés de macromolécules linéaires de grande souplesse, les liaisons chimiques forcent les macromolécules à revenir immédiatement à leur configuration originale après une déformation, de là leur comportement caoutchouteux à une température de transition vitreuse. Ils sont utilisés dans plusieurs domaines comme la fabrication de pneumatiques, bondes transporteuses (les tuyaux), joints, gants médicaux, chaussures, etc. Ils existent des matériaux comme les polyuréthanes qui sont sous forme de thermodurcissables aussi que d'élastomères [4].

Ils existent aussi des matériaux qui appartient à une classe qui se situe entre les thermoplastiques et les élastomères d'ailleurs cette classe de matériaux, appelés les élastomères thermoplastiques, ils ont des propriétés intermédiaires. On citera quelque élastomère ainsi leurs domaines d'utilisation dans le tableau I.3:

<b>NOM SCIENTIFIQUE</b>	<b>ABREVIATION</b>	<b>MATIERES PREMIERES</b>	<b>APPLICATIONS</b>
Caoutchouc styrène-butadiène	SBR	Styrène + butadiène	Employé généralement pour remplacer Le caoutchouc naturel
Caoutchouc isoprène	IR	isoprène	Moules (fabriqués Par injection)
Caoutchouc butadiène	BR	butadiène	Où la durabilité et la résistance à l'usure sont Importantes
Caoutchouc polysulfure	PR	Tétra sulfure de Soude + anhydride sulfureux	Idem Mastics plastiques pour jointoyer
Caoutchouc éthylène-propène	EPR EPDM	Éthylène + propène	Moules, pièces de Fermetures, membrane de Toitures, pièces Restant constamment au contact de l'air,

**Tableau I.3** : Les élastomères les plus courants et leurs domaines d'utilisation

### **I.6.2. Les propriétés des polymères**

Le succès des plastiques dans les secteurs de l'industrie s'explique par leurs propriétés spécifiques, dont les plus importantes sont :

#### **I.6.3. Les propriétés thermiques**

- La conductibilité thermique est faible (inférieur à 0,1 W/Km) ; cette conductivité thermique peut être encore améliorée (plus faible) si la matière plastique est moussée ;
- Vieillessement accéléré sous l'effet des rayonnements ultra-violets dû à la rupture des liaisons intermoléculaire du polymère ;
- Les polymères thermoplastiques se mettent à l'état fondu à une température suffisante appelée la température de fusion (plus de 200°C) ;
- Les thermodurcissables durcissent même à température ambiante ;
- Au froid, ils se rigidifient puis ses propriétés mécaniques diminuent rapidement et ils deviennent fragile au choc ;
- Toutes les matières plastiques peuvent brûler vu leur structure organique, mais le comportement au feu peut être très varié [5].

#### **I.6.4. Les propriétés mécaniques**

- Les polymères thermodurcissables sont souvent rigides et fragiles, tandis que les polymères thermoplastiques et les élastomères montrent une résistance mécanique médiocre.

- Une bonne ténacité et une excellente résistance au choc pour certains types de polymères comme le PE et le PVC ;
- Une rigidité et une résistance mécanique moins élevées que celle des métaux ;
- Leur résistance à la traction, entre 20 MPA et 800 MPA ;
- Le fluage, quand un thermoplastique, comme le PE, est chargé, il subit une déformation immédiate, suivie d'une déformation lente au cours de la durée de cette charge. Ce phénomène est plus prononcé quand la température est plus élevée ;
- Des fissurations sous contraintes ou en présence de solvants peuvent apparaître [5].

### **I.6.5. Propriétés chimiques**

- Une faible masse volumique, permettant une manipulation aisée et une construction légère ;
- Une résistance chimique, exceptionnelle, même dans des milieux extrêmement corrosifs pour la plupart des polymères ;
- Certains acides mettent en jeu une liaison hydrogène avec les fonctions amides, à température plus élevée, ils peuvent provoquer la rupture de liaison et donc dégrader le polymère chimiquement ;
- Le vieillissement ou la dégradation sous l'influence de la radiation solaire UV par rupture des liaisons moléculaires en atmosphère avec O<sub>2</sub> ou O<sub>3</sub> ;
- Certains plastiques (PS) sont très sensibles, d'autres ne vieillissent pas (PMMA), selon la structure du polymère, car les structures linéaires se réticulent alors que les structures ramifiées se dégradent ;
- Certains polymères vieillissent sous l'action d'une attaque lente ou par l'interaction avec des solvants organiques chlorés ou oxygénés [6] ;

### **I.6.7. La formulation des polymères**

Une matière plastique est composée d'une matrice qui est un polymère dont la quelle on incorpore des additifs, des charges et des plastifiants afin d'améliorer ses propriétés mécaniques, chimiques et thermiques, on distingue [7] :

#### **I.6.7.1. Les résines**

Les plastiques industriels sont aussi des matériaux constitués d'une ou plusieurs résines qui jouent le rôle d'un liant dans la matière plastique [8].

**I.6.7.2. Les charges**

On désigne sous le nom général de charge toute substance inerte, minérale ou végétale qui est ajoutée à un polymère de base jusqu'à 60 % en masse dont le but prioritaire est de modifier de manière sensible ces propriétés mécaniques, électriques ou thermiques et d'améliorer l'aspect de surface ou de réduire le prix de revient du matériau transformé [9].

**a. Charges granulaires**

Les charges granulaires diminuent l'allongement à la rupture en traction et ils augmentent le module d'élasticité et les conductivités électrique et thermique.

**b. Les charges minérales**

- Les talcs ;
- Le carbonate de calcium-magnésium ;
- Le kaolin ;
- Le kaolin calciné.

**c. Les charges métalliques**

- Poudres et microsphères ;
- Alumine ;
- L'hydrate d'aluminium  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ;
- Le noir de carbone.

**d. Les charges organiques**

Charges cellulosiques, utilisées en tant que charges, les avantages de ces matières cellulosiques sont leur coût peu élevé et leur faible densité.

**e. Charges fibreuses**

Les charges fibreuses sont employées couramment sous forme de fibres courtes, moyennes ou longues dans les résines thermodurcissables et en particulier dans celles qui se trouvent initialement à l'état liquide.

**f. Agents pyrogènes**

Les agents pyrogènes ajoutés aux matières thermoplastiques provoquent une expansion limitée du polymère fondu, qui est conservée pendant le refroidissement. Le plastique ainsi transformé est dit « allégé ».

Des méthodes de fabrication spécifiques conduisent à des produits expansés « mousses » de densité beaucoup plus faible, le produit résultant est devenu alvéolaire et ses propriétés mécaniques chutent avec sa masse volumique.

**g. Plastifiants**

Les plastifiants sont des molécules (petites ou moyennes) qui s'insèrent par différents moyens mécaniques entre les macromolécules de grandes chaînes des polymères, elles ont pour effet d'accroître la distance entre ces dernières et d'affaiblir les liaisons de Van der Waals qui les associent. Les polymères plastifiés deviennent souples et cela d'autant plus que le taux de plastifiant est plus élevé. On ajoute fréquemment des plastifiants aux polymères fragiles à la température ambiante.

**I.7. Conclusion**

Les matières plastiques, sont présentes pratiquement, dans tous les domaines de la vie quotidienne et elles occupent une place primordiale, dans l'industrie et le marché mondiale actuellement, vue ces propriétés mécaniques et chimiques qui leurs assurent une longue vie (il faut plus de 400 ans pour la disparition de la matière plastique) grâce à leurs résistances au vieillissement et à la corrosion dans des conditions agressives contrairement aux aciers.

L'incorporation d'une charge ou d'additif dans un polymère peut améliorer un nombre important de propriétés de ce dernier, selon le type de charge utilisé ou l'additif incorporé.

# Chapitre II : les mousses

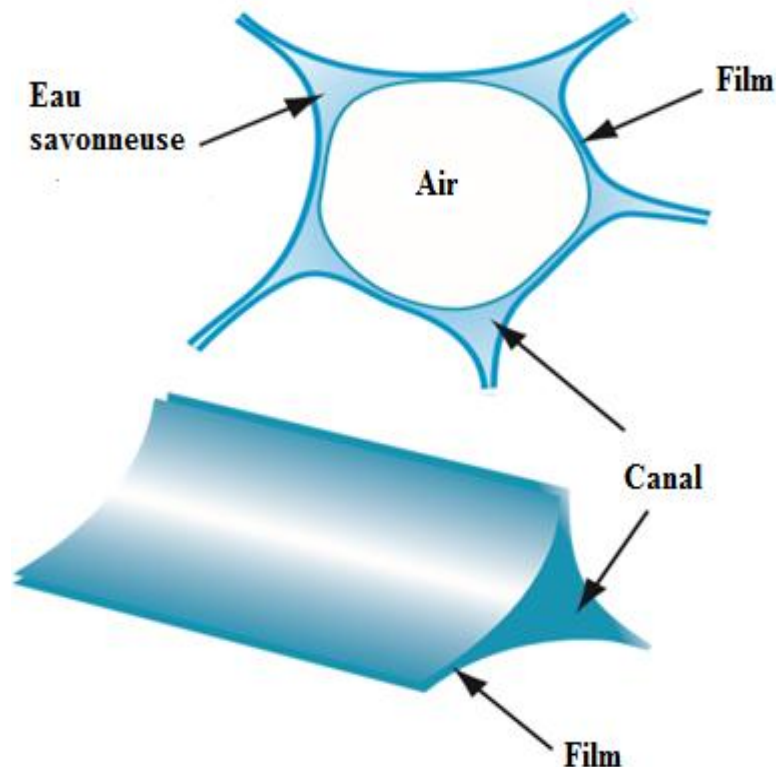
## II .1. Introduction

On connaît les trois états de la matière : gaz, liquide, solide. D'autres états sont possibles à la température ambiante à condition d'utiliser un type de composé chimique particulier : les tensioactifs. Alors, quoi de commun entre une émulsion qui permet de faire cohabiter de l'eau et de l'huile, un gel que l'on peut obtenir avec 99% d'eau et 1% d'agent tensioactif, une mousse liquide ? La présence de composés tensioactifs. Si gaz, liquide et solide sont des états permanents de la matière, ce n'est pas le cas des émulsions, des gels ou des mousses. Les émulsions sont stables entre une minute et trois ans (ceux qui se sont essayés à fabriquer une mayonnaise comprendront), un gel peut être stabilisé pendant quelques minutes ou quelques mois, une mousse de quelques secondes à quelques jours. Ce sont les mousses qui font l'objet du présent entretien.

## II .2. Définition

La mousse est un polymère dont les alvéoles, ouverts ou fermés, qui sont produits par l'expansion chimique ou physique d'un gaz, lui assurent une propriété très recherchée qui est « l'isolation thermique » [10].

La figure II.1 représente la structure d'une mousse liquide



**Figure II.1** : Structure d'une mousse liquide

Il existe 2 sortes de mousse :

### 1. Mousse fermée

Caractérisée par les films liquides qui restent intacts après la solidification, donnant lieu à des milliers de bulles non éclatées. Elle a pour conséquence de ne pas pouvoir laisser passer les gaz et les liquides (elles sont étanches à contrario des mousses ouvertes).

### 2. Mousse ouverte

Caractérisée par des milliers de bulles éclatées, ce qui a pour conséquence le passage de liquides et de gaz.

La figure II.2 représente la mousse fermée et la mousse ouverte

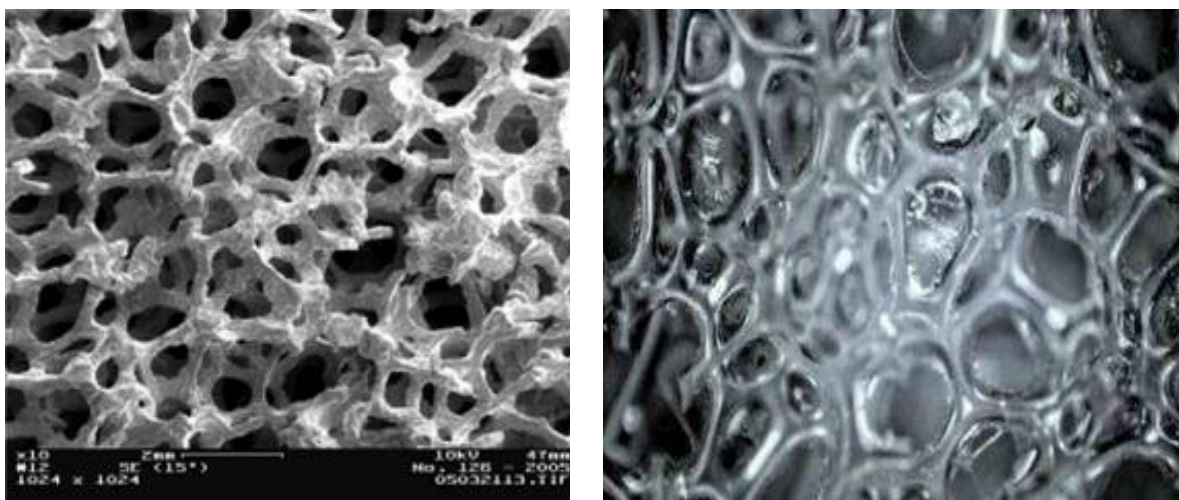


Figure II.2 : Mousse ferme et mousse ouverte

La mousse ouverte composé à 99% d'air ; elle a une très faible densité contrairement à la mousse fermée

## II .3. Les deux grands types de mousses

### II.3.1. Les mousses liquides

La mousse à raser ou la mousse de shampoing sont des mousses liquides : un liquide, de l'eau, s'écoule autour des bulles de gaz. De même pour la mousse au chocolat et autres mousses alimentaires mais, dans ce cas, le liquide est beaucoup plus visqueux. À l'extrême, on trouve les mousses solides comme les mousses de polyuréthane que l'on utilise pour fabriquer des sièges ou des revêtements, ou encore les mousses métalliques utilisées dans l'industrie automobile afin de diminuer le poids des véhicules [9].

La mousse polyuréthane rigide est une composition des trois produits principaux suivants :

### **II.3.1.1 Polyol : code 100738**

Les polyols sont des liquides visqueux qui ont pour caractéristique chimique principale des groupes hydroxyles composés d'oxygène et d'hydrogène (OH). La fonctionnalité d'un polyol représente le nombre de groupes hydroxyles par molécule, ces groupes réagissent avec des groupes iso cyanates pour former des groupes uréthannes. Certains polyols ont des éléments retardateurs de flamme qui les rend ignifuge. [10]

### **II.3.1.2 Iso cyanate : code 100024**

Les polyisocyanates sont des molécules très réactives dont l'emploi nécessite quelques précautions et pour cela le respect des mesures de protection figurant dans les fiches de données de sécurité des produits est obligatoire [10]

### **II.3.1.3 Cyclopentane : code 100739**

C'est un alicyclique hydrocarbure avec la formule chimique ( $C_5H_{10}$ ), qui a la forme d'un anneau constitué de cinq atomes de carbones, chacune d'entre elle est lié avec deux atomes d'hydrogènes, le cyclopentane est un liquide pétrolier. Il se présente en un liquide incolore avec une odeur essence, sa masse molaire est  $70.1g \cdot mol^{-1}$ , son point de fusion est ( $-94^\circ C$ ) et son point d'ébullition est de  $49^\circ C$ , il est dans la classe des cyclo alcanes. Le cyclopentane ainsi que le pentane et l'iso pentane sont des liquides facilement combustibles, dont les vapeurs forment des mélanges explosifs avec l'air et c'est un produit qui a un point d'éclair en dessous de  $100^\circ F$  [11].

## **II.3.2.les mousses solides**

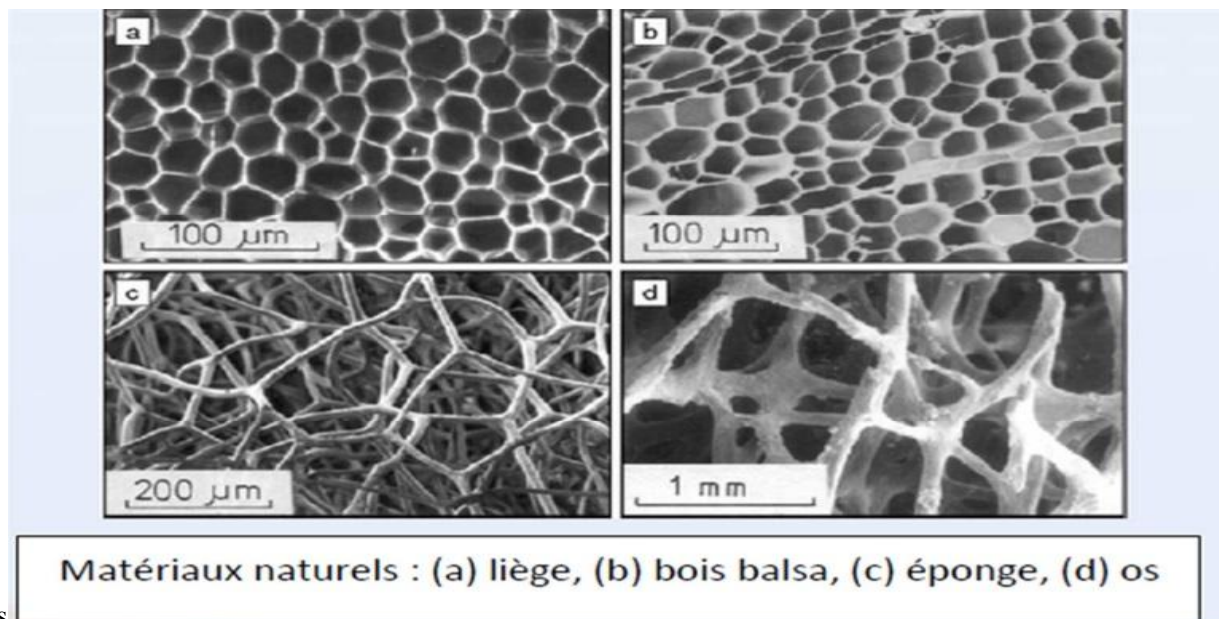
Une mousse solide provient d'une mousse liquide (plus ou moins visqueuse) par solidification du liquide. Celle-ci peut être obtenue par différentes voies selon la nature du liquide : solidification (par exemple au cours d'une trempe thermique), polymérisation, gélification.

- Lorsque les films liquides séparant les bulles de la mousse liquide survivent à la solidification, on parle de mousse fermée car chaque bulle est encore fermée ;
- Dans le cas contraire, on parle de mousse ouverte.

Afin d'optimiser le poids d'un composant, les matériaux de faible densité sont très recherchés et l'un des moyens choisis pour les concevoir a été de réduire la quantité de matière solide utilisée dans la fabrication, tout en préservant le dimensionnement géométrique de la structure. Ainsi, des matériaux de type cellulaire ont été fabriqués à partir de métaux en adaptant et en copiant la conception naturelle

(liège, mousse, os...). C'est ainsi que les mousses métalliques ont été inventées. Les mousses solides possèdent de bonnes caractéristiques mécanique.

