

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

*Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique*

*Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou*

*Faculté de Génie de la construction  
Département de génie mécanique*



# Mémoire

**DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION  
DU DIPLOME DE MASTER EN GENIE MECANIQUE  
Option : Construction Mécanique**

**Thème**

*Etude et conception d'un nouveau produit  
- Application l'injection plastique-*

**Promoteur:**

**Mr: F.ASMA**

**Réalisé par :**

**Mr : HOCINE Khaled**

**Co promotrice:**

**Melle: F.HADDAD**

**Mr : CHALAL Sofiane**

**2012/2013**

# SOMMAIRE

## SOMMAIRE

Introduction générale .....	1
Présentation de sujet.....	2
Présentation de l'organisme d'accueil.....	3

### Chapitre I : Design et nouveau produit

I-1 Design .....	11
I-1-1 Généralité .....	11
I-1-2 Définition .....	11
I-1-3 Champs d'application de design .....	12
I-1-4 Profession designer industriel : son rôle .....	13
I-1-5 Typologie des pratiques professionnelles.....	14
I-1-5-a Le designer en entreprise.....	14
I-1-5-b Le designer industriel consultant.....	14
I-1-5-c Le designer-producteur.....	14
I-1-6 Facteurs d'influence.....	14
I-1-7 Quelques composants du design .....	15
I-1-7-a Le design comme langage commun .....	15
I-1-7-b Comment associer noms, formes, couleurs, matières ?.....	16
I-1-8 Les codes et tendances esthétiques.....	16
I-1-8 -a Un regard différent sur le produit.....	16
I-1-8 -b Comment prendre en compte signes, codes et usages .....	17
I-2 Nouveaux produits .....	18
I-2-1 Définition :.....	18
I-2-2 Améliorer le produit.....	19
I-2-2-a Les critères d'appréciation .....	19
I-2-2-b Des sources d'information facilement accessibles.....	19

I-2-2-c Analyser les cycles de renouvellement des produits.....	20
I-2-2-e Les produits ont des âges.....	20
I-2-2-f Le renouvellement des produits soutient le chiffre d'affaires et défend les parts de marché.....	20
I-2-3 Les sources d'innovation issue.....	21
I-2-3-a L'innovation.....	21
I-2-3-b Les sources de l'innovation .....	21
I-2-3-c Les stratégies d'innovation.....	22
I-2-4 Les éléments de distinction des produits .....	23

## **Chapitre II : Aspect général des matières plastiques**

II-1 Introduction.....	26
II-2 Définition des matières plastiques.....	27
II-3 Structure de base des matières plastiques.....	28
II-3-1 Composantes.....	28
II-3-2 Composition d'une molécule .....	28
II-4 Les différents procédés de polymérisation .....	28
II-4-1 La polyaddition .....	28
II-4-2 La polycondensation .....	29
II-5 La microstructure des polymères .....	29
II-5-1 Les polymères amorphes .....	29
II-5-2 Les polymères semi-cristallins .....	30
II-6 Classification des plastiques .....	30
II-6-1 Les thermoplastiques (TP) .....	30
II-6-2 Les thermodurcissables (TD) .....	31
II-6-3 Les élastomères .....	31
II-7 Schéma récapitulatif des matières de base et des principaux Intermédiaires.....	32
II-8 Les types de polymères .....	33

II-8-1	Les homopolymères .....	33
II-8-1-1	Types d'homopolymères .....	33
II-8-2	Les copolymères.....	33
II-8-2-1	Types de copolymères .....	33
II-9	Les propriétés et comportement des matières plastiques.....	34
II-9-1	Les propriétés mécaniques .....	34
II-9-1-1	Résistance à la traction.....	34
II-9-1-2	Résistance à la compression.....	34
II-9-1-3	Elasticité .....	34
II-9-1-4	Allongement .....	34
II-9-2	Les propriétés chimiques .....	34
II-9-2-1	Sensibilité aux agents extérieurs.....	34
II-9-2-2	Toxicité.....	34
II-9-2-3	Humidité .....	34
II-9-3	Les propriétés thermique et physique.....	35
II-9-3-1	Inflammabilité.....	35
II-9-3-2	Résistance au feu .....	35
II-9-3-3	Résistance thermique .....	35
II-9-3-4	Isolation thermique .....	35
II-9-3-5	Légèreté .....	35
II-9-3-6	Transparence .....	35
II-9-3-7	Esthétique .....	35
II-9-3-8	Entretien.....	35
II-9-3-9	Malléabilité .....	35
II-10	Principales matières plastiques propriétés et utilisation.....	36
II-11	Caractéristiques du Polystyrène(PS).....	37
II-11-1	Synthèse du polystyrène.....	37
II-11-2	Choix du matériau .....	38
II-11-2-1	Son mode de transformation.....	38
II-11-2-2	Son usage final .....	38

II-11-3	Propriétés du polystyrène cristal.....	38
II-11-4	Caractéristiques technologiques du PS cristal.....	39
II-11-5	Conditions de mise en œuvre des PS .....	40
II-11-6	Avantages et inconvénients Polystyrène (PS) .....	40
II-11-7	Applications .....	40
II-12	Conclusion .....	40

## **Chapitre III : Procèdes de mise en œuvre des matières plastique**

III-1	Introduction.....	42
III-2	La mise en œuvre des thermoplastiques.....	43
III-2 -1	L'extrusion.....	44
III-2 -2	L'extrusion soufflage.....	45
III-2 -3	L'extrusion gonflage .....	48
III-2 -4	L'injection.....	49
III-2 -5	L'injection soufflage .....	51
III-2 -6	Le calandrage.....	52
III-2 -7	Le rotomoulage .....	54
III-2 -8	L'enduction .....	55
III-2 -9	Le thermoformage .....	56
III-3	La mise en œuvre des thermodurcissables.....	58
III-3-1	La coulée .....	58
III-3-2	L'injection .....	60
III-4	La mise en œuvre des matériaux composites.....	60
III-4 -1	La Compression .....	60
III-4 -2	L'enroulement filamentaire .....	61
III-4 -3	Mise en Œuvre manuelle / Moulage au contact .....	62
III-4 -4	La pultrusion .....	63
III-4 -5	Frittage sélectif par laser .....	66
III-4 -6	La stéréo lithographie .....	67

III-4 -7 Impression 3D .....	69
III-5 Conclusion .....	70

## **Chapitre III : Conception de moule**

IV-1 Introduction.....	72
IV-2 Constituant d'un moule .....	72
IV-2-1 Partie mobile.....	72
IV-2-2 Partie fixe .....	72
IV-3 Le dispositif d'injection .....	73
IV-3-1 La presse à injection .....	73
IV-3-2 Le moule.....	73
IV-3-3 Dispositif du mouvement du moule.....	73
IV-4 Choix du moule.....	74
IV-4-1 Dimensionnement et paramètres du moule .....	74
IV-4-2 Architecture du moule .....	74
IV-4-2-1 Moule à deux plaques (injection directe).....	74
IV-4-2-2 Moule à trois plaques .....	75
IV-4-2-3 Moule à tiroirs.....	75
IV-4-2-4 Moule à coquilles.....	76
IV-4-2-5 Moule à canaux chauffants.....	77
IV-4-3 Alimentation du moule.....	77
IV-4-3-1 Description du système d'alimentation.....	78
IV-4-3-2 Rôle du système d'alimentation.....	78
IV-4-3-3 Composition de système d'alimentation.....	78
IV-4-3-4 Les différents types d'alimentation .....	79
IV-4-4 Différents type des canaux d'alimentation.....	83
IV-4-4-1 Canaux d'alimentation standard.....	83
IV-4-4-2 Alimentation sans déchets (canaux chauds).....	84
IV-5 Systèmes de refroidissement .....	85
IV-5-1 Définition .....	85

IV-5-2	Circuit de refroidissement .....	85
IV-5-3	Description du circuit de refroidissement .....	85
IV-5-4	Le temps de cycle .....	86
IV-5-5	Le temps de refroidissement .....	86
IV-6	Dégazage du moule .....	86
IV-7	Choix du plan de joint .....	86
IV-8	L'éjection des pièces.....	87
IV-8-1	Types d'éjection .....	87
IV-8-1-1	Ejection coté bloc mobile.....	87
IV-8-1-2	Ejection de contre-dépouille.....	87
IV-8-1-3	Ejection par dévêt sage.....	87
IV-8-1-4	Ejection coté bloc axe.....	87
IV-8-1-5	Ejection annulaire.....	87
IV-8-2	Choix des éjecteurs.....	87
IV-8-2-1	Ejecteur à latéral .....	87
IV-8-2-2	Ejecteur à lame .....	88
IV-8-2-3	Ejecteur tubulaire.....	88
IV-8-2-4	Ejection des carottes .....	88
IV-9	Le retrait.....	89
IV-10	Matériaux utilisés pour la fabrication des moules.....	89
IV-10-1	Généralités.....	89
IV-10-2	Choix des matériaux.....	90
IV-11	Conclusion.....	91

## **Chapitre V : Problèmes de moulage**

V-1	Introduction.....	93
V-2	Méthodes d'analyse des défauts.....	94
V-3	Incorrections des défauts de moulage par injection des polymères.....	97
V-4	Conclusion.....	97

## Chapitre VI : calcul et réalisation

<b>VI-1 Modalisation de la Pièce.....</b>	<b>99</b>
<b>VI-1-1 les conditions à respecter.....</b>	<b>99</b>
<b>VI-1 -2 le nombre de surface de la pièce .....</b>	<b>100</b>
<b>VI-1 -3 analyse de la dépouille.....</b>	<b>101</b>
<b>VI-1 -4 la circulation d'aire dans la pièce.....</b>	<b>102</b>
<b>VI-1-5 la matière de la pièce.....</b>	<b>103</b>
<b>VI-2 ETUDE PAR DFMXpress (application de pièces SolidWorks).....</b>	<b>105</b>
<b>VI-2 -1 Epaisseur minimale de paroi .....</b>	<b>105</b>
<b>VI-2-2 Epaisseur maximale de paroi.....</b>	<b>105</b>
<b>VI-2 -3 Résultats de l'étude Analyse Epaisseur.....</b>	<b>106</b>
<b>VI-3 Choix du procédé de fabrication d'une pièce.....</b>	<b>106</b>
<b>VI-4 Le choix de la presse d'injection.....</b>	<b>108</b>
<b>VI-4 -1 La capacité d'injection.....</b>	<b>108</b>
<b>VI-4 -1-a La masse de la pièce .....</b>	<b>108</b>
<b>VI-4 -1-b La masse de la carotte .....</b>	<b>109</b>
<b>VI-4 -1-c Dimensionnement du collier chauffant .....</b>	<b>109</b>
<b>VI-4 -1- d La masse de la moulée (Grappe) .....</b>	<b>111</b>
<b>VI-4 -1-e Capacité d'injection des presses .....</b>	<b>111</b>
<b>VI-4 -2 Force de fermeture du moule.....</b>	<b>112</b>
<b>VI-4 -2-a Force de verrouillage (tonnes /cm<sup>2</sup>).....</b>	<b>112</b>
<b>VI-4 -2-b La pression intérieure moyenne.....</b>	<b>113</b>
<b>VI-4 -2-c La force de fermeture.....</b>	<b>113</b>
<b>VI-4 -3 La puissance de plastification (C).....</b>	<b>114</b>
<b>VI-4 -3 -a Calcul du temps de cycle.....</b>	<b>114</b>
<b>VI-4 -3 -b Calcul La puissance de plastification .....</b>	<b>120</b>
<b>VI-5 D'autres conditions à vérifier.....</b>	<b>121</b>
<b>VI-5 -1 La condition de la course maximale de foulage .....</b>	<b>121</b>
<b>VI-5 -2 Dimensions minimales du moule :.....</b>	<b>122</b>

VI-5 -3 La condition de la distance entre colonnes .....	123
VI-5 -4 Vérification des paramètres du moule et de la presse .....	123
VI-5 -5 La vitesse de rotation maximale de la vis .....	124
VI-6 Dimensionnement des circuits de refroidissement.....	125
VI-6-1 Calcul de la quantité de chaleur à extraire de la pièce.....	125
VI-6-2 Calcul de la longueur du système de refroidissement.....	126
VI-6-2-1 Calcul des paramètres de l'équation .....	127
a) Calcul de la température de sortie de l'eau Tse.....	127
b) Calcul de Ke .....	129
c) Calcul de K <sub>p</sub> .....	130
d) Calcul de $\Delta\theta_e$ .....	131
e) Calcul de $\Delta\theta_p$ .....	131
VI-7 Résistance des matériaux .....	132
VI-7-1 Poids des pièces constituant le moule .....	132
VI-7-2 Résistance des éléments du moule au matage dû à la force de fermeture.....	133
VI-7-2-1 Condition de résistance au matage .....	133
VI-7-2-2 Résistance des plaques de la partie fixe.....	134
a) Semelle fixe .....	134
b) Porte empreinte fixe.....	134
VI-7-2-3 Résistance des plaques de la partie mobile .....	134
a) Semelle mobile.....	134
b) Porte empreinte mobile .....	135
c) Les tasseaux.....	135
VI-7-3 Résistance des colonnes de guidage au cisaillement .....	135
VI-7-4 Résistance des 6 vis CHC au cisaillement dû au poids de l'empreinte fixe et de porte empreint fixe .....	136
VI-7-5 Vérification des vis de fixation de la semelle mobile avec les tasseaux au cisaillement .....	137
VI-7-6 Vérification des vis de fixation des tasseaux et le porte empreinte mobile au cisaillement .....	138

<b>VI-7-7 Vérification des vis de fixation utilisées sur chacune des</b>	
<b>semelles du moule .....</b>	<b>139</b>
<b>VI-8 Choix des ressorts .....</b>	<b>140</b>
<b>VI-9 Analyse technico-économique .....</b>	<b>141</b>
<b>VI-10 Conclusion.....</b>	<b>144</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>145</b>
<b>Dessin de conception</b>	
<b>Bibliographie</b>	
<b>Annexes</b>	

# Liste des figures

## **✗ Présentation du sujet :**

<u>Figure</u>	<u>Titre</u>	<u>Page</u>
<i>Fig-1</i>	<i>Schéma du réfrigérateur</i>	<i>2</i>

## **✗ Présentation de l'organisme d'accueil :**

<u>Figure</u>	<u>Titre</u>	<u>Page</u>
<i>Fig-1</i>	<i>Organigramme de l'entreprise ENIEM</i>	<i>6</i>
<i>Fig-2</i>	<i>Organigramme de l'unité froid</i>	<i>7</i>

## **✗ Chapitre I : Design et nouveau produit**

<u>Figure</u>	<u>Titre</u>	<u>Page</u>
<i>Fig-I-1</i>	<i>cycle de vie de produit</i>	<i>21</i>

## **✗ Chapitre II : Aspect Général des Matières Plastiques**

<u>Figure</u>	<u>Titre</u>	<u>Page</u>
<i>Fig-II-1</i>	<i>Monomère</i>	<i>27</i>
<i>Fig-II-2</i>	<i>Macromolécule</i>	<i>27</i>
<i>Fig-II-3</i>	<i>La polyaddition</i>	<i>29</i>
<i>Fig-II-4</i>	<i>La polycondensation</i>	<i>29</i>
<i>Fig-II-5</i>	<i>Schéma récapitulatif des matières de base et des principaux intermédiaires</i>	<i>32</i>

**✘ Chapitre III : Les procédés de mise en œuvre des matières plastiques**

<b><u>Figure</u></b>	<b><u>Titre</u></b>	<b><u>Page</u></b>
<b><i>Fig-III-1</i></b>	<i>schéma de mise en œuvre du thermoplastique</i>	<b>43</b>
<b><i>Fig-III-2</i></b>	<i>Principe de mise en œuvre du thermoplastique</i>	<b>43</b>
<b><i>Fig-III-3</i></b>	<i>Procédé de mise en œuvre par extrusion</i>	<b>44</b>
<b><i>Fig-III-4</i></b>	<i>Schéma d'une Extrudeuse</i>	<b>45</b>
<b><i>Fig-III-5</i></b>	<i>Procédé d'extrusions multicouche</i>	<b>46</b>
<b><i>Fig-III-6</i></b>	<i>Procédé d'extrusion soufflage.</i>	<b>47</b>
<b><i>Fig-III-7</i></b>	<i>Schéma de principe du moulage par extrusion gonflage</i>	<b>48</b>
<b><i>Fig-III-8</i></b>	<i>Procédé de moulage par injection</i>	<b>50</b>
<b><i>Fig-III-9</i></b>	<i>Schéma de principe d'une vis d'injection</i>	<b>51</b>
<b><i>Fig-III-10</i></b>	<i>Injection soufflage</i>	<b>52</b>
<b><i>Fig-III-11</i></b>	<i>Principe de calandrage</i>	<b>52</b>
<b><i>Fig-III-12</i></b>	<i>Vue générale d'une ligne de calandrage</i>	<b>53</b>
<b><i>Fig-III-13</i></b>	<i>Moule + poudre de polymère avant fermeture</i>	<b>54</b>
<b><i>Fig-III-14</i></b>	<i>Citernes rotomoulée</i>	<b>54</b>
<b><i>Fig-III-15</i></b>	<i>Procédé de Le rotomoulage</i>	<b>55</b>
<b><i>Fig-III-16</i></b>	<i>procédé de la technique d'enduction</i>	<b>55</b>
<b><i>Fig-III-17</i></b>	<i>Des produit obtenus par enduction</i>	<b>56</b>
<b><i>Fig-III-18</i></b>	<i>procédé de moulage par thermoformage.</i>	<b>56</b>
<b><i>Fig-III-19</i></b>	<i>des produits obtenus par différents procédés de mise en œuvre</i>	<b>57</b>
<b><i>Fig-III-20</i></b>	<i>schéma de mise en œuvre du thermoplastique</i>	<b>58</b>
<b><i>Fig-III-21</i></b>	<i>technique de la coulée</i>	<b>58</b>
<b><i>Fig-III-22</i></b>	<i>procédé de moulage par la compression.</i>	<b>60</b>
<b><i>Fig-III-23</i></b>	<i>Schéma du procédé (enroulement filamentaire d'un tube creux)</i>	<b>61</b>
<b><i>Fig-III-24</i></b>	<i>Schéma du procédé de moulage au contact</i>	<b>62</b>
<b><i>Fig-III-25</i></b>	<i>profilés obtenus par pultrusion</i>	<b>63</b>
<b><i>Fig-III-26</i></b>	<i>Schéma du procédé de pultrusion</i>	<b>64</b>
<b><i>Fig-III-27</i></b>	<i>les différents renforts constituent un profilé multicouche</i>	<b>64</b>
<b><i>Fig-III-28</i></b>	<i>Schéma de comparaison (matériau composite pultrudé /autres matériaux)</i>	<b>66</b>
<b><i>Fig-III-29</i></b>	<i>Schéma du procédé de Frittage sélectif par laser.</i>	<b>66</b>
<b><i>Fig-III-30</i></b>	<i>Pièces en PA et détail pour la finesse.</i>	<b>67</b>

<b>Fig-III-31</b>	<i>Schéma du procédé de la stéréolithographie</i>	<b>68</b>
<b>Fig-III-32</b>	<i>Pièce (obtenue par stéréolithographie) sur un support</i>	<b>69</b>
<b>Fig-III-33</b>	<i>Schéma du procédé de l'impression 3D</i>	<b>69</b>

## **✘ Chapitre IV : Conception du moule**

<b><u>Figure</u></b>	<b><u>Titre</u></b>	<b><u>Page</u></b>
<b>Fig-IV-1</b>	<i>Constituant d'un moule</i>	<b>72</b>
<b>Fig-IV-2</b>	<i>Exemple de moule à deux plaques (moule standard)</i>	<b>75</b>
<b>Fig-IV-3</b>	<i>Moule à trois plaques</i>	<b>75</b>
<b>Fig-IV-4</b>	<i>Moule à tiroirs</i>	<b>76</b>
<b>Fig-IV-5</b>	<i>Moule à coquille</i>	<b>76</b>
<b>Fig-IV-6</b>	<i>Moule à canaux chauffants</i>	<b>77</b>
<b>Fig-IV-7</b>	<i>Système d'alimentation</i>	<b>77</b>
<b>Fig-IV-8</b>	<i>La buse</i>	<b>78</b>
<b>Fig-IV-9</b>	<i>Carotte normale</i>	<b>79</b>
<b>Fig-IV-10</b>	<i>Injection en nappe</i>	<b>80</b>
<b>Fig-IV-11</b>	<i>Injection éventail</i>	<b>80</b>
<b>Fig-IV-12</b>	<i>Injection annulaire</i>	<b>81</b>
<b>Fig-IV-13</b>	<i>Injection en tunnel</i>	<b>81</b>
<b>Fig-IV-14</b>	<i>Injection capillaire</i>	<b>82</b>
<b>Fig-IV-15</b>	<i>Injection à plusieurs étages</i>	<b>82</b>
<b>Fig-IV-16</b>	<i>Canaux à section circulaire</i>	<b>83</b>
<b>Fig-IV-17</b>	<i>Canaux à section trapézoïdale</i>	<b>83</b>
<b>Fig-IV-18</b>	<i>Moule à canaux chauffants</i>	<b>84</b>
<b>Fig-IV-19</b>	<i>Circuit de refroidissement simple</i>	<b>85</b>
<b>Fig-IV-20</b>	<i>Ejecteur à lame</i>	<b>88</b>
<b>Fig-IV-21</b>	<i>Ejecteur tubulaire</i>	<b>88</b>

## **✘ Chapitre VI : Calcul et réalisation**

<b><u>Figure</u></b>	<b><u>Titre</u></b>	<b><u>Page</u></b>
<b>Fig-VI-1</b>	<i>Quelques cotes fonctionnelles mesurées par outil mesure</i>	<b>99</b>
<b>Fig-VI-2</b>	<i>Localisation des cotes d'encombrement</i>	<b>100</b>
<b>Fig-VI-3</b>	<i>Compression de fonction bossage esquisse spline et non spline</i>	<b>100</b>
<b>Fig-VI-4</b>	<i>Résultat de fonction dépouille</i>	<b>101</b>
<b>Fig-VI-5</b>	<i>Résultat d analyse de la dépouille</i>	<b>102</b>
<b>Fig-VI-6</b>	<i>Les ouvertures de casier a bouteille</i>	<b>102</b>
<b>Fig-VI-7</b>	<i>Paramètres et résultats -ETUDE PAR <b>DFM</b>Xpress</i>	<b>105</b>
<b>Fig-VI-8</b>	<i>Les propriétés de la masse</i>	<b>108</b>
<b>Fig-VI-9</b>	<i>Les différentes partis de collier chauffant utiliser</i>	<b>109</b>
<b>Fig-VI-10</b>	<i>Dimensionnement de notre collier chauffant</i>	<b>110</b>
<b>Fig-VI-11</b>	<i>Dimensionnement du seuil d'injection</i>	<b>110</b>
<b>Fig-VI-12</b>	<i>Mesure de la surface projetée par solidworks</i>	<b>112</b>
<b>Fig-VI-13</b>	<i>Présentation de temps cycle</i>	<b>114</b>
<b>Fig-VI-14</b>	<i>Propagation de la matière injectée durant le temps de remplissage</i>	<b>118</b>
<b>Fig-VI-15</b>	<i>Résultats (validation avec rapport positif) de la simulation <b>M olflow</b>Xpress</i>	<b>118</b>
<b>Fig-VI-16</b>	<i>Gain de temps de cycle lors d'une haute cadence</i>	<b>119</b>
<b>Fig-VI-17</b>	<i>Caractéristiques dimensionnelles de la presse 350T (i9)</i>	<b>122</b>
<b>Fig-VI-18</b>	<i>Schémas du plateau de la presse 350T (i9).</i>	<b>123</b>
<b>Fig-VI-19</b>	<i>Paramètres de températures du collier chauffant de la presse 350T (i9)</i>	<b>124</b>

<b><i>Fig-VI-20</i></b>	<i>Variation de la Chaleur massique de différents polymères / Température (°C)</i>	<b><i>125</i></b>
<b><i>Fig-VI-21</i></b>	<i>Dimensions du canal</i>	<b><i>128</i></b>
<b><i>Fig-VI-22</i></b>	<i>Colonnes de guidage</i>	<b><i>137</i></b>
<b><i>Fig-VI-23</i></b>	<i>Résistance des 6 vis CHC de la partie mobile au cisaillement</i>	<b><i>138</i></b>
<b><i>Fig-VI-24</i></b>	<i>Schéma de dimensionnement d'un Ressort</i>	<b><i>140</i></b>
<b><i>Fig-VI-25</i></b>	<i>Classification des ressorts par couleur</i>	<b><i>141</i></b>

# Liste des tableaux

## **✘ Chapitre II : Aspect Général des matières plastiques**

<u>Tableau</u>	<u>Titre</u>	<u>Page</u>
<b>Tab-II-1</b>	<i>types d'homopolymères</i>	<b>33</b>
<b>Tab-II-2</b>	<i>Types de copolymères</i>	<b>33</b>
<b>Tab-II-3</b>	<i>Principales matières plastiques</i>	<b>36</b>
<b>Tab-II-4</b>	<i>Propriétés du polystyrène cristal</i>	<b>39</b>
<b>Tab-II-5</b>	<i>Caractéristiques technologiques du PS cristal</i>	<b>39</b>
<b>Tab-II-6</b>	<i>Conditions de mise en œuvre des PS</i>	<b>40</b>
<b>Tab-II-7</b>	<i>Avantages et inconvénients du polystyrène</i>	<b>40</b>

## **✘ Chapitre III : Les procédés de mise en œuvre des matières plastiques**

<u>Tableau</u>	<u>Titre</u>	<u>Page</u>
<b>Tab-III-1</b>	<i>caractéristiques distinctives et limites d'utilisation du procédé de pultrusion.</i>	<b>65</b>

## **✘ Chapitre IV : Conception du moule**

<u>Tableau</u>	<u>Titre</u>	<u>Page</u>
<b>Tab-IV-1</b>	<i>Choix des Matériaux</i>	<b>90</b>

## **✘ Chapitre VI : Calcul et réalisation**

<b><u>Tableau</u></b>	<b><u>Titre</u></b>	<b><u>Page</u></b>
<b><i>Tab-VI- 1</i></b>	<i>Comparaison entre le PS choc et le PS standard</i>	<b>104</b>
<b><i>Tab-VI-2</i></b>	<i>Résultats de l'étude Analyse Epaisseur par SolidWorks</i>	<b>106</b>
<b><i>Tab-VI-3</i></b>	<i>Choix du procédé de fabrication d'une pièce en fonction des différents critères</i>	<b>107</b>
<b><i>Tab-VI-4</i></b>	<i>Capacité d'injection</i>	<b>111</b>
<b><i>Tab-VI-5</i></b>	<i>Pression intérieur moyenne (tonnes/cm<sup>2</sup>) selon la matière</i>	<b>113</b>
<b><i>Tab-VI-6</i></b>	<i>Gradeurs thermique et paramètres d'injection</i>	<b>115</b>
<b><i>Tab-VI-7</i></b>	<i>Conditions de moulage par injection plastique</i>	<b>116</b>
<b><i>Tab-VI- 8</i></b>	<i>Déférentes caractéristiques techniques de la Presse 350 T (i9).</i>	<b>121</b>
<b><i>Tab-VI-9</i></b>	<i>Valeurs du diamètre du canal (dc)</i>	<b>125</b>
<b><i>Tab-VI-10</i></b>	<i>Poids des pièces constituant le moule</i>	<b>132</b>
<b><i>Tab-VI-11</i></b>	<i>Valeurs indicatives du coefficient de sécurité</i>	<b>133</b>

## **Liste des Symboles**

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

**CAM : Complexe d'Appareils Ménagers**

**PS : Polystyrène**

**PSC : Polystyrène Choc**

**Tg : Point de température de transition vitreuse**

**Tf : Point de fusion**

**e : épaisseur**

**L : Longueur**

**Lc : Longueur totale des canaux**

**P : Pression dans la cavité**

**S : Surface**

**K : Coefficient de sécurité**

**N : Effort normal**

**F : Force de fermeture de moule**

**$\sigma$  : Contrainte**

**C : Puissance de plastification**

**[ $\tau$ ] CIS : Contrainte de cisaillement admissible**

**S : Coefficient de sécurité**

**Spj : Surface de plan de joint**

**Re : Limite élastique du matériau**

**$\sigma_e$  : Limite de fatigue**

**$t_R$  : Temps de refroidissement**

**$t_i$  : Temps d'injection**

**$t_m$  : Temps de maintien**

**$t_e$  : Temps d'jection**

**$t_o$  : Temps d'ouverture**

**$t_F$  : Temps de fermeture**

**$D$  : Diffusivité thermique du plastique**

**$T_m$  : Température de la matière a l'injection**

**$T_e$  : Température de la matière a l'jection**

**$QM$  : Quantité de chaleur a évacuer**

**$M_p$  : Masse de la grappe moulée**

**$H_i$  : enthalpie de la matière à la temperature d'injection**

**$H_e$  : enthalpie de la matière à la temp rature d'jection**

**$d_c$  : diamètre des canaux**

**$\rho$  : Masse volumique du fluide de refroidissement**

**$LC$  : Longueur totale des canaux**

**$T_c$  : température des parois des canaux**

**$T_e$  : température de fluide au centre du canal**

**L: longueur de l' élément**

**D: diamètre**

**n: le nombre de section cisillées**

**$\alpha$  : Coefficient de transmission /circuit de refroidissement**

**V: vitesse de circulation des fluides**

**$\lambda$ : Coefficient de conductibilité thermique du matériau du moule**

**K : Coefficient de transmission thermique.**

**$\Delta\theta$ : Differences de température de l'empreinte par rapport au circuit de refroidissement**

# 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 ENTEM 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 travail à :*

- *Ma très cher maman à celle que je dois tout*
- *Mon cher père avec toute ma reconnaissance*
- *À la mémoire de na Baya et que dieu l'accueille dans son vaste paradis*
- *Ma chère grande sœur et son mari et leurs enfants  
    < Momoh > < Idir > < Alicia >*
- *Mon cher frère et sa fiancée*
- *Ma chère sœur et son fiancé*
- *Mes oncles et tantes de la famille ZEGGANE ET CHALAL*
- *Tous mes amis « es »*
- *Tous les bons cœurs*
- *Tous les membres et adhérents(es) de l'association « OASIS »*
- *La promotion de fin de cycle Master II Construction  
    Mécanique 2013*
- *Tous ceux qui contribuent pour l'évolution*
- *À tous les mécaniciens*

*Sofiane*



*Présentation de  
l'organisme d'accueil*

## Présentation de l'organisme d'accueil

### Entreprise Nationale des Industries de l'ElectroMénager

(ENIEM)

#### 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 10.279.800.000 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 à 4 et à 5 feux.
- Climatiseurs

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. Situation géographique :**

Le complexe, premier fabricant national d'appareils ménagers, peut être classé parmi les plus grandes unités de productions industrielles du pays. Son siège social se situe au chef-lieu de la Wilaya de Tizi-Ouzou, à proximité de l'ancienne gare routière.

La superficie totale du complexe s'étale sur 5,5 Hectares.

Les unités de production Froid, Cuisson et Climatisation sont implantées à la zone industrielle Aissat Idir de Oued-Aissi, distante de 7 km du chef-lieu de la wilaya.

La filiale sanitaire est installée à Miliana, wilaya de Ain Defla et la filiale lampe à Mohammadia, wilaya de Mascara.

### **III. Objet social et champ d'activité :**

ENIEM est leader de l'Electroménager en Algérie, elle possède des capacités de production et une expérience de plus 30 ans dans la fabrication et le développement dans les différentes branches de l'électroménager ;

notamment :

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

Elle assure également la commercialisation et le service après-vente de ses appareils.

### **IV. principales missions et activités de l'entreprise :**

#### **IV-1) Direction générale:**

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

#### **IV-2) Unité froid :**

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

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

#### **IV-3) Unité cuisson:**

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

Ses activités sont :

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

#### **IV-4) 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.

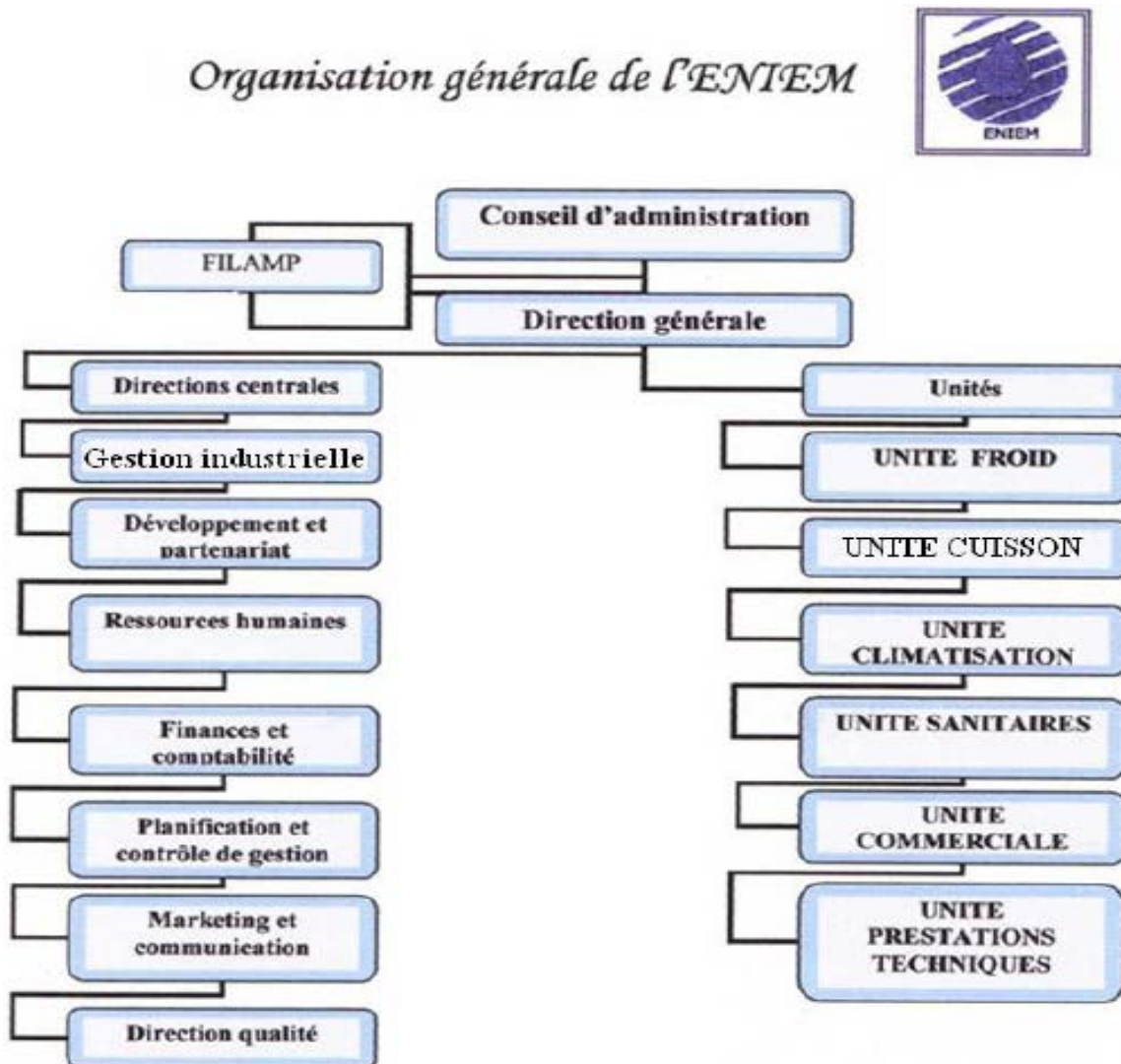
#### **IV-5) Unité sanitaire :**

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

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

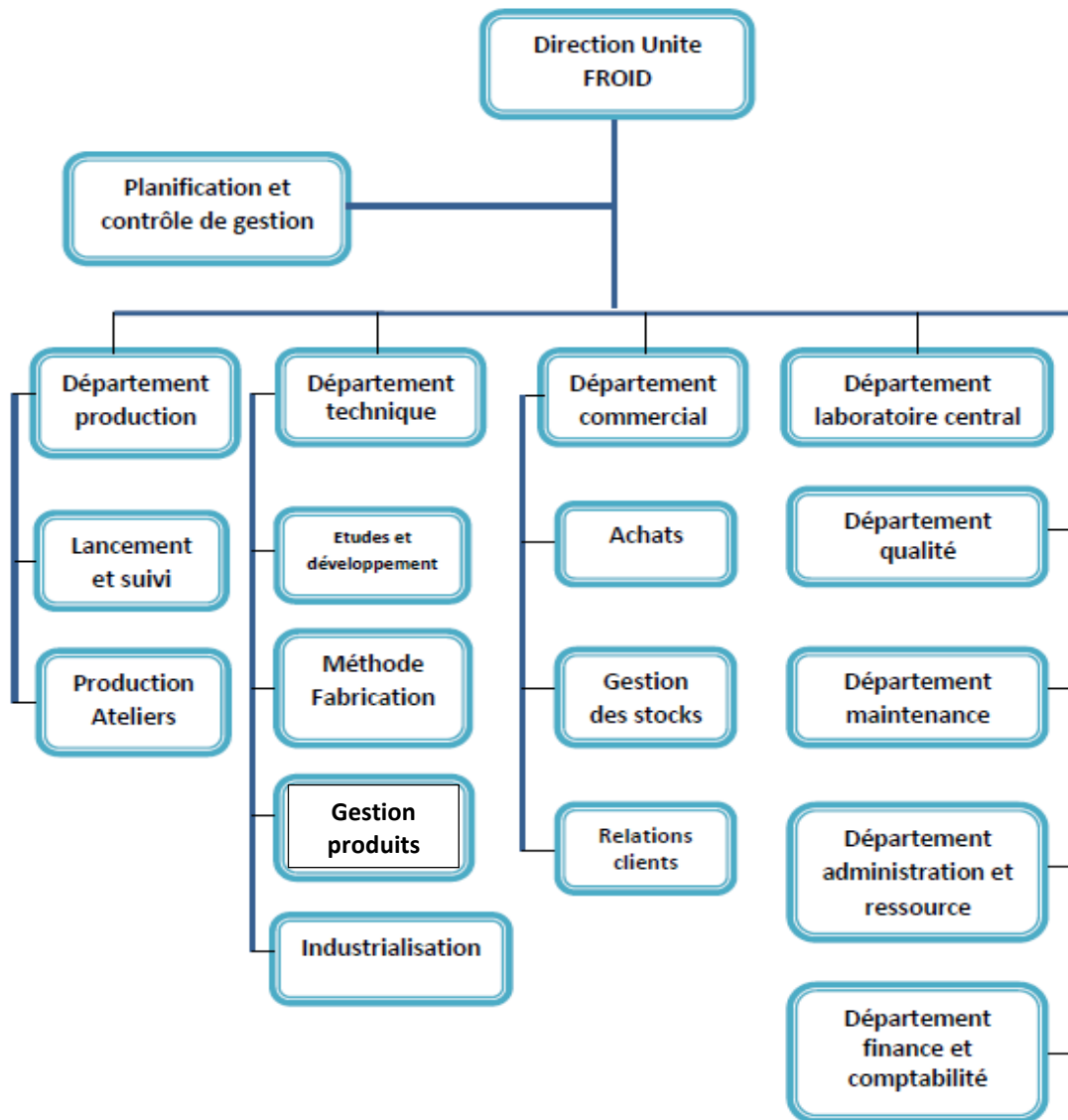
## IV-6) Filiale Filamp :

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».



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

## Organigramme de l'unité froid



*Fig.2 : Organigramme de l'unité froid.*

## V. Politique de l'entreprise :

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

### V-1. Politique qualité :

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

## Présentation de l'organisme d'accueil

---

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

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

### **V-1-1. Engagement de la direction :**

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

- Se conformer aux exigences légales et réglementaires en vigueur.
- Appliquer et respecter les dispositions et procédures établies.
- Fournir les ressources nécessaires à l'atteinte des objectifs.

### **V-1-2. Ses objectifs :**

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

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

## **V-2. Politique environnementale :**

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

### **V-2-1. Engagements :**

- Respecter les exigences légales et réglementaires en vigueur.
- Prévenir et maîtriser les risques de pollutions qui peuvent être générés par ses activités.

- Améliorer la gestion des déchets (papier, emballages, consommables informatiques, déchets, des processus...).
- Rationaliser les consommations d'énergies.
- Améliorer la communication avec les parties intéressées (interne et externe).
- Continuer la formation pour améliorer la compétence du personnel.
- Continuer l'amélioration de l'efficacité du Système de Management Environnemental.
- Mener des revues de direction.

### **V-2-OBJECTIFS ET CIBLES ENVIRONNEMENTAUX**

Dernièrement en 2012 l'ENIEM a fixé des objectifs et cibles environnementaux :

#### **❖ Objectifs :**

En conformité avec sa politique environnementale, l'ENIEM se fixe pour l'année 2012 les objectifs suivants :

- L'amélioration de la gestion des déchets.
- La rationalisation de la consommation des énergies et fluides.
- La prévention des risques de pollution.
- La sensibilisation des parties intéressées.
- La formation du personnel sur l'environnement.

#### **❖ Cibles :**

- Réduire les déchets générés de 1%.
- Elever le niveau de tri des déchets de 2%.
- Réduire les stocks morts de 4 %.
- Ratio consommation d'eau/Production < 20 M3/tonne.
- Ratio consommation d'énergie électrique/Production < à 635 KWh/tonne.
- Ratio consommation de gaz/Production < à 1,76 kTh/tonne.
- Mesurer les rejets atmosphériques.
- Former 200 agents sur l'environnement.
- Continuer la sensibilisation des fournisseurs, agents agréés et les sous-traitants sur l'environnement.

## **INTRODUCTION GENERALE**

Le procédé d'injection-moulage n'a cessé d'être perfectionné pour devenir actuellement l'un des procédés les plus utilisés pour la mise en forme des polymères. Il est généralement utilisé pour la production de très grandes séries pour l'automobile ou l'électroménager par exemple ou pour des séries plus réduites en aéronautique. Le procédé d'injection permet d'obtenir une productivité élevée avec une très bonne reproductibilité des pièces.

Actuellement, le marché des produits évolue très rapidement. Des études de marché montrent que le nombre de variantes et la complexité des produits ont tendance à augmenter. Les entreprises doivent être capables de répondre aux exigences du marché et de satisfaire aux besoins de leurs clients, voire Les changements de design qui deviennent si fréquents et obligatoires. Pour qu'un nouveau produit soit lancé sur le marché dans un délai court, entre autres, la méthode de l'ingénierie concurrente est appliquée afin de développer simultanément le produit et ses moyens de production.

Dans le but d'améliorer sa gamme de produits, préserver son trône dans l'industrie, l'entreprise ENIEM (Entreprise Nationale de l'Industrie de l'Electroménager) a eu recours à la rénovation du design de ces derniers. Pour pouvoir effectuer ces changements, la maîtrise des outils technologiques actuels est nécessaire, comme l'utilisation des machines à commande numérique, les logiciels de conception CAO et de fabrication FAO.

Lors de la conception du moule et le nouveau produit, nous devons effectuer une sélection de matériaux, d'équipements et de notes de calculs, puis réaliser les plans de conception.

Afin de conquérir le marché local et national, le bureau d'études de l'entreprise nous a confié dans le cadre de l'exécution de notre mémoire de fin d'études, la conception d'un moule d'injection plastique pour un nouveau produit (un casier de bouteille) pour un réfrigérateur.

Pour mieux structurer notre travail, nous l'avons organisé en six chapitres.

Après une introduction générale sur le sujet, vient :

Chapitre I : le design et nouveau produit puis

Chapitre II : l'aspect général des matières plastiques

Chapitre III : Procédé de mise en œuvre des matières plastique

Chapitre IV : Choix de moule et procédé

Chapitre V : Problèmes de moulage

Chapitre VI : Calcul et réalisation

Enfin, on termine par les dessins de définition et le dessin d'ensemble qui sont présentés après la conclusion générale.

