

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Faculté du Génie de la Construction

Département de Génie Mécanique



Mémoire de fin d'études

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

Option : **Construction Mécanique**

Thème :

Etude et conception d'un moule d'injection plastique d'une roue en ABS

Supervisé par :

M^{elle} HADDAD.F

Encadré par :

Mr HACHOUR.K

Réalisé par :

MOUAZ Katia

MEJDOUB A.Halim

Promotion : 2014

REMERCIEMENTS

En premier lieu, nous tenons à remercier notre promoteur Mr HACHOUR pour nous avoir encadrés, guidés et permis de mener à bien ce mémoire.

Nous remercions l'ensemble du personnel de l'entreprise ENIEM pour leur accueil et leur disponibilité, à leur tête notre encadreur, Mademoiselle HADDAD ainsi que toutes les personnes ayant apporté une précieuse aide pour la réalisation de ce modeste travail.

Nos remerciements vont également aux membres de jury qui nous font l'honneur d'examiner notre mémoire.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de notre projet, qu'ils trouvent ici l'expression de toute notre reconnaissance et notre gratitude.

On remercie également l'ensemble de notre promotion chacun par son nom.

A tous ceux qui nous ont soutenu.

DEDICACES

Je tiens à dédier ce mémoire :

❖ *Aux deux êtres qui me sont les plus chers :*

- *A ma douce mère, devant qui tous les mots de l'univers ne sauraient exprimer l'amour que je lui porte.*
- *A mon père, qui m'a léguée la verve de la connaissance, pour sa compréhension et son éternel soutien.*

❖ *A mes deux frères Karim et Ghiles, et à mes sœurs Lynda, Lila et Kahina pour leurs encouragements et leurs soutiens continus, que Dieu vous garde.*

❖ *A mes beaux-frères.*

❖ *A mes neveux: Elyas, Rayane, Aghiles et à ma nièce Yara.*

❖ *A mes meilleurs amis Siham, Roza, Leila, Aghiles et Hamza qui m'ont beaucoup encouragée et qui m'ont toujours poussée à me surpasser.*

❖ *A toute ma famille et à mes amis.*

MOUAZ Katia

DEDICACES

Je tiens à dédier ce mémoire :

❖ *Aux deux êtres qui me sont les plus chers :*

- *A ma douce mère, devant qui tous les mots de l'univers ne sauraient exprimer l'amour que je lui porte.*
- *A mon père, qui m'a légué la verve de la connaissance, pour sa compréhension et son éternel soutien.*

❖ *A mes deux frères Hocine et Mehdi, et à ma sœur Faiza pour leurs encouragements et leurs soutiens continus, que Dieu vous garde.*

❖ *A mes meilleurs amis Nouredine, Azzedine, Hichem, Ahcene et Saïd qui m'ont beaucoup encouragé et qui m'ont toujours poussé à me surpasser.*

❖ *A toute ma famille et à mes amis.*

MEJDOUB A.Halim

SOMMAIRE

Liste des symboles	05
Liste des figures et des tableaux	08
Introduction générale.....	11
Présentation de l'entreprise	12
<u>Chapitre I : Aspect général des matières plastiques</u>	
I- Introduction	17
II- Historique et origines des matières plastiques	17
1- historique.....	17
2- origines des matières plastiques	18
III- Définition des matières plastiques	19
1- Généralités sur les polymères.....	19
1-1- Structure.....	19
a- Définition	19
b- Structure.....	20
1-2- Propriétés thermomécaniques des polymères.....	21
a- Les polymères amorphes.....	22
b- Les polymères semi-cristallins	24
1-3- Propriétés macroscopiques des polymères.....	25
a- Les polymères thermoplastiques	25
b- Les polymères thermodurcissables.....	27
c- Les élastomères	28
1-4- Les différentes formes de polymérisation	29
a- La polycondensation	29
b- La polyaddition.....	30
IV- Amélioration des propriétés des matières plastiques	31
V- Présentation des matières plastiques	32
1- Domaine d'application des matières plastiques.....	32
2- Evolution de la production des matières plastiques	33
3- La forme commerciale des matières plastiques	34

4- Recyclage	34
VI-Présentation de l'ABS	35
1- Définition.....	35
2- Caractéristiques de l'ABS	37
a- Caractéristiques physiques et mécaniques	37
b- Caractéristiques thermiques	37
c- Caractéristiques chimiques	37
d- Conditions de mise en œuvre de l'ABS.....	38
3- Présentation commerciale de l'ABS	38
4- Avantages	38
5- Inconvénients.....	38
6- Application	38
7- Recyclage	39
VII- Conclusion	39

Chapitre II : Mise en œuvre des matières plastiques

I- Introduction	41
II- Mise en œuvre des matières plastiques	41
• Mise en œuvre des thermoplastiques.....	41
1- Injection	41
2- Injection soufflage.....	42
3- Le moulage par expansion.....	43
4- L'extrusion.....	43
5- L'extrusion soufflage	44
6- L'extrusion gonflage	45
7- Le calandrage.....	46
8- L'enduction.....	48
9- Le roto-moulage.....	48
10- Le thermoformage.....	49
• Mise en œuvre des thermodurcissables	51
1- La coulée	52
2- Le moulage par compression	52
3- Le moulage par compression/ transfert	53
4- L'injection	54
• Mise en œuvre des mousses.....	54
III-Détails sur l'injection	55
1- Presse d'injection	55

2- Différents types de presse d'injection	56
a- Presse horizontale	56
b- Presse verticale.....	57
3- Les différentes parties ou unités d'une presse	58
a- Unité d'injection	58
b- Unité de fermeture	59
c- Le moule.....	59
4- Choix d'une presse.....	60
5- Le cycle de moulage par injection plastique	61
IV-Conclusion	61