La figure II.5 représente les différentes mousses solides



**Figure II.3** : différentes mousses solides

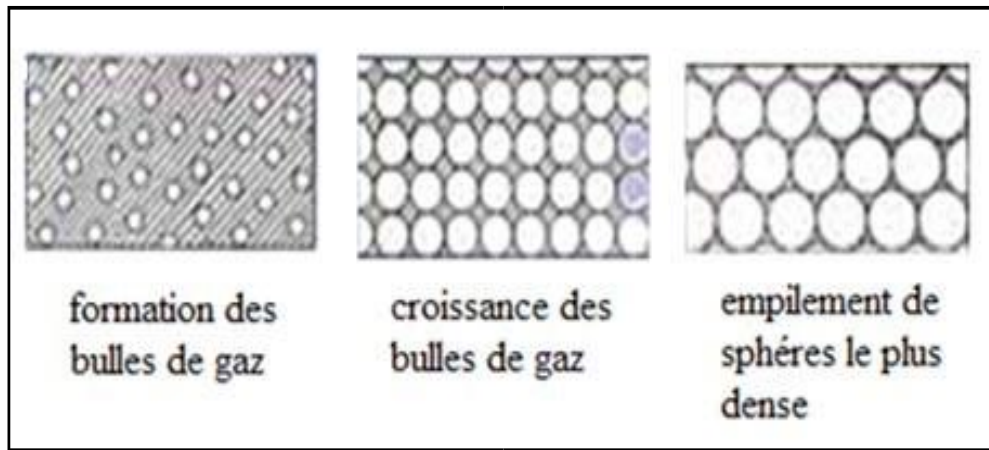
#### II.4. Formation de la mousse polyuréthane rigide

On peut supposer que la nucléation (formation de bulles de gaz) est due à une sursaturation du mélange réactionnel liquide par le gaz d'expansion formé au cours de la réaction et à la formation de cavités (cavitation) lors du mélange des matières premières.

La formation d'une fine dispersion gazeuse (air, gaz d'expansion déjà formé) lors du mélange pourrait aussi jouer un rôle important [10].

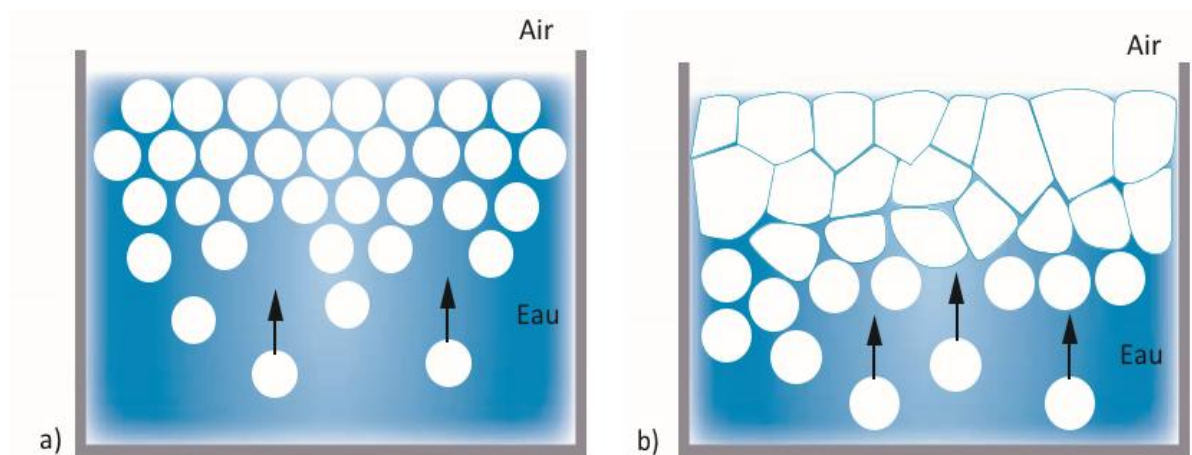
Au début de la phase de moussage, la présence de composés tensioactifs, comme les stabilisants pour mousses, a une importance cruciale.

Le gaz d'expansion dégagé diffuse vers l'intérieur des bulles dispersées de formes sphériques, provoquant ainsi leur croissance. Ce phénomène dure jusqu'à l'obtention d'un certain volume, correspondant à l'empilement le plus dense des sphères dans la matrice liquide. Lorsque ce volume est dépassé, la structure sphérique se transforme en système de cellules de forme hexagonale. La croissance cellulaire est illustrée à la figure II.3. La mousse atteint sa structure et sa répartition de masse définitives à la fin du temps de fil [12].



**Figure II.4 :** Croissance cellulaire lors de la formation de mousse PUR rigide

Quant à la perméabilité au gaz, elle peut être diminuée en ajoutant des ingrédients qui permettent aux bulles de gaz de s'organiser en bicouche plutôt qu'en monocouche. Ce qui apparaîtra dans la figure II.4 :



**Figure II.5 :** évolution d'une mousse

## II.5. Caractéristiques générales des mousses polyuréthanes rigides

Les avantages des mousses rigides en tant que matériau cellulaire sont liés aux caractéristiques suivantes [12] :

- Faible masse volumique ;
- Très faible conductivité thermique ;
- Faibles perméabilités aux gaz, liquides, l'air ;
- Bon rapport propriétés mécanique/masse ;
- Facilité de mise en œuvre ;
- Bonne inertie chimique.

**II.6. Les propriétés de la mousses polyuréthane rigide (PUR)**

Les propriétés de la mousse de Polyuréthane dépendent de:

- Ces composantes chimiques ;
- L'agent gonflant (ce que nous allons étudier avec détaille dans ce travail);
- La température de stockage des produits ;
- Les paramètres de moussage.

**II.7. Paramètres physique de moussage**

- La pression d'injection ;
- La température des moules ;
- Le temps de démoulage ;
- La masse injectée ;
- Le temps d'injection.

Ces paramètres de moussage ont une grande influence sur la densité de la mousse polyuréthane rigide. En effet, plus la densité est importante plus la conductivité thermique est faible est par conséquent le matériau est isolant donc une bonne résistance thermique.

**II.8. Conclusion**

La mousse polyuréthane rigide, assure une meilleure isolation thermique pour les réfrigérateurs, et pour cela on doit étudier le produit en détail et fixer les paramètres de sa mise en œuvre, ainsi que les quantités et la nature de ses composantes de bases, pour assurer les propriétés et les caractéristiques souhaitées, qui représentent dans notre cas une bonne isolation thermique, qui est très sensible et délicate à réaliser si on ne se réfère pas aux conditions de l'utilisation des produits (la matière première ) et à respecter les conditions de la mise en œuvre.

Pour avoir une bonne conductivité thermique, il faut respecter les températures de moules qui est entre 45°C et 49°C pour l'armoire ainsi que pour la porte inférieure et la porte supérieure du réfrigérateur.

# Chapitre III : Mise en œuvre des matière plastique

### III. 1. Introduction

L'injection plastique est l'un des procédés le mieux adapté à la production en série de pièces microtechniques. L'importance prise par ce procédé dans la production des pièces microtechniques nous conduit vers l'étude des pièces injectées, la conception des outillages d'injection ainsi que leur mise en œuvre. Ce procédé permet d'obtenir des pièces dont l'épaisseur est comprise entre 0,4 et 6 mm avec des géométries complexes.

Le moulage par injection consiste à ramollir (état visqueux) la matière thermoplastique (TP), puis de la malaxer au niveau de la vis de plastification. Elle est ensuite injectée sous forte pression. L'injection sous forte pression du polymère fondu dans un moule froid à une ou plusieurs empreintes. Au contact des parois froides, la matière se solidifie en forme puis l'objet peut être démoulé.

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

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

Ce procédé d'obtention permet de produire très rapidement des objets de qualité en grande quantité, même si les formes sont complexes.

Les applications courantes des pièces injectées sont représentées sur le tableau III.1 :

<b>Coûts</b>	<b>Applications courantes</b>	<b>pertinence</b>
-Le cout d'outillage est très élevé, Mais il dépend de la complexité	-industrie automobile -appareils électroniques électroménagers	-production de grandes séries
<b>Qualités</b>	<b>Procédés connexes</b>	<b>rapidité</b>
-très bonne finition de surface -parfaite reproduction de pièces	-moulage RIM -thermoformage	-le cycle d'injection dure généralement de 30 à 60 secondes

**Tableau III.1:** les applications courantes des pièces injectées

### III. 2. L'injection

L'injection est une technique de production de pièces détachées en plastique. Comme pour l'extrusion, la matière plastique est fondue et homogénéisée dans un cylindre chauffé. La vis est de plus utilisée comme piston pour injecter la masse fondue dans un moule fermé. Après refroidissement, ce moule est ouvert et la pièce plastique en est ôtée.

### III.2 .1. Procédé de mise en œuvre par injection plastique

- La matière plastique avant transformation se présente sous forme de petit granulé dépassant rarement les quelques millimètres. Ces granulés servent à alimenter la vis de plastification (type vis sans fin).
- Celle-ci est chauffée et régulée en température via le fourreau de plastification. La rotation de la vis de plastification (entraînée par un moteur hydraulique) et l'action conjuguée de la température du fourreau permet de ramollir les granulés de matière plastique les amenant jusqu'à un état de visqueux.
- Cette matière est acheminée à l'avant de la vis de plastification donnant ainsi une réserve de matière prête à être injectée (c'est ce que l'on appelle la phase de dosage).
- Viens ensuite la phase d'injection dynamique ou la matière présente à l'avant de la vis de plastification, est injectée sous forte pression à l'intérieur d'un moule (ou cavité) présentant la forme de la pièce souhaitée. Le moule est réglé à une température inférieure à la température de transformation (allant de 15 °C à 130 °C dans certains cas).
- La 3<sup>ème</sup> étape est la phase de maintien, où l'on applique une pression constante durant un temps déterminé afin de continuer à alimenter les empreintes malgré que celle-ci soit remplie. Ceci afin de palier au retrait de la matière durant est refroidissement. La pièce est refroidie durant quelques secondes puis éjectée.

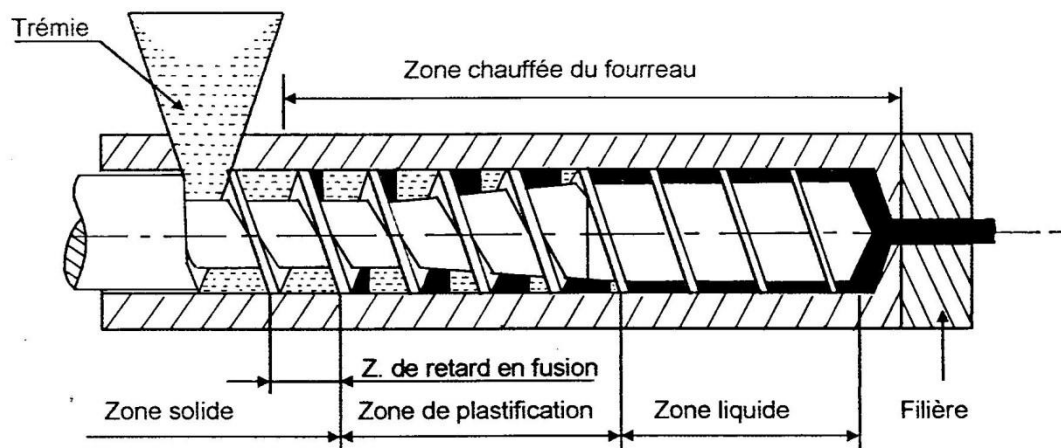
### III. 3. L'extrusion

#### III. 3.1. Principe de l'extrusion mono vis

La principale fonction de l'extrudeuse est de fondre le polymère, l'homogénéiser et de le mettre en pression pour qu'il puisse franchir la filière placée à son extrémité. Les observations faites sur les générations d'extrudeuses, fonctionnant en régime permanent, ont permis de mettre en évidence 4 zones phénoménologiques allant de l'avant vers l'arrière de la machine :

- **La zone solide**, dans laquelle le polymère est entièrement solide (en granulés ou en poudre, plus ou moins compacté) ;
- **La zone de retard en fusion**, dans laquelle une mince couche de polymère fondu commence à apparaître à l'interface polymère-fourreau ;
- **La zone de plastification**, dans laquelle coexistent le polymère encore solide et polymère déjà fondu ;
- **La zone liquide**, dans laquelle le polymère est entièrement fondu.

La figure III.1 représente les différentes zones d'une extrudeuse

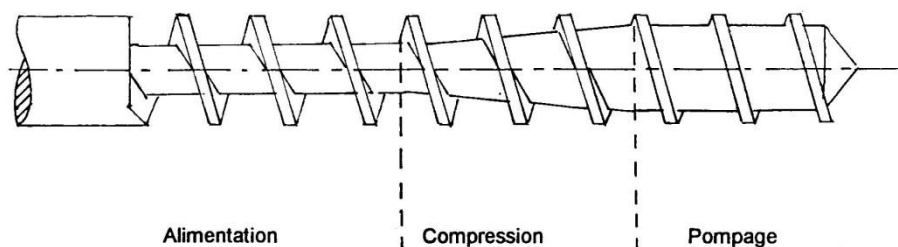


**Figure III.1 :** Une extrudeuse et ses différentes zones phénoménologiques

Le diamètre de la vis augmente toujours de l'arrière vers l'avant de la machine, soit sur toute la longueur, soit sur une partie seulement. Dans ce dernier cas, qui est le plus courant, si l'on se réfère à la géométrie de la vis, on peut distinguer 3 zones de l'extrudeuse :

- **La zone d'alimentation**, où la profondeur du chenal est constante,
- **La zone de compression**, où la profondeur du chenal diminue progressivement,
- **La zone de pompage**, où la profondeur du chenal est de nouveau constante, mais plus faible qu'en alimentation.

La figure III.2 représente les zones géométriques qui se trouve à l'intérieur de l'extrudeuse



**Figure III.2 :** Profils de vis : zones géométriques

## III. 4. Thermoformage

### III. 4.1. Présentation

Le thermoformage est une technique de transformation de matières thermoplastiques qui permet la production industrielle d'objets les plus divers tels une barquette d'emballage, un pot de yaourt, une baignoire, etc. L'objet thermoformé s'obtient en deux étapes de transformation du matériau initial. La matière plastique, produite à partir de monomères, se trouve dans la plupart des cas, sous forme

de granulés. La première étape de mise en forme, consiste en la fabrication d'une feuille ou d'une plaque par la technique de l'extrusion. La deuxième étape, est le procédé du thermoformage, qui va mener à l'objet final.

### III. 4.2. Moule pour le thermoformage

Les moules sont généralement en aluminium mais peuvent être en résine époxydes pour de petites séries, voire en bois pour la fabrication d'échantillons. Les pièces sont réalisées avec des moules positifs ou négatifs.

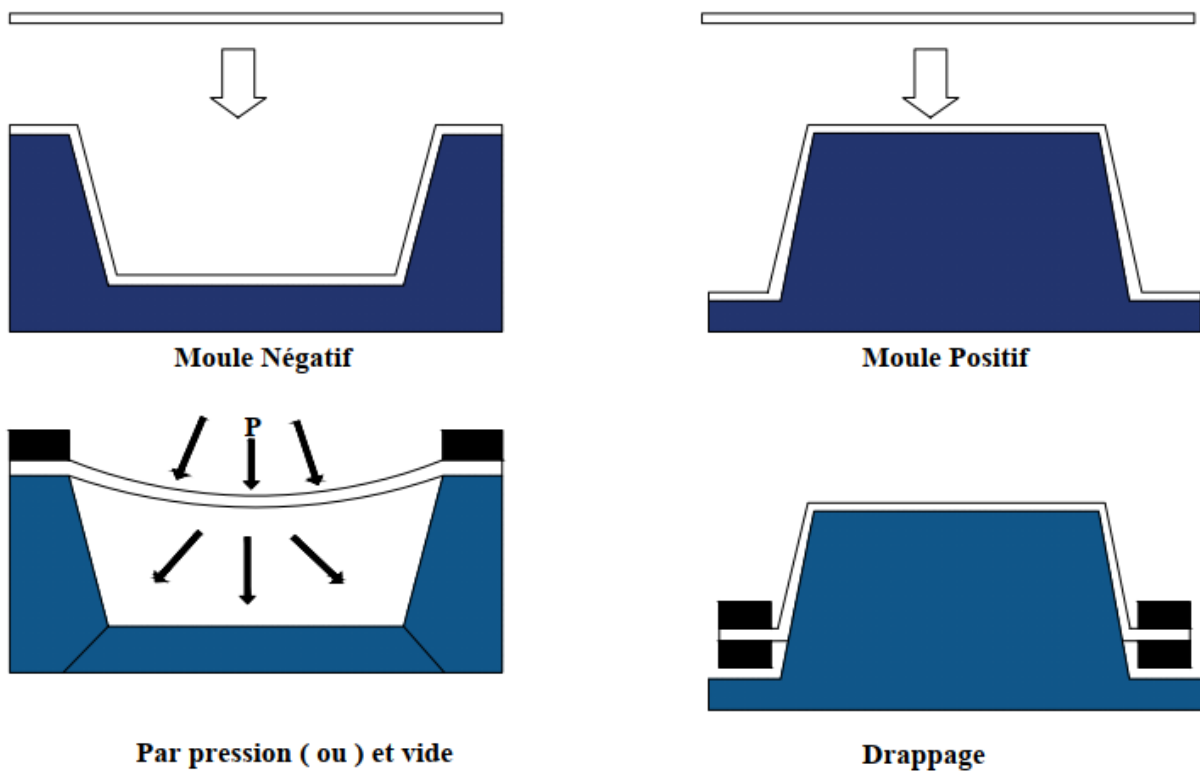


Figure III.3: Moule pour le thermoformage

### III. 4.3. Principe

Le thermoformage consiste à chauffer une feuille, ou une plaque, à une température permettant sa fusion dans un moule dont elle épouse la forme par action d'une différence de pression entre ses deux faces. Après refroidissement, on obtient l'objet désiré. La mise en forme s'effectue généralement par une pression d'air sur la feuille, ou une dépression d'air sous cette dernière, souvent assistée mécaniquement par un poinçon. C'est un procédé de transformation « basse pression », qui impose de faibles contraintes à la feuille. Les matériaux ne peuvent donc être formés que lorsque leurs propriétés mécaniques ont chuté, dans la zone du plateau caoutchoutière pour les polymères amorphes et dans la zone de la température de fusion pour les semi cristallins.

### III.5. Le Roto moulage

#### III. 5.1. Définition

Le roto moulage est une méthode de transformation des polymères permettant la production d'articles creux avec des contenances très diversifiées (de quelques dixièmes du litre à des milliers de litres). Le moulage par rotation permet de produire des petites et des grandes séries de pièces.

#### III. 5.2. Principe du roto moulage

Le roto moulage est un procédé de mise en forme des polymères relativement récent. Il permet d'obtenir des pièces creuses grâce à la solidification du matériau chargé à l'état solide après une étape de chauffage du moule pendant laquelle on applique une rotation bi axiale autour de deux axes perpendiculaires. La quantité du matériau est prédéfinie en fonction de l'épaisseur voulue de la pièce. Les pièces creuses obtenues par roto moulage peuvent avoir des formes complexes et des volumes très variées.