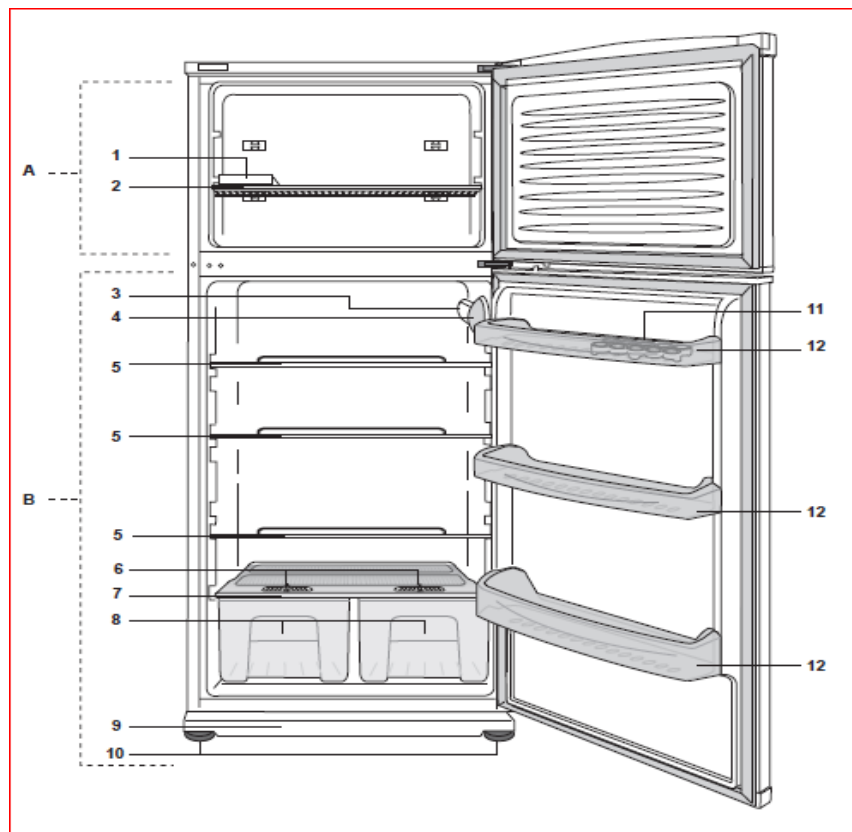
## **PRESENTATION DU SUJET**

L'entreprise ENIEM subit une concurrence importante sur le marché de l'électroménager. De jour en jour les changements de design deviennent si quotidiens. Pour préserver 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 de casier à bouteille.

Le casier à bouteille (12) est une pièce qui se monte à l'intérieur de réfrigérateur (voir la figure ci-dessous) tout en assurant la fixation par rapport à la porte, durant l'ouverture et la fermeture.

Afin d'effectuer ce travail, le bureau d'étude de l'entreprise a mis à notre disposition tous les moyens et condition de travail.

il s'agit principalement de créer un nouveau produit (casier à bouteille) à partir d'amélioration des anciens modèles et concevoir son moule avec le procédé de l'injection plastique, ainsi que son traitement sur le logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) SolidWorks



*fig.1* réfrigérateur ENIEM 5250L



*Design et nouveau  
produit*

**I-1 Design :[1]****I-1-1 généralité :**

Le design est la création d'un plan ou d'une convention pour la construction d'un objet ou d'un système, situé à mi-chemin entre l'art et la science.

Le rôle du design est de répondre à des besoins, de résoudre des problèmes, de proposer des solutions innovantes ou d'inventer de nouvelles possibilités dans le but d'améliorer la qualité de vie des êtres humains, que ce soit dans les sociétés industrielles occidentales (où le design est né) ou dans les pays en voie de développement (design humanitaire).

La pluridisciplinarité se trouve par conséquent au cœur du travail du designer, dont la culture se nourrit aussi bien des arts, des techniques, des sciences humaines ou des sciences de la nature. D'une part artistique, il s'agit d'une discipline créative qui consiste à concevoir des dispositifs destinés à des usagers grâce à un travail sur les formes qui rappelle celui de la création artistique et qui peut concerner aussi bien des formes spatiales (design d'espace), que les formes volumiques (design de produits, design industriel). Ce travail sur les formes explique l'importance des considérations esthétiques dans les champs du design, mais ne doit pas masquer l'importance tout aussi grande des considérations fonctionnelles, techniques, environnementales, biologique, juridiques, économiques, sociales et politiques, voire philosophiques, qui sont au cœur du travail du designer, considéré comme l'un des grands métiers de la conception, avec ceux de l'architecte ou de l'ingénieur.

Le design était autrefois appelé en français « esthétique industrielle », « arts industriels » ou « arts appliqués ». On lui préfère aujourd'hui en France le terme de stylisme, qui peut s'appliquer aux produits industriels en général et non seulement aux produits textiles.

**I-1-2 définition :**

Le design est une activité de création souvent à vocation industrielle ou commerciale, pouvant également s'orienter vers les milieux sociaux, politiques, scientifiques et environnementaux. Le but du design est d'inventer, d'améliorer ou de faciliter l'usage ou le processus d'un élément ayant à interagir avec un être, que ce soit un produit ou service matériel ou virtuel.

**I-1-3 champs d'application de design :**

Les champs d'application et les métiers du design sont nombreux et il n'existe pas de classification universellement reconnue.

Voici la typologie design d'objet qui regroupe :

1. Design de produit
2. Design packaging
3. Design textile
4. Mode et accessoires de mode
5. le design d'espace
6. le design graphique
  - Identité visuelle
  - Design de signalétique
7. le design numérique
8. le design de service
9. le design sonore
10. le « design management » qui comprend les conseils, le management qui structurent la stratégie du design au cœur de l'entreprise..

Les designers peuvent être soit spécialisés dans un champ spécifique, soit généralistes, c'est-à-dire qu'ils pratiquent le design global, qui se définit comme étant une démarche créative qui permet à une entreprise d'adopter une conception transversale et plus cohérente, plus globale de l'ensemble de ses éléments. Le design global permet d'envisager parallèlement le produit, son design, son lieu de production, son packaging, sa communication graphique et son lieu de vente. Le design peut intervenir dans presque tous les secteurs industriels et économiques : biens de consommation, services transports, sous-traitance, espaces publics,...

En outre, de plus en plus de designers s'attachent à réduire l'impact environnemental du produit et/ou du service. Cette attention portée à la problématique écologique peut avoir un impact économique positif, par la réduction des coûts de fabrication, en même temps qu'elle participe à la démarche d'éco-conception. Les bénéfices de l'entreprise se mesurent alors sur le plan économique, mais aussi en termes d'image auprès du consommateur et de l'utilisateur.

- *Design de produit*

Le design de produit est une activité qui consiste à créer des objets de grande consommation ou des biens d'équipement, qu'ils soient fabriqués en moyenne ou grande série (artisanat ou industrie). Le designer s'attache à concevoir la forme, la couleur, l'aspect de surface, l'ergonomie,... pour l'électroménager, le transport, les machines, les outils, le mobilier, le luminaire, les arts de la table, les accessoires de mode,...

L'implication du designer en amont du processus de création du produit permet d'apporter une plus value au produit, que ce soit en termes de valeur ou de qualité perçue, permettant ainsi à l'entreprise de se différencier de la concurrence..

#### **I-1-4 profession designer industriel : son rôle**

Le designer industriel doit concevoir et développer physiquement l'objet en plus d'anticiper le marché futur. Sa réflexion est orientée avant tout vers l'humain.

Le rôle d'un designer est déterminant tout au long du cycle de vie d'un produit puisque son apport mène à une intégration adéquate des aspects fonctionnels, formels et symboliques.

De façon générale, son rôle se décline ainsi :

1. Définir et documenter tous les paramètres d'un projet (définir le cahier des charges fonctionnel et conceptuel)
2. Imaginer et communiquer des propositions de concepts
3. Effectuer le développement technique des produits
4. Assurer un transfert optimal vers la production et les ventes
5. Contribuer à la vision globale de l'entreprise

#### ➤ **Les règles du designer dans la conception et la fabrication :**

La règle d'or du **designer industriel** est de créer pour séduire et de séduire pour faire vendre. C'est pourquoi il s'attache à travailler les formes et à reconsidérer l'aspect esthétique des produits sans masquer leur fonctionnalité et leur technicité. Il propose ainsi des solutions innovantes et invente de nouvelles possibilités pour améliorer la "séduction" des meubles, des appareils ménagers et de tout autre objet usuel. Dans un premier temps, il étudie comment développer un nouveau produit, compte tenu des contraintes techniques, ergonomiques et économiques. Il utilise ensuite des

logiciels spécialisés (PAO, DAO, CAO) pour dessiner des croquis ou réaliser des maquettes numériques.

### **I-1-5 typologie des pratiques professionnelles**

Le design industriel s'exerce selon trois pratiques distinctes :

#### **-a Le designer en entreprise :**

lorsque le design industriel est effectué à l'interne, il relève souvent des fonctions de la recherche et développement, de l'ingénierie ou directement de la direction générale de l'entreprise. Le président-directeur générale de l'entreprise est très souvent engagé dans les activités d'amélioration ou de développement de nouveaux produits. On observe davantage cette dernière caractéristique dans les PME, laissant supposer, dans certains cas, que ces activités sont considérées comme stratégiques au sein des entreprises. Cette pratique suppose que le designer est intégré à une équipe multidisciplinaire et, selon ce niveau d'intégration, qu'il détient un niveau d'autonomie variable pour la gestion du processus. L'obligation de rentabilité de produit exige que le designer industriel adapte constamment sa pratique, cette pratique est axée sur l'autonomie du designer tout en considérant les besoins du client fabricant.

**-b Le designer industriel consultant :** La performance du designer est ici axée sur les caractéristiques du produit selon la perspective du « design », mais également selon sa rentabilité.

**-c Le designer-producteur :** il s'agit d'un créateur qui a entrepris de produire des biens et de les mettre sur le marché.

#### **I-1-6 Facteurs d'influence;**

L'entreprise doit choisir entre offrir un produit au design semblable sur tous les marchés ou adapter le design du produit en fonction des marchés. Cette adaptation du design implique une hausse potentielle des ventes mais sera plus coûteuse.

Différents facteurs sont susceptibles d'influencer sa décision :

- Nature du produit
- Lois et réglementations
- Préférences locales

- Coût
- Compatibilité avec l'environnement
- Le design comme facteur de croissance et de compétitivité pour les entreprises

### **I-1-7 Quelques composants du design :**

le designer dans le but de rationaliser sa démarche et minimiser la prise de risques doit intégrer outre le mariage de l'esthétique et de la fonctionnalité, une suite de composantes qui vont de la culture à la technologie en passant par les aspects sociétaux, environnementaux, etc. la perception esthétique d'un produit dépend d'une interprétation personnelle liée à notre culture, nos habitudes, notre origine sociale, nos modèles, etc. de ces composantes découlent des partis pris qui définissent une orientation en vue de créer un phénomène d'attribution et de distinction du produit. Le contexte économique, la technologie, la distribution et l'impact de la production sur l'environnement impliquent quant à eux une somme de contraintes à respecter et déterminent ainsi le champ des possibles, la recherche du compromis et de l'optimisation.

Clarifier et ordonner les composantes fonctionnelles permet de prendre du recul sur le fonctionnement du produit et de rappeler la raison d'être de ce dernier tout au long du processus de création.

#### **I-1-7-a Le design comme langage commun :**

Dans un projet de développement de produit, le design peut jouer le rôle d'une langue universelle, comprise aussi bien par les concepteurs que par les futurs clients.

Dans ce cadre, le designer joue le rôle de médiateur et de traducteur entre différentes catégories d'intervenants aux cultures professionnelles très contrastées (commerciaux, ingénieurs, créatifs, communicants, financiers...).

Il effectue une synthèse accessible à tous, qui permet de poser les bases d'une démarche de projet ou chacun contribue à la pertinence du produit.

**I-1-7-b Comment associer noms, formes, couleurs, matières ?**

Le design entrevoit le produit de manière systémique et globale, considérant que les sous-ensembles forment un tout qui doit être cohérent. La dénomination, la forme, la couleur, la matière, la texture résultent d'une démarche où le designer va non seulement apporter une partie de lui-même (par son vécu, sa pertinence, son esprit de synthèse) mais surtout répondre à des règles, des théories, des lois qui régissent cette recherche d'harmonie

**I-1-8 LES CODES ET TENDANCES ESTHÉTIQUES:****I-1-8 -a Un regard différent sur le produit:**

L'objet design n'est pas simplement une chose, il est une forme chargée d'un statut de sens et de fonction. Tout objet entre dans un système de mode. L'appartenance à un courant Esthétique est perçue par les acheteurs et les consommateurs, et rend rapidement obsolète l'apparence de tel ou tel produit. Les salons professionnels, la presse, les prix et trophées, l'influence de groupes sociaux leaders d'opinion façonnent les tendances et donnent le ton. De la même manière, les milieux professionnels, y compris des biens d'équipement, développent des codes et tendances esthétiques implicites qui forgent le goût des producteurs, ce qui peut avoir pour conséquence de creuser un fossé entre les jugements des concepteurs et fabricants et ceux des acheteurs et utilisateurs. Les designers utilisent l'esthétique à d'autres fins que la seule recherche du beau. Ils rendent les produits plus compréhensibles, plus faciles d'usage (ergonomie), moins encombrants, voire plus aimables.

**➤ L'impératif environnemental**

Le respect de l'environnement est désormais intégré à la création et à la conception des produits. L'éco-design est la mise en œuvre des exigences d'éco-conception d'un projet, susceptibles d'avoir un impact sur le produit, que l'on peut mesurer par exemple en fonction du bilan carbone, de considérations de recyclage ou de la prise en compte des consommations induites. La qualité écologique du produit est perçue par l'acheteur et le consommateur à travers des critères objectifs, labellisés ou certifiés, mais aussi des perceptions subjectives liées aux matériaux, aux formes, couleurs et textures.

**➤ Nouveaux objets, nouveau design**

Beaucoup d'objets du futur seront des objets relationnels, vecteurs d'information et de communication. Ils devront résoudre des questions d'usage et de sens, d'utilité et de durée, de plaisir et de raison. Ces situations nouvelles vont créer de nouveaux modes de relation et d'expérience des individus avec les objets techniques. C'est le cas aussi bien des postes de travail tertiaires (mobilier de bureau) que de l'environnement industriel dans lequel une grande attention est portée sur l'ergonomie des commandes et l'ambiance des lieux de production. Dans ce contexte, le design est porteur d'innovation par sa capacité à interroger les disciplines et les savoir-faire traditionnels et à imaginer, scénariser et formaliser des représentations et des situations issues des technologies ou de la recherche, en les transformant en produits/services potentiels.

**Le design est** *“un facteur d’humanisation des technologies et un catalyseur de pratiques. Il transforme une intuition en synthèse créative qui s’incarne dans une solution sensible, sensée, adéquate et désirable.”*

**I-1-8 -b Comment prendre en compte signes, codes et usages :****➤ Donner un sens à la création et au design : l'approche sémiologique**

La sémiologie ou sémiotique est l'étude des conditions dans lesquelles les signes produisent du sens. Le sémioticien travaille sur tout ou partie des signes générés par l'entreprise : l'objet, son packaging, sa publicité. Sémiotique et design sont des disciplines complémentaires. Dans la phase de création, le sémioticien explicite les idées émises par le designer et lui donne la signification de ses choix successifs, ce qui peut permettre d'élargir pour l'entreprise le champ d'investigation créatif. Pour la petite histoire, c'est en 1964 que, pour la première fois, un message commercial est décodé selon la “science des signes” par Roland Barthes à propos des “pâtes Panzani”.

➤ **Une application : le design de marque:**

*A quoi servent les marques ?*

Les marques sont des repères pour le consommateur et l'aident dans ses choix. Elles sont des signes qui permettent de donner de la valeur aux produits. Au-delà de la qualité intrinsèque des produits, elles garantissent innovation et niveau technologique. Elles gèrent aussi la valeur immatérielle de l'achat, la part du rêve. Les marques construisent et fournissent des signes qui permettent de rassurer le consommateur et d'entrer dans des univers de référence (mode, luxe, Santé, éco-responsabilité...).

➤ *Qu'est-ce que le capital marque d'une entreprise ?*

Le design de marque permet de gérer le supplément de valeur associé à ces signes, dans le temps. On parle ainsi de "capital marque". C'est l'attachement du public à sa marque ainsi que la conviction que cette marque justifie son prix.

➤ *Quel rôle pour le design ?*

Le design exprime les signes visuels émis par les marques. Il permet à la marque de s'incarner, d'exister sur le plan matériel à travers un produit, un logotype, un packaging, un site Internet, des supports de communication. Graphique, sonore, visuel, olfactif, etc. le design représente la marque, il en est la référence identitaire et le moyen de reconnaissance par les clients auxquels la marque appartient autant qu'à ses créateurs.

## **I-2 nouveaux produits :[2]**

### **I-2-1 définition :**

Un produit marketing peut être un objet matériel, un service, un homme, une idée ou une organisation, conçu, créé et offert à la consommation dans le but de satisfaire un besoin identifié des consommateurs. Carl Éric Linn utilise le terme de méta produit (metaproduct) pour désigner le produit global ou produit au sens large (promesse de satisfaction, caractéristiques techniques, packaging, marque, qualité et services annexes). En 1993, le groupe agro-alimentaire Nestlé introduisit l'appellation de P.P.E. (produits à positionnement économique). Au départ nommés P.P.P. (produits à positionnement populaire), les P.P.E. sont issus d'une minutieuse analyse de la valeur. Ils visent un double objectif : offrir au consommateur la caution d'une marque à un moindre prix et lutter contre le développement des marques de distributeur et des produits premier prix. Leur introduction reste cependant délicate en terme d'image et tout simplement de positionnement. Les six premières références de P.P.E. apparurent, début 1994, sous la marque Findus (groupe Nestlé) pour une gamme de

plats cuisinés surgelés à moins de 10 F (1,52 €). et intitulée « Petits Plats ». Cette terminologie a été depuis abandonnée.

### **I-2-2 améliorer le produit :**

(comment analyser les produits du point de vue du client ?)

Le produit est le reflet du savoir-faire de l'entreprise qui l'a conçu et fabriqué selon des critères de « qualité voulue ».

Qu'en est-il de la « qualité perçue » ? Sait-on évaluer les produits, non pas du point de vue de ceux qui les produisent, mais de ceux qui les utilisent ? Des éléments jugés essentiels ou correspondant aux « règles de l'art » ne sont pas toujours appréciés par les clients.

#### **-a les critères d'appréciation et d'analyse varient selon la position du client :**

Il convient de distinguer les critères du client acheteur de ceux du client payeur, dit client prescripteur, utilisateur ou consommateur...

Les enquêtes sur les produits existants doivent s'appuyer sur le point de vue du client réel (celui qui possède déjà le produit), du client potentiel (celui qui possède un produit concurrent ou équivalent et qui n'a pas choisi le produit testé), du non client (celui qui ne possède aucun produit du même type et qui satisfait ses besoins différemment ou qui ne peut les satisfaire dans l'état actuel de l'offre).

Analyser ses propres produits et ceux de ses concurrents directs ou semblables requiert de la méthode : dresser une liste de critères d'appréciation, les pondérer, comparer les scores obtenus et analyser les résultats.

#### **-b des sources d'information facilement accessibles :**

Au-delà des faux sondages d'opinion que sont les réclamations ou les avis spontanés, très explicites mais souvent isolés et pas toujours représentatifs, on peut :

- recourir à des techniques directes et peu coûteuses qui ne requièrent qu'un minimum de méthode et un peu d'écoute attentive.
- Observer les produits sur les lieux de vente avec des grilles de comparaison
- Interviewer les commerciaux de l'entreprise, les vendeurs ou les revendeurs, les réparateurs ou les techniciens de maintenance
- Interroger des acheteurs, des prescripteurs et des utilisateurs des produits

**-c Analyser les cycles de renouvellement des produits :**

Chaque produit a une durée de vie limitée. Certains restent sur le marché durant plusieurs années, d'autres seulement quelques mois. L'observation et la modélisation des cycles de renouvellement des produits permet à l'entreprise qui les a conçus, développés et mis sur le marché, d'anticiper les phases de déclin et de proposer des évolutions susceptibles de les maintenir sur leurs marchés ou de préparer leur relève. Le design est une composante majeure de cette stratégie.

**-e les produits ont des âges :**

Tout produit connaît une succession d'âges, de sa conception à sa disparition du marché.

Il peut être :

- En phase 1 (gestation du projet)
- En phase 2 (lancement)
- En phase 3 (expansion et croissance en volume)
- En phase 4 (maturité égale stabilité puis début de décroissance en volume)
- En phase 5 (déclin par décroissance en volume accélérée)
- En phase 6 (mort du produit par chute du chiffre d'affaire)

Les phases pour lesquelles un recours à une démarche design peut être décisif sont la phase 1, en intervenant sur la qualité de la conception et en anticipant sur les évolutions et la phase 4, par des actions de relance du produit.

**I-2-2-f le renouvellement des produits soutient le chiffre d'affaires et défend les parts de marché :**

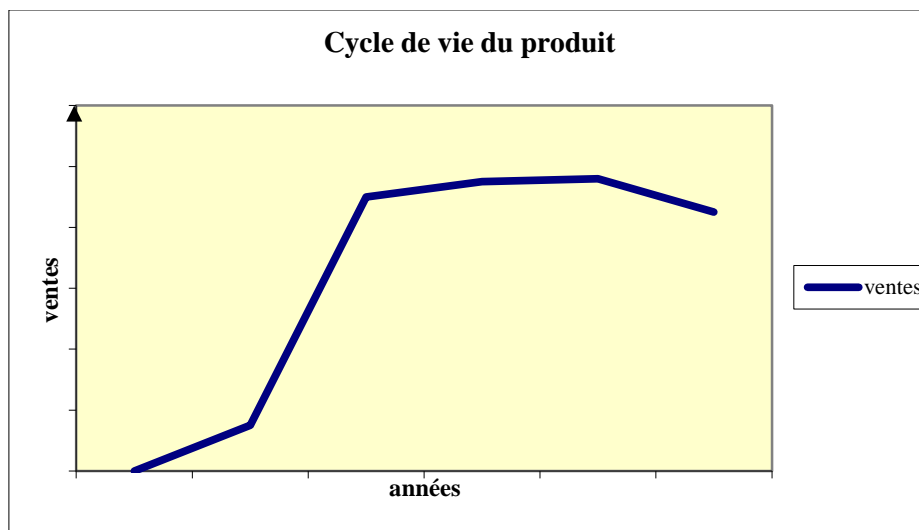
Le chiffre d'affaires peut être maintenu en phase 5 par actions commerciales sur le prix de vente, les modalités d'achat ou par des actions de promotion pour élargir les parts de marché.

Si le marché existe toujours, il peut être maintenu ou reconquis par le développement d'un produit innovant ou d'un design nouveau. Les volumes vendus peuvent être réactivés par un ressuyage du produit ou par une adaptation fonctionnelle.

Ce moment annonce inexorablement le déclin, souvent accéléré par l'apparition d'un produit concurrent. Pour ne pas être en retard sur le cycle de renouvellement du produit, il convient de réaliser cette action très en amont en estimant le temps

nécessaire à la gestation du projet d'évolution, et aussi de pouvoir financer cette phase 1 avec marge générées en phase de croissance et de début de maturité.

Dans certains cas, le temps accordé par le marché oblige à réagir en quelques semaines.



**Fig-I-1** : cycle de vie du produit

### **I-2-3 les sources d'innovation issue du marché ou de la technologie;**

#### **I-2-3 -a l'innovation :**

Dans un contexte de plus en plus concurrentiel, les entreprises sont contraintes d'innover pour satisfaire toujours au mieux les besoins de leurs clients.

Une innovation peut être une variante d'un produit existant ou un nouveau produit.

L'innovation n'est pas seulement réservée aux entreprises. Les organisations publiques comme les associations sont amenées à créer de nouveaux « produits » correspondant aux besoins de leurs usagers ou bénéficiaires.

#### **I-2-3-b Les sources de l'innovation :**

Innover consiste à introduire quelque chose de nouveau dans un domaine particulier.

Il en découle un lien intime entre innovation et design. Selon Peter Drucker, l'innovation est générée par différents type d'évolution.

➤ **Evolution liée à l'activité :**

Liée à des évènements imprévus, elle génère des réussites ou des échecs de manière aléatoire.

Liée à l'identification d'un décalage, elle part des écarts entre la réalité proposée et les attentes du marché.

Liée à l'identification d'une réponse nouvelle à un besoin structurel : elle va apporter un chaînon manquant ou faire sauter un verrou technologique.

Liée à l'évolution de la structure de l'entreprise, elle propose de nouvelles solutions en provenance du marché, de la filière industrielle ou de l'entreprise elle-même.

➤ **Evolution extérieure à l'activité;**

Liée à l'évolution démographique de la population locale, ou mondiale : mouvements de populations, ouverture économiques et politiques, natalité, vieillissement...

Liée aux évolutions des perceptions, des états d'esprit, des réactions, des comportements.

Liée aux nouvelles connaissances scientifiques et technologiques issue de la recherche développement (R&D) et à leur diffusion sur le marché industriel.

**I-2-3-c Les stratégies d'innovation;**

Suivant la position de l'entreprise sur le marché et ses compétences technologiques internes (R&D), trois réponses stratégiques sont possibles.

➤ **Innovation par « IMITATION »;**

Obtenir des prix réduits grâce à l'absence ou à la limitation des frais de R&D. développer une solution proche en ajoutant de la valeur par des détails. Tirer parti de sa position commerciale ou de la domination sur le marché.

Limites : risque juridique (copie) et image de suiveur peu valorisante.

➤ **Innovation « PUSH »;**

Pousser une offre nouvelle sur le marché par le recours à la R&D.

Introduire une nouvelle technologie apportant de nouvelles fonctionnalités et permettant au produit de se démarquer sur le marché.

Limites : validation par marketing de l'opportunité et du potentiel des innovations.

➤ **Innovation « PULL »;**

Tirer une innovation issue de l'observation des besoins du marché et l'associer à la stratégie marketing produits de l'entreprise.

Limites : validation d'un cahier des charges traduisant les besoins du marché en termes de performances et de caractéristiques.

Marketing, Design et R&D sont trois fonctions stratégiques au service du développement de l'entreprise. L'enjeu de l'innovation est de les faire dialoguer en permanence.

#### **I-2-4 Les éléments de distinction des produits :**

Le design vise à assurer au produit la plus grande cohérence, en s'appuyant sur plusieurs critères d'évaluation du produit par le client.

- **Fonction :**

Le design informe sur l'utilité du produit. Il permet de mettre en évidence le service rendu par le produit au niveau de ses fonctionnalités.

- **Ergonomie :**

L'ergonomie facilite l'utilisation du produit. Le design démontre au client que le produit est agréable et facile à utiliser ou à consommer.

- **Esthétique :**

À caractéristiques identiques (prix, fonctionnalité, qualité...), le client s'oriente vers le produit qu'il considère comme le plus esthétique.

- **Valeur symbole :**

L'apparence d'un produit communique des messages et des images. La valeur symbolique attribuée au produit est facteur d'importance dans le choix final.

Elle doit correspondre à l'image que le client a de lui-même et de celle qu'il désire projeter socialement.

- **Capture de l'attention :**

Lorsqu'un produit se distingue de ses concurrents par son design, il est en position favorable pour attirer le client qui lui porte une attention particulière lors de son choix.



*Aspect Général  
des Matières  
Plastiques*

**II-1 Introduction :**

Les matériaux appelés "matières plastiques" sont très divers. Ils sont, depuis des décennies, indispensables à la vie quotidienne. Plus de 80 millions de tonnes de matières plastiques sont produites chaque année dans le monde. Pour apprécier l'importance des matières plastiques, il suffit de regarder autour de soi. Il est difficile d'imaginer un monde sans elles. Leur croissance par rapport aux autres matériaux a été beaucoup plus forte.

Les matières plastiques couvrent une gamme très étendue de matériaux polymères synthétiques ou artificiels. Ils doivent cet essor à large diversité de caractéristiques, durs, mous ou élastiques, transparents ou opaques, isolants et quelquefois conducteurs, plus ou moins résistants aux conditions agressives de leur usage, toujours légers.

On peut observer aujourd'hui sur un même matériau des propriétés qui n'avaient jamais auparavant été réunies, par exemple la transparence et la résistance aux chocs.

C'est la nature particulière de leurs molécules en forme de chaîne, ainsi que la variété des modes d'assemblage qu'elles adoptent, qui est à l'origine de cette divergence.

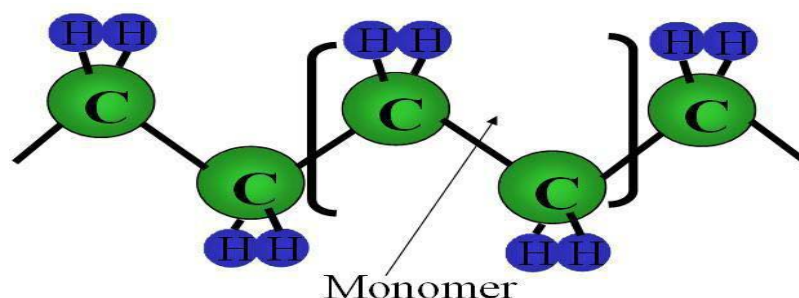
Ce succès est aussi la consécration des efforts scientifiques et technologiques que les chimistes ont accomplis pour découvrir et analyser de nouvelles structures de molécules. Ils ont pu ainsi créer de multiples monomères et, en collaboration avec les physiciens et les mécaniciens, les fabriquer à très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

Ce chapitre a pour objet une présentation des principes généraux sur les polymères, et en particulier le polystyrène cristal.

## II-2 Définition des matières plastiques :

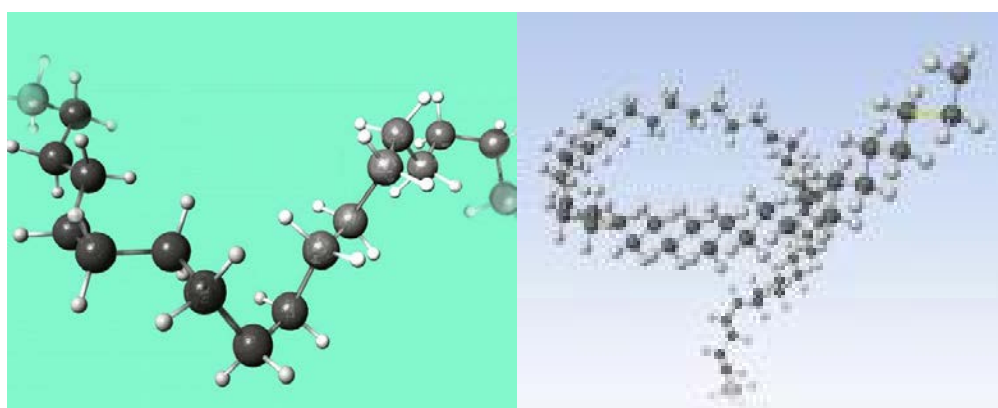
Dans la pratique on désigne sous le nom de plastiques ou matières plastiques un ensemble de matières de bases organiques naturelles ou synthétiques, possédant la propriété de se ramollir, généralement sous l'influence d'une élévation de température, et pouvant ainsi prendre différentes formes. Les matières plastiques couvrent une gamme très étendue de matériaux polymères.

Du point de vue chimique, les plastiques sont des polymères de synthèse des macromolécules constituées par polymérisation (enchaînement) de petites molécules unitaires (monomère). Le monomère est obtenu soit directement par raffinage du pétrole brut, soit après traitement avec des additifs. Un monomère est une molécule composée principalement de carbone et d'hydrogène.



*Fig II-1 : Monomère*

Le terme macromolécule, désignant de grandes molécules, est souvent utilisé pour désigner un enchaînement de monomères. Ainsi, un polymère peut être défini comme un enchaînement d'unités structurales répétitives, l'unité de répétition dans le polymère étant le monomère.



*Fig II-2 : Macromolécule*

### II-3 Structure de base des matières plastiques :

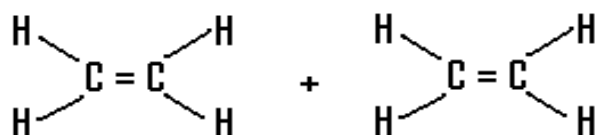
#### II-3-1 Composantes:

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

H : Hydrogène	C : Carbone	F : Fluor	Si : Silicium
S : Soufre	Cl : Chlore	N : Azote	O : Oxygène

#### II-3-2 Composition d'une molécule :

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



### II-4 Les différents procédés de polymérisation :

Au sens large, le terme polymérisation désigne l'ensemble des procédés de formation de chaînes à partir des molécules. La macromolécule obtenue s'appelle polymère si on a utilisé plusieurs types de molécules; Si non elles s'appellent monomères.

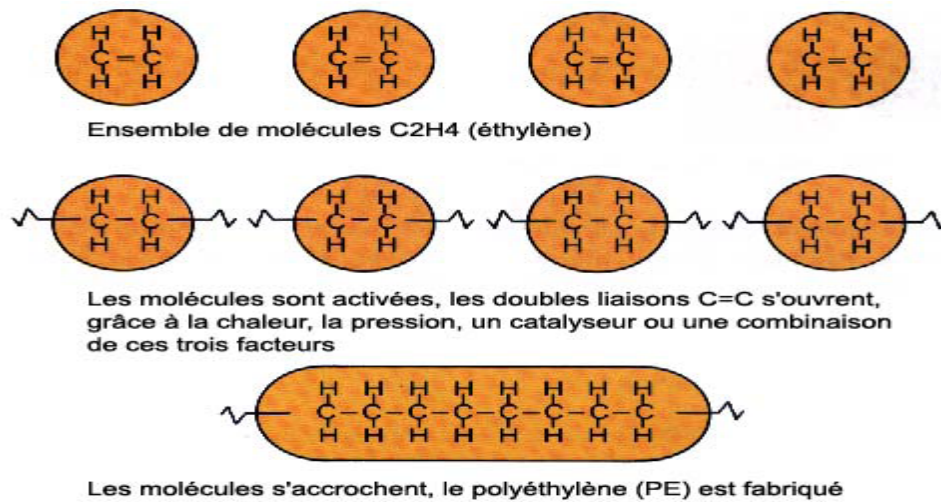
L'enchaînement de deux macromolécules de type différent peut être réalisé. Ce mélange de monomères s'appelle la copolymérisation, et la nouvelle molécule un copolymère.

#### II-4-1 La polyaddition :

Polyaddition ou la polymérisation par chaîne, 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. D'une telle façon le polymère prend naissance.

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

Exemple : éthylène → polyéthylène (PE)

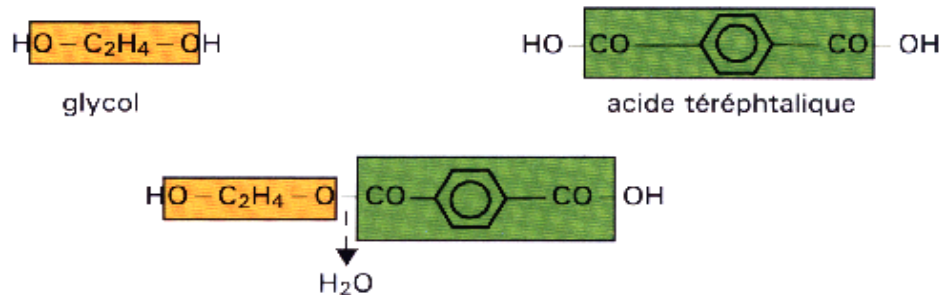


*Fig II-3 : La polyaddition*

#### II-4-2 La polycondensation :

Polycondensation ou la polymérisation par étapes, c'est une réaction qui a lieu sans amorçage entre les molécules de bases différentes, qui possèdent chacune au moins un groupe réactif. 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.

Exemple : le polyester



*Fig II-4 : La polycondensation*

#### II-5 La microstructure des polymères :

##### II-5-1 Les polymères amorphes :

Dans la structure amorphe, les macromolécules sont flexibles et disposées sans aucune règle, de façon aléatoire. Mais cela donne quelque chose d'assez homogène. En général, les polymères amorphes employés sans adjonction d'autres substances sont transparentes. C'est le cas par exemple des films de polyéthylène basse densité, des boîtiers en polyméthacrylate de méthyle, des bouteilles d'eau en polytéréphtalate d'éthylène (PET).

Mais le caractère de transparence n'est pas systématique, et inversement, il n'est pas systématiquement relié au caractère amorphe dans la matière.

### **II-5-2 Les polymères semi-cristallins :**

La structure cristalline n'est pas réservée au monde minéral. Elle est largement présente dans les polymères thermoplastiques, mais elle se révèle sous des aspects spécifiques aux polymères à cause de leurs longues molécules: les cristallites et les sphérolites. Le polyéthylène en est un bon exemple. Dans une cristallite de polyéthylène, les chaînes macromoléculaires linéaires non ramifiées sont repliées en accordéon. Les parties rectilignes des repliements s'ajustent les unes contre les autres en empilements réguliers, c'est la définition même d'un cristal. Sa particularité est qu'une direction d'empilement est concrétisée par la chaîne elle-même.

Cependant, ces cristaux ne sont pas parfaits. Cela ne veut pas dire qu'ils sont mauvais, mais qu'au regard de notre définition de l'ordre, ils souffrent de défauts aux règles. Par exemple, les chaînes ne sont pas parfaitement alignées et parallèles, ou bien pas vraiment collées les unes contre les autres. Il s'ensuit que les cristaux ne se développent qu'à des tailles très limitées, inférieures au micromètre. C'est ce qu'on nomme cristallites. Les matériaux en polyéthylène et autres thermoplastiques sont constitués de cristallites enrobés de matière amorphe, ils sont dits semi-cristallins.

### **II-6 Classification des plastiques :**

Les plastiques se classent en deux catégories : Les résines thermodurcissables et les résines thermoplastiques. Leur distinction se base sur la structure moléculaire des composantes et de leurs comportements à la chaleur.

#### **II-6-1 Les thermoplastiques (TP) :**

Sont produits par polymérisation qui signifie la transformation à partir de molécule de base identique qui s'effectue sous température et pression, on obtient un polymère dont le motif structural de molécule de base est répété plusieurs fois et qui se présente sous forme d'un réseau linéaire de macromolécule capable de recycler et conservent leur thermo-plasticité initiale. 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.

**II-6-2 Les thermodurcissables (TD) :**

Les thermodurcissables sont des plastiques qui prennent une forme définitive au premier refroidissement la réversibilité de forme est impossible car ils ne se ramollissent plus une fois moulés.

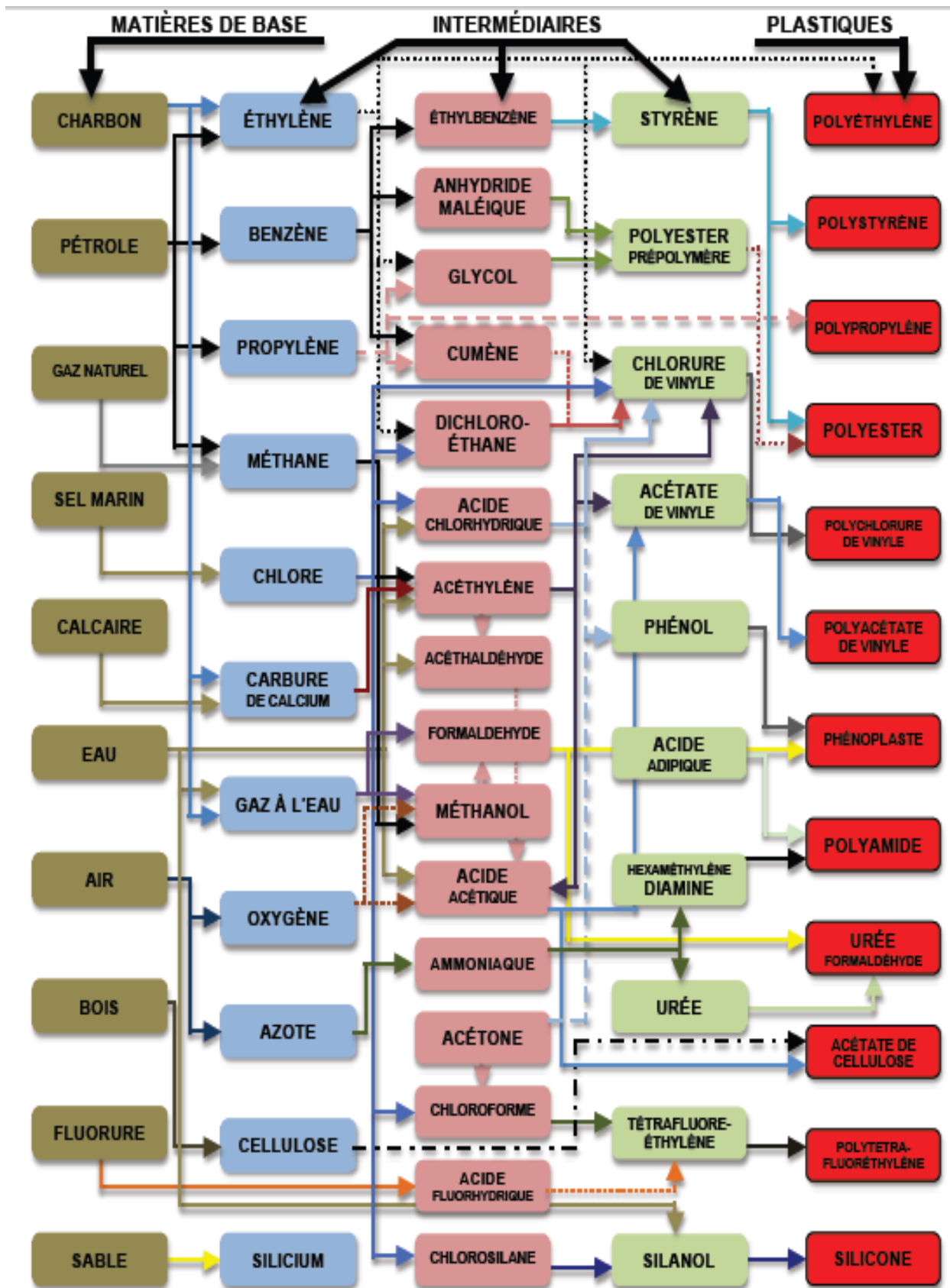
Sous de très fortes températures, ils se dégradent et se brûlent. Les molécules de ces polymères sont organisées en de longues chaînes dans lesquelles un plus grand nombre de liaisons chimiques solides et tridimensionnelles ne peuvent pas être rompues et se renforcent quand le plastique est chauffé.

La matière thermodurcissable garde toujours sa forme en raison de ces liaisons croisées et des pontages très résistants qui empêchent tout glissement entre les chaînes.

**II-6-3 Les élastomères :**

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

II-7 Schéma récapitulatif des matières de base et des principaux intermédiaires:



FigII-5 : Schéma récapitulatif des matières de base et des principaux intermédiaires

## II-8 Les types de polymères :


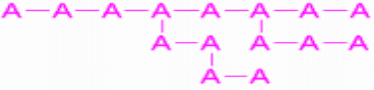

### II-8-1 Les homopolymères :

Les homopolymères sont des polymères qui ne possèdent qu'une seule unité. Nous citons comme exemple, le polyéthylène. Il existe, au sein des homopolymères, différents types.

#### II-8-1-1 Types d'homopolymères :

Les différents types d'homopolymères sont représentés dans le Tableau

*Tab II-1 : types d'homopolymères*

Types	Formes
Les homopolymères linéaires	
Les homopolymères branchés	
Les homopolymères étoilés	

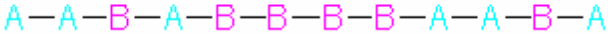


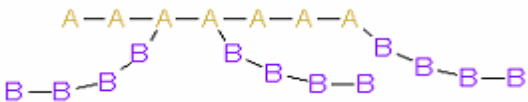
### II-8-2 Les copolymères :

Les copolymères sont des polymères qui possèdent plusieurs unités. Comme pour les homopolymères, les copolymères peuvent se classer dans différentes familles. On parle alors de modes de copolymères.

