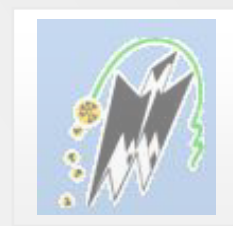






**Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou**  
**Faculté du Génie de la Construction**  
**Département de Génie Mécanique**



# MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

En vue de l'obtention du diplôme Master  
en Génie Mécanique

**Option : Fabrication Mécanique et Productique**

## **THEME**

**Etude et conception d'un moule d'injection  
plastique d'un tuyau de purge d'un  
réfrigérateur 520 L**

**Promoteur:**

**Mr: ASMA**

**Co-promoteur:**

**Mr: TABECHE**

**Réalisé par :**

**Mr: MALLEK Massinissa**

**Mr: MANSEUR Merzouk**

**Promotion : 2013/2014**

# Remerciement

*Nous tenons à exprimer notre sincère reconnaissance à l'égard de tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce Travail, particulièrement à notre promoteur Mr F. ASMA Pour sa disponibilité, ses conseils et suggestions.*

*Nos remerciements vont également aux responsables de l'entreprise ENIEM qui nous ont accordé notre stage, ainsi qu'à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la Réalisation de ce travail.*

*En fin, aux membres de jury qui nous font l'honneur D'examiner notre modeste travail.*

*Merci*



# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes très chères parents qui m'ont toujours soutenu  
Tout au long de ma vie, qui m'ont orienté dans le bon  
Chemin et qui ont tout fait pour que je réussisse, que  
Dieu vous garde*

*A mes très chères frères: ABED EL AZIZ et FERHAT;*

*A mes très chères sœurs: RACHIDA et RAZIKA et  
leurs maris.*

*A toute ma famille ;*

*A tous mes amis (es) et tous ceux que j'aime;*

*A toutes les personnes qui ont contribué de près ou de  
loin à la réalisation de ce travail*

**MERZOUK M**





# Dédicaces

*Je dédie ce travail à :*

*Mes très chers parents qui m'ont toujours soutenus  
tout au long de ma vie, qui m'ont orienté dans le bon  
chemin et qui ont tout fait pour que je réussisse, que  
Dieu vous bénisse et vous garde;*

*Mes très chères sœurs et leur maris;*

*Ma nièce : yasmine;*

*Mes neveux : samy et yani ;*

*A toute ma famille ;*

*A tous mes amis(es) et tous ceux que j'aime ;*

*A toutes les personnes qui ont contribué de près ou de  
loin à la réalisation de ce travail.*



**MASSINISSA.M**

# Sommaire

Liste des symboles .....	9
Liste des figures .....	11
Liste des tableaux .....	16
Introduction générale .....	18
Présentation.de.l'entreprise.....	19
Présentation de sujet.....	23

## Chapitre I : structure et caractéristique des matières plastiques

<b>I- Historique .....</b>	<b>24</b>
<b>I- 1.LES ORIGINES DES MATIERES PLASTIQUES .....</b>	<b>24</b>
I -1-1. Origine animale .....	24
I- 1-2. Origine végétale .....	25
I-1-3. Origine naturelle .....	25
<b>I-2.Matières plastiques .....</b>	<b>26</b>
I-2-1. Définition .....	27
I-2-2. Chimie et Composition générale .....	27
<b>I-3.Structure de base des matières plastiques .....</b>	<b>28</b>
I-3-1. Composantes .....	28
I-3 -2. Composition d'une molécule .....	28
<b>I-4. Principales matières plastiques .....</b>	<b>29</b>
<b>I-5. Classification des plastiques .....</b>	<b>30</b>
I-5-1. Les thermoplastiques .....	30
<b>I-6. Présentation des matières plastiques .....</b>	<b>32</b>

I-6-1. Forme commerciale des matières plastiques .....	32
I-6-2. Domaine d'application de la matière plastique .....	32
<b>I-7. Caractéristiques des matières plastiques .....</b>	<b>33</b>
I-7-1. Comportement mécanique et thermique des matières plastiques .....	33
I-7-1-1. Propriétés mécaniques .....	33
I-7-1-2. Propriétés chimiques .....	33
I-7-1-3. Propriétés thermique et physique .....	34
<b>I-8. Les polymères .....</b>	<b>34</b>
I-8-1. Définition .....	34
I-8-2. Généralités .....	35
I-8-3. Différents types de polymères .....	35
I-8-4. Structure des polymères .....	35
I-8-5. Caractéristiques des polymères .....	37
I-8-6. Comportement mécanique et thermique des polymères .....	37
<b>I-9 Présentation du polystyrène (PS) .....</b>	<b>38</b>
I-9-1. Historique .....	38
I-9-2. Définition .....	38
I-9-3. Fiche technique de PS .....	38
I-9-4. Caractéristiques technologiques du polystyrène (PS) .....	39
I-9-5. Conditions de mise en œuvre des PS .....	39
I-9-6. Avantages du PS .....	39
I-9-7. Inconvénients du PS .....	40
I-9-8. Caractéristiques de PS .....	40
I-9-9. Applications .....	41
<b>I-10. Conclusion .....</b>	<b>42</b>

## Chapitre II : Mise en œuvre des matières plastiques

<b>II- Introduction</b> .....	43
<b>II-1. Procédés de mise en œuvre des thermoplastiques</b> .....	43
II-1-1.Principe de mise en œuvre .....	43
II-1-2.L'injection .....	43
II-1-3.L'injection –soufflage .....	44
II-1-4.L'extrusion .....	44
II-1-5.L'extrusion soufflage .....	45
II-1-6.Le thermoformage .....	46
II-1-7.Le moulage par rotation .....	47
II-1-8.Le calandrage .....	47
<b>II-2. Presse à injecter</b> .....	48
II-2-1.Description d'une presse à injecter .....	48
II-2-2.Les différentes presses d'injection .....	49
a) Presse horizontale .....	49
b) Presse verticale .....	50
<b>II-2-3. Les différentes parties ou unités d'une presse</b> .....	50
a) Unité d'injection .....	51
b) L'unité de fermeture .....	51
c) Le moule .....	52
<b>II-2-4. Le choix d'une presse</b> .....	53
<b>II-3. Conclusion</b> .....	53

# Chapitre III : conception d'un moule thermoplastique

<b>III. Introduction</b>	54
<b>III-1. Analyse fonctionnelle</b>	55
<b>III-2. Conception d'un moule thermoplastique</b>	56
a)- Fonction mise en forme ou empreinte	56
b)- Fonction alimentation	56
c)- Fonction régulation	56
d)- Fonction éjection	57
<b>III-2-1. Le nombre et la disposition d'empreintes</b>	57
a)- Le nombre d'empreintes	57
b)- Disposition des empreintes dans le plan de joint	58
<b>III-2-2. La matière</b>	59
<b>III-2-3. La machine</b>	59
<b>III-2-4. Architecture du moule</b>	59
a)- Moule à deux plaques	59
b)- Moule à trois plaques	60
c)- Moule à tiroir	61
d)- Moule à coquilles	61
e)- Moule à canaux chauffant	62
f)- Moule à dévisage	62
<b>III-2-5. Alimentation du moule</b>	63
a)- Généralités	63
a.1)- Injection dans le plan de joint	63
a.2)- Injection perpendiculaire au plan de joint	63
b)- Position du point d'injection	64
b.1)- Cas particulier	64
c)- Circulation de la matière	64

c.1)- Lignes de soudure .....	64
c.2)- Ecoulement de matière .....	65
<b>d)- Remplissage des formes de révolution .....</b>	<b>65</b>
<b>e)- Seuils d'injection .....</b>	<b>65</b>
e.1)- Carottes directes .....	66
e.2)- Seuils latéraux .....	66
e.3)- Seuils en sous-marin .....	66
e.4)- Seuil capillaire .....	67
e.5)- Seuil en Toile .....	67
e.6)- Seuils en nappe .....	68
e.7)- Seuil en étoile .....	68
e.8)- Seuil à tunnel courbé .....	69
<b>f)-Les canaux de distribution .....</b>	<b>69</b>
f.1)-Forme des canaux .....	69
f.2)- Implantation des canaux .....	70
<b>III-3. Le système de refroidissement .....</b>	<b>70</b>
III-3-1. Circuits de refroidissement .....	71
III-3-2. Description du circuit de refroidissement .....	71
III-3-3. Conception des circuits de refroidissement .....	71
a)- Calcul du temps de cycle .....	71
a.1)- Le temps de refroidissement .....	72
a.2)- Détermination de la longueur totale de refroidissement .....	72
<b>III-4- Dégazage du moule .....</b>	<b>73</b>
<b>III-5. Choix du plan de joint .....</b>	<b>73</b>
<b>III-6- L'éjection des pièces .....</b>	<b>73</b>
a)- Types d'éjection .....	73
a.1)- Ejection coté bloc mobil .....	73

a.2)- Ejection de contre-dépouille .....	74
a.3)- Ejection par dévêtissage .....	74
a.4)- Ejection coté bloc axe .....	74
b)- Choix des éjecteurs .....	74
b.1)- Ejecteur latéral .....	74
b.2)- Ejecteur à lame .....	74
b.3)-Ejecteur tubulaire .....	74
c)- Ejection des carottes .....	75
c.1)- Types d'arrache-carotte .....	75
d)- Problème de démoulage .....	75
<b>III-7- Tiroir .....</b>	<b>75</b>
III-7-1- Description .....	75
III-7-2- Types de tiroirs .....	75
a)- Tiroirs Latéraux .....	76
b)- Tiroirs Intérieurs .....	76
III-7-3- Commande des tiroirs .....	76
a)- Commande par doigt de démoulage .....	76
b)- Commande par levier coudé .....	76
<b>III-8- Matériaux utilisés pour la fabrication des moules .....</b>	<b>76</b>
III-8-1- Généralités .....	76
III-8-2- Les aciers utilisés .....	77
<b>III-9- Conclusion .....</b>	<b>77</b>

## Chapitre IV : Calcul et conception

<b>IV. Introduction</b>	78
<b>IV-1. La CAO (conception assistée par ordinateur)</b>	78
<b>IV-1-1. Définition de la CAO</b>	78
<b>IV-1-2. Domaines de la CAO</b>	78
<b>IV-1-3. Avantages de la CAO</b>	79
<b>IV-1-4. Application</b>	79
<b>IV-1. Le choix de la machine</b>	80
<b>IV-1-1. La capacité d'injection</b>	80
a)- La masse de la pièce	81
b)- La masse de la carotte	81
c)- La masse de la moulée (M)	82
<b>IV-1-2. La force de fermeture de la machine</b>	82
a)- La force de verrouillage	82
b)- La force de fermeture	83
<b>IV-1-3. La Puissance de plastification (C)</b>	83
<b>IV-1-4. La distance entre colonnes</b>	83
<b>IV-1-5. Epaisseur minimale du moule</b>	84
<b>IV-1-6. Caractéristiques techniques de la Presse 75 T (i1)</b>	85
<b>IV-2. Le bilan thermique</b>	85
IV-2-1. Principe de refroidissement	86
IV-2-2. Temps de refroidissement	86
IV-2-3. Temps de cycle	87
IV-2-4. Calcul de la quantité de chaleur évacuée	88
IV-2-5. Détermination de la consommation horaire de liquide	89
IV-2-6. Détermination de la longueur totale de refroidissement	90
<b>IV-3. Résistance des matériaux</b>	94

IV-3-1. Les poids des pièces constituant le moule.....	94
IV-3-2. Résistance des éléments constituant le moule au matage dû à la force de fermeture du moule.....	95
a)- <b>PARTIE MOBILE</b> .....	95
Porte empreinte mobile .....	95
Semelle mobile .....	95
Les tasseaux.....	96
b)- <b>PARTIE FIXE</b> .....	96
Porte empreinte fixe .....	96
Semelle fixe .....	96
IV-3-3. Résistance des colonnes de guidage au cisaillement .....	96
IV-3-4. Vérification des colonnes de rappel de la batterie d'éjection au cisaillement.....	98
IV-3-5. Résistance des 10 vis CHC au cisaillement dû au poids de l'empreinte fixe et de porte empreint fixe .....	98
IV-3-6. Calcul du diamètre des vis CHc des tasseaux et porte empreinte mobile ...	99
IV-3-7. Résistance des goupilles de centrage au cisaillement .....	100
IV-3-8. Vérification des vis de fixation utilisées sur chacune des semelles du Moule.....	100
Semelle fixe .....	101
Semelle mobile .....	101
<b>IV- 4. Conclusion</b> .....	101
<b>Dessins de conception</b> .....	101
<b>Conclusion générale</b> .....	106

## Les annexes

Annexe1 : Equation pour le calcul des temps de refroidissement

Annexe2 : Variation d'enthalpie des polymères en fonction de la température

Annexe3 : Paramètres d'injection de différents thermoplastiques

Annexe4 : Aciers du moule

# Liste des Symboles

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

**CAM** : complexe d'Appareils Ménagers

**PS** : Polystyrène

**PE** : Polyéthylène

**T<sub>g</sub>** : Point de température de transition vitreuse

**T<sub>f</sub>** : Point de fusion

**PP** : Polypropylène

**e** : épaisseur

**L** : Longueur

**L<sub>c</sub>** : Longueur totale des canaux

**P** : Pression dans la cavité

**S** : Surface

**K** : Coefficient de sécurité

**N** : Effort normal

**F** : Force de fermeture de moule

**σ** : Contrainte

**C** : puissance de plastification

**[τ]<sub>CIS</sub>** : Contrainte de cisaillement admissible

**S** : Coefficient de sécurité

**Sp<sub>j</sub>** : surface de plan de joint

**R<sub>e</sub>**: Limite élastique du matériau

**σ<sub>e</sub>** : Limite de fatigue

**t<sub>r</sub>** : temps de refroidissement

**t<sub>i</sub>**: temps d'injection

**t<sub>m</sub>**: temps de maintien

**t<sub>e</sub>** : temps d'éjection

**t<sub>o</sub>**: temps d'ouverture

**t<sub>f</sub>**: temps de fermeture

**D** : diffusivité thermique du plastique

**T<sub>m</sub>**: température de la matière à l'injection

**T<sub>e</sub>**: température de la matière à l'éjection

**Q** : quantité de chaleur à évacuer

**Mc** : la masse de la carotte  
**M** : masse de la grappe moulée  
**H<sub>I</sub>**: enthalpie de la matière a la température d'injection  
**H<sub>e</sub>** : enthalpie de la matière a la température d'éjection  
**D<sub>e</sub>** : diamètre des canaux  
**ρ** : Masse volumique du fluide de refroidissement  
**L<sub>C</sub>** : Longueur totale des canaux  
**T<sub>c</sub>** : temps de cycle  
**T<sub>e</sub>**: température de fluide au centre du canal  
**L** : longueur de l'élément  
**D** : diamètre  
**n** : le nombre de section cisillées  
**α** : Coefficient de transmission /circuit de refroidissement  
**V** : vitesse de circulation des fluides  
**δ** : Distance canaux de refroidissement empreint  
**λ** : Conductivité de l'eau  
**Δθ** : Différence de température de l'empreinte par rapport au circuit de Refroidissement  
**T<sub>f</sub>** : température de film  
**K** : Coefficient de transmission thermique  
**h** : Coefficient de transfert thermique.  
**Pr**: nombre de Prandtl  
**Re**: nombre de Reynolds  
**T<sub>ee</sub>** : température d'entrer d'eau  
**T<sub>s</sub>** : température de sortie d'eau  
**μ** : la viscosité dynamique  
**v** : la viscosité cinématique  
**NU** : Nombre de Nusselt.

## Liste des figures

Figure	Titre	page
<b>Chapitre introductif</b>		
Fig. 2	Organigramme de l'unité froid	22
<b>Chapitre I</b>		
Fig. I1	Origine animale des plastiques	24
Fig. I2	Origine végétale des plastiques	25
Fig. I3	Transformation du Pétrole en Matières Plastiques	25
Fig. I4	Origine naturelle des plastiques	25
Fig. I5	produits pétrochimiques à base des matières plastiques	26
<b>Chapitre II</b>		
Fig. II1	Principe de mise en œuvre des thermoplastiques	43
Fig. II2	Procédé d'injection	44
Fig. II3	Injection soufflage	44

Fig. II4	Extrusion	45
Fig. II5	Extrusion soufflage	46
Fig. II6	Thermoformage	46
Fig. II7	Moulage par rotation	47
Fig. II8	Calandrage	48
Fig. II9	Presse d'injection	49
Fig. II10	Presse horizontale	50
Fig. II11	Presse verticale	50
Fig. II12	Dispositif d'une presse d'injection	50
<b>Chapitre III</b>		
Fig. III1	Nombre d'empreintes en fonction de critères techniques et économiques	57
Fig. III2	Exemple de moule simple à deux plaques	60
Fig. III3	Moule à trois plaques	60
Fig. III4	Moule à tiroirs	61

Fig. III5	Exemple de moule à coquilles	61
Fig. III6	Exemple de moule à canaux chauffant	62
Fig. III7	Moule à dévisage	62
Fig. III8	Injection dans le plan de joint	63
Fig. III9	Injection perpendiculaire au plan de joint	63
Fig. III10	équilibre des efforts	64
Fig. III11	Ecoulement de matière	65
Fig. III12	Remplissage des formes de révolution	65
Fig. III13	Carotte directe	66
Fig. III14	Seuils en sous-marin	67
Fig. III15	Seuil capillaire	67
Fig. III16	Seuil en toile	68
Fig. III17	Seuil en nappe	68
Fig. III18	Seuil en étoile	69
Fig. III19	Seuil à tunnel courbé	69

Fig. III20	canaux cylindriques	70
Fig. III21	section trapézoïdale	70
Fig. III22	circuit obtenu à partir de canaux rectilignes	71
Fig. III23	Event	73
Fig. III24	Ejecteur à lame	74
Fig. III25	Ejecteur tubulaire	75
<b>Chapitre IV</b>		
Fig. IV1	Tuyau du purge	81
Fig. IV2	La carotte	81
Fig. IV3	Schémas d'un plateau d'une presse 75T	84
Fig. IV4	Caractéristiques dimensionnelles de la presse 75T	84
Fig. IV5	Variation de la pression/temps	88
Fig. IV6	Graphe des enthalpies en fonction de la température	89
Fig. IV7	La distribution des différentes températures dans le tube à l'intérieur du moule	90

Fig. IV8	Colonnes de guidage	97
Fig. IV9	Schéma semelle mobile, tasseau et porte empreinte mobile	99

## Liste des tableaux

Tableaux	Titre	Page
<b>Chapitre I</b>		
Tab. I1	Principales matières plastiques	29
Tab. I2	Les différents thermoplastiques	31
Tab. I3	Domaines d'applications des polymères	32
Tab. I4	Caractéristiques technologiques du PS	39
Tab. I5	Conditions de mise en œuvre des (PS)	39
Tab. I6	Caractéristiques Thermique de PS	40
Tab. I7	Caractéristiques mécaniques générales de PS	41
<b>Chapitre III</b>		
Tab. III1	Disposition des empreintes dans le plan de joint	58
Tab. III2	Choix des matériaux	77

## Chapitre IV

Tab. IV1	Capacité d'injection	81
Tab. IV2	la pression d'injection (Tonnes/cm <sup>2</sup> ).	82
Tab. IV3	caractéristique technique de la presse75T	85
Tab. IV4	les températures réglées	86
Tab. IV5	Grandeurs thermiques de quelques matières de pièces injectées	87
Tab. IV6	Conditions de moulage par injection plastique	88
Tab. IV7	Le tableau de la distribution des températures	91
Tab. IV8	Quelques groupements sans dimensions	92
Tab. IV9	poids des pièces constituant le moule	94

# Introduction générale

Les plastiques apparaissent aujourd'hui comme de véritables "matériaux miracles". L'essor constant de la production d'articles en plastique partout dans le monde tient directement aux qualités intrinsèques de tels objets

Les plastiques ont éclipsé d'autres matériaux dans de nombreuses branches. Ils concurrencent les matériaux traditionnels dans l'emballage, la construction, l'industrie automobile et dans de nombreuses autres branches de l'industrie.

Les critères gouvernant leur choix sont plus nombreux que ceux qui caractérisent les autres matériaux. Parmi ces critères, il est possible de citer

- les prix,
- les propriétés :
  - Physique (densité, transmission de la lumière, bonne finition de surface, ...).
  - Mécanique (résistance au choc, à la tension, à l'abrasion, ...).
  - Thermique (résistance aux hautes et basses températures, dilatation, inflammabilité).
  - Chimique (résistance aux rayons U. Violet, non conductibilité du courant électrique,...).

Durant ces dernières années, les entreprises nationales vivent une situation de concurrence, cela les mène à produire des biens et des services au plus bas coût possible et dans un temps réduit. Pour cela, chaque entreprise recherche des méthodes d'évaluation plus réalistes et plus adaptées.

L'entreprise ENIEM a décidé de s'inscrire à ce processus. Pour cela le service de développement de cette importante société, a pris l'initiative de fabriquer certaines pièces dans ses ateliers pour éviter leur importation.

L'objectif de notre projet est la conception, en utilisant un logiciel de conception (CAO) Solid Works, d'un moule d'injection plastique pour la fabrication d'un tuyau de purge d'un réfrigérateur 520 L. Après une sélection des matériaux, équipements et une note de calculs appropriés à la réalisation de plans d'exécution susceptible d'être utilisés au niveau de l'entreprise ENIEM. Ainsi notre travail est effectué selon le plan suivant :

Chapitre I : Présentation des matières plastiques.

Chapitre II : Procédés de mise en œuvre des matières plastiques.

Chapitre III : Choix du moule et procédé.

Chapitre IV : Conception et calculs.

En fin, nous terminons avec une conclusion générale.



## PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

### I-Historique :

L'entreprise Nationale des industries de l'électroménager (ENIEM) est issue de la Restructuration organique de la SONELEC (société nationale de fabrication et de montage et De commercialisation des produits électroménagers) et disposait à sa création de :

- Complexe d'Appareils Ménagers (CAM) de TIZI OUZOU, entrée en production en juin 1977.
- Unité Lampes de Mohammedia (ULM), entrée en production en février 1979.

En 1989, l'entreprise ENIEM est devenue une société par actions au capital de 40.000.000DA.