Chapitre III : Conception d'un moule d'injection plastique

I- Introduction	63
II- Eléments constitutifs d'un moule.....	63
III-Conception d'un moule thermoplastique	64
1- Le nombre et disposition des empreintes.....	64
2- La matière	66
3- La machine.....	67
4- Le système d'alimentation	67
5- Son architecture.....	78
6- L'éjection des pièces.....	82
7- Thermique du moule.....	84
8- La durée de vie (le choix du matériau)	86
IV-Cahier de charge fonctionnel du moule.....	87
V- La CAO (Conception Assistée par Ordinateur).....	88
VI-Conclusion.....	89

Chapitre IV : Calcul et dimensionnement

I- Choix du procédé de fabrication d'une pièce	91
II- Choix de la matière à injecter	91
III-Le choix de la presse	91
1- La capacité d'injection	92
a- La masse de la pièce	92
b- La masse de la carotte	93
c- Dimensionnement des canaux de distribution de la carotte	94
d- Dimensionnement des seuils d'injection.....	94
e- La masse de la moulée (grappe).....	95
f- Capacité d'injection des pièces.....	95
2- Calcul de la force de fermeture.....	95
a- Force de verrouillage.....	96
b- La pression intérieure moyenne.....	97

c- La force de fermeture	97
IV-La puissance de plastification	97
a- Le temps du cycle	98
b- Temps de refroidissement.....	99
c- Calcul des temps d'ouverture et de fermeture et d'éjection	100
d- Le temps de maintien	101
e- Le temps d'injection de la matière.....	101
f- Dimensions minimales du moule.....	101
g- Epaisseur minimale du moule.....	102
h- Caractéristiques techniques de la presse 75 tonnes.....	102
V- Bilan thermique.....	103
1- La quantité de chaleur évacuée.....	103
2- Dimensionnement du circuit de refroidissement	104
3- Résistance des matériaux.....	111
3-1- Poids des pièces du moule	111
3-2- Résistances des éléments du moule au matage dû à la force de fermeture.....	113
3-3- Résistance des colonnes de guidage du moule au cisaillement.....	115
3-4- Résistance des colonnes de rappel de la batterie éjectrice au cisaillement.....	116
3-5- Résistance des vis CHC au cisaillement dû au poids de l'empreinte fixe et de porte empreinte fixe	117
3-6- Vérification des vis de fixation de la semelle mobile avec les tasseaux au cisaillement.....	117
3-7- Vérification des vis de fixation, des tasseaux et de la porte empreinte mobile au cisaillement.....	118
3-8- Vérification des vis de fixation utilisées sur chacune des semelles du moule.....	119
<u>Chapitre V : Réalisation</u>	
I- Usinage des pièces du moule.....	121
I-1-Choix de la machine d'usinage.....	121
I-2- Simulation et programmation par l'outil Machining	122
I-3- Dessin de définition des éléments constitutifs du moule	129
Conclusion générale.....	131
<u>Les annexes</u>	
Bibliographie	133
Annexe1	134
Annexe2	135
Annexe3	136
Annexe4	137
Annexe5	138

LISTE DES SYMBOLES

ENIEM : Entreprise Nationale des Industries de l'Electroménager.

SONELEC : Société Nationale de Fabrication et de Montage et de Commercialisation des Produits Electroménagers.

FILAMP : La filiale Lampes à Mohammadia.

EIMS : Entreprise Industrielle des Matériels Sanitaires.

ABS : Acrylonitrile Butadiène Styrene.

PVC : Polychlorure de vinyle.

PS : Polystyrene.

PP : Polypropylene.

PET : PolyethyleneTerephthalate.

PEhd : Polyethylene Haute Densité

PEbd : Polyethylene Passe Densité

Tg : Point de temperature de transition vitreuse.

Tf : Point de fusion.

T_{fl}: Temperature de fluidification.

e : Epaisseur.

D : Diametre du canal de la busette.

G : la masse de la moulée.

T_r: Temps de refroidissement.

D : diffusivité thermique du plastique.

T_i : temperature d'injection.

T_m : temperature moyenne au cours du cycle.

T_e : temperature d'éjection.

M_p : Masse de la pièce de l'étude.

M_c : La masse de la carotte.

δ_c : La masse volumique.

V_c : Le volume de la carotte.

V_{tot} : Le volume total.

V_p : Le volume de la pièce.

F_v : force de verrouillage.

S_p : surface projetée.

P : pression intérieure moyenne.

F : Force de fermeture.

K : Coefficient de sécurité.

C : Puissance de plastification.

T_c : Temps du cycle.

a : coefficient de diffusion thermique du polymère ABS.

T_m : température de la surface de l'empreinte du moule.

t_0 : Temps d'ouverture.

t_f : Temps de fermeture.

L_G : Largeur de la grappe.

C_ϵ : Course d'éjection de la grappe.

V_ϵ : Vitesse d'éjection de la grappe.

Q_m : Quantité de chaleur évacuée.

H_i : enthalpie à la température d'injection.

H_o : enthalpie à la température d'ouverture du moule.

C_{pe} : Chaleur spécifique de l'eau.

D_e : Le débit de l'eau.

T_{se} : Température de sortie d'eau.

T_{ee} : Température d'entrée d'eau.

m : La masse du matériau par cycle de moulage.

T_2 : Température finale du matériau.

T_1 : Température initiale du matériau.

C_m : Chaleur massique du matériau du moule.

d_c : Diamètre du canal.

K_e : Coefficient de transfert thermique global entre la matière et l'eau de refroidissement avec le matériau du moule.

λ_1 : Conductivité thermique Du matériau du moule.

λ : Conductivité thermique de l'ABS.

α_e : Coefficient de transfert de chaleur par convection dans l'eau.

V : Vitesse de l'eau.

V_e : Viscosité cinématique de l'eau.

K_p : Coefficient de transfert thermique entre le produit et l'air extérieur avec le matériau du moule.

R_e : Limite élastique.

σ : Contrainte.

S' : Coefficient de sécurité pour les pièces en acier.

S : Section de la colonne.

n : Nombre de colonnes cisillées.

σ_e : Contrainte de la limite élastique.

$[\tau]_{cis}$: Limite de cisaillement admissible.

N : Nombre de vis.