#### II-8-2-1 Types de copolymères :

A et B seront deux unités différentes du copolymère. Les modes sont résumés dans le Tableau

*Tab II-2 : Types de copolymères*

Mode	Formes
Le mode statistique	
Le mode alterné	
Le mode séquence	
Le mode greffé	

**II-9 Les propriétés et comportement des matières plastiques :**

Un polymère comme tout autre matériau, présente des performances et des qualités qui le rendent très utilisé dans pratiquement tous les domaines. Ces qualités permettent aux constructeurs de faire le choix du polymère à utiliser dans une structure donnée.

**II-9-1 Les propriétés mécaniques : [5]****II-9-1-1 Résistance à la traction :**

La résistance à la traction varie entre 10 et 80 MPa pour un plastique à l'état compact entre 200 et 800 MPa pour un plastique renforcé courant.

**II-9-1-2 Résistance à la compression :**

On atteint des valeurs de 50 à 100% plus élevées que la résistance à la traction.

**II-9-1-3 Elasticité :**

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

**II-9-1-4 Allongement :**

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

**II-9-2 Les propriétés chimiques :****II-9-2-1 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.

**II-9-2-2 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...

**II-9-2-3 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.

**II-9-3 Les propriétés thermique et physique : [6]****II-9-3-1 Inflammabilité :**

C'est le plus gros défaut reproché aux plastiques. Certains produits s'enflamment effectivement très vite et dégagent des fumées toxiques; d'autres ne brûlent que si la flamme est entretenue par une source extérieure et ne dégagent pas de gaz toxiques.

**II-9-3-2 Résistance au feu :**

Elle est déterminée par le temps pendant lequel un élément continue de jouer son rôle avant de céder sous l'action des flammes. Les matériaux sont classés en trois catégories:

**II-9-3-4 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.

**II-9-3-5 Isolation thermique :**

Ce sont des mousses de matières plastiques qui possèdent les plus bas coefficients de transmission de chaleur.

**II-9-3-6 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)

**II-9-3-7 Transparence :**

Certains plastiques sont presque aussi transparents que le verre. Beaucoup sont translucides (laissent passer la lumière, mais on ne peut voir à travers).

**II-9-3-8 Esthétique :**

Les couleurs sont variées. L'aspect lisse et fini du matériau donne un bel aspect aux objets.

**II-9-3-9 Entretien :**

Ils sont d'un entretien facile. Ils ne nécessitent aucun traitement de surface (peinture....). Ils résistent à la corrosion et certains attirent la poussière.

**II-9-3-10 Malléabilité :**

(Possibilité de leur donner une forme) La mise en oeuvre des thermoplastiques est aisée. Certains sont malléables à froid, d'autres le deviennent à une température de 60°C.

**II-10 Principales matières plastiques propriétés et utilisation :***Tab II-3 : Principales matières plastiques*

<b>Nom</b>	<b>Propriétés</b>	<b>Utilisation</b>
Polyéthylène (PE)	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 (PP)	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 (PS)	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 (PVC)	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.
Polytetrafluoréthylène (PTFE) ou téflon	Chimiquement inerte, anti-adhérent, imperméable à l'eau et aux graisses, excellente tenue à la chaleur et à la corrosion.	Prothèses orthopédie, et auditives, joints, garniture, pièces.
Polyméthylacrylate de méthyle (PMMA) ou plexiglas	Thermoplastique, transparent, excellente optique, bonne tenue au vieillissement et aux intempéries.	Matériau remplace le verre, enseignes lumineuses, vitrines, fibres optiques, prothèses.
Polyamides (PA) Exemple : Nylon	Thermoplastique, excellentes propriétés mécaniques, bonne tenue en température (100°C) résistant aux rayons X, aux carburants, imperméable aux odeurs et aux gaz.	Emballages de produits alimentaires mécanismes des compteurs d'alimentation en eau, gaz électricité canalisation, carburant, chaussures.

Silicones	Fluides, lubrifiantes, anti-adhérentes, faiblement toxiques	Fluides pour transformateurs électriques, mastique, moulages complexes, revêtements anti-adhérentes, vernis, cires, traitement de brûlures.
Résine urée formaldéhyde	Thermodurcissable, facile à mettre en forme	Verres organiques, vaisselle.
Polyesters	Thermodurcissable, transparent, propriétés mécaniques à haute température, propriétés électriques, résistant aux chocs, faciles à mettre en oeuvre	Textiles, emballages, bouteilles, interrupteurs, prises et fusibles pour circuits à haute tension, prothèses.
Phénoplaste	Thermodurcissable, grande dureté.	Utilisation en couche : vernis durcissables.

### II-11 Caractéristiques du Polystyrène(PS) :

Le polystyrène occupe la quatrième place derrière le Polyéthylène, le Polychlorure de vinyle et le Polypropylène. C'est un polymère dur, cassant, transparent et résistant aux agents chimiques. La première fabrication du polystyrène a été faite par Simon en 1839, mais le mécanisme de formation n'a été découvert jusqu'au vingtième siècle.

Le polystyrène est un polymère vinylique, il est constitué d'une longue chaîne d'hydrocarbures, avec un groupe phényle attaché sur certains atomes de carbone.

#### II-11-1 Synthèse du polystyrène :

Le styrène,  $C_6H_5CH=CH_2$ , est le monomère principal des polymères styréniques. Il est préparé à partir de l'éthylène et du benzène qui se combinent en éthylbenzène, lequel est déshydrogéné ou soumis à un cracking pour obtenir le styrène.

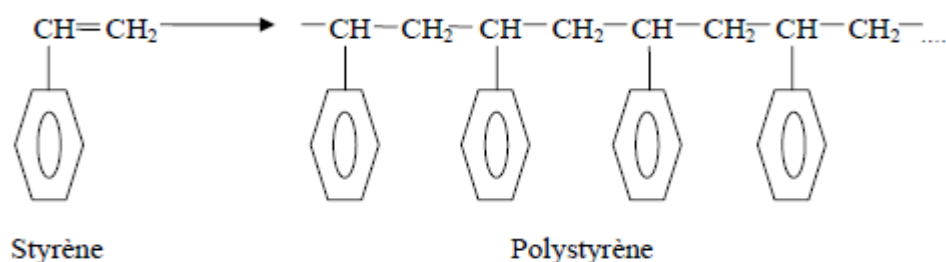
La polymérisation radicalaire du styrène seul donne un homopolymère, le polystyrène standard cristal, produit amorphe, atactique, transparent et cassant. La polymérisation à catalyse métallocène conduit à un polystyrène syndiotactique, produit opaque à structure cristalline, ayant de hautes performances techniques mais beaucoup plus cher que le PS standard.

Du fait de la compatibilité du styrène avec de nombreux monomères et polymères a permis le développement d'une famille variée de polymères styréniques avec des propriétés différentes allant du transparent à l'opaque, du cassant au résistant aux chocs, du rigide à l'élastomérique, une meilleure tenue thermique, etc.

On distingue, selon la composition du polymère les deux grandes classes de polystyrène :

- le polystyrène standard (cristal).
- le polystyrène choc.

### Structure chimique :



### II-11-2 Choix du matériau :

Le choix du matériau dépendra des connaissances suivantes :

**II-11-2-1 son mode de transformation :** le produit doit être adapté à la technique de mise en œuvre. Cette dernière fait passer le matériau granule à l'état fondu pour ensuite lui donner les formes de l'objet fini. La science de l'écoulement, rhéologie, permet de connaître les propriétés d'aptitude à la mise en œuvre en fonction de la température de travail et des sollicitations mécaniques que subit le produit.

**II-11-2-2 son usage final :** selon les conditions d'usage de la pièce finie, on devra connaître :

- la résistance mécanique.
- la résistance thermique.
- la résistance aux agents de vieillissement.
- la tenue aux agents corrosifs.

### II-11-3 Propriétés du polystyrène cristal :

Le polystyrène est l'un des polymères les plus importants aujourd'hui, sa popularité provient du fait qu'il possède beaucoup des bonnes propriétés :

**Tab II-4 : Propriétés du polystyrène cristal**

<b>Rhéologiques</b>	<b>Méthode</b>	<b>Valeur</b>	<b>Unité</b>
Indice de fluidité (200°C-5kg)	ISO 1133 H	20	g/10mn
<b>Thermiques</b>			
Température Vicat 10N (Montée en T = 50°C/h)	ISO 306A50	90	°C
Température Vicat 50N (Montée en T = 50°C/h)	ISO 306B50	85	°C
Température de fléchissement sous charge 1.8 MPa non recuit	ISO 75-2A	72	°C
Température de fléchissement sous charge 1.8 MPa recuit	ISO 75-2A	81	°C
Coefficient de dilatation linéaire		7.10 E-5	mm/°C
<b>Mécaniques</b>			
Choc Charpy non entaillé	ISO 179/1eA	8	KJ/m <sup>2</sup>
Contrainte de traction à la rupture	ISO 527-2	42	MPa
Allongement à la rupture	ISO 527-2	2	%
Module d'élasticité en traction	ISO 527-2	3100	MPa
Module d'élasticité en flexion	ISO 178	2900	MPa
Dureté Rockwell	ISO 2039-2	L 70	
<b>Electriques</b>			
Rigidité Diélectrique		135	kV/mm
Résistivité superficielle	ISO IEC 93	>10 E+14	Ohms
<b>Divers</b>			
Densité	ISO 1183	1.05	g/cm <sup>3</sup>
Retrait au moulage		0.4-0.7	%
Absorption d'eau	ISO 62	<0.1	%

**II-11-4 Caractéristiques technologiques du PS cristal:****Tab II-5 : Caractéristiques technologiques du PS cristal.**

Usinabilité	Bon
Moulage	Facile
Transmission de lumière	Mauvais
Résistance aux chocs	Faible
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

**II-11-5 Conditions de mise en œuvre des PS :**

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

*Tab II-6: Conditions de mise en œuvre des PS*

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)	190-210
Vitesse d'injection (m/s)	Maximale
Préchauffe (C°)	70-80
Dispositions supplémentaires	Parfois étuvage

**II-11-6 Avantages et inconvénients Polystyrène (PS) :**

*Tab II-7 : Avantages et inconvénients du polystyrène*

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
Mise en œuvre facile. Grande cadence de production. Transparence cristal. Prix intéressant. Collage et soudure faciles. Alimentation. Peut se coller. Etat de surface correcte.	Faible résistance aux chocs. Electrostatique. Soluble aux hydrocarbures. Jaunissement à la lumière. Combustion facile.

**II-11-7 Applications :**

Boîtes et étuis divers, articles de bureaux, fournitures scolaires, papeterie (dévidoirs ruban adhésif), corps de stylos, mélanges maîtres, bacs pour réfrigérateurs, articles de pêche, Verres en plastique, jouets, plaxage pour objets divers.

**II-12 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons étudié les différentes propriétés des polymères pour bien choisir le type qui répond à notre exigence. Comme nous avons aussi spécifié dans ce chapitre la connaissance des caractéristiques de PS cristal notamment le choix de la matière qui conviendra à notre pièce.

*Procédé de mise en  
Oeuvre des matières  
plastiques*

### **III 1. Introduction :**

Les techniques de transformation des plastiques dépendent de la destination des produits finis et de la nature des matières plastiques.

Quelques méthodes sont régulièrement utilisées pour la fabrication des pièces et des objets en polymère.

Les principaux procédés de fabrication industrielle sont :

L'injection, l'injection soufflage, l'extrusion, le thermoformage, le calandrage, moulage par rotation, la compression et d'autres techniques sont rarement utilisées comme l'enduction, l'enroulement filamentaire, la pultrusion et le moulage par réaction.

La technique de transformation est choisie en fonction du produit à obtenir.

La nature du matériau à mettre en œuvre détermine aussi le procédé :

- ✘ Les thermoplastiques
- ✘ Les thermodurcissables
- ✘ Les mousses
- ✘ Les composites

Le produit de base est le plus souvent sous forme de granulats

III-2 LA MISE EN OEUVRE DES THERMOPLASTIQUES : [12]

Il existe plusieurs procédés de mise en forme des thermoplastiques, Parmi les réponsus dans le domaine industriel, on distingue :

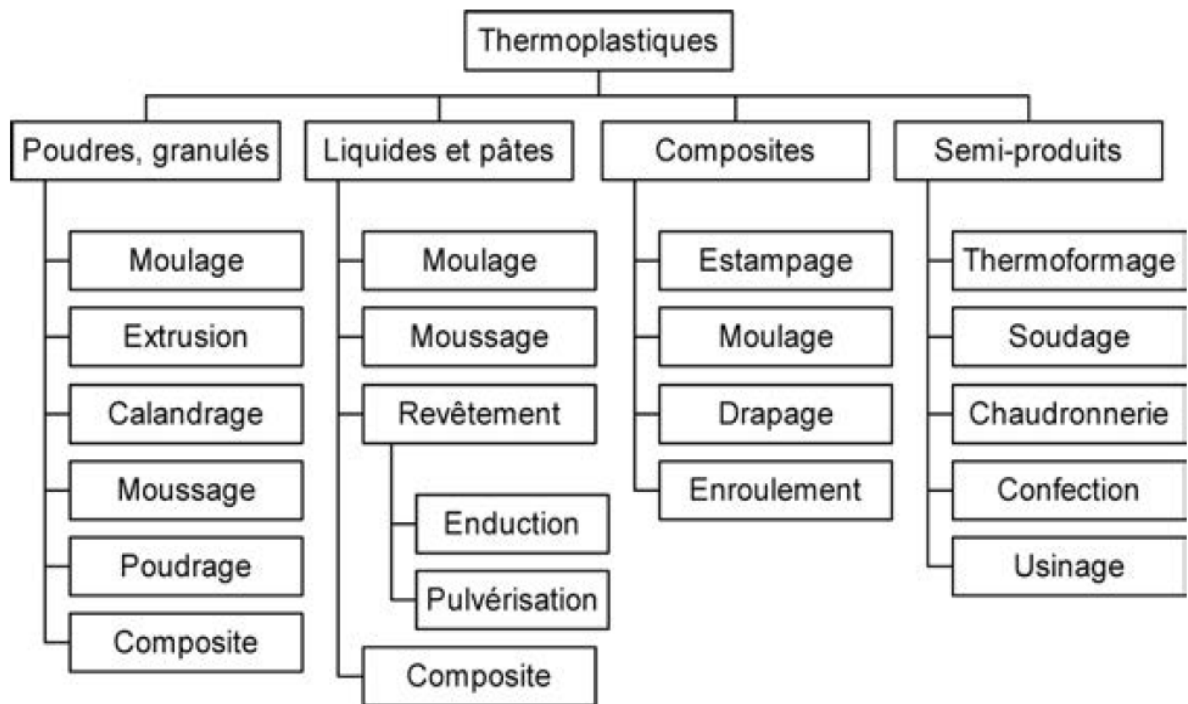


Fig-III-1; schéma de mise en œuvre du thermoplastique

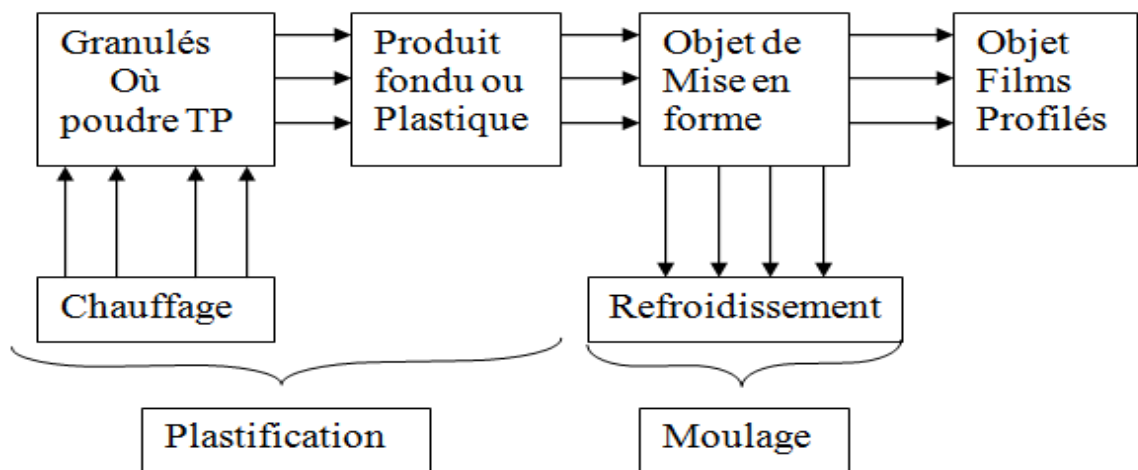


Fig-III-2; Principe de mise en œuvre du thermoplastique

III-2 -1 L'extrusion :

• Principe

Ce procédé consiste à introduire le plastique sous forme de poudre ou de granulés dans un cylindre chauffant à l'intérieur duquel il est Poussé par une vis sans fin. En avançant, la matière ramollit, se comprime, puis passe à travers une filière qui lui donne la forme souhaitée.

Cette technique est utilisée en plasturgie pour 40% du tonnage des polymères thermoplastiques.

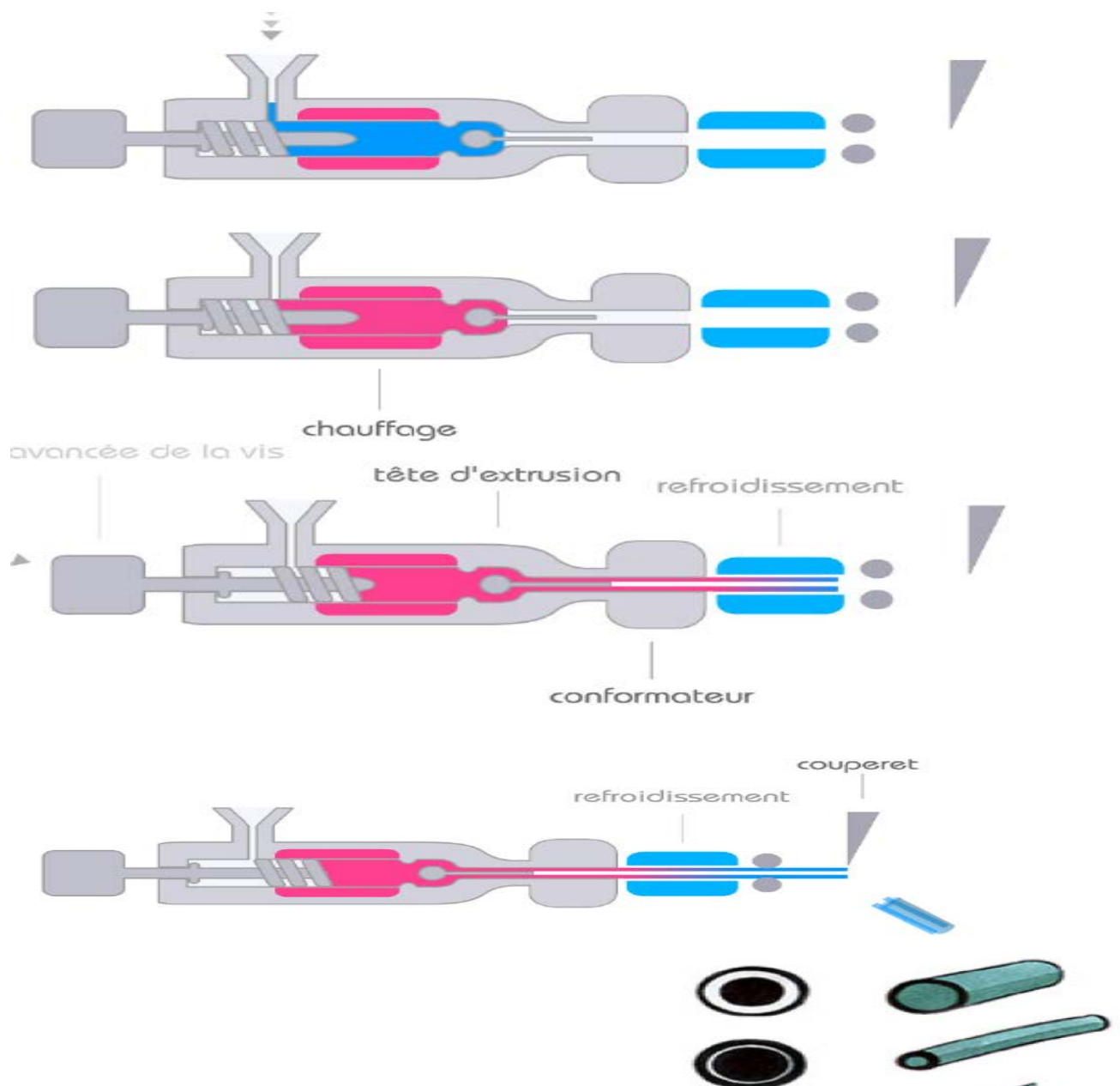


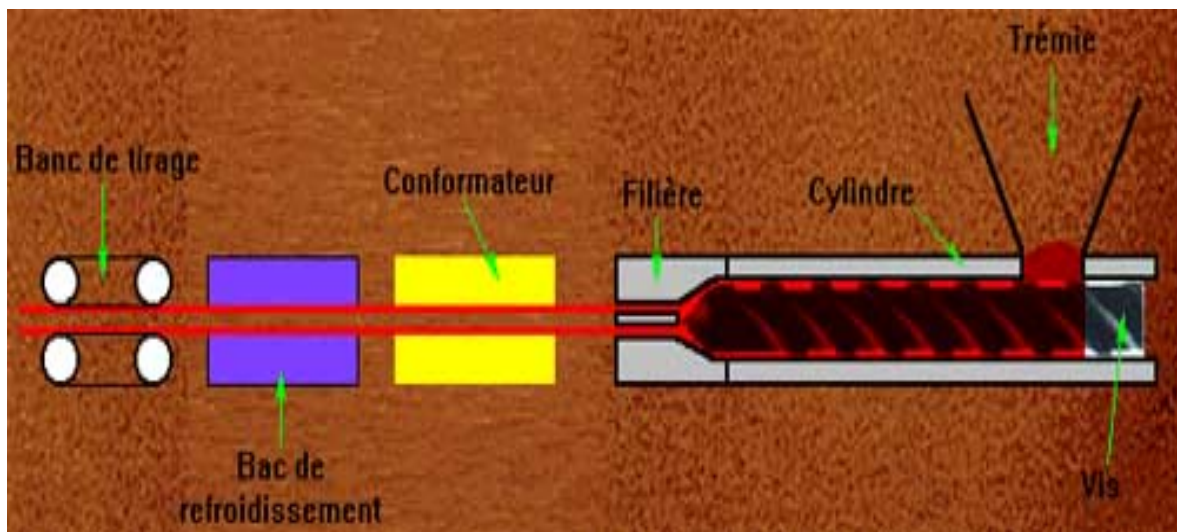
Fig-III-3; Procédé de mise en œuvre par extrusion.

- **Equipement**

Une extrudeuse se compose d'un fourreau cylindrique chauffé dans lequel tourne une vis qui pousse à travers une filière de façon continue le polymère ramolli.

Au bout de la vis est souvent placée une grille qui a pour but de retenir les corps étrangers et d'exercer une contrepression améliorant ainsi la plastification.

En aval de la vis se trouve la tête d'extrusion qui récupère la matière plastifiée (boudin) et la conduit à la filière qui lui donnera sa forme définitive



*Fig-III-4; Schéma d'une Extrudeuse*

### III-2 -2 L'extrusion soufflage :

Cette technique permet de préparer des corps creux sans utiliser de moule pour réaliser la forme intérieure.

L'extrudeuse, généralement munie d'une tête d'équerre produit la paraison. Cette paraison est transférée dans un moule.

A la fermeture du moule, l'une de ses extrémités se soude sur elle-même et l'autre s'appuie sur un dispositif de soufflage qui injecte de l'air comprimé dans la paraison et la plaque sur les parois du moule où elle vient se refroidir.

La production de pièces en soufflage s'adapte souvent à une production de très grande série : flacons, bidons, bouteilles d'eau minérale, réservoirs automobile (la plupart des contenants de grande consommation sont des produits de soufflage).

- **Avantages :**

- ✗ Prix des pièces peu élevé ;
- ✗ Temps de cycle très court ;
- ✗ Possibilité de contre-dépouilles et de formes gauches ;
- ✗ Possibilité de renfort des pièces en utilisant une double épaisseur mais pas de possibilité de nervurage important.

- **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 roto moulage.

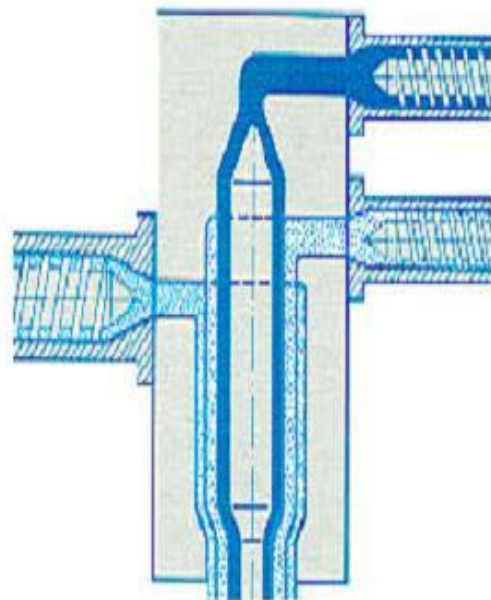
- **Autre procédé d'extrusion soufflage :**

L'extrusion- soufflage peut se faire par une extrusion multicouche dont le principe est :

➔ **Plastification de différents matériaux dans différentes extrudeuses**

➔ **Combinaison des différentes couches dans la tête de coextrusion**

- Paraison multicouche
- Combinaison des propriétés des différents matériaux



*Fig-III-5 ; Procédé d'extrusions multicouche.*

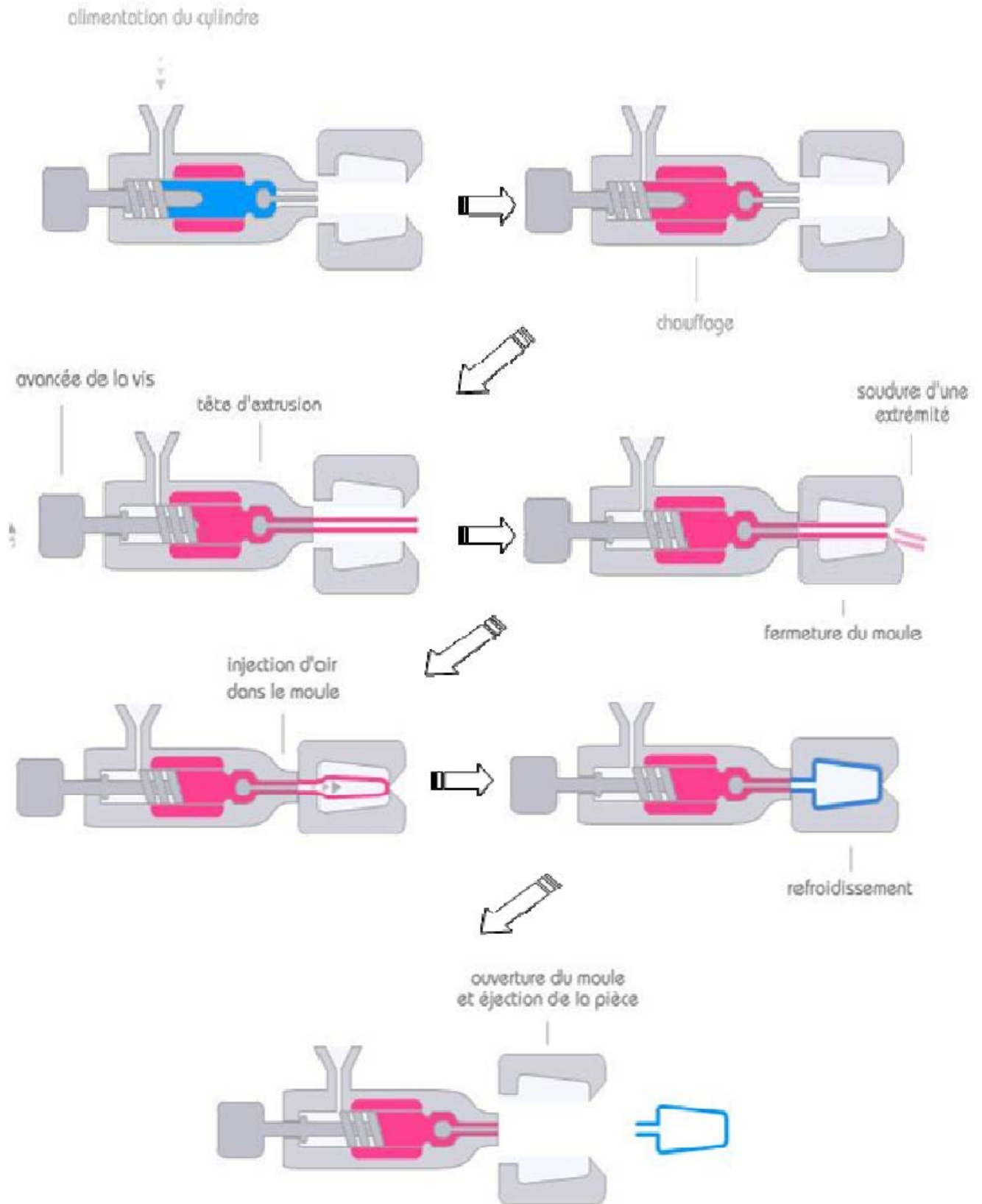
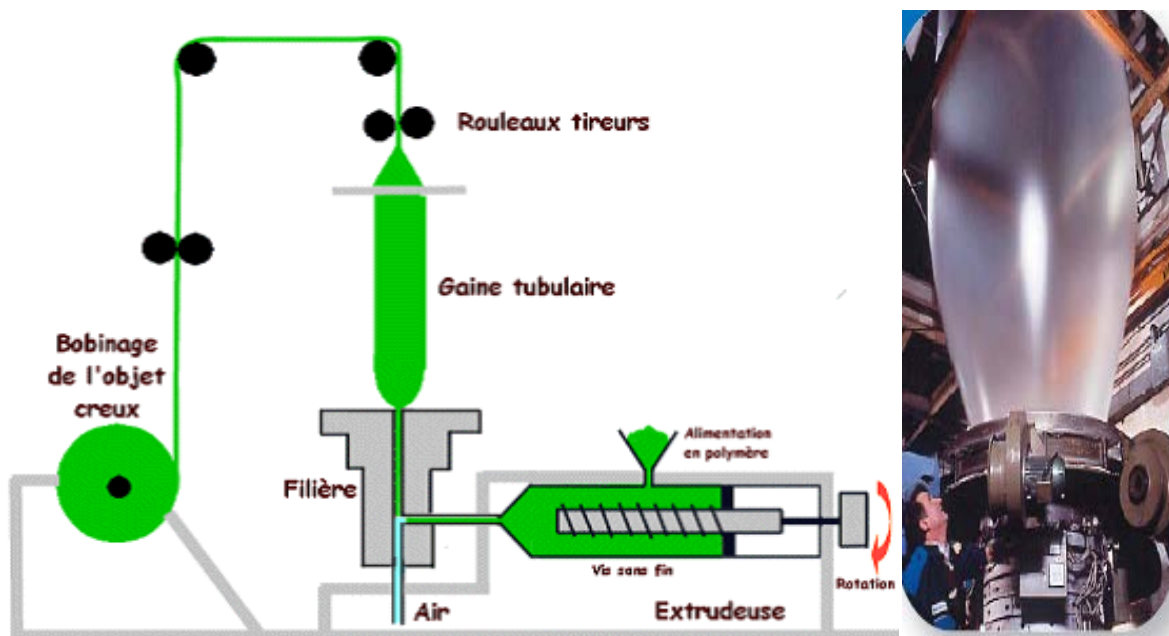


Fig-III-6; Procédé d'extrusion soufflage.

**III-2 -3 L'extrusion gonflage :**

C'est une variante de l'extrusion qui permet de fabriquer des films plastiques. Ce procédé consiste à la sortie de l'extrudeuse de dilater avec de l'air comprimé une gaine polymère précédemment formée.

La sortie de l'extrudeuse est verticale, on souffle de l'air comprimé dans la matière fondue qui se gonfle et s'élève verticalement en une longue bulle de film. Après refroidissement, des rouleaux aplatissent le film en une gaine plane qui s'enroule sur des bobines. On fabrique ainsi des films utilisés dans la fabrication d'emballages, de sacs-poubelles, de sacs de congélation, des poches médicales pour perfusion et des feuilles souples et fines de revêtements pour serres horticoles.



*Fig-III-7; Schéma de principe du moulage par extrusion gonflage*

### **III-2 -4 L'injection ;**

L'injection permet d'obtenir en une seule opération des pièces finies, de formes complexes, allant de quelques grammes à plusieurs kilogrammes.

La matière plastique sous forme de granulés est fondue puis malaxée par une vis tournant dans un cylindre chauffé, qui l'introduit sous pression dans un moule. La matière se fige puis est éjectée du moule qui donne sa forme et sa précision à la pièce ainsi réalisée.

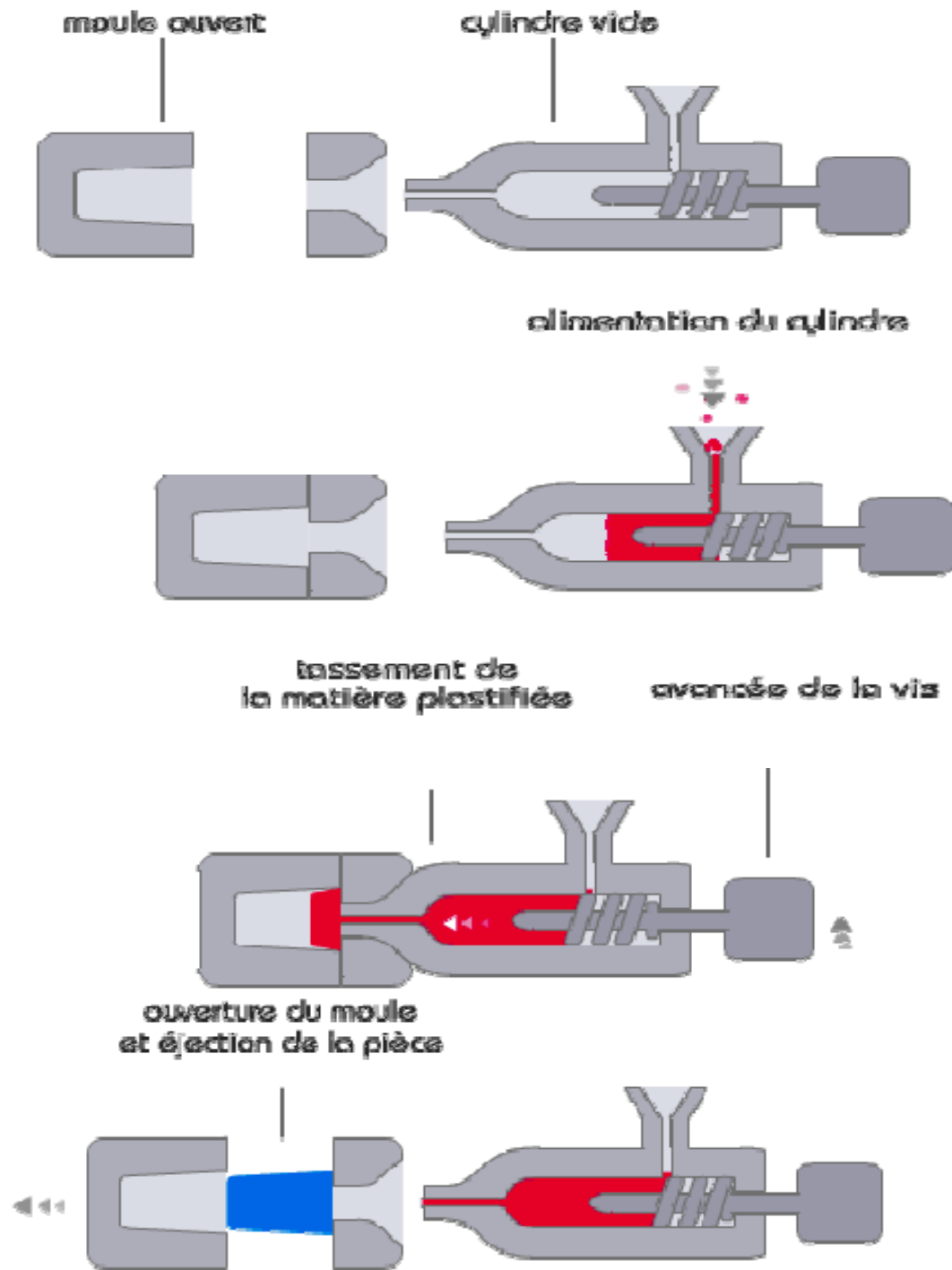
L'injection est destinée aux grandes séries (grande cadence de production) pour des produits d'une finition très précise.

- **Avantages :**

- ✗ Grande capacité de production ;
- ✗ Procédé totalement automatisable ;
- ✗ Pièces utilisables à la sortie des presses ;
- ✗ Belle finition des pièces et variété de couleur impressionnante ;
- ✗ Précision intéressante selon le choix de la matière ;
- ✗ Productivité très intéressante.

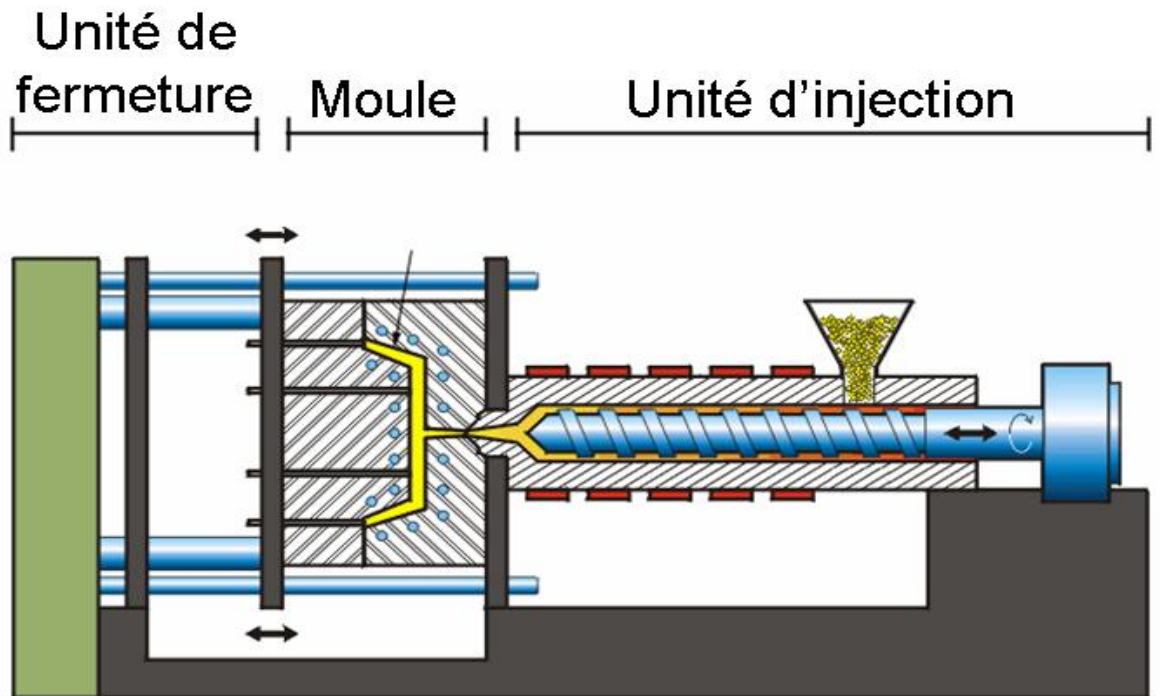
- **Inconvénients :**

- ✗ Prix élevé des outillages.



*Fig-III-8; Procédé de moulage par injection*

Ce procédé nécessite l'utilisation d'une machine dite presses à injecter. Cette machine comprend essentiellement deux unités fonctionnelles, une unité de plastification et une autre de fermeture ou est fixé le moule. C'est ces deux unités qui nous intéressent durant le déroulement de notre étude.



*Fig-III-9; Schéma de principe d'une vis d'injection*

### III-2 -5 L'injection soufflage :

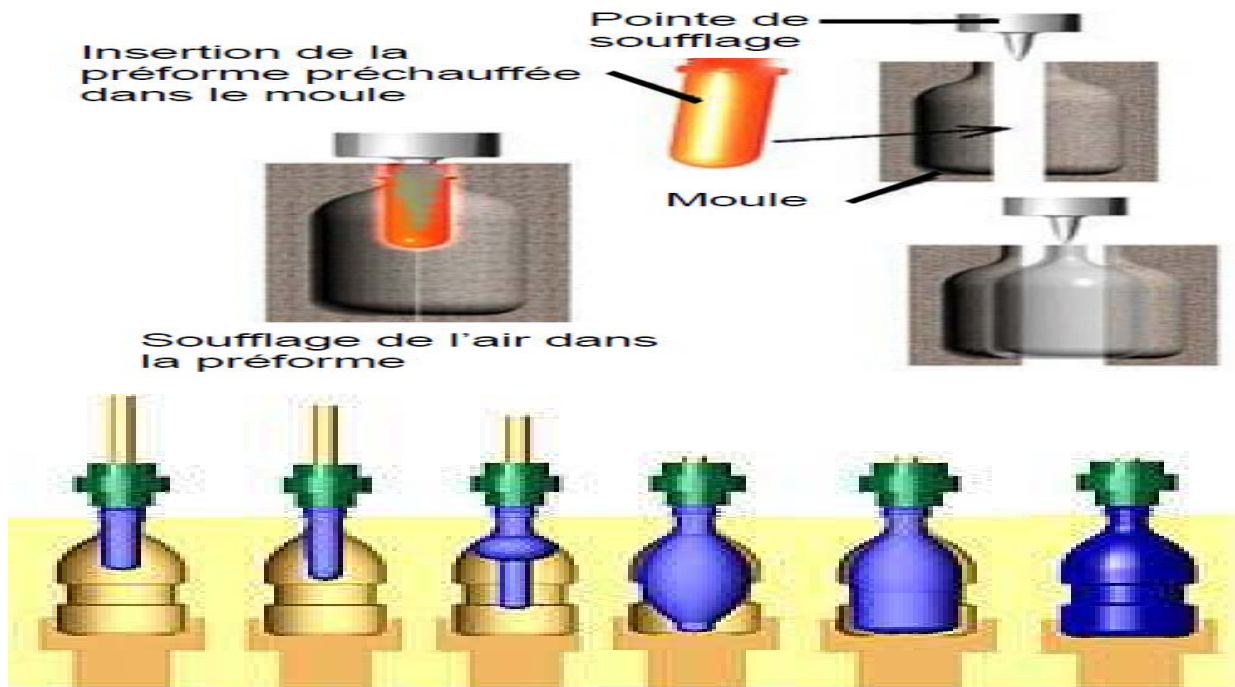
Le procédé d'injection soufflage comporte trois étapes. La première consiste à produire une préforme à partir d'une machine à injection.

La préforme obtenue, souvent en forme d'un tube à essai avec une tête filetée, subit un traitement thermique préalable à l'opération de soufflage.

La deuxième étape consiste à souffler cette dernière jusqu'à prendre la forme de l'empreinte du moule.

L'ouverture du moule et l'éjection du produit final constitueraient la troisième et dernière étape.

Les principaux avantages de l'injection soufflage sont l'inexistence de déchets, une meilleure finition du produit et un meilleur contrôle de l'épaisseur. Cependant, son coût est plus élevé que celui de l'extrusion soufflage.



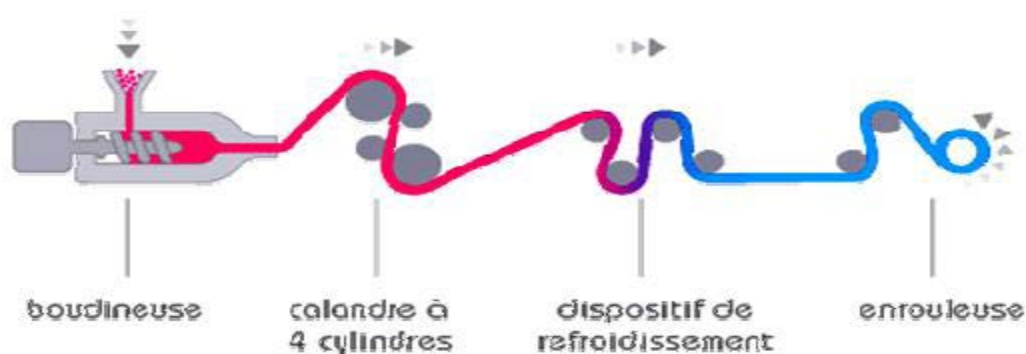
*Fig-III-10: Injection soufflage*

### III-2 -6 Le calandrage :

Ce procédé consiste à fabriquer en continu de plaques ou de films par laminage de résines entre un jeu de cylindres chauffant. La matière première additionnée de charges, subit un malaxage, un mélangeage et un préchauffage.