Avec un capital social de 2.957.500.000 DA, détenu en totalité par la société de gestion de Participation «Industries Electrodomestique» (INDELEC). Son siège social est à TIZI OUZOU. Ses unités de production issues de l'ex CAM sont implantées au niveau de la zone Industrielle «Aissat idir». Son unité commerciale est située également à la zone industrielle «Aissat Idir». Sa filiale lampes est implantée à Mohammedia.

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

Actuellement, l'entreprise ENIEM est constituée de :

- La direction générale (DG).
- L'unité froid (UF).
- L'unité cuisson (UCuis).
- L'unité climatisation (UCL).
- L'unité prestation technique (UPT).
- L'unité commerciale (UC).
- L'unité sanitaire (US).
- La filiale FILAMP.

L'effectif de l'entreprise (hors FILAMP et l'unité sanitaire) est de 2830 agents au 31 décembre 2003

L'entreprise ENIEM aujourd'hui a une importante gamme de production, ces produits sont

- Les réfrigérateurs petit et grand modèle (RPM et RGM).
- Le congélateur vertical.
- Le combiné.
- Cuisinières a 4 et a 5 feux.
- Climatiseurs type fenêtre et split-système.

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

## **II-Principales missions et activités de l'entreprise :**

### **a) Direction générale:**

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

### **b) Unité froid :**

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

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

**c) Unité cuisson:**

La mission principale de l'unité est de produire et développer la cuisson à gaz électrique Ou mixte et tout produit de technologie similaire. Ses activités sont :

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

**d) Unité climatiseur:**

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

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

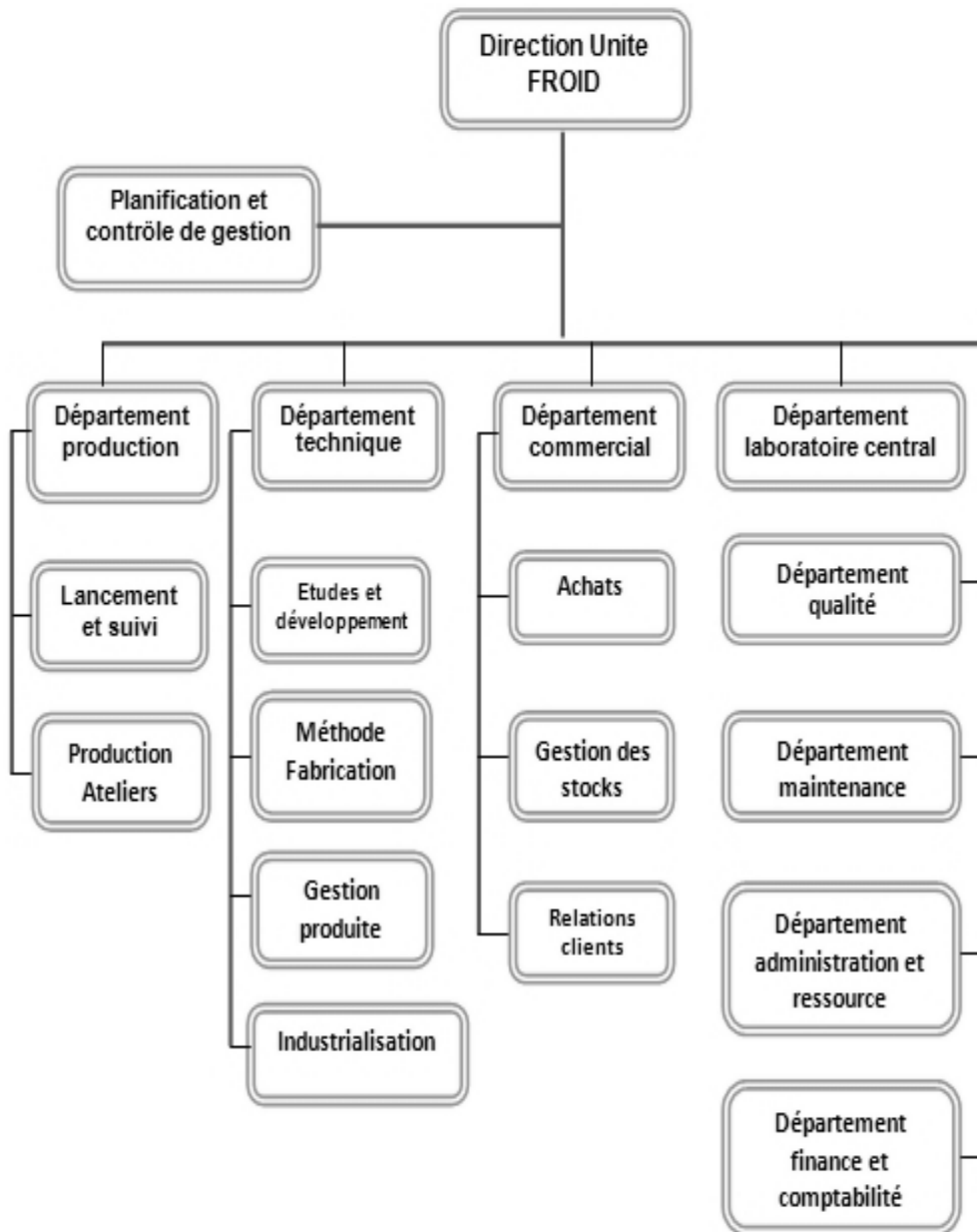
**e) Unité sanitaire :**

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

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

**f) Filiale Filamp :**

L'Unité Lampes de Mohammadia (ULM) qui a démarré en février 1979 pour Fabriquer des lampes d'éclairage domestique ainsi que des lampes de réfrigérateurs est Devenue filiale à 100% ENIEM le 01/01/1997. Cette filiale est dénommée «FILAMP».



Organigramme de l'unité froid

## PRESENTATION DU SUJET

L'entreprise ENIEM subit une concurrence importante sur le marché de l'électroménager. De jour en jour les changements de design deviennent si fréquents. Pour sa part du marché, elle est obligée d'améliorer ses produits ou de concevoir de nouveaux. Le réfrigérateur 520L est l'un des produits visés par l'entreprise pour l'amélioration. Parmi les modifications apportées à ce réfrigérateur, le changement de forme des tuyaux de purges.

Le tuyau de purge (9) est une pièce qui se monte à l'arrière de réfrigérateur (voir la figure c) tout en lui assurant la fixation par rapport au back de purge, en lui donnant aussi une forme cylindrique.

Le but du sujet est de concevoir un moule à injection plastique pour la réalisation des tuyaux de purges (dont les plans sont présentés ci-après), ainsi que son traitement sur logiciels de conception assistés par ordinateur (CAO).

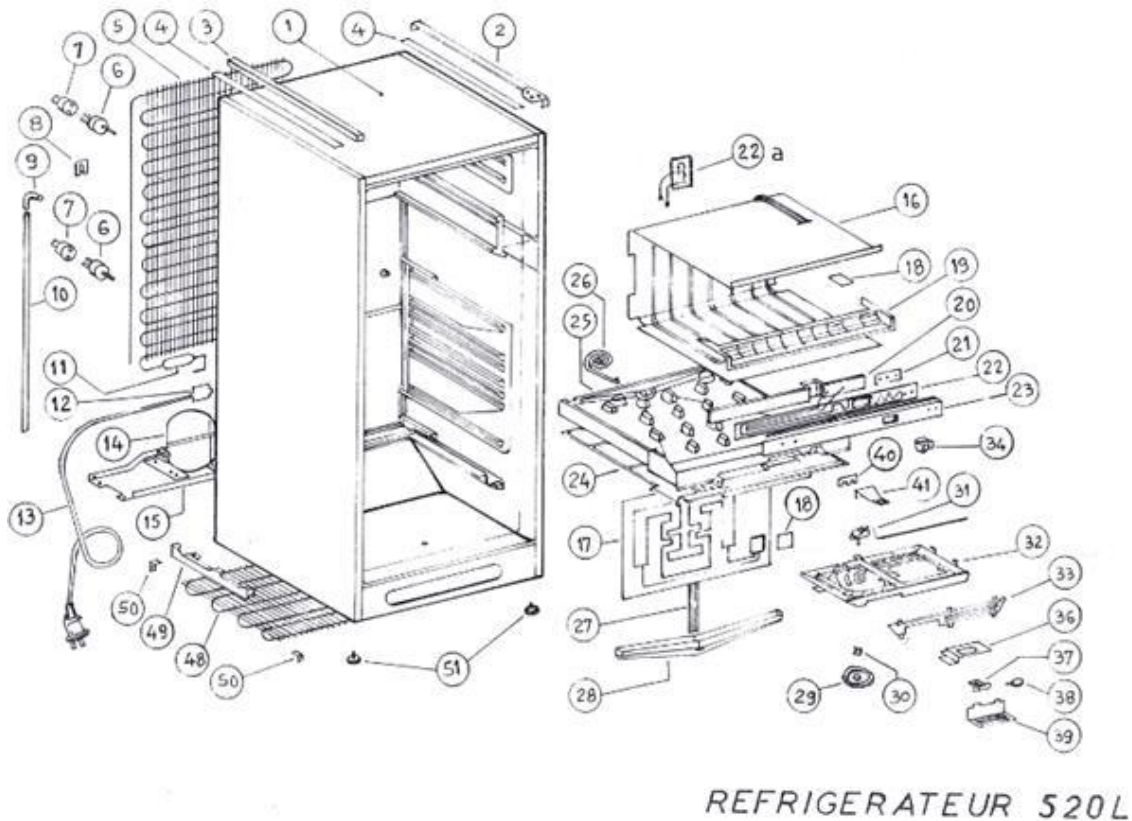


Schéma du réfrigérateur 520L.

**I- Historique**

Les plastiques de synthèse sont apparus, en 1865, avec le Celluloïd. Leur structure fut précisée vers 1930, et leur véritable développement commença vers 1960. Leur production, depuis 1980, dépasse en volume celle des métaux.

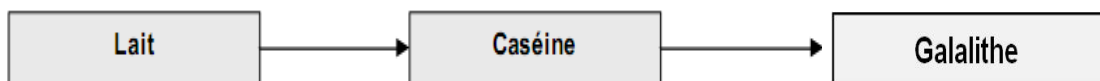
Aujourd'hui, les plastiques sont présents dans tous les domaines de l'activité humaine, depuis l'emballage jusqu'à la fusée interplanétaire; aussi pouvons nous Désormais nous considérer comme entrés dans l'«âge des plastiques».

Cette primauté des plastiques sur les autres matériaux est due, en dehors de leur faible prix, au fait qu'il n'y a pas une seule forme de Plastique mais une multitude, avec pour chacune des propriétés particulières. De plus, les procédés de fabrication, qui permettent d'obtenir aisément et sans usinage les formes les plus complexes, sont variés.

Ce succès est aussi la consécration des efforts scientifiques et technologiques que les chimistes ont accomplis pour découvrir et analyser de nouvelles structures de molécules. Ils ont pu ainsi créer de multiples monomères et, en collaboration avec les physiciens et les mécaniciens, les fabriquer à très grande échelle en leur assurant une pureté extrême, inventer des procédés catalytiques de polymérisation et, enfin, mettre au point des machines entièrement nouvelles.

**I- 1. LES ORIGINES DES MATIERES PLASTIQUES : [1]**

A l'origine, la plupart des matières plastiques provenaient de résines dérivées de matières végétales, comme la cellulose (extraite du coton), le furfural (extrait de céréales), les huiles (obtenues à partir de graines), les dérivés d'amidon ou le charbon. La caséine (issue du lait) était l'une des seules matières non végétales utilisées.

**I -1-1. Origine animale :**

**Fig. I -1 :** Origine animale des plastiques

I- 1-2. Origine végétale

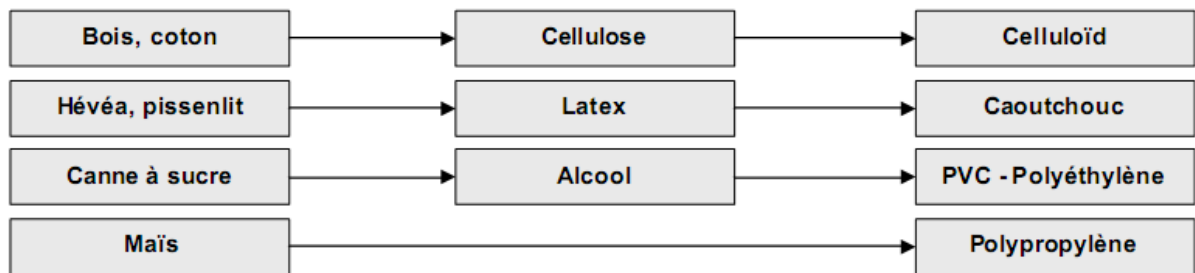


Fig. I-2 : Origine végétale des plastiques

**Aujourd'hui**, la plupart des matières plastiques sont synthétisées à partir de produits pétrochimiques. La chimie organique permet de préparer tous les précurseurs des polymères à partir du pétrole, de façon abondante et bon marché



Fig. I-3 : Transformation du Pétrole en Matières Plastiques.

I-1-3. Origine naturelle : (représentant 90% de la production des matières plastiques).



Fig. I-4 : Origine naturelle des plastiques

Les trois origines essentielles des matières plastiques sont :

- le pétrole (55%) ;
- le charbon (35%) ;
- le gaz naturel (10%).

Par la pétrochimie, on obtient :

- des bitumes ;
- des huiles lourdes ;
- des kérosènes ;
- des naphtas ;
- des essences ;
- des éthers de pétrole.

C'est à partir des naphtas que l'on extrait les produits de base des matières plastiques.

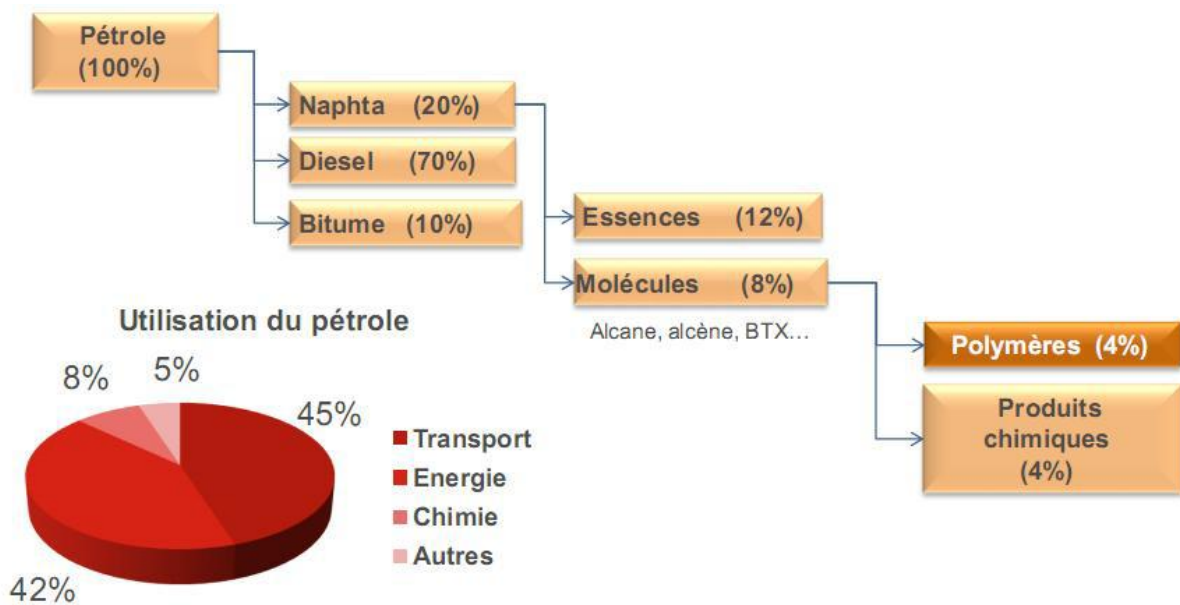


Fig. I-5 : produits pétrochimiques à base des matières plastiques.

## I-2. Matières plastiques : [2]

Les plastiques inventés ont remplacé les matériaux traditionnels comme le bois ou le métal dans de nombreuses utilisations industrielles. Ces matériaux présentent de bonnes propriétés physiques, ils sont légers, hygiéniques, résistants et durables. C'est grâce à toutes leurs qualités qu'elles sont devenues irremplaçables et omniprésentes dans les objets de notre vie quotidienne.

### I-2-1. Définition :

La matière plastique est un mélange contenant une matière de base, susceptible d'être moulée. La matière de base est en général un mélange de macromolécules, polymères organiques ou semi – organiques à caractère résineux, résultant le plus souvent d'une réaction naturelle ou artificielle de polycondensation ou de polymérisation (c'est-à-dire de l'union de plusieurs molécules d'un composé pour former une grosse molécule).

### I-2-2. Chimie et Composition générale

La matière de base (la résine) est un mélange de molécules en longues chaînes appelées polymères.

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

-**La résine de base** : est composée essentiellement d'un matériau macromoléculaire

-**Les adjuvants** : il existe toute une gamme hétéroclite dont les principaux sont :

**Plastifiants** : en général liquides ou visqueux, permettent de rendre la résine souple et élastique.

**Lubrifiants** : facilitent le moulage.

**Pigments** : donnent la couleur du plastique.

**Stabilisants** : retardent la dégradation du plastique, résistance aux ultraviolets (sels métalliques de plomb, étain, baryum, sodium, etc.).

**Charges ou renforts** : diminuent le coût, augmentent la résistance mécanique (marques kevlar et Téflon).

**Charges minérales** : carbonate de calcium, talc, amiante, graphite, silice, fibre de verre, mica, etc.

**Charges organiques** : farine de bois, fibres naturelles ou synthétiques, etc.

**Anti statique** : s'oppose aux dépôts de poussières en rendant le plastique conducteur en surface.

**Fongicide** : résistant aux micro-organismes, aseptie.

**Ignifugeant** : retardant la propagation des flammes.

**Solvants** : pour peintures (enduction).

### I-3. Structure de base des matières plastiques [2]

#### I-3-1. Composantes:

Les atomes rencontrés dans les matières plastiques sont au nombre de huit ;

H : Hydrogène

C : Carbone

N : Azote

O : Oxygène

F : Fluor

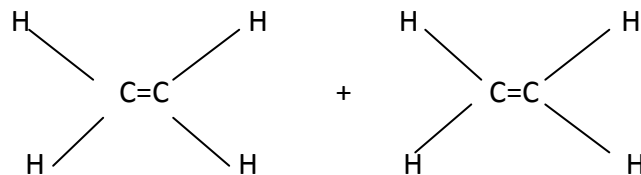
Si : Silicium

S : Soufre

Cl : Chlore

#### I-3 -2. Composition d'une molécule :

La matière plastique est formée par un regroupement d'éléments identiques ou analogues, assemblés les uns aux autres pour former une liaison chimique.



##### I-3 -2-1.POLYMERISATION :

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

Généralement on obtient des polymères sous forme d'un réseau linéaire qui sont les thermoplastiques.

##### I-3 -2-2. POLYCONDENSATION :

C'est une réaction qui a lieu sans amorçage entre les molécules de base différentes. Elle est plus lente et donne un résidu (souvent de l'eau). Le résultat est un polycondensat présent souvent sous forme d'un réseau tridimensionnel autrement dit un thermodurcissable.

## I-4. Principales matières plastiques :

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

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

**Tableau I-1** : Principales matières plastiques.

**I-5. Classification des plastiques : [2]**

Les matières plastiques se classent en trois grandes catégories :

Les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères

**I-5-1. Les thermoplastiques :**

Les thermoplastiques ramollissent sous l'effet de la chaleur. Ils deviennent Souples, malléables et durcissent à nouveau quand on les refroidit, comme cette transformation est réversible, ces matériaux conservent leurs propriétés et ils sont facilement recyclables. Leurs polymères de base sont constitués par des macromolécules linéaires, reliées par des liaisons faibles qui peuvent être rompues sous l'effet de la chaleur ou de fortes contraintes. La

température d'utilisation est inférieure à 100°C. Les macromolécules peuvent alors glisser les unes par rapport aux autres pour prendre une forme différente et quand la matière refroidit, les liaisons se reforment et les thermoplastiques gardent leur nouvelle forme.

**I-5-1-1. Différents thermoplastiques :**

**Tableau. I-2 :** Les différents thermoplastiques

<b>Nom</b>	<b>Propriétés</b>	<b>Utilisation</b>
Polyéthylène (PE)	Mou et transparent; bonne perméabilité au gaz; réagit à l'ammoniac, résistant au froid	Emballages, Films, sacs poubelle, bouteilles
Polychlorure de corps solide vinyle(PVC)  Polypropylène (pp)	Rigide, lisse, dur, densité 1.38–1,45 g/cm <sup>3</sup> ; assez facile à couper ; faible perméabilité au gaz.  N'absorbe pas l'eau ; haute résistance à la chaleur et aux produits chimiques ; bon allongement ; se casse à basse température ; densité 0.90g/cm <sup>3</sup>	Tuyaux de canalisation, bouteilles d'huile à cuisson, nettoyant à vitres, détergents liquides  Tableaux de bord, pare-chocs, tapis, moquettes, cordes, emballages alimentaires,

Polystyrène (PS)	Transparent, s'enfonce dans l'eau, rigide, dur, résistant	Mobilier, emballages, grilles de ventilation, jouets, verres en plastiques...
Le polycarbonate (PC)	Bonne résistance thermique jusqu'à 120°C, très transparent,	Casque de moto, CD, DVD, vitrages des guichets, feu arrière et clignotants de voitures

## I-6. Présentation des matières plastiques

### I-6-1. Forme commerciale des matières plastiques : [3]

On les trouve sous différentes formes :

- En poudre : polychlorure de vinyle (PVC).
- En granulés : la majorité des thermoplastiques.
- En billes : polystyrène expansé (PS).
- En résine liquide : la majorité des thermodurcissables (TD).
- En résine pâteuse : silicones

### I-6-2. Domaine d'application de la matière plastique:[4]

Contrairement à d'autres matériaux qui restent très focalisés sur un type d'activité, on retrouve ces matériaux polymères dans tous les secteurs d'activité : automobile, construction navale et aéronautique, électricité-électronique, électroménager, sport et loisir, santé, textile, agriculture, emballage... ce qui explique l'augmentation sans cesse de leur consommation mondiale (figure et tableau suivants).