Le procédé implique de faibles valeurs aussi bien de la pression que de la vitesse de cisaillement ; le polymère ne subit pas d'orientation ; les performances mécaniques du produit seront fonction de l'épaisseur de la pièce désirée et de la masse volumique du polymère. La totalité de la matière est utilisée pour la fabrication du produit, il n'y a pas de déchet. Une masse de poudre  $m$  d'un polymère thermoplastique de masse volumique  $\rho$  est placée dans un moule de surface interne  $S$ . Avant chaque cycle, la quantité de poudre est calculée selon l'épaisseur  $e$  souhaitée du corps creux à élaborer. Celle-ci est déterminée à partir de l'expression suivante :  $m = \rho.S.e$



**Figure III.4 :** Les différentes phases d'obtention d'une pièce par roto moulage

Les moules de roto moulage sont réalisés en deux parties démontables. Après sa fermeture, le moule est complètement étanche. La matière utilisée pour la fabrication du moule possède une

conductivité thermique très élevée afin de transmettre rapidement la chaleur au polymère à l'intérieur du moule et également d'évacuer rapidement la chaleur lors du refroidissement.

### **III.6. Le chauffage**

Une fois le moule verrouillé, la seconde étape débute. Le moule se met en rotation selon deux axes perpendiculaires dans un environnement chaud. Le transfert de chaleur est souvent effectué par convection d'air à l'intérieur d'un four mais d'autres méthodes peuvent être utilisées comme par exemple l'utilisation d'un moule à double parois dans lequel circule un fluide caloporteur. Lorsque la surface du moule atteint une certaine température, les grains de polymère commencent à adhérer.

Les vitesses de rotation des axes sont relativement faibles. Une vitesse importante aurait tendance à entraîner le polymère fondu aux endroits du moule où les vitesses sont les plus élevées, créant ainsi un problème de distribution des épaisseurs de la pièce. Pour une bonne répartition de la matière dans le moule, un ratio entre les deux vitesses des axes doit être déterminé. Celui-ci dépend de la géométrie de la pièce et ne doit pas être un nombre entier.

### **III. 7. Le refroidissement**

La troisième étape consiste à refroidir le moule afin de solidifier le thermoplastique et de figer la géométrie de la pièce. Durant cette phase le moule continue de tourner afin de garder l'épaisseur de la pièce constante et d'homogénéiser le refroidissement. Ici, le refroidissement est généralement effectué par convection forcée d'air associé à la pulvérisation de gouttelettes d'eau. Le refroidissement ne doit pas être trop brutal afin d'éviter le gauchissement de la pièce dû au retrait différentiel.

### **III. 8. Le démoulage**

La rotation est stoppée après le refroidissement du moule et la solidification de la pièce. Le moule est ensuite ouvert et la pièce retirée. Un nouveau cycle peut alors débiter. Un agent démoulant est souvent utilisé avant le remplissage du moule pour faciliter le démoulage. Cet agent démoulant est un liquide que l'on étale sur la paroi pour éviter à la matière de se coller sur le moule.

Le polymère doit subir plusieurs transformations physiques pour être mis en forme. Grâce à un cycle thermique, le matériau peut passer de l'état solide à l'état liquide pour épouser les formes du moule, puis inversement de l'état liquide à solide pour figer les géométries de la pièce. Il est donc important de suivre l'évolution de la température durant ce cycle thermique. Expérimentalement il est possible de placer des thermocouples à différents endroits afin de mesurer le changement de température.

## III .9. Le calandrage

### III .9.1. Présentation

Le calandrage est une technique pour la fabrication de feuilles, la matière préchauffée passe entre plusieurs calandres, c'est-à-dire de grands rouleaux métalliques qui forcent la masse plastique à prendre la forme d'une feuille de l'épaisseur voulue.

Le procédé de calandrage est basé sur un écoulement à température élevée d'une matière thermoplastique viscoélastique entre au moins deux cylindres entraînés. Le calandrage est un procédé de fabrication de feuilles (> 100 mm) ou de films (< 100 mm) en polymères par compression de la masse plastique fondue entre plusieurs cylindres chauffés et entraînés mécaniquement.

### III .9.2. Description du procédé

Le procédé de calandrage est basé sur un écoulement à température élevée d'une matière thermoplastique viscoélastique entre au moins deux cylindres entraînés. En fait, l'expérience montre que seul le calandrage avec quatre cylindres permet de maîtriser correctement la qualité des films ou des feuilles. Dans une calandre à quatre cylindres la masse plastique fondue en provenance du mélangeur gélifier passe d'un cylindre à l'autre par trois entrefers qui sont de plus en plus étroits, ce qui entraîne un reflux avant chaque entrefer, en même temps qu'un élargissement de la feuille laquelle passe d'un cylindre à l'autre par différences de vitesse et de température. Les cylindres sont entraînés indépendamment, ce qui permet d'établir une friction entre eux (typiquement une différence de vitesse de 5 à 30 %) et ainsi d'assurer un passage parfait de la feuille d'un cylindre à l'autre. Le passage par simple différence de température est plus difficile à maîtriser.

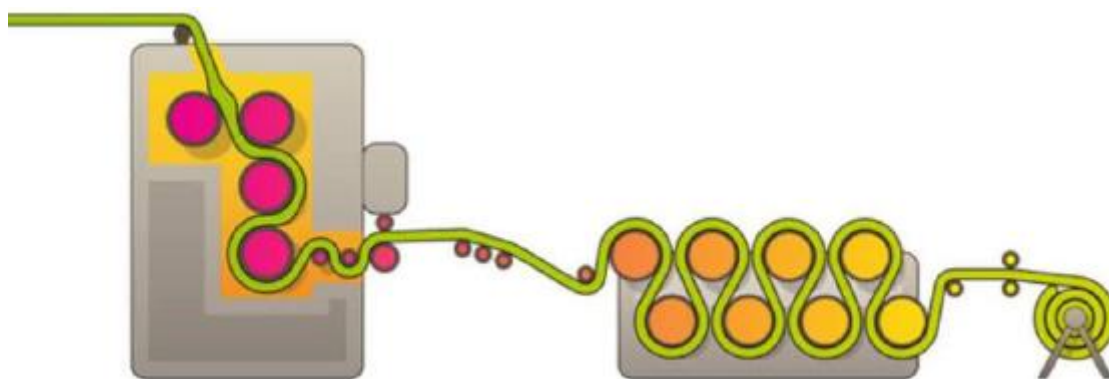


Figure III.5 : Principe du calandrage à quatre cylindres.

**III .10. Extrusion-soufflage et injection-soufflage****III .10.1. Présentation**

Les techniques d'extrusion-soufflage et d'injection-soufflage sont des méthodes de mise en œuvre des matières thermoplastiques pour la fabrication d'objets tridimensionnels creux.

Depuis les petits flacons de quelques millilitres utilisés en pharmacie jusqu'aux cuves de mazout de 5000 L, ces corps creux en matières thermoplastiques sont utilisés au conditionnement de toutes sortes de produits liquides, pâteux, pulvérulents, qu'ils soient alimentaires, d'entretien, chimiques etc... Parmi les différents corps creux autres que ceux fabriqués par extrusion soufflage ou par injection-soufflage, citons :

- Les sachets ou pochons, réalisés à partir de films souples extrudés ;
- Les gobelets, pots thermo scellés, etc., fabriqués à partir de feuillets rigides par thermoformage ;
- Les cuves et enceintes fabriquées par les techniques de mise en œuvre des plastiques renforcés : bobinage filamentaire, centrifugation, etc.

**III .10.2. Extrusion-soufflage**

Le soufflage est couramment utilisé dans les lignes de production de gaines et de films en continu. Il consiste à extruder un tube, à le pincer à quelque distance de la filière à l'aide de deux panneaux et de rouleaux de direction, et à le gonfler en envoyant de l'air sous faible pression à travers l'axe de la filière. Cette technique permet d'obtenir des gaines plastiques continues de plus de 4 µm de diamètre donnant des films de plus de 12 µm de largeur avec des épaisseurs de l'ordre de 200 µm à des débits dépassant 300 kg/h.

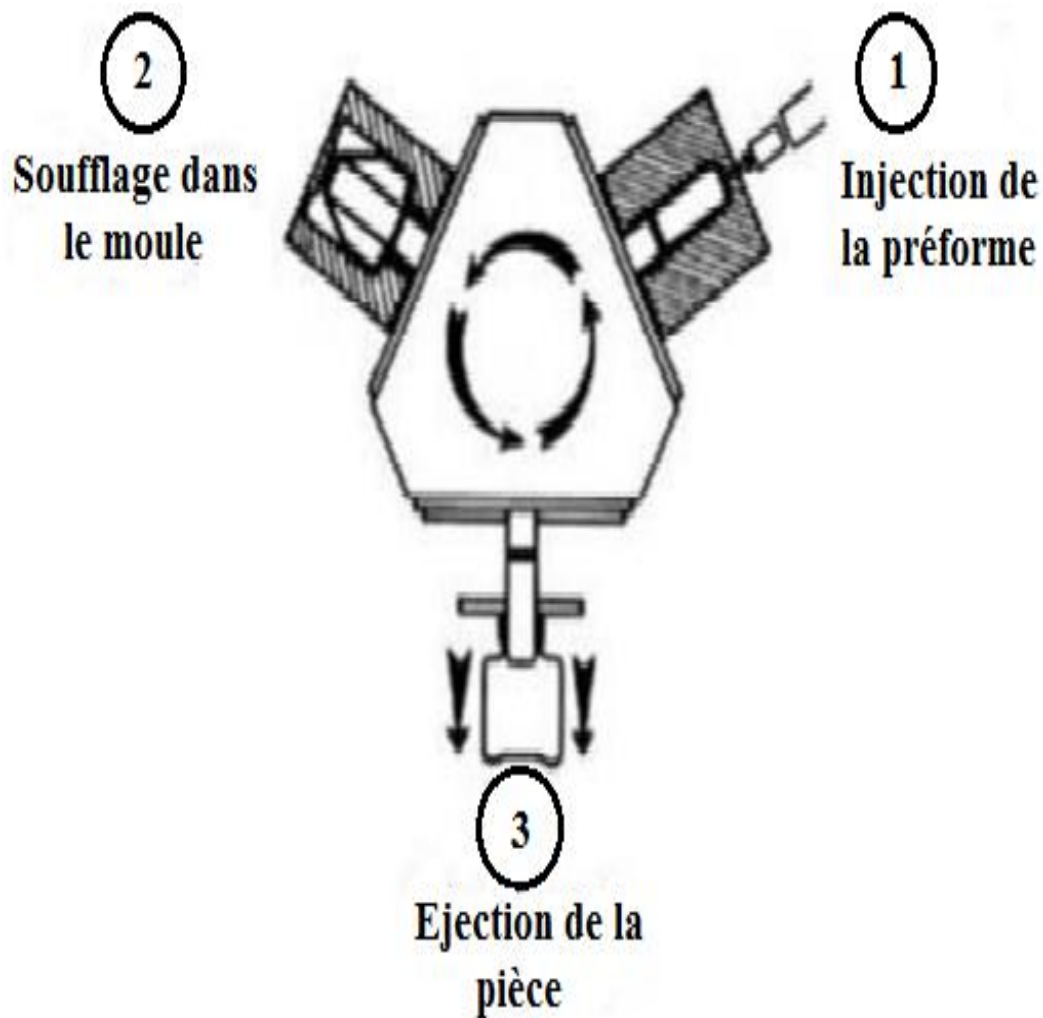
Pour l'obtention des corps creux par extrusion-soufflage à partir d'un polymère plastifié par la chaleur, on produit une « paraison » tubulaire en forçant la matière à passer dans l'entrefer circulaire avant de s'écouler à l'air libre, puis on procède à l'emprisonnement de cette paraison dans un moule et au soufflage à l'aide d'air comprimé de la paraison encore chaude pour qu'elle prenne les formes du moule.

**III .10.3. Injection-soufflage**

La technique de mise en œuvre des polymères thermoplastiques qui se trouve associée au soufflage est le procédé d'injection. À partir d'un matériau plastifié par la chaleur, on procède à l'injection sous forte pression (jusqu'à 120 MPa) de ce matériau à travers une buse de faible diamètre, dans une

cavité du moule à préforme. Sous l'effet de la pression, le matériau plastifié remplit la cavité et se solidifie au contact des parois du moule. On obtient la préforme, c'est la phase d'injection. Puis cette préforme encore chaude (120 à 220 °C suivant les matériaux) est transférée dans le moule de soufflage (appelé aussi moule de Finition).

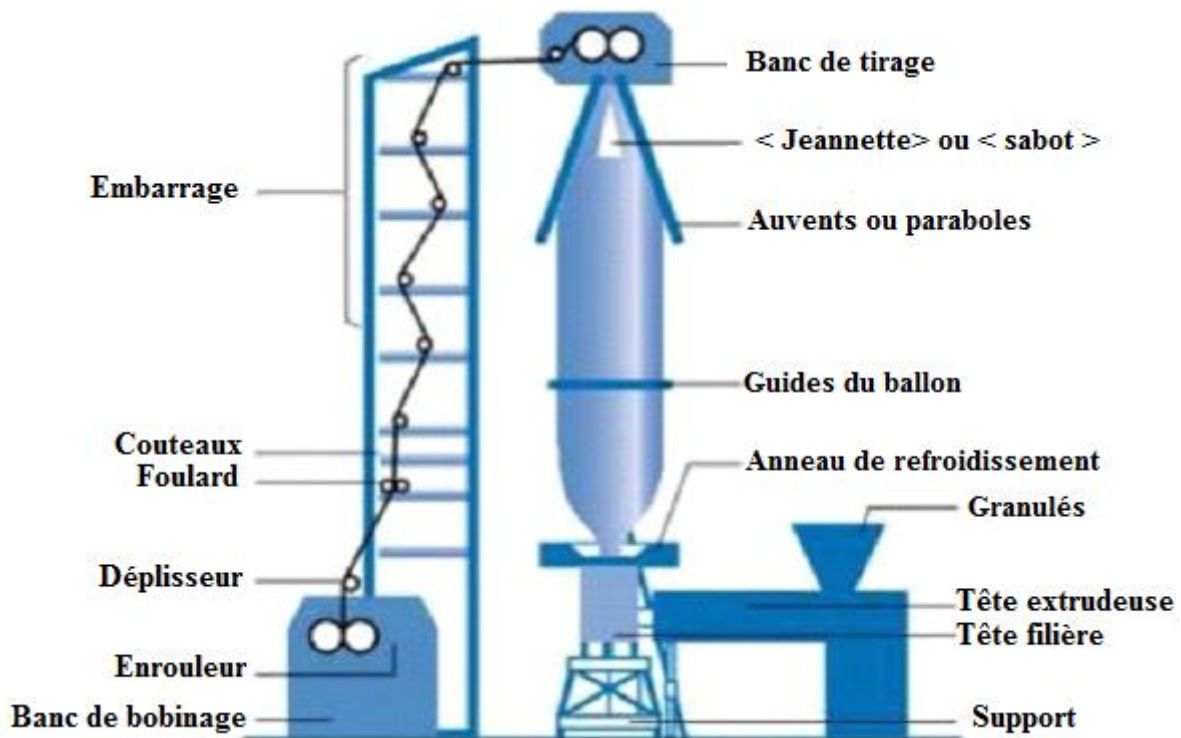
L'air comprimé est alors introduit au travers du noyau portant la préforme. Le matériau se trouve alors plaqué contre les parois du moule de finition refroidi et se solidifie pour donner l'objet final : c'est la phase de soufflage. La succession des opérations décrites ci-avant est présentée comme suit :



**Figure III.6** : Poste d'injection-soufflage de corps creux

#### III .10.4. Extrusion gonflage (gaine)

Pour l'extrusion gonflage, le film est appelé gaine, c'est pour cette raison que ce procédé de fabrication est aussi nommé soufflage de gaine. Il fait appel à une extrudeuse mono vis longue (entre 24 et 32D), pour les débits très élevés.



**Figure III.7 :** Extrusion gonflage

L'élaboration d'un film plastique peut être réalisée à l'aide du processus d'extrusion-gonflage. Une filière circulaire est utilisée à travers laquelle sort un tube plastique creux quasiment fondu, puis tiré verticalement vers le haut de la tour. Le tube est gonflé d'air introduit à travers la filière pour former une bulle plastique dont le diamètre et l'épaisseur du film dépendent du dimensionnement de la machine (diamètre de la filière, débit, etc.) et de variables opératoires (vitesse de tirage, refroidissement, etc.). En haut de la bulle plastique, plus refroidie que le reste, elle est écrasée et aplatie en film fin prêt à l'utilisation.

### III .11. Détails sur l'injection

Pour réaliser le déroulement du cycle d'injection, les principales fonctions d'une presse à injecter sont donc :

- Ouvrir et fermer le moule ;
- Verrouiller le moule ;
- Injecter la matière fondue dans le moule ;
- Maintenir la matière fondue sous pression dans les empreintes ;
- Éjecter les pièces après refroidissement ;
- Fondre la matière.

### III.11.1. Le cycle d'injection

Pour réaliser ce cycle, les fonctions suivantes sont nécessaires :

- Alimenter la machine à couler en granulés ;
- Faire fondre les granulés ;
- Doser le volume de matière fondue qui va être introduit dans le moule ; introduire la matière fondue dans le moule...

### III.12. Alimentation de moule

La fonction alimentation a pour but de transférer la matière plastifiée du fourreau de la presse, vers l'empreinte du moule. Au cours de ce cheminement, la matière est soumise à différentes contraintes en passant par [14].

#### III.12.1. Machine de moussage

La machine étudiée sert à mousser les portes de réfrigérateurs petit modèle 220F, elle est semi-automatique fonctionne à l'aide d'un séquenceur S5 de la firme SIEMENS. Elle occupe une place très importante dans l'unité de production au sein de l'entreprise ENIEM.

D'une façon générale, le moussage consiste à mélanger l'iso cyanate, le polyol et le cyclopentane dans une tête et injecter l'ensemble dans un moule ouvert ; le moule est ensuite refermé pendant le temps de la polymérisation et à sa réouverture la porte ainsi moussée est récupérée (la mousse joue le rôle d'isolant) [14].

La figure III.8 suivante représente un schéma synoptique de la machine à mousser :

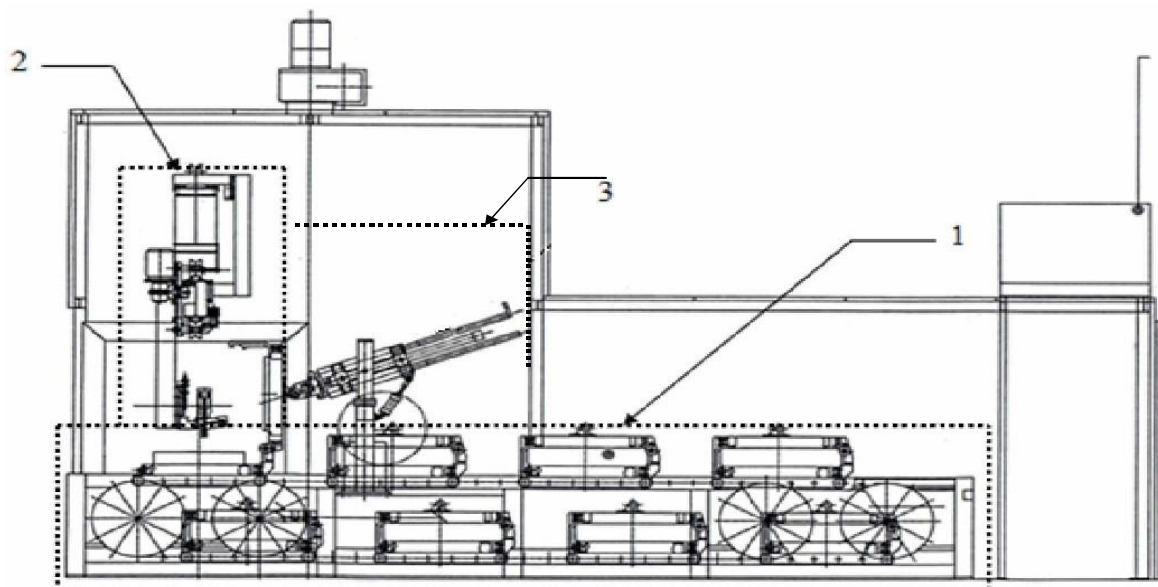


Figure III.8: schéma synoptique de la machine à mousser.