Liste des figures

Figures	Titre	Page
Chapitre introductif		
Fig.1	Organigramme de l'entreprise	14
Fig.2	Organigramme de l'unité froid	15
Chapitre I		
Fig.1	Transformation du pétrole en matières plastiques	18
Fig.2	Origine naturelle des plastiques	19
Fig.3	Schéma d'une macromolécule linéaire	20
Fig.4	Schéma d'une macromolécule ramifiée	20
Fig.5	Schéma d'une macromolécule réticulée	21
Fig.6	Structure d'un polymère amorphe	22
Fig.7	Structure d'un polymère semi-cristallin	25
Fig.8	Réaction de vulcanisation (réticulation par le soufre) du caoutchouc naturel	29
Fig.9	Demande des plasturgistes par type et secteur d'application en Europe	32
Fig.10	Structure chimique de l'ABS	36
Fig.11	Vue d'un ABS au microscope électronique à transmission	37
Fig.12	Structure semi cristalline	26
Fig.13	Structure amorphe	28
Chapitre II		
fig.1	Procédé de mise en œuvre par injection	41
fig.2	Procédé de mise en œuvre par injection-soufflage	42
fig.3	La pré-expansion, le stockage et le moulage	43
fig.4	Procédé de mise en œuvre par extrusion	44
fig.5	Procédé de mise en œuvre par extrusion soufflage	45
fig.6	Procédé de mise en œuvre par extrusion-gonflage	46
fig.7	Procédé de mise en œuvre par calandrage	47
fig.8	Procédé de mise en œuvre par enduction	48
fig.9	Mise en œuvre par roto-moulage	49
fig.10	Procédé de mise en œuvre par thermoformage manuel	50
fig.11	Procédé de mise en œuvre par thermoformage en ligne	51
fig.12	Technique de la coulée	52
fig.13	Technique du moulage par compression	53
Fig.14	Technique du moulage par compression transfert	53
Fig.15	Procédé de moulage des mousses	55
Fig.16	Presse d'injection	56
Fig.17	Presse horizontale	56
Fig.18	Presse verticale	57
Fig.19	Dispositif d'une presse d'injection	58
Fig.20	Système vis-piston	59
Fig.21	Moule d'injection plastique	60
Chapitre III		
Fig.1	Éléments constitutifs d'un moule	63
Fig.2	Nombre d'empreintes en fonction de critères techniques et économiques	65

Fig.3	Temps de cycle d'une presse d'injection	66
Fig.4	Les composantes du système d'alimentation	67
Fig.5	Buse d'injection	68
Fig.6	La carotte	69
Fig.7	Diamètre du canal de la busette en fonction de la masse de la moulée et de l'épaisseur maximale de la pièce	70
Fig.8	Réalisation de la carotte	71
Fig.9	Seuil capillaire	72
Fig.10	Seuil conique	73
Fig.11	Canaux à section circulaire	76
Fig.12	Canaux à section parabolique	76
Fig.13	Diamètre du canal de distribution en fonction de la masse (G) et de l'épaisseur (e) de la moulée pour les styréniques	77
Fig.14	Différents plans de joint du moule	78
Fig.15	Exemple de moule simple à deux plaques	79
Fig.16	Moule à trois plaques	79
Fig.17	Moule à tiroir	80
Fig.18	Moule à coquilles	81
Fig.19	Exemple de moule à canaux chauffants	82
Fig.20	Ejecteur cylindrique	83
Fig.21	Ejecteur tubulaire	83
Fig.22	Ejecteur à lame	84
Fig.23	Events	86
Fig.24	La roue en ABS	87
Fig.25	Fenêtre principale de solidworks	89
Chapitre IV		
Fig.1	Influence de la matière, rugosité et dimensions de la pièce sur la dépouille	90
Fig.2	Dimensionnement, des diamètres et longueur de la buse, d'une carotte	91
Fig.3	Dimensionnement du seuil d'injection	92
Fig.4	La surface projetée donnée par le logiciel SolidWorks	94
Fig.5	Exemple de comparaison des temps élémentaires (en secondes) de deux cycles d'injection (normal et rapide) d'une pièce polypropylène	96
Fig.6	Paramètres d'injection de la matière plastique ABS	98
Fig.7	Caractéristiques dimensionnelles de la presse 75T (i3)	100
Fig.8	Variation de la Chaleur massique de différents polymères/ Température (°C).	102
Fig.9	Variations de la température en fonction de la position des canaux.	103
Fig.10	Conséquence de l'éloignement des canaux de la surface de l'empreinte.	104
Fig.11	Dimensions du canal	106
Fig.12	Colonnes de guidage	113
Fig.13	Vérification des vis de fixation des tasseaux et de la porte empreinte mobile au cisaillement.	116
Chapitre V		
Fig.1	Différentes étapes de l'usinage	129

Liste des tableaux

Tableaux	Titre	Page
Tab.1	Quelques dates importantes de découvertes	17
Tab.2	Caractéristiques physiques et mécaniques de l'ABS	37
Tab.3	Caractéristiques thermiques de l'ABS	37
Tab.4	Conditions de mise en œuvre de l'ABS	38
Tab.5	Réalisation des fonctions du moule	64
Tab.6	Disposition des empreintes dans le plan de joint	66
Tab.7	Le choix des matériaux	87
Tab.8	Choix du procédé de fabrication d'une pièce en fonction des différents critères.	89
Tab.9	Capacité d'injection selon la structure (Exemple : ABS / structure amorphe).	93
Tab.10	Pression moyenne (tonnes/cm ²) selon la matière	95
Tab.11	Grandeurs thermiques de quelques matières de pièces injectées.	97
Tab.12	Les températures régulées	98
Tab.13	Conditions de moulage par injection plastique	99
Tab.14	Caractéristiques techniques de la presse 75 tonnes	101
Tab.15	Valeurs du diamètre du canal	106
Tab.16	Poids des pièces du moule	110
Tab.17	Valeurs indicatives du coefficient de sécurité	111
Tab.18	Paramètres de coupe fraisage	124
Tab.19	Relation entre les tolérances et le nombre d'ébauche et finition	125
Tab.20	Écarts des ajustements les plus couramment utilisés	126

INTRODUCTION GENERALE

L'injection plastique est la technique de transformation des matières plastiques la plus utilisée par les industries de la plasturgie, permettant de fabriquer des objets de toutes sortes en grandes quantités.