**Tableau. I-3:** Domaines d'applications des polymères

Domaines	Applications	Polymères
Electricité et Electronique	isolants d'appareillages circuits imprimés carters d'appareils	Polyptères, époxydes, Phénoliques, PS, ABS, PP
Automobile	coussin, volant, pare-choc filtre, batterie, climatiseur réservoir d'essence-garniture interne	PP PEHD PVC

Emballage et conditionnement	sac cabas, sac poubelle, articles injectés couvercles, boîtages bouteilles, feuilles, films	PEBD ABS PVC
------------------------------	---	--------------------

**.I- 7. Caractéristiques des matières plastiques : [3]**

**I- 7-1. Comportement mécanique et thermique des matières plastiques :**

**I- 7-1-1. Propriétés mécaniques :**

**a- Résistance à la traction**

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

**b- Résistance à la compression**

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

**c- Elasticité**

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

**d- Allongement**

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

**I- 7-1-2 Propriétés chimiques :**

**a- Humidité**

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

**b- Toxicité**

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

**c- Sensibilité aux agents extérieurs**

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

**I- 7-1-3. Propriétés thermique et physique :****a- Inflammabilité**

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

**b- Résistance thermique**

La chaleur fait perdre aux matières plastiques leurs caractéristiques mécaniques jusqu'à les décomposer, par contre, le froid leur fait perdre leur souplesse.

**c- Isolation thermique**

Les matières plastiques ont les coefficients de transmission de chaleur les plus bas.

**d- Légèreté**

La densité de la plupart des matières plastiques est comprise entre 0,9 (plus léger que l'eau) à 1,8 (plus lourde que l'eau). Le plus souvent 1 (aussi lourde que l'eau).

**e- Transparence**

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

**I-8. Les polymères : [6]****I-8-1. Définition**

Un polymère est une molécule à chaîne longue, composée de nombreuses molécules plus petites, appelées des monomères liées entre elles. Ils ont une masse molaire très importante.

Différentes combinaisons de monomères donnent des résines qui sont utilisées dans les produits en plastique. Un monomère est le nom donné à la petite molécule à partir de laquelle est formée la macromolécule. C'est une molécule composée principalement de carbone et d'hydrogène. Le terme macromolécule désigne simplement des grandes molécules. Ce terme est souvent utilisé pour désigner un enchaînement de monomères.

**I-8-2. Généralités :**

Les polymères industriels peuvent être fabriqués à partir d'un seul type de monomère (on parle alors d'homopolymère, comme par exemple le polystyrène); ou bien à partir de plusieurs types de monomères (on parle alors de copolymères, comme par exemple l'acrylonitrile butadiène styrène).

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

**I-8-3. Différents types de polymères :**

Il existe trois types de polymères :

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

**I-8-4. Structure des polymères :****I-8-4-1. Structure Primaire**

Les macromolécules constituant les polymères sont des molécules "géantes" (d'où le préfixe "macro-"), résultant de l'enchaînement covalent de "motifs de répétition" identiques ou différents les uns des autres. La masse molaire de ces molécules dépasse souvent 10 000 g/mol, à comparer par exemple aux 18 g/mol de la molécule d'eau. Les liaisons covalentes constituant le squelette macromoléculaire sont le plus souvent des liaisons carbone-carbone (cas du polyéthylène, du polypropylène...), mais peuvent également résulter de la liaison d'atomes de carbone avec d'autres atomes, notamment l'oxygène (cas des polyéthers et des polyesters) ou l'azote (cas des polyamides). Il existe également des polymères pour lesquels l'enchaînement résulte de liaisons ne comportant pas d'atomes de carbone (poly silanes, polysiloxanes, etc...)

Cet enchaînement de motifs répétés présente chez les polymères les plus simples une structure linéaire, un peu comme un collier de perles. On peut également rencontrer des branches latérales (elles mêmes plus ou moins branchées), résultant soit d'une réaction chimique parasite au cours de la synthèse du polymère (par exemple dans le cas du polyéthylène basse densité ou PEBD), soit d'une réaction de greffage pratiquée volontairement sur le polymère pour en modifier les propriétés physico-chimiques.

Dans le cas où la macromolécule est composée de la répétition d'un seul motif – ce qui résulte le plus souvent de la polymérisation d'un seul type de monomère -, on parle d'homopolymères. Quand plusieurs motifs différents sont répétés on parle de copolymères. On distingue ensuite plusieurs types de copolymères suivant l'organisation entre les différents monomères. Dans le cas le plus fréquent, on a un copolymère statistique où les différents monomères se mélangent en fonction de la réactivité et de la concentration de ceux-ci. Les propriétés mécaniques sont alors moyennées. En revanche, dans un copolymère à blocs (appelé également copolymère séquencé) ou copolymère alterné, il peut y avoir combinaison des propriétés mécaniques.

**I-8-4-2. Polymères linéaires :**

Les molécules des polymères linéaires sont formées de longues chaînes de monomères reliés les uns à la suite des autres par des liaisons chimiques. Dans certains cas, les monomères sont en outre organisés régulièrement dans l'espace, et le composé obtenu est partiellement cristallisé : on dit qu'il est semi-cristallin.

Le polyéthylène (PE), de formule  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{CH}_3$ , où  $n$  dépend des conditions de préparation ( $n$  peut atteindre plusieurs centaines de milliers), l'alcool polyvinylique et le chlorure de polyvinyle (PVC) sont des exemples types.

**I-8-4-3. Polymères ramifiés :**

Dans les polymères ramifiés, certaines chaînes latérales sont liées à la chaîne principale. Les ramifications peuvent être dues à des impuretés ou à la présence de monomères ayant plusieurs groupes réactifs. Les polymères formés de monomères présentant des ramifications comme le polystyrène et le polypropylène ne sont pas considérés comme des polymères ramifiés.

**I-8-4-4. Polymères tridimensionnels :**

Dans les polymères tridimensionnels, plusieurs chaînes principales sont reliées à des chaînes latérales au niveau de "nœuds". Avec un faible degré de Co-liaisons latérales, un réseau lâche est obtenu et le polymère reste essentiellement bidimensionnel. Dans les polymères tridimensionnels lamellaires, la cohésion reste faible dans certaines directions de l'espace.

Certains de ces composés peuvent se trouver sous forme de cristaux liquides, de liants pour les colles, peintures ou vernis.

Avec des degrés élevés de Co-liaisons latérales, on obtient une structure fortement tridimensionnelle. Parmi ces derniers composés, on peut citer les produits fibreux, les élastomères, les matières plastiques et les thermoplastiques, les résines, certains revêtements de surface. Par exemple, dans le caoutchouc vulcanisé, les liaisons latérales sont formées par des atomes de soufre. Les plastiques thermostables (comme l'ébonite ou

les résines thermodurcissables) sont des exemples de polymères tridimensionnels; leur structure est tellement rigide que, par chauffage, ils se décomposent ou brûlent, mais ne ramollissent pas.

D'une façon générale, en jouant sur le degré de polymérisation, la composition chimique des monomères et les transformations thermiques, on peut obtenir toute une gamme de produits depuis l'état presque liquide à l'état de solide semi-cristallin.

#### **I-8-5. Caractéristiques des polymères:**

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

#### **I-8-6. Comportement mécanique et thermique des polymères:**

Les propriétés mécaniques des polymères dépendent fortement de la température. Basse température, la plupart des polymères présentent un état vitreux : ils sont rigides. Lorsque la température augmente, ils passent par un état de transition : pour une plage de températures spécifiques du polymère, les chaînes macromoléculaires glissent les unes par rapport aux autres et le polymère se ramollit. Cette plage de températures est appelée température de transition vitreuse, notée  $T_g$ . Une température plus élevée, le polymère passe par un plateau caoutchouteux : son comportement est viscoélastique. Cet état, les forces de Van der Waals et la réticulation entre chaînes servent de force de rappel lorsque l'on déforme le matériau (élasticité).

Enfin, lorsque l'on élève la température de polymères peu réticulés, on peut assister à une phase d'écoulement visqueux, correspondant au désenchevêtrement des chaînes. Ce dernier comportement est utilisé pour mettre en forme les matières plastiques. Certains polymères présentent également un point de fusion, supérieur à  $T_g$ .

Les polymères étant utilisés la plupart du temps à température ambiante, on dit qu'ils sont élastomères si leur température de transition vitreuse est inférieure à la température ambiante (comportement caoutchouteux); ils sont plastomères (comportement rigide) dans l'autre cas.

La nature du polymère, sa masse moléculaire moyenne, son degré de polymérisation, sa structure influent énormément sur la largeur de ces différents domaines et sur leur seuil d'apparition en fonction du temps ou de la température. Les propriétés mécaniques des polymères sont étudiées en rhéologie.

**I-8-6-1. Caractéristiques mécaniques**

propriété	Densité	Allongement du point de rupture	Point de ramollissement Vicat VST/B50	Resistance au choc
valeur	1.05	35%	85°C	7 KJ/m <sup>2</sup>
Méthode d'essai	ISO 1183	ISO 527	ISO 306	ISO 179

**I-9 Présentation du polystyrène (PS) : [7]**

**I-9-1. Historique**

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

**I-9-2. Définition**

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

**I-9-3. Fiche technique de PS**

Le polystyrène (PS en abrégé)  $-(C-CH_5(Ph))-$  est le polymère obtenu par la polymérisation des monomères de styrène  $C=CH-Ph$

Origine	Structures	Retrait	Mise en œuvre
Styrène	Amorphe	0,2 à 0,6	Injection

**I-9-6. Caractéristiques technologiques du polystyrène (PS) :**

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

**Tableau. I-4 :** caractéristiques technologiques du PS

**I-9-7. Conditions de mise en œuvre des PS :**

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

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

**Tableau. I-5 :** Conditions de mise en œuvre des (PS)

**I-9-8. Avantages du PS :**

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

**I-9-9. Inconvénients du PS :**

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

**I-9-10. Caractéristiques du PS :****a- Thermique**

Les PS ne contenant que du carbone et de l'hydrogène, un matériau PS très choc et très fluide présentera l'inconvénient d'une faible tenue thermique par contre, un matériau PS demi-choc et très visqueux présentera l'avantage d'une tenue thermique élevée. La température de décomposition du PS est de 280 à 320°C. Lors de sa combustion, le PS produit des fumées noires et denses du CO, CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O et coule sous forme de gouttelettes. On peut constater que plus le matériau ne contient d'élastomère, plus la tenue thermique n'est faible. D'autre part, plus le matériau est apte à la mise en œuvre (plastifiant), plus la tenue thermique est basse.

**Tableau. I-6:** Caractéristiques Thermique de PS

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

**b- Mécanique**

Tenue aux chocs et résistance aux sollicitations à grande vitesse.  
 La température de transition vitreuse du PS amorphe est de 90 à 100 °C. Notons que la masse molaire croissante entraîne une élévation de la transition vitreuse assez nettement si  $M > 105$  et faiblement si  $M < 105$  (g /mol).  
 Les propriétés mécaniques varient peu aux basses températures (-40°C) jusqu'à 70°C. Dans cette plage de variation de température, le PS est dur, cassant et rigide, c'est ce qui augmente sa fragilité.  
 Pour améliorer les propriétés aux chocs des PS, fragiles à température ambiante, on disperse dans la phase styrénique des nodules sphériques de polybutadiène.  
 En traction, le matériau peu flué après le seuil d'écoulement les modules d'élasticité varient de 1000 à 3000 PMA selon les quantités.

**Tableau. I-7:** Caractéristiques mécaniques générales de PS.

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

### c- Physico-chimiques

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

- La morphologie de la phase élastomère.
- La taille des particules d'élastomère.
- Le niveau de greffage et de réticulation de l'élastomère.
- La teneur en élastomère
- Absorption de d'eau : le PS absorbe peu d'eau <0.2%.

Tous ces paramètres gouvernent :

- Les propriétés de mise en œuvre.
- Les propriétés mécaniques finales.
- Les propriétés optiques.

### d- Electriques

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

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

### e- Dimensionnelles

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

### I-9-11. Applications

On l'utilise pour :

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

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

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

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

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

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

### **I-10.Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons spécifié les différentes propriétés des polymères ainsi que les matières d'addition qui modifient leurs caractéristiques. Ces modifications nous ont permis de les employer dans plusieurs domaines comme la mécanique et en particulier dans l'injection plastique.

Nous avons aussi étudié les caractéristiques de polystyrène qui constitue la matière de notre pièce qui est "le tuyau du purge d'un réfrigérateur " car la bonne connaissance des caractéristiques de la matière est une clé qui nous amène à une bonne conception.

## II. Introduction :

Il existe plusieurs procédés de mise en œuvre des matières plastiques et ces procédés dépendent de la nature des polymères et de la destination des produits finis. Les principaux procédés de fabrication industrielle sont : l'injection, l'injection soufflage, l'extrusion, le thermoformage, le calandrage, moulage par rotation. En plus de ces techniques développées spécialement pour les matières plastiques, pratiquement toutes les techniques classiques : usinage, moulage, étirage, soudage sont utilisables. L'injection, par exemple, permet de réaliser en une opération, à des cadences élevées, des pièces complexes très précises et parfaitement finies.

### II-1. Procédés de mise en œuvre des thermoplastiques :

#### II-1-1. Principe de mise en œuvre :

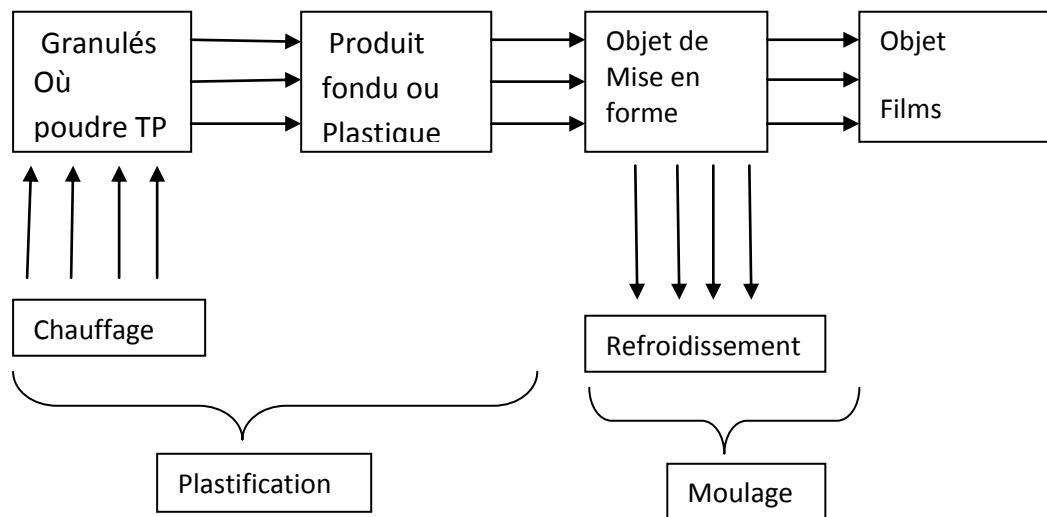


Fig. II-1 : Principe de mise en œuvre des thermoplastiques

#### II-1-2. L'injection [8] :

La matière plastique sous forme de granulés, est versée dans une trémie Pour alimenter une vis sans fin logée dans un tube chauffé. Elle y est comprimée, malaxée et chauffée.

Ce traitement mécanique et thermique fournit une pâte fondante et homogène qui est poussée par la vis en rotation vers un orifice. La matière expulsée sous pression par la vis d'injection à travers ce trou vient remplir un moule fermé et refroidi. Au contact des parois froides, elle prend la forme du moule et se solidifie. Le moule s'ouvre ensuite pour faire sortir la pièce. Pour changer la forme de la pièce, il faut changer le moule.

Ce procédé permet d'obtenir des produits finis ou semi-finis de formes complexes en une seule opération. C'est une méthode de production très rapide pour produire des objets en très grande quantité.

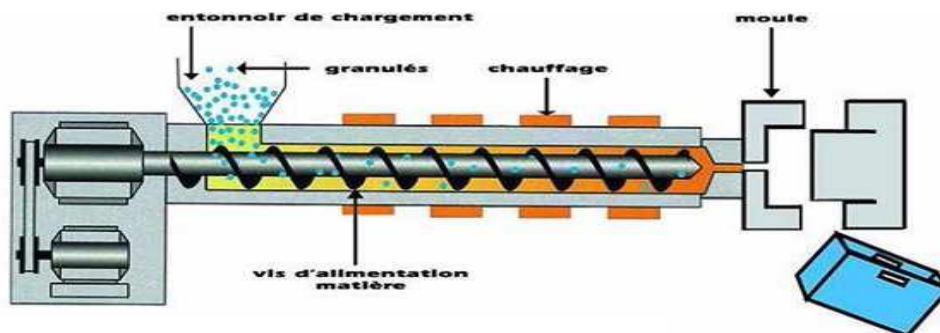


Fig. II-2 : Procédé d'injection

### II-1-3. L'injection –soufflage :

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

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

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



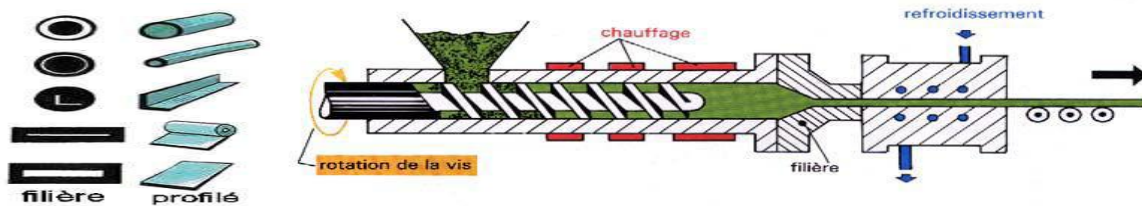
Fig. II-3 : Injection soufflage.

### II-1-4 .L'extrusion [9] :

L'extrusion est un procédé de transformation en continu. Comme pour l'injection, le granulé entre dans un tube chauffé muni d'une vis sans fin. La matière à mouler est homogénéisée et poussée, comprimée, puis passe à travers une filière pour être mise à la

forme souhaitée. C'est une sorte de machine qui permet d'obtenir des produits semi-finis de formes diverses.

Avec cette technique de transformation On fabrique des produits de grande longueur comme des profilés pour les portes et les fenêtres, des canalisations, des câbles, des fibres optiques, des tubes, des grillages, des plaques et des feuilles plastique... Le tube ou le profilé sort en continu, il est refroidi pour être ensuite coupé à la longueur voulue.



**Fig. II-4** : Extrusion

### II-1-5 .L'extrusion soufflage : [10]

Permet de fabriquer des corps creux dans un moule sans utiliser de noyau pour faire une forme intérieure non démoulable (bouteille, réservoirs de voiture...). Cela commence par l'extrusion d'un tube appelé « la paraison », Le principe consiste à gonfler ce tube de plastique souple dans un moule. Cette paraison chaude est placée dans un moule qui se ferme sur elle, et un dispositif injecte de l'air comprimé dans la paraison. L'air fait gonfler la paraison et la plaque sur les parois du moule. Le moule refroidi la matière plastique fige l'objet à la dimension de l'empreinte intérieure du moule.

L'extrusion -soufflage transforme 15% des matières plastiques. Le soufflage arrive en troisième position quant aux procédés les plus utilisés.

Les matières les plus utilisées sont le PP, le PE, le PVC, le PA, le PC et le PS. D'autres matières plus souples comme les élastomères thermoplastiques sont également des matières qui se transforment bien par ce procédé.

#### a- Avantage :

- Temps de cycle très court ;
- Possibilité de contre-dépouilles et de formes gauches ;
- Possibilité de renfort des pièces en utilisant une double épaisseur

#### b- Inconvénients :

- Faible rigidité de certaines zones étirées ;
- Pas de constance d'épaisseur et un étirement différent suivant les zones ;
- Prix des outillages reste élevé vis-à-vis du rotomoulage.

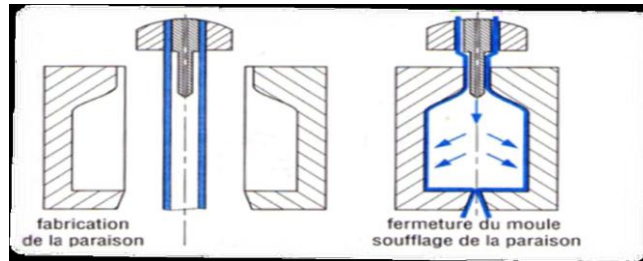


Fig. II-5 : Extrusion soufflage

**II-1-6. Le thermoformage :** [9]

La technique de thermoformage est de seconde transformation dans lequel la matière arrive sous forme de plaques, de tubes ou de profilés. Le matériau est ramolli par chauffage avant d'être déformé et mis en forme par un moule métallique. La parfaite adhésion du polymère sur le moule se fait par aspiration sous vide ou par plaquage par injection d'air. Il est possible de réaliser des pièces dont les parois sont fines et des pièces de grande taille. Les plaques de polystyrène ou d'ABS sont particulièrement adaptées à ce type de transformation. Cette technique est utilisée pour produire des objets aux formes géométriques simples comme des pots de yaourts, et des éléments de carrosserie.

Exemple de thermoformage des plaques en ABS :

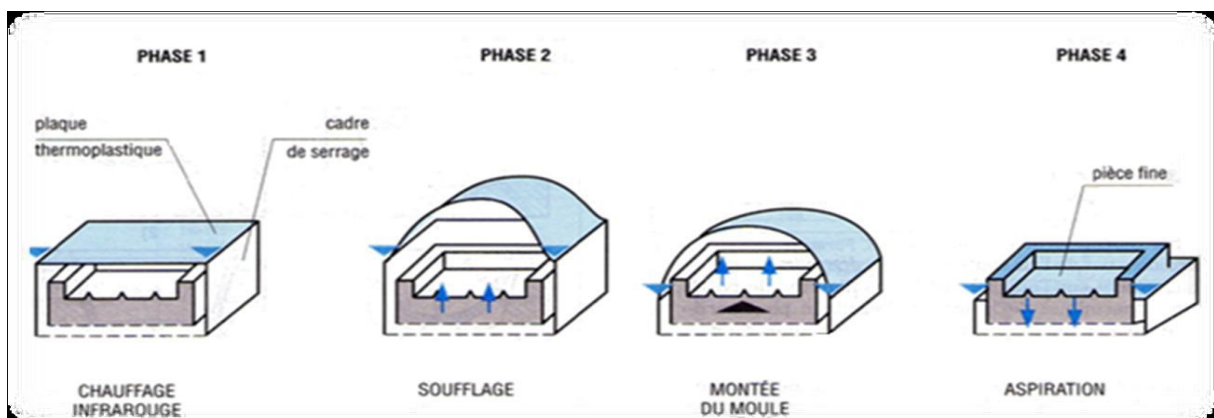


Fig. II-6 : Thermoformage

**II-1-7. Le moulage par rotation : [2]**

Ce procédé utilisé pour fabriquer des corps creux de toutes dimensions ou de forme complexe, Cette méthode de fabrication est simple.