La masse gélifiée est introduite entre les deux premiers cylindres qui l'entraînent, l'écrasent et l'aplatissent pour la faire passer entre les cylindres suivants, dont l'écartement est de plus en plus faible.

A la sortie du dernier cylindre, la feuille passe sur une série de tambours refroidisseurs. Après découpe des lisières, la feuille est enroulée sur des bobines (films) ou découpée (plaques).



*Fig-III-11; Principe de calandrage*

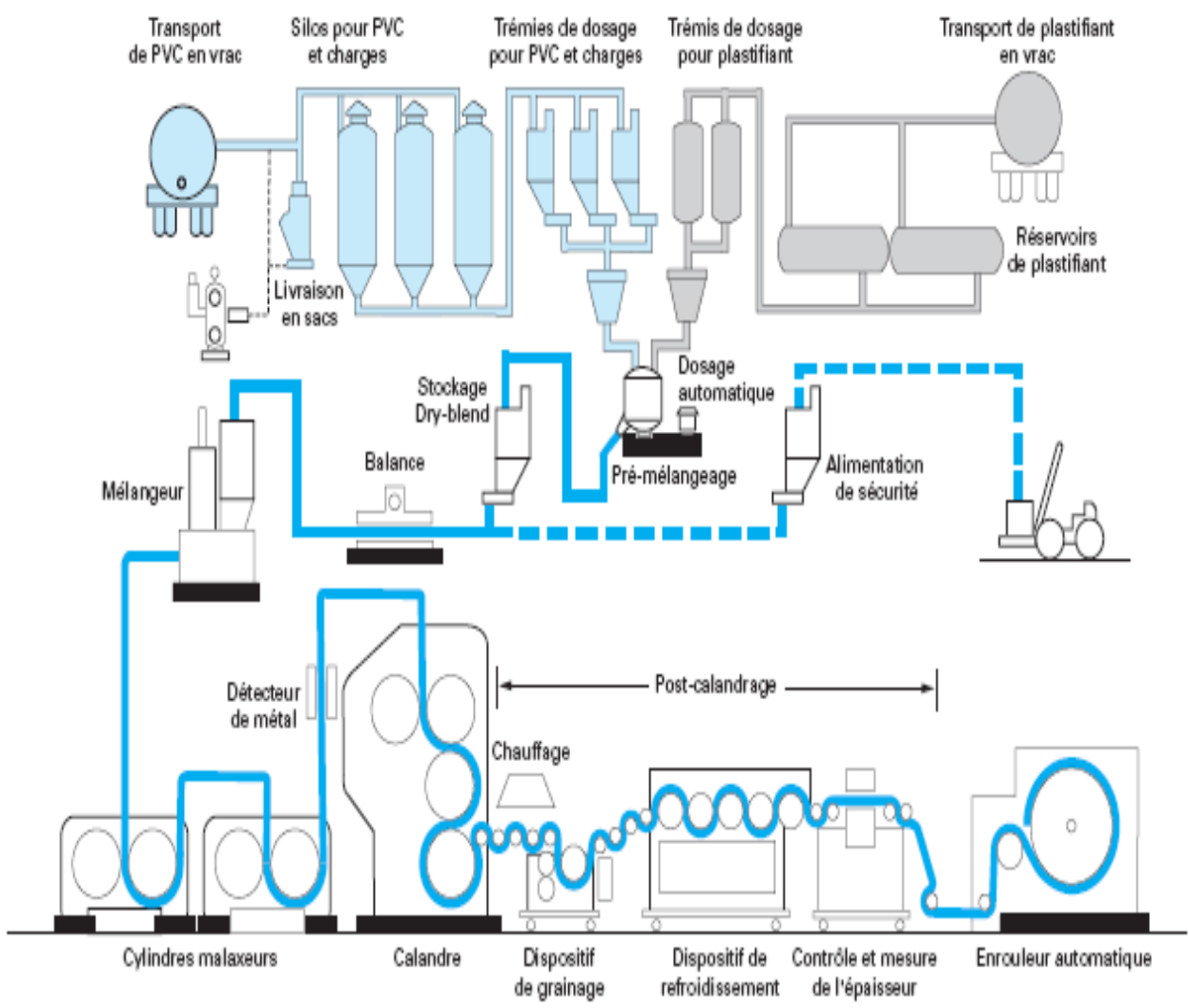
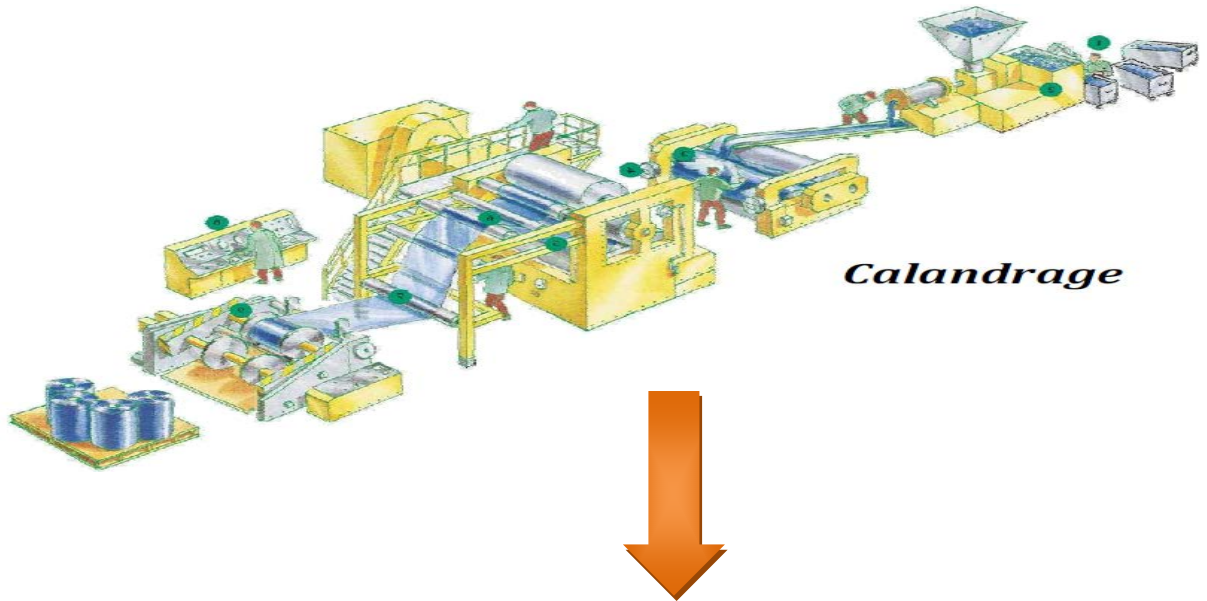


Fig-III-12; Vue générale d'une ligne de calandrage

### **III-2 -7 Le rotomoulage :**

Procédé permettant de produire des corps creux de toutes dimensions.

La matière thermoplastique généralement en poudre est introduite dans le moule fermé. L'ensemble est mis en rotation puis chauffé.

La matière fluide se répartie sur toute la surface et couvre la totalité de l'empreinte. Par refroidissement du moule, la matière gélifiée se fixe et donne après démoulage le corps creux fermé. Les pièces ainsi préparées ne présentent pas de soudure et ont de bonnes propriétés mécaniques.

Le rotomoulage est utilisé généralement pour la fabrication de bacs, cuves, citernes, planches à voile, jouets.



*Fig-III-13; Moule + poudre de polymère rotomoulée avant fermeture*



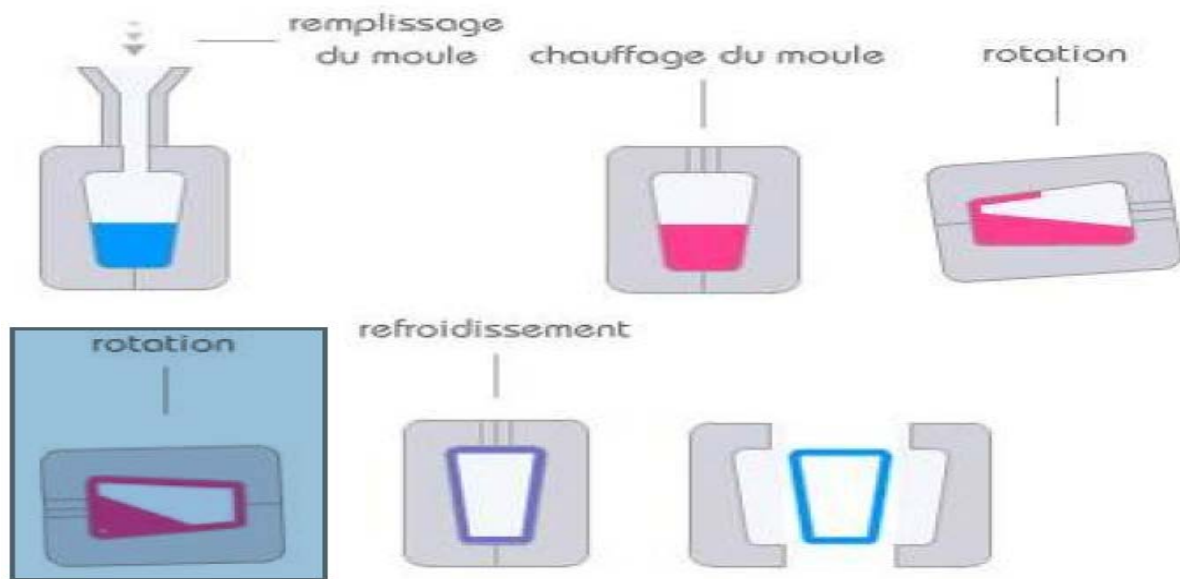
*Fig-III-14: Citerne*

- **Avantages :**

- ✗ Prix des moules et des pièces peu élevés

- **Inconvénients :**

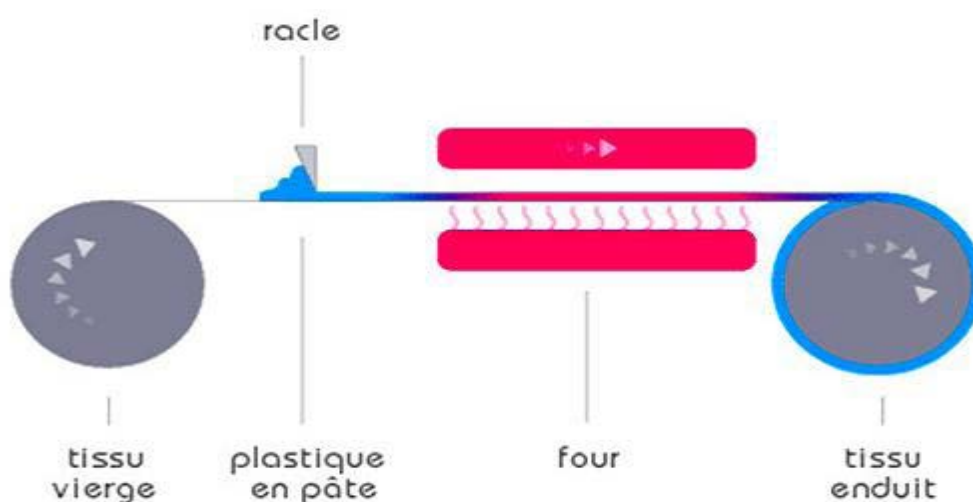
- ✗ Temps de cycle relativement longs
- ✗ Pas de bons états de surface en évolution
- ✗ Les pièces doivent être de formes simples



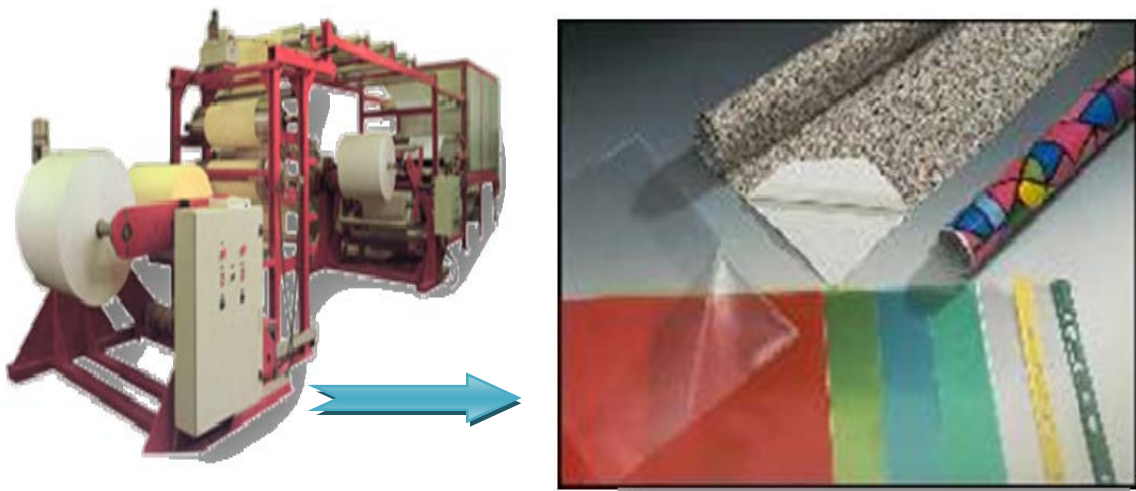
*Fig-III-15; Procédé de Le rotomoulage :*

### III-2 -8 L'enduction :

Cette technique consiste à imprégner superficiellement un support avec une matière plastique sous forme de pâte. On dépose le polymère sur le support à l'aide d'un rouleau enducteur puis on égalise l'épaisseur en faisant défiler le support enduit sous une lame métallique. On peut procéder à plusieurs enductions successives pour obtenir des effets variés : couche protectrice puis couche d'aspect, par exemple : Les applications type de ce procédé sont les tissus enduits pour sièges auto, les vêtements, les chaussures, l'ameublement, la toile cirée...



*Fig-III-16; procédé de la technique d'enduction*



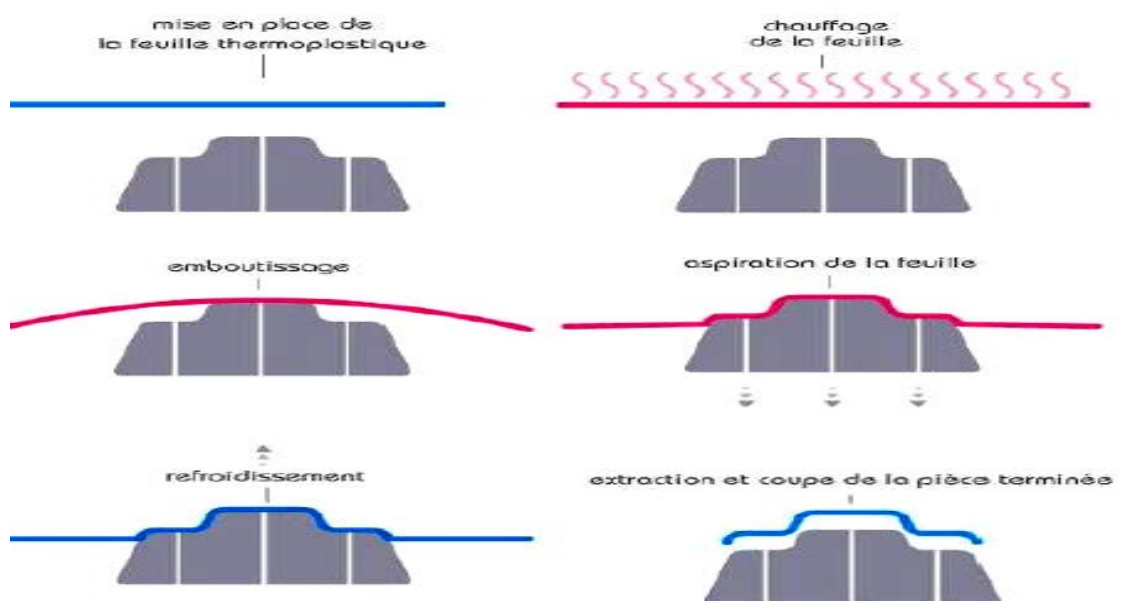
*Fig-III-17; Des produits obtenus par enduction*

### III-2 -9 Le thermoformage :

Le thermoformage est réservé au traitement à chaud des demi-produits rigides en plaques et feuilles, permettant de leur donner une forme définie qu'elles conservent après refroidissement.

Le thermoformage se déroule selon les phases suivantes :

- Chauffage de la matière ;
- Retrait des chauffes puis élévation du moule ;
- Mise en forme de la matière sur le moule (par le vide, sous pression...)
- Refroidissement (la pièce reste sur le moule) ;
- Démoulage et évacuation de la pièce.

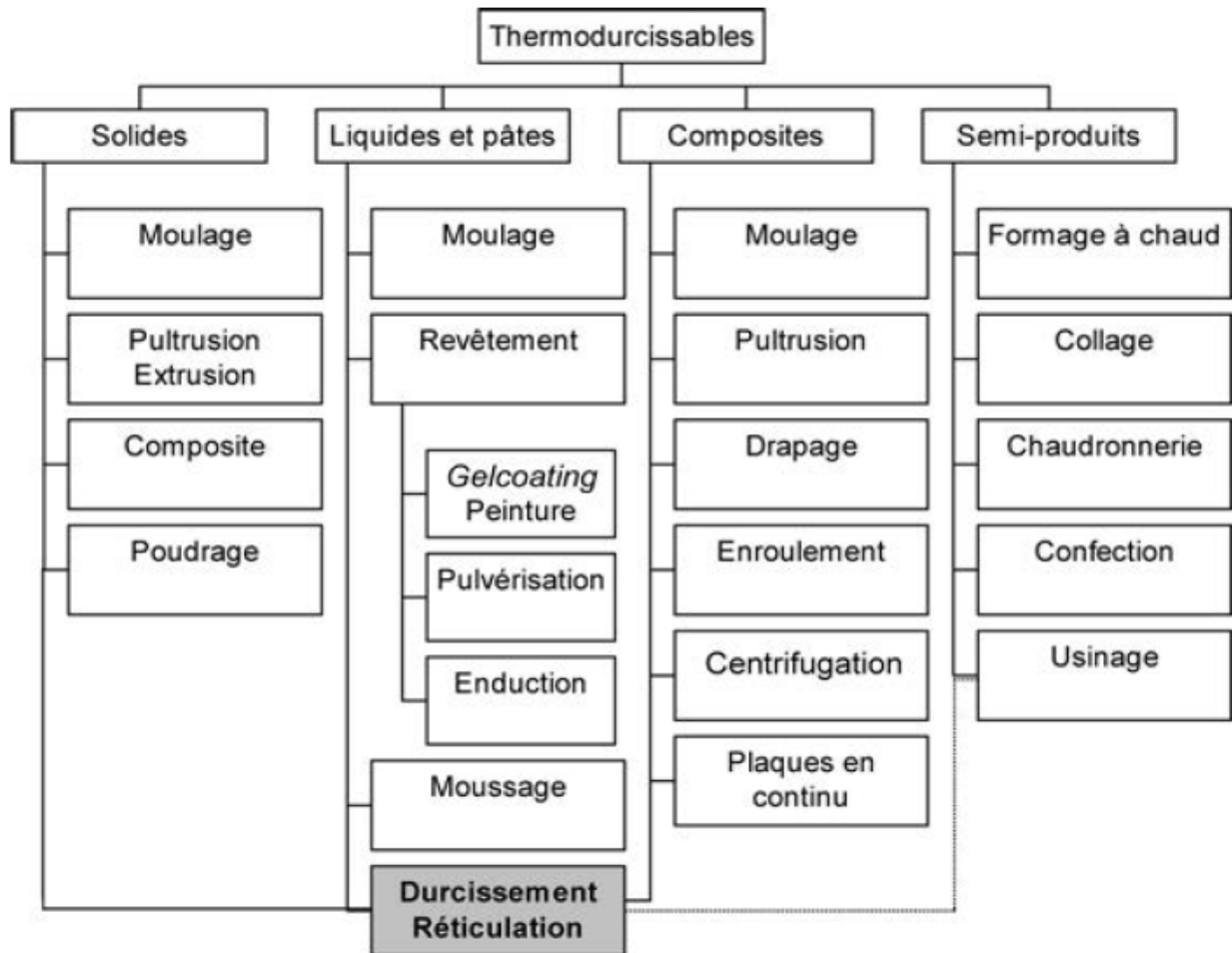


*Fig-III-18; procédé de moulage par thermoformage.*

Principales techniques de transformation	
<b>INJECTION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pièces pour l'automobile</li> <li>- Pièces électriques et électroniques</li> <li>- Pièces pour l'électroménager</li> <li>- Téléphonie</li> <li>- Poubelles</li> <li>- Seringues</li> <li>- Jouets</li> <li>- Capots</li> <li>- Couvercles</li> <li>- Engrenages</li> <li>- Carters</li> <li>- Raccords pour canalisations</li> <li>- Aéronautique...</li> </ul>
<b>INJECTION SOUFLAGE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bouteilles</li> <li>- Flacons</li> <li>- Pots</li> <li>- Fûts</li> <li>- Réservoirs de carburant</li> <li>- Jerricans</li> <li>- Fosses septiques</li> <li>- Filtres épurateurs</li> <li>- Citernes agricoles et industrielles.</li> </ul>
<b>EXTRUSION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tubes</li> <li>- Profilés pour : <ul style="list-style-type: none"> <li>huisseries</li> <li>menuiseries</li> <li>fermetures</li> <li>décorations</li> <li>enjolveurs</li> </ul> </li> <li>- Plaques de couverture et de bardage</li> <li>- Joints</li> <li>- Feuilles pour thermoformage...</li> </ul>
<b>EXTRUSION GONFLAGE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gaines minces</li> <li>- Films pour serres, sacs poubelles, cabas, sacs de congélation, sacs à bretelles, sacs à cordonnets...</li> </ul>
<b>EXTRUSION SOUFLAGE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bouteilles</li> <li>- Bidons</li> <li>- Corps creux...</li> </ul>
<b>ROTOMOULAGE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuves, containers, réservoirs, fosses septiques, planches à voile, ballons, revêtements internes des corps creux...</li> </ul>
<b>CALANDRAGE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revêtements de sols et de murs</li> <li>- Nappes, ameublement, maroquinerie, articles gonflables...</li> </ul>
<b>THERMOFORMAGE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Barquettes (alimentaires)</li> <li>- Cuves de réfrigérateur</li> <li>- Baignoires</li> <li>- Coques de bateaux</li> <li>- Silos, trémies, couvercles, carters</li> <li>- Boîtiers, capots, enseignes publicitaires...</li> </ul>
<b>EXPANSION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plastiques alvéolaires pour l'isolation des bâtiments et équipements frigorifiques, emballages, cerclages, décors de théâtre, télévision et cinéma...</li> </ul>
<b>CHAUDRONNERIE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuves, citernes, tuyauterie industrielle, ventilateurs</li> <li>- Équipements des traitements des gaz, d'épuration de l'air...</li> </ul>
<b>COMPRESSION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lamifiés décoratifs, plateaux</li> <li>- Interrupteurs, contacteurs, circuits imprimés</li> <li>- Joints, couvercles, vaisselles</li> <li>- Éléments de carrosserie et de protection automobile...</li> </ul>
<b>COMPOSITES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuves, citernes, silos</li> <li>- Canalisations, bateaux, éléments de carrosserie</li> <li>- Plaques de couverture et de bardage...</li> </ul>

Fig-III-19; des produits obtenus par différents procédés de mise en œuvre[11]

## III-3- LA MISE EN OEUVRE DES THERMODURCISSABLES:[12]

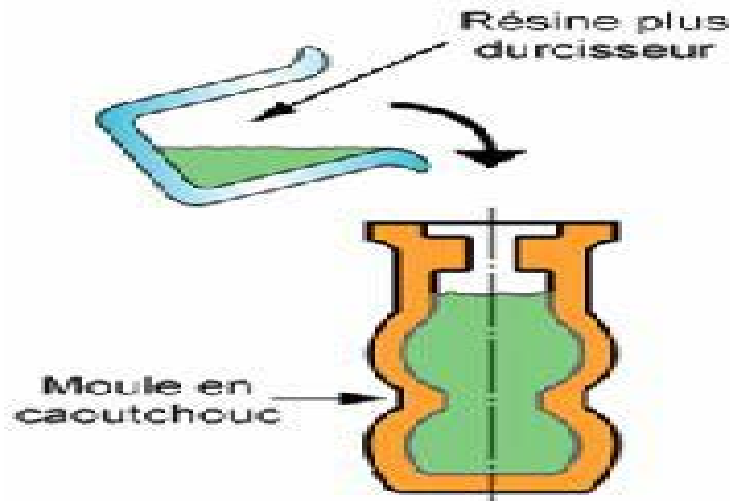


*Fig-III-20; schéma de mise en œuvre du thermoplastique*

### III-3-1 La coulée :

Plusieurs résines sont suffisamment fluides avant polymérisation pour être coulées, c'est-à-dire versées dans un moule de forme sans appliquer de pression. La plupart des thermodurcissables peuvent être coulés. Un retrait considérable se produit, pouvant atteindre 21% et il faut en tenir compte lorsque l'on conçoit des moules pour la coulée.

L'utilisation de sirops de polymère avec du monomère fabriqués en interrompant la polymérisation permet de contrôler la température et le retrait.



*Fig-III-21; technique de la coulée.*

- **Utilisations typiques :**

On utilise la coulée pour fabriquer des godets de chaînes élévatrices, grands engrenages, feuilles, tuyaux, encapsulation en électronique, barreaux, balles de bowling, outillage en époxy.

Pour les tuyaux, les citernes et les récipients On peut utiliser la coulée centrifuge.

- **Les données économiques :**

L'outillage nécessaire est bon marché ; on peut faire des moules rigides (métal ou époxy) ou flexibles (élastomère). Pour les petits outillages, le prix est en dessous de 100 € pour les grands outillages, il est de quelques milliers d'euros.

- **c. L'environnement :**

La plupart des polymères émettent des vapeurs pendant la réticulation  
Une ventilation adéquate est importante.

### III-3-2 L'injection :

Ce procédé appliqué au thermodurcissable est le même que pour l'injection des thermoplastiques, à quelques différences près :

- ✗ on doit chauffer le moule de manière à réticuler le polymère ;
- ✗ on doit prendre un grand soin en fin de processus, pour purger et nettoyer l'ensemble du système d'injection.

### III-4 LA MISE EN OEUVRE DES MATERIAUX COMPOSITES :[12

#### III-4 -1 La Compression :

C'est le même procédé que celui utilisé pour les thermodurcissables, sauf que dans le cas présent on vient compresser des composés pré-imprégnés en pâte BMC ou en feuille SMC (Bulk /Sheet Molding Compound).

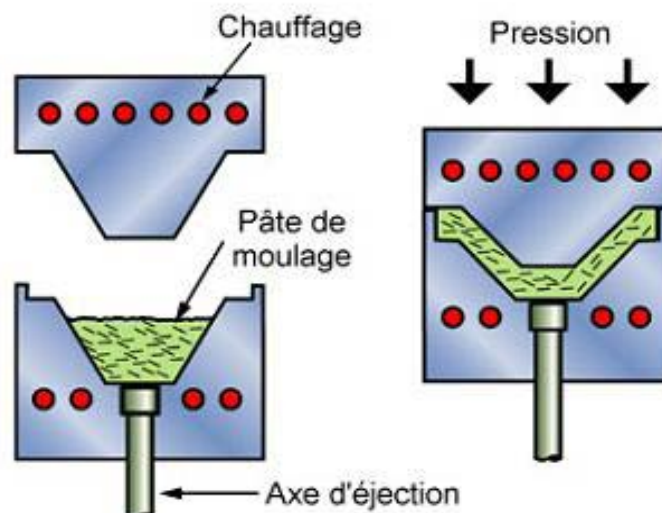
- **Le procédé :**

Dans le moulage de composés pré-imprégnés en masse (BMC ou SMC), on place une préforme de composé de moulage (résine, renfort, catalyseur et additifs déjà pré-mélangés dans des proportions optimales) dans la cavité d'un moule chauffé et ensuite on la presse aux dimensions finales,

On utilise des pressions qui vont de 0,5 à 15 MPa en fonction des dimensions du moule et du matériau que l'on met en oeuvre.

Le moule est chauffé (à la vapeur, à l'électricité ou avec de l'huile chaude à des températures entre 140 et 160°C) pour faire polymériser la résine.

Le moule est fait soit en aluminium soit en fonte de fer ou en acier.



*Fig-III-22; procédé de moulage par la compression.*

- **Utilisations :**

panneaux de carrosserie et pare-chocs pour les voitures et les camions, boîtiers de compteur de gaz ou d'électricité et boîtiers de fusibles, et même les formes plus compliquées,

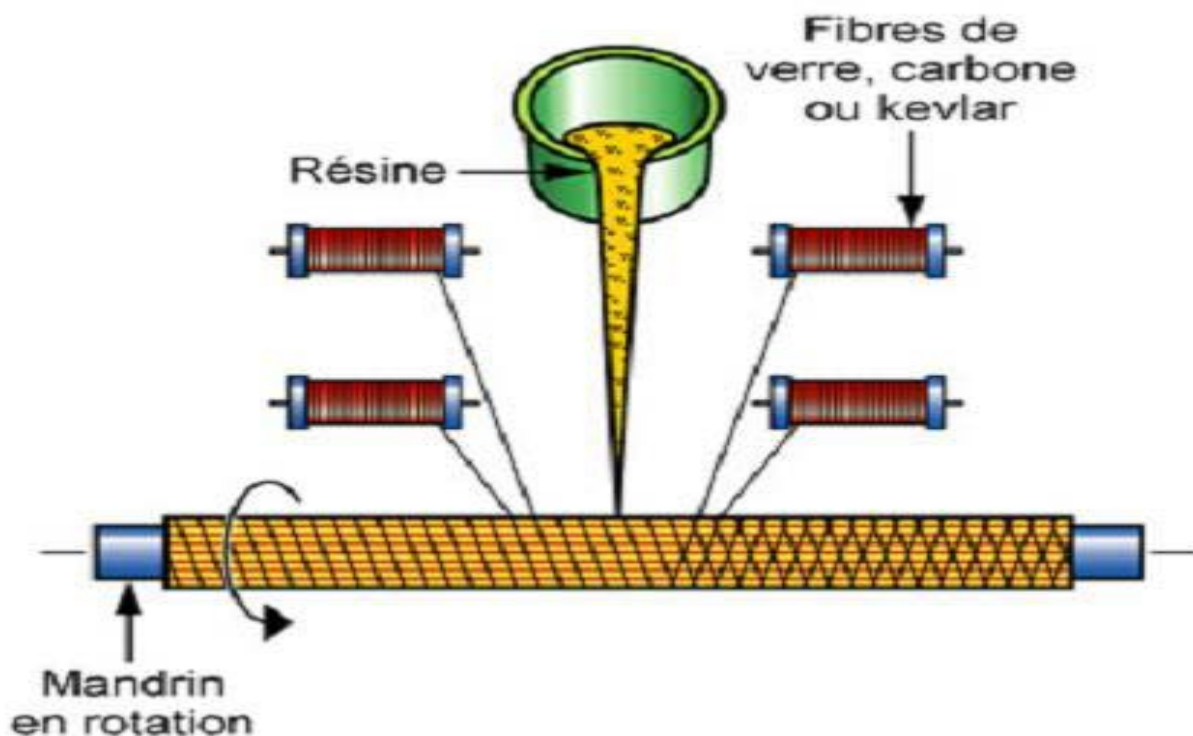
### III-4 -2 L'enroulement filamentaire :

En enroulement filamentaire, les pièces à symétrie axiale sont produites en enroulant le renfort imprégné de résine (faisceau de fibres ou bandelette) sur un mandrin en rotation fait en acier ou en plâtre.

Il existe trois schémas d'enroulement :

Hélicoïdal, circulaire ou polaire, pour maximaliser les performances de l'application.

Pour l'enroulement de formes plus complexes on utilise un système de bobinage avec plusieurs axes. On continue l'enroulement jusqu'à ce que l'on obtienne l'épaisseur souhaitée de composite puis on retire la pièce du mandrin dès qu'elle s'est durcie.



*Fig-III-23; Schéma du procédé (enroulement filamentaire d'un tube creux)*

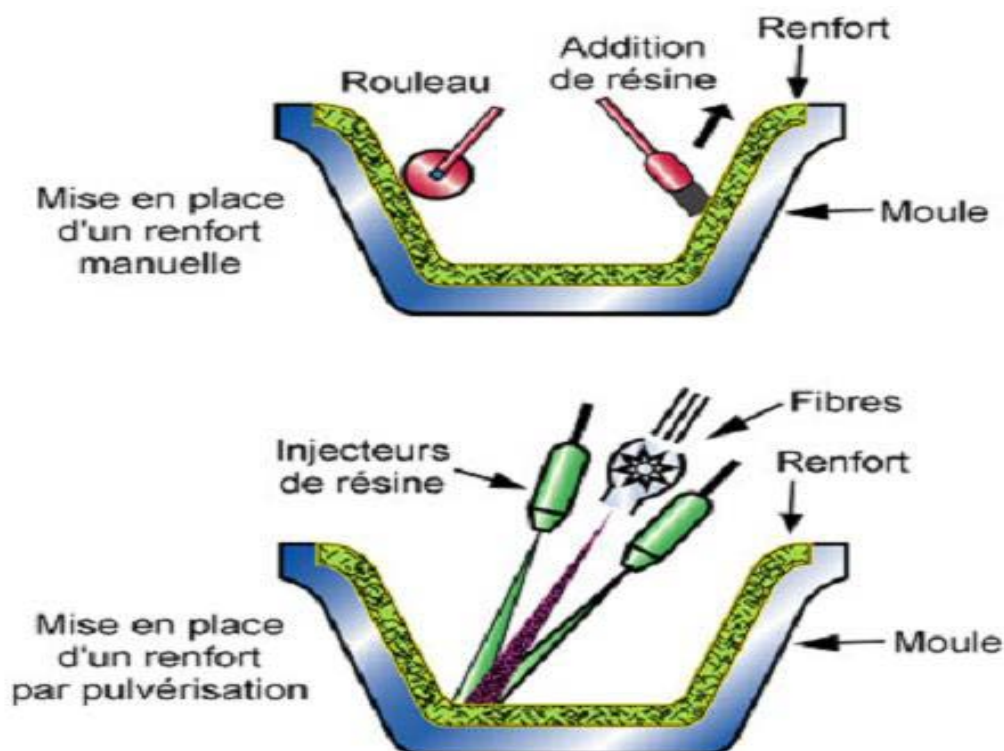
**Exemple d'application :**

Citernes, tuyaux, tubes, réservoirs sous pression, ailes de turbine éolienne, pointes de fusée, cadres de bicyclettes très légères et châssis.

**III-4 -3 Mise en Œuvre manuelle / Moulage au contact :**

Dans les méthodes de mise en œuvre manuelle (hand lay-up) ou robotisées (le geste ayant été fait une première fois à la main) on enduit avec une résine (gelcoat) un moule ouvert (fait en polymère renforcé de fibres de fer, en bois, en plâtre, en ciment ou en alliage métallique léger) pour donner au moulage une peau superficielle lisse. Lorsque celle-ci a réticulé (les macromolécules sont alors liées), on dépose à la main une couche de renfort ( des fibres de verre ou de carbone tissées ou tricotées ), on applique la résine avec une brosse ou un pistolet vaporisateur, on lamine ensuite la couche pour distribuer complètement la résine à travers les fibres. On répète cette opération couche après couche jusqu'à ce que l'on atteigne l'épaisseur désirée.

On ajoute des agents ignifugeants et des charges inertes pour réduire les coûts et améliorer les propriétés.

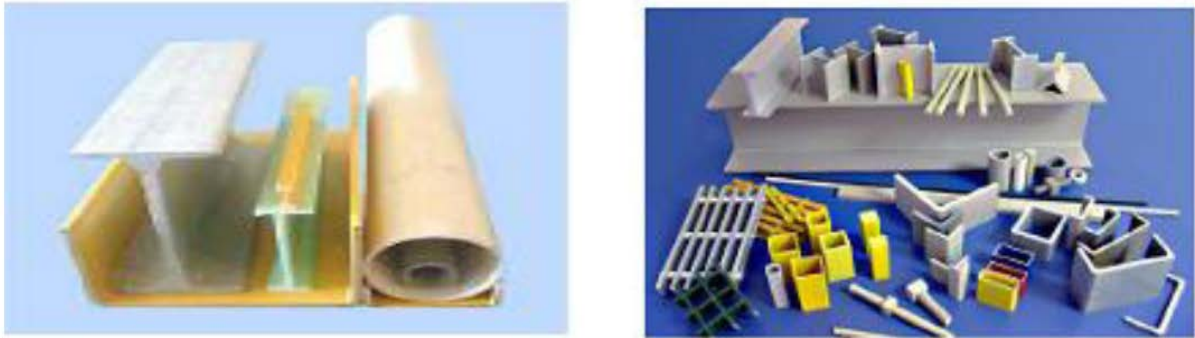


*Fig-III-24:Schéma du procédé de moulage au contact.*

### III-4 -4 La pultrusion

Le mot pultrusion est une contraction des termes anglo-saxons Pull (Tirer) et extrusion.

Le procédé de pultrusion a pour objet la fabrication de profilés composites, rectilignes ou courbes à section constante, hautement renforcés dans la direction principale.

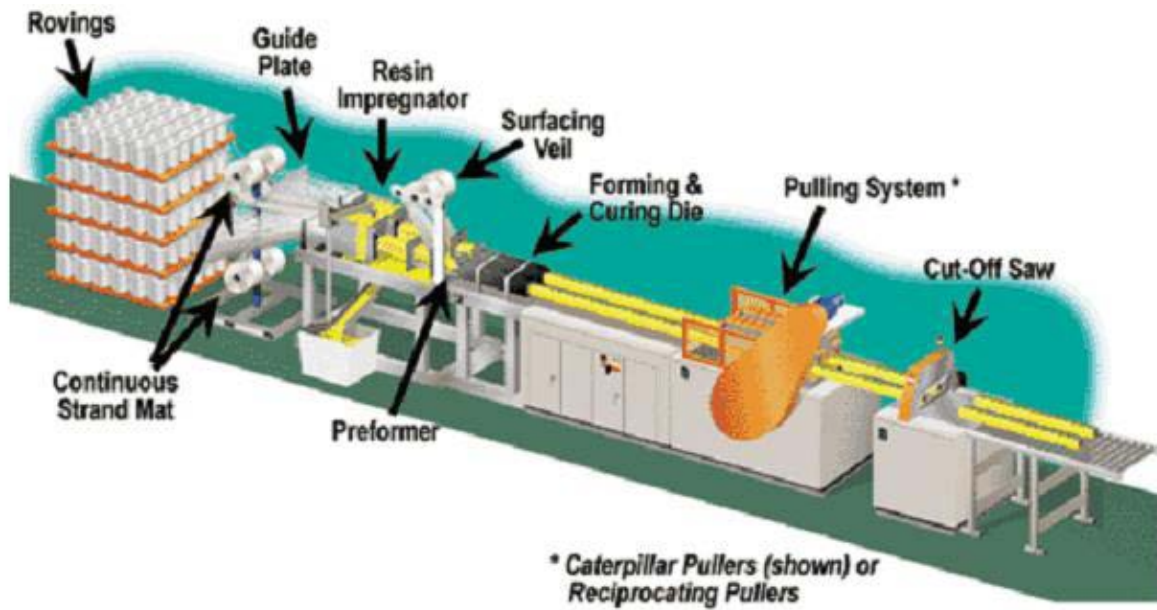


*Fig-III-25: profilés obtenus par pultrusion.*

#### a. Le procédé :

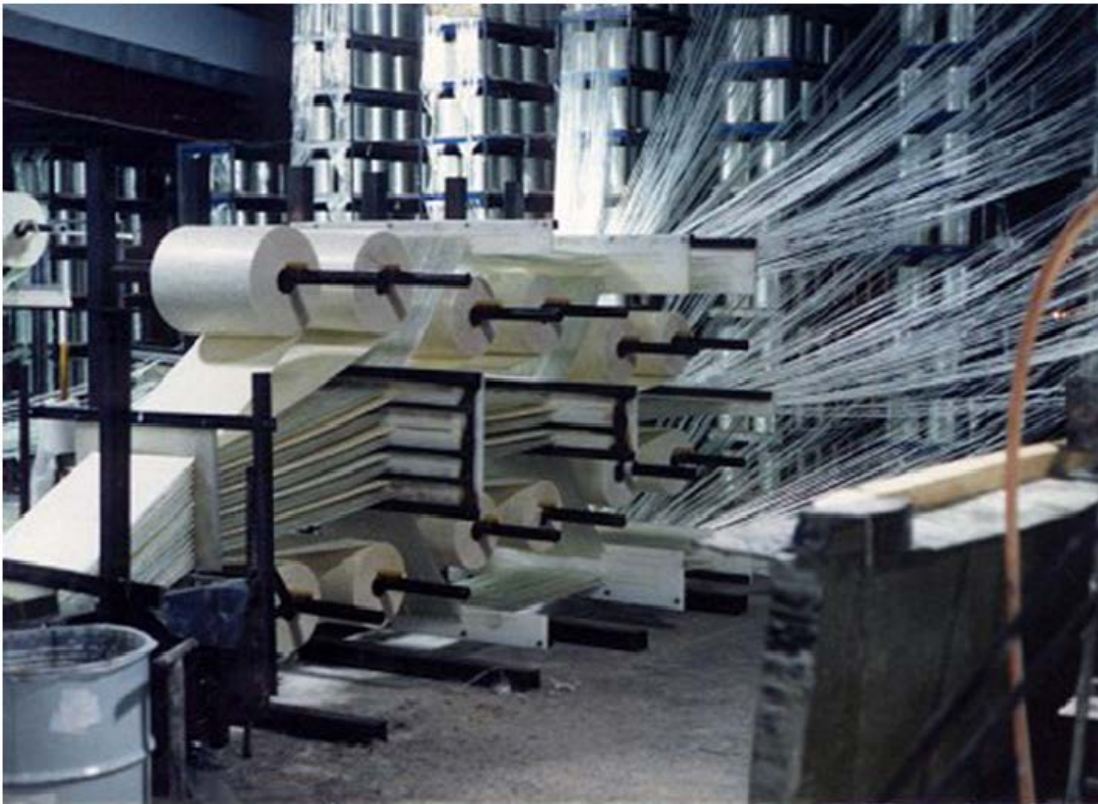
Une installation type comporte les éléments de base suivants :

- ✗ alimentation en renfort;
- ✗ dispositif d'imprégnation;
- ✗ préformage;
- ✗ filière chauffée;
- ✗ étuve de post-cuisson (en ligne ou non);
- ✗ système de traction;
- ✗ découpe.



*Fig-III-26: Schéma du procédé de pultrusion*

Le procédé de pultrusion consiste à tirer des fibres imprégnées de résine thermodurcissable à travers un moule filière ou s'effectue la mise en forme et la réticulation.



*Fig-III-27: les différents renforts constituent un profilé multicouche.*

- **Les renforts utilisés :**

Les fibres de verre, de carbone et d'aramide sont utilisées.

Les fils de verre ou d'aramide peuvent être incorporés aux mèches de carbone pour fournir des matériaux hybrides. La présentation des fibres, en particulier du verre, est très variée:

- ✗ stratifil, pour les joncs et profilés à teneur en renfort élevé;
- ✗ spun-roving, pour les pièces présentant des angles;
- ✗ tissus unidirectionnels;
- ✗ voile de surface (amélioration de l'aspect et des caractéristiques électriques et/ou chimiques).