Le bureau d'étude de l'entreprise ENIEM (Entreprise Nationale de l'Industrie de l'Electroménager) nous a confié, dans le cadre de la réalisation de notre projet de fin d'études, de concevoir un moule d'injection plastique d'une roue en ABS (acrylonitrile Butadiène Styène), qui a pour fonction de guider le mouvement des tapis roulants des machines.

Afin de mener à bien notre travail, nous avons scindé notre mémoire en quatre (04) chapitres :

- Un premier chapitre : intitulé « Aspect général des matières plastiques » à travers lequel nous passerons en vue les différents types de matières plastiques, d'où l'étude de la matière plastique qu'on utilisera (ABS).
- Un deuxième chapitre : intitulé « Mise en œuvre des matières plastiques » qui portera sur l'étude des différents procédés de mise en œuvre des matières plastiques.
- Dans le troisième chapitre « conception d'un moule injection plastique », on présentera les différentes étapes de la conception d'un moule.
- Ensuite, dans le quatrième chapitre, on présentera les calculs des différents éléments du moule.
- A la fin du mémoire, une conclusion générale est présentée, suivie par les dessins de définition des différents éléments constitutifs du moule et le dessin d'ensemble établis par le logiciel Solidworks.

Présentation de l'entreprise

I- Historique :

L'entreprise nationale des industries de l'électroménager est une entreprise publique économique issue de la restructuration organique (en 1983) de l'ex SONELEC (Société Nationale de fabrication et de montage et de commercialisations des produits électroménagers) créée en 1974. Son siège social se situe au chef lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou.

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.

En l'an 2000, l'ENIEM élargie son champs d'activité par l'acquisition de l'entreprise industrielle des matériels sanitaires (EIMS) de Miliana, entrée en production en juin 1977.

La filiale lampes à Mohammadia, wilaya de Mascara, entrée en production en février 1979.

L'ENIEM est transformée juridiquement en société par actions (SPA) le 10 octobre 1989 au capital de 40.000.000 DA, suite aux réformes économiques de 1988.

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'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 type fenêtre et split-système.

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

II- Principales missions et activités de l'entreprise :

a) Direction générale :

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

b) Unité froid :

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

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

c) Unité cuisson:

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

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

d) Unité climatiseur:

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

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

e) Unité sanitaire :

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

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

f) Filiale FILAMP :