On introduit la matière thermoplastique sous forme de poudre très fine dans un moule que l'on fait tourner dans toutes les directions pour que la matière couvre toute la paroi, puis on chauffe pour la gélifier et enfin, on refroidit.

On fabrique ainsi des réservoirs, planches à voiles, ballons, cuves, containers, des objets présentant une fine décoration en relief,...

Il est économique et permet la réalisation de pièces monoblocs, mais il est assez lent et ne s'adresse qu'à un petit nombre de plastiques.

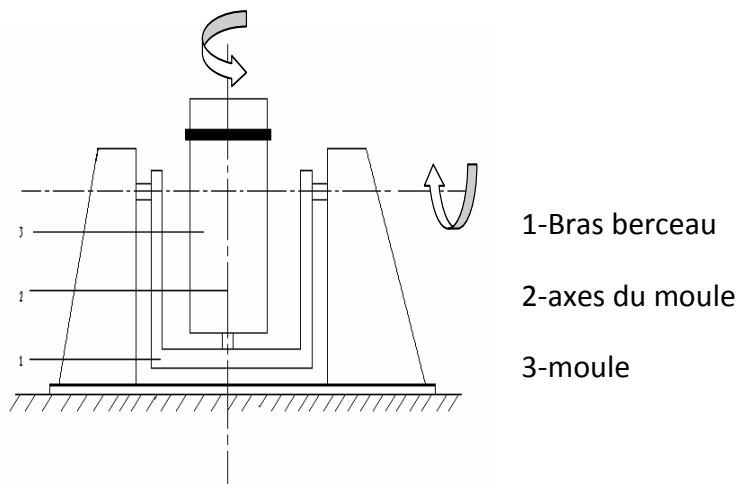
Les matières qui s'adaptent mieux à ce procédé sont : le PE, le PVC rigide et plastifié, l'ABS et le PS, les PA 6, 11 et 12 et le polyuréthane.

**a- Avantage:**

- Prix des moules et des pièces peu élevés.

**b- Inconvénients :**

- Temps de cycle relativement longs ;
- Pas de bons états de surface en évolution.



**Fig. II-7** : Moulage par rotation

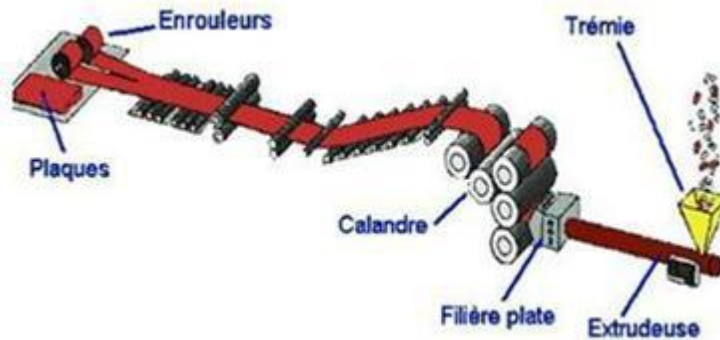
**II-1-8. Le calandrage : [2]**

Le calandrage est un procédé de laminage utilisé pour la production de feuilles et de films plastiques, Il permet aussi de doubler ces feuilles ou ces films d'un support textile ou papier.

Il consiste à faire passer la matière à l'état pâteux entre deux cylindres chauffants écartés de l'épaisseur désirée. A la sortie de la calandre, le produit passe dans un refroidisseur puis éventuellement enroulé en bobines.

Ce procédé est souvent utilisé pour le PVC et permet d'obtenir des feuilles et films d'un très bel aspect de surface et d'une très grande régularité d'épaisseur,

Utilisés comme revêtements de sol ou mur, dans la fabrication d'emballages thermoformés, de nappes, d'articles de maroquinerie ou d'objets gonflables.



**Fig. II-8** : Calandrage

## **II-2. Presse à injecter :**

Elle consiste en une presse vis-piston qui comprend une trémie d'alimentation et un cylindre chauffé, muni d'une vis sans fin mobile longitudinalement assurant la plastification et l'injection sous pression de la matière dans le moule.

Le matériau thermoplastique est préalablement rendu liquide par chauffage. Il est alors injecté sous haute pression, jusqu'à 1800 bar, dans la cavité du moule. On doit ensuite attendre que la matière plastique soit suffisamment froide et rigide avant d'ouvrir le moule et d'en éjecter la pièce sans risque de déformation.

L'ensemble de ces étapes est assuré par une machine qui s'appelle : presse d'injection.

### **II-2-1. Description d'une presse à injecter :**

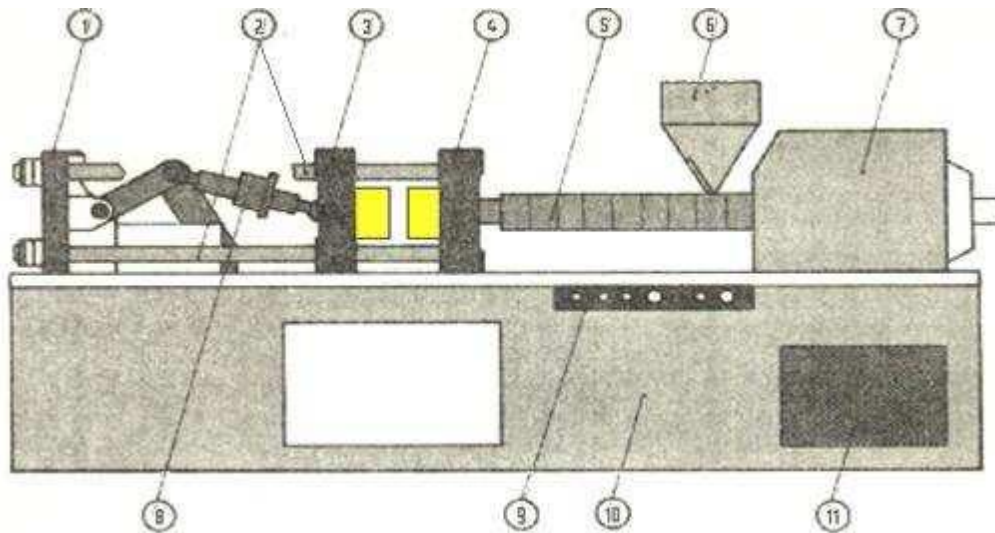


Fig. II-9: Presse d'injection

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

**II-2-2. Les différentes presses d'injection :**

Il existe plusieurs presses d'injection plastique : presse à piston, à vis sans fin, à plateau tournant ; et à fermeture horizontale et injection verticale et vis versa ; en principe suivant le sens d'injection, on distingue deux configurations de presse possible :

**a- Presse horizontale :**

Dans la presse horizontale, La mise en place des moules est aisée et elle ne demande pas de grande hauteur sous plafond, mais encombrante au sol. Elle se prête bien à l'automatisation de la production car les pièces moulées tombent naturellement par gravité après éjection et, en outre, il suffit de vaincre les forces de frottement lors du déplacement de la partie mobile du moule, ce qui est favorable à l'obtention de mouvements d'ouverture et de fermeture rapides. Ce type de construction est de loin le plus répandu en raison des facilités d'automatisation qu'il présente et des cadences élevées possibles.

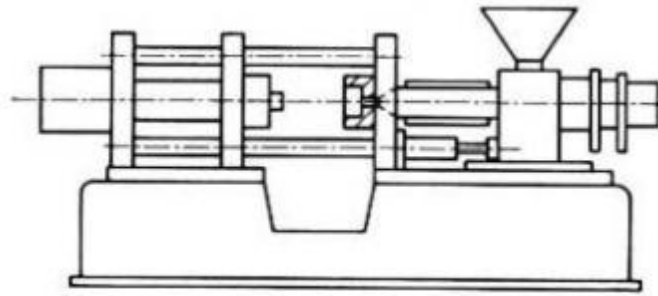


Fig. II-10 : Presse horizontale.

**b- Presse verticale :**

Elle a un encombrement au sol limité mais la hauteur peut devenir gênante, l'axe de la vis est vertical et l'ouverture du moule est dans un plan horizontal.

Ce type de presse s'utilise pour des moules comportant des insertions de prisonniers métallique mais le démoulage de la pièce nécessite un transfert.

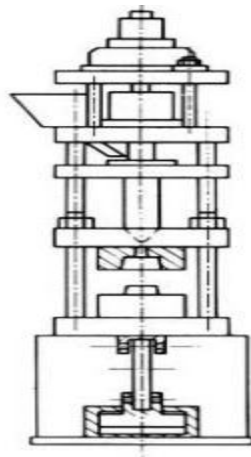


Fig. II-11 : Presse verticale.

**II-2-3. Les différentes parties ou unités d'une presse :**

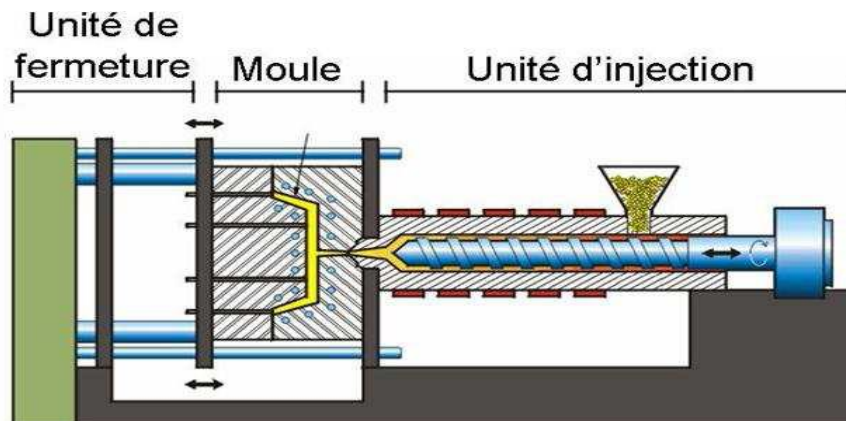


Fig. II-12 : Dispositif d'une presse d'injection .

**a-Unité d'injection :**

Le groupe d'injection assure les tâches suivantes :

- Recevoir la matière première;
- Etablir le contact entre le moule et l'unité d'injection;
- Injecter la matière plastifiée dans des conditions établies à l'aide d'un système vis-piston;

**a.1- Système vis-piston :**

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

**b- Unité de fermeture :**

Cette unité est constituée de :

- Les deux plateaux de la machine, fixe et mobile sur les quels se monte les deux parties respectivement du moule.
- Les colonnes : elles servent au bon guidage des deux plateaux de la machine.
- Le système de verrouillage : qui assure une bonne fermeture du moule durant l'injection.
- Le système d'éjection qui permet de chasser la pièce moulée à la fin de l'ouverture du moule pour commencer un autre cycle.

**b.1- Caractérisation d'un système de fermeture :****❖ Force de fermeture :**

La force de fermeture est la force nécessaire pour maintenir le moule fermé lors de l'injection. Cette force est calculée par rapport à la pression exercée dans le moule pendant l'injection. Elle doit être supérieure à la pression d'injection. Il est obligatoire d'exercer un

verrouillage du moule, sinon lors de l'injection, il se produit une ouverture et du toilage sur les pièces. La pression de verrouillage doit-être de 20 à 25% supérieur à la pression d'injection.

### ❖ Course de fermeture ou d'ouverture :

Elle conditionne la profondeur maximale des pièces modulables (épaisseur du moule). La course d'ouverture doit être au moins égale au double de cette profondeur. La course de fermeture peut-être réglable en vue d'obtenir un gain sur le temps d'ouverture lorsque les pièces produites sont peu profondes.

### ❖ Dimensions des plateaux :

Elles fixent les valeurs extrêmes possibles pour l'une des dimensions transversales du moule. Et nous assure la fixation du moule.

### ❖ Epaisseur du moule minimale :

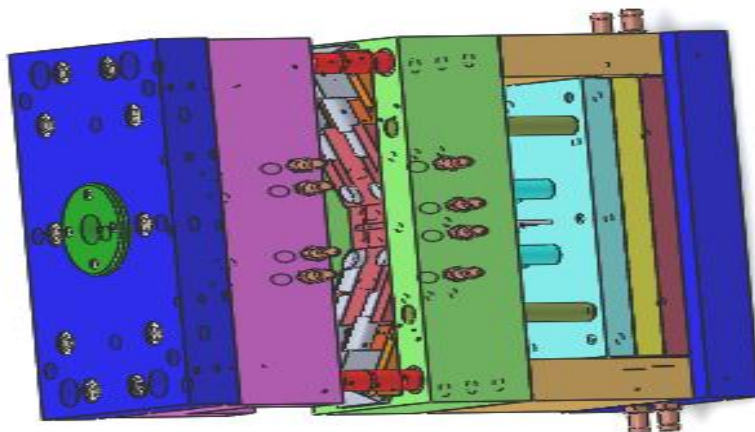
Il est inutile d'obtenir une fermeture complète des plateaux lorsqu'aucun moule n'est monté dessus. La distance entre plateaux en position moule fermé, représente alors le moule d'épaisseur minimale exploitable.

### c- Le moule :

D'une façon générale , un moule est un outil de transformation comportant une cavité destinée à recevoir un matériaux liquide , plus ou moins fluide , et à le mettre en forme en vue d'obtenir un objet dont le dessin a été déterminé à l'avance .

L'opération de démoulage peut avoir lieu lorsque, pour les matières thermoplastiques, la pièce fabriquée a acquis par refroidissement le plus souvent une rigidité suffisante.

Ce refroidissement est assuré par des circuits qui sont implantés autour de la cavité de la pièce à mouler.



**II-2-4. Le choix d'une presse :**

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

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

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

**II-3. Conclusion :**

Les procédés de mise en œuvre permettent d'obtenir des pièces en plastique, parfois même en alliages d'aluminium, de formes complexes et généralement en une seule opération. L'injection plastique est le procédé le plus utilisé dans ce domaine.

Dans un environnement concurrentiel, l'actualisation permanente des designs est nécessaire. Pour cela, il suffit de changer le moule.

**III. Introduction :**

Parmi tous les procédés énumérés dans le chapitre précédent, l'injection plastique est le procédé le plus utilisé pour fabriquer des pièces en plastique (thermoplastique), surtout de formes très précises et complexes. Cette fabrication dépend de trois composantes :

- le moule ;
- la presse.
- la matière première ;

Un moule d'injection plastique est un ensemble mécanique de très grande précision qui permet de fabriquer des milliers de pièces en injectant de la matière plastique en fusion dans des empreintes prévues à cet effet. Il est utilisé sur une machine appelée presse à injecter.

Le moule est composé de deux parties principales, une partie fixe pour l'injection de la matière et une partie mobile pour la fermeture du moule.

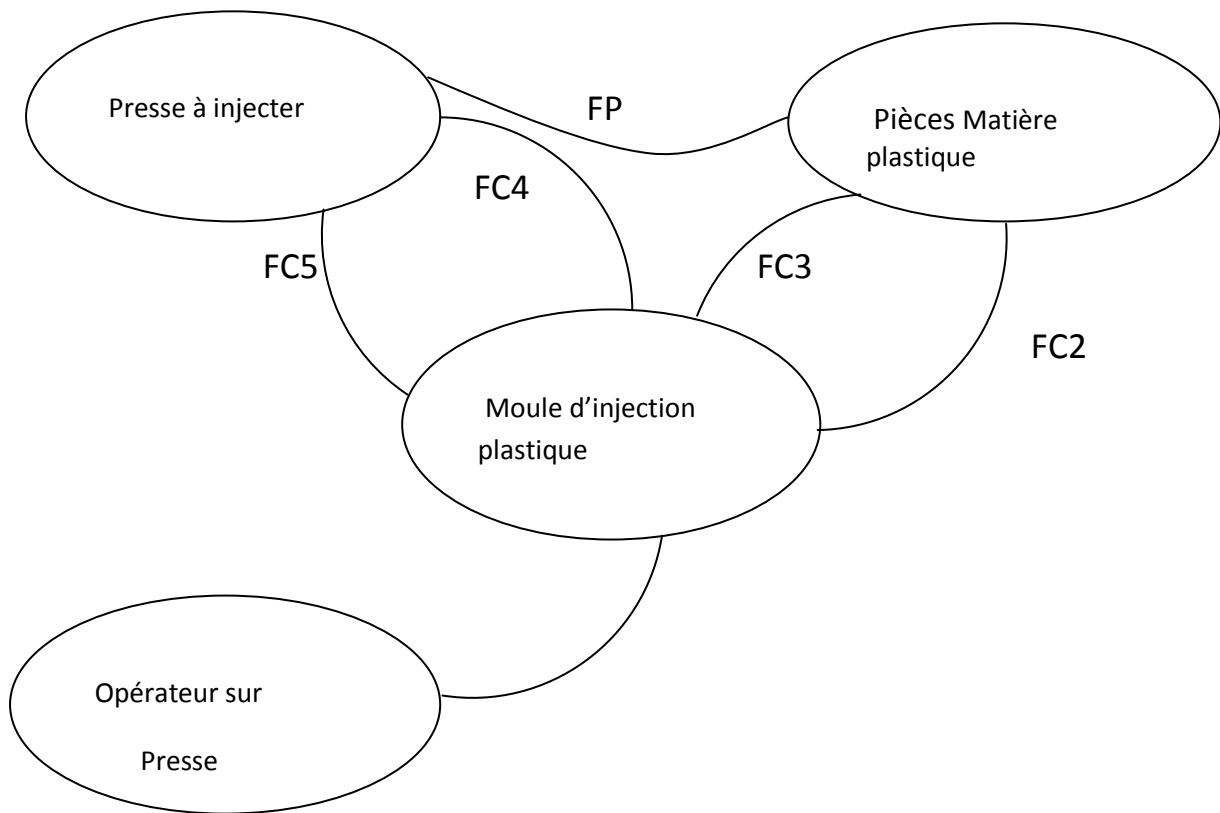
Quand le moule est fermé, la surface de contact entre ses deux parties est appelée plan de joint. C'est au niveau de ce plan de joint que la pièce devra se démouler. La difficulté est de définir physiquement sa position. Il n'est pas toujours plan et il peut avoir des formes complexes.

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.

La pièce ne pourra se démouler que si ses faces possèdent un angle de dépouille, plus ou moins important selon la matière utilisée.

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

## III-1. Analyse fonctionnelle



FP (Fonction Principale) : Fonction produire les pièces conformes au cahier des charges.

FC1 (Fonction Contrainte) : Fonction manutention.

FC2 (Fonction Contrainte) : Fonction mise en forme.

FC3 (Fonction Contrainte) : Fonction éjection

FC4 (Fonction Contrainte) : Fonction alimentation.

FC5 (Fonction Contrainte) : Fonction liaison machine

**III-2. Conception d'un moule thermoplastique**

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

**a- Fonction mise en forme ou empreinte :**

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

La forme de la pièce se fait par l'empreinte qui se répartit entre les deux parties (fixe et mobile) du moule et d'autres éléments auxiliaires tels que (tiroirs - cales montantes - noyaux), dans le but de faire des formes en contre dépouilles (des formes qui ne se démoulent pas dans le même axe d'ouverture du moule).

**b- Fonction alimentation**

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 :

- La buse d'injection ;
- Le reçu de la buse du moule ;
- Les canaux d'alimentations ;
- Les points d'injection ;
- Les formes de la pièce.

Pour la disposition des canaux devant alimenter plusieurs empreintes, il doit être tenu compte des principes suivants :

- la matière fondue doit arriver dans les entrées en même temps.
- le remplissage des empreintes doit se terminer au même instant.
- les entrées doivent se combler rapidement et en même temps.

**c- Fonction régulation :**

La régulation de la température de l'outillage se fait à travers un liquide caloporteur, envoyé à travers des canaux percés dans la carcasse de l'outillage et les empreintes en utilisant un thermorégulateur.

- L'eau pour des températures faibles (eau à 15 °C).
- L'huile pour des températures allant à 250 °C ou l'eau pressurisée pour des températures de 100 °C à 180 °C.

### d- Fonction éjection

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

Un moule thermoplastique peut être caractérisé par :

- Le nombre et disposition d'empreintes.
- La matière à injecter.
- La machine.
- Son architecture.
- Le système d'alimentation.
- L'éjection des pièces.
- Matériaux constitutifs du moule.
- La durée de vie (le choix des matériaux).

### III-2-1. Le nombre et la disposition d'empreintes :

#### a- Le nombre d'empreintes :

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

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

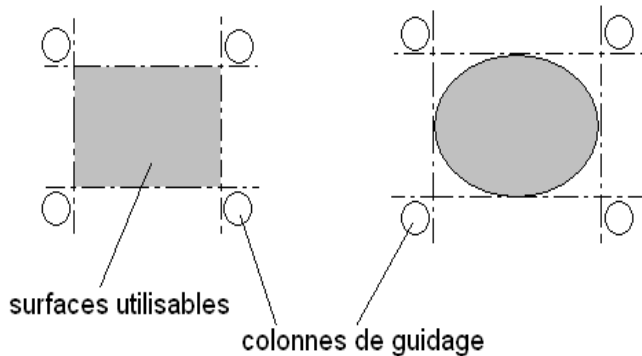
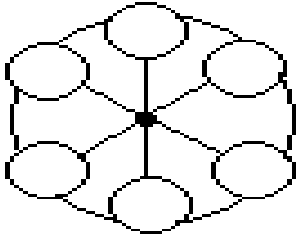
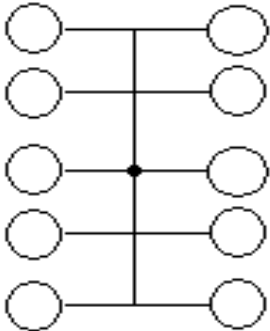
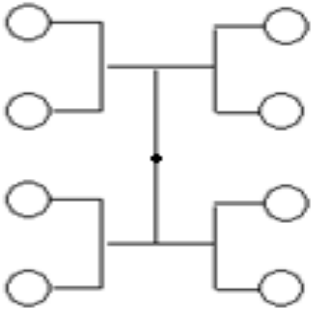


Fig. III-1 : Nombre d'empreintes en fonction de critères techniques et économiques

b- Disposition des empreintes dans le plan de joint :

Dispositions	Avantages	Inconvénients
<p>Répartition en étoile</p> 	<p>Même longueur d'écoulement vers toutes les empreintes Disposition favorable pour démoulage</p>	<p>Le nombre d'empreintes à placer est limité</p>
<p>Répartition en lignes</p> 	<p>Placement d'un nombre plus élevé d'empreintes qu'avec la répartition étoile</p>	<p>Différentes longueurs d'écoulement jusqu'aux empreintes</p>
<p>Répartition symétrique</p> 	<p>Même longueur d'écoulement jusqu'aux empreintes, pas de reprise du seuil d'injection nécessaire</p>	<p>Grand volume de carotte, beaucoup de perte, refroidissement trop rapide de la matière à mouler</p>

Tab. III-1. : Disposition des empreintes dans le plan de joint.