La machine est composée essentiellement de 3 blocs comme le montre la figure III.8 [1] :

- 1- Ensemble de traînement
- 2- Chariot porte-tête
- 3- Groupe d'ouverture/fermeture gabarits

### III.12.2. Machine à couler

#### III.12.2.1. Unité d'injection

L'unité d'injection est responsable de l'échauffement et de l'injection de la matière du polymère dans un moule, la première partie de cette unité est appelée trémie, elle est constituée de façon à contenir une grande quantité de granulés du polymère, pour le fonctionnement de la trémie ; on entame un premier processus de l'opération et qui consiste à alimenter la machine en matière première, une fois le mécanisme de ce système enclenché ont chauffée la matière jusqu'à liquéfaction du polymère. On assure ensuite l'injection du polymère « liquéfié » [8].



**Figure III.9:** Machine à couler (à mousser)

La poussée de la matière est réalisée par un arbre filtré appelle vis avec des gradations de diamètre pour chaque longueur importante, ce dernier aide l'augmentation de la force de poussée de la matière jusqu'au seuil d'injection.

La raison de sélectionner de la machine à couler à haute pression c'est que [14]

- Le nettoyage de l'air comme celui du solvant, est inutile.
- Economique
- L'environnement de travail est amélioré

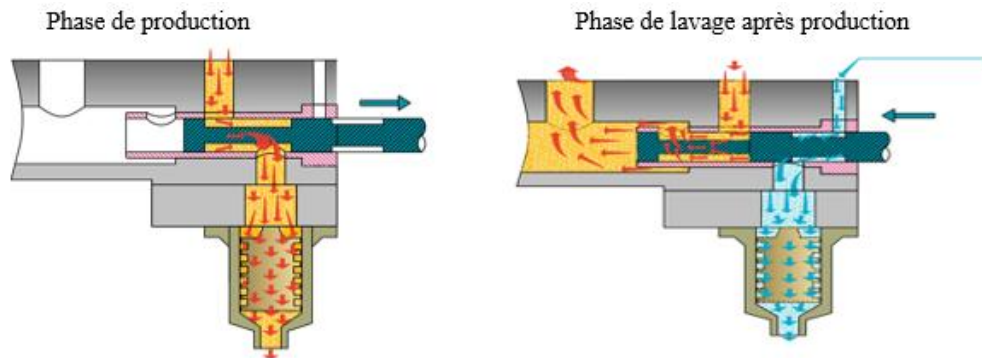


Figure III.10 : Principe de fonctionnement de la tête de mélange [14] :

### III.12.3. Réservoir de machine

Ce sont les réservoirs de machine pour les deux liquides bruts R et P en provenance du réservoir de stockage.

Ils sont rendus étanches par une couverture d'azote gazeux.

- . Réservoir de liquide R : 350 L
- . Réservoir de liquide P : 350 L
- . Matériaux du réservoir : SUS 304

Il faut deux réservoirs, un pour le liquide R et un pour le liquide P. le matériaux SUS 304 est utilisé afin de prévenir la corrosion éventuelle due aux liquides bruts [14].



Figure III.11 : Réservoirs des produits R et P dans la salle MPU

Ces réservoirs sont automatiquement alimentés à partir du réservoir de stockage et conçus de manière que le niveau ne soit pas au-dessous d'une capacité déterminée. Pour cette raison, la capacité de ces réservoirs est fixée à 350 L, ce qui permet d'empêcher les liquides stockés de subir des changements brusques dus à l'élévation ou à l'abaissement de la température atmosphérique et à la température des liquides bruts automatiquement fournis.

L'unité hydraulique assure la source d'énergie de la machine à couler

Pompe hydraulique : 200 kg/cm<sup>2</sup> au maximum

L'unité hydraulique a pour fonction de faire marcher la tige de piston de coulage qui s'élève au moment du refoulement et fait sortir le liquide d'uréthane qui reste dans le cylindre après le refoulement. Au moment de refoulement, une grande force est requise à cause du liquide d'uréthane durci qui colle la tige de piston au cylindre. De ce fait, nous avons fixé à 200 kg/cm<sup>2</sup> au maximum la pression utile de la tige de piston.

Il est à noter que l'unité hydraulique fonctionne d'une manière très instable si elle est utilisée en commun pour le pont roulant AR-06-013-04 (action verticale de la machine à couler) et pour la machine à couler AR-06-013-01 (action verticale de la tige de piston), en raison de sa pression utile qui varie considérablement dans ces conditions.

L'on prépare donc deux unités hydrauliques dont l'une à 7.5 kw est destinée à la machine à couler et l'autre à 3.75 kw au pont roulant.

Le pont roulant permet de faire descendre la machine à couler AR-06-013-01 jusqu'à la position de coulage dans la porte et de la remonter en position initiale une fois l'injection terminée.

Un tableau de commande disponible pour gère de système électrique AR-06-013 (équipements de coulage) [14].

Le dispositif qui satisfait aux conditions de température déterminées permettant de maintenir le rapport de mélange des liquides R et P et une viscosité appropriée

#### **III.12.4. Motifs de sélection du moule interne en uréthane**

Le moule interne en uréthane enveloppe complètement la porte et la chaleur de réaction développée par l'uréthane permet d'échauffer la porte et le moule.

Avec les conditions de base suivantes :

1-Température à la surface de la pièce lors de son démoulage

La température à la surface des pièces doit être égale ou supérieure à 30°C même lors de leur démoulage, pour assurer ainsi une bonne réaction de moussage.

2-La température à la surface du moule doit être assez basse pour ne pas causer une déformation du moule.

### **III.12.5. Rôle de système d'alimentation**

Le choix de la zone d'attaque d'une cavité de moule n'est pas indifférent. Si la matière ne rencontre pas d'obstacle lors de son écoulement, les pertes de charges seront réduites et l'on pourra diminuer la pression d'injection ; cela revient à éviter l'alimentation de la cavité face à un obstacle (noyau du moule). Celui-ci divise en outre le jet de plastique en deux flux se refermant sur la face opposée du noyau, et rend inévitable la formation d'une soudure nuisible à la résistance mécanique et parfois visible, donc inesthétique. Si les soudures sont inévitables (c'est souvent le cas), il est indiqué de choisir l'attaque en vue d'orienter leur formation dans une zone de forte section ou une région de la pièce ne supportant pas d'effort important.

Si l'objet moulé comporte des variations d'épaisseur, il est indiqué de placer le point d'alimentation sur les parties massives afin de pouvoir poursuivre le remplissage au moment du retrait de solidification pour compenser en partie celui-ci.

Les pièces complexes de grandes dimensions sont souvent alimentées en plusieurs points, ce qui présente l'inconvénient de multiplier les lignes de soudures, mais celle-ci sont de bonne qualité si la rencontre des flux de matière se fait à une température suffisante

### **III.12. 6. Equilibrage des écoulements dans le canal**

Le refroidissement dans les canaux est directement proportionnel à au périmètre de la section du canal.

Afin de remplir dans les meilleures conditions le moule, il est nécessaire que la matière plastique se refroidisse le moins possible avant d'atteindre l'empreinte.

- La section circulaire est donc la géométrie optimale à privilégier.
- Difficile à usiner, on lui préférera parfois les sections parabolique et trapézoïdale.
- Les sections semi circulaire et carré sont à proscrire.

#### **III.12.6.1. Principe de fonctionnement**

Le principe de fonctionnement d'une machine à couler d'injection est le suivant :

Dans l'unité de plastification, la vis est placée dans un fourreau cylindrique, chauffé par conduction. Elle peut être entraînée soit en rotation, soit en translation. Lorsqu'elle tourne, sa fonction est tout d'abord de faire le mélange des granulés de polymère, qui ont été chauffés par les colliers chauffants et de convoyer la matière à l'entrée de l'unité de fermeture [3].

Ensuite, elle agit comme un piston pour injecter la matière fondue dans un moule. Ce dernier, généralement réglé à une température proche de la température ambiante va permettre de figer le plus rapidement possible le polymère. C'est ce qui se passe lorsque l'on transforme des thermoplastiques. Pour les polymères thermodurcissables ou des élastomères, en général, le mélange est tiède et injecté dans un moule chaud permettant l'initiation de la polymérisation.

Avant que les produits R et P arrivent dans des conduites (tuyaux) jusqu'à la tête d'injection et assurent l'opération de moussage des moules des réfrigérateurs (à l'ENIEM), les produits R et P passent par plusieurs étapes qui sont :

1. Recevoir de la matière première brute dans des fûts ou des citernes ;
2. Mettre les produits iso cyanate et le polyol respectivement dans les réservoirs de préparation (voir la figure ci-dessous);
3. Ramener les températures des produits à la température ambiante 20°C plus au moins 2°C ; avec l'agitation permanente du produit dans les réservoirs ;
4. Envoyer directement l'iso cyanate vers l'atelier à l'aide d'une pompe (envoi automatique) après l'avoir préparé dans un réservoir ;
5. Recevoir le cyclopentane dans l'écomixer ;
6. Préparer le mélange (polyol + cyclopentane) qu'on appelle le produit R dans l'écomixeur ;
7. Stocker le mélange R dans un réservoir ;
8. Envoyer automatiquement le mélange R vers l'atelier.

Les moules, installés sur une machine spéciale (machine à couler), sont constitués le plus souvent de deux coquilles (partie fixe et partie mobile) qui sont fortement pressées l'une contre l'autre au moment du moulage puis écartées pour permettre l'éjection de la pièce moulée.

Après ces étapes, une fois les produits sont envoyés à l'atelier dans des conduites pour passer à la mise en œuvre et le moussage des réfrigérateurs à l'ENIEM on passe par les étapes suivantes :

- L'iso cyanate qui vient des conduites de la salle MPU sera envoyé directement dans des réservoirs et à l'aide d'une pompe en l'envoie vers la tête d'injection de la mousse ;
- Le mélange (polyol + cyclopentane) qu'on a appelé le produit R sera envoyé dans un réservoir et à l'aide d'une pompe d'alimentation en l'envoie vers la tête d'injection ;

- Une fois on a injecté la mousse dans des moules le produit P restant (l'iso cyanate) va retourner à l'aide d'une conduite de retour vers le réservoir, la même chose pour le produit R.
- Tous les réservoirs sont équipés des conduites d'entrée d'eau de refroidissement et de leur sortie pour assurer une température de 20°C plus au moins 2°C.

### **III.12.7. Les phases de cycle**

Le cycle d'injection se décompose en 5 étapes :

#### **III.12.7.1. La phase de dosage**

Après introduction dans la trémie, les granulés de polymères sont fondus dans un système de plastification vis-fourreau, réglé en température, et une dose de matière fondue est accumulée en tête de vis.

#### **III.12.7.2. La phase de remplissage dynamique**

Le polymère fondu est injecté, via la buse d'injection, à vitesse imposée de manière à remplir la quasi-totalité de l'empreinte (généralement de 95% à 99%) du moule fermé. La pression d'injection passe par un maximum dit pression de commutation.

#### **III.12.7.3. La phase de maintien (ou compactage)**

Après commutation (passage de la phase de remplissage dynamique en phase de maintien), une pression est imposée sur la vis qui permet un « pourrissement » (apport de matière) de la pièce qui permet la maîtrise du retrait dû au refroidissement de la pièce. Cette phase dure en général jusqu'au refroidissement du seuil à partir duquel aucune pression ne peut ensuite être transmise à la pièce.

#### **III.12.7.4. La phase de refroidissement**

Le (ou les) seuil(s) d'injection sont entièrement solidifiés.

Cette phase correspond au refroidissement de la pièce jusqu'à sa température de démoulage ;

#### **III.12.7.5. La phase d'éjection**

Lorsque la pièce est solidifiée, le moule s'ouvre et la pièce est éjectée hors du moule (avec l'aide d'éjecteurs, ...).

### **III.13. L'unité de fermeture**

Cet ensemble permet la fermeture et le verrouillage de la partie mobile du moule, sur la partie fixe. Devant résister à la pression d'injection, sa conception est très importante. Son fonctionnement peut être mécanique, hydraulique, ou mixte.

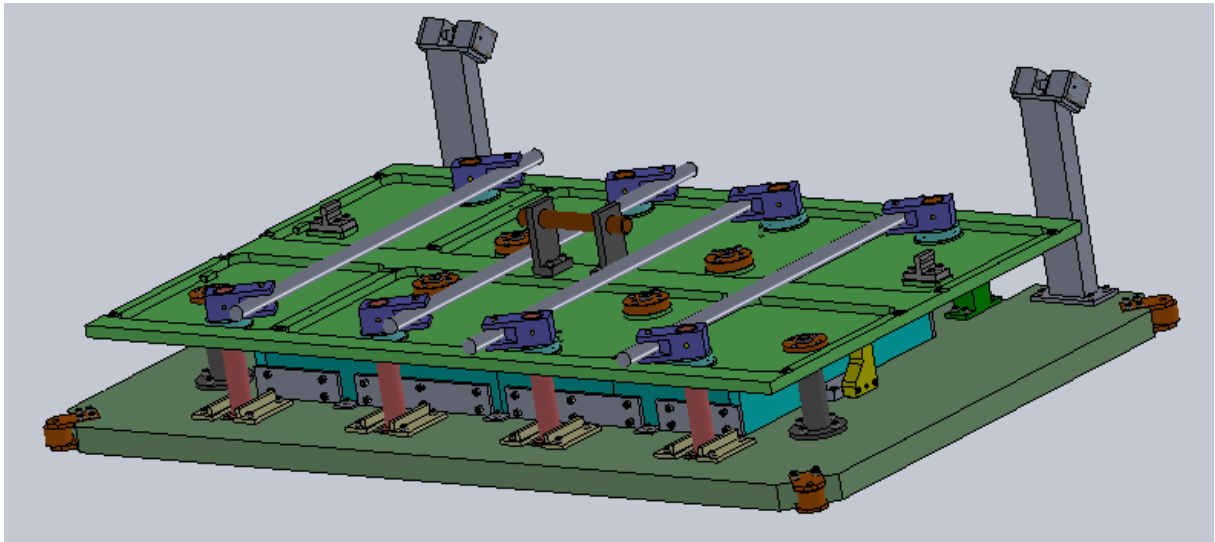


Figure III.12: fermeture du moule

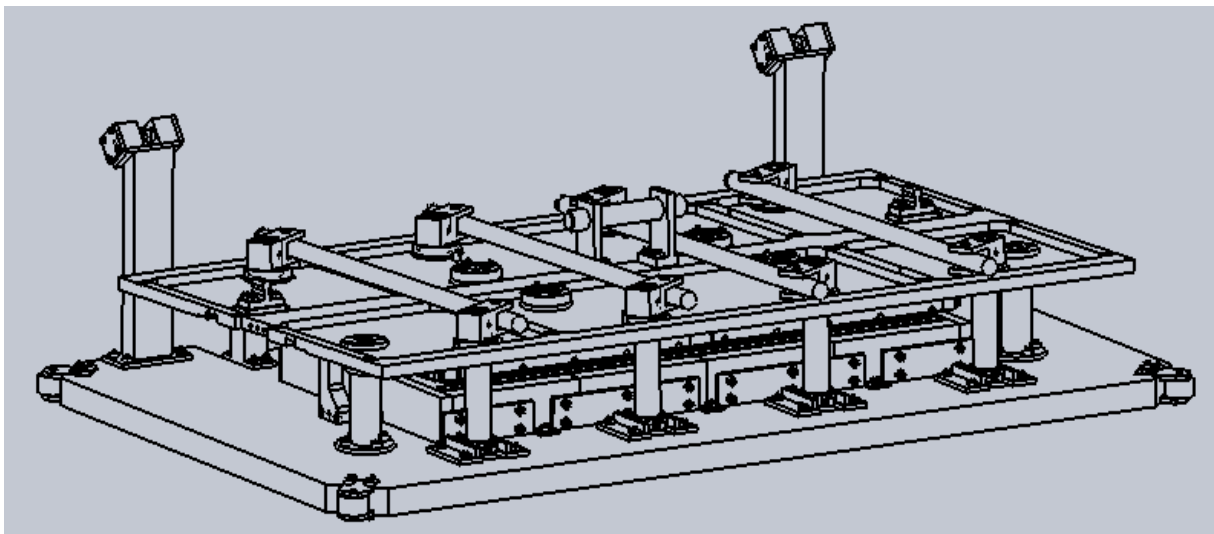


Figure III.13: dessin de fermeture

### III.13.1. Fermeture mécanique

Bien que les mouvements sont assurés par un vérin, elle est appelée mécanique, car l'effort de verrouillage est assuré par les genouillères. Sur certaine presse, lorsque le point d'alignement est dépassé, on peut couper la pression dans le vérin et l'ensemble reste stable.

### III.13.2. Fermeture hydraulique

Ce type de fermeture ne fait appel à aucun mouvement mécanique. Ceux-ci sont réalisés par des mouvements hydraulique à l'aide d'un gros vérin central qui a pour but de faire l'approche du plateau mobile jusqu'au plateau fixe, et d'un vérin plus petit qui assure le verrouillage dans la phase finale de la fermeture.

**III.13.3. Fermeture mixte**

Ce procédé est un compromis entre la fermeture hydraulique et la fermeture mécanique. En effet, les mouvements d'ouverture et de fermeture se font uniquement par des genouillères, tandis que le verrouillage est assuré par un ou des vérins hydrauliques.

**III.14. Démoulage**

L'opération de démoulage peut avoir lieu pour les matières thermoplastiques, la pièce fabriquée a acquis par refroidissement le plus souvent, une rigidité suffisante. Dans le cas des matières thermodurcissables, la forme solide est acquise par transformation chimique au cours du moulage. Une pièce ne pourra se démouler que si ses faces possèdent un angle de dépouille, plus ou moins important selon la matière utilisée (la moule). Pour compliquer le processus, certaines parties des pièces peuvent être en contre-dépouille (angle inverse à l'angle de dépouille) et rendre la pièce non démoulable directement. Dans ces cas, on place des parties mobiles à l'intérieur des moules qui vont aider le démoulage (des tiroirs ou coulisseaux et des rampes ou cales montantes).

**III.15. Conclusion**

Après cet aperçu sur les procédés d'injection plastique, les types de moulage par injection plastique et la machine (presse) de moulage par injection plastique ; dans le chapitre suivant, nous essaierons de proposer un prototype de moulage par injection plastique et d'essayer de concevoir les pièces principales qui assurent le bon fonctionnement de notre système.