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

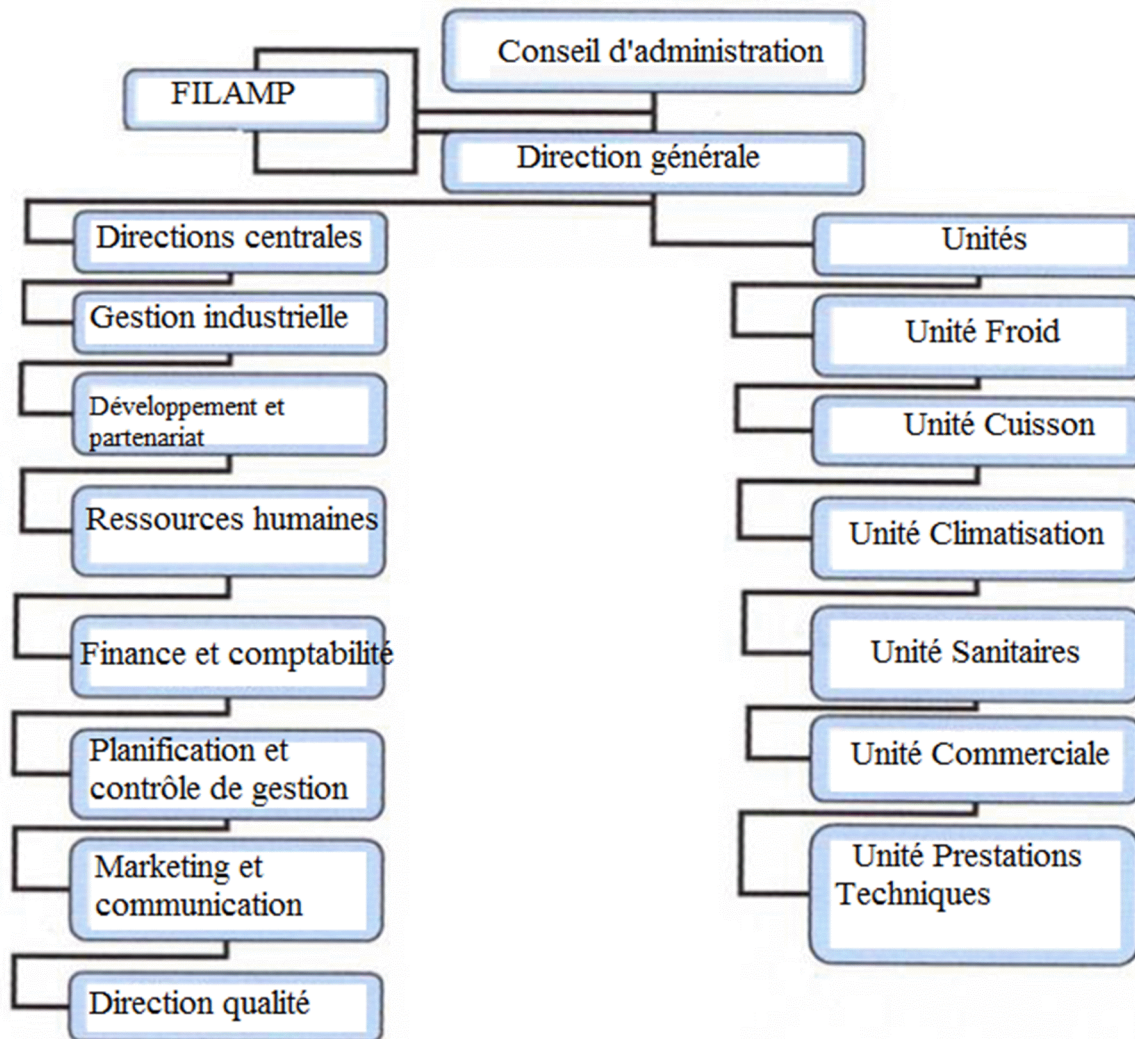
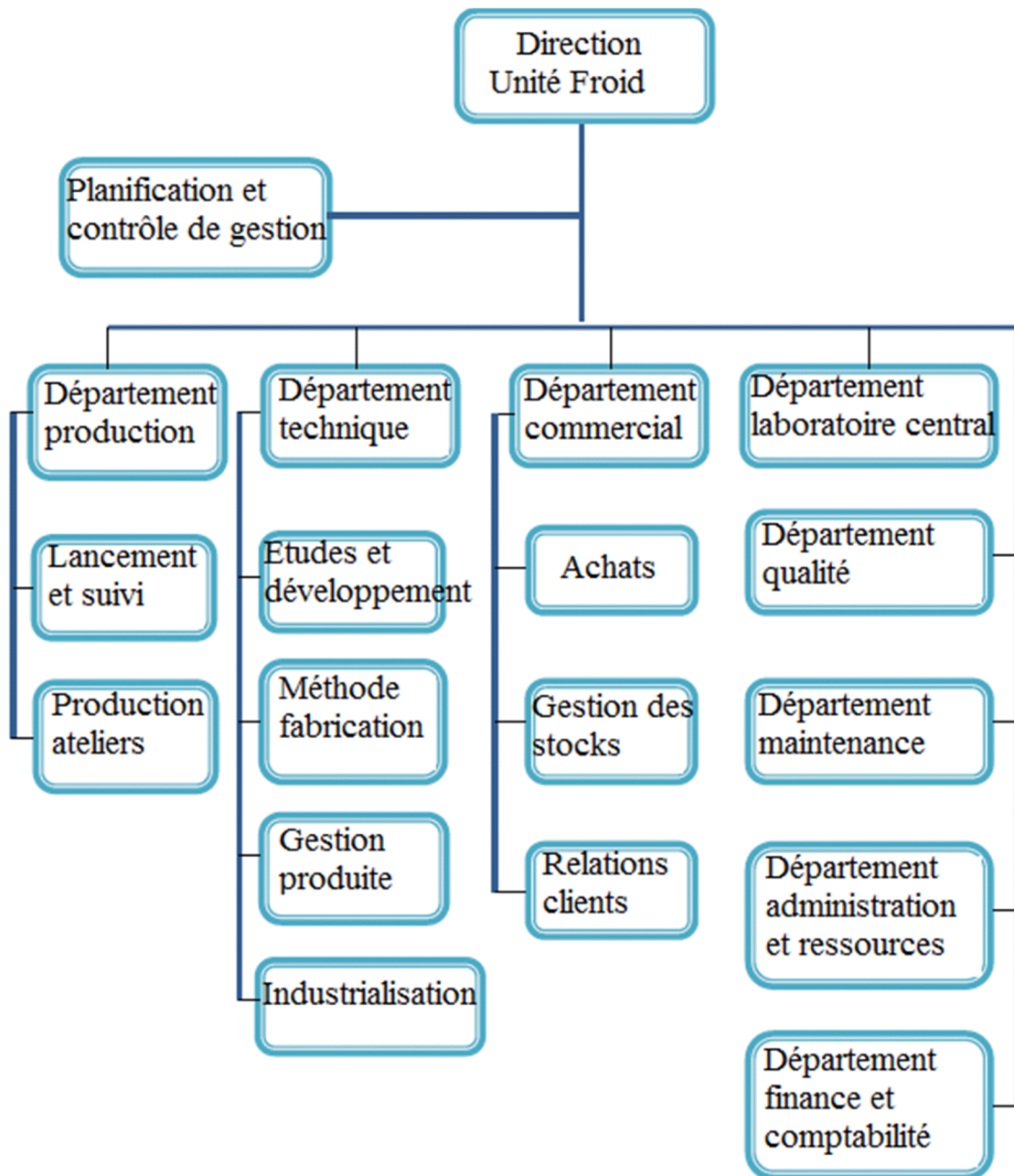
Organisation générale de l'ENIEM :

Fig.1. Organigramme de l'entreprise

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

I- Introduction

Les objets en matière plastiques peuplent notre vie quotidienne. Qu'il s'agisse des appareils électroménagers, dans le bâtiment, des éléments de carrosserie dans l'automobile, des meubles, du matériel électrique, du matériel médical, des moyens de transport, etc. Partout l'utilisation des matériaux plastiques apporte des solutions de fabrications simples, de réalisations fiables et esthétiques, de prix de revient compétitifs, autant d'atouts qui concurrencent les autres matériaux tels que les métaux et le bois.

Dans le cas particulier de l'électroménager, il serait fastidieux d'énumérer les propriétés avantageuses de ses produits, il suffira de signaler que les principales raisons sont :

- Facilité de mise en œuvre, d'où un gain de productivité élevé ;
- Gain de poids important ;
- Suppression de la corrosion ;
- Recyclage des déchets, d'où un gain sur les productions et la protection de l'environnement.

II- Historique et origines des matières plastiques :

II-1- Historique :

Si l'on peut faire remonter l'histoire des matières plastiques à l'antiquité, c'est surtout à partir de la fin du XIX^{ème} siècle que leur utilisation se développe avec la mise au point de plastiques synthétiques. Des centaines de chercheurs et de bricoleurs de génie sont à l'origine de cet essor. Les premiers plastiques artificiels, résultaient de la transformation chimique de polymères naturels tels que la cellulose et la résine. La première matière plastique industrielle basée sur un polymère synthétique est la Bakélite, découverte par le chimiste Belge, naturalisé Américain Leo Baekeland, produite par polycondensation du phénol et du formaldéhyde (famille de phénoplastes), utilisée à l'origine pour les boîtiers de téléphone, coques de rasoir, poignées de casserole, prises électriques, cendriers, etc. La même année, le chimiste allemand Fritz HOFMANN réalise les premiers caoutchoucs synthétiques en polymérisant des diènes conjugués.