- **Avantages et limites d'utilisation du procédé de pultrusion :**

*Tab-III-1: caractéristiques distinctives et limites d'utilisation du procédé de pultrusion.*

Caractéristiques distinctives	Limite d'utilisation
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas de limitation en longueur</li> <li>- Production continue</li> <li>- Grande souplesse dans les variations de caractéristiques mécaniques en jouant sur le taux de renfort</li> <li>- Réalisation de formes variées et compliquées</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investissements importants</li> <li>- Limitation dans les variations d'épaisseur des sections des profilés</li> <li>- Fabrication relativement lente</li> <li>- Section constante</li> </ul>

• Comparatif :

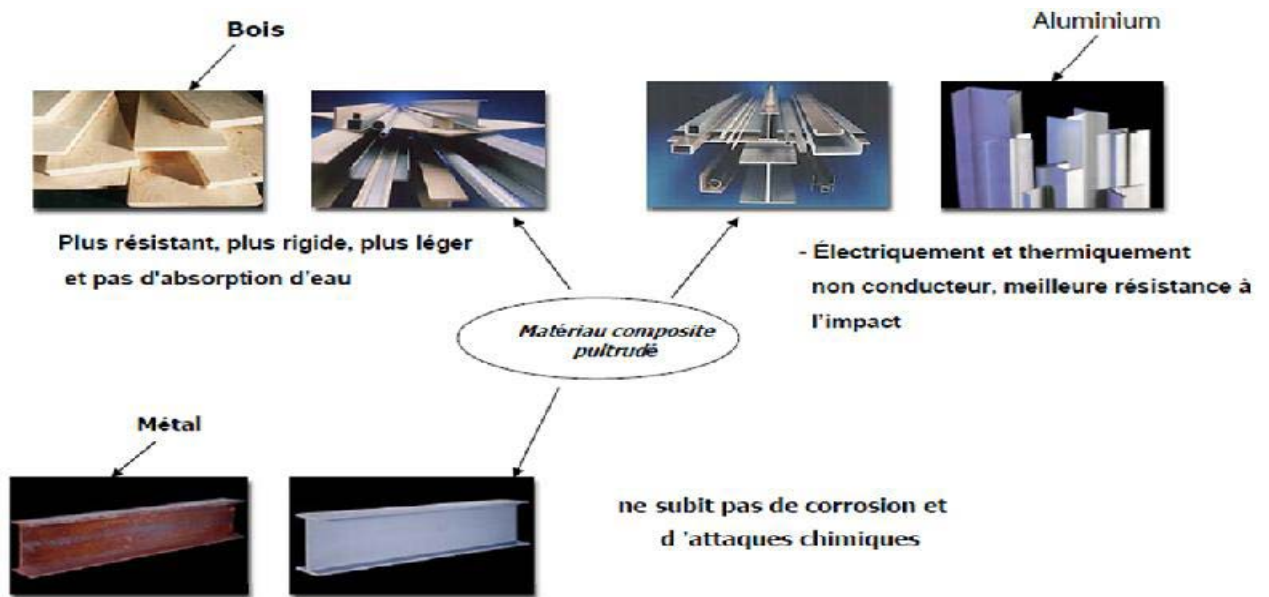


Fig-III-28: Schéma de comparaison (matériau composite pultrudé /autres matériaux)

III-4 -5 Frittage sélectif par laser :

Pour chaque couche du prototype, on dépose de la poudre polymère qu'on fait fondre localement.

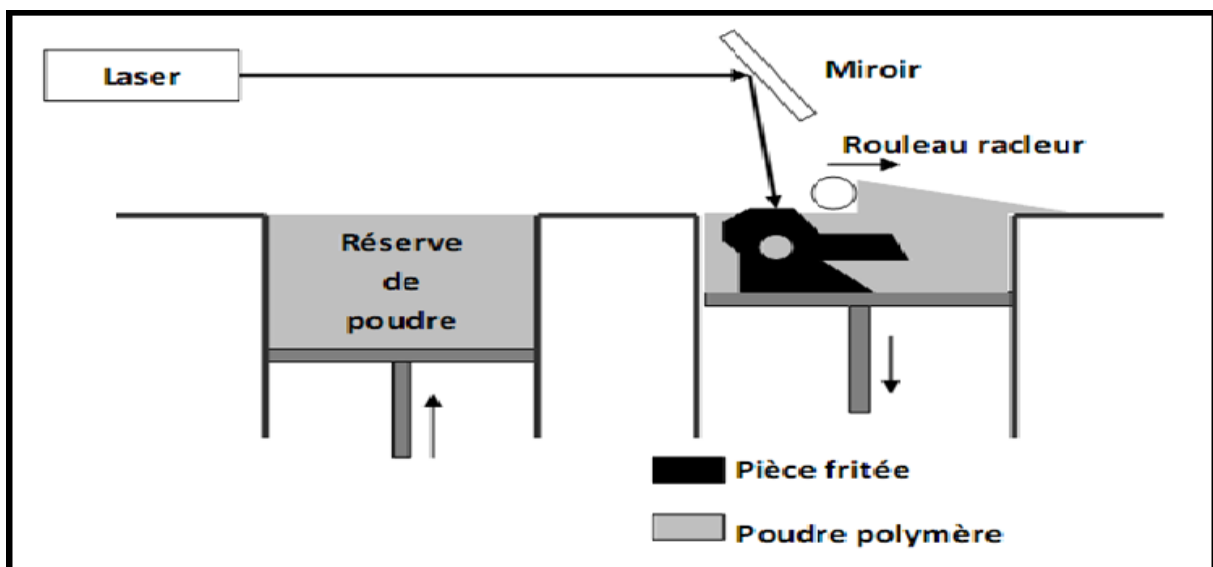
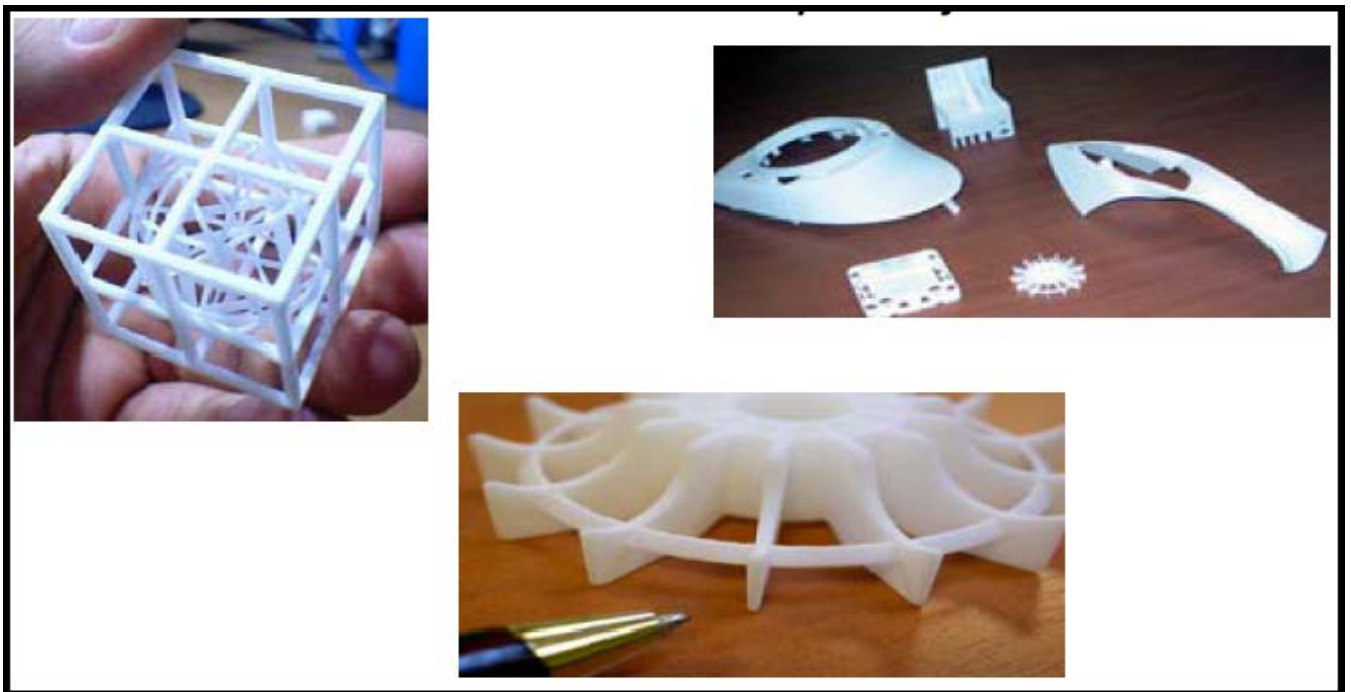


Fig-III-29: Schéma du procédé de Frittage sélectif par laser.

**Caractéristiques :**

- ✗ Pas besoin de support, la poudre non polymérisée jouant ce rôle
- ✗ Les pièces réalisées en frittage résistent à 150 °C.
- ✗ Des pièces d'une grande robustesse sont obtenues.
- ✗ Les poudres utilisées sont des polyamides.
- ✗ Possibilité de fabriquer des séries de pièces sans outillage.  
(Fabrication rapide)



*Fig-III- 30: Pièces en PA et détail pour la finesse.*

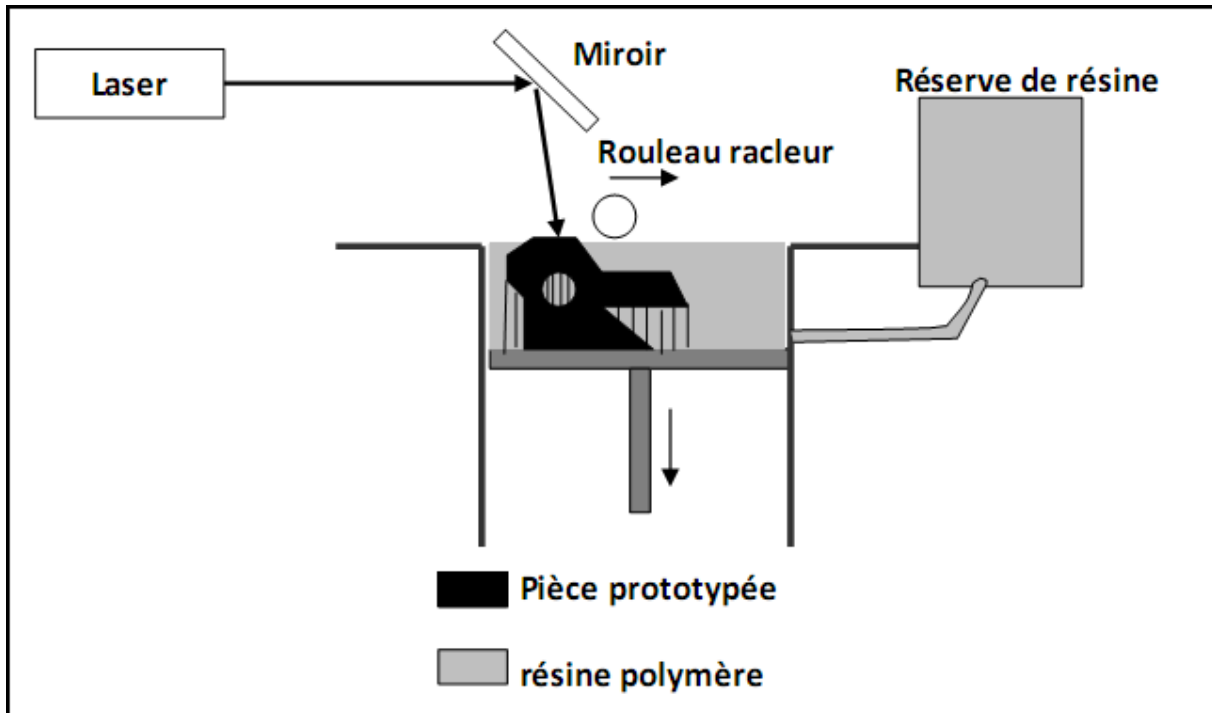
**III-4 -6 La stéréolithographie :**

Le principe de la stéréolithographie repose sur la photo-polymérisation. Un laser agit sur une résine photosensible et reconstitue la pièce à fabriquer par superposition successive de couches.

Des supports sont nécessaires pour maintenir la ou les pièces dans la résine au cours de la fabrication.

Après l'élimination de l'excédent de monomères, on obtient la pièce crue, qu'il faut débarrasser de ses supports et finir de polymériser dans une étuve UV :

- 1- Le faisceau laser balaie la surface du bac de résine aux endroits à solidifier ;
- 2- La plate-forme s'abaisse d'un pas suivant l'axe Z et la résine liquide recouvre la partie déjà solidifiée sur toute la surface (grâce au racleur) ;
- 3- Le laser polymérise la couche suivante.



*Fig-III-31: Schéma du procédé de la stéréolithographie.*

**La stéréolithographie possède les avantages suivants :**

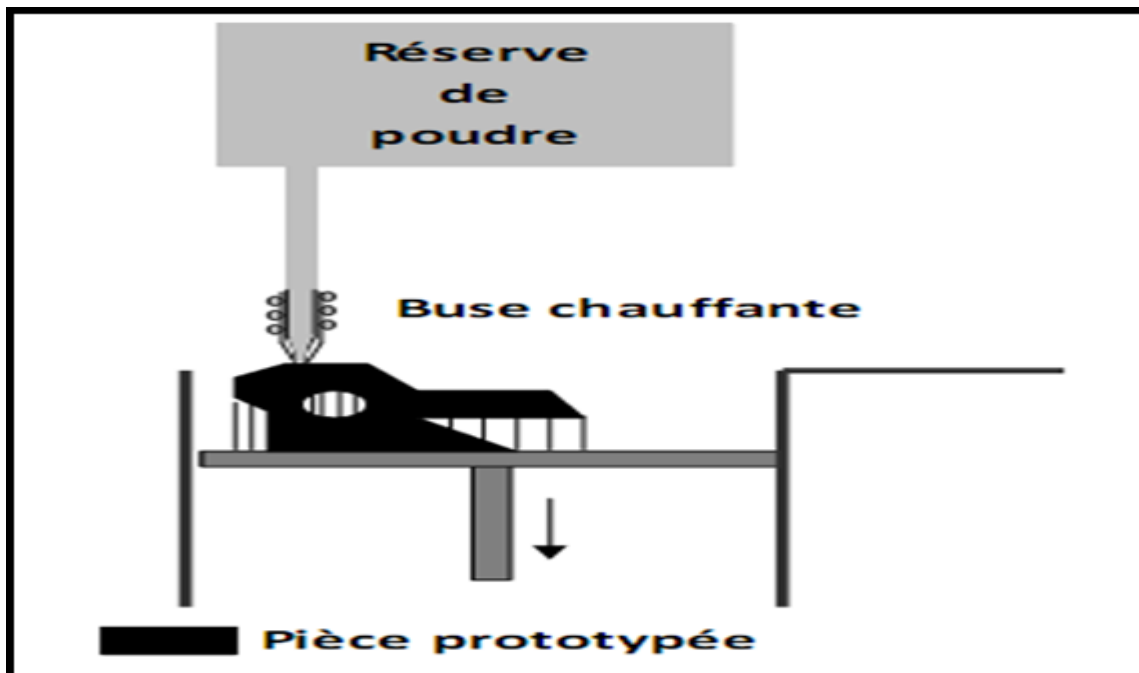
- ✗ Précision
- ✗ Transparence
- ✗ Aspect visuel
- ✗ Etat de surface
- ✗ Peut servir de modèle pour la duplication silicone et la fonderie cire perdue



*Fig-III-32: Pièce (obtenue par stéréolithographie) sur un support.*

#### III-4 -7 Impression 3D :

Ce type de prototypage met en œuvre une buse “d’impression” qui projette de fines gouttelettes de polymère fondu. Le déplacement de la buse se fait selon deux axes orthogonaux et le troisième axe étant géré, comme dans les méthodes précédentes, par la descente de plaque support et de la pièce.



*Fig-III-33: Schéma du procédé de l’impression 3D.*


Il existe une autre méthode mettant en œuvre une poudre céramique et des liants polymères qui sont projeté par impression sur la poudre.

**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.



*Choix du moule et  
procédé*

### IV-1 Introduction :

Le procédé de mise en œuvre des matières plastiques par injection nous permet de produire en série des pièces en plastique (thermoplastique), notamment de formes très précises et complexes en injectant de la matière plastique en fusion dans des empreintes d'un moule de très grande ponctualité.

Pour le concevoir (déterminer sa forme et ses dimensions), suivant la géométrie de notre pièce à réaliser.

Le moule prend place dans la presse à injecter, c'est lui qui donne la forme à la pièce plastique.

Ca conception fait appel à des méthodologies complexes et bien spécifiques, que nous allons aborder dans ce chapitre.

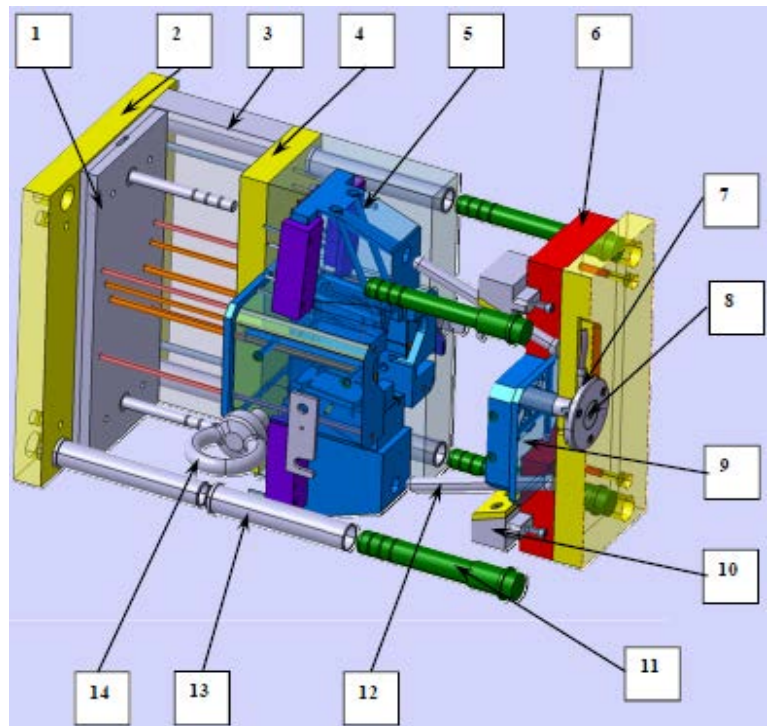
### IV-2 Constituant d'un moule : [5]

#### IV-2-1 Partie mobile :

- 1-Plaque d'éjection et éjecteurs
- 2-Plaques débordantes
- 3-Tasseaux
- 4-Plaque porte empreinte
- 5-Tiroirs
- 13-Bague de guidage
- 14-Anneaux de levage

#### IV-2-2 Partie fixe :

- 6-Carcasses
- 7-Bague de centrage
- 8-Buse d'injection
- 9-Empreintes
- 10-Coins
- 11-Colonne de guidage
- 12-Doigts d'indexages



*Fig IV-1 : Constituant d'un moule.*

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.

Le moulage par injection est généralement employé pour traiter les matériaux thermoplastiques, mais récemment des machines ont été développées pour injecter avec succès les matériaux thermodurcissables.

### **IV-3 Le dispositif d'injection :**

Il est composé principalement de trois parties :

#### **IV-3-1 La presse à injection :**

Les presses comportent essentiellement :

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

#### **IV-3-2 Le moule :**

Différentes fonctions assurées par le moule:

- Absorption de la matière plastique
- Répartition de la matière plastique
- Refroidissement de la matière plastique
- Démoulage
- Conduction de la chaleur.

#### **IV-3-3 Dispositif du mouvement du moule :**

Sa fonction est :

- D'absorber les chocs
- De transmettre les mouvements
- De guider les parties mobiles
- D'injecter

### **IV-4 Choix du moule :**

Parfois le prix du moule avoisine ou peut dépasser celui de la machine, pour cette raison, on doit respecter le choix de ses différents paramètres pour sa réalisation.

#### **IV-4-1 Dimensionnement et paramètres du moule :**

La grandeur du moule dépend principalement de la machine. Le constructeur est souvent soumis au handicap que représente la grandeur de la machine existante. Parmi ces handicaps, nous citerons à titre d'exemple:

- Le volume injecté comme quantité, devait être transporté par la course de la vis piston vers l'empreinte.
- La capacité de plastification qui est la quantité de matière plastique à préparer pour obtenir une matière moulable.
- Le verrouillage de l'unité de fermeture doit résister à la puissance maximale due à la tension interne dans l'empreinte.
- La surface de montage qui résulte de passage entre colonnes.

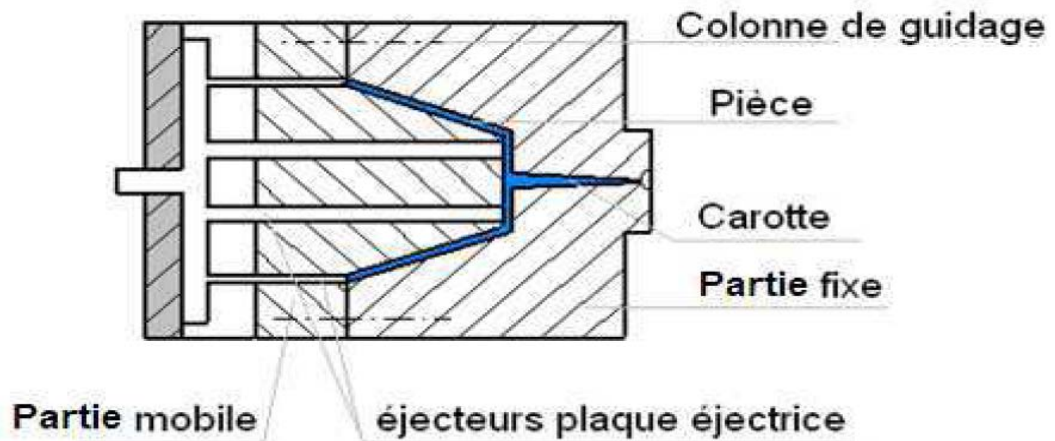
#### **IV-4-2 Architecture du moule : [1]**

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 :

##### **IV-4-2-1 Moule à deux plaques (injection directe):**

Ce type de moule présente une architecture très simple. Il est privilégié en termes de coût de fabrication et d'entretien.

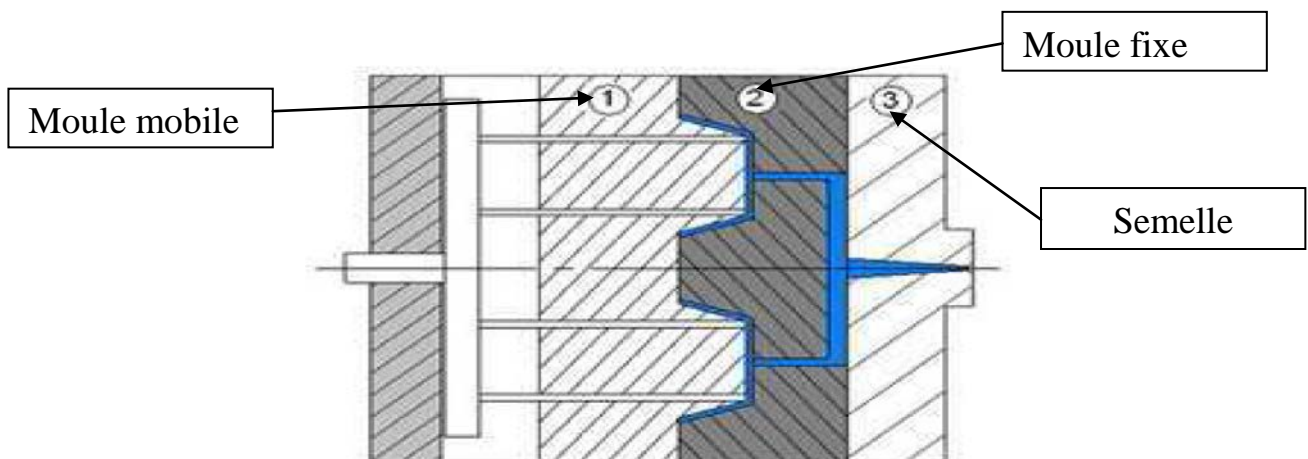
Ce mode d'injection est utilisé pour des moules mono empreinte produisant des pièces de grandes dimensions. La carotte est contenue dans le volume tronconique de la buse d'injection par lequel le polymère fondu transite directement de la buse de la machine vers la cavité.



*Fig IV- 2 : Exemple de moule à deux plaques (moule standard)*

### IV-4-2-2 Moule à trois plaques:

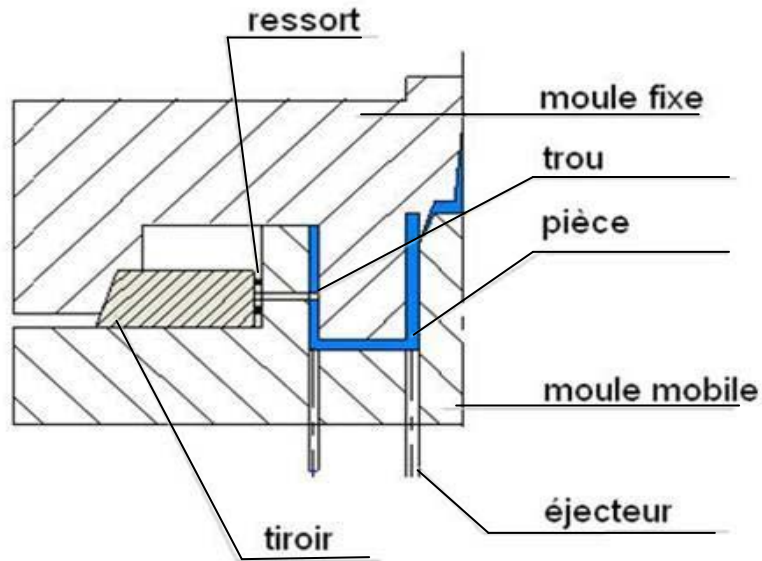
Ce type de moule est essentiellement utilisé pour des pièces encombrantes multi seuils, nécessitant un décarottage automatique et un gain de temps. C'est en fait un moule à deux plaques, modifié par une plaque centrale entre les plaques mobile et fixe de la presse.



*Fig IV-3 : Moule à trois plaques*

### IV-4-2-3 Moule à tiroirs :

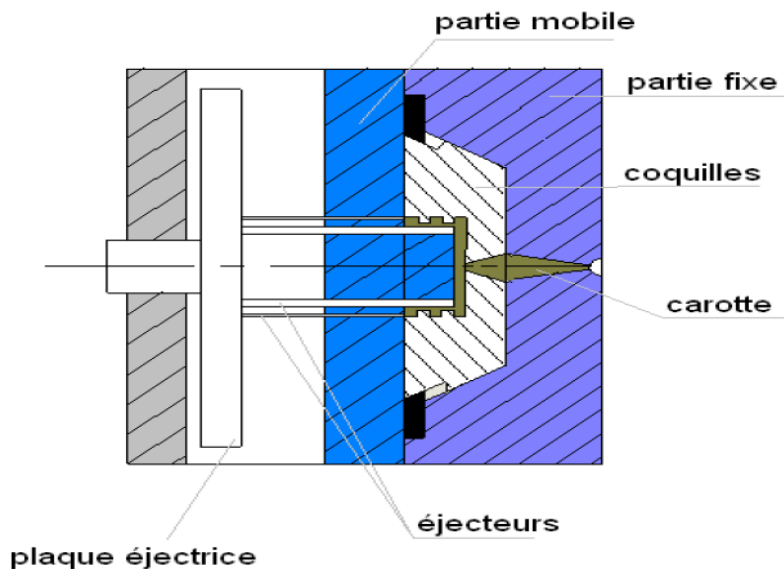
Ce moule permet de sortir des pièces offrant des parties en contre-dépouille, différents plans de joint ou des trous. Le tiroir se retire à l'ouverture de la partie mobile pour permettre l'éjection de l'injection.



*Fig IV-4 : Moule à tiroirs.*

### IV-4-2-4 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. Les phases d'ouverture de ce type de moule sont similaires à celles du moule à trois plaques, les sens d'ouverture par contre les différencient.



*Fig IV-5 : Moule à coquille*

### IV-4-2-5 Moule à canaux chauffants :

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

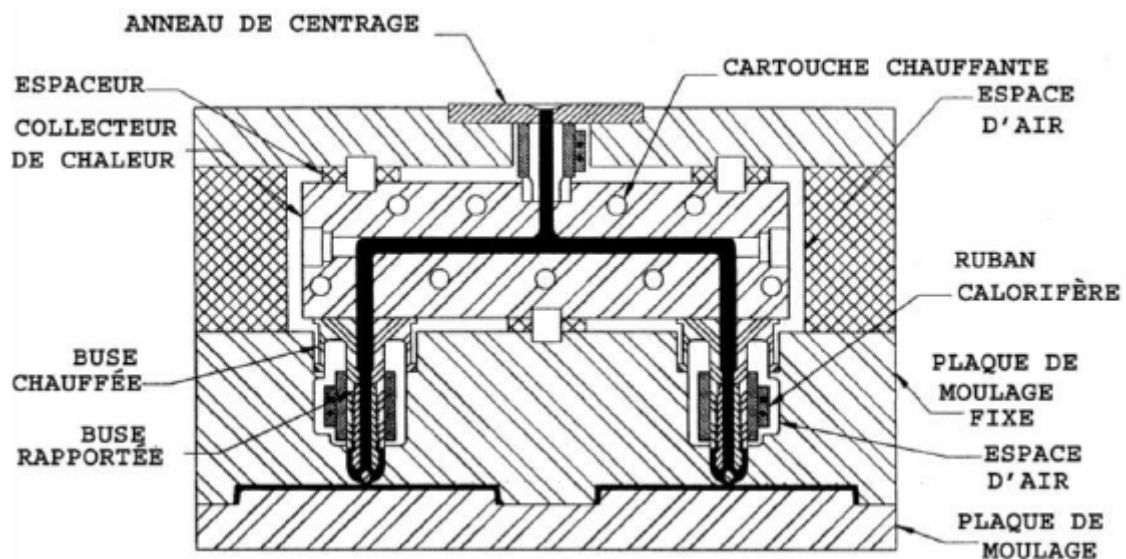


Fig IV- 6 : Moule à canaux chauffants.

### IV-4-3 Alimentation du moule:

L'injection de la matière plastique, à l'état visqueux, vers l'empreinte est assurée à partir de la buse du moule par un réseau de canaux et on peut distinguer deux façons d'alimentation:

Pour économiser la matière et faciliter son écoulement on applique la formule suivante pour la détermination de la section des canaux d'alimentation.

S = Section du moule (m<sup>2</sup>)

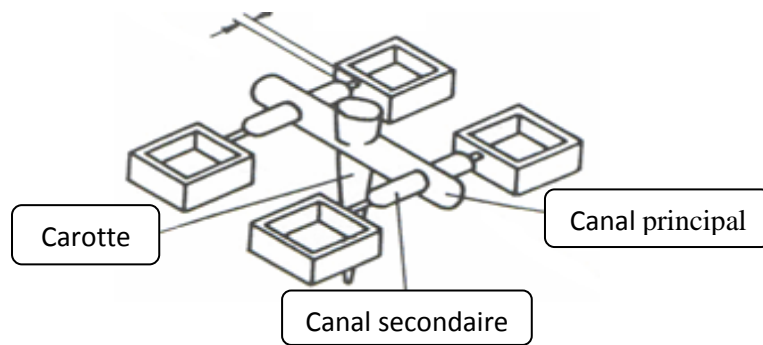
K = Viscosité de la matière (m/kg)

M = Masse de la pièce (kg)

L = Longueur du canal

$$S = K. M. L.$$

Seuil



*Fig IV-7 : Système d'alimentation.*

### **IV-4-3-1 Description du système d'alimentation :**

Le système d'alimentation sert au passage de la matière fondue du cylindre de plastification à l'empreinte du moule.

### **IV-4-3-2 Rôle du système d'alimentation :**

Le rôle du système d'alimentation doit répondre aux critères suivants :

- ❖ Matière à mouler entraînant le moins possible la formation de ligne de soudure.
- ❖ Moindre gêne pour le flux de matière.
- ❖ Moindre sollicitation du poids total d'injection.
- ❖ Démoulage facile de la pièce injectée.
- ❖ Longueur de canal la plus courte possible, afin de limiter les pertes de pression, de température et de matière.
- ❖ Section assez grande afin de permettre une pression de maintien efficace pendant tout le temps de solidification.
- ❖ L'injection ne doit, dans la mesure du possible pas influencer le temps de cycle.
- ❖ Liaison avec la plus grande épaisseur de parois de la pièce injectée.

### **IV-4-3-3 Composition de système d'alimentation :**

#### **a- La buse :**

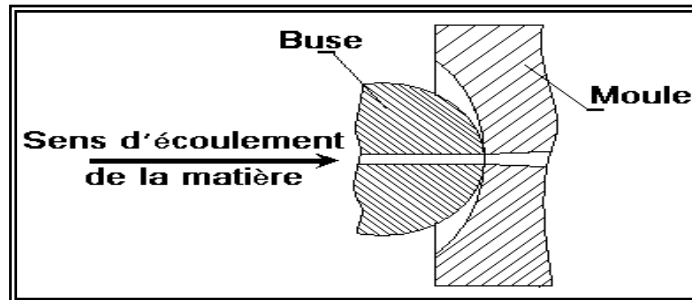
Elle supporte l'appui du nez de presse, l'étanchéité à ce niveau doit être parfaite. Le contact se fait plus souvent selon deux rayons. le rayon de la buse du moule étant supérieur de 1 m par rapport à celui du nez de presse.

Le canal de la buse de presse doit être cylindrique et inférieur au début de la cheminée du moule. Un éjecteur central court avec contre dépouille est

## Choix du moule et procédé

---

souvent placé au bas de la cheminée. Il permet de recevoir la goutte froide et le maintien de la grappe en partie mobile.



*Fig IV- 8 : La buse.*

### **b- La carotte :**

Conduit la matière plastique depuis l'orifice d'entrée du moule jusqu'aux plans de joint. Elle est perpendiculaire aux plans de joint.

### **c- Les canaux principaux et secondaires :**

Ils assurent le passage de la fondue du pied de buse jusqu'au seuil. Ce sont des éléments généralement longs et donc susceptibles d'être la source d'une importante perte de charge. La forme théorique la plus propice est la forme parabolique ou trapézoïdale.

### **d- Le seuil d'injection :**

Le canal d'alimentation communique avec l'empreinte par un seuil d'injection permet d'alimenter l'empreinte du moule et son choix doit tenir compte de son emplacement.

## **IV-4-3-4 Les différents types d'alimentation :**

### **a- Carotte normale :**

**Utilisation :** Pour matières à mouler sensibles à la température visqueuses et pièces à parois épaisses de haute valeur technique.

#### **Avantages:**

- Bonne qualité.
- Bonne stabilité dimensionnelle.

#### **Inconvénients:**

- Usinage après arrachage de la carotte.
- Point d'injection visible.

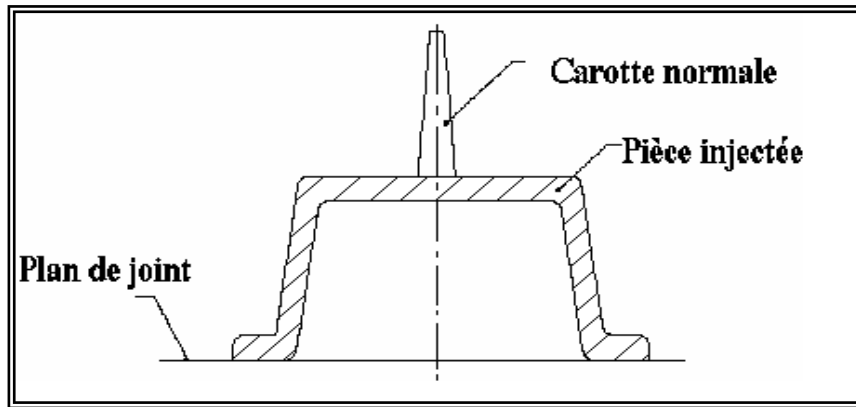


Fig IV- 9 : Carotte normale.

### b- Injection en nappe :

**Utilisation :** Pièce plates comme plaques ou baquettes.

#### Avantages :

- Pas de ligne de soudure.
- Bonne qualité.
- Bonne stabilité dimensionnelle.

#### Inconvénients :

- Usinage après arrachage de la carotte.

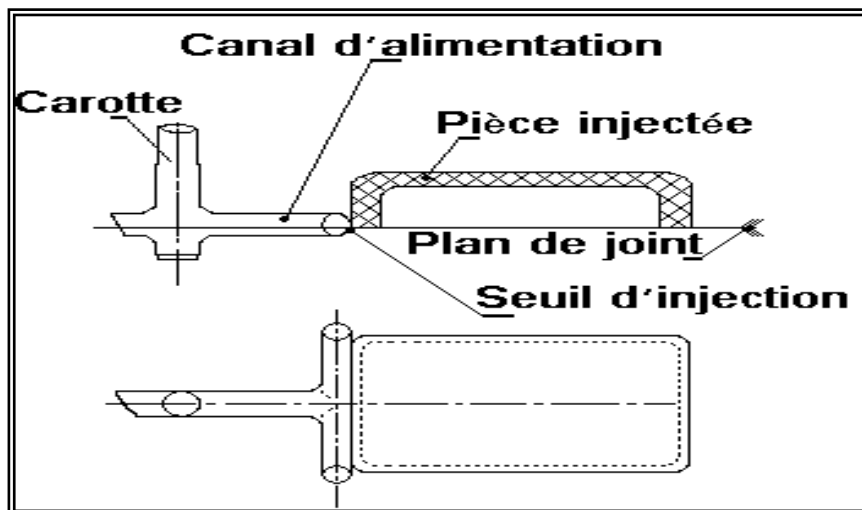


Fig IV-10 : Injection en nappe.

### c- Injection éventail :

**Utilisation :** Pièce de rotation symétrique avec emplacement latéral du noyau.

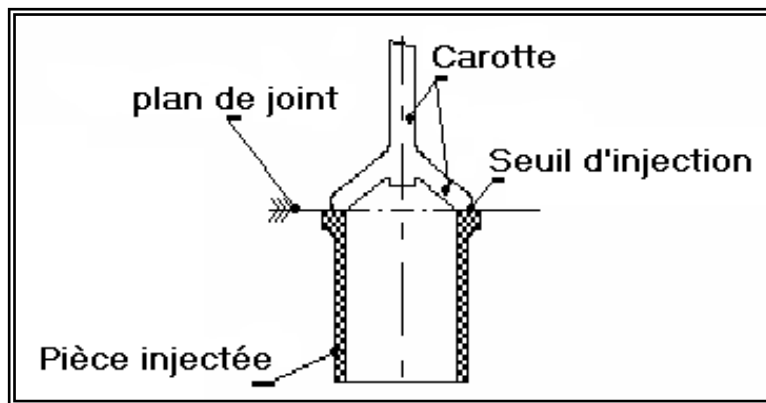
#### Avantages :

- Eviter les lignes de soudures

#### Inconvénients :

- Usinage après arrachage de la carotte.

et donc les chutes de résistance.



*Fig IV-11 : Injection éventail.*

### d- Injection annulaire :

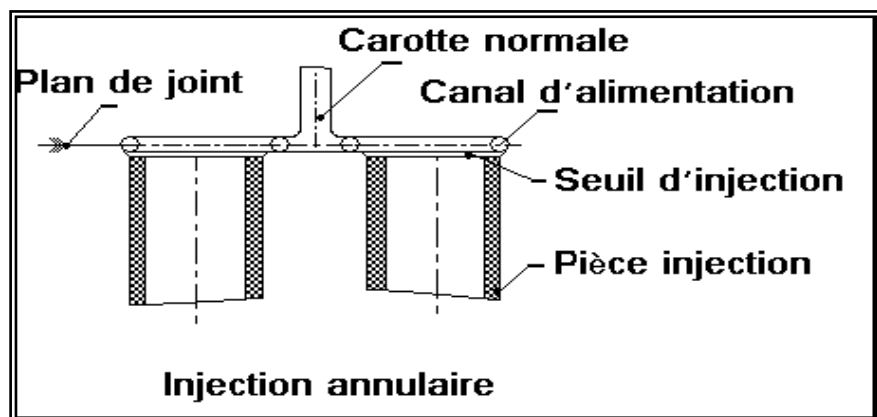
**Utilisation :** Pièces en forme d'anneaux ou coquilles avec emplacements latéraux.

#### Avantages :

-Même épaisseur de parois en circonférence.

#### Inconvénients :

-Usinage après arrachage de la carotte.



*Fig IV-12 : Injection annulaire.*

### e- Injection en tunnel :

**Utilisation :** Petites pièces des moules à plusieurs empreintes ainsi que matières élastiques.

#### Avantages :

-Démoulage automatique de la carotte

#### Inconvénients :

-Ne convient que pour des pièces simples car grande perte de pression.

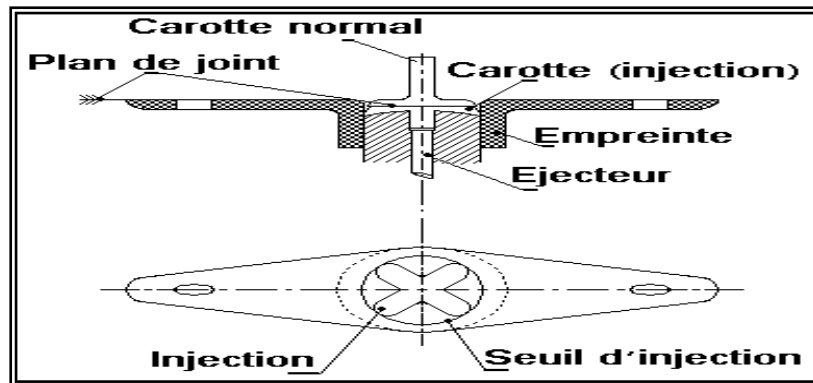


Fig IV-13 : Injection en tunnel.

### f- Injection capillaire :

**Utilisation :** 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.

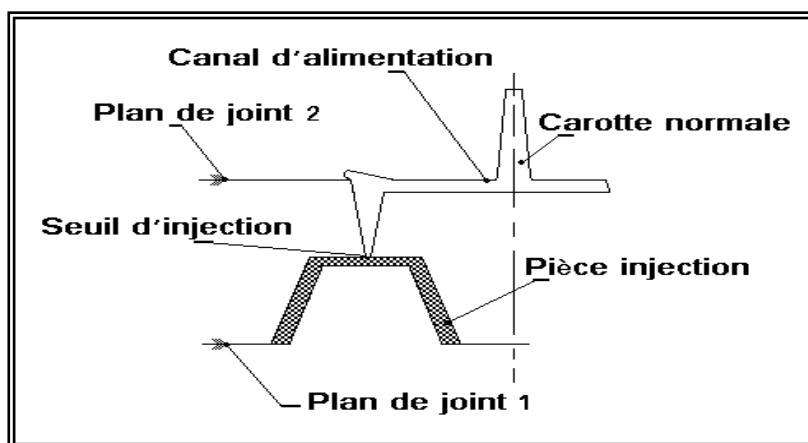


Fig IV 14 : Injection capillaire.

### g- Moule à plusieurs étages :

**Utilisation :** Pièce plate avec petit poids dans moule à plusieurs étages.

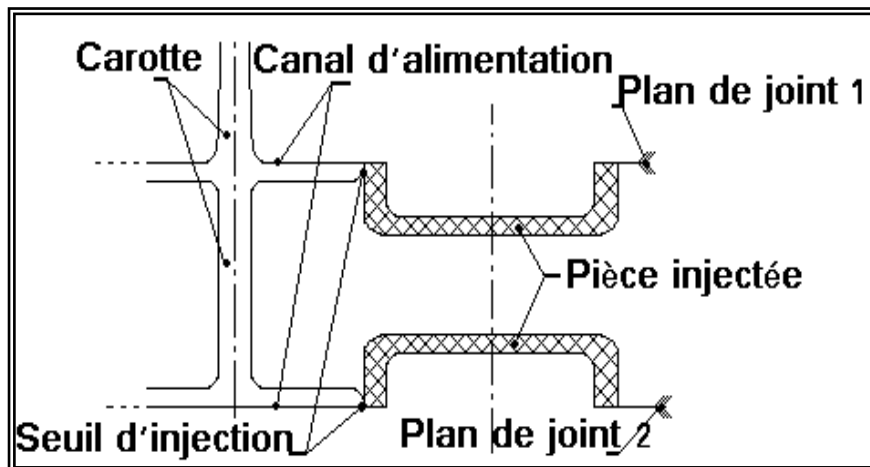
#### Avantages :

-Meilleure utilisation de

#### Inconvénients :

-Grande perte de volume de carotte.

la capacité plastification de la machine -Coût de moule élevé.