# Chapitre IV : Conception

## IV.1. Partie pratique

### IV.1. 1. Introduction

D'une façon générale, un moule est un outil de transformation comportant une cavité destinée à recevoir un matériaux liquide assemblées dans le but d'accomplir des fonctions bien déterminées, dont l'objectif est de fabriquer des pièces en plastiques d'une manière automatique. Cet outil est constitué d'une partie mobile et une partie fixe séparée par ce qu'on appelle un plan de joint.

### IV.1. 2. Structure d'outillage d'injection « Le moule »

Le moule est un ensemble mécanique de très grande précision qui permet de fabriquer des milliers de pièces en injectant de la matière plastique ou du métal en fusion dans des empreintes prévues à cet effet. La figure IV.1 présente le moule

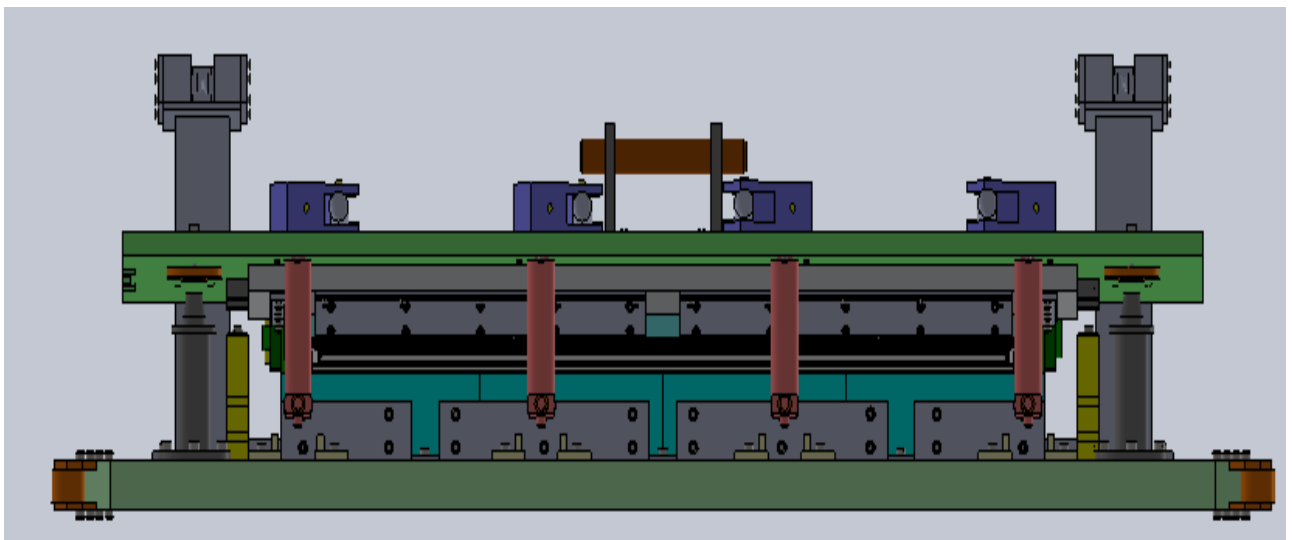


Figure IV.1 : moule complet

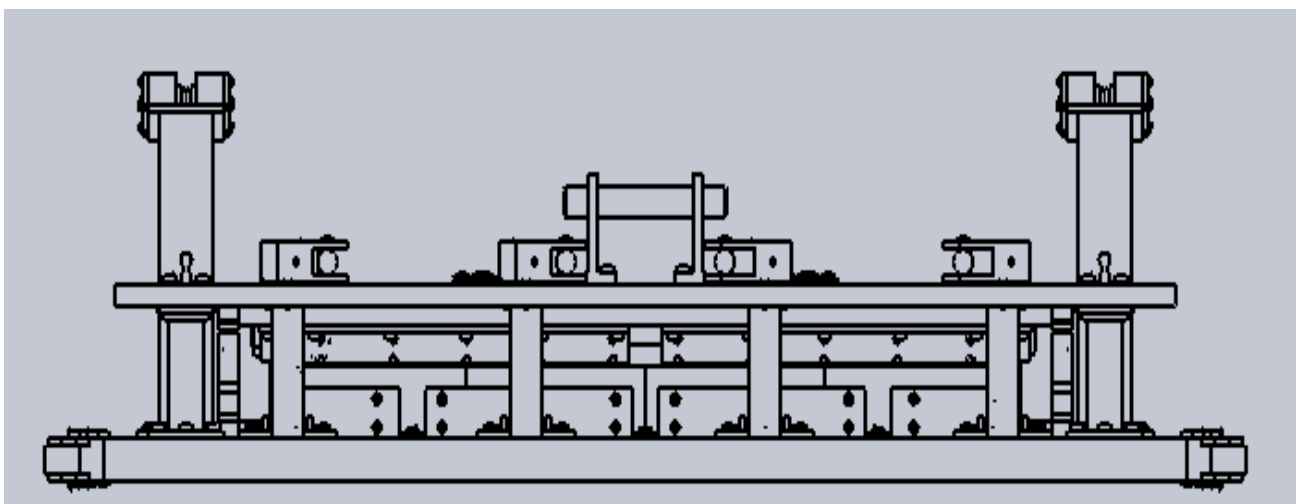
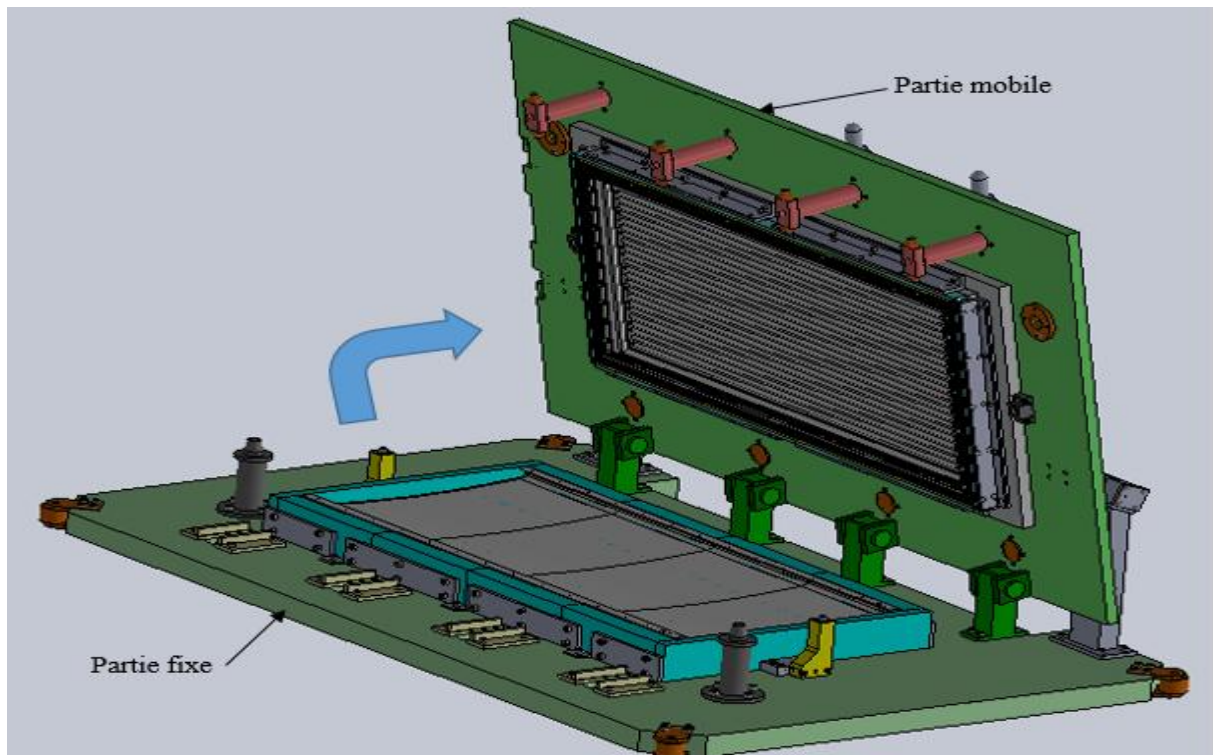


Figure IV.2 : Dessin du moule

Un moule est constitué de 2 parties principales, une partie fixe pour l'injection de la matière et une partie mobile pour la fermeture du moule.



**Figure IV.3 :** Les différentes parties d'un moule d'injection plastique

Structure d'un moule deux plaques Un moule standard est constitué de 2 parties :

**-Une partie s'adaptant sur le plateau fixe des presses :**

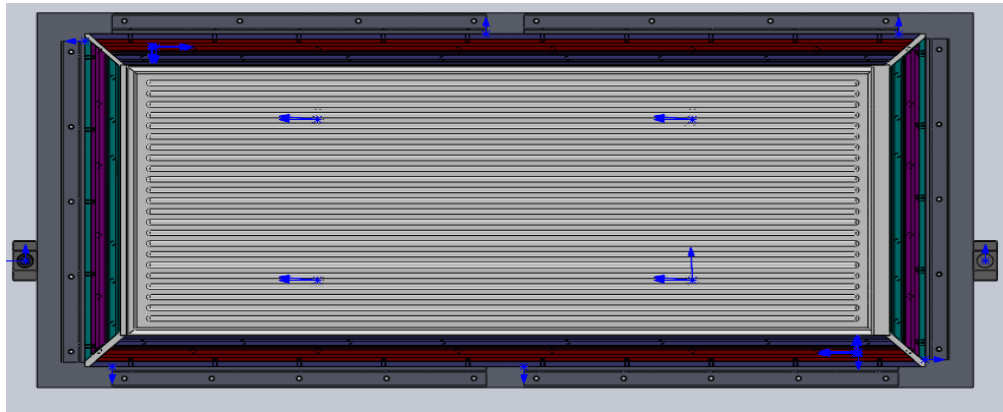
C'est le côté injection, « partie fixe »

**-Une partie fixée sur le plateau mobile :**

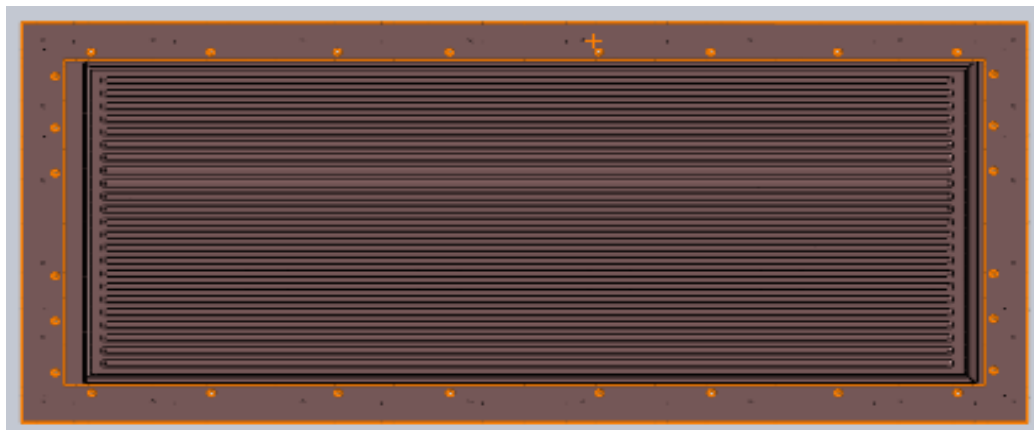
C'est le côté éjection, « partie mobile ».

Le côté injection du moule possède généralement une partie des empreintes ainsi qu'une partie du système d'alimentation. Cette alimentation standard est constituée de la carotte, d'un canal principal, éventuellement avec des canaux secondaires et un (ou plusieurs) seuil(s) d'injection.

La figures IV.4 et IV.5 présentent le noyau inférieur et l'empreinte de moule



**Figure IV.4 : noyau inférieur**



**Figure IV.5 : l'empreinte**

Ces divers éléments forment la grappe d'alimentation, matière perdue, ou déchet, qui dans la plupart des cas sont recyclée. La buse assure la liaison temporaire d'alimentation entre le moule et l'unité d'injection de presse. Le côté éjection, constituant la partie mobile du moule, porte le noyau, et la partie fixe porte l'empreinte. Les 2 côtés du moule sont alignés en position entre eux par des colonnes de guidage. au moment de la fermeture du moule (montage conseillé pour la sécurité des noyaux) Le dimensionnement de l'outillage sera fonction de :

- La forme de la pièce ;
- Les dimensions de la pièce ;
- La matière de la pièce ;
- Les tolérances de la pièce ;
- Des capacités de la machine.

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.

### IV.1. 3.Fonction mise en forme

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 de remplissage.

Le choix du nombre dépend essentiellement de la quantité à produire afin de vie du moule. 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 tel que (tiroirs - cales montantes - noyaux) dans le but de faire des formes en contre dépouilles

Cette fonction définit les formes de l'empreinte pour obtenir une pièce conforme au cahier de charges fonctionnelles mais surtout une pièce qui soit démoulable sans problème.

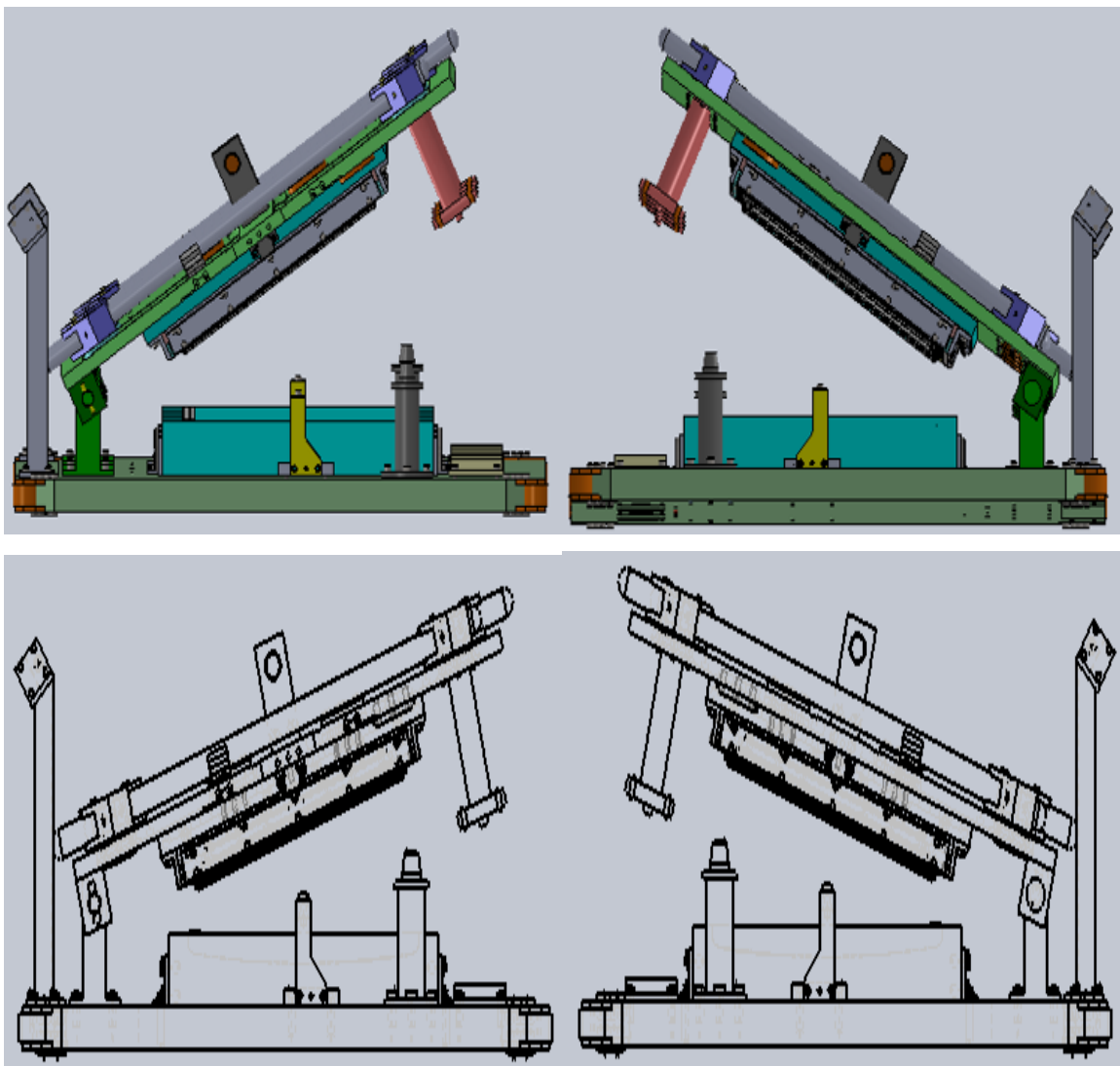


Figure IV.7 : mise en forme du moule

### IV.1. 4.Fonction guidage / positionnement

Le moule étant composé de plusieurs parties séparées par le plan de joint, à la fermeture du moule celui-ci doit être guidé et recentrer pour que les parties moulantes de la pièce soit en correspondance entre les différentes parties du moule.