Quelques dates importantes de découvertes : [1]

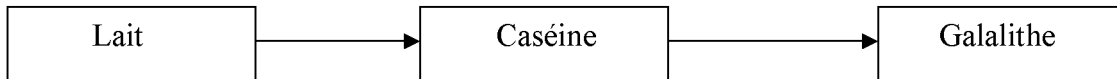
1913	PVC	Par le professeur Allemand KLATTE
1924	PLEXIGLAS	Par BARKER et SKINNER
1933	POLYSTYRENE	Par WUFF en Allemagne
1935	POLYETHYLENE	En grande Bretagne par FAWCETT et GIBSON
1938	TEFLON	Par ROY J.PLUNCKETT ingénieur chez DU PONT DE NEMOURS
1946	ABS	Aux USA
1954	POLYPROPYLENE	Par l'Italien NATTA

Tab.1. Quelques dates importantes de découvertes

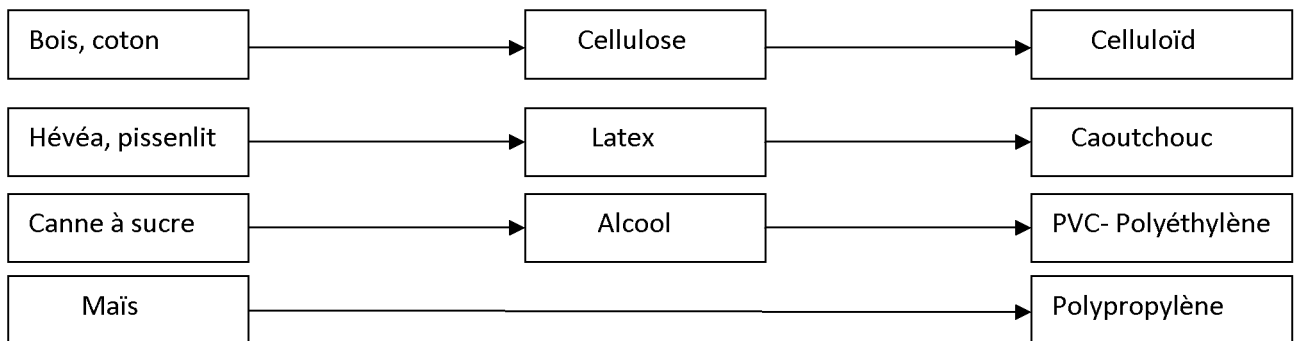
II-2- Les origines des matières plastiques :

Les matières plastiques, qui sont des matières organiques, sont obtenues en incorporant à une résine de base (dérivée de matières végétales ; telles que la Cellulose, le furfural, les huiles, les dérivés d'amidon ou le charbon et la Caséine issue du lait qui était l'une des seules matières non végétales utilisées) divers adjuvants qui améliorent les caractéristiques du plastique.

• **Origine animal : [8]**



• **Origine végétal :**



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

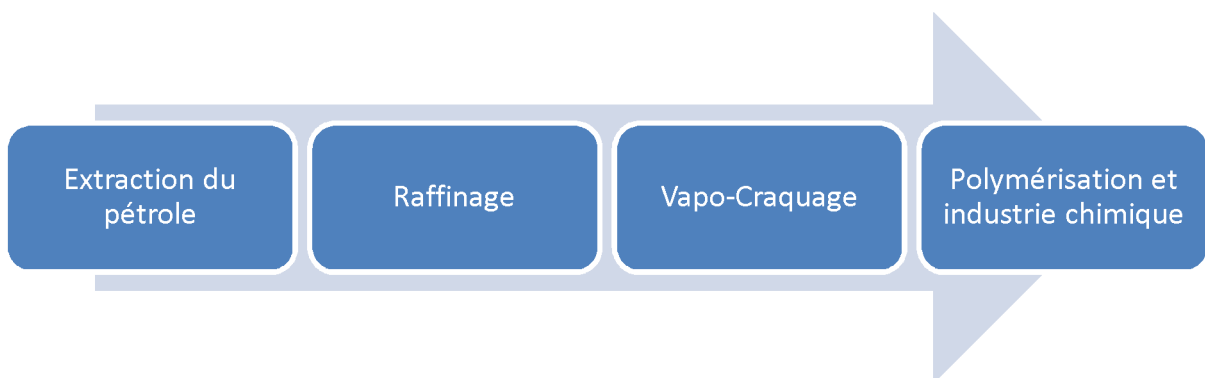


Fig.1. Transformation du pétrole en matières plastiques

- **Origine naturelle :**

Représentant 90% de la production des matières plastiques

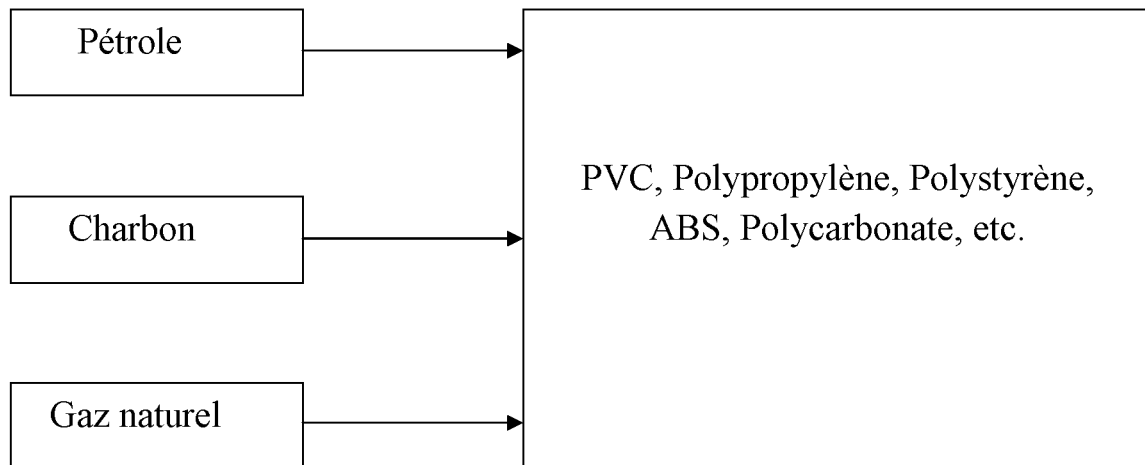


Fig.2. Origine naturelle des plastiques

Les trois origines essentielles des matières plastiques sont :