*Fig IV-15: Injection à plusieurs étages.*

### IV-4-4 Différents type des canaux d'alimentation :

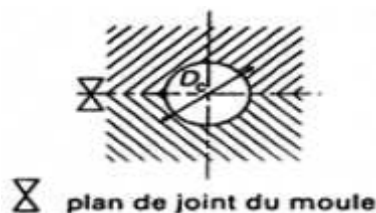
#### IV-4-4-1 Canaux d'alimentation standard :

Ils sont placés directement dans la plaque du moule, leur température correspond donc à celle du moule, d'où l'appellation de canaux isothermes. La matière contenue dans le canal d'alimentation se solidifie avec le refroidissement de la pièce et doit être démoulée comme la pièce après chaque injection, ceci est valable pour les thermoplastiques comme pour les thermodurcissables.

##### a- Formes des canaux standards :

##### a-1 Canaux à section circulaire :

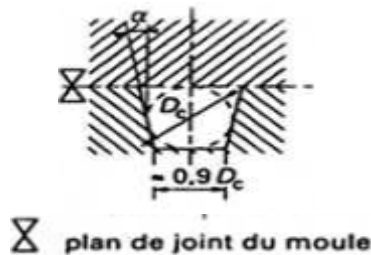
Ils garantissent un débit maximal de matière et un temps de refroidissement moyen. L'état de surface doit être de bonne qualité pour réduire les pertes de charge.



*Fig IV-16: Canaux à section circulaire.*

### a-2 Canaux à section trapézoïdale : [3]

Ils garantissent un débit moyen et un refroidissement plus rapide



*Fig IV-17: Canaux à section trapézoïdale.*

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.

#### **Avantage :**

Décarottage automatique, perte de matière par carotte, seulement en cas de rupture de fonctionnement de la machine.

#### **Inconvénient:**

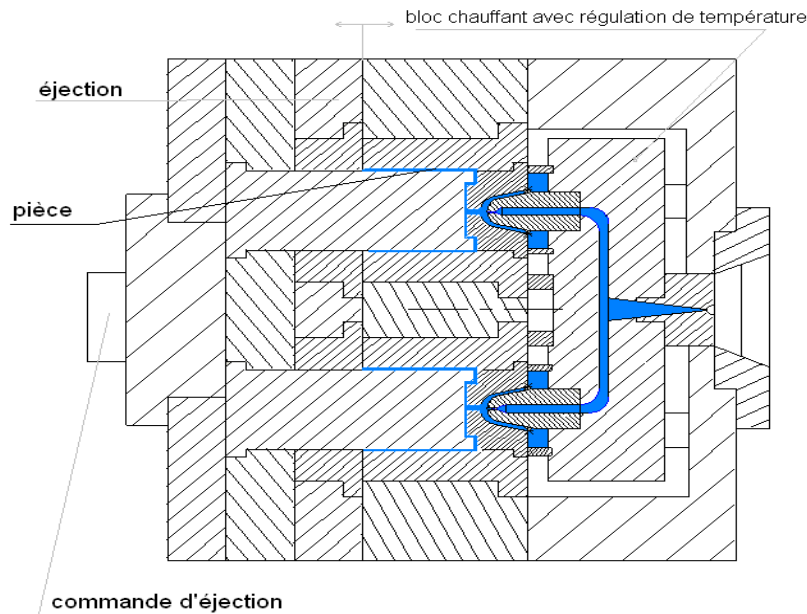
Danger d'arrivage de matière froide dans l'empreinte quand il y a rupture de fonctionnement de la machine.

#### **IV-4-4-2 Alimentation sans déchets (canaux chauds):**

Les canaux chauds sont des éléments chauffés séparément dans les Moules thermoplastiques : leurs température se situe entre 180C° et 300C° soit plus que la température du Moule qui est de 20C° et 120C°.

Ils doivent conduire la matière en fusion de la buse de point d'injection pour arriver aux canaux d'alimentation isothermes les thermoplastiques restant fluides dans les canaux chauds.

Le contenu du canal d'injection ne doit donc pas être démonté mais injecté après le cycle d'injection et reste disponible pour l'injection suivante.



*Fig IV-18 : Moule à canaux chauffants.*

### **Avantage :**

Pas de perte de matière par carotte. Décarottage automatique.

### **Inconvénient :**

Moules coûteux.

## **IV-5 Systèmes de refroidissement :**

### **IV-5-1 Définition :**

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

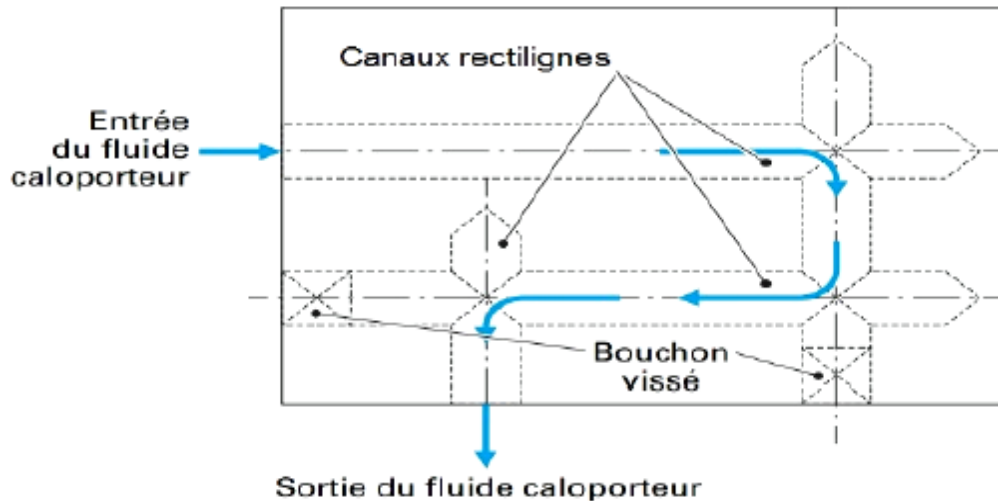
### **IV-5-2 Circuit de refroidissement :**

L'échange thermique entre le plastique injecté et le moule est un facteur décisif dans les performances économiques d'un moule d'injection. La chaleur doit être extraite du matériau thermoplastique jusqu'à ce qu'il ait atteint l'état stable recherché pour pouvoir être démoulée. 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 du démoulage.

### IV-5-3 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. La déformation peut être supprimée par une variation de température.



*Fig IV-19 : Circuit de refroidissement simple.*

### IV-5-3 Le 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 (bossage, nervures, mouvement de coquilles, etc.)

### IV-5-4 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.

### IV-6 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.

### **IV-7 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 :

- La géométrie de la pièce.
- Le nombre d'empreinte.
- Le type d'injection.
- Le principe de démoulage.

### **IV-8 L'éjection des pièces :**

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.

#### **IV-8-1 Types d'éjection :**

##### **IV-8-1-1 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.

##### **IV-8-1-2 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.

##### **IV-8-1-3 Ejection par dévêt sage :**

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

### **IV-8-1-4 Ejection coté bloc axe :**

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

### **IV-8-1-2 Ejection annulaire :**

Pour l'éjection des pièces comprenant des encastremements de petites dimensions, le dispositif d'éjection par plaque de dévêt sage peut être accompagné d'un éjecteur annulaire.

## **IV-8-2 Choix des éjecteurs :**

### **IV-8-2-1 Ejecteur à latéral :**

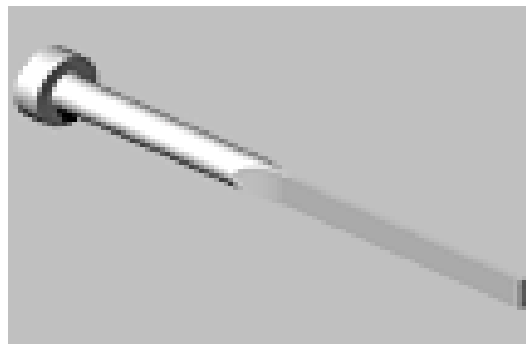
Dans le cas d'une éjection latérale, les dimensions des éjecteurs doivent être déterminées en fonction de l'épaisseur de la paroi et de la résistance de la matière.

Si :

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

### **IV-8-2-2 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 IV-20 : Ejecteur à lame.*

### **IV-8-2-3 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 IV-21: Ejecteur tubulaire.*

### **IV-8-2-4 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.

#### **a- Types d'arrache-carotte :**

La carotte est extraite de la buse en même temps que les canaux.

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

#### **b- Buses automatiques :**

Sous l'action d'un ou plusieurs ressorts de compression, la buse du moule recule en même temps que la buse du nez de presse. La carotte solidifiée se dégage du canal de la buse sous l'action de la plaque fixe.

### **IV-9 Le retrait :**

Le retrait est la différence entre les dimensions de la pièce obtenue juste après le démoulage et les dimensions mesurées après refroidissement.

Le retrait se mesure entre 24 et 186 heures après le démoulage. Il détermine les dimensions réelles de la pièce. Son évaluation précise est toujours difficile quelque soit la matière plastique, car le retrait dépend :

- De la matière utilisée.
- Des conditions de mise en œuvre.
- De la forme de la pièce.
- Du circuit de refroidissement.

Le retrait augmente avec :

- L'augmentation de la pression d'injection ;
- La diminution de la section du seuil ;
- L'augmentation de l'épaisseur de la pièce ;
- L'augmentation de la température.

### IV-10 Matériaux utilisés pour la fabrication des moules :

#### IV-10-1 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 ou pavés 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 :

- 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.

#### IV-10-2 Choix des matériaux:

*Tab IV-1: Choix des Matériaux.*

Matériaux	Observation	Emplois
<b>C45</b> <b>Acier non</b> <b>allié</b>	Acier mi -dur	plaque éjectrice Contre plaque éjectrice.
<b>C35</b> <b>Acier non</b> <b>allié</b>	Acier mi- dur	Les vis CHC et vis H
<b>105 W Cr6</b> <b>Acier</b> <b>faiblement</b> <b>allié</b>	Acier extra–dur Résistante à l'usure par frottement dureté élevée. Acier trempable Travail à chaud	Buse, bagues de guidage.

## Choix du moule et procédé

<b>S235</b> <b>Acier à usage général</b>	Acier ordinaire	Bagues de centrage, semelles mobile et fixe, plaque de sécurité et tasseaux.
<b>36 Ni Cr Mo 16</b> <b>Acier faiblement allié</b>	Bonne résilience. Résistant à la corrosion. Résistance mécanique à chaud.	Ejecteurs, empreintes mobile et fixe, tige de rappel, arrache carotte et goupille, butée de course d'éjection.
<b>CC 493 K</b> <b>(Cu Sn 7Zn 4Pb7)</b> <b>Cuivre moulé</b>	Inoxydable	Tétines
<b>X 200 Cr 12</b>	Résiste à la corrosion Inoxydable trempable.	Colonnes de guidage, tige de guidage.
<b>42CrMo4</b>	Acier doux	Porte empreinte mobile et fixe

### IV-11 Conclusion :

On peut conclure que pour une bonne conception d'un moule d'injection plastique, le concepteur doit suivre toutes les étapes nécessaires ; du choix du moule, son architecture puis ses différents types et usage ; car le meilleur choix des paramètres de conception nous garantit un produit fini de bonne qualité.

Le bon choix de ces paramètres, offre au concepteur la possibilité de concevoir le moule le plus approprié.

# *Problèmes de moulage*

**V-1 Introduction :**

L'obtention d'une pièce moulée par injection présentant une qualité correcte, en utilisant des conditions de production bien définies, est l'objectif de tout producteur.

Mais avant d'atteindre cet objectif, certains problèmes surviennent et ce quel que soit le thermoplastique que l'on moule.

Ces problèmes peuvent particulièrement se manifester lors de l'utilisation d'une moule neuf, du changement de moule d'une presse ou quand on l'utilise avec une matière différente.

Les défauts sur les pièces moulées peuvent être imputables à des mauvaises conditions de fonctionnement de la presse, ce qui cause le rebut de celle-ci.

Ces trois facteurs, presse et matière à injecter sont à prendre en considération si on veut obtenir un produit satisfaisant en général, c'est les facteurs matière et condition de fonctionnement de la presse qui sont incriminés, lorsque la cause réelle se situe dans la conception du moule lui-même.

Pour déterminer l'origine des défauts et y remédier, un principe d'analyse mis au point s'avère d'une grande utilité.

**V-2 Méthodes d'analyse des défauts :**

Ce principe d'analyse consiste à poser la nature du défaut et son origine probable ensuite à déterminer le remède.

*Tab V-1: Méthode d'analyse des défauts*

<b>Observation</b>	<b>Moule à empreinte unique</b>	<b>Moule à empreinte multiple</b>	<b>Origine du problème</b>
Le défaut se situe toujours à la même place	X		Dans le cylindre ou dans le système de réglage de l'injection
Le défaut apparaît toujours dans la même empreinte ou dans les mêmes empreintes		X	Dans les canaux d'alimentation ou dans les entrées qui déversent les empreintes
Le défaut disparaît lors de montage du moule sur une autre presse		X	Conditions d'injection inadéquates ou mauvais réglage de la machine
Le problème persiste avec différents lots de même matière	X	X	La matière n'est pas en cause
Le défaut apparaît de façon intermittente	X	X	Mauvais fonctionnement de la machine, Une surcharge ou un problème de matière
Le défaut disparaît lorsque le moule est manipulé par un autre manipulateur	X	X	Problème dû au facteur humain

Connaissant les défauts courants qui peuvent survenir lors d'une injection, on peut déterminer les causes probables de ces phénomènes.

Ces causes peuvent être reliées à la machine, au moule ou à la matière injectée elle-même.

*Tab V-2 : Différents défauts qu'on rencontre dans le moulage*

Défauts courants	Causes probables		
	Reliées à la machine	Reliées au moule	Reliées à la matière
<b>Moulée incomplète</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>pression insuffisante</li> <li>mauvais fonctionnement du cylindre d'alimentation</li> <li>buse bouchée</li> <li>buse trop petite</li> <li>alimentation très forte</li> <li>trémie bouchée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>entrée mal localisée</li> <li>matrice male éventée</li> <li>canaux pas assez Large</li> <li>température du moule trop basse</li> <li>présence de bouchons froids dans les canaux et entrées</li> <li>pièce de section très mince</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>matière très dure ou à Prise rapide</li> <li>lubrification incorrecte</li> </ul>
<b>Bulles de gaz occlus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>vitesse d'injection trop rapide ou trop lente</li> <li>course du cylindre trop courte</li> <li>pression inadéquate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>entrée mal située</li> <li>évents défectueux</li> <li>piston mal centré</li> <li>canaux trop petits</li> <li>temps de refroidissement trop lent</li> <li>écoulement irrégulier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>caractéristiques d'écoulement non convenable</li> <li>taux d'humidité trop élevé</li> <li>taux de produits volatiles trop élevé</li> </ul>
<b>Ouverture du moule pendant le moulage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>pression de fermeture très faible</li> <li>pression d'injection forte</li> <li>suralimentation de la machine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>présence de corps étranger dans le moule</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>matrice trop chaude</li> </ul>

<b>Imperfections superficielles</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sortie de buse trop petite ou partiellement bloquée</li> <li>• Vitesse d'injection trop rapide ou trop lente</li> <li>• Température de chauffage du cylindre trop élevée</li> <li>• Machine utilisée au-delà de sa capacité</li> <li>• Mauvais fonctionnement du cylindre de chauffage</li> <li>• Coussins d'alimentation insuffisants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Température de la matrice trop basse</li> <li>• Entrées et canaux trop petits</li> <li>• Absence de puits de déversement</li> <li>• Présence d'huile ou d'eau dans la matrice</li> <li>• Evénements insuffisants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Présence d'humidité</li> <li>• Excès de matières volatiles</li> <li>• Excès de la lubrification</li> <li>• Irrégularité de chauffage de la matière</li> <li>• Matière contaminée par des corps étrangers</li> </ul>
<b>Débordement du moule</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pression trop élevée</li> <li>• Mauvais serrage</li> <li>• Alimentation excessive</li> <li>• Pression maintenue très longtemps</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mauvais alignement ou mauvais montage de la matrice</li> <li>• Bavure ou corps étrangers sur le joint empêchant la fermeture complète du moule</li> <li>• Dimensionnement des empreintes mal fait</li> <li>• Surface projetée du moule trop grande pour la machine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matière trop fluide</li> </ul>
<b>Trainées noires</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dépôts de matière brûlée dans le cylindre</li> <li>• Fissure dans le cylindre ou rétention de matrice</li> <li>• Buse mal fixée</li> <li>• Piston usé</li> <li>• Chemise de trémie insuffisamment refroidie</li> <li>• Température du cylindre trop élevée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Présence de graisse ou d'huile provenant du mécanisme d'éjection</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mauvaise lubrification</li> <li>• Excès de matières volatiles</li> </ul>
<b>Soudure Défectueuse</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cylindre de chauffage fonctionnant mal</li> <li>• Température non uniforme</li> <li>• Pression insuffisante</li> <li>• Vitesse d'injection trop lente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matrice mal éventée</li> <li>• Mauvaise entrée dans le moule</li> <li>• Température de la matrice trop basse</li> <li>• Canaux trop petits</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matière à prise trop rapide</li> <li>• Présence d'humidité</li> <li>• Mauvaise lubrification</li> </ul>

**V-3 Incorrections des défauts de moulage par injection des polymères :***Tab V-3 : Correction des défauts de moulage par injection des polymères.*

défauts	Causes	Remèdes
<b>Objet incomplet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluidité insuffisante</li> <li>• Pression insuffisante</li> <li>• Canaux trop petits</li> <li>• Air enfermé dans le moule</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmenter la température d'injection ou celle de moulage</li> <li>• Augmenter la pression</li> <li>• Accroître les sections des canaux</li> <li>• Créer les événements</li> </ul>
<b>Objet fragile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisation de matière de récupération</li> <li>• Plastification non uniforme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eviter l'emploi ou limiter la teneur en matière de récupération</li> <li>• Améliorer le chauffage du cylindre d'injection</li> </ul>
<b>Stries d'humidité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les granulés ne sont pas assez séchés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sécher les granulés (effectuer un préchauffage)</li> </ul>
<b>Objet difficiles à éjecter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dépouille insuffisante</li> <li>• Objet mal solidifié</li> <li>• Moule usé ou mal poli</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmenter la dépouille</li> <li>• Abaisser la température du moule ou ralentir la cadence</li> <li>• Rectifier ou polir le moule</li> </ul>
<b>Brillants superficiels surface non homogène et rugueuse</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Température très basse du moule</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmenter la température du moule</li> </ul>
<b>Présence de cavités</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les différentes épaisseurs sont très franches</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmenter la pression</li> </ul>

**V-4 conclusion :**

Cette méthode d'analyse nous permet de parer à tout problème qui survient aux cours du process d'injection.

De ce fait, elle nous aide à cerner les aléas de la production et nous permet d'avoir une moulée parfaite dans des conditions de travail plus détendues.



# *Calcul et réalisation*

**VI-1 modélisation de la Pièce:**

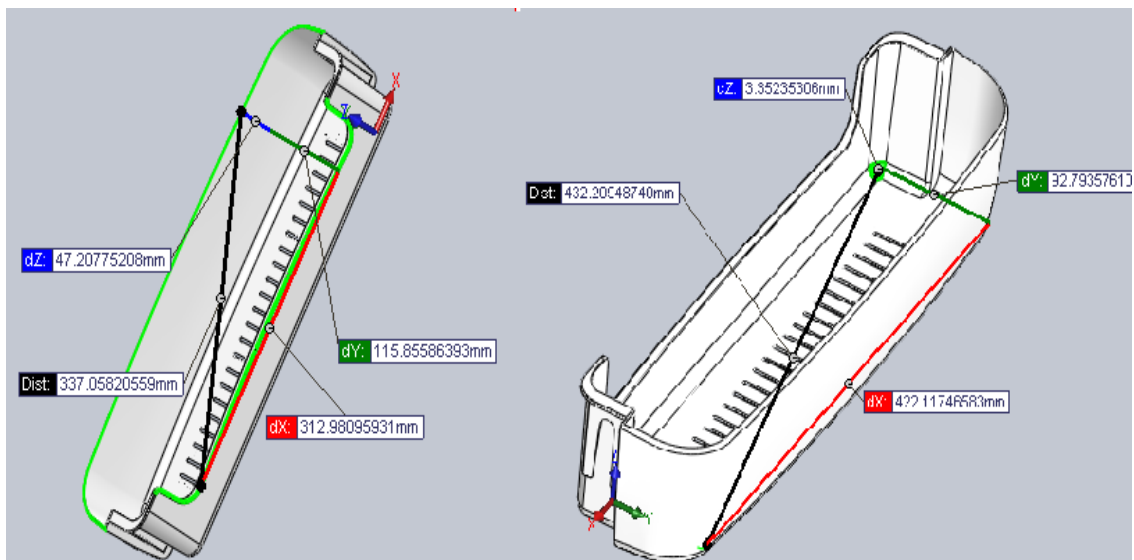
dans ce cas notre objectif est de créer un nouveau casier à bouteille à partir modification et amélioration des anciens modèles .

**VI-1-1 les conditions à respecter :**

avant de commencer notre modalisation on doit respecter quelques condition, qu'on peut citer;

➤ **les cotes fonctionnelles ;**

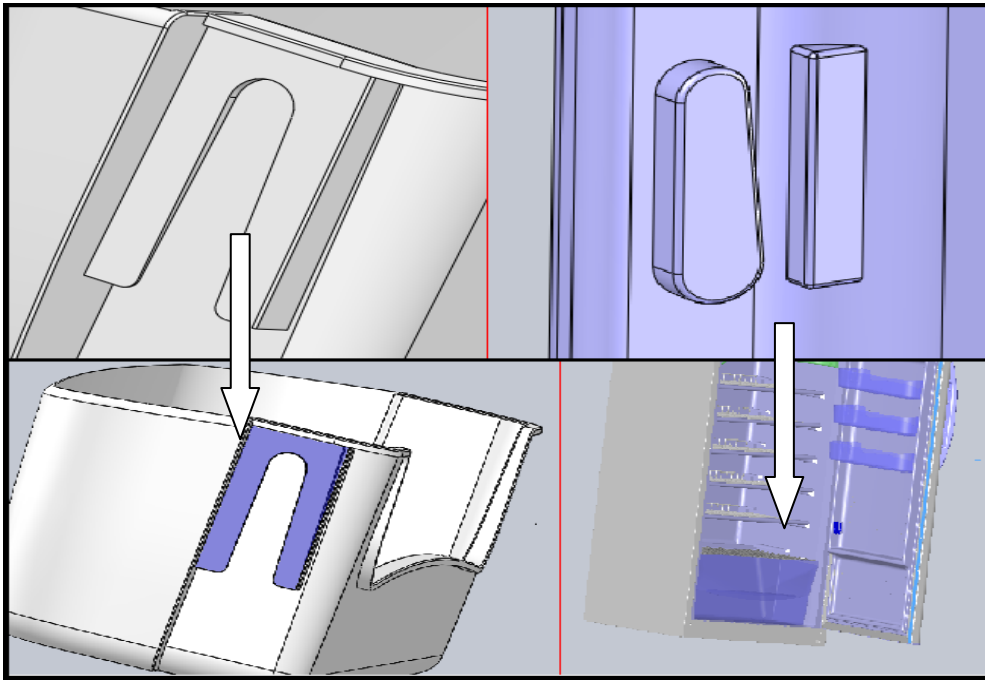
il faut vérifier que notre casier va assurer sa fonction et son role.



**fig- VI-1:** quelques cotes fonctionnelles mesurées par outil mesure CAO

➤ **les cotes d'encombrement:**

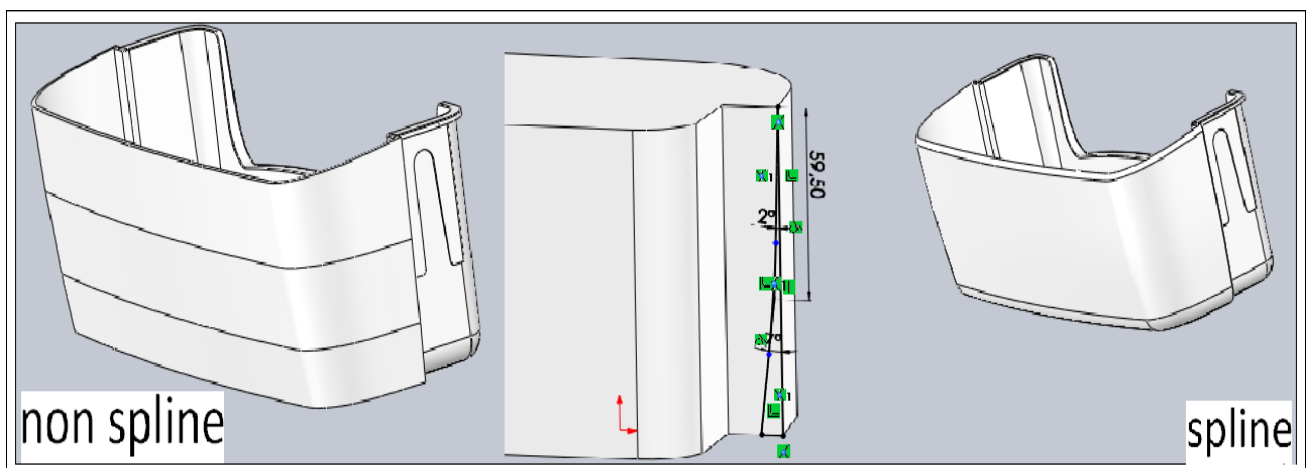
les cotes d'encombrement sont indispensable pour le montage donc on doit respecter les cotes et les dimensions des anciens modèles pour assurer le montage sur la cuve de LA porte (réfrigérateur).



*fig- VI-2: localisation des cotes d'encombrement*

### VI-1 -2 le nombre de surfaces de la pièce :

avec le logiciel de conception solidwork il nous a facilité le travail par exemple grâce a l'esquisse "spline" ( application courbe pilotée par une esquisse) on peut minimiser le nombre de surfaces de notre pièce et même pour nos empreintes ce que facilite le remplissage avec une très bonne propagation de matière plastique dans le moule , avoir des surface miroir et bien présenter la face d'accueil pour attirer le client .

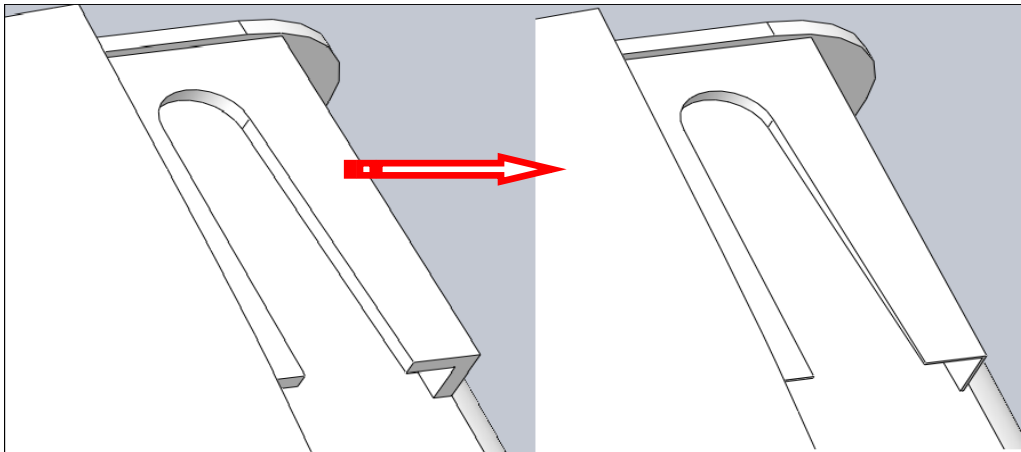


*fig- VI-3: compression de fonction bossage avec esquisse spline et non spline*

**VI-1 -3 analyse de la dépuille**

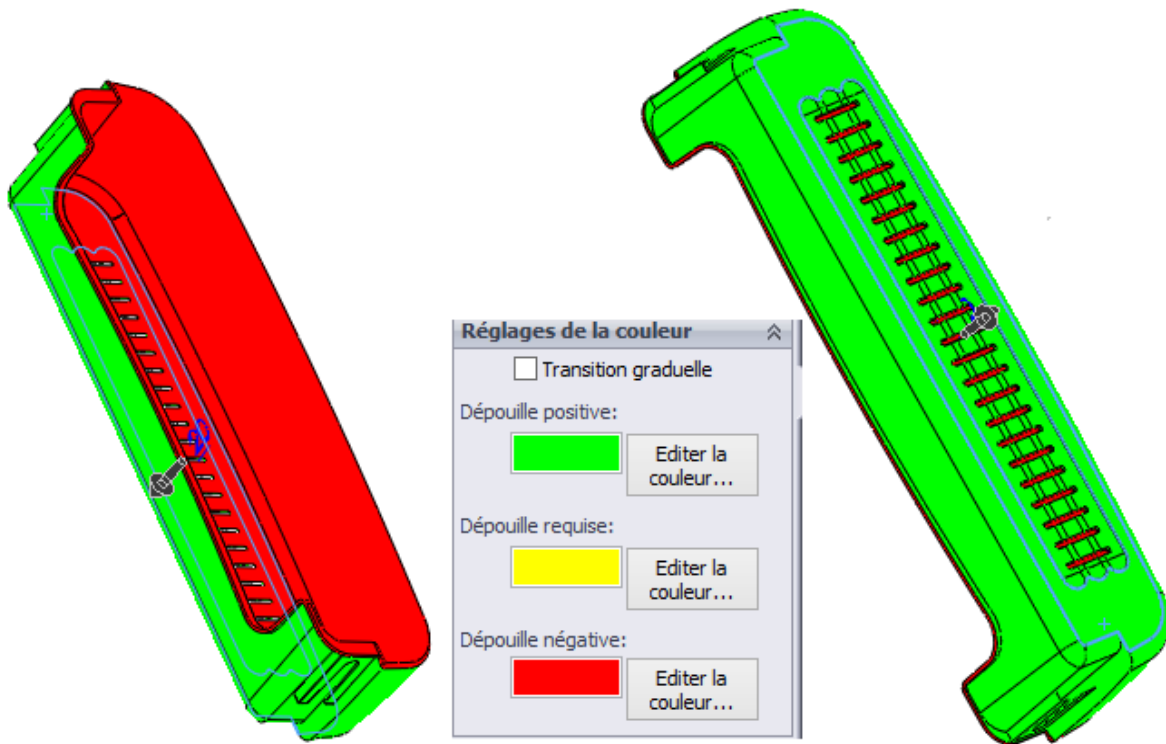
on a aussi la fonction *dépuille* qui nous permet ;

- avoir des dépouilles dans la même direction
- éviter les contres dépouilles
- faciliter l'éjection de la pièce



**fig-VI-4:** *résultat de fonction dépuille*

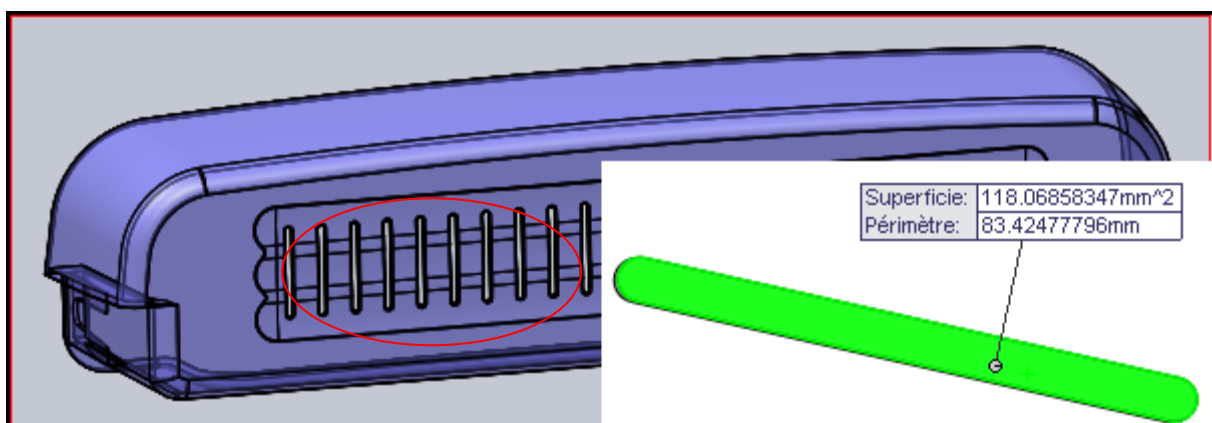
toutes les dépouilles de la pièce sont faites lors de sa conception et d'après l'analyse de la dépuille on a constaté que la condition est vérifiée.



*fig-VI-5: résultat de l'analyse de la dépouille*

#### **VI-1 -4 la circulation d'aire dans la pièce :**

pour assurer une très bonne circulation de la fraîcheur on a opté de 25 ouvertures de sur la partie de dessous ( $118\text{mm}^2 \times 25$ ).



*fig-VI-6: les ouvertures de casier a bouteille*

**VI-1-5 la matière de la pièce :**

-on a beaucoup de choix pour de la matière injectée mais pour avoir un très bon produit avec un très bon état de surface , on préfère utiliser les matières thermoplastiques.

- mais on veut ramener quelque choses de nouveau par rapport au choix du matériaux ,c'est la transparence de la pièce et pour cela on propose le polystyrène et le scène ,en plus de ça ils sont les plus disponibles d'une façons très permanente en Algérie.

-on regarde le cote économique on trouve que le polystyrène est moins chère que le scène ( 200 DA /KG pour le PS, ET 225 DA/KG pour scène )

- et on a quelques caractéristiques qui confirme notre choix ;

- Dur
- Brillance
- Grande rigidité
- Très bonne propriétés isolante électrique
- Très électrostatique
- Bonne résistance aux agents chimiques
- c'est un matériau agro-alimentaire

- mais la question qui se pose ; comment on va choisir entre le PS standard et le PS choc .

*tab-VI- 1: comparaison entre le PS choc et le PS standard [20]*

Les matières plastiques		
<b>POLYSTYRÈNE STANDARD (PS)</b>	<p><b>Origine :</b> styrène  <b>Structure :</b> amorphe  <b>Retrait :</b> 0,2 à 0,6 %  <b>Densité :</b> 1,05</p> <p><b>Mise en œuvre :</b> injection</p> <p><b>Températures :</b>  - de moulage : 160 à 280 °C  - du moule : 10 à 60 °C  - de ramollissement : 160 °C  - d'utilisation : - 70 à 75 °C</p> <p><b>Utilisations :</b> Équipements ménagers - Luminaires - Emballages et décoration. Réfrigérateurs</p>	<p><b>Avantages :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- mise en œuvre facile,</li> <li>- grande cadence de production,</li> <li>- transparence cristal,</li> <li>- prix intéressant,</li> <li>- état de surface correct,</li> <li>- peut se colorer,</li> <li>- alimentation,</li> <li>- collage et soudure faciles.</li> </ul> <p><b>Inconvénients :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- faible résistance aux chocs,</li> <li>- électro-statique,</li> <li>- soluble aux hydrocarbures,</li> <li>- jaunissement à la lumière,</li> <li>- combustion facile.</li> </ul>
<b>POLYSTYRÈNE CHOC (PSC)</b>	<p><b>Origine :</b> styrène + butadiène  <b>Structure :</b> amorphe 3 à 10 %  <b>Retrait :</b> 0,2 à 0,8 %  <b>Densité :</b> 1,04</p> <p><b>Mise en œuvre :</b> injection - calandrage - extrusion - soufflage - thermoformage.</p> <p><b>Températures :</b>  - de moulage : 190 à 280 °C  - du moule : 18 à 60 °C  - de ramollissement : 100 °C  - d'utilisation : - 30 à 60 °C</p> <p><b>Utilisations :</b> Boîtes - Emballages alimen- taires - Jouets - Téléviseurs - Radio</p>	<p><b>Avantages :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- mise en œuvre facile,</li> <li>- grande cadence de production,</li> <li>- prix intéressant,</li> <li>- bon état de surface,</li> <li>- peut se colorer,</li> <li>- collage et soudure faciles</li> <li>- utilisation alimentaire,</li> <li>- bonne résistance aux chocs,</li> <li>- aspect mat.</li> </ul> <p><b>Inconvénients :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- perte de la transparence,</li> <li>- perte de la brillance,</li> <li>- électro-statique,</li> <li>- soluble aux hydrocarbures,</li> <li>- jaunissement à la lumière,</li> <li>- combustion facile.</li> </ul>

d'après ce tableau:

- domaine d'utilisation PS standard ( réfrigérateurs)
- les avantages du PS standard (prix intéressant , peut être coloré, alimentation ,état de surface correcte et transparence cristal )
- les inconvénients du PS choc ( perte de la transparence , perte de la brillance)



Après cette analyse technico-économique on opte pour le PS standard

pour la couleur on choisi le bleu qui représente la fraîcheurs a 10% pour garder la transparence et cacher les petits défauts.

**VI-2 ETUDE PAR DFMXpress (application de pièces SolidWorks) :[18]**

C'est un outil d'analyse qui vérifie la manufacturabilité des pièces SolidWorks, (Logiciel de CAO (conception assisté par ordinateur) / DS SW Premium 2013) On procède à la détermination des zones de la conception qui risquent de poser des problèmes à l'étape de fabrication ou d'augmenter les coûts de production, on utilisant **DFMXpress**.

**VI-2 -1 Epaisseur minimale de paroi :**

Des parois trop fines peuvent être responsables de problèmes de remplissage, de contraintes élevées dans le moule, ainsi que de fragilités dans la pièce et de caractéristiques d'isolation médiocres.

**VI-2-2 Epaisseur maximale de paroi :** Evitez les parois trop épaisses qui peuvent être à l'origine de problèmes de refroidissement et de défauts tels que des imperfections de surface et des retassures. Des parois épaisses peuvent aussi augmenter la durée du cycle.



*fig-VI-7: Paramètres et résultats -ETUDE PAR DFMXpress-*

**VI-2 -3 Résultats de l'étude Analyse Epaisseur:**

*tab-VI-2: Résultats de l'étude Analyse Epaisseur par SolidWorks*

**Récapitulatif**

Superficie totale analysée	280670,88mm <sup>2</sup>
Supercifie critique(% de la zone analysée)	272125,12mm <sup>2</sup> (96,96%)
Déviatiion maximale par rapport à l'épaisseur cible	4,24mm
Epaisseur moyenne pondérée sur la zone critique	2,38mm
Epaisseur moyenne pondérée sur la zone analysée	2,54mm
Nombre de faces critiques	493 Face(s)
Nombre de fonctions critiques	24
Epaisseur minimale sur la zone analysée	0,86mm
Epaisseur maximale sur la zone analysée	59,50mm

Données de l'outil SW Analyse Epaisseur :

- L'épaisseur maximale  $e_{max} = 4,24$  mm
- L'épaisseur minimale  $e_{min} = 0.86$  mm
- ➡ La Condition de l'épaisseur des pièces obtenues par procédé d'injection,  
 $0.5 \text{ mm} \leq e \leq 6 \text{ mm}$  est vérifiée

**VI-3 Choix du procédé de fabrication d'une pièce ;[22]**

Le choix d'un procédé de fabrication d'une pièce est en fonction de la série, de la géométrie de la pièce et de ses dimensions ;

*tab-VI-3; Choix du procédé de fabrication d'une pièce en fonction des différents critères.*

critères	Procédés de fabrication	Observation	
<b>Série</b>	Contact, projection	1 à 1000 pièces	
	rotomoulage	10 à 1000 pièces	
	Injection RTM	5000 pièces	
	thermoformage	10 à 10000 pièces	
	Injection soufflage	10000 à 100000 pièces	
	Compression SMC, BMC	10000 à 100000 pièces	
	injection	100000 à 1000000 pièces	
	extrusion	100000 mètres linéaires	
	calandrage	1000000 mètres linéaires	
	pultrusion	5000 mètres linéaires	
	<b>dimension</b>	injection	Presse <10000t, pièces < 2 par 2 m et 100kg
		Injection RIM	Pièces < 50kg
Compression SMC		Pièces < 20kg	
thermoformage		Pièces < 200kg et 8 par 2,5 m	
Contact-projection		Pièce monobloc < 50m (30t)	
soufflage		volume < 5m <sup>3</sup>	
rotomoulage		volume < 25m <sup>3</sup>	
enroulement		volume < 3000m <sup>3</sup>	
Enduction, calandrage		largeur < 3,2m	
extrusion		tube < Ø1,5m, gaine < Ø0,5m, plaque < 3,5m, film < 15m	
<b>géométrie</b>		profilé	Extrusion, pultrusion
		tubulaire	Enroulement filamentaire, pultrusion, centrifugation
	creuse	Injection, soufflage, rotomoulage, enroulement	
	plane	Compression, thermoformage	
	volumique	Injection ...	

Pour notre cas on a les données suivantes :

- ✓ série : plus de 150 000 pièces ;
- ✓ dimension : presse  $\leq 850$  T, pièces 496 mm par 101.5 mm et d'environ 340 g
- ✓ géométrie : volumique.

➡ Le moulage par injection est le procédé de fabrication le plus adéquat.

#### VI-4 Le choix de la presse d'injection :

Le choix de la presse d'injection dépend essentiellement des facteurs suivants:  
La capacité d'injection ;

- ✘ La force de fermeture ;
- ✘ La puissance de plastification ;
- ✘ La distance entre colonnes ;
- ✘ L'épaisseur minimale du moule ;
- ✘ La disponibilité de la presse d'injection.

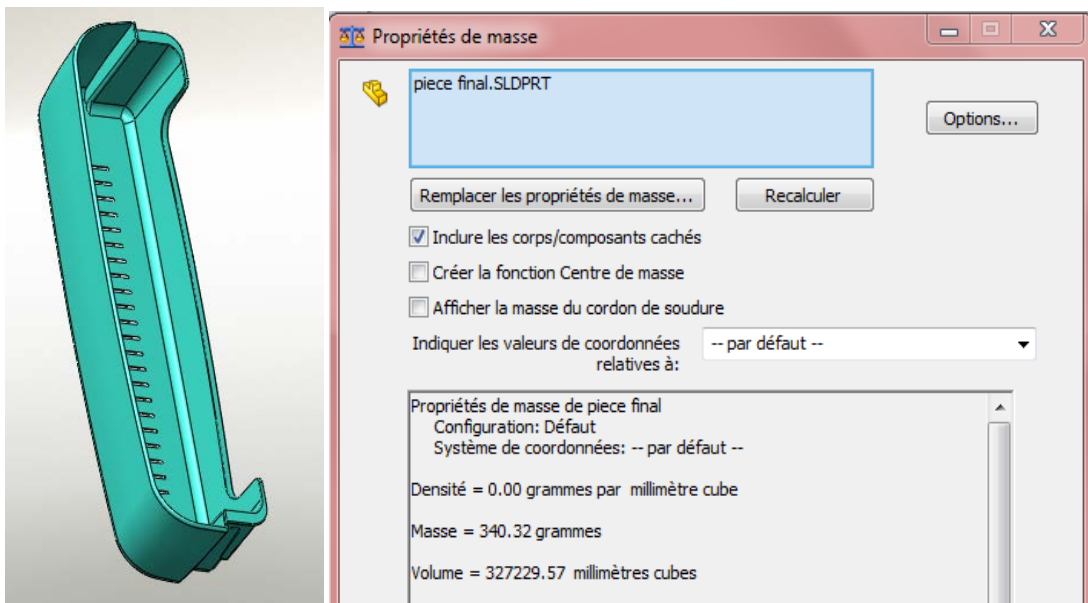
##### VI-4 -1 La capacité d'injection [1] :

Chaque presse d'injection a une capacité d'injection ; on choisit la presse en fonction de la masse des pièces et de la carotte (masse de la grappe ou de la moulée).