Cette fonction assure le guidage et le positionnement de la partie mobile de l'outillage par rapport à la partie fixe

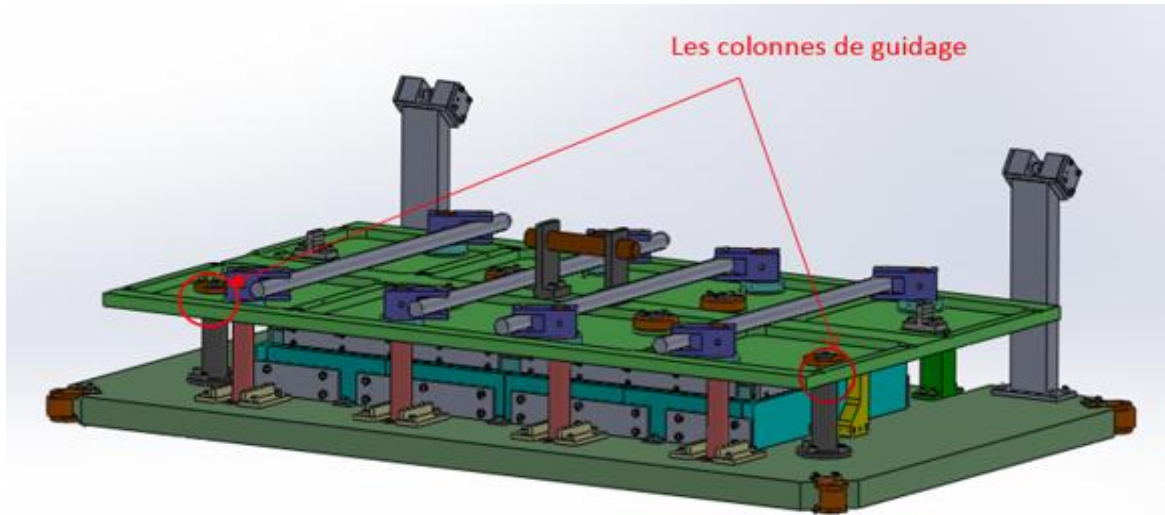


Figure IV.8: fonction guidage

Pour éviter une excentration des deux parties du moule, on procède à un recentrage soit par un "cône" soit par des faces inclinées. Ce recentrage peut être dans le 1er cas en protection du plan de joint et dans le second

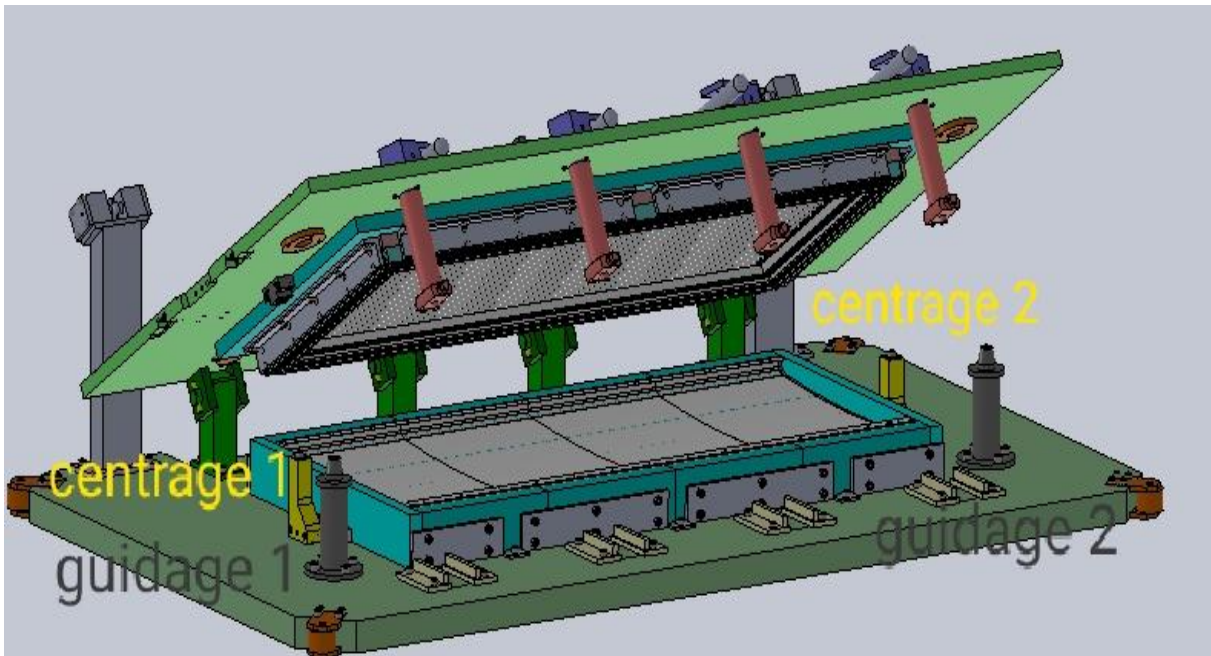
Les parties du moule peuvent s'excentrées sous l'effet de la pression matière. Le remplissage peut être favorisé dans une partie du moule ce qui amplifie le défaut.

La pression dans l'empreinte peut entraîner un glissement entre la partie fixe et la partie mobile. Le centrage évite le glissement entre les deux parties du moule. Les formes de l'empreinte dans le moule peuvent faire s'excentrées la partie mobile de la partie fixe sous l'effet de la pression matière.

### IV.1. 5.Bilan des centrages et des guidages

Le guidage et le positionnement seront obtenus suivant les tolérances imposées à la pièce et aux parties rentrantes fragiles ou non, par différents systèmes :

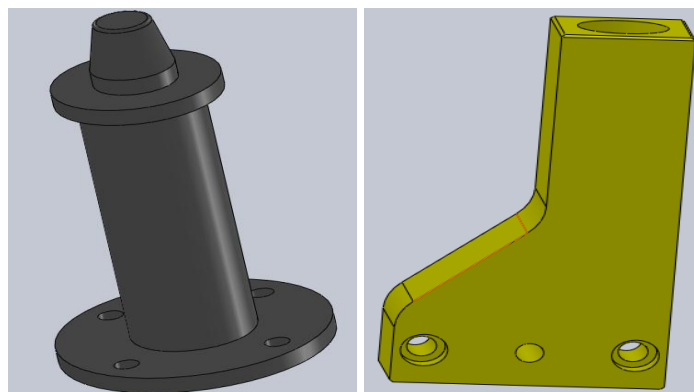
- Soit un ensemble de colonnes et douilles de guidage permettent d'assurer la fonction complète,
- Soit un ajout de centreurs coniques ou droit seront nécessaires afin d'assurer cette fonction avec plus de précision



**Figure IV.9 :** positionnement de la partie mobile de l'outillage par rapport à la partie fixe

#### IV.1. 6. Le guidage des parties fixe et mobile du moule

- **Guidage 1 et 2 :** Mouvement angulaire du plateau mobile sur les colonnes de guidage (1 et 2)  
(Mouvement de la Partie Mobile par rapport à la Partie Fixe de l'outillage)
- **Centrage 1 et 2 :** Mise à l'axe de l'Axe Outillage sur l'Axe centrage  
(Mise à l'axe de l'Axe de la Partie Mobile avec l'Axe de la Partie Fixe de l'outillage)



**Figure IV.10 :** la colonne de guidage et le porte centreur

#### IV.1.7. Fonction régulation thermique

Dans les procédés d'injection de pièces en thermoplastique, la qualité des pièces mises en forme ainsi que le temps de cycle du procédé sont fortement conditionnés par la phase de solidification du

polymère dans la cavité moulante. L'analyse des transferts de chaleur pendant cette phase, conduit à investiguer le positionnement optimal des sources froides ainsi que leurs intensités. Notre approche est basée sur un positionnement des canaux de refroidissement, puis sur une méthode de contrôle optimal pour déterminer les flux de chaleur à évacuer en régime périodique établi.

La régulation de la température de l'outillage se fait à travers un liquide caloporteur qui peut être :

- L'eau pour des températures faibles (eau à 15 °C)
- L'huile pour des températures allant à 130 °C

Ce liquide est envoyé à travers des canaux percés dans la carcasse de l'outillage et les empreintes en utilisant un thermorégulateur

#### **IV.1.8. Fonction manutention ; stockage ; sécurité et liaison machine**

Afin d'éviter toute détérioration de l'outillage, il est impératif qu'à la fermeture du moule le dispositif d'éjection soit rentre. Les systèmes permettant le retour de la batterie d'éjection sont :

- Les ressorts ;
- Les vérins ;
- Les éjecteurs de remise à zéro ;
- Les capteurs.

En outre des solutions constructives sont mise en place pour assurer la manutention des Moules pour le stockage et les opérations de maintenances et de fin de série.

#### **IV.1.9. Système de refroidissement**

On refroidit les moules par rapport à la température d'injection du polymère. Bien souvent la température des moules est comprise entre 40°C et 100°C.



**Figure IV.11 : accessoires de refroidissement**

La pièce moulée en se refroidissant, cède sa chaleur à l'outillage. Ce dernier à son tour l'évacue très partiellement par rayonnement et convection dans l'air environnant, car la plus grande partie de la chaleur à éliminer est absorbée par un fluide réfrigérant (généralement de l'eau). Dans la production des pièces injectées, le temps de refroidissement constitue le plus souvent la phase la plus longue de cycle de moulage ; c'est donc en améliorant les conditions de refroidissement des pièces moulées que l'on peut encore faire des progrès sensibles sur le plan de la productivité. Les circuits de refroidissement des moules fonctionnent avec un simple réglage manuel de débit de l'eau.

La température de la matière plastique doit rester à la sortie de la machine à couler jusqu'à l'empreinte du moule. Il faut donc procéder au refroidissement des zones qui entourent l'empreinte.

#### IV.1.9.1. Circuit de refroidissement

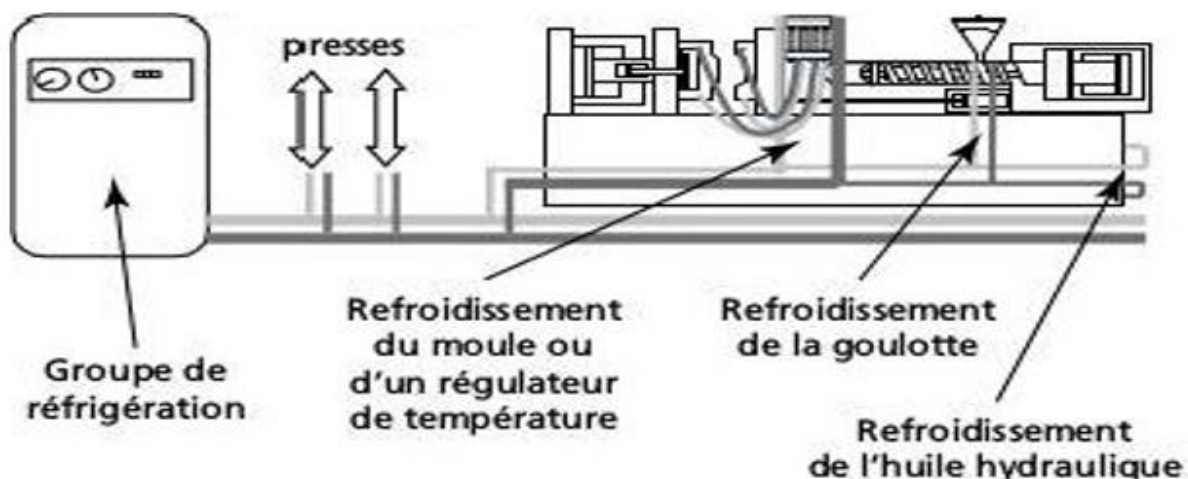


Figure IV.12 : Schéma de la circulation réfrigérée.

Une de refroidissement est indispensable au fonctionnement d'un atelier de production. Les presses utilisent de l'eau réfrigérée pour éviter un échauffement de la goulotte et pour refroidir l'huile hydraulique. Sont aussi ce circuit, soit en les raccordant directement à la boîte eau, soit par intermédiaire d'un thermorégulateur.

#### IV.1.9.2. Rôle du refroidissement

Le refroidissement des moules est une nécessité technique et économique, une pièce moulée ne peut être extraite sans dommage l'outillage qui la produit si elle n'a pas acquis une rigidité suffisante pour résister aux efforts d'éjection.

La vitesse de refroidissement influence aussi la structure et les propriétés physiques et mécaniques des matières plastiques. Il faut s'efforcer d'obtenir une vitesse de refroidissement

uniforme par aboutir à une structure homogène, cela nécessite la création de condition de refroidissement identique en toute région du moule.

#### **IV.1.10. Fonction éjection**

La plupart des pièces réalisées par injection plastique resteraient dans le moule après son ouverture et ne seraient pas évacuées sous l'effet de la gravité seule si aucun système d'éjection n'existait.

Plusieurs systèmes ont donc été conçus afin d'aider l'extraction de la pièce à l'ouverture du moule :

Les éjecteurs sont des barres métalliques cylindriques pleines (parfois creuses) qui, lors de l'ouverture du moule, viennent pousser la pièce plastique pour l'extraire du moule. Il s'agit de la technique d'éjection la plus utilisée car elle peut s'appliquer à quasiment toutes les pièces plastiques.

#### **IV.1.11. Choix des éjections**

Les systèmes peuvent être couplés la mécanique pour vaincre des efforts importants de démoulage, et le pneumatique pour éviter l'effet vouteuse et faire tomber plus rapidement les pièces.

Dans le cas de l'éjection mécanique, c'est en général le vérin d'éjection de la presse qui, par l'intermédiaire de la queue d'éjection et de la batterie d'éjection du moule, réalise les mouvements.

On avoir une éjection poussée mécanique entre la queue et la batterie. Le retrait éjecteurs est alors effectué :

- par un système de ressorts incorporé l'outil ;
- par rappels d'éjection pendant la fermeture de l'outil.

Ce dernier était à l'origine utilisé comme sécurité pour les empreintes digitales. S'ils entrent en contact avec les surfaces de contact des pièces de maintien du moule, ils repoussent la batterie d'éjecteur, empêchant les broches d'éjecteur d'être retirées lorsque le moule est fermé. Evitez au maximum cette solution de remise à zéro de la batterie à chaque arrêt, car d'une part vous finirez par abîmer la zone de contact (provoquant la sortie de l'éjecteur, nr l'enfoncement du plan de la partie fixe), et d'autre part, il ne permettra pas une vitesse d'arrêt élevée, et donc affecte le temps de cycle.

De son côté, l'éjection couplée sert à commander le retrait et la rétraction de la batterie d'éjection, puisque la queue d'éjection est solidaire de la batterie et transmet ainsi tous les mouvements du vérin

## IV.1.12. Mode de fonctionnement du moule

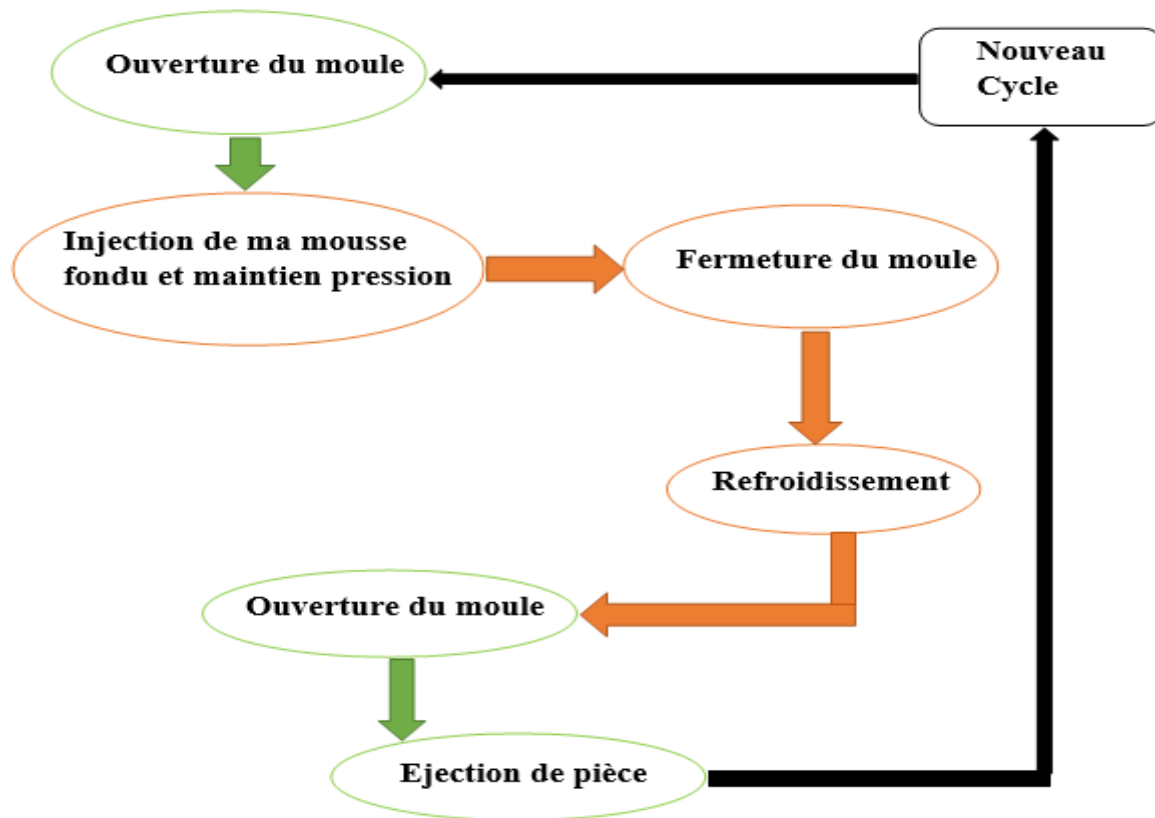


Figure IV.13 : déroulement du cycle d'injection [7].

Le cycle complet de fabrication qui démarre toujours avec le moule ouvert, se déroule de la façon suivante :

1. Ouverture du moule ;
2. Injection de la matière vers l'empreinte destinée à modeler la pièce. Cette matière est diffusée de manière homogène dans l'empreinte pour bien la remplir ;
3. Fermeture du moule rapide en début de course, puis lente à la fin, puis verrouillage du moule pendant laquelle une force importante en fonction des critères techniques (matière à injecter, forme des pièces,) est appliquée pour maintenir les 2 surfaces des parties fixes et mobiles en contact ;
4. Refroidissement rapide de l'empreinte pour solidifier la matière ;
5. Ouverture lente du moule en début de course puis rapide en fin ;
6. Ejection de la pièce solidifiée.

## IV.2. Cahier de charge de L'ENIEM

### IV.2.1. Les caractéristiques de la matière avec laquelle se produit la mousse

La mousse polyuréthane rigide est une composition des trois produits principaux suivants :

#### IV.2.1.1. Polyol

On distingue les polyéthers-polyols et les polyesters-polyols.

Propriétés	Valeurs moyennes		
Densité à cœur	34		
Résistance à la compression	108 [Kg/cm <sup>3</sup> ]		
Nombres de cellules fermées	95%		
Reprise d'eau (en volume)	1.8%		
Conductivité de chaleur (23°C)	18.5 [mW/m.K]		
Stabilité dimensionnelle	Hauteur	largeur	longueur
-30°C	-0.2%	-0.1%	0%
+80°C	+0.5%	-0.2%	-0.4%

**Tableau IV.1** : les propriétés de Polyol

#### IV.2.1.2. Iso cyanate

Propriétés	Valeurs moyennes
Apparence	sans coagulum
Densité	1.24 (+0.01/-0.01)
Viscosité à 25°C	160-260 [mPa.s] (centpoises)
Point d'inflammation	245°C

**Tableau IV.2:** les propriétés d'iso cyanate .

#### IV.2.1.3. Cyclopentane

Propriétés	valeurs
Etat	Liquide
Pureté en%	Supérieur à 95%
densité	0.745
Pression de vapeur à 20°C	345[ mbar]
Point d'ébullition	49°C
Point éclair	-35°C
Limite d'explosion	1.4 à 8% en volume d'air
Viscosité dynamique à 20°C	0.44 [MPa]
Solubilité dans l'eau à 20°C	0.15[ g/l]

**Tableau IV.3** : propriétés de Cyclopentane .

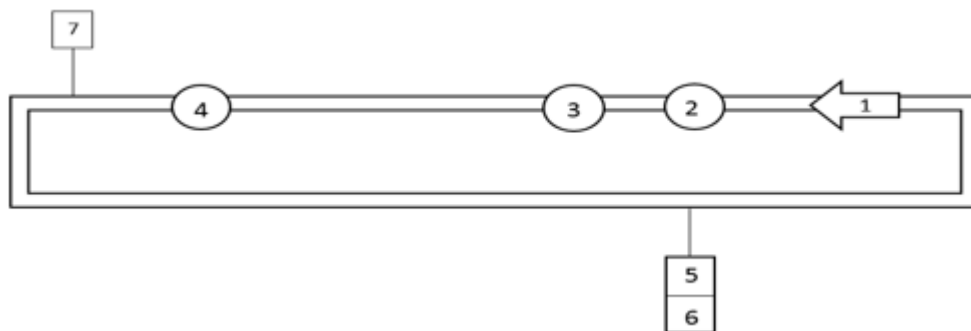
### IV.2.2. Les indices et ses équipements [14]

AR-06-012-01	chaîne de moulage par transfert	AR-06-013	équipements de coulage
AR-06-013-01	machine à couler	AR-06-013-02	Réservoir de machine
AR-06-013-03	unité hydraulique	AR-06-013-04	pont roulant
AR-06-013-05	tableau de commande	A AR-06-012-02	dispositif d'ouverture
AR-06-013-06	Unité de contrôle de température	AR-06-012-04	Dispositif de Positionnement Des moules
AR-06-012-05	Moules	AR-06-012-06	Tableau de commande
(n'a pas d'indice)	Transport		

- **Tableau IV.4 :** les indices et ses équipements.