- Le pétrole avec 55%
- Le charbon 35%
- Le gaz naturel 10%

III- Définition des matières plastiques :

Une matière plastique est un matériau d'origine organique naturelle ou synthétique, possédant la propriété de se déformer et se ramollir sous l'effet de la température (élévation de la chaleur). Le produit de base de toutes les matières plastiques est principalement, le pétrole et ses dérivés.

Les matières plastiques sont aussi appelées, polymères qui sont composés d'une répétition d'unités moléculaires simples (monomères).

Les matières plastiques composées principalement de polymères, ont des propriétés de se mettre en forme facilement par extrusion, moulage, coulage ou filage après un chauffage modéré (100-200°C).

1- Généralités sur les polymères :

1-1- Structure :

a- Définition :

Un polymère est une macromolécule de masse molaire très élevées ($> 25000 \text{ g.mol}^{-1}$ jusqu'à 10^6 g.mol^{-1}), elle est engendrée par la répétition d'une unité structurale appelée motif unitaire. La molécule simple de départ est appelée monomère.

Exemple :

L'éthylène $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ conduit au polyéthylène $-\text{[CH}_2-\text{CH}_2\text{]}_n-$

Le nombre n de motifs est appelé « degré de polymérisation ». Il s'agit d'une valeur moyenne sur un échantillon donné. La masse molaire est alors $M_n = n M_0$ où M_0 est la masse molaire du monomère.

Les polymères peuvent être constitués d'un seul motif (homopolymères) ou, plus fréquemment, de deux motifs différents (copolymères).

b- Structure :

On distingue trois types de chaînes ;

1- Les polymères linéaires :

Les motifs s'enchaînent de manière unidimensionnelle



Fig.3. Schéma d'une macromolécule linéaire

2- Les polymères ramifiés :

Les polymères branchés (ou ramifiés), les motifs dans ce cas, peuvent donner lieu à des ramifications autour de la chaîne linéaire.

Dans le cas d'un copolymère, les motifs s'arrangent au hasard.



Fig.4. Schéma d'une macromolécule ramifiée

3- Les polymères réticulés :

Les motifs peuvent s'associer et donner un véritable réseau tridimensionnel

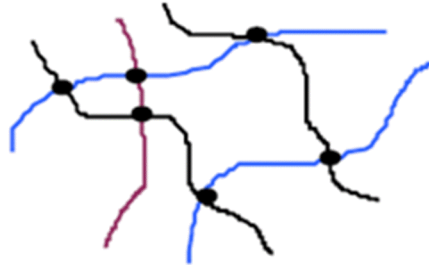


Fig.5. Schéma d'une macromolécule réticulée

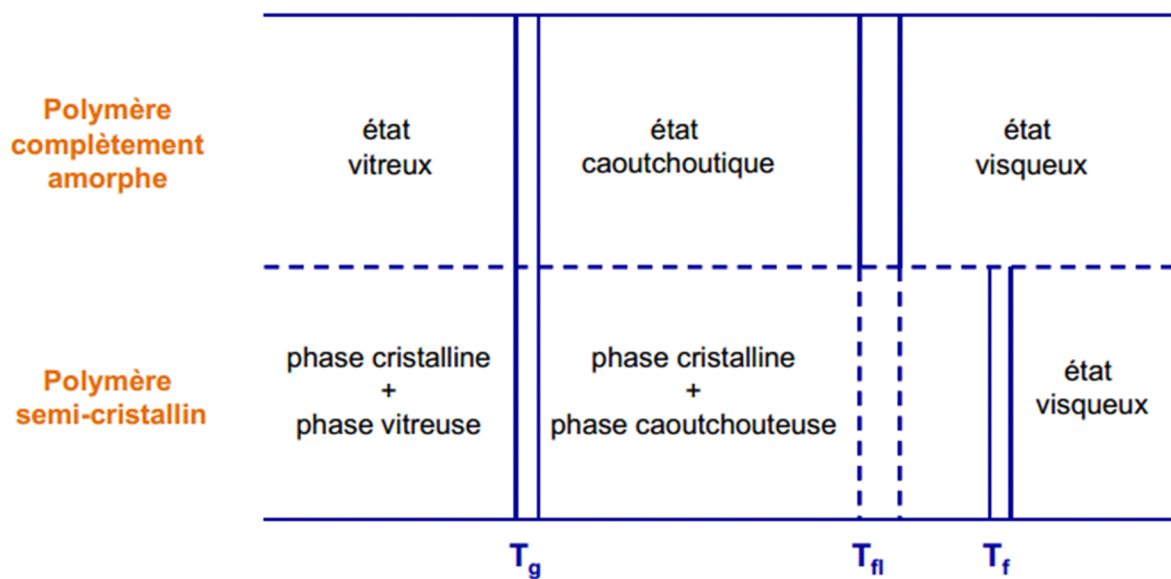
1- 2- Propriétés thermomécaniques des polymères :

Propriétés thermiques qui ont une incidence directe sur les caractéristiques mécaniques des matériaux polymères.

Propriétés thermomécanique d'un état structural donné :

- Etat amorphe ;
- Etat semi cristallin.

Diagramme d'état des polymères :



T_g : Température de transition vitreuse : concerne les polymères amorphes ou les zones amorphes des polymères semi-cristallins.

T_f : Température de fluidification.

T_f : Température de fusion : concerne la zone cristalline des polymères semi-cristallins, elle correspond à un changement d'état avec disparition de la cristallinité.