**III-2-2. La matière :**

Le choix de la matière est guidé principalement par les propriétés de celle-ci :

- température de transformation ;
- coefficient de retrait ;
- temps de refroidissement qui impose le temps de cycle, donc la cadence du moulage.

**III-2-3. La machine :**

Lors de la conception d'un moule on doit choisir la presse en fonction des capacités et impératifs de la presse : [11]

- du volume et de la forme de la pièce
- du nombre d'empreintes
- de la précision de la pièce
- Pression d'injection.
- Quantité d'injection.
- Puissance de plastification.
- Puissance d'ouverture.

**III-2-4. Architecture du moule :**

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

**a- Moule à deux plaques :**

Les moules à deux plaques sont les plus simples et les plus fréquents. Ils présentent beaucoup d'avantages :

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

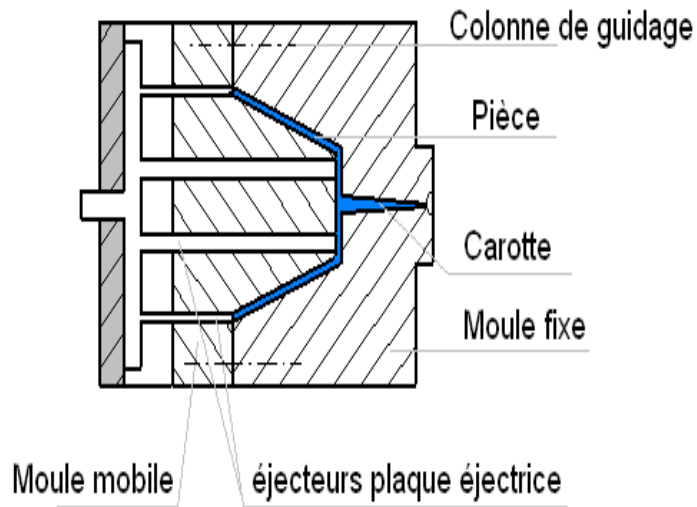


Fig. III-2 : Exemple de moule simple à deux plaques

**b- Moule à trois plaques :**

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

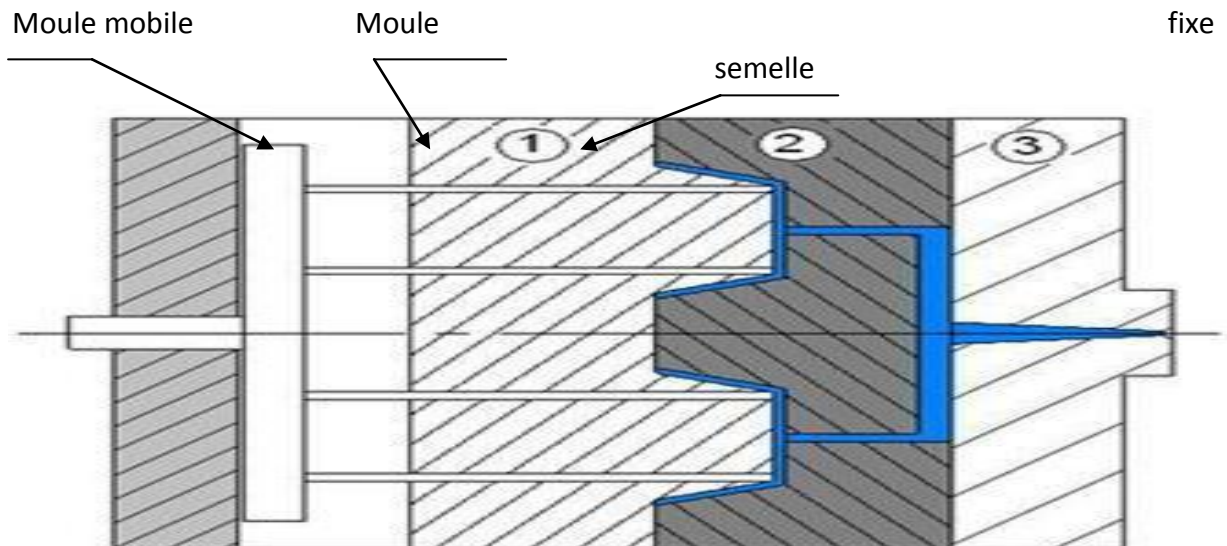
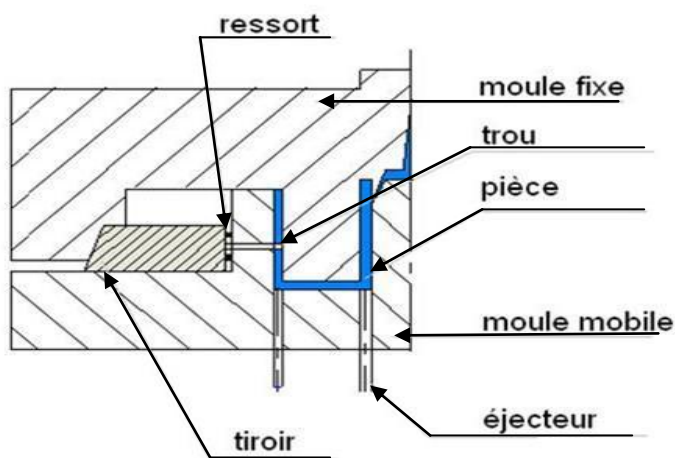


Fig. III-3 : Moule à trois plaques

**c- Moule à tiroir :**

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

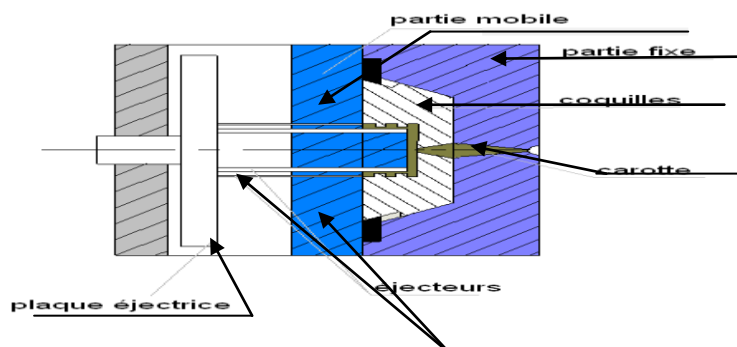
Le tiroir est un organe mobile qui complète le moule dans le plan de joint auxiliaire. Il sert à donner la forme de la pièce en contre dépouille par rapport au sens d'ouverture du moule, ainsi il assure le bon démoulage de la pièce à l'éjection.



**Fig. III-4 :** Moule à tiroirs.

**d- Moule à coquilles :**

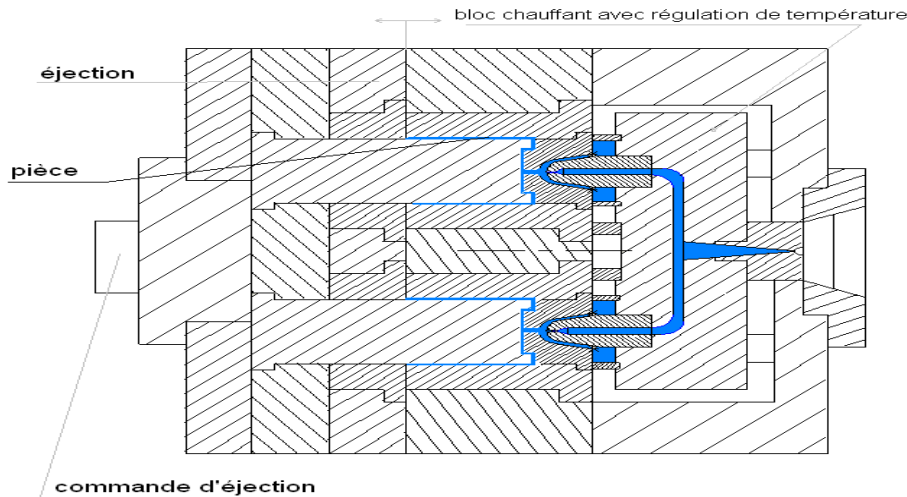
Ce moule permet de réaliser les contre dépouilles extérieures, mais il est toujours demandé de prendre soins de la fermeture du moule et surveiller la fermeture de la machine.



**Fig. III-5 :** Exemple de moule à coquilles

**e- Moule à canaux chauffant :**

On supprime ainsi les carottes et on économise du temps de cycle et de la matière  
 Ces moules sont plus chers (du type a 3 plaques), mais rentables par les gains de matière et de temps de cycle car la carotte n'a pas à se solidifier. [12]

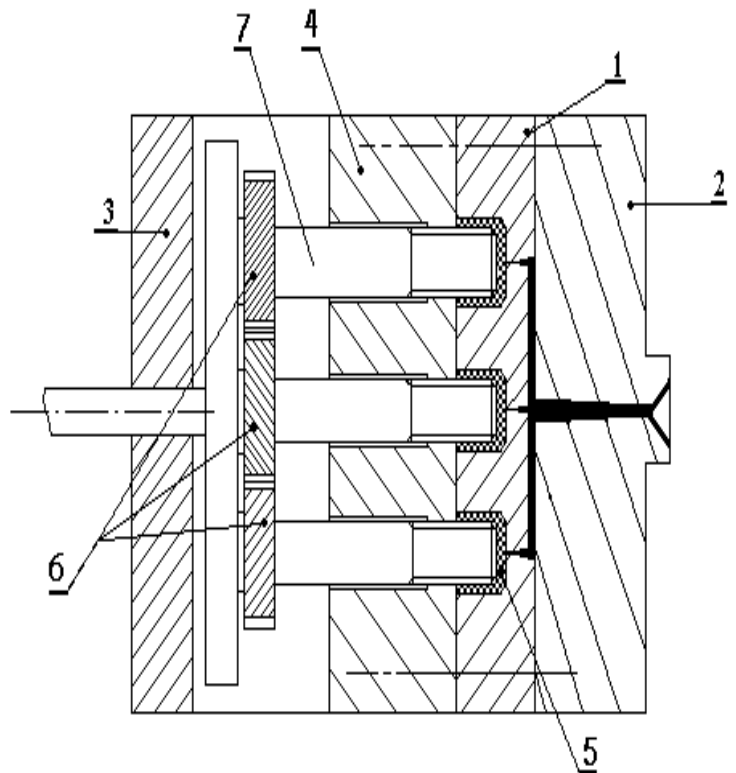


**Fig. III-6 :** Exemple de moule à canaux chauffant

**f- Moule à dévisage :**

Mouvement rotatif du noyau de filetage par engrenage commandé mécaniquement.

- 1- Moule mobile.
- 2- Moule fixe
- 3- - Semelle.
- 4- Moule mobile
- 5- - Pièce injectée
- 6- Engrenages.
- 7- Vis éjecteurs.



**Fig. III-7 :** Moule à dévisage

### III-2-5. Alimentation du moule [13] :

#### a- Généralités :

L'injection de la matière plastique vers l'empreinte est assurée à partir de la buse du moule par un réseau de canaux.

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

#### a.1- Injection dans le plan de joint :

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

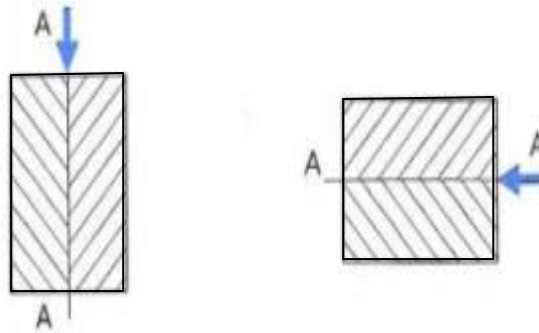


Fig. III-8 : Injection dans le plan de joint.

#### a.2- Injection perpendiculaire au plan de joint :

Mode d'injection très répandu.

Inconvénients :

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

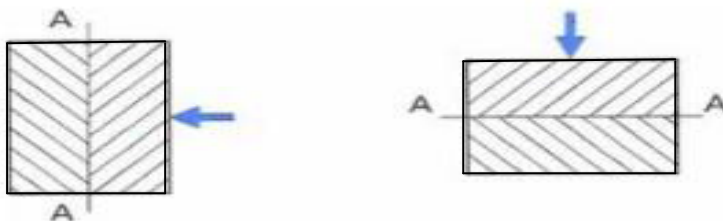


Fig. III-9 : Injection perpendiculaire au plan de joint.

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

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

**b.1- Cas particulier :**

Dans le cas d'un moule dont le point d'injection ne peut pas être placé au centre de gravité, un équilibrage des efforts doit être réalisé.

Exemple (fig.III10) : Pour réaliser l'équilibre, un effort complémentaire est réalisé à l'aide de cales ou tasseaux. La résultante des deux efforts passe par l'axe du plateau.

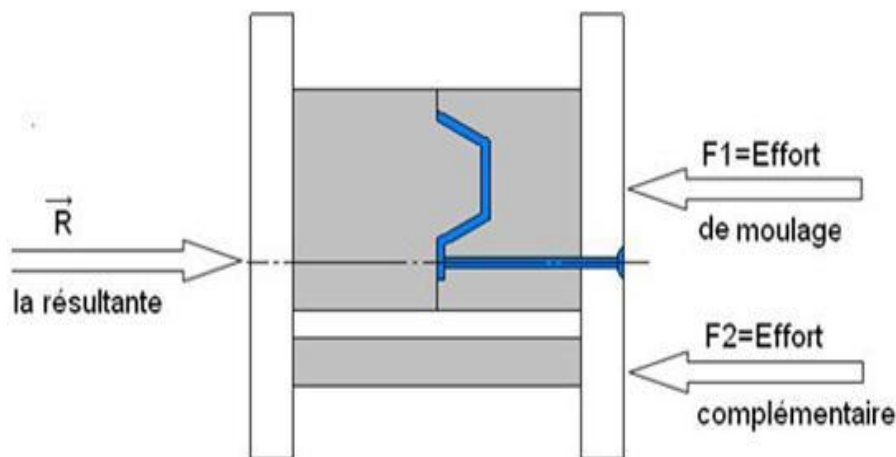


Fig. III-10: équilibrage des efforts

**c- Circulation de la matière :**

Pour réaliser une pièce de matière plastique par injection, le concepteur doit prévoir sur la pièce une zone où pourra être situé le seuil d'injection.

Egalement, il faut que la matière qui contourne une broche ou un noyau doit se ressouder sans laisser apparaître de fragilité ou des lignes de soudure[6]

**c.1- Lignes de soudure :**

Les lignes de soudure de la matière qui contourne un obstacle se forment à la jonction des flux de la matière au cours du remplissage du moule.

L'excès de points d'injection augmente le nombre de lignes de soudure, mais diminue les zones de fragilisation.

### c.2- Ecoulement de matière :

Pour réduire la fragilisation d'une pièce ou sa déformation, l'injection de la matière dans l'empreinte doit être dérivée.

Le remplissage trop direct entraîne une déformation de la pièce au moment du démoulage. Une broche ou un noyau placé à proximité du seuil d'injection réalise une bonne dérivation du flux.

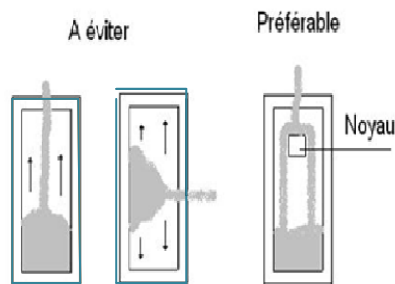


Fig. III-11 : Ecoulement de matière

### d- Remplissage des formes de révolution :

Le remplissage par la matière des formes cylindriques doit être effectué au point le plus haut de la pièce et de façon symétrique. Une injection latérale peut entraîner une flexion des broches ou laisser une zone de soudure trop importante néfaste à l'esthétique des pièces. Pour réaliser une pièce sans ligne de soudure de ce type, choisir un seuil capillaire.

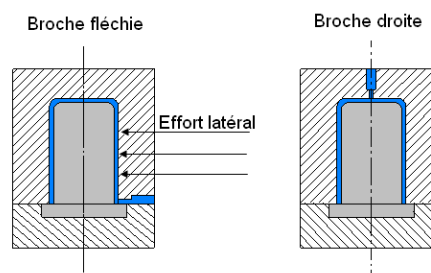


Fig. III-12 : Remplissage des formes de révolution

### e- Seuils d'injection :

Le canal d'alimentation communique avec l'empreinte par un seuil dans la section est nettement rétrécie par rapport à celle des canaux de distribution.

Lors de l'injection de la matière plastique, il faut positionner les seuils en tenant compte des remarques suivantes :

- l'emploi d'un seuil dirigé vers un obstacle pour garantir que le jet de matière heurte la paroi de l'empreinte ou du noyau du moule.
- Le seuil doit être disposé de manière à chasser l'air vers les événements pour éviter qu'il ne soit emprisonné dans l'empreinte.
- le seuil doit alimenter les sections épaisses de la pièce avant les sections minces.
- l'emplacement d'un seuil doit conduire à réduire au minimum les lignes de soudures.
- Il faut éviter de placer le seuil dans des zones de la pièce soumises à des contraintes ou à des chocs.
- Il faut penser à faciliter le dégrappage de la pièce.
- pour les pièces épaisses, prévoir une injection directe par carotte (surpression du seuil).

#### e.1- Carottes directes :

Les carottes directes sont employées le plus souvent avec des canaux chauds, ainsi que sur les prototypes. Cette méthode consiste à aligner la cavité avec la carotte ou sous le canal chaud. Elle a pour principaux avantages sa simplicité ainsi qu'un volume de canaux et une longueur d'écoulement considérablement réduits. Les inconvénients sont les gouttes froides visibles sur la pièce et la nécessité de retirer les restes de carotte ou de canal froid.

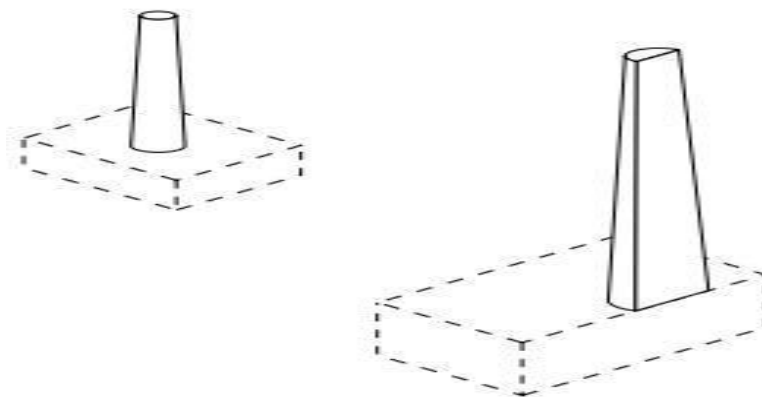


Fig. III-13 : Carotte directe.

#### e.2- Seuils latéraux :

Les seuils latéraux sont employés avec des carottes et canaux chauds ordinaires. On place en général du côté mobile du moule une contre-dépouille qui sert d'arrache-carotte.

#### e.3- Seuils en sous-marin :

Les seuils en sous-marin constituent l'une des méthodes les plus employées, car ils se détachent d'eux-mêmes.

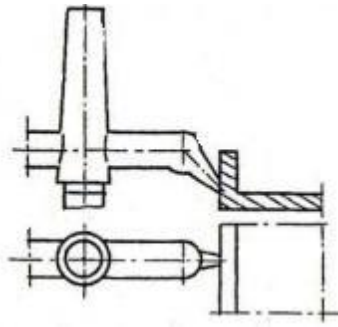


Fig. III-14 : Seuils en sous-marin.

#### e.4- Seuil capillaire :

Le profil du seuil capillaire est tubulaire, carré, ou rectangulaire. Ce seuil peut être représenté dans la face frontale ou latérale de l'empreinte. Il est utilisé dans le moule multi-empreintes avec injection centrale.

##### ❖ Avantages

Démoulage automatique de la carotte

##### ❖ Inconvénients

Perte élevée à cause du volume de la carotte.

Coût du moule élevé.

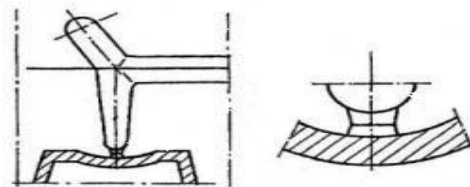


Fig. III-15 : Seuil capillaire.

#### e.5- Seuil en Toile :

Son emploi est conseillé pour des pièces de révolution exigeant une concentricité satisfaisante et des lignes de soudure résistantes. Il est nécessaire de procéder à une opération ultérieure pour ôter la toile.

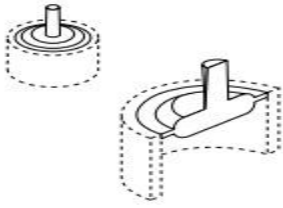


Fig. III-16 : Seuil en toile.

#### e.6- Seuils en nappe :

Les seuils en nappes sont utilisés pour l'injection de pièces plates ou de grandes surfaces qui doivent présenter un voilage minimal. Elles sont utilisées comme plaques ou baquettes. Leurs avantages et leurs inconvénients sont nombreux :

##### ❖ Avantages

Pas de ligne de soudure  
Bonne qualité dimensionnelle

##### ❖ Inconvénients

Usinage après arrachage de la carotte.