### IV.2.3. Chaîne de moutage

Chaîne servant à couler l'uréthane comme calorifuge dans les portes des réfrigérateurs et congélateurs qui ont été montées sur la chaîne de pré-assemblage des portes.

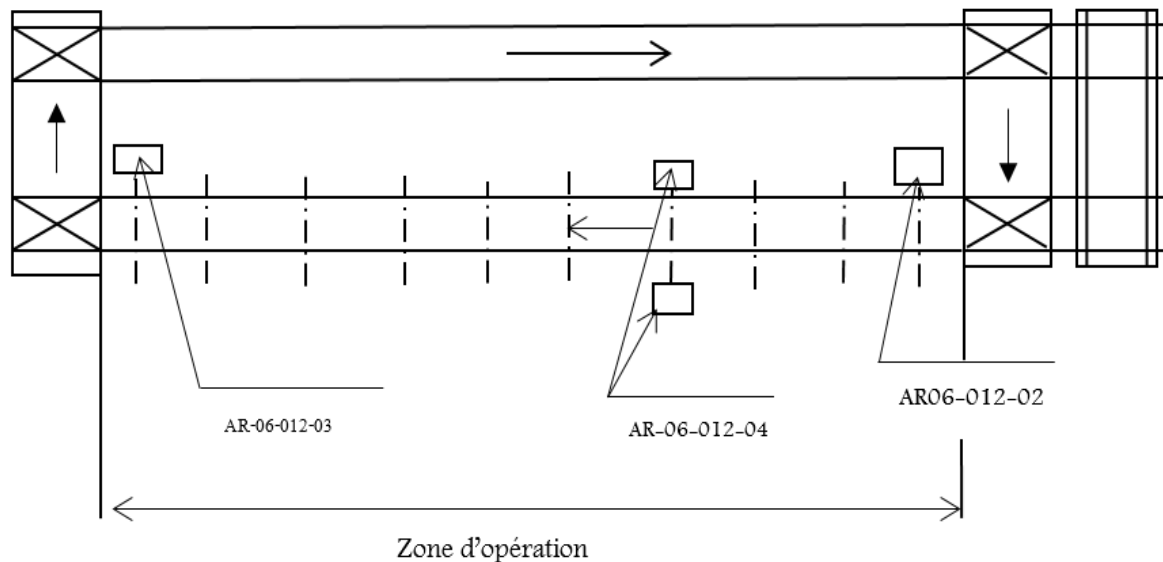


**Figure IV.14 :** Chaîne de moutage d'uréthane pour portes

- 1-transports des moules (installation auxiliaire) ;
- 2- coulage (transporteur) ;
- 3-fermeture du moule (transporteur) ;
- 4-ouverture du moule (transporteur) ;
- 5-mise en place des moules (opération) ;
- 6- moules (opération) ;
- 7- tableau de commande (opération).

#### IV.2.4. Chaîne de moulage par transfert

Les moules pour moussage d'uréthane doivent être transportés à une cadence régulière dans la zone d'opération.



**Figure IV.15:** Chaîne servant à transporter les moules pour moussage d'uréthane

Cette chaîne a été sélectionnée pour les raisons suivantes :

- Ils doivent être transportés et arrêtés à chaque poste sans à-coups
- Les moules qui se trouvent dans la zone d'opérations doivent être régulièrement transportés dans la zone de durcissement.

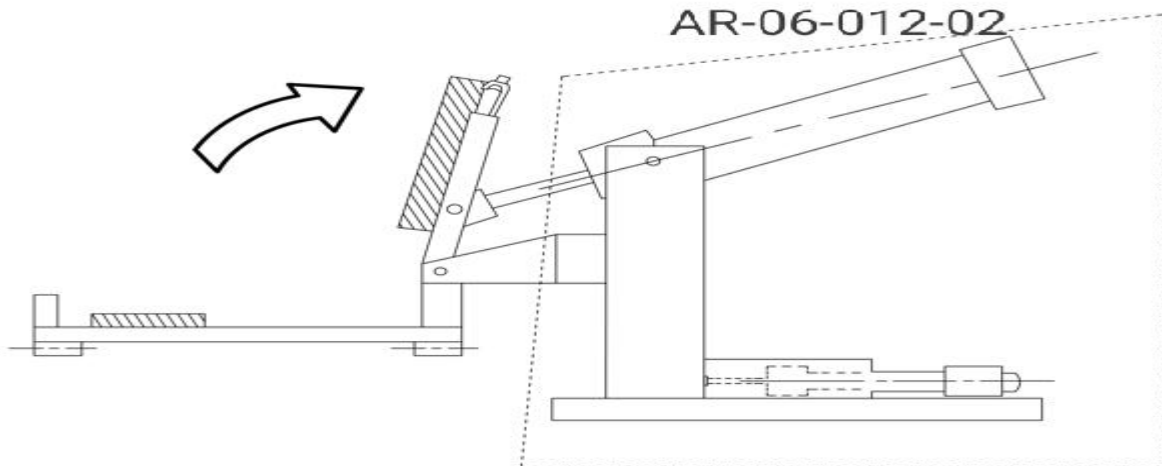
Dans la zone du durcissement, les moules acheminés par le transporteur étant très rapprochés, des mesures adéquates doivent être prises pour réduire l'effet des chocs entre moules

Sur la base des conditions susmentionnées. L'on a déterminé les spécifications suivantes applicables à cette chaîne :

- Moteur frein électrique à vitesse variable à courant alternatif comme source d'entraînement ;
- Application d'un poussoir pour positionner les moules en un point qui exige un positionnement bien précis ;
- Application d'un absorbeur de choc au point d'arrêt des moules ;
- Application d'un moteur frein à démultiplicateur qui transporte les moules entre les zones d'opération et de durcissement par la méthode de transport intermittent ;
- Application d'un système de transport identique au système de transport des moules AR-06-004-01 pour la zone de durcissement.

### IV.2.5. Dispositif d'ouverture

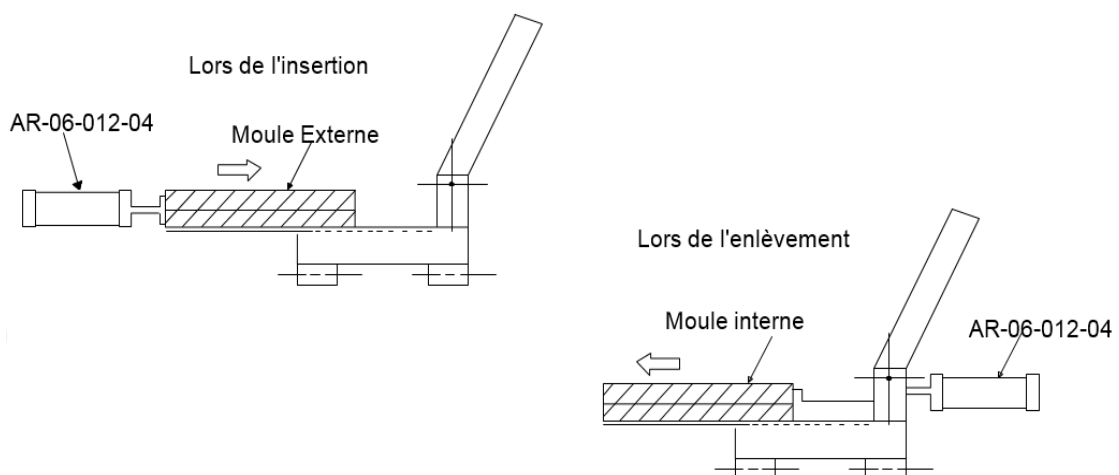
Dispositif qui ouvre le couvercle supérieur installé sur le moule externe du moule de moutage (soit, matrice) d'uréthane et met la pièce se trouvant à l'intérieur (porte) en état d'être enlevé. Chaque partie du moule est trop lourde pour être manutentionnée manuellement, et d'ailleurs cela est dangereux



**Figure IV.16:** Dispositif d'ouverture de moule

- Pour assurer la sécurité du travail et réaliser rationnellement la fabrication en série, un dispositif d'ouverture du moule a été sélectionné.
- Ce dispositif emploie la méthode qui consiste à élever le couvercle supérieur au moyen d'un vérin pneumatique.

### IV.2.6. Dispositif de positionnement des moules



**Figure IV.17 :** Positionnement des moules

- Le dispositif qui est utilisé pour changer de modèle. Il enlève le moule interne du moule externe ou insère le moule interne dans le moule externe.
- Ce dispositif à vérin pneumatique est utile pour effectuer efficacement le changement d'un moule sur la chaîne de transport. Ce remplacement serait dangereux et instable s'il était effectué manuellement.

#### IV.2.7. Dispositif de la fermeture

- Dispositif qui ferme et verrouille le couvercle supérieur installé sur le moule (il fonctionne approximativement dans l'ordre inverse de AR-06-012-02 (dispositif d'ouverture))
- Toute partie d'un moule est trop lourde pour être manutentionnée manuellement. Pour réaliser la fabrication en masse des pièces prévues et effectuer les opérations requises dans la durée de cycle, l'on a sélectionné le présent dispositif qui permet d'ouvrir le couvercle supérieur d'un coup [14].

#### IV.2.8. Caractéristique sur la pièce (contre porte du congélateur 220 F)

**Dimensions [mm] :** Longueur :1239.6 (+10/0)  
Largeur :573(+5/0)  
Epaisseur : 1.8 (+0.05/-0.05)

#### IV.2.9. La pièce

Nous avons un moule d'injection plastique qui produit une contre porte congélateur 220 F, construite avec des vis, la figure IV.18 montre cette porte :



**Figure IV.18** : la contre porte congélateur 220F l'ancienne.

L'entreprise veut faire un changement. Elle utilise les vis pour fixer le joint ; cette solution pose un problème technique et économique c'est pour cela elle nous a confié la mission de modifier et concevoir un moule pour la fabrication de nouvelle pièce.

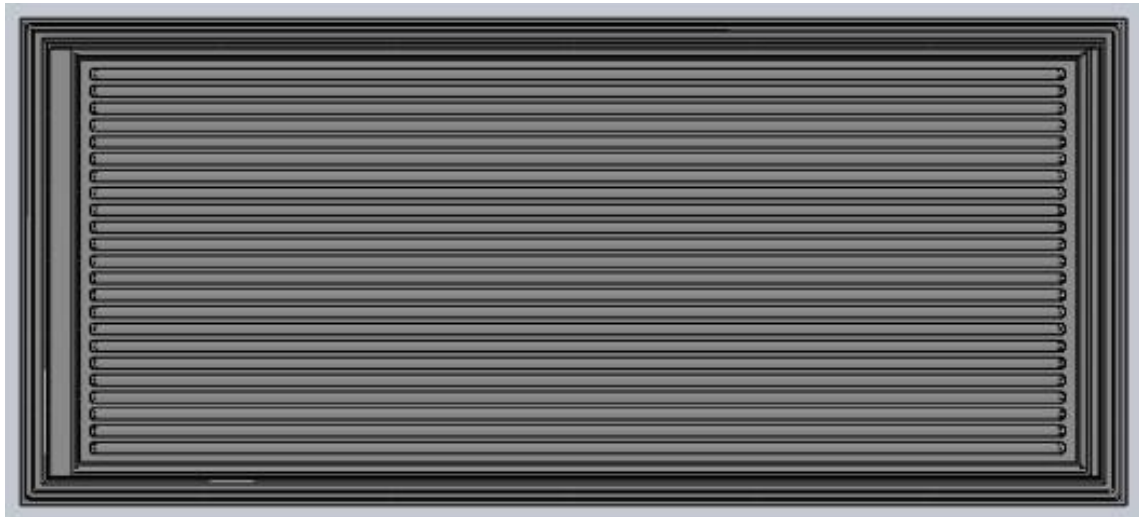


Figure IV.19: contre porte congélateur 220F(nouvelle)

IV.2.9.1. Dessin définition de la pièce

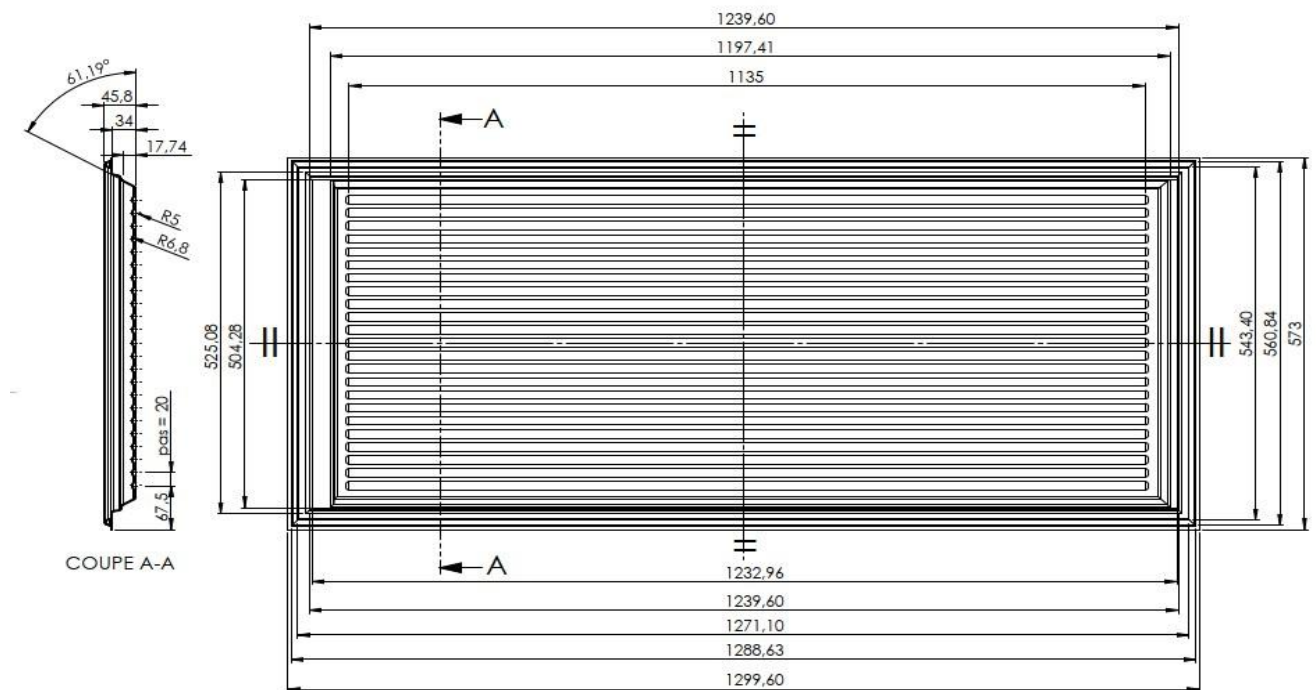


Figure IV.20 : Dessin technique de la conte porte

Nous voulons construire un noyau de moussage (changer une solution par une autre) qui va nous permettre de mettre en place une rainure a la place des vis. Afin d'effectuer notre

travail, nous avons confiés l'étude de ce moule d'injection plastique à la modification de noyau interne (les repères des vis par une rainure) où le joint prendra sa place.

IV.2.9.2. Le joint

Le joint de profil ci-dessous prendra sa place à la rainure qu'on a modifié au panneau interne de la porte congélateur

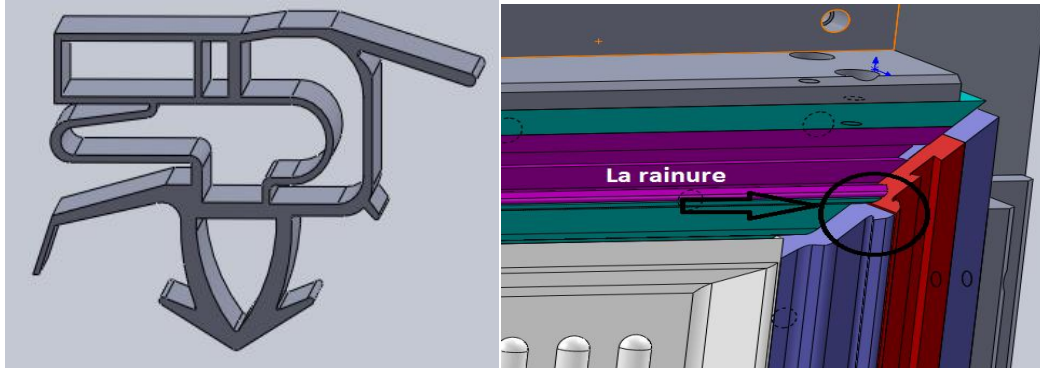


Figure IV.21: joint de profil et la rainure

IV.2.9.3. Dessin de plant de joint

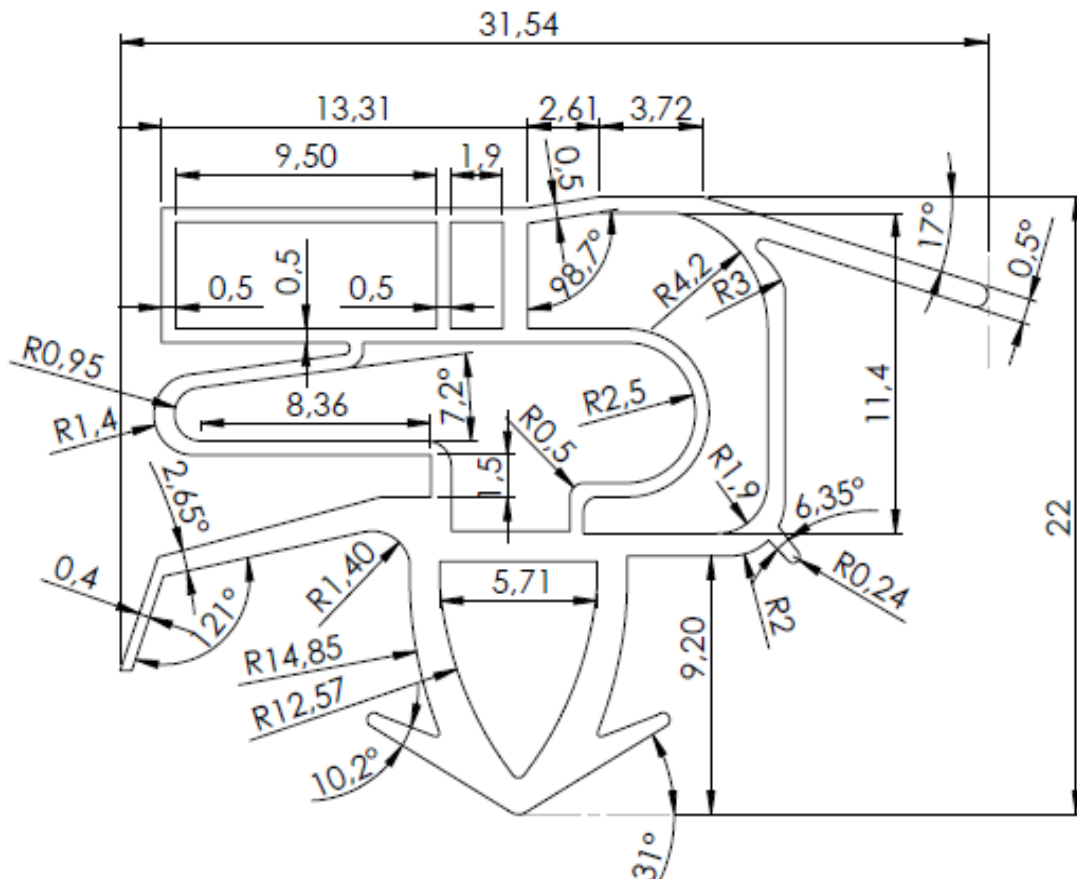


Figure IV.21 : dessin de plan de joint pour la contre porte de congélateur 220F

### IV.3. Partie calculs

Lors de la conception d'un moule, il convient de passer par des opérations de calcul, pour déterminer la densité qui assure une bonne isolation thermique

Le moule interne en uréthane enveloppe complètement la porte et la chaleur de réaction développée par l'uréthane permet d'échauffer la porte et le moule.