##### VI-4 -1-a La masse de la pièce :

La masse de notre pièce dépouillée est donné directement dans les propriétés de la Masse, du logiciel SolidWorks, après déclaration bien sûr du matériau PS.

La masse de notre pièce est donc :  $mp = 340.32 \text{ g}$



**fig-VI-8:** Les propriétés de la masse

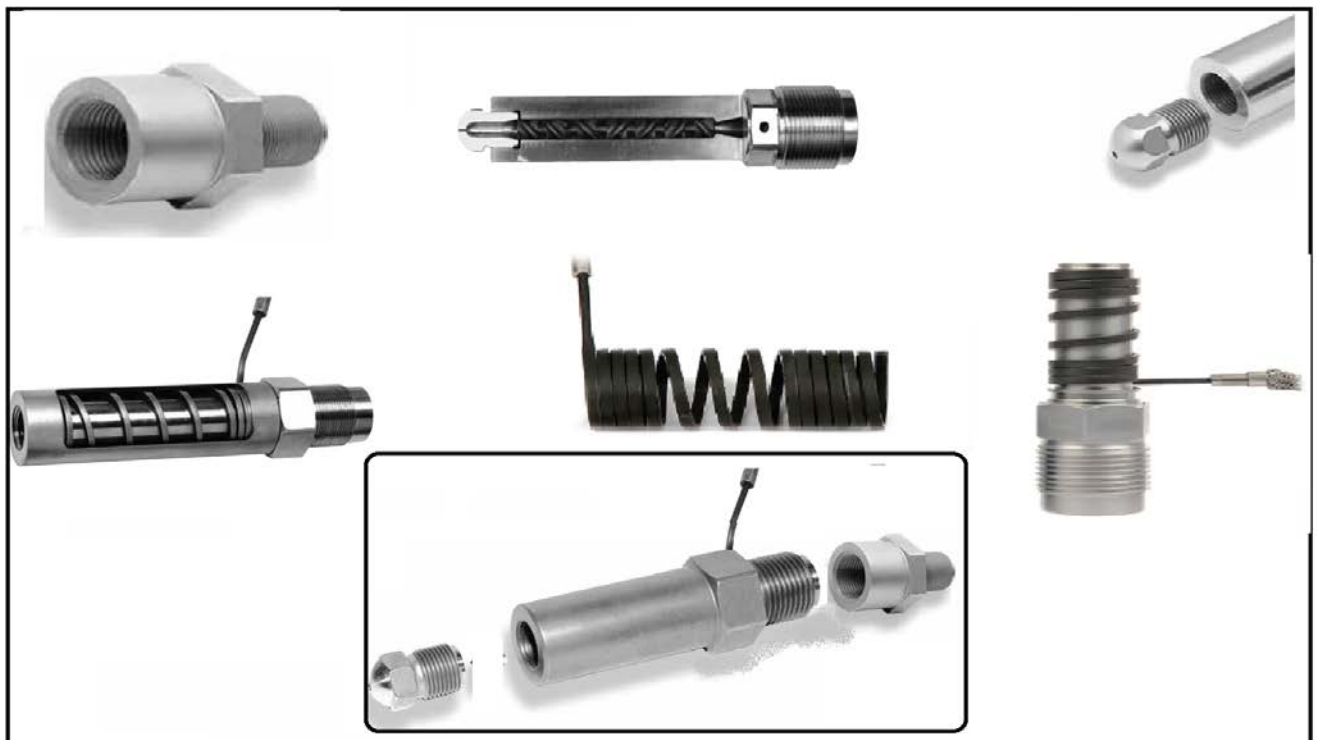
**VI-4 -1-b La masse de la carotte :**

Pour notre moule on a utilisé un collier chauffant en raison de l'amélioration l'état de surface de la pièce et éviter le gaspillage de ma matière donc la quantité de la matière de la carotte reste toujours a l'état pâteux dans partie fixe de moule.

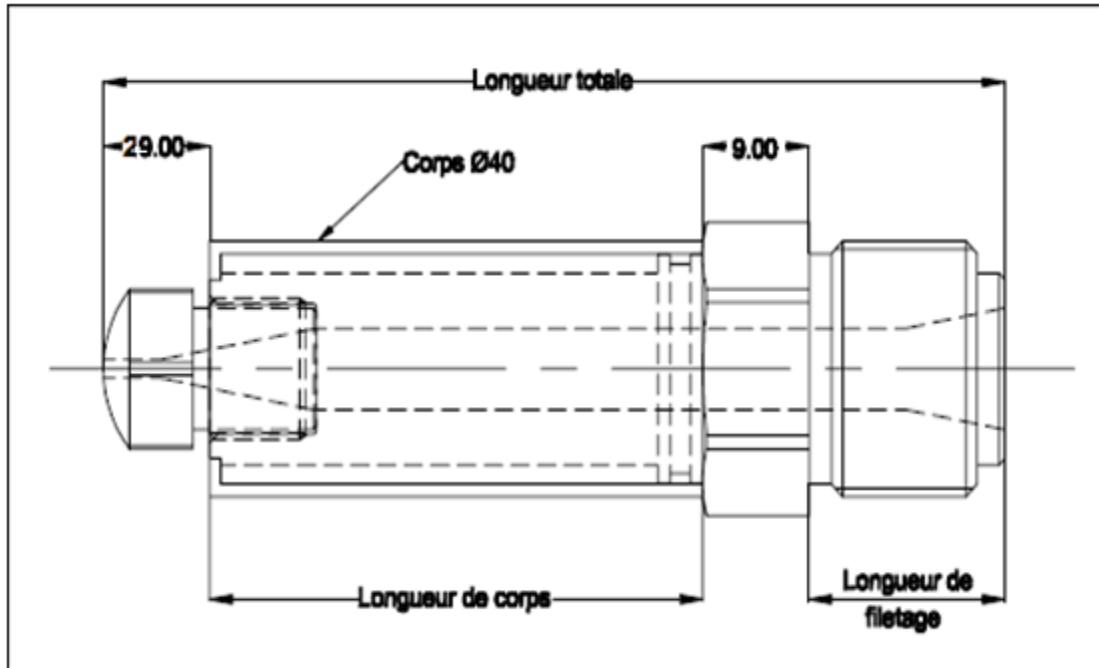
**VI-4 -1-c Dimensionnement du collier chauffant et du seuil d'injection :[19]****➤ Dimensionnement du collier chauffant;**

pour les avantages suivantes on a choisi un collier chauffant à la place de la carotte;

- des cicatrices non remarquables pour les points d'injection après le refroidissement (surtout dans les pièce transparentes)
- il remplace le rôle de la troisième plaque et la carotte dans le moule à trois plaque
- Pas de perte de matière par carotte.
- Décarottage automatique



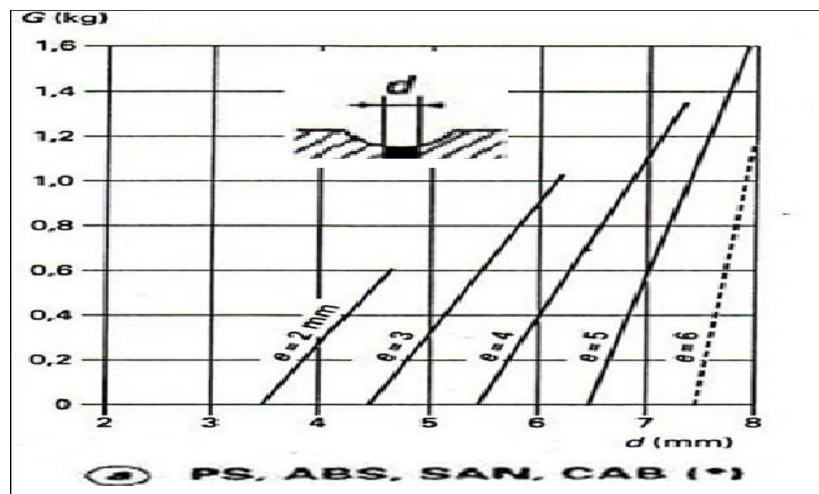
*fig-VI-9: les différentes parties de collier chauffant utilisé*




*fig-VI-10: dimensionnement de notre collier chauffant*

la longueur totale de corps dépend du dimensionnement de la partie fixe pour notre cas la longueur total = 96 mm

- **Dimensionnement du seuil d'injection ;**  
dans notre cas on à utilisé un collier a la place du canal de distribution ,donc les dimensions du seuil dépend de l'épaisseur la pièce et sa masse: d'après le graphe suivant ;



*fig-VI-11: Dimensionnement du seuil d'injection[20]*

 le seuil d'injection de forme circulaire de diamètre  $d=4.25\text{mm}$

#### VI-4 -1- d La masse de la moulée (Grappe) ;

C'est la masse des pièces et de la carotte ;

$$Mg = n * mp + mc$$

- ✓  $Mg$  ; une quantité injectée chaque cycle,
- ✓  $N$  : nombre des pièces à produire pour chaque cycle
- ✓  $mp$  ; masse de la pièce
- ✓  $mc$  ; masse de la carotte

Notre moule produit dans chaque cycle une pièce , ce qui nous

Donne :

$$Mg = mp = 340.32 \text{ g}$$

#### VI-4 -1-e Capacité d'injection des presses :

Les différentes machines et leur capacité d'injection sont représentées dans le tableau ci-dessous :

*tab-VI-4:: Capacité d'injection[22]*

<b>Machine</b>	<b>Capacité d'injection (g)</b>	
	<b>Pour PS</b>	<b>Pour PE</b>
<b>25 T</b>	45	36
<b>75 T</b>	100	83
<b>150 T</b>	230	180
<b>220 T</b>	450	350
<b>350 T</b>	850	680
<b>550 T</b>	1360	1080
<b>650 T</b>	2890	2290

D'après le tableau, on constate que les machines qui peuvent assurer l'injection de cette quantité de matière sont : 220T ,350T, 550T et 650T

Car ;

$$Mg > 230 g$$

#### VI-4 -2 Force de fermeture du moule ;

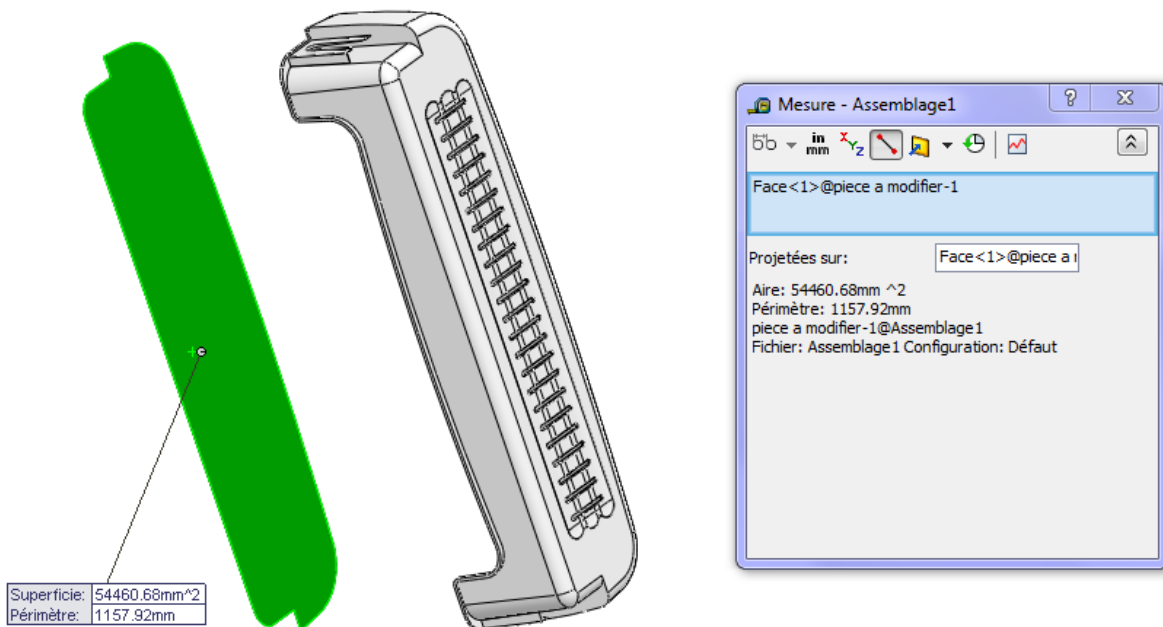
L'injection de la matière à l'intérieur de notre moule se fait à une grande pression, ce qui engendre une force de pression (force de verrouillage), qui a tendance à ouvrir ce dernier et pour faire face à cette force de pression, la presse d'injection doit appliquer une force de fermeture supérieure à cette force de verrouillage.

#### VI-4 -2-a Force de verrouillage (tonnes /cm<sup>2</sup>) :

$$Fv = P . Sp$$

- ✓  $Fv$ : Force de verrouillage (tonne) ;
- ✓  $P$  : Pression intérieure moyenne (tonne/cm<sup>2</sup>);
- ✓  $Sp$  : Surface projetée de la matrice (cm<sup>2</sup>).

La surface projetée de la moulée est donnée par SolidWorks Mesure &Projection



*fig-VI-12 : Mesure de la surface projetée par solidworks*

#### VI-4 -2-b La pression intérieure moyenne :[20]

Il existe des valeurs de pression intérieure moyennes dans la normalité et pour des grands parcours de fluctuation par rapport à l'épaisseur de moulage, épaisseur faible ou avec beaucoup de grilles, forme compliquée :

*tab-VI-5: Pression intérieure moyenne (tonnes/cm<sup>2</sup>) selon la matière*

Matières	La pression intérieure Moyenne (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

AN:

$$Fv = 0.4 \times 544.60 \quad \longrightarrow \quad Fv = 217.84 \text{ tonnes}$$

**VI-4 -2-c La force de fermeture:**

$$F = Fv \cdot K$$

$Fv$ : Force de verrouillage calculée précédemment ;

$K$  : Coefficient de sécurité sa valeur est :  $1 \leq K \leq 2$

AN:

$$F = 217.84 \times 1,5 = 326.76 \text{ tonnes}$$

$$\longrightarrow \quad F = 326.76 \text{ tonnes}$$

Ce résultat nous permet d'éliminer aussi la Presse **220 T**.

On choisi la presse d'injection qui à la pression la plus proche à celle de la grande presse éliminée, bien sûr selon sa disponibilité c.-à-d. si la presse est libre ou pas ; Pour cela en résulte que la presse devra être la Presse **350 T**.

**VI-4 -3 La puissance de plastification (C):**

La puissance de plastification (quantité de matière plastifiée par heure) est en fonction de la masse de la grappe et du temps de cycle de moulage.

On doit vérifier cette puissance même si la presse 350 T peut injecter 340,32 g.

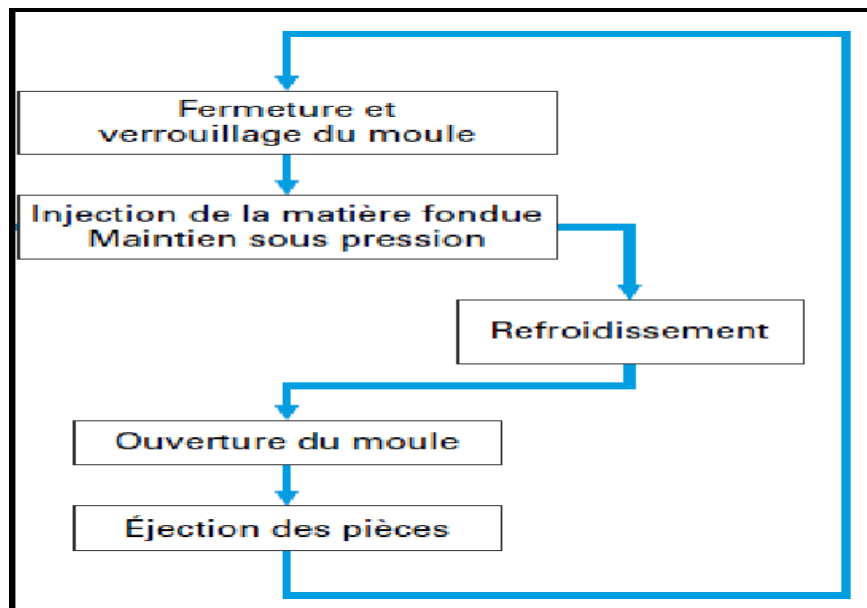
$$C = \frac{\text{masse de la grappe}}{\text{temps de cycle}}$$

**VI-4 -3 -a Calcul du temps de cycle :[18]**

C'est le nécessaire pour fabriquer une pièce de fermeture de moule jusqu'à l'éjection de la pièce c-à-d Le temps de cycle est la somme de tous les temps du procédé de l'injection plastique : Temps de fermeture, injection, maintien, refroidissement, ouverture et en fin éjection.

On peut écrire :

$$t_C = \sum t = t_F + t_i + t_m + t_R + t_O + t_e$$



*fig-VI- 13: Présentation du temps de cycle*

- **calcul du Temps de refroidissement:**

C'est le temps qui nous indique la période mise en jeu pour le refroidissement partiel de notre pièce. Nous avons inclus le mot partiel parce que ce refroidissement permet juste à la pièce de se solidifier sur l'empreinte à

l'intérieur du moule non pas la ramener à la température ambiante (20C°). C'est pour cela qu'on se réfère à la formule suivante :

$$t_R = \frac{e^2}{\pi^2 \times D} \text{Ln} \left[ \frac{8}{\pi^2} \left( \frac{T_i - T_m}{T_d - T_m} \right) \right]$$

Avec:  $\left\{ \begin{array}{l} e: \text{épaisseur moyenne de la pièce; } e=2,54 \text{ mm.} \\ D: \text{diffusivité thermique du PS; } D=8,3 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s.} \\ T_i: \text{température d'injection; } T_i=225^\circ\text{C.} \\ T_d: \text{Température de la moulée au moment du démoulage; } T_d=75^\circ\text{C.} \\ T_m: \text{température du moule ; } T_m=45^\circ\text{C.} \end{array} \right.$

*tab-VI-6: gradeurs thermique et paramètres d'injection*

Tableau 6 – Grandeurs thermiques permettant le calcul du temps de refroidissement des pièces injectées (1)					Tableau 4 – Paramètres d'injection de différents thermoplastiques $T_m, T_i, T_s$ respectivement température du moule, température d'injection et solidification								
$T_d$ température moyenne d'extraction					Symbole (1)	$T_m$ (°C)	$T_i$ (°C)	$T_s$ (°C)	$\Delta T = T_i - T_s$	Viscosité			
$\lambda$ conductivité thermique										bonne	moyenne	faible	
$a$ coefficient de diffusion thermique (ou diffusivité)					Matière injectée (2)	$T_d$ (°C)	$\lambda$ (W · m <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> )	$a$ (10 <sup>-9</sup> m <sup>2</sup> · s <sup>-1</sup> )					
Cellulosiques	CA.....	80 à 105	0,22		POLYMERES AMORPHES	PPO	80	300	120	180			
	CAB.....	80 à 105	0,21			PEI	100	370	215	155			
	CP.....	80 à 105	0,22			PMMA	70	245	100	145			
Polystyréniques	PS.....	75	0,16	8,3		ABS	75	250	110	140			
	SB.....	75	0,17	8,3		ASA	75	245	105	140			
	SAN.....	90	0,16	8,3		SAN	80	255	115	140			
	ABS.....	100 à 120	0,16	8,3		PS	45	225	100	125			
Autres polymères	PMMA.	80 à 120	0,18	7,0		SB	70	225	100	125			
	PE-BD..	80	0,32 à 0,4	8,2		PES	150	350	230	120			
	PE-HD..	95	0,38 à 0,51	8,6		PSU	150	315	200	115			
	PP.....	100 à 120	0,22	6,2		PVC	35	195	100	95			
	PET.....	160 à 180				PC	90	300	150	150			
	PVC.....	70 à 80	0,16	7,9		CAB	55	215	140	75			
	PA-6....	160	0,35	8,2		TPU (2)	35	210	150	60			
	PC.....	160	0,22	10,8									
PUR.....	40 à 60	0,29											

AN:


$$t_r = \frac{(2,54 \times 10^{-2})^2}{3,14^2 \times 8,3 \times 10^{-8}} \text{Ln} \left[ \frac{8}{3,14^2} \left( \frac{225 - 45}{75 - 45} \right) \right] \approx 13$$

  $t_r = 13 \text{ s}$

- **Calcul des temps d'ouverture, de fermeture et d'éjection :**

Le temps d'ouverture est entre 30% à 50% du temps de refroidissement, et ce dernier est de 13 s ce qui nous donne :

(3.9s→6.5s), mais avec le paramètre la presse «TOSHIBA Corporation» de 350T on a le choix entre 5s et 6 s et pour un bon refroidissement on prend :

 {

- Le temps d'ouverture  $t_0 \approx 6 \text{ s}$
- Le temps de fermeture  $t_F \approx 6 \text{ s}$

- **Le temps de maintien : [20]**

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

Cette phase a pour objet de compenser la réduction du volume (le retrait), en raison du refroidissement, par un ajout de matière injectée.

**tab-VI-7: Conditions de moulage par injection plastique**

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.	

 Pour optimiser la compensation du retrait on

Prend le temps de maintien  $t_m = 5 \text{ s}$ .

- **Le temps d'éjection :**

L'éjection se fait à une vitesse constante, ce qui nous permet d'écrire :

$$t_e = \frac{C_e}{V_e}$$

$\left\{ \begin{array}{l} V_e : \text{Vitesse d'éjection de la grappe (pour le PS } V_e=10\text{cm/s)} \\ C_e : \text{Course d'éjection de la grappe (pour notre cas } C_e=101.5) \end{array} \right.$   
 On peut la calculer avec la relation suivante ;

$$C_e = L_g + \beta$$

$\left\{ \begin{array}{l} L_g ; \text{ largeur de la grappe (la pièce)} \\ \beta ; \text{ une marge de sécurité (entre 10 à 30\% de la largeur de la pièce)} \end{array} \right.$

donc ;

$$C_e = 101.5 + \frac{101.5 \times 20}{100} \approx 120 \text{ mm}$$

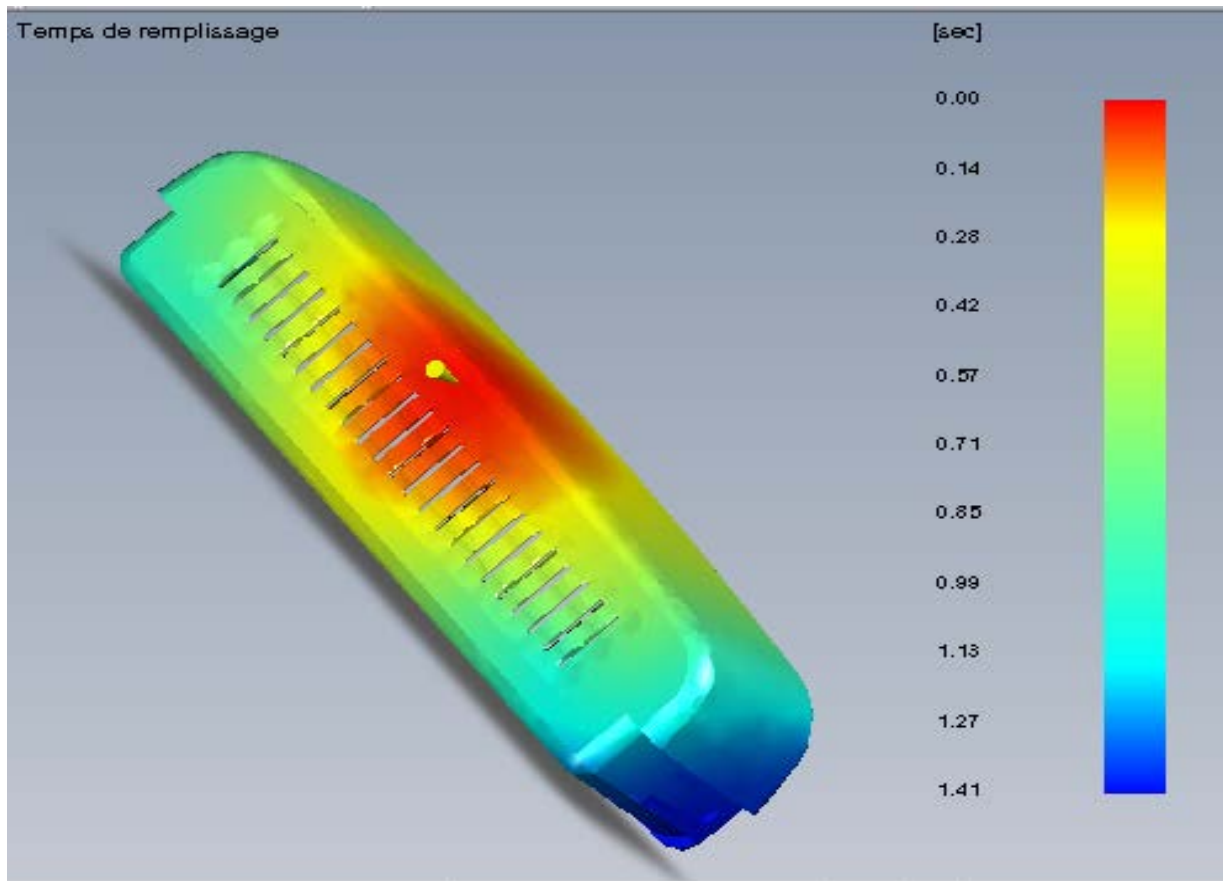
**AN**: 
$$t_e = \frac{120}{10 \times 10}$$

  $t_e = 1.2 \text{ s}$

- *Calcul du temps d'injection de la matière :*

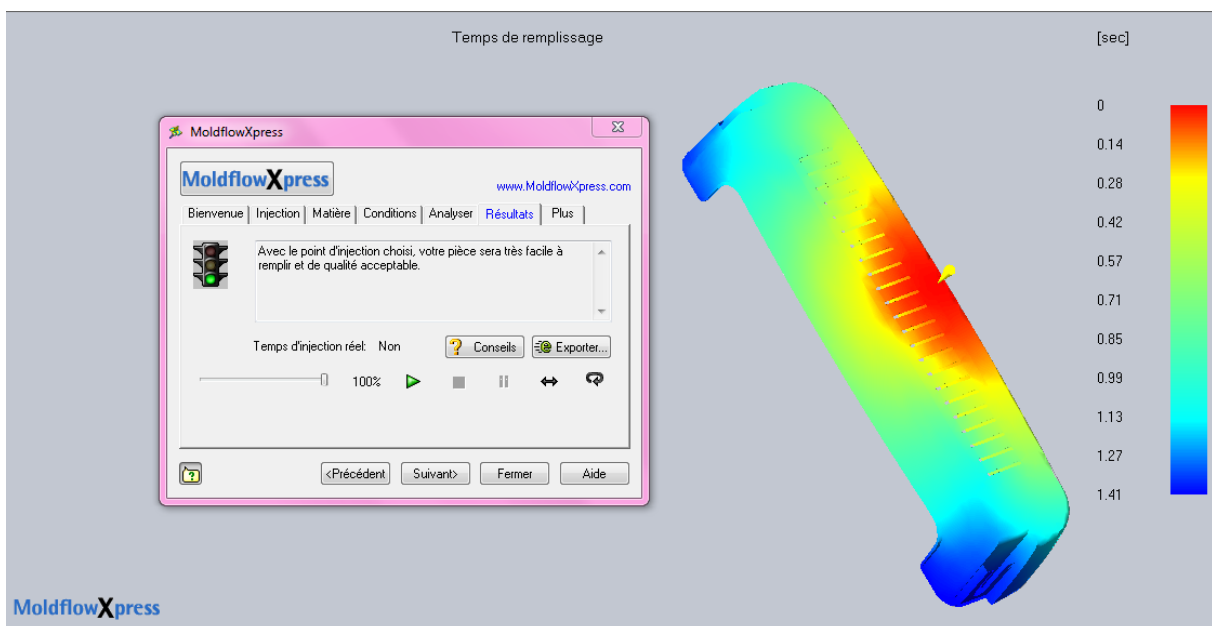
Après avoir déclaré les différents paramètres nécessaires pour lancer la simulation avec application de solidworks **MolflowXpress**(est un outil de simulation de remplissage des pièces à mouler) ,Nous avons obtenu les résultats suivants :

  $t_i = 1.41 \text{ s}$



*fig-VI-14: Propagation de la matière injectée durant le temps de remplissage.*

On reprend l'étude cette fois-ci pour vérifier l'emplacement du point d'injection choisi.



*fig-VI-15: Résultats (validation avec rapport positif) de la simulation molfwXpress*

Après la simulation avec cette application, elle nous indique qu'avec le point d'injection choisi, notre pièce sera très facile à remplir et de qualité très acceptable.

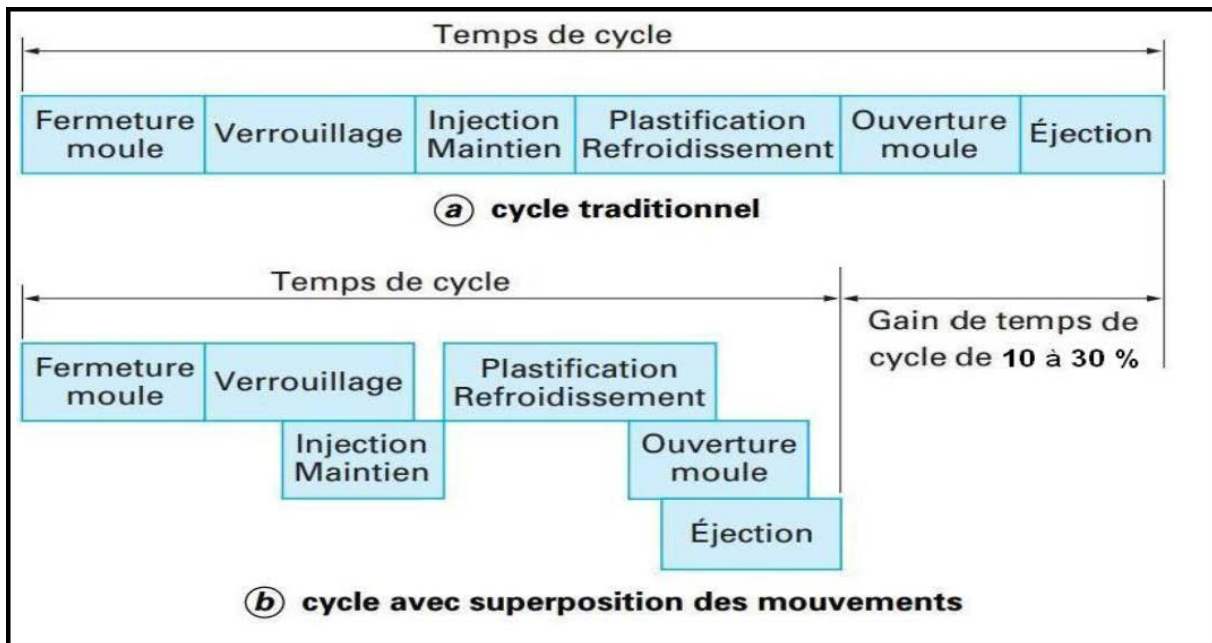
En fin le temps de cycle est égal a :

$$t_c = \sum t = t_F + t_i + t_m + t_R + t_o + t_é$$

$$t_c = \sum t = 6 + 1.41 + 5 + 13 + 6 + 1,2$$

  $t_c = 32.61 \text{ s}$

- ➡ Notre cycle de moulage est presque traditionnel, on peut augmenter la cadence en superposant les mouvements de la presse et on aura un gain de temps de 10 à 30 %.



**fig-VI-16:** Gain de temps de cycle lors d'une haute cadence

Pour une augmentation de 20% de la cadence de production on aura un temps optimal de cycle de moulage qui est égal à :

$$t_{c^*} = t_c - 20 \% t_c = 80 \% t_c$$

**AN:**

$$t_{c^*} = 0,80 \cdot t_c = 0,80 \times 32.61 = 26 \text{ s}$$



$$tc^* \cong 26 \text{ s}$$

**VI-4 -3 -b Calcul La puissance de plastification :**

D'où : notre presse **350 T (i9)** plastifiera une quantité :

$$C = \frac{340.32 \times 10^{-3}}{26/3600}$$

  $C = 44.35 \text{ kg/h}$

✘ La condition  $C \leq C_{max}$  est vérifiée car notre presse peut plastifier 150kg/h

*tab-VI-8: Différentes caractéristiques techniques de la Presse 350 T (i9).*

<b>Presse 350 T (i9)</b>	
Symbole d'injection	i9
Symbole du cylindre	A
Pression d'injection	1890 Kg/ cm <sup>2</sup>
Taux d'injection	262 cm <sup>3</sup> /s
Quantité d'injection	PS 450 Gr
	PE 255 Gr
Diamètre de la vis	50 mm
Puissance de plastification PS	150 Kg/h
Puissance de serrage	350 Tonnes
Force d'ouverture	18.9Tonnes
Vitesse Maxi de rotation de la vis	255 tr/min
Intervalle des tirants	710x710 mm
Dimension de la plaque matrice	1000x1000 mm
Course de serrage	950 mm
Epaisseur Mini du moule	300 mm
Ouverture	1250 mm
Force de foulage (hydraulique)	9.9 Tonnes
Course de foulage	125 mm
Quantité d'huile d'usage	1000 Litres
Moteur destiné à la pompe	45 KW
Capacité du réchauffeur	11.8 KW
Dimension de la machine (L x I x H)	7.5x1.8x2.4 m
Poids de la machine	17 Tonnes

**VI-5 d'autres conditions à vérifier :**

- On a d'autres conditions à respecter telles que:

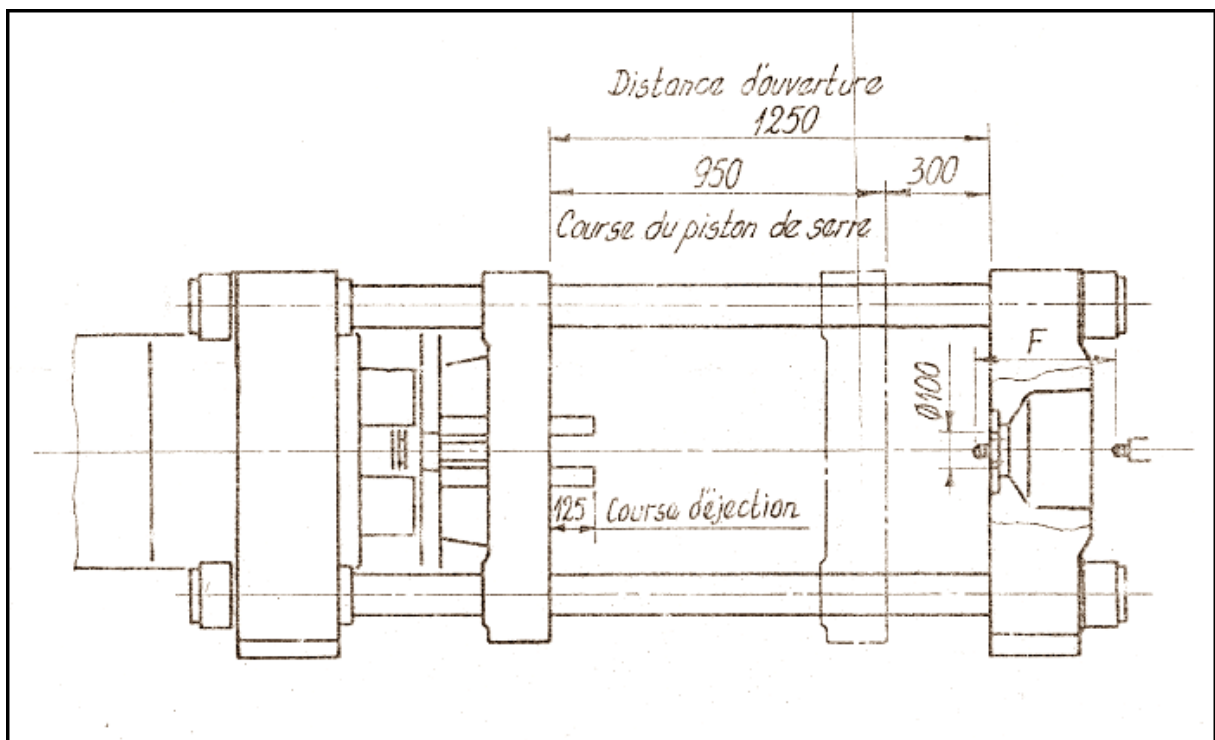
**VI-5 -1 La condition de la course maximale de foulage :**

La course d'éjection de la pièce est  $Cé=120\text{ mm} \leq Cf_{max} =125\text{ mm}$  cette condition est vérifiée.

**VI-5 -2 Dimensions minimales du moule : [20]**

Les caractéristiques dimensionnelles de la presse 350T (i9) sont :

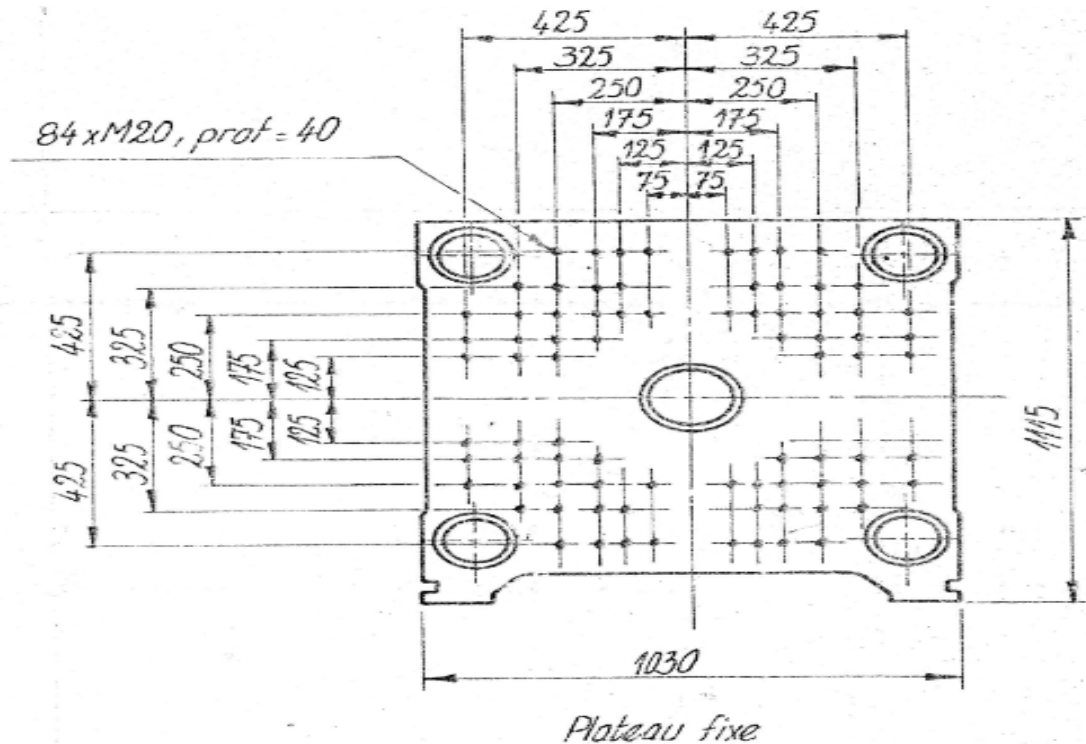
- ✓ La distance entre plateaux de la presse 1250 mm ;
- ✓ La course maximale du piston de serrage 950 mm ;
- ✓ La course de la buse (pointe) d'injection 350 mm ;
- ✓ La course de foulage ou d'éjection 125 mm ;
- ✓ L'encombrement entre les plateaux de la presse 300 mm.



**fig-VI-17:** Caractéristiques dimensionnelles de la presse 350T (i9)

- ➡ Le moule doit être dimensionné par rapport aux valeurs caractéristiques Dimensionnelles de la presse d'injection 350 T (i9).
- ➡ L'épaisseur minimale de notre moule doit être supérieure à l'encombrement (distance minimale entre les plateaux de la presse) et qui est de : 300 mm.
- ➡ Les dimensions minimales des moules sont : 150(H) × 250(V) × 300 .  
Notre moule a comme dimensions minimales : 396 (H) × 696 (V) × 457.

Donc la condition des distances minimales du moule est vérifiée.



*fig-VI-18: Schémas du plateau de la presse 350T (i9).*

### VI-5 -3 La condition de la distance entre colonnes :

La presse possède quatre colonnes de guidage 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.

Les dimensions de notre moule sont (est vérifiées)

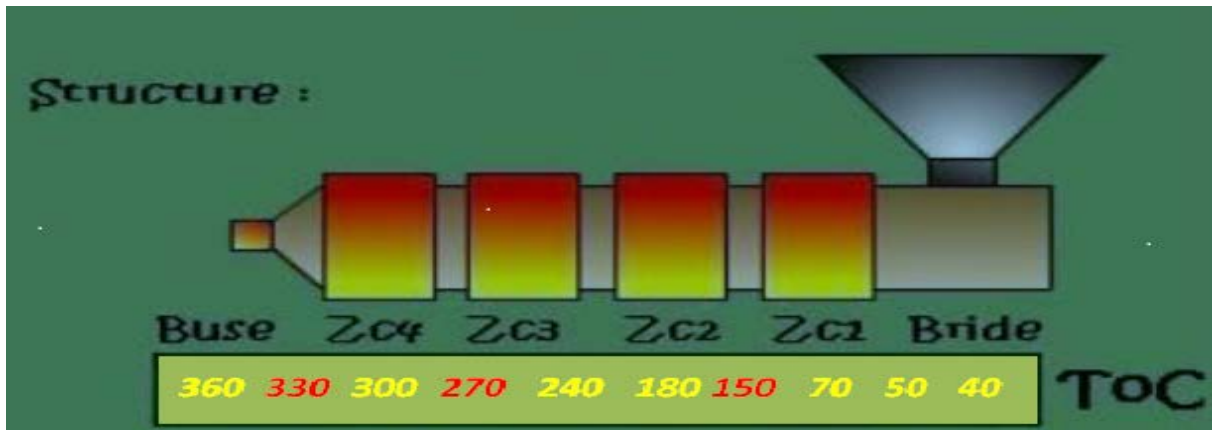
- Largeur maximale : 696mm ;
- Hauteur maximale : 396 mm.

### VI-5 -4 Vérification des paramètres du moule et de réglage de la presse d'injection :

- ➡ La température de moulage de PS est comprise entre 220 et 250 °C  
D'après Le paramètre température du collier chauffant de presse 350T (i9)  
«TOSHIBA Corporation» on peut régler la température entre 70 et 360 °C.

Donc :

La condition des températures  $T_{PS} \leq T_{maxi}$  est vérifiée.



**fig-VI-19:** Paramètres de températures du collier chauffant de presse 350T (i9)

#### VI-5 -5 La vitesse de rotation maximale de la vis :

➡ La vitesse de rotation maximale de la vis pour Le PS est de 0,5 m / s ;  
La vitesse de rotation maximale de la vis de la presse **350 T (i3)** est de 255 tr/min .

On a :

$$V_{maxi} = \omega \cdot R \quad \text{et} \quad \omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \quad \Rightarrow \quad V_{maxi} = \frac{\pi \cdot N}{30} \cdot R = \frac{\pi \cdot N \cdot D}{60}$$

AN:

$$V_{maxi} = \frac{\pi \times 255 \times 50 \cdot 10^{-3}}{60} = 0.667$$

➡  $V_{maxi} = 0.667 \text{ m/s}$

➤ La condition de la vitesse de rotation maximale de la vis est vérifiée.