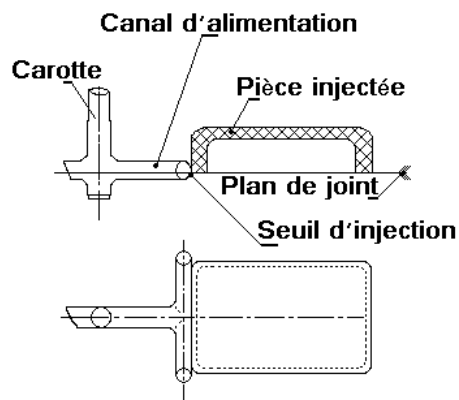


Fig. III-17 : Seuil en nappe.

#### e.7- Seuil en étoile :

Son emploi est conseillé pour l'injection de pièces cylindriques n'imposant pas des tolérances trop critiques. Il peut s'utiliser en association avec un seuil annulaire ou conique.

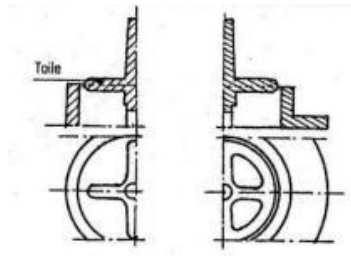


Fig. III-18 : Seuil en étoile.

#### e.8- Seuil à tunnel courbé :

Pour le moulage de pièces minces ou devant présenter un aspect et un d'égrappage automatique, ce système permet de localiser le seuil sur une zone invisible de la pièce ou tout autre point.

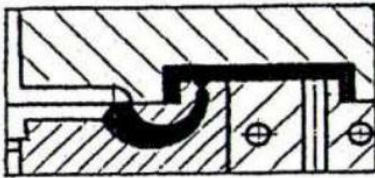


Fig. III-19 : Seuil à tunnel courbé.

#### f- Les canaux de distribution :

Dans les moules à plusieurs empreintes alimentés par un canal principal et des canaux secondaires, le canal principal doit se prolonger au delà du point de dérivation du canal secondaire pour constituer un puits à goutte froide.

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

Le système de distribution ainsi choisi doit satisfaire les exigences suivantes :

- remplissage de la cavité avec un minimum de lignes de soudure
- facilité de démoulage
- une section assez importante de façon à ce que le temps de refroidissement soit égal ou légèrement plus long que celui de la cavité. Sans pour autant avoir effet sur le temps de cycle
- pourcentage massique minimal par rapport à la masse totale de la grappe.

##### f.1- Forme des canaux :

- ❖ Canaux cylindriques:

Les canaux entièrement cylindriques ont le plus faible rapport surface/volume. Ce sont les canaux de distribution les plus efficaces, mais aussi les plus difficiles à fabriquer. L'état de surface doit être de bonne qualité pour réduire les pertes de charge.

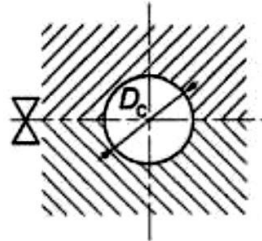


Fig. III-20 : canaux cylindriques.

❖ Canaux à section trapézoïdale :

Ils garantissent un débit moyen et un refroidissement plus rapide

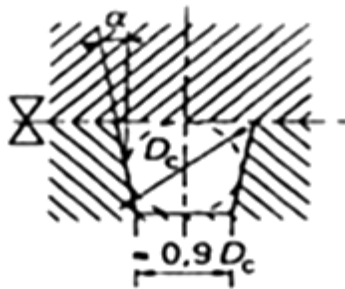


Fig. III-21 : section trapézoïdale.

**f.2- Implantation des canaux :**

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

**III-3. Le système de refroidissement :**

Le processus de moulage par injection des thermoplastiques en fusion est toujours suivi d'un refroidissement avant éjection ; il est donc extrêmement important que la température du moule soit bien contrôlée.

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

## ❖ Remarque :

- Les températures des deux faces du moule doivent être égales à  $\pm 5$  °c près.
- les écarts de température doivent être inférieurs à 5°c sur toutes les parois de l'empreinte.

**III-3-1. Circuits de refroidissement :**

L'échange thermique entre le plastique injecté et le moule est un facteur décisif dans les performances économiques d'un moule d'injection [14]. La chaleur doit être extraite du matériau thermoplastique jusqu'à ce qu'il ait atteint l'état stable recherché pour pouvoir être démoulé. Le temps total de refroidissement intègre la séquence de compactage, même si celle-ci est décomptée séparément, puisque le matériau injecté échange de l'énergie avec le moule dès qu'il est en contact avec la surface moulante. L'énergie calorifique qu'il faut extraire dépend :

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

**III-3-2. Description du circuit de refroidissement :**

Le système de refroidissement peut être un simple circuit linéaire ou en spirale. Pendant le refroidissement, la pièce peut subir une déformation ou un gauchissement dû à une différence de vitesse de refroidissement suivant la partie du moule [2]. Cette déformation peut être supprimée par une variation de température.

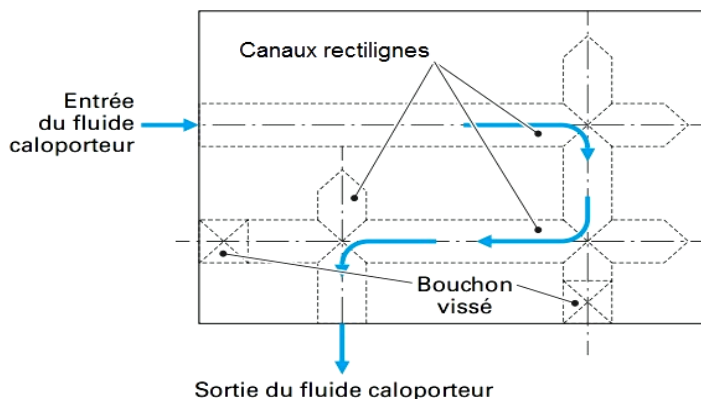


Fig. III-22 : circuit obtenu à partir de canaux rectilignes.

**III-3-3. Conception des circuits de refroidissement :****a- Calcul du temps de cycle :**

Un cycle complet peut se décomposer de la manière suivante :

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

#### a.1- Le temps de refroidissement :

C'est le temps mis par la matière injectée pour atteindre sa température maximale autorisant le démoulage. L'échange de chaleur entre la matière plastique et le fluide de refroidissement se fait grâce à la conduction thermique du moule. Ce temps de refroidissement dépend de la géométrie de la pièce à refroidir

L'expression du temps de refroidissement  $t_R$  est donnée par :

$$T_R = \frac{e^2}{D \cdot \pi^2} \cdot \ln \left[ \frac{8}{\pi^2} \times \frac{T_i - T_m}{T_e - T_m} \right] \quad [\text{Annexe 1}]$$

Avec :

- e : épaisseur de la pièce moulée en mm
- D : diffusivité thermique du plastique
- T<sub>i</sub> : température de la matière à l'injection
- T<sub>m</sub> : température moyenne du moule au cours du cycle
- T<sub>e</sub> : température de la matière à l'éjection

#### a.2- Détermination de la longueur totale de refroidissement :

Ce paramètre se calcule à partir de la surface active des canaux, fonction du diamètre, qui est nécessaire à l'évacuation de chaleur :

$$LC = \frac{Q_H}{h \cdot \pi \cdot dc (T_c - T_f)}$$

Avec :

- LC : longueur totale des canaux.
- Q<sub>H</sub> : quantité horaire de chaleur à évacuer.
- H : coefficient de transfert thermique.
- DC : diamètre des canaux.
- T<sub>c</sub> : température des parois des canaux.
- T<sub>f</sub> : température du fluide au centre du canal.

### III-4- Dégazage du moule :

Au cours du remplissage du moule, il y a nécessité d'évacuer l'air prisonnier dans l'empreinte du moule et ce, grâce aux éjecteurs et au plan de joint. Une évacuation insuffisante de l'air gêne le remplissage et peut même donner lieu à des carbonisations vu la température élevée de l'air lors d'une injection rapide pour un processus d'évacuation plus faible. Il est nécessaire de procéder à l'usinage d'évents supplémentaires qui peuvent être réalisés sur le plan de joint, sur les éjecteurs ou sur les parties rapportées dans le moule.

L'air est généralement évacué par le plan de joint, mais dans certains cas, il est nécessaire de procéder à l'usinage d'évents supplémentaires.

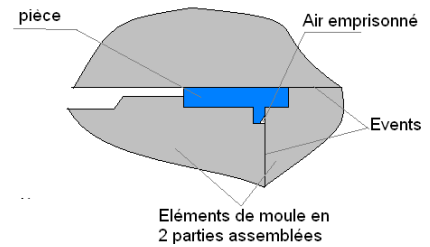


Fig. III-23 : Event.

### III-5. Choix du plan de joint

Le plan de joint est la surface qui libère la carotte à l'ouverture du moule et la surface de contact entre l'empreinte fixe et l'empreinte mobile.

On peut trouver un ou plusieurs plans de joint dans un moule. Les facteurs qui influent sur le nombre de plan sont :

- Géométrie de la pièce.
- Nombre d'empreintes
- Type d'injection.
- Principe de démoulage.

### III-6- L'éjection des pièces :

Plusieurs facteurs importants entrent en ligne de compte dans la facilité d'éjection des pièces. Les problèmes de moulage sont le plus souvent liés à des problèmes d'éjection

L'éjection des pièces, après refroidissement et ouverture du moule, doit être facilement réalisée, sans rupture de la pièce ou déformation permanente avant le refroidissement définitif.

#### a- Types d'éjection :

##### a.1- Ejection coté bloc mobile :

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

**a.2- Ejection de contre-dépouille :**

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

**a.3- Ejection par dévêtissage :**

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

**a.4- Ejection coté bloc axe :**

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

**b- Choix des éjecteurs :****b.1- Ejecteur latéral**

Dans le cas d'une éjection latérale, les dimensions des éjecteurs doivent être déterminées en fonction de l'épaisseur de la paroi et de la résistance de la matière  
Si :

- $e < 2,5$  ; éjecteur  $\varnothing 3$
- $e = 3$  ; éjecteur  $\varnothing 5$
- $e = 3$  ; éjecteur  $\varnothing 10$

**b.2- Ejecteur à lame**

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



**Fig. III-24 :** Ejecteur à lame

**b.3-Ejecteur tubulaire**

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



**Fig. III-25 :** Ejecteur tubulaire

### **c- Ejection des carottes :**

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

#### **c.1- Types d'arrache-carotte :**

La carotte est extraite de la buse en même temps que les canaux. L'extraction s'effectue de la manière suivante :

- Poussée de la carotte et des canaux.
- Poussée de la carotte après son extraction du conduit (retenue par coin).
- Arrachement de la carotte de la buse (retenue par queue d'aronde).

### **d- Problème de démoulage :**

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

Origines des problèmes rencontrés :

- Défaut de conception du moule.
- Contraction des pièces sur les noyaux par le retrait.
- Contre-dépouille mal évaluée.
- Matière plastique trop souple.

## **III-7- Tiroir :**

### **III-7-1- Description :**

La mise en œuvre des tiroirs sur les moules est conditionnée par la forme et les dimensions des éléments en contre-dépouille.

### **III-7-2- Types de tiroirs :**

**a- Tiroirs Latéraux :**

Les tiroirs latéraux se dégagent en translation au moment de l'ouverture du moule l'éjection de la pièce est réalisée après leur dégagement

**b- Tiroirs Intérieurs :**

Les tiroirs intérieurs participent à la mise en forme des bossages intérieurs ou de trous débouchant. L'extraction de la pièce est aidée par le tiroir ; ensuite l'éjection s'effectue par un jet d'air comprimé. La batterie d'éjection écarte les tiroirs intérieurs et participe à l'éjection du produit.

**III-7-3- Commande des tiroirs :****a- Commande par doigt de démoulage :**

Le doigt de démoulage déplace le tiroir en translation au moment d'ouverture ou de la fermeture du moule. Le verrou bloque le tiroir en position avant l'injection. Le doigt de démoulage ne supporte pas les efforts internes du moule pendant l'injection. La longueur du doigt de démoulage est fonction du déplacement demandé au tiroir.

**b- Commande par levier coudé :**

Le levier coudé en acier forgé déplace le tiroir en translation au moment de l'ouverture du moule .le verrou bloque le tiroir au moment de l'injection de la matière plastique.

**III-8- Matériaux utilisés pour la fabrication des moules :****III-8-1- Généralités :**

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

Par plusieurs entreprises : DME, HASCO, RABOURDIN..... ; Pour les dimensions, se reporter aux catalogues correspondants. Ils permettent de réaliser des études de fabrication qui présentent un certain nombre d'avantages tels que:

- Diminution du prix de revient de l'outillage.
- Diminution des délais d'approvisionnement.
- Diminution du temps de pré-étude et d'établissement des devis.
- Diminution du temps de l'étude définitive.
- Réutilisation de certains éléments.

**III-8-2- Les aciers utilisés:**

Eléments	Matériaux	Eléments	Matériaux
Doigts de démoulage	16 Cr Ni 6	Bague de centrage	C 35
Doigts de centrage	16 Cr Ni 6	Bague de guidage	100 Cr 6
Ejecteur	X 40Cr S Mo 10	Empreinte forcée	35CrNi 15
Tiroir	80 Mn 8	Empreinte usinée	50 Cr V 45
Buse d'injection	35 NC 15	Goupille cylindrique	Acier stub

**Tableau. III-2 :** Choix des matériaux**III-9- Conclusion :**

A partir de ce chapitre, on peut déduire que les meilleurs choix des paramètres de conception du moule d'injection nous permettent d'avoir des produits finis de bonne qualité et des formes complexes, donc le concepteur doit suivre toutes les étapes nécessaires pour faire réussir son produit.

## **IV. Introduction :**

Ce chapitre est consacré à la conception de la pièce (tuyau de purge), déduire les éléments du moule, par la suite, la détermination des différents facteurs du choix de la presse, le calcul de résistance des différents composants du moule au matage dû à la force de fermeture de la machine et aussi la vérification des colonnes de guidage et les vis CHC au cisaillement.

### **IV-1. La CAO (conception assistée par ordinateur) :**

#### **IV-1-1. Définition de la CAO :**

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

Lorsqu'un système est affecté d'un nombre trop grand de paramètres, il devient difficile de tout contrôler. La CAO permet de concevoir des systèmes dont la complexité dépasse la capacité de l'être humain, et d'apprécier globalement le Comportement de l'objet créé avant même que celui-ci n'existe. En CAO, on ne dessine pas, on construit virtuellement un objet capable de réagir dans son espace réel selon des lois régies par le logiciel. Le résultat, appelé maquette numérique qui constitue alors un véritable prototype évolutif.

Durant notre conception nous avons utilisé le logiciel de conception appelé « SolidWorks »

#### **IV-1-2. Domaines de la CAO :**

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

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

**IV-1-3. Avantages de la CAO :**

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

- Gain de temps et productivité pour les équipes de conception avec l'utilisation de la modélisation solide.
- Amélioration considérable de la qualité des produits du fait que la CAO permet de contrôler leurs qualités avant même leurs productions.
- Diversification de la production, par la possibilité de conception des formes complexes.
- Importance des échanges entre concepteurs et réalisateurs, du fait d'une définition beaucoup plus complète en CAO.

**IV-1-4. Application :**

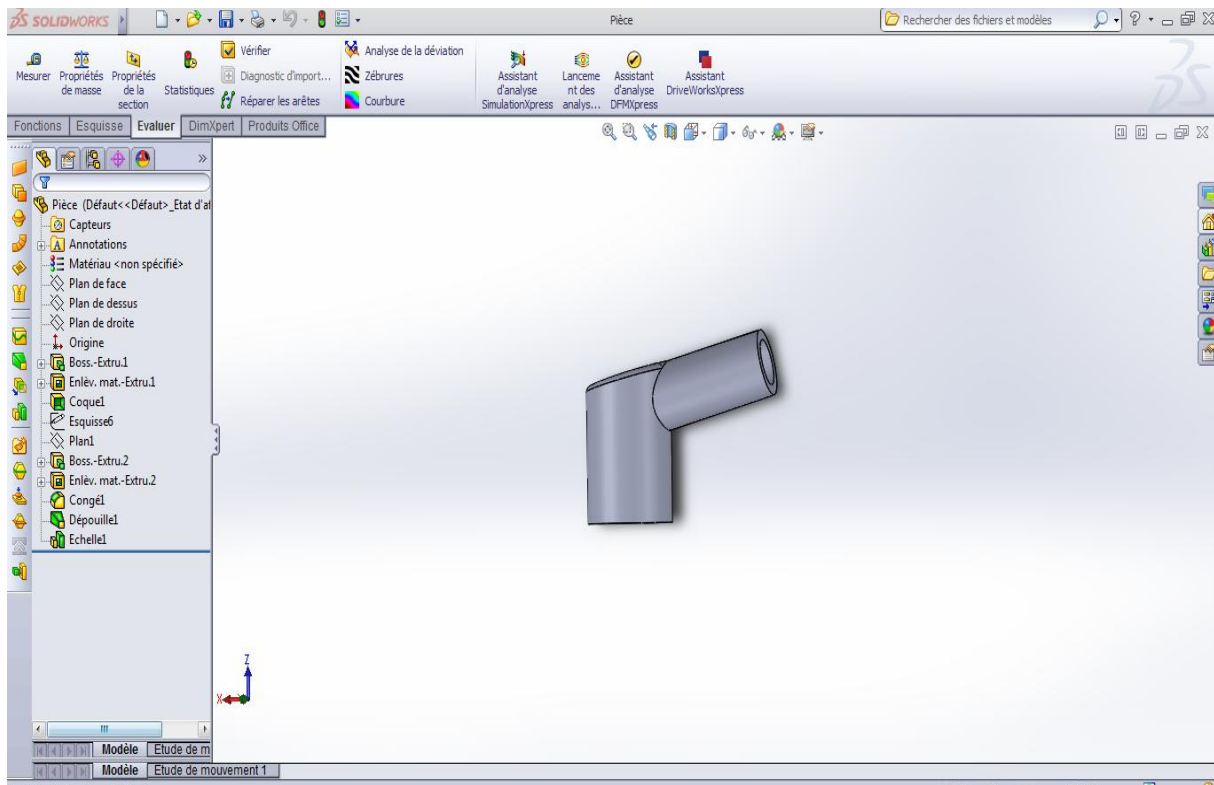
Durant la conception des pièces, nous avons utilisé les commandes du logiciel SolidWorks tel que : Esquisses, fonctions et surfaces.

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

Deuxièmement, nous avons conçu le reste des pièces constituant le moule en trois dimensions (3D) de manière à assurer les fonctions objectives et les normes de construction.

En suite, l'utilisation de la commande assemblages nous a permis d'effectuer le montage de toutes les pièces en formant un moule complet et la détection des interférences qui peuvent exister entre les pièces assemblées.

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



## IV-1. Le choix de la machine:[14]

Le choix de la presse est déterminé à partir de plusieurs facteurs tels que :

- Capacité d'injection ;
- Force de fermeture ;
- Puissance de plastification ;
- Distance entre colonnes ;
- Épaisseur minimale du moule.

### IV-1-1. La capacité d'injection :

Chaque machine a une capacité d'injection (voir le tableau ci-dessous) ; donc on choisit la machine en fonction du poids des pièces et de la carotte.

Presses	Capacité d'injection (g)	
	Pour ABS (même chose que PS)	Pour le PE
25T	45	36
75T	100	83
150T	230	180
220T	450	350
350T	850	680
550T	1360	1080

Tableau. IV-1. Capacité d'injection [15].

**a- La masse de la pièce :**

La masse de notre pièce dépouillée est donnée directement dans les propriétés de la masse, du logiciel Solid Works, après déclaration bien sûr du matériau (PS),

Donc la masse de la pièce est :  $m_p = 6.16g$

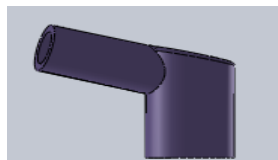


Fig. IV-1 : Tuyau du purge

**b- La masse de la carotte :**

Le poids de cette carotte est de  $M_c = 4.24$

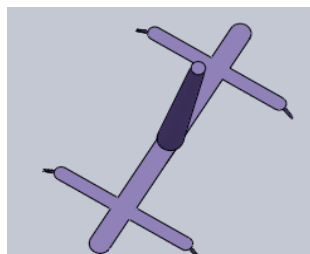


Fig. IV-2 : La carotte

**c- La masse de la moulée (M) :**

Puisque notre moule produit dans chaque cycle quatre(04) pièces et une carotte, donc la machine doit pouvoir injecter une quantité suffisante (M). Pour répondre aux conditions de service.

$$M=4*M_p+M_c$$

AN :

$$M = 4*6.16+4.24 =28.88g$$

La masse de la moulée est M=28.88g

D'après le tableau (IV-5), on constate que les presses qui peuvent assurer l'injection de cette quantité de matière sont : 75T, 150T, 220T .....

Bien que le poids de la moulé est l'un des paramètres essentiel pour déterminer la presse adéquate, d'autre seront calculés à la suite de ce chapitre.

**IV-1-2. La force de fermeture de la machine [15] :**

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

**a- La force de verrouillage :** (tonnes /cm<sup>2</sup>)

$$F_v = P \cdot S$$

Avec:

F<sub>v</sub>: la force de verrouillage (tonnes).

P : la pression moyenne d'injection ; P=0,5 (tonnes /cm<sup>2</sup>) [voir le tableau suivant].

S : la surface projeté (cm<sup>2</sup>) ; S= 35.847cm<sup>2</sup>

AN :  $F_v = P \cdot S = 0.5 \times 35.847 = 17.9235T$

F<sub>v</sub>=17.9235T

Matière	Pression intérieure moyenne (tonne/cm <sup>2</sup> ) (dans la normalité)	Grand parcours de fluctuation (forme compliquée)
PE, PP	0.3 à 0.4	0.4 à 0.5
HIS, PA6	0.35 à 0.45	0.45 à 0.55
PS, AS, ABS	0.4 à 0.5	0.5 à 0.6

**Tableau. IV-2:** la pression d'injection (Tonnes/cm<sup>2</sup>).

**b- La force de fermeture:**

$$F = F_v \cdot K$$

$F_v$ : force de verrouillage

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

$$F = 17.9235 \times 1.5 = 26.88 \text{ tonnes}$$

$F = 26.88 \text{ tonnes}$
----------------------------

D'après les résultats obtenus de la capacité d'injection et la force de fermeture, notre choix se portera sur la presse de 75T.