Avec les conditions de base suivantes :

1-La température à la surface des pièces doit être égale ou supérieure à **30°C** même lors de leur démoulage, pour assurer ainsi une bonne réaction de moussage.

2-La température à la surface du moule doit être assez basse pour ne pas causer une déformation du moule.

#### IV.3.1. Données de l'ENIEM

##### IV.3.1.1. Temps de cycle

Le cycle de moulage peut durer de quelques secondes à plusieurs minutes. L'injection est contrôlée en vitesse et en position. La pression et le temps doivent être bien régulés. Après la phase de compactage on passe à la pression de maintien quand le moule est presque totalement rempli, il y a un temps précis à respecter avec pression plus haute que durant l'injection. Ensuite le temps de refroidissement doit être précis pour permettre l'ouverture sans déformation de la pièce, avec ces conditions de mesure suivantes :

- Cycle d'injection : **5,3 minutes/cycle**
- Durée de maintien du moule en position fermée : **5 minutes au minimum**
- Durée d'ouverture du moule : **[25.7 s] au minimum**
- Capacité de traitement par heure =  $3.600/25.7 = 140$  **pièces /heure**
- Taux d'engagement (T. E) :  $(107/140) * 100 = 76.4$  donne **76 %** (arrondi)

Le transporteur qui envoie les portes à la chaîne de moussage d'uréthane a été sélectionné pour transporter les portes à la chaîne de moussage d'uréthane. Il est muni de la fonction de préchauffage qui est mise en valeur selon le cas.

- Pour les moules dont la densité de l'uréthane est de  $150 \text{ kg/ m}^3$ , la température provoquant la déformation est Fr  $75^\circ\text{C}$ . la température maximale de la surface du moule doit donc être inférieure à  $75^\circ\text{C}$  ; même si les pièces sont fabriquées en série au cycle de coulage d'uréthane à mousser le plus court.

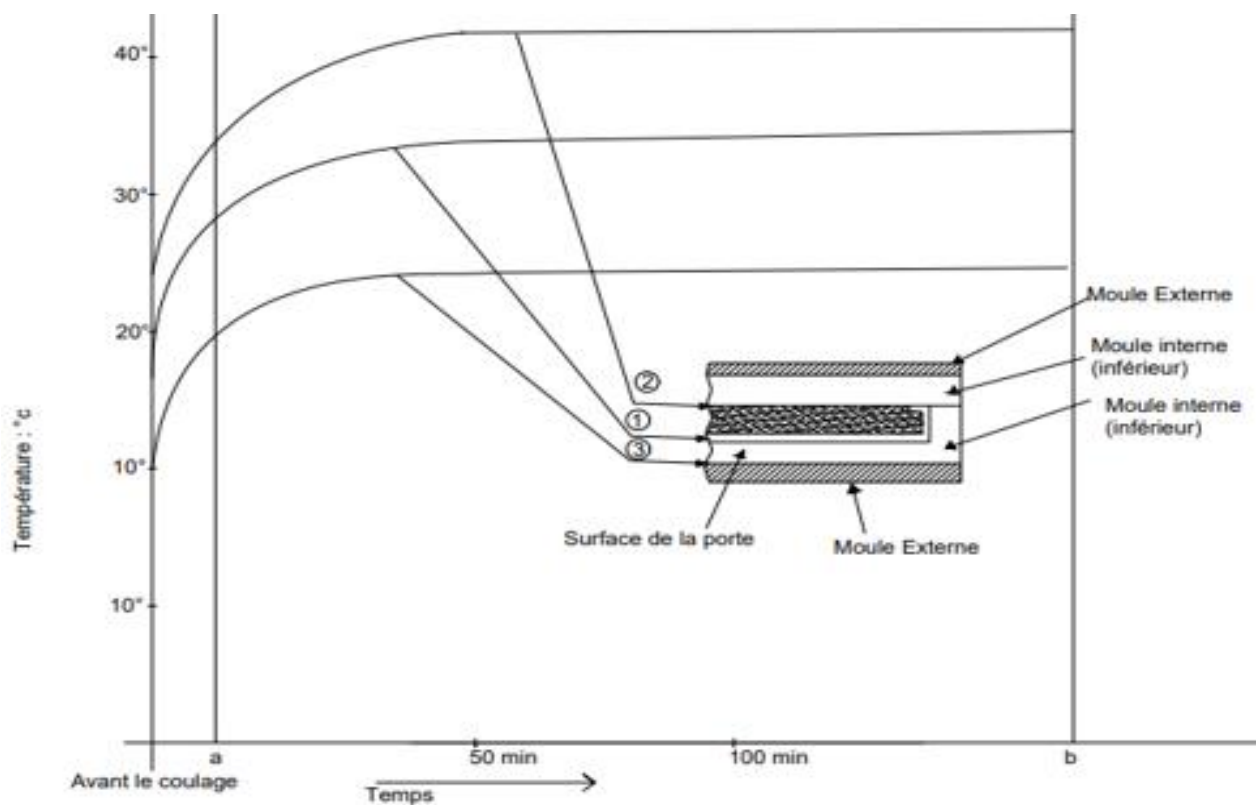
- Température de l'air ambiant =  $20^\circ\text{C}$

### IV.3.1.2. Résultats

1-Quand on démoule une pièce après le premier cycle de coulage d'uréthane, sa température est à environ **36°C** à la surface et à environ **45°C** à l'intérieur, ce qui satisfait à la température exigé plus haut à savoir : égale ou supérieure à **30°C**.

2-Quand on démoule des pièces après des cycles de coulage d'uréthane successifs, leur température est à environ **50°C** au maximum ; ce qui satisfait au plafond mentionné plus haut. Même dans le cas où la température de l'air ambiant est de **35°C** ; la différence thermique entre la surface du moule et l'air ambiant est de **30°C**, ce qui élève la température à la valeur de plafond thermique est toujours respectée.

La figure montre les changements de température du moule en uréthane :



**Figure IV.22:** Changement de température du moule en uréthane

- température à la surface de la porte : environ **45°C**
- température au centre du moule inférieur : environ **37°C**
- température du moule interne supérieur : environ **50°C** température en état stable
- température du moule lors du démoulage après le premier cycle de coulage **36°C** à la surface  
**45°C** à l'intérieur
- température maximale du moule après des cycles de coulage successifs **50°C** au maximum

### IV.3.3. Calcul de la capacité de réfrigération

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Où, Q : quantité de chaleur nécessaire pour la réfrigération [kcal/h]

$Q_1$  : quantité de chaleur absorbé par le réservoir, [kcal/h]

$$Q_1 = K.A *(T_0 - T_i)$$

$$Q_1 = 0,85 \cdot 5,2 \cdot (40-30)$$

$$Q_1 = 44,2 \text{ [kcal/h]}$$

$Q_2$  : quantité de chaleur nécessaire pour refroidir le liquide brut [kcal/h]

$$Q_2 = W * C_p *(T_0 - T_i)$$

$$C_p = m\Delta T$$

$$C_p = 4,7 (50-35) = 70,5 \text{ [kcal/kg]}$$

$$Q_2 = 180 \cdot 70,5 \cdot (49-15)$$

$$Q_2 = 12690 \text{ [kcal/h]}$$

$Q_3$  : quantité de chaleur dégagée par la pompe

$$Q_3 = E * 860 / k \cdot w \cdot M \cdot J$$

$$Q_3 = 0,75 \cdot 860 / 0,85 \cdot 65 \cdot 0,3 = 38,91 \text{ kcal/h}$$

$$Q_3 = 38,91 \text{ [kcal/h]}$$

Où k : coefficient de transmission thermique : 0.85 [kcal/m<sup>2</sup>.h.°C]

A : superficie de réservoir d'eau de refroidissement : 5.2 [m<sup>2</sup>]

(Coté réservoir de machine : 11.1 [m<sup>2</sup>] ; Coté de réservoir d'eau de refroidissement ; 5.2 [m<sup>2</sup>])

W : poids du liquide brut (eau) : 180 [kg]

$C_p$  : chaleur spécifique du liquide brut (eau) [kcal/kg]

$T_0$  : température de l'air ambiant : 40 [°C] (prévision)

$T_i$  : température dans le réservoir 15 [°C]

E : capacité nominale du moteur 0.75[k.w]

W : poids du réservoir d'eau de refroidissement ;65 [kg]

T : taux de dégagement de chaleur

e : taux de charge à la capacité nominal du moteur

$$T_e = M \cdot J = 0.5 \cdot 0.6 = 0.3$$

Le calcul est donc effectué en remplaçant des valeurs utilisées par les valeurs susmentionnées.

A partir des indications ci-dessus ; il a été choisi une unité de réfrigération

Standard de **3.75 [k.w]**

Capacité de réfrigération dans les conditions normales de l'unité de réfrigération de 3.75 kw :

Egale à **14.000[kcal /h]**

- (température de l'air ambiant 25°C)

- (Température à la sortie de l'eau froide 15°C)

Sur la base des spécifications standard de l'unité, la capacité du réservoir a été fixée à 300 litres au total dont 150 litres sont destinés à l'eau froide et le reste à l'eau chaude.

Deux pompes sont prévues, l'une pour l'eau froide et l'autre pour l'eau chaude.

L'eau chauffée par le réchauffeur est emmagasinée dans ce réservoir à eau chaude ; ce qui permet de chauffer les liquides quand il fait froid en hiver.

#### IV.3.4. Pression de refoulement

$$P = \frac{F_v}{S}$$

p : pression [ bar]

$F_v$  : force de verrouillage [Newton]

S : section de porte [m<sup>2</sup>]

$$P = \frac{1190 (N)}{0.72 (m^2)} = 165.277 [bar]$$

$$P = 165.277 [bar]$$

Le mélange des deux liquides bruts se fait dans la chambre de mélange ; généralement dans la gamme de pression de 60 à 150 kg/cm<sup>3</sup>. la pression de la pompe a été fixée à 200kg/ cm<sup>3</sup>, marge comprise.

#### IV.3.5. Débit de refoulement

La quantité d'uréthane à injecter par la tête de mélange (modèle 220F) : **environ 1.2 L/injection** (Valeurs d'expérience de Toshiba)

La durée d'injection : **3 seconde** (déterminé)

Donc, on obtient un débit de 6L à 24L / min

Par conséquent ; la capacité de la pompe a été fixée à 5L à 30L/minute

### IV.3.6. Calcul la force de verrouillage

$$F_v = 1,1 \cdot P_m \cdot S_f$$

$P_m$  : pression de la matière [bar]

$S_f$  : surface frontale de la pièce [ $cm^2$ ]

$$F_v = 1,1 \cdot 105 \cdot 10,314 = 1191,267 \text{ [kg]}$$

$$F_v = 1,19 \text{ [tonnes]}$$

### IV.3.7. Temps de refroidissement

La pièce sera éjectée lorsqu'elle atteint une température appelée température de démoulage, cette température peut être atteinte au centre de la pièce ou bien elle peut être une température moyenne de la totalité de la pièce

On injecte la pièce que si la température au centre de la pièce atteindra la température de démoulage, dans ce cas le temps de refroidissement est obtenu par la formule suivante :

$$T_{ref} = \frac{s^2}{a\pi^2} \ln \left[ \frac{4}{\pi} \frac{\theta_i - \theta_M}{\theta_{dém} - \theta_M} \right]$$

Avec :  $S$  : épaisseur de la pièce [mm]

$a$  : diffusivité thermique de la matière injectée [ $mm^2/s$ ]

$\theta_i$  : température d'injection ( $^{\circ}C$ )

$\theta_M$  : température du moule ( $^{\circ}C$ )

$\theta_{dém}$  : température de démoulage ( $^{\circ}C$ )

$T_{ref}$  : temps de refroidissement en [s]

$$T_{ref} = \frac{1,8^2}{1,25 \cdot 10^{-3} (3,14)^2} \ln \left[ \frac{4}{3,14} \frac{(45 - 37)}{(40 - 37)} \right]$$

$$T_{ref} = 320 \text{ [s]} \text{ (5,3 min)}$$

### IV.3.8. Calcul de la conductivité thermique

La formule de la conductivité  $\lambda$  [W/m. K] est la suivante :

$$\lambda = \frac{Qd}{A\Delta T}$$

$Q$  : quantité de chaleur transféré [kcal/h]

$d$  : épaisseur de l'isolant [cm]

$A$  : surface de la porte [cm<sup>2</sup>]

$\Delta T$  : différence de température (°C)

$$\lambda = \frac{8,8 \times 0,18}{176,625 \times 20} = 0,448 \times 10^{-3}$$

$$\lambda = 0,448 \times 10^{-3} [\text{W/m.K}]$$

### IV.3.9. La densité

La densité est une grandeur sans dimension et sa valeur s'exprime sans unité de mesure et son expression est la suivante :

$$d = \rho_{\text{corps}} / \rho_{\text{ref}}$$

$d$  : La densité (sans unité)

$\rho_{\text{corps}}$  : La masse volumique du corps [Kg/ m<sup>3</sup>].

$\rho_{\text{ref}}$  : La masse volumique du corps de référence [Kg/m<sup>3</sup>].

$\rho_{\text{eau}} = 1000$  [Kg/m<sup>3</sup>]

Densité d'uréthane de moussage pour le moule interne : **150 [kg/ m<sup>3</sup>]** (donnée)

$$\rho_{\text{piece}} = m/v$$

$$\rho_{\text{piece}} = 28,95 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \right]$$

Sachant que :  $m=1,95$  [kg]

$$V=852,34 [ \text{cm}^3 ]$$

$$d_{\text{moyenne}} = \rho_{\text{piece}} / \rho_{\text{ref}}$$

Sachant que :  $d_{\text{moyenne}} = \rho_{\text{moyenne}} \cdot 10^{-3}$

$$d_{\text{moyenne}} = 34,06 \cdot 10^{-3}$$

Sachant que :  $\rho_{\text{ref}} = 0,85$

$$\rho_{\text{moyenne}} = 34,06 [ \text{kg} / \text{m}^3 ]$$

La densité en panneau exigée est :  $[33.10^{-3} - 35.10^{-3}]$

#### **IV.4. Conclusion**

Le joint qui place dans la rainure de la porte qui nous a modifié mieux que le joint qui se fixe avec des vis pour les portes congélateurs.

Nous distinguons que la densité en panneaux pour la porte d'un congélateur a une bonne isolation thermique pour les congélateurs car la densité exigée est de  $[33.10^{-3} - 35.10^{-3}]$ .

# Conclusion générale

## CONCLUSION GENERALE

La maîtrise des techniques de production, le contrôle des systèmes de production, et l'optimisation du coût ont fait l'objet de nombreux travaux. Cependant, il ne suffit pas de baisser les coûts de production mais il faut élaborer des produits de qualité et un outillage performant pour une bonne production.

Le moule d'injection des pièces en matière plastique fait partie de ces outils qui nécessitent un soin très particulier lors de sa conception ainsi que dans la phase de sa réalisation.

Par ailleurs, notre travail avait pour objectif d'étudier la faisabilité de produire des pièces en matière plastique par le procédé d'injection, avec la mousse qui aidera à préserver l'environnement et assuré une bonne isolation thermique. Le but principal étant de minimiser les pertes de chaleurs pour arriver à atteindre les gammes spécifiques de l'isolation thermique de l'équipement de réfrigération à l'ENIEM.

Afin d'améliorer cette propriété pour réaliser cet objectif, nous avons incité à mener des modifications et échanger une solution par une autre plus pertinente, qui se présente sur le changement des vis qui se trouve sur le joint du panneau intérieur et les remplacer par une rainure. Cela, afin d'améliorer les performances de la congélation pour atteindre une meilleure isolation thermique. Nous avons conçu un moule spécifique pour notre pièce tenant compte des données de la machine d'injection choisie en utilisant le logiciel de dessin Solid Works.

Pour cerner cette problématique nous avons trouvé une solution qui se présente sur la modification du joint qui se trouve sur le panneau intérieur. Cette solution est réalisable et elle nous permettra de gagner plus de temps par rapport à la production pour l'entreprise, et avoir une meilleure isolation thermique.

# La bibliographie

# BIBILLOGRAPHIE

- [1] **Yves Marotel** : Techniques de l'ingénieur, traité plastique et composites AM3
- [2] **J.P. Trotignon, J. Verdu, M. Piperaud, A.Dobraczynski, R.Quatremer et J.P. Trotignon** : Matières plastiques : Structures - propriétés - mise en œuvre et normalisation AFNOR 4<sup>e</sup> édition
- [3] **William D. Callister, Jr** : Science et génie des matériaux : édition MODULO, ISBN 26891136687-X
- [4] **Hans-Henning Kausch, Nicole Heymans, Christopher John Plumer et Pierre Decroly.** : Matériaux polymères : propriétés mécaniques et physiques (principe de mise en œuvre). Presses polytechniques et universitaires romande 2001, ISBN2-88074415-6
- [5] **Marc Crrega et Coll** : Matériaux polymères. DUNOD 2<sup>e</sup> édition, paris 2000,2007, ISBN978-2-10050790-0
- [6] **Bourgeoi et H. Chauvel et J.Kessler** : Mémothec génie des matériaux : édition casteilla, paris 2001, ISBN2-71352246-3
- [7] **G. Froyer et R. Deterre** : Introduction aux matériaux polymères, technique et document Lavoisier, paris 1997, ISBN2-7430-0171-2
- [8] **M. Fontanelle et Y. Gnanou** : Chimie et physico-chimie des polymères : DUNOD, paris 2002, ISBN2-10003982-2
- [9] **Thierry Gallauziaux et David Fedullo** : Le grand livre de l'isolation, Eyrolles,2009 ISBN 978-2-212-12404-0
- [10] **Jean-François Sacadura** : Initiation aux transferts thermiques, Lavoisier, Paris 1993, ISBN 2-85206-618-1
- [11] **Patric JACQUAR et Serge SANDRE** : La pratique du froid, 3<sup>e</sup>édition DUNOD, ISBN 978-2-10-051431-1
- [12] **Perry, R.H., Green, D.W. McGraw-Hill:** Perry's Chemical Engineer 1997, ISBN 978-0-07-049841-9
- [13] **Bejan, A.D. Kraus et John Wiley:** Heat Transfer Handbook, & Sons, 2003, ISBN 978-0-471-39015-2
- [14] Cahier de charge de l'ENIEM