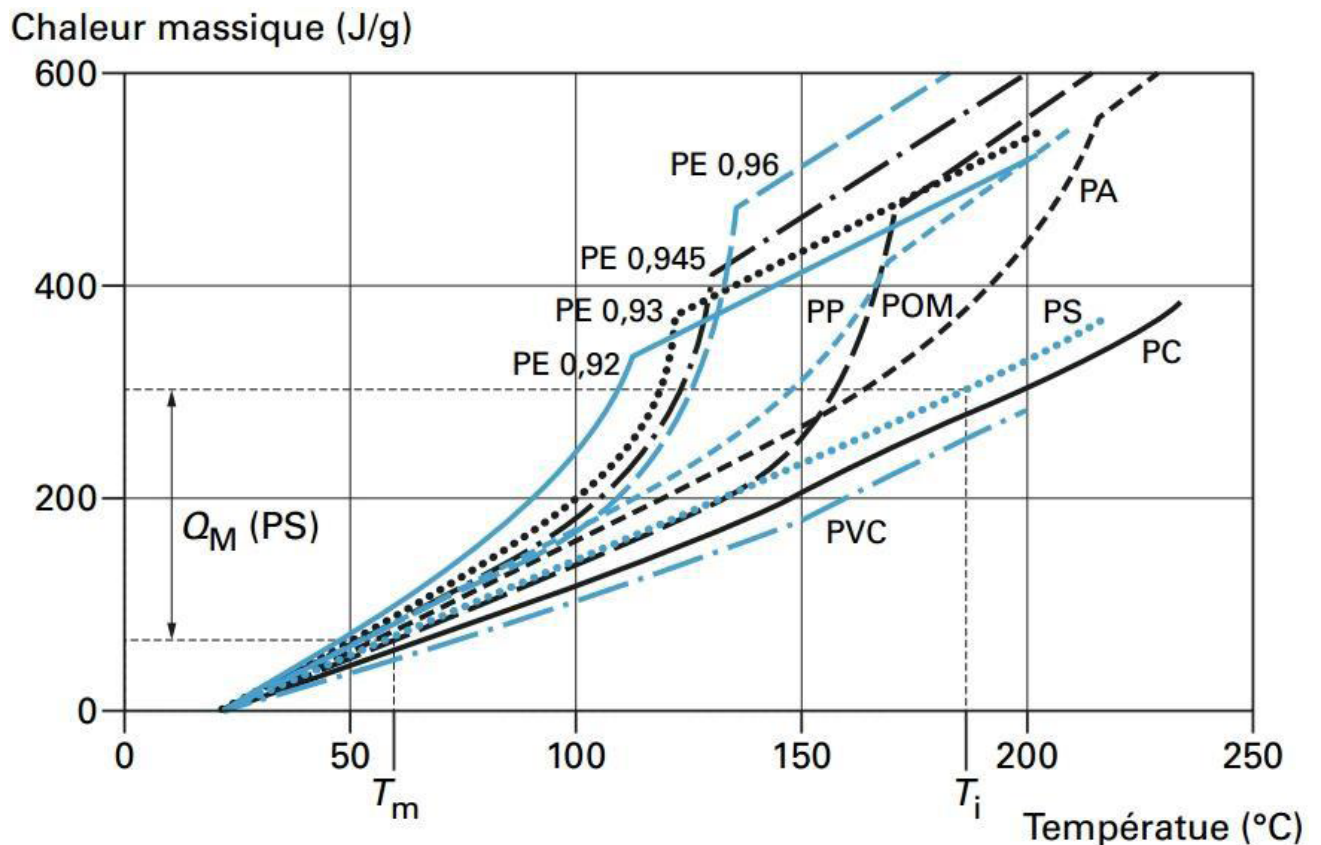
## VI-6 Dimensionnement des circuits de refroidissement :

### VI-6-1 Calcul de la quantité de chaleur à extraire de la pièce:

Ou autrement dit ; la quantité de chaleur dégagée par le polystyrène. Le dimensionnement du canal de refroidissement doit prendre en compte la nécessité d'un écoulement turbulent du fluide caloporteur et celle d'une grande surface d'échange avec l'empreinte.

Un moyen de minimiser les pertes de charges dans l'écoulement du fluide caloporteur consiste à les éviter en dehors des endroits où elles sont nécessaires.

La quantité de chaleur à évacuer dépend du polymère. Sur la figure ci-dessous,  $Q_M$  est la quantité de chaleur que l'empreinte doit évacuer pour refroidir 1 g de polystyrène de la température  $T_i$  à la température  $T_m$ .



*Fig VI-20: Variation de la Chaleur massique de différents polymères / Température (°C).*

Calculons la chaleur dégagée par la moulée :

$$QM = \frac{3600}{tc} \times Mp \times (Hi - He)$$

***Mp*** : Masse de la matière injectée (moulée) ;

***Hi*** : Enthalpie à la température d'injection ;

***He*** : Enthalpie à la température d'ouverture du moule ;

En faisant référence au graphe de la variation de l'enthalpie, on tire les valeurs suivantes :

$$\begin{array}{l} Ti=225 \text{ °C} \longrightarrow Hi=99 \text{ Kcal /h} \\ Te=75 \text{ °C} \longrightarrow He=21 \text{ Kcal /h} \end{array}$$

**AN :**

$$QM = \frac{3600}{26} \times 340,41 \times 10^{-3} \times (405-170) = 3676.428 \text{ Kcal /h}$$

$$QM = 3676.428 \text{ Kcal /h}$$

Cette quantité de chaleur (Q) doit être absorbée par le matériau constituant le moule et le fluide de refroidissement (eau).

### **VI-6-2 Calcul de la longueur du système 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 :

$$L = \frac{QM - (K_p \cdot S_p \cdot \Delta\theta_p)}{K_e \cdot \pi \cdot d \cdot \Delta\theta_e}$$

**Avec :**

- **$K_p \cdot S_p \cdot \Delta\theta_p$**  : Quantité de chaleur absorbée par le matériau du moule.
- **$K_e \cdot S_e \cdot \Delta\theta_e$**  : Quantité de chaleur absorbée par l'eau.

**Ou :**

**$K_e$**  : Coefficient de transfert thermique global entre le produit et l'eau de refroidissement via le matériau du moule.

**$S_e$**  : Surface du circuit de refroidissement.

**$\Delta_{\theta_e}$**  : Différence de température moyenne logarithmique entre le produit et l'eau.

**$K_p$**  : Coefficient du transfert thermique entre le produit et l'air extérieur via le matériau du moule.

**$S_p$**  : Surface du produit en contact avec le moule

**$\Delta_{\theta_p}$**  : Différence de température moyenne logarithmique entre le produit et l'air ambiant.

### VI-6-2-1 Calcul des paramètres de cette équation :

#### a. Calcul de la température de sortie de l'eau $T_{se}$ :

$$QM = D_e \cdot c_{pe} (T_{se} - T_{ee}) + M(T_2 - T_1) C_m$$

#### Avec :

$D_e c_{pe} \cdot (T_{se} - T_{ee})$  : L'augmentation de l'enthalpie de l'eau

$M(T_2 - T_1) C_m$  : L'augmentation de l'enthalpie du matériau du moule.

#### Où :

**$D_e$**  : débit de l'eau (Kg/h).

**$C_{pe}$**  : Chaleur spécifique de l'eau= 1 Kcal/Kg°C

**$T_{se}$**  : Température de sortie de l'eau.

**$T_{ee}$**  : Température d'entrée de l'eau= 20°C

**$M$**  : Masse du matériau par cycle de moulage [Kg/h]

**$T_2$**  : Température finale du matériau du moule

**$T_1$**  : Température initiale du matériau du moule.

**$C_m$**  : Chaleur massique du matériau du moule.

On suppose que la température du moule ne changera pas durant le cycle du moulage.

Donc l'expression devient :

$$QM = D_e \cdot c_{pe} (T_{se} - T_{ee})$$

D'où la valeur  $T_{se}$  :

$$T_{se} = \frac{QM}{De.Cpe} + T_{ee}$$

**a-1 Calcul du débit de l'eau :**

On a :  $D_e = V \cdot \rho \cdot S$

**Avec :**

**De :** Débit massique de l'eau de refroidissement.

**$\rho$  :** La masse volumique de l'eau = 1000Kg/m<sup>3</sup>

**V :** Vitesse de l'eau ; V = 1,5 m/s = 5400m/h (Valeur recommandée)

**S :** Section de passage de l'eau.

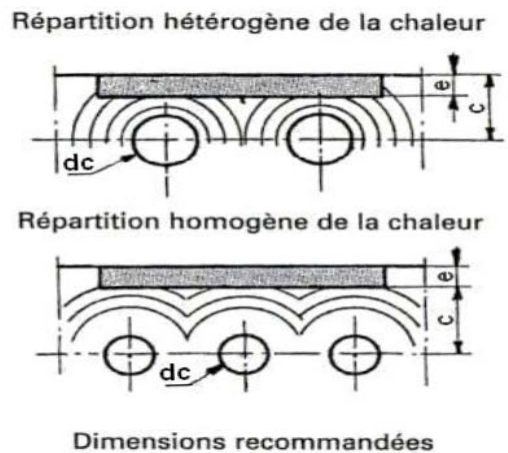
$$S = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

**Avec :** d : Diamètre de canal de refroidissement

Le diamètre des canaux de refroidissement est déterminé en fonction de l'épaisseur de la pièce comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

Diamètre des canaux de refroidissement en fonction de l'épaisseur de la pièce	
Épaisseur (mm)	Diamètre (mm)
< 2	8 à 10
2 à 4	10 à 12
4 à 6	12 à 15

**TabVI-9 :** Valeurs du diamètre du canal ( $d_c$ )



**Fig VI-21 :** Dimensions du canal

On a l'épaisseur de la pièce qu'est égal à 2.54mm (entre 2à4) ainsi en prend  $d = 11\text{mm}$ .

**AN :**

$$S = \frac{3,14 \times (11 \times 10^{-3})^2}{4} = 0,00028\text{m}^2$$

**Donc:**

$$D_e = 5400 \times 1000 \times 0,00028 = 1512 \text{ Kg/h}$$

A présent, il est possible de déterminer la température de sortie de l'eau des canaux de refroidissement du moule.

$$T_{se} = [3676, 428 / (1512 \times 1)] + 20$$

$$T_{se} = 22,43^\circ\text{C}$$

**b. Calcul de  $K_e$  :**

$$K_e = \frac{1}{\frac{1}{\alpha e} + \frac{1}{\lambda_1} + \frac{e_p}{\lambda_p}}$$

**Avec :**

$\delta_1$  : Distance entre produit et conduite de refroidissement = 33mm.

$\lambda_1$  : Conductivité thermique du matériau du moule ;  $\lambda_1 = 70 \text{ Kcal/mh}^\circ\text{C}$

$\lambda_p$  : Conductivité thermique du PS ;  $\lambda_p = 172 \text{ Kcal/m h}^\circ\text{C}$

$e_p$  : Epaisseur de la pièce ;  $e_p = 2,54\text{mm}$

$\alpha_e$  : coefficient de transfert de chaleur par convection de l'eau (dépend du nombre de Reynolds  $Re$ ) .

$$Re = \frac{V \cdot d}{V_e}$$

**Avec :**

$V$  : Vitesse de l'eau ;  $V = 5400\text{m/h}$  (Valeur recommandée)

$d$  : Diamètre de la tubulure ( $d = 11 \times 10^{-3} \text{ m}$ )

$V_e$  : Viscosité cinématique de l'eau ;  $V_e = 0,0022\text{m}^2/\text{h}$

$$\text{D'où : } Re = \frac{5400 \times 11 \times 10^{-3}}{0,0022} = 27000 \text{ N/mm}^2$$

$$Re = 27000 \text{ N/mm}^2$$

Cette valeur montre que l'écoulement de l'eau dans le circuit de refroidissement est turbulent ( $Re > 2300$ ) . Par conséquent  $\alpha_e$  sera donné par la relation suivante :

$$\alpha_e = 0,024 \times (\lambda_e) \times (V_e)^{-0,8} \times (V)^{0,8} \times (d)^{-0,2} \sqrt[3]{\frac{V_e \cdot C_{pe}}{\lambda_e}}$$

**Avec :**

$\lambda_e$  : Conductivité thermique de l'eau ;  $\lambda_e = 0,544 \text{ Kcal/ mh } ^\circ\text{C}$

$C_{pe}$  : Chaleur spécifique de l'eau.  $C_{pe} = 1 \text{ Kcal/ Kg } ^\circ\text{C}$

$V_e$  : Viscosité cinématique de l'eau ;  $V_e = 0,0022 \text{ m}^2/\text{h}$

$d$  : Diamètre de la tubulure ( $d = 11 \times 10^{-3} \text{ m}$ )

**Donc:**  $\alpha_e = 633,41 \text{ Kcal / m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$

**Ainsi :**

$$K_e = \frac{1}{\frac{1}{662,41} + \frac{0,033}{70} + \frac{2,54 \times 10^{-3}}{172}}$$

$$K_e = 501,62 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

**c. Calcul de  $K_p$  :**

$$K_p = \frac{1}{\frac{1}{\alpha a} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_p}{\lambda_p}}$$

**Avec :**

$\alpha_a$  : coefficient de transfert de chaleur par convection.  $\alpha_a = 15 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$

**AN :**

$$K_p = \frac{1}{\frac{1}{15} + \frac{0,062}{70} + \frac{2,54 \times 10^{-3}}{0,22}}$$

$$K_p = 14,80 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

**d. Calcul de  $\Delta\theta_e$  :**

$$\Delta\theta_e = \frac{(T_{ip} - T_{se}) - (T_{fp} - T_{ee})}{\ln \frac{(T_{ip} - t_{se})}{(T_{fp} - T_{ee})}}$$

**Avec :**

$t_{ip} = 225^\circ\text{C}$  (température initiale du produit ou température d'injection)

$t_{fp} = 75^\circ\text{C}$  (température finale du produit ou température du moule)

$t_{ee} = 20^\circ\text{C}$  (température d'entrée de l'eau)

$t_{se} = 22,43^\circ \text{C}$  (température de sortie de l'eau)

AN:

$$\Delta\theta_e = \frac{(225 - 22,43) - (75 - 20)}{\ln \frac{(225 - 22,43)}{(75 - 20)}}$$

$$\Delta\theta_e = 111,81^\circ\text{C}$$

e. Calcul de  $\Delta\theta_p$ :

$$\Delta\theta_p = \frac{(T_{fp} - T_{ip})}{\ln \frac{(T_a - t_{ip})}{(T_a - T_{ip})}}$$

AN:

$$\Delta\theta_p = \frac{(75 - 225)}{\ln \frac{(20 - 75)}{(20 - 225)}}$$

$$\Delta\theta_p = 114,01^\circ\text{C}$$

Enfin, en remplaçant les valeurs calculées des paramètres  $Q_M$ ,  $K_p$ ,  $S_p$ ,  $\Delta\theta_p$ ,  $Ke$  et de  $\Delta\theta_e$  dans la relation précédente, on détermine la longueur minimale disponible du circuit de refroidissement.

$$L_{min} = \frac{3676,428 - (14,80 \times 280986,96 \times 10^{-6} \times 114,01)}{501,62 \times 3,14 \times 11 \times 10^{-3} \times 111,81}$$

$$L_{min} = 1,65\text{m}$$

**VI-7 Résistance des matériaux :**

Afin de vérifier la résistance du moule aux conditions de travail, il est nécessaire de définir le comportement de quelques pièces sollicitées mécaniquement.

**VI-7-1 Poids des pièces constituant le moule :**

Le poids est déterminé par la relation suivante

$$P = \rho \cdot V$$

**Avec :**

P : le poids de la pièce [daN].

$\rho$  : masse volumique [daN/cm<sup>3</sup>].

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

*Tab VI-10: Poids des pièces constituant le moule*

Les pièces	Les matières	Le Volume (dm <sup>3</sup> )	$\rho$ masse volumique (daN/cm <sup>3</sup> )	Le poids (daN)
Semelle fixe	S235	9,5	7,70	73,15
Porte empreinte fixe	42CrMo4	16,59	7.80	129,40
Empreinte fixe	36NiCrMo16	9,1	7.70	70,07
Semelle mobile	S235	9,8	7.70	75,46
Porte empreinte mobile	42CrMo4	9,88	7.80	77,06
Empreinte mobile	36NiCrMo16	9,6	7.70	73,92
Plaque éjectrice	C45	2,17	7.80	16,93
Contre plaque éjectrice	C45	2,5	7.80	19,5
Les tasseaux	S235	5,1	7.70	39,27

### VI-7-2 Résistance des éléments du moule au matage dû à la force de fermeture:

La force exercée par les plateaux de la machine sur les différentes plaques du moule, engendre des contraintes à l'intérieur du moule provoquant des déformations caractérisées d'une plaque à une autre.

La force de fermeture qu'exerce une presse à injection est égale à son tonnage. Partant de ce principe, la presse à 350T fournit une force de fermeture de 350T.

Donc la force de fermeture  $F$  du moule est de 350T.

$$350T = 350000\text{Kg} \rightarrow F = 3500000\text{ N}$$

#### VI-7-2-1 Condition de résistance au matage :

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

$$\sigma = \frac{F}{S} \leq R_{pe} \quad \text{Avec :} \quad R_{pe} = \frac{R_e}{s}$$

**Où :**  $R_e$  : résistance limite à la traction ( $R_e = 370\text{ N/mm}^2$  pour les aciers).

$s$  : coefficient de sécurité ; Il est choisi de façon à ce qu'en cours de fonctionnement normal, les contraintes normales maximales ne dépassent pas la limite élastique  $R_e$  du matériau. D'après le tableau ci-dessous :  $s = 2$

*Tab VI-11 : Valeurs indicatives du coefficient de sécurité*

Valeurs indicatives				
$s$	Charges exercées sur la structure	Contraintes dans la structure	Comportement du matériau	Observations
$1 < s \leq 2$	régulières et connues	connues	testé et connu	fonctionnement constant sans à-coups
$2 < s \leq 3$	régulières et assez bien connues	assez bien connues	testé et connu moyennement	fonctionnement usuel
$3 < s \leq 4$	moyennement connues	moyennement connues	non testé	avec légers chocs et surcharges modérées
	mal connues ou incertaines	mal connues ou incertaines	connu	

**S** : surface soumise au matage

$S = \ell \times e$  avec: ( $\ell$ ) et ( $e$ ) sont respectivement la longueur et l'épaisseur de l'élément

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

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

### VI-7-2-1 Résistance des plaques de la partie fixe:

#### a) Semelle fixe :

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

**Avec:**  $F=350\,000\text{N}$

$$e = 36 \text{ mm}$$

$$\ell = 696 \text{ mm}$$

$$S = \ell \times e \longrightarrow S = 696 \times 36 = 25056 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{350000}{25056} = 139,68 \text{ N/mm}^2 \leq R_{pe} \quad \text{la condition est vérifiée.}$$

$\Rightarrow$  La semelle fixe résiste au matage

#### b) Porte empreinte fixe :

**Avec :**  $e = 168 \text{ mm}$

$$\ell = 696 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow S = 696 \times 168 = 116928 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{350000}{116928} = 29,93 \text{ N/mm}^2 \leq R_{pe} \quad \text{la condition est vérifiée.}$$

$\Rightarrow$  Porte empreinte fixe résiste au matage

### VI-7-2-2 Résistance des plaques de la partie mobile :

#### a) Semelle mobile :

**Avec:**  $e = 36 \text{ mm}$

$$\ell = 696 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow S = 696 \times 36 = 25056 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{3500000}{25056} = 139,68 \text{ N/mm}^2 \leq Rpe \quad \text{la condition est vérifiée.}$$

$\Rightarrow$  Semelle mobile résiste au matage.

### b) Porte empreinte mobile :

**Avec :**  $e = 67 \text{ mm}$

$$\ell = 696 \text{ m}$$

$$\Rightarrow S = 696 \times 67 = 46632 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{3500000}{46632} = 75,05 \text{ N/mm}^2 \leq Rpe \quad \text{la condition est vérifiée.}$$

$\Rightarrow$  Porte empreinte fixe résiste au matage

### c) Les tasseaux :

**Avec :**  $e = 53 \text{ mm}$

$$\ell = 696 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow S = 696 \times 53 = 36888 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{3500000}{36888} = 94,88 \text{ N/mm}^2 \leq Rpe \quad \text{la condition est vérifiée.}$$

$\Rightarrow$  Les tasseaux résistent au matage

Toutes les conditions sont vérifiées, ainsi les éléments constituant le moule résistent au matage dû à la force de fermeture du moule.

### VI-7-3 Résistance des colonnes de guidage au cisaillement :

Le moule comporte quatre colonnes de guidage dont le poids est considéré négligeable par rapport à celui du moule.

Considérons que les colonnes de guidages supportent la totalité du poids du moule.

De ce fait, nous modélisons ces éléments en poutres encastées d'un côté soumises à un effort de cisaillement dû où poids de la partie fixe lors de la manutention seulement.

Le poids de la partie fixe est de :

Porte empreinte = 129,40 daN = 1294 N

Empreinte = 70,98 daN = 709,8 N

**Condition de résistance s'écrit :**

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

**AN:** 
$$[\tau] = \frac{\sigma_e}{k} \times 0.8 = \frac{1300}{2} \times 0.8 = 520 \text{ N/mm}^2$$

**Avec :**

S : Section de la colonne ; d diamètre de la colonne de  $\varnothing 20 \text{ mm}$  ;  $d = \left( s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right)$

n : nombre de sections cisailées (n = 1).

N : Nombre de colonnes cisailées (N = 4)

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

K: coefficient de sécurité (K = 2).

F : poids de la partie mobile ; F = 392,7N

$$S = \frac{\pi \times 20^2}{4} = 706,85 \text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{1912,1}{4 \times 706,85} = 0,67 \text{ N/mm}^2 \leq [\tau]_{\text{cis}} \quad \text{La condition est vérifiée.}$$

**VI-7-4- Résistance des 6 vis CHC au cisaillement dû au poids de l'empreinte fixe et de porte empreinte fixe :**

**Condition de résistance s'écrit :**

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

$$[\tau] = \frac{\sigma_e}{k} \times 0.8 = \frac{335}{2} \times 0.8 = 134 \text{ N/mm}^2$$

**Avec :**

n : nombre de vis (n = 6).

K: coefficient de sécurité (K = 2).

d : diamètre de la tige de rappel ; d = 12mm

F : poids de l'empreinte fixe et du porte empreinte fixe ; F = 2003,8N

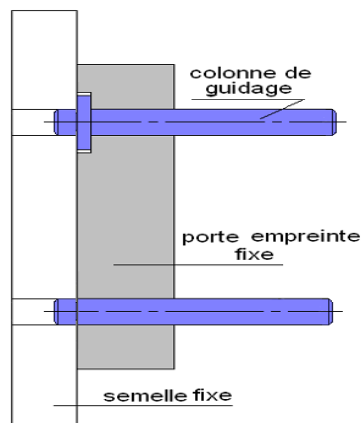
S : Section cisailée, ( $s = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ )

**AN :**

$$\tau = \frac{2003,8}{6 \times 113,09} = 2,95 \text{ N/mm}^2 \leq [\tau]_{\text{cis}} \quad \text{La condition est vérifiée}$$

### VI-7-5 Vérification des vis de fixation de la semelle mobile avec les tasseaux au cisaillement :

*Fig VI-22: Colonnes de guidage*



**Condition de résistance :**

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

**Avec :**

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

d : diamètre de la vis; d=22mm

F : poids des tasseaux, de la contre plaque et du porte empreinte mobile

F=1147,3N

S : Section de la vis, ( $s = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ )

**AN:**

$$\tau = \frac{1147,3}{6 \times 380,13} = 0,50 \text{ N/mm}^2 \leq [\tau]_{\text{cis}}$$

### VI-7-6 Vérification des vis de fixation des tasseaux et le porte empreinte mobile au cisaillement :

Condition de résistance :

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

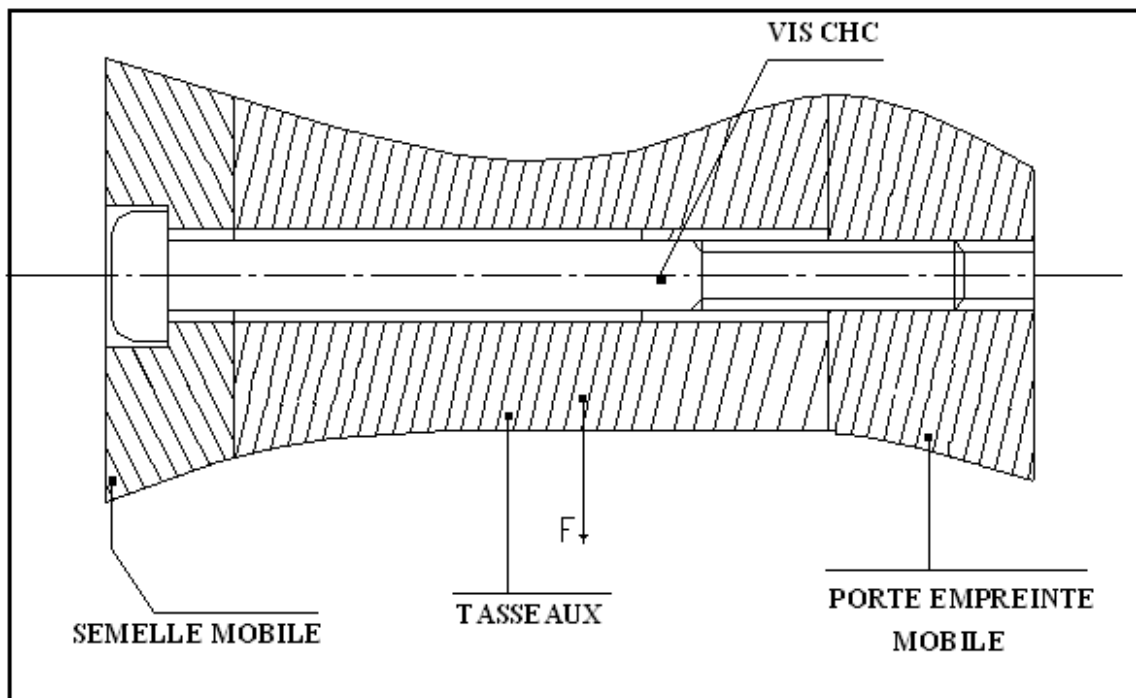
Avec :

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

d : diamètre de la vis; d=22mm

F : poids du porte empreinte et de ces composantes, F=1163,3N

S : Section de la vis, (  $s = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$  )



*Fig VI-23: Résistance des 6 vis CHC de la partie mobile au cisaillement.*

AN :

$$\tau = \frac{1163,3}{6 \times 380,13} = 0,51 \text{ N/mm}^2 \leq [\tau]_{\text{cis}}$$

**VI-7-7 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  $R_e = 335 \text{ N/mm}^2$

**Condition de résistance :**

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

Avec :

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

d : diamètre de la vis ; d = 20mm

F : poids de la semelle

S : Section de la vis, ( $s = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ )

- Semelle fixe :

$$F = 731,5 \text{ N}$$

$$\tau = \frac{731,5}{6 \times 314,15} = 0,38 \text{ N/mm}^2 \leq [\tau]_{\text{cis}}$$

- Semelle mobile :

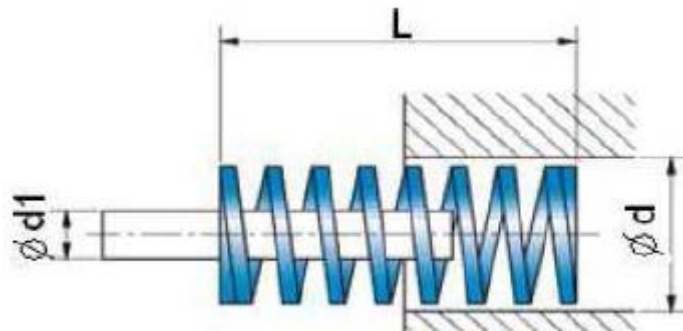
$$F = 754,6 \text{ N}$$

$$\tau = \frac{754,6}{6 \times 314,15} = 0,4 \text{ N/mm}^2 \leq [\tau]_{\text{cis}}$$

**VI-8 Choix des ressorts :**

La presse mécanique utilisée est d'un tonnage de 350, elle n'est pas équipée d'un système de retour de la batterie éjectrice (une tige filetée sur l'extrémité du piston d'éjection de la machine), des ressorts ont été utilisés pour assurer le retour de cette batterie à sa position initiale. Le choix de ces ressorts dépend essentiellement des paramètres suivants :

- La course d'éjection qui assure le démoulage des pièces
- La charge à supporter (Poids de la batterie éjectrice)
- L'encombrement.



*Fig VI-24: Schéma de dimensionnement d'un Ressort.*

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

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

$$F = \frac{364,3}{4} = 91,07 \text{ N}$$

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



*Fig VI-25: Classification des ressorts par couleur*

Le ressort qui répond à nos exigences est un ressort de couleur bleu Réf.356, et qui a les caractéristiques suivantes :

$$D1 = 16\text{mm}$$

$$D = 32 \text{ mm}$$

$$F = 1422\text{N}$$

$$L = 127 \text{ mm}$$

$$A = 127 \times 25\% = 48.85 \text{ mm}$$

$$\text{Section rectangulaire } S = 4\pi(6)^2 = 452,16\text{mm}^2$$

### **VI-9 Conclusion :**

Cette partie nous a permis 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 la fermeture du moule.

Le choix de notre machine qui est fait à partir des résultats obtenus après ces vérifications.

## ***CONCLUSION GENERALE***

La présente étude nous a permis d'élargir nos connaissances dans différents domaines à savoir la conception pour la conception d'un nouveau produit et design, de constater la place grandissante qu'occupent les matières plastiques dans l'industrie de divers domaines.

En plus, on a réussi à comprendre que le procédé de mise en œuvre par injection plastique nous permet d'avoir des produits finis de haute qualité, de formes très complexes et une grande cadence de production en série, et d'en savoir plus sur les moules et leur conception ainsi que les matériaux utilisés pour leur fabrication.

Bien que notre stage à l'ENIEM, dans le cadre de l'exécution de notre projet de fin d'études, nous a été d'un grand bénéfice, notamment sur le plan pratique que théorique, ce projet nous a permis d'utiliser un outil informatique de conception mécanique : Solid Works. L'utilisation de ce logiciel a rendu aisée la conception des formes de casier bouteille, ensuite déduction de ses empreintes et ainsi que la conception du moule et de ses différents paramètres, puis lui faire un montage complet.

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.

Nous souhaitons que la réalisation de ce produit et le moule devienne effective de la part de l'entreprise (ENIEM) et que ce mémoire reste un document important qui sera utilisé comme référence pour les promotions à venir.

# Bibliographie

[1] :Monica Brand /ACCION International/ Aout 2001.

[2] livre : la direction générale de l'industrie et du commerce du ministère du développement économique de l'innovation et de l'exportation./un outil stratégique de compétitivité économique./2008

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

[4] : K. AIT BACHIR / Étude, conception et réalisation d'un moule d'injection plastique. Mémoire d'ingénieur. Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou/ Promotion 2007.

[5] Claude CORBET / Mémotech matières plastiques, Edition CASTEILLA, Claude/ CORBET 2001.

[6] J. LIGNON, R.MAILLEBUAV / Etude de matériau II, Matériau non ferreux/ 2003

[7] 1èreSTIDD / ITEC / 313PROCÉDÉS DE TRANSFORMATION DE LA MATIÈRE Prof1.docx

[8]Polymères styréniques : e239664

[9] TOTAL PETROCHEMICALS : POLYSTYRENE CRISTAL 1810

[10] 2ème Edition DUNOD/ Marc Carrega et coll/ Matériaux polymères.

[11] sites internet : [www.laplasturgie.fr](http://www.laplasturgie.fr)

[12] D.GRIDAINE / Mise en Œuvre des polymères / 2010

[13] J-P TROTIGNON, J. VERDU, A. DOBRACZYNSKY, M.PIPERAUD/ Matières plastiques structures, propriétés, mise en œuvre et normalisation./2006

[14] G. MENGES, P. MOHREN / guide de construction et outillages d'injection (volume I et II) septembre 1982

[15] Auteur : A. CHEVALIER /Edition : Hachette technique ( Guide pratique du dessin technique ) /2004,

[16] Edition CETIM 2003, F CATTEAU, A FOURAY, C JACQUEROD, B MARANDET.

[17] Simulation d'injection :  
Edition : Geffroy Daniel -IUT GMP Le Mans -Moldflow

### ➤ *Calcul et réalisation ;*

[18] Thomas MUNCH / Technique de l'ingénieur / Moules pour l'injection des thermoplastiques - Conception et réalisation / Mise à jour 2012

[19] RABOURDIN INDUSTRIE / COMPOSANTS STANDARD POUR MOULE ET OUTILLAGE (<http://www.rabourdin.fr>)

[20] Claude CORBET /Mémotech matières plastiques, Edition CASTEILLA/2001.

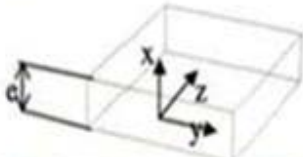
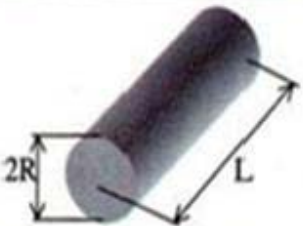


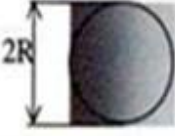
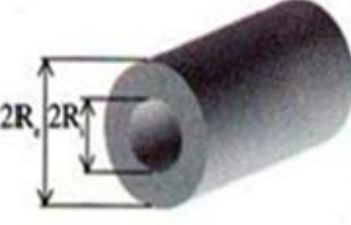
[21] Michel CHATAIN/Techniques de l'ingénieur.

[22] Documentation offerte par l'entreprise ENIEM.

[23] Cours de la résistance de matériaux

# Annexe

## Équations pour le calcul des temps de refroidissement

Géométrie	Conditions limites	Équation
	Plaque $\dot{Q}_z = 0$ $\dot{Q}_y = 0$	$t_R = \frac{e^2}{D \cdot \pi^2} \ln \left[ \frac{8 T_i - T_M}{\pi^2 \bar{T}_e - T_M} \right]$
	Cylindre $\dot{Q}_v = 0$ $\dot{Q}_z = 0$ $L \gg R$	$t_R = \frac{4R^2}{23,14D} \ln \left[ \frac{0,692 T_i - T_M}{\bar{T}_e - T_M} \right]$
	Cylindre $\dot{Q}_v = 0$ $L \approx R$	$t_R = \frac{1}{\left( \frac{23,14}{4R^2} + \frac{\pi^2}{L} \right) D} \ln \left[ \frac{0,561 T_i - T_M}{\bar{T}_e - T_M} \right]$
	Cube	$t_R = \frac{h^2}{3D \cdot \pi^2} \ln \left[ \frac{0,533 T_i - T_M}{\bar{T}_e - T_M} \right]$
	Sphère	$t_R = \frac{R^2}{D \pi^2} \ln \left[ 2 \frac{T_i - T_M}{\bar{T}_e - T_M} \right]$
	Cylindre creux $\dot{Q}_v = 0$ $\dot{Q}_z = 0$	Idem plaque avec $e = (R_e - R_i)$

# Annexe

## Propriétés physiques de l'air et de l'eau

Propriétés de l'eau à saturation							Propriétés de l'air à 1 atm						
$\theta$	$\rho$	$c_p$	$\lambda$	$10^4 \cdot \mu$	$10^7 \cdot a$	Pr	$\theta$	$\rho$	$c_p$	$\lambda$	$10^5 \cdot \mu$	$10^5 \cdot a$	Pr
$^{\circ}\text{C}$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$	$\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$	$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$		$^{\circ}\text{C}$	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$	$\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$	$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$	
0	1002	4218	0,552	17,90	1,31	13,06	0	1,292	1006	0,0242	1,72	1,86	0,72
20	1001	4182	0,597	10,10	1,43	7,02	20	1,204	1006	0,0257	1,81	2,12	0,71
40	995	4178	0,628	6,55	1,51	4,34	40	1,127	1007	0,0272	1,90	2,40	0,70
60	985	4184	0,651	4,71	1,55	3,02	60	1,059	1008	0,0287	1,99	2,69	0,70
80	974	4196	0,668	3,55	1,64	2,22	80	0,999	1010	0,0302	2,09	3,00	0,70
100	960	4216	0,680	2,82	1,68	1,74	100	0,946	1012	0,0318	2,18	3,32	0,69
120	945	4250	0,685	2,33	1,71	1,45	120	0,898	1014	0,0333	2,27	3,66	0,69
140	928	4283	0,684	1,99	1,72	1,24	140	0,854	1016	0,0345	2,34	3,98	0,69
160	910	4342	0,680	1,73	1,73	1,10	160	0,815	1019	0,0359	2,42	4,32	0,69
180	889	4417	0,675	1,54	1,72	1,00	180	0,779	1022	0,0372	2,50	4,67	0,69
200	867	4505	0,665	1,39	1,71	0,94	200	0,746	1025	0,0386	2,57	5,05	0,68
220	842	4610	0,652	1,26	1,68	0,89	220	0,700	1028	0,0399	2,64	5,43	0,68
240	816	4756	0,635	1,17	1,64	0,88	240	0,688	1032	0,0412	2,72	5,80	0,68
260	786	4949	0,611	1,08	1,58	0,87	260	0,662	1036	0,0425	2,79	6,20	0,68
280	753	5208	0,580	1,02	1,48	0,91	280	0,638	1040	0,0437	2,86	6,59	0,68
300	714	5728	0,540	0,96	1,32	1,02	300	0,616	1045	0,0450	2,93	6,99	0,68

### Corrélations entre $\theta$ et 100 $^{\circ}\text{C}$

( $\theta$ : température en  $^{\circ}\text{C}$ ,  $T$  température en  $\text{K}$ )

#### Pour l'air

- $\rho = \frac{353}{(\theta + 273)}$   $\text{kg m}^{-3}$
- $c_p = 1008$   $\text{J kg}^{-1} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$
- $\lambda = 7,57 \cdot 10^{-5} \theta + 0,0242$   $\text{W m}^{-1} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$
- $\mu = 10^{-5} (0,0046 \theta + 1,7176)$   $\text{Pa s}^{-1}$
- $\alpha = 10^{-5} (0,0146 \theta + 1,8343)$   $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$
- $\text{Pr} = -2,54 \cdot 10^{-4} \theta + 0,7147$
- $\beta = \frac{1}{T}$   $\text{K}^{-1}$

#### Pour l'eau

- $\rho = -0,00380 \theta^2 - 0,0505 \theta + 1002,6$   $\text{kg m}^{-3}$
- $c_p = 4180$   $\text{J kg}^{-1} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$
- $\lambda = -9,87 \cdot 10^{-6} \theta^2 + 2,238 \cdot 10^{-3} \theta + 0,5536$   $\text{W m}^{-1} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$
- $\mu = 10^{-4} \frac{17,9 - 0,07377 \theta + 0,0003354 \theta^2}{1 + 0,03032 \theta + 8,765 \cdot 10^{-5} \theta^2}$   $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$
- $a = 10^{-7} (-0,00360 \theta + 1,340)$   $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$
- $\text{Pr} = \frac{13,06 + 1,387 \theta - 0,0037 \theta^2}{1 + 0,12407 \theta + 0,005297 \theta^2}$
- $\frac{g \beta \rho^2 c_p}{\mu \lambda} = (0,0105 \theta^2 + 0,477 \theta - 0,0363) 10^9$   $^{\circ}\text{C}^{-1} \text{ m}^{-3}$
- $\log_{10} [p_{\text{sat}}(T)] = 20,3182 - \frac{2795}{T} - 3,868 \log_{10}(T)$   $\text{mmHg}$   $-50^{\circ}\text{C} < \theta < 200^{\circ}\text{C}$
- $L_v = 2495 - 2,346 \theta$   $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$   $0^{\circ}\text{C} < \theta < 100^{\circ}\text{C}$

# Annexe

## Aciers du moule

Eléments du Moule	Acier (DIN)	Dureté HB	Re (MPa)	Observation	Acier de substitution
Anneau de Centrage Visserie	C 35	190	400	Nitruré	C35
Buse d'injection	36 Ni Cr Mo 16		800	Recuit	
Colonne de guidage Colonne d'éjection Colonne de sécurité Colonne sans plot Doit de démoulage Douille de centrage lisse Douille de centrage épaulé Bague de guidage épaulée Buté de course d'éjection	14 Ni Cr 12	207	1000	A A C T	100 Cr 6
Plaque de verrouillage	C	210	400		
Plaque éjectrice Contre plaque éjectrice Porte empreinte Semelle Tasseau Tasseau de renfort Glissière de tiroir	30 Ni Cr 11	230	500	A A	C 45
Empreinte et Noyau Ejecteur cylindrique Tiroir Insert	X10 Cr Ni Si 25-20	170	280		
Ejecteur carotte	X12 Cr Ni 17-7	165	245		17% Cr
Tétine	Cu Al 10 Ni 5 Fe		400		
Ressort de rappel	Cr-				Cr-
Ressort à bille Bille	C 55				
Clavette	C				

# Annexe

## Propriétés physiques de certains corps

	$\rho$ kg m <sup>-3</sup>	$c_p$ J kg <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup>	$\lambda$ W m <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup>		$\rho$ kg m <sup>-3</sup>	$c_p$ J kg <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup>	$\lambda$ W m <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup>
<b>Métaux et alliages</b>				<b>Matériaux de construction</b>			
Acier au carbone	7833	465	54	Ardoise	2400	879	2,2
Acier inox 15%Cr, 10%Ni	7864	460	20	Basalte	2850	881	1,6
Acier inox 18%Cr, 8%Ni	7816	460	16,3	Béton caveux	1900	879	1,4
Acier inox 25%Cr, 20%Ni	7864	460	13	Béton plein	2300	878	1,75
Alumine			29	Bitume (cartonné)	1050	1305	0,23
Aluminium	2707	896	204	Bois feuillus légers	525	3143	0,15
Argent	10525	234	407	Bois feuillus mi-lourds	675	3156	0,23
Bronze 75%Cu, 25%Sn	8800	377	188	Bois feuillus très légers	375	3147	0,12
Bronze 92%Cu, 8%Al	7900	377	71	Bois résineux légers	375	3147	0,12
Carbone graphite	2250	707	147	Bois résineux mi-lourds	500	3160	0,15
Carbure de silicium			13	Bois résineux très légers	375	3147	0,12
Chrome	2118	7160	449	Brique terre cuite	1800	878	1,15
Constantan 60% Cu, 40%Ni	8922	410	22,7	Calcaire dur	2450	882	2,4
Cuivre	8954	383	386	Calcaire tendre	1650	879	1
Cupronickel 70%Cu, 30%Ni	8900	377	29,3	Carrelage	2400	875	2,4
Duralumin	2787	883	164	Contre-plaqué okoumé	400	3000	0,12
Etain	7304	226	64	Contre-plaqué pin	500	3000	0,15
Fer	7870	452	73	Granite	2600	881	3
Fonte	7849	460	59	Gravier (vrac)	1800	889	0,7
Laiton 70%Cu, 30%Zn	8522	385	111	Grès	2500	880	2,6
Magnésium	1740	1004	151	Lave	2350	881	1,1
Or	19300	128	312	Marbre	2700	881	2,5
Platine	21400	140	69	Plâtre	1440	840	0,48
Plomb	11373	130	35	Schiste	2400	879	2,2
Sodium liquide	930	1381	84,5	<b>Matériaux isolants</b>			
Titane	4500	523	20,9	Balsa	140		0,054
Tungstène	19350	134	163	Coton	80	1300	0,06
Zinc	7144	384	112	Kapok			0,035
<b>Matériaux divers</b>				Laine de roche	20	880	0,047
Amiante	575	1046	0,15		55	880	0,038
Asphalte	2115	920	0,062		135	880	0,041
Caoutchouc (naturel)	1150		0,28	Laine de verre	8	875	0,051
Caoutchouc (vulcanisé)	1100	2010	0,13		10	880	0,045
Carton	86	2030	0,048		15	880	0,041
Cuir	998		0,159		40	880	0,035
Glace	920	2040	1,88	Liège expansé	120	2100	0,044
Plexiglass	1190	1465	0,19	Moquette	200	1300	0,06
Porcelaine	2400	1088	1,035	Polyuréthane (mousse)	32	1300	0,03
Polyéthylène	929	1830	0,46		50	1360	0,035
PVC	1459	930	0,21		85	1300	0,045
Sable	1515	800	0,2-1,0	PVC (mousse rigide)	30	1300	0,031
Téflon	2170	1004	0,25		40	1300	0,041
Terre mouillée	1900	2000	2	Polystyrène expansé	12	1300	0,047
Terre sèche	1500	1900	1		14	1300	0,043
Verre	2300	837	1,05		18	1300	0,041
Verre Pyrex	2220	728	1,13	Styrofoam	30		0,032