**IV-1-3. La Puissance de plastification (C)**

Même si la machine 75T peut injecter 28.88g de PS on doit vérifier sa capacité de plastification (la quantité de matière plastifiée par heure) qui est en fonction du poids de la grappe et du temps de cycle. Le temps de cycle est égal a 26 s (voir page91).

$$C = \frac{\text{Masse de la grappe}}{\text{Temps de cycle}}$$

AN :

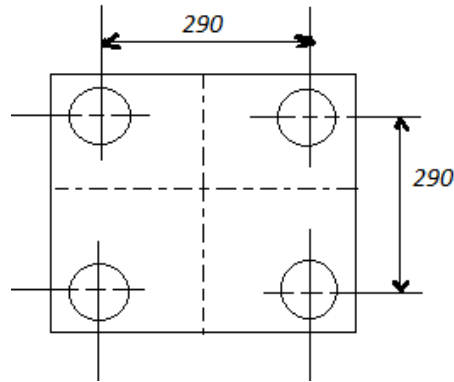
$$C = \frac{28.88 \cdot 3600}{26} = 4000 \text{ g/heure.}$$

$C = 4 \text{ Kg/h}$
----------------------

Cette condition est vérifiée puisque notre machine plastifie 50 kg/h (voir les caractéristiques de la presse dans tableau **IV-3**)

**IV-1-4. La distance entre colonnes [15] :**

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



**Fig. IV-3** : Schémas d'un plateau d'une presse 75T [15]

Les dimensions de notre moule sont :

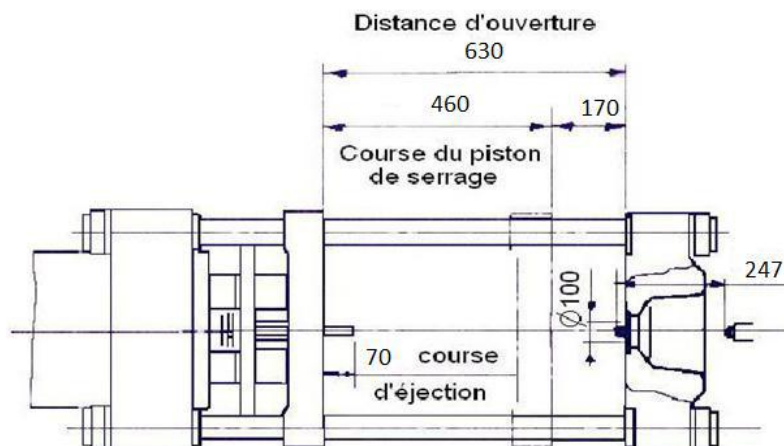
- Longueur : 396
- Largeur : 246

#### IV-1-5. Epaisseur minimale du moule :

Les caractéristiques dimensionnelles de la presse 75T (i1) sont :

- La distance entre plateaux de la presse 630 mm ;
- La course maximale du piston de serrage 460 mm ;

A partir de la, on voit que l'épaisseur minimale du moule doit être supérieure à 170mm (Notre moule a une épaisseur de 286mm).



**Fig. IV-4** : Caractéristiques dimensionnelles de la presse 75T [15].

**IV-1-6. Caractéristiques techniques de la Presse 75 T (i1) [15] :**

Symbole d'injection	i 2
Symbole du cylindre	A
Pression d'injection	2030Kg/Cm <sup>2</sup>
Taux d'injection	87Cm <sup>2</sup> /sec
Quantité d'injection	PS 83g
	PE 105g
Diamètre de la vis	32mm
Puissance de plastification(PS)	50Kg /h
Puissance de serrage	75Tonnes
Puissance d'ouverture	6.3 Tonnes
Vitesse Maxe de rotation de la vis	380 tr. min
Intervalle des tirants	360x360 mm
Dimensions de la plaque matrice	540x540 mm
Course de serrage	460 mm
Epaisseur mini du moule	170 mm
Ouverture	630 mm
Puissance de foulage(Hydraulique)	2.7 Tonnes
Course de foulage	70 mm
Quantité d'huile d'usage	360 litres
Moteur destiné à la pompe	15 KW
Capacité du réchauffeur	6.6 KW
Dimension de la machine(L.I.H)	4 ,5x1,2x2,1
Poids de la presse	4Tonnes

**Tableau. IV-3** : caractéristique technique de la presse75T**IV-2. Le bilan thermique :**

Tous les résultats sont donnés avec l'hypothèse que la pièce moulée est une plaque de longueur infinie. C'est-à-dire que les dimensions transversales sont très grandes devant l'épaisseur, l'évacuation de la chaleur se fait perpendiculairement à celle-ci, c'est pour cela qu'on va négliger le transfère de chaleur par conduction et par rayonnement.

Dans cette présente étude on supposera que le fluide caloporteur doit à lui seul évacuer toute l'énergie fournie par le polymère.

- **Remarque :**

Puisque la quantité de chaleur dégagée par le polystyrène et automatiquement porté par le fluide caloporteur qui est l'eau dans notre cas, d'où il suffira de calculer juste la quantité de chaleur dégagée par le polystyrène.

**IV-2-1. Principe de refroidissement :**

Les réfrigérants tel que l'eau, l'huile et l'air circulent dans des circuits refroidissements. Le refroidissement par air est assez lent, c'est pour cette raison qu'on choisit l'eau. Et puisque la température du moule est toujours en fonction de la matière plastique moulée, voici le tableau qui illustre ces différentes températures.

Matières	Température du moule(°c)
Polystyrène normal	50 à 80
Polystyrène choc	60 à70
Styrène	60 à90
Polyéthylène	50 à 80
Polychlorure de vinyle	70
Polyamides rilsan	40

**Tableau. IV-4 :** les températures régulées.

**IV-2-2. Temps de refroidissement:**

Le temps de refroidissement est déterminé par la relation ci-dessous [10] :

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

Avec: e: épaisseur moyenne de la pièce; e=2 mm

D: la diffusivité thermique de PS; D=8,3.10<sup>-8</sup>m<sup>2</sup>/s

Ti: température d'injection; Ti=225°

Te: température d'éjection; Te=70°C

Tm: température du moule; Tm=45C

<b>Grandeurs thermiques permettant le calcul du temps de refroidissement des pièces injectées</b>				
$T_d$		température moyenne d'extraction		
$\lambda$		conductivité thermique		
$a$		coefficient de diffusion thermique (ou diffusivité)		
<b>Matière injectée</b>		$T_d$ (°C)	$\lambda$ (W · m <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> )	$a$ (10 <sup>-8</sup> m <sup>2</sup> · s <sup>-1</sup> )
Cellulosiques	CA.....	80 à 105	0,22	
	CAB .....	80 à 105	0,21	
	CP.....	80 à 105	0,22	
Polystyréniques	PS.....	75	0,16	8,3
	SB.....	75	0,17	8,3
	SAN.....	90	0,16	8,3
	ABS .....	100 à 120	0,16	8,3

**Tableau. IV-5** : Grandeurs thermiques de quelques matières de pièces injectées.

AN :

$$tr = \frac{2^2 \times 10^{-6}}{3.14^2 \times 8.3 \times 10^{-8}} \ln \left[ \frac{8}{3.14^2} \left( \frac{225-45}{70-45} \right) \right] = 8.63s$$

$tr \approx 9s$
-----------------

#### IV-2-3. Temps de cycle :

Le temps de cycle ( $t_c$ ) d'une presse d'injection ne se résume pas uniquement au temps de refroidissement de la pièce moulée, mais il est composé de :

- $t_r$ : temps de refroidissement (9s)
- $t_i$  : temps d'injection (1s)
- $t_m$  : temps de maintien (5s)
- $t_e$  : temps d'éjection (3s)
- $t_o$  : temps d'ouverture (4s)
- $t_f$  : temps de fermeture (4s)

Le temps d'ouverture est entre 30% à 50% du temps de refroidissement et dans certains ouvrages il est lié aux caractéristiques de la presse d'injection.

Le temps d'ouverture et de fermeture sont égaux dans le cycle, ce qui nous donne :

Le temps d'ouverture  $t_o = 4s$ .

Le temps de fermeture  $t_f = 4s$ .

Le temps de maintien en pression est le temps pendant lequel la pression d'injection continue d'être appliquée après le remplissage des empreintes.



Fig. IV-5. Variation de la pression /temps

Conditions de moulage par injection	
Pression de maintien	30 à 60 % de la pression d'injection
Temps de maintien en pression (s)	1 à 5
Retard de plastification	réglé de façon que la plastification se termine simultanément avec l'ouverture du moule
Conditions moyennes qui doivent être adaptées en fonction de la pièce, du moule et de la presse ; d'autres conditions peuvent également être conseillées par le producteur de matière, en fonction de la formulation.	

Tableau. IV-6: Conditions de moulage par injection plastique [14].

Pour optimiser la compensation du retrait on prend le temps de maintien  $t_m = 5s$ .

AN : 
$$t_c = \sum t_r + t_i + t_m + t_e + t_o$$

$t_c = 9 + 1 + 5 + 3 + 4 + 4 = 26s$        $t_c = 26s$

IV-2-4. Calcul de la quantité de chaleur évacuée [13] :

$$Q = M.N (H_i - H_e)$$

Avec :

**N** : nombre de cycles de refroidissement horaire ;  $N = 3600/tc$

**M** : poids de la moulée en Kg

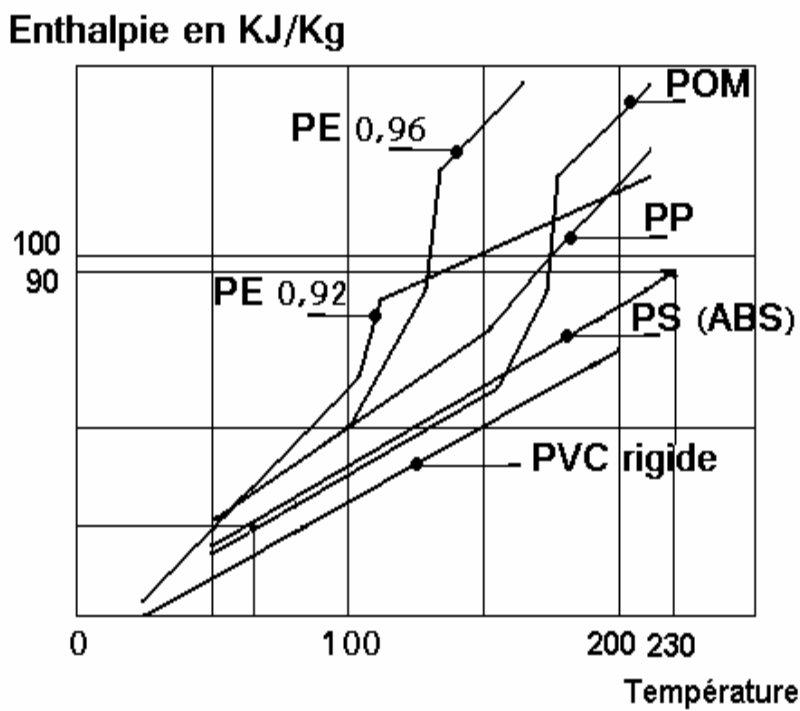
**Hi** et **He** : enthalpie correspondant aux températures de moulage et de démoulage.

$T_i=225^{\circ}\text{C}$  —————→  $H_i=88 \text{ Kcal/Kg}$

$T_e=70^{\circ}\text{C}$  —————→  $H_e=28 \text{ Kcal/Kg}$

$$Q = \frac{3600}{26} \times 28,88 \cdot 10^{-3} (88-28) = 240 \text{ Kcal/h}$$

$Q=240\text{Kcal/h}$



**Fig. IV-6:** Graphe des enthalpies en fonction de la température.

Cette quantité de chaleur (Q) doit être absorbée par le caloporteur

**IV-2-5. Détermination de la consommation horaire de liquide :**

$$GH = \frac{QH}{CF(T_s - T_{ee})}$$

Avec :

GH: consommation horaire de liquide en Kg/h.

QH : quantité de chaleur à évacuer en Kcal/h.

CF : capacité calorifique du fluide de refroidissement en Kcal/Kg.

Tee : Température d'entrée d'eau ;  $T_e=5^\circ\text{C}$

Ts : Température de sortie d'eau.

$T_s - T_e$  : l'échauffement admissible du fluide de refroidissement en  $^\circ\text{C}$  généralement cet écart doit être inférieur à  $5^\circ\text{C}$ .

AN :

$$GH = \frac{240}{1 \times (5,88 - 5)} = 272 \text{ Kg /h}$$

#### IV-2-6. Détermination de la longueur totale de refroidissement [16] :

##### a- La température du film :

C'est la température pour laquelle on fera évaluer tout les paramètres suivants ;  $C_p$ ,  $\rho$ ,  $\mu$ ,  $\nu$ ,  $Re$ ,  $Pr$  à cette température ( $T_f$ ) sachant que :

$C_p$  : chaleur spécifique ou capacité calorifique de l'eau à pression constante.

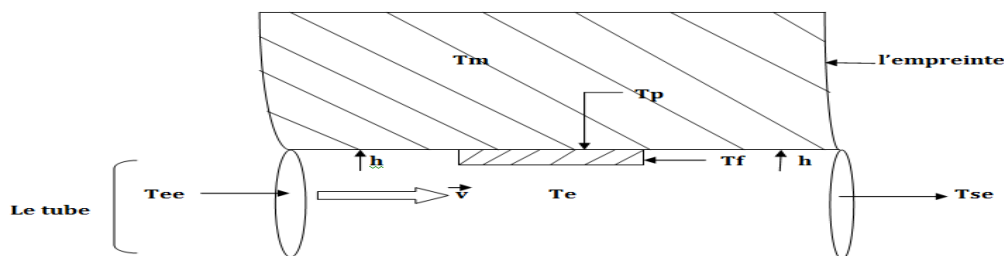
$\rho$  : Masse Volumique.

$\mu$  : viscosité dynamique de l'eau.

$\nu$  : viscosité cinématique de l'eau.

$\lambda$  : la conductivité thermique de l'eau.

$Re$ : nombre de Reynolds,  $Pr$  : nombre de Prandtl,  $Nu$  : nombre de Nusselt.



**Fig. IV-7:** La distribution des différentes températures dans le tube à l'intérieur du moule

$T_i$  : la température d'injection du polystyrène, sachant que  $T_i = 225$ .

$T_e$  : température d'éjection du polystyrène, sachant que la  $T_e = 70$ .

$$T_m = \frac{70 + 225}{2} = 147,5^\circ\text{C}$$

$T_{ee}$  : la température d'entrée d'eau, ou  $T_{ee} = 5^\circ\text{C}$

Tse : la température de sortie d'eau, ou Tse=5.88°C

$$T_e = \Delta T_e + T_{se}$$

$\Delta T_e$  : L'échauffement admissible du fluide de refroidissement en °C ; généralement cet écart doit être inférieur à 5°C, d'où la température d'eau sera :

$$T_e = \frac{5 + 5.88}{2} = 5.44^\circ\text{C}$$

Finalement la température du film sera donc :  $T_f = \frac{T_m + T_e}{2} = \frac{147.5 + 5.44}{2} = 76.47^\circ\text{C}$

Maintenant on à la température du film Tf, alors on pourra déterminer les paramètres cités au dessus (Cp,  $\rho$ ,  $\mu$ ,  $\nu$ ,  $\lambda$ , Re, Pr) à cette température.

T °C	$\rho$ Kg /M <sup>3</sup>	$\mu$ Kg /ms. (10 <sup>-3</sup> )	$\nu$ m <sup>2</sup> /s (10 <sup>-5</sup> )	Cp J/kg.k	$\lambda$ w /m.k	A m <sup>2</sup> /s (10 <sup>-8</sup> )	Pr	B l/kelvin (10 <sup>-4</sup> )
0	1002	1.78	0.19	4218	0.552	13.1	13.6	0.66
10	1001	1.30	0.130	4192	0.586	13.7	9.30	0.88
20	1001	1.00	0.101	4182	0.597	14.3	7.02	2.06
60	985.4	0.469	0.0477	4184	0.651	15.5	3.02	5.15
80	974.1	0.354	0.0364	4196	0.688	16.4	2.22	6.55
100	960.6	0.281	0.02	4216	0.680	16.8	1.74	7.49

**Tableau. IV-7** : Le tableau de la distribution des températures [16]

**a .1- La viscosité dynamique ( $\mu$ ):**

Du tableau et par interpolation :

$$\frac{0.469 \cdot 10^{-3} - 0.354 \cdot 10^{-3}}{80 - 60} = \frac{0.469 \cdot 10^{-3} - y}{76.5 - 60}$$

$$\mu (T_f) = 0.374 \cdot 10^{-3} \text{ kg /ms}$$

**a .2- La chaleur spécifique ou la capacité calorifique de l'eau (Cp):**

$$\frac{4196 - 4184}{80 - 60} = \frac{4196 - y}{80 - 76.5} = 4194 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot \text{K}$$

$$C_p (T_f) = 4194 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

**a .3- La masse volumique ( $\rho$ ) :**

$$\frac{985.4-974.1}{80-60} = \frac{985.4-y}{76.5-60} = 976.12 \text{ kg/m}^3$$

$$P \text{ (Tf)} = 976.12 \text{ kg /m}^3$$

**a .4- La conductivité thermique ( $\lambda$ ) :**

$$\frac{0.668-0.651}{80-60} = \frac{0.668-y}{80-76.5} = 0.649 \frac{w}{m .k}$$

$$\lambda \text{ (Tf)} = 0.649 \text{ w/m. k}$$

**a .5- La viscosité cinématique ( $\nu$ ) :**

$$\frac{0.0477 \cdot 10^{-5} - 0.0364 \cdot 10^{-5}}{80-60} = \frac{0.0477 \cdot 10^{-5}}{76.5-60} = 0.0383 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\nu \text{ (Tf)} = 0.0383 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Groupement	
$Re = \frac{\rho u D}{\mu}$	Nombre de Reynolds
$Pr = \frac{c_p \mu}{\lambda}$	Nombre de Prandtl
$Nu = \frac{h D}{\lambda}$	Nombre de Nusselt
$Pe = \frac{\rho u D c_p}{\lambda}$	Nombre de Peclet
$Ma = \frac{h}{\rho u c_p}$	Nombre de Margoulis
$Gr = \frac{\beta g \Delta T \rho^2 L^3}{\mu^2}$	Nombre de Grashof
$Ra = \frac{c_p \beta g \Delta T \rho^2 L^3}{\lambda \mu}$	Nombre de Rayleigh

**Tableau. IV-8 :** Quelques groupements sans dimensions [17] :**a .6- Le nombre de Reynolds (Re):**

Il caractérise le régime de l'écoulement (laminaire ou turbulent) dans la canalisation, de plus  $c'$  est un nombre sans dimension, avec  $Re = \frac{V d}{\nu}$ .

Avec :  $d$  : le diamètre hydraulique

AN :

$$Re = \frac{Vd}{\nu} = \frac{1.5 \times 0.008}{0.0383 \cdot 10^{-5}} = 31331.$$

$$Re = 3,1 \cdot 10^4$$

#### a .7- Le nombre de Prandtl(Pr) :

Ce nombre est calculable pour un fluide donné indépendamment des conditions expérimentales (il ne dépend que de la température) et caractérise l'influence de la nature du fluide sur le transfert de chaleur par convection.

$$Pr = \frac{\mu C_p}{\lambda}$$

AN :

$$Pr = \frac{0.374 \cdot 10^{-3} \times 4194}{0.649} = 2.42$$

$$Pr = 2.42$$

#### a .8- Le coefficient d'échange convectif(h) [17] :

Le coefficient de transfert thermique h est en fonction du régime d'écoulement

$$h = 0.04 \cdot (Re \cdot Pr)^{0.75} \cdot \frac{\lambda}{d}$$

AN :

$$h = 0.04 \cdot (3,1 \cdot 10^4 \times 2.42)^{0.75} \cdot \frac{0.649}{0.008}$$

$$h = 14709,48 \text{ w/m}^2 \cdot \text{k}$$

#### Finalement La longueur totale de refroidissement :

$\Phi = h \cdot S \cdot L \cdot (T_P - T_\infty)$  Remarque : la température au loin dans notre cas représente la température de l'eau  $T_e = 5.44^\circ\text{C}$

$S = \pi \cdot d \cdot L$  : c'est la surface d'échange.

$Q = h \cdot \pi \cdot d \cdot L \cdot (T_p - T_e)$ , d'où,  $L = Q / h \cdot \pi \cdot d \cdot (T_p - T_e)$

AN :

$$L = \frac{240}{14709,48 \times 3.14 \times 0.008 (415,125)}$$

$L = 1,56 \text{ m}$

NB :  $142,06^\circ\text{C} = 415,125\text{kelvin}$

### IV-3. Résistance des matériaux :

L'objet de cette partie concerne l'étude de la résistance des pièces sollicitées mécaniquement.

#### IV-3-1. Les poids des pièces constituant le moule :

Le poids est déterminé par la relation suivante :

$P = \rho \cdot v$

Avec :  $\rho$  : masse volumique

$V$  : volume [dm<sup>3</sup>]

Les pièces	Les matières	Volume (dm <sup>3</sup> )	$\rho$ (daN/dm <sup>3</sup> )	Les poids (daN)
Plaque éjectrice	C45	0.93	7.8	7.25
Contre plaque éjectrice	C45	0.95	7.8	7.41
Semelle fixe	C45	2.65	7.8	20.67
Porte empreinte fixe	42CrMo4	3.55	7.8	27.69
Porte empreinte mobile	42CrMo4	3.17	7.8	24.73
Empreinte mobile	36NiCrMo16	0.64	7.8	5
Empreinte fixe	36NiCrMo16	0.95	7.8	7.41
Les tasseaux	C45	1.5	7.8	11.7

**Tableau. IV-9:** poids des pièces constituant le moule.

### IV-3-2. Résistance des éléments constituant le moule au matage dû à la force de fermeture du moule :

La force de fermeture d'une presse 75 tonnes égales :

$$(75000 \text{ Kg} = 750000 \text{ N})$$

$$1 \text{ Kg.f} \longrightarrow 10 \text{ N}$$

Donc la force de fermeture du moule est de  $F = 750000 \text{ N}$ .

**Condition de résistance au matage :**

$$\sigma \leq [\sigma]$$

$$\frac{F}{S} \leq Rpe \quad , \text{ avec } Rpe = \frac{Re}{S'}$$

$Re = 370 \text{ N/mm}^2$  (pour les aciers non alliés).

$S' = 2$  (coefficient de sécurité).

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

$Rpe = 185 \text{ N/mm}^2$
----------------------------

$S = e \cdot l$  (Surface matée).

$e$  : épaisseur de l'élément.

$l$  : longueur de l'élément

#### a- PARTIE MOBILE :

- **Porte empreinte mobile :**

$$L = 396 \text{ mm} ; e = 60 \text{ mm} ; S = 23760 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{750000}{23760} = 31.56 \text{ N/mm}^2 , \sigma = 31.56 \text{ N/mm}^2 \leq Rpe$$

La condition est vérifiée.

- **Semelle mobile :**

$$L = 396 \text{ mm}, e = 30 \text{ mm}; S = 11880 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{750000}{11880} = 63.13N/mm^2, \sigma = 63.13N/mm^2 \leq Rpe$$

La condition est vérifiée.

- **Les tasseaux :**

L=196 mm, e = 45 mm, S = 8820 mm<sup>2</sup>

$$\sigma = \frac{750000}{8820} = 85.03N/mm^2, \sigma = 85.03N/mm^2 \leq Rpe$$

La condition vérifiée

**b-PARTIE FIXE :**

- **Porte empreinte fixe :**

L =396 mm, e =70 mm, S =27720 mm<sup>2</sup>

$$\sigma = \frac{750000}{27720} = 27.05N/mm^2, \sigma = 27.05N/mm^2 \leq Rpe$$

La condition est vérifiée.

- **Semelle fixe :**

L =396mm, e =30 mm, S =11880 mm<sup>2</sup>

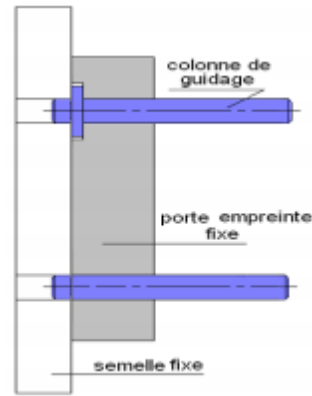
$$\sigma = \frac{750000}{11880} = 63.13N/mm^2, \sigma = 63.13N/mm^2 \leq Rpe$$

La condition est vérifiée.

Tous les éléments constituant le moule résistent au matage dû à la force de fermeture du moule.

**IV-3-3. Resistance des colonnes de guidage au cisaillement :**

Les colonnes de guidage sont soumises à l'effort de cisaillement dû au poids de la partie fixe lors de la manutention seulement.



**Fig. IV-8:** colonnes de guidage

La condition de résistance s'écrit :

$$\tau = \frac{F}{S.n} \leq [\tau]_{Cis}$$

Avec :  $[\tau] = \frac{\sigma_e}{k} \times 0.8$

AN :  $\tau = \frac{1300}{2} \times 0.8 = 520 N/mm^2$

$$[\tau] = 520 N/mm^2$$

Avec :

S : Section de la colonne ;  $(S = \frac{\pi.d^2}{4})$

D : diamètre de la colonne de  $\varnothing 22mm$  ;

n : Nombre de colonnes cisailées (n= 4)

$\sigma_e$  : contrainte de la limite élastique ( $\sigma_e=1300N/mm^2$ )

K: coefficient de sécurité (K= 2).

F : poids de la partie mobile ; F=414,3N

$$S = \frac{\pi.22^2}{4} = 379.94 mm^2$$

AN :

$$\tau = \frac{414,3}{4 \times 379.94} = 0.27 N/mm^2 \leq [\tau]_{Cis}$$

La condition est vérifiée.

**IV-3-4. Vérification des colonnes de rappel de la batterie d'éjection au cisaillement :**

Les colonnes de rappel des plaques éjectrice sont soumises au cisaillement causé par le poids P de la batterie d'éjection.

La condition de résistance :

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

Avec:

F : poids de la batterie éjectrice; F= 146.6 N

n : le nombre de sections cisailées ; n=4

d : diamètre de la colonne ; d=20mm

S : section cisailée.

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

$$[\tau]_{cis} = \frac{\sigma_e}{k} \cdot 0,8 = \frac{335}{2} \cdot 0,8 = 134N/mm^2$$

$$[\tau] = \frac{F}{n.S} = \frac{146,6}{3,14 \times 20^2} = 0,12N/mm^2$$

$$[\tau] = 0.12N/mm^2 \leq [\tau]_{cis}$$

**IV-3-5. Résistance des 10 vis CHC au cisaillement dû au poids de l'empreinte fixe et porte empreinte fixe :**

- **Condition de résistance au cisaillement :**

$$\tau \leq [\tau]_{cis}$$

$$Rpg = \frac{Reg}{2S'}$$

Avec :

Résistance élastique au cisaillement :  $Reg$  [Mpa]

Résistance pratique au cisaillement :  $Rpg$  [Mpa]

Facteur de sécurité : S'

Section d'une vis : Sv1

$$\tau = \frac{P1}{Sv} \leq Rpg \quad , \text{ avec } Rpg = \frac{Reg}{2S'}$$

Avec : S' =2

Sv=10 x Sv1 (section de 10 vis CHc)

$$Sv1 = \frac{\pi \times (dv)^2}{4}$$

$$\frac{4.P1}{10.\pi.(dv)^2} \leq \frac{Reg}{2.S'}$$

On aura :

$$P1 \leq \frac{10 \times Reg \times \pi \times (dv)^2}{8.S'}$$

AN :

$$P1 \leq \frac{10 \times 335 \times 3.14 \times 16^2}{16} = 168304N$$

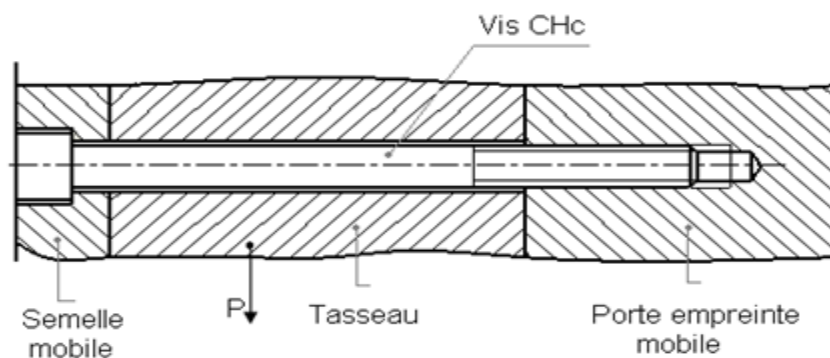
$P_1=168304$  N= $16830.4$ daN (charge totale supportée par les 10 vis).

Les charges de porte empreinte fixe et l'empreinte fixe sont respectivement de 276.9N et 74.1N,  $P = 276.9+74.1=351$ N.

Le poids P est très petit par rapport à  $P_1$  donc les 10 vis CHc de diamètre  $d=16$ mm résistent largement à la charge de poids P et cela sans prendre en considération la buse et les quatre colonnes de guidage. Donc le dimensionnement de ces dernières et la buse ne dépend que de notre choix en tenant compte de la normalisation.

#### IV-3-6. Calcul du diamètre des vis CHc des tasseaux et porte empreinte mobile :

Les 6 vis de diamètre  $d=16$  mm, sont soumises à la charge F du poids de l'ensemble des pièces suivantes : Tasseaux, porte empreinte mobile, empreinte mobile, la plaque et la contre plaque éjectrice.



**Fig. IV-9** : schéma semelle mobile, tasseau et porte empreinte mobile.

**Condition de résistance au cisaillement des 6 vis :**

$$\tau = \frac{F}{S} \leq Rpg \rightarrow Rpg = \frac{Reg}{2 \cdot S'}$$

Les 6 vis sont en acier non allié C35,  $Re(v) = 335 \text{ N/m}^2$ .

$$Rpg = \frac{Reg}{2 \cdot S'} = \frac{335}{4} = 83.75 \text{ N/mm}^2$$

Avec :  $F = 7.25 + 7.41 + 24.73 + 5 + 11.7 = 56.09 \text{ daN} = 560.9 \text{ N}$

$$\tau = \frac{4 \times F}{6 \times \pi \times (dv)^2} = \frac{4 \times 560.9}{6 \times \pi \times (16)^2} = 0.46 \text{ N/mm}^2$$

$\tau < Rpg$  ; Donc les (06) vis résistent largement au cisaillement.

**IV-3-7. Résistance des goupilles de centrage au cisaillement :**

$$\text{Condition de résistance : } \tau = \frac{P}{SNn} \leq Rpg$$

$$Rpg = \frac{Re}{2 \cdot S'} = \frac{1275}{4} = 318.75 \text{ N/mm}^2$$

n : nombre de sections cisailées = 1.

N : Nombre de goupilles = 4.

$$S : \text{surface d'une goupille} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3.144 \times 8^2}{4} = 50.24 \text{ mm}^2$$

P : poids de l'empreinte, porte empreinte, tasseaux

$$P = 24.73 + 5 + 11.7 = 41.43 \text{ daN} = 414.3 \text{ N}$$

$$\tau = \frac{414.3}{4 \times 50.24 \times 1} \leq 318.75 \Rightarrow 2.06 \leq 318.75$$

**IV-3-8. Vérification des vis de fixation utilisées sur chacune des semelles du moule :**

Les plateaux de la machine ont des trous taraudés (M18). Pour recevoir les éléments de fixation du moule dans le but d'établir de bonnes conditions de travail, il faut s'assurer que le moule est bien fixé sur les deux plateaux de la machine.

Pour ce faire, un calcul de résistance est recommandé.

Les vis utilisées ont un diamètre de 18mm, en C35 de limite élastique  $Re = 335 \text{ N/mm}^2$

Condition de résistance :

$$\tau = \frac{F}{n \times S} \leq [\tau]_{Cis}$$

Avec :

n : nombre de vis ; (n =6).

d : diamètre de la vis; d=18mm

F : poids de la semelle

$$S : \text{Section de la vis, } (S = \frac{\pi d^2}{4}) \Rightarrow S = \frac{3.14 \times 18^2}{4} = 254.34 \text{ mm}^2$$

- **Semelle fixe :** F=206.7 N

$$\tau = \frac{206.7}{6 \times 254.3} = 0.13 \text{ N/mm}^2$$

La condition est vérifiée.

- **Semelle mobile :** F=213 N

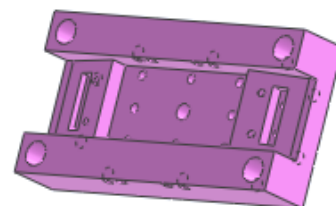
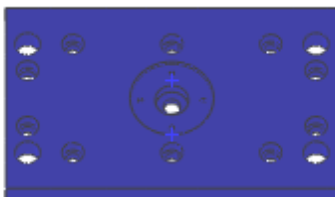
$$\tau = \frac{213}{6 \times 254.3} = 0.14 \text{ N/mm}^2$$

La condition est vérifiée.

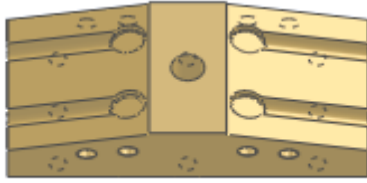
#### IV- 4.Conclusion :

Cette partie nous a permis de choisir la presse à utiliser et aussi de vérifier le calcul du dimensionnement du moule, le calcul du circuit de refroidissement et la vérification à la résistance des différents éléments agissant lors de l'ouverture et de fermeture du moule. Elle nous a permis aussi, de sélectionner le mode de refroidissement et le choix des aciers et d'autre part, passer avec assurance à la phase de réalisation des plans d'exécution à l'atelier d'usinage.

## Dessins de conception



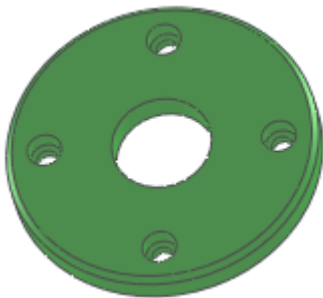
Semelle fixe



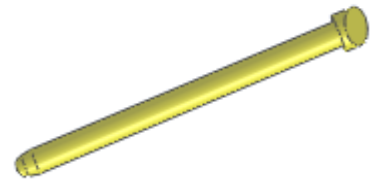
porte empreinte fixe



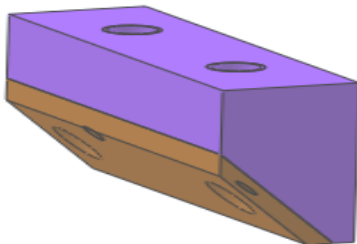
Empreinte fixe



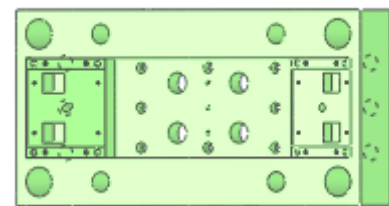
Buse d'injection



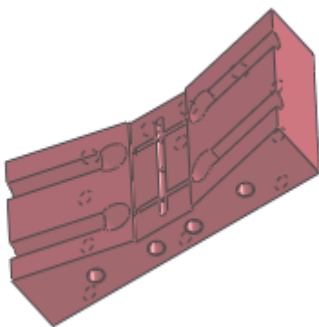
Bague de centrage



Doigt de démoulage



Sabot

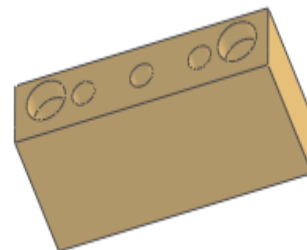


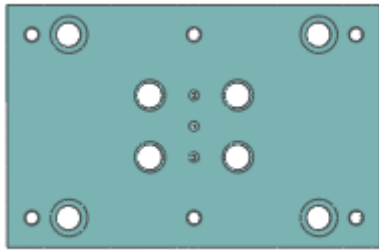
Porte empreinte mobile

Empreinte mobile

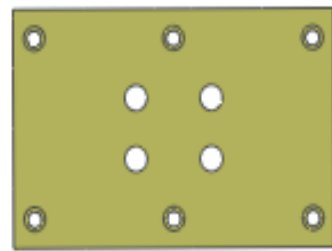


Tasseau





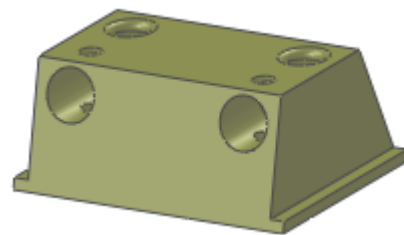
Plaque éjectrice



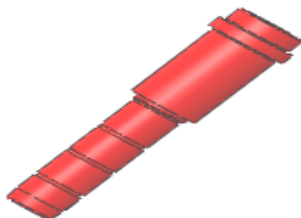
Contre plaque éjectrice



Colonne de rappel



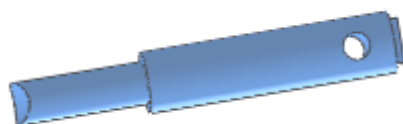
Porte tiroir



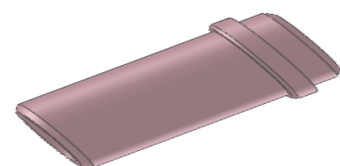
Colonne de guidage



Joint d'étanchéité



Tiroir



Bague à collerette



Ejecteur tubulaire



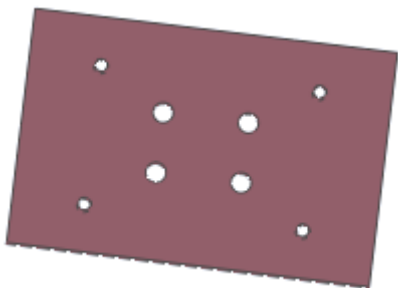
Glissière



Insert



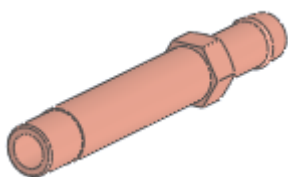
Chicane



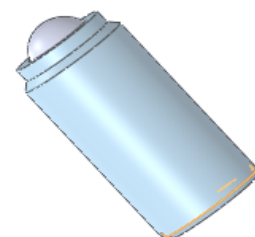
Plaque de fixation



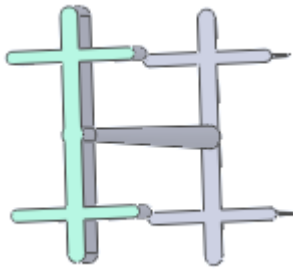
éjecteur arrache carotte



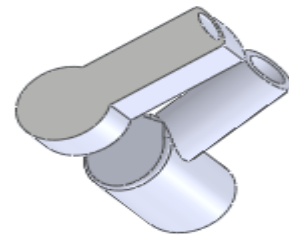
Tétine



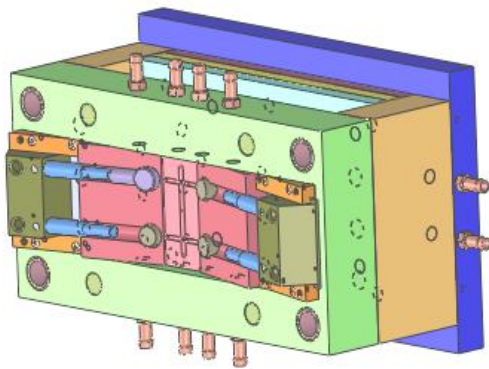
vis à bille



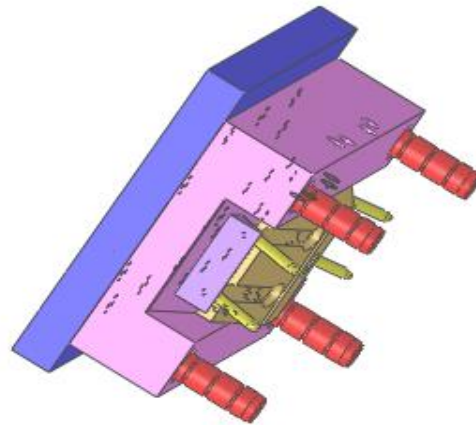
Surface projetée de la carotte



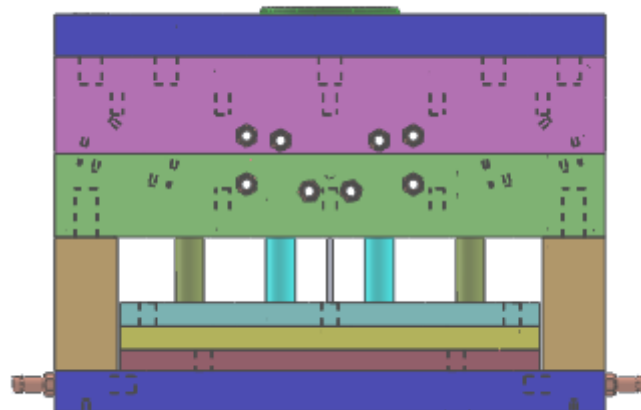
surface projetée de la pièce



Partie mobile



Partie fixe



Le moule



## **CONCLUSION GENERALE**

La présente étude nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine de la plasturgie et de comprendre la raison pour laquelle les matières plastiques occupent une place importante dans les différents secteurs industriels.

Grâce à leurs propriétés mécaniques et physiques remarquables, les polymères ont un impact sur leurs utilisations et ce dans tous les domaines. De ce fait, les polymères sont entrés dans le monde de l'industrie par la grande porte et ont fait leurs preuves dans les disciplines les plus nobles : Aéronautique, Médical, Automobile, Electronique, Ménage...etc.

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

Nous avons essayé au cours de cette étude de donner le plus d'information sur ces matériaux, leurs structures, leurs caractéristiques ainsi que leurs comportement afin d'approfondir l'étude sur le procédé d'injection des polymères.

La réalisation du moule à injection qui a fait l'objet de notre étude est basé sur une conception que nous souhaitons être la plus simple et la plus adéquate.

L'élaboration de ce projet nous a permis de nous initier et de nous familiariser avec des logiciels de CAO tel que SolidWorks. L'utilisation de ce logiciel a rendu aisée la conception de notre pièce, la déduction de ses empreintes et la conception des autres pièces du moule puis lui faire un montage complet. En fin, il nous a permis de réaliser une animation en 3 D qui montre l'assemblage des différents éléments du moule. Cela rend notre conception claire malgré sa complexité.

Par ailleurs, ce projet nous a permis d'approcher la réalité du monde du travail dans les grandes entreprises, et nous a donné l'occasion de toucher à des domaines assez vastes de la construction mécanique.

Au terme de ce travail, nous estimons avoir apporté une solution simple et économique au problème posé par l'ENIEM en tenant compte des moyens et possibilités dont dispose l'entreprise, c'est sans faire appel ni à l'extérieur ni à une quelconque sous-traitance.

Il est évident en conséquence, que cette conception reste ouverte à toute amélioration.



# Bibliographiques

[1] : Dr Laurent Duranel / Les plastiques: défis et opportunités / 30 mars 2011

[2] : Edition : Tec & Doc, Par : Jean BOST (I ET II).

[3] : Claude CORBET : Mémotech matières plastiques, Edition CASTEILLA, 2001.

[4] : Edition : J-P Trotignon, J-Verdu, A-Dabraczynski, M-Pi peraud AFNOR et NATHAN

[5] : K. LATTARI : Etude, conception et réalisation d'un moule d'injection plastique / Mémoire D'ingénieur / Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, Promotion 2010.

[6] : André CHEVALIER, Guide du dessinateur industriel, Edition HACHETTE, 2004

[7] : 2ème Edition DUNOD/ Marc Carrega et coll.

[8] : Matières plastiques structures, propriétés, mise en œuvre et normalisation :  
Edition Nathan, 2006 J-P TROTIGNON, J VERDU, A DOBRACZYNSKY, M PIPERAUD

[9] : F CATTEAU, A FOURAY, C JACQUEROD, B MARANDET, Les moules de plasturgie en Aluminium, Edition CETIM, 2003.

[10]: ANA MARIA BIANCHI, Transfer thermique, ISBN 2-88074-496-2, 2004

[11]: Site internet: [industrie@ravourdin.fr](mailto:industrie@ravourdin.fr)

[12]: sites internet :

- [www.federplast.be](http://www.federplast.be)
- [www.plasticseurope.org](http://www.plasticseurope.org)

[13] : Initiation au transfert de chaleur.  
Edition : SACCADURA

[14] : Edition : Linher Jérôme.

[15] : Documentation technique ENIEM.

[16] : Jacques. Padet, échangeurs thermiques. Méthodes globale de calcul.

[17] : Philippe Roux version 2006.