Suivant la température, les polymères se trouvent dans différents états et donc avec des propriétés physiques et mécaniques différentes.

a- Les polymères amorphes :

Les macromolécules sont entremêlées en pelote, c'est un état dans lequel la matière ne présente pas d'arrangement intermoléculaire ou interatomique à longue distance.

Dans la structure amorphe, les macromolécules glissent les unes sur les autres engendrant une faible résistance à la traction.

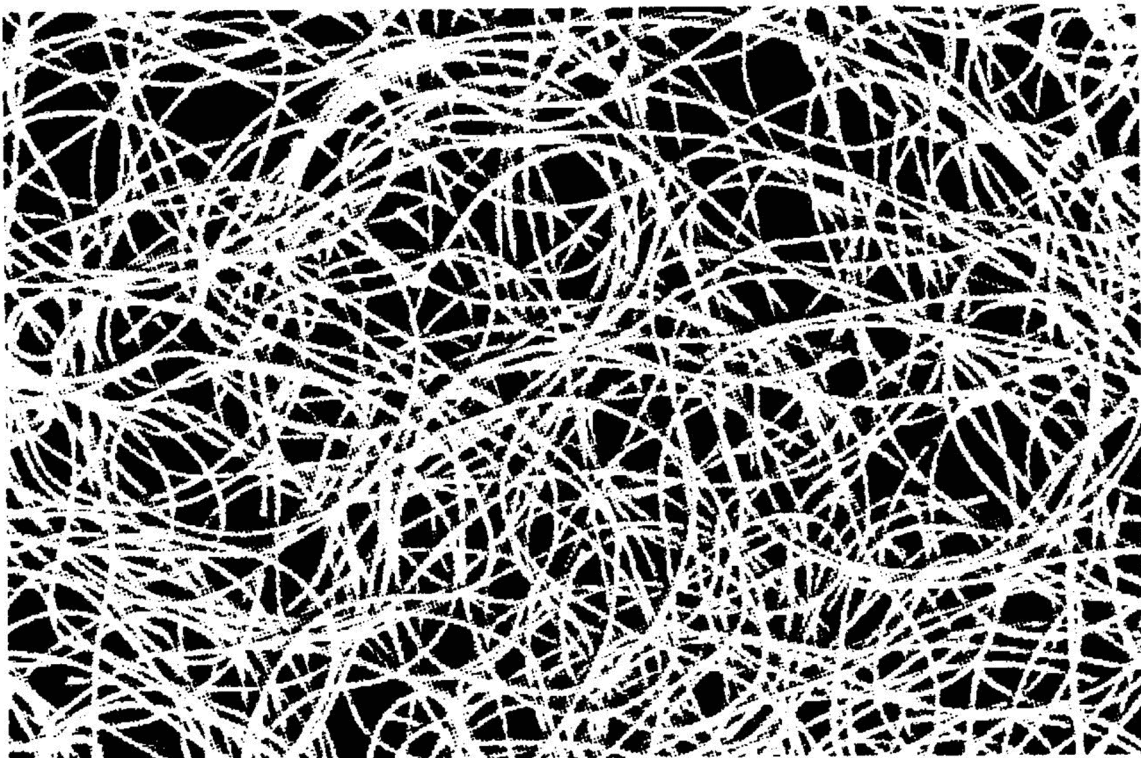


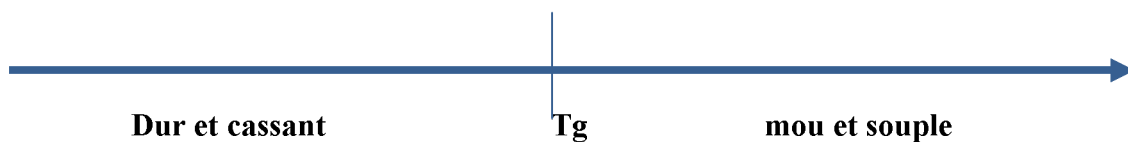
Fig.6. Structure d'un polymère amorphe

Cette absence d'ordre, donne au polymère une structure de liquide figé dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

- Point de fusion non précis;
- Existence d'un point de transition T_g marquant le passage de l'état caoutchoutique à l'état vitreux ;
- La transparence dans le visible. Le polystyrène (PS) « cristal » ou le polychlorure de vinyle (PVC) « cristal » sont transparents et limpides par ce qu'ils ne sont pas du tout cristallins ;
- Existence d'une mobilité résiduelle dans un intervalle plus au moins large de température au dessous T_g .

➤ **Transition vitreuse :**

C'est le changement d'état du polymère ou du matériau composite polymérisé, sous l'action de la température, et entraînant des variations importantes de ses propriétés mécaniques. La transition vitreuse est caractérisée par une **température de transition vitreuse**(T_g).



En dessous de cette température, le polymère est dit « vitreux » (état solide) et présente le comportement d'un corps solide élastique. Au dessus, il présente un comportement de solide plastique (état viscoélastique), suite à l'affaiblissement de liaisons intermoléculaires (force de Van der Waals, ...).

Si un polymère amorphe a une T_g supérieure à la température ambiante, il sera mou et souple à température ambiante: c'est le cas des élastomères. S'il a une T_g au-dessous de la température ambiante, il sera dur et cassant à température ambiante.

La transition vitreuse est réversible et s'observe essentiellement sur les polymères thermoplastiques et ce d'autant plus qu'ils sont peu cristallisés et peu réticulés. Elle s'observe également sur certains polymères thermodurcissables (par exemple résines époxydes), dont la densité de réticulation n'est pas trop élevée.

Ce changement d'état s'accompagne toujours d'une variation importante des propriétés physiques notamment des propriétés mécaniques (chute du module d'élasticité par exemple).

Une structure devra toujours être conçue avec des résines ayant une température de transition vitreuse nettement supérieure à la température d'utilisation.

➤ **Le polymère amorphe en mouvement : [3]**

$T \ll T_g$: Etat vitreux \longrightarrow Elasticité enthalpique.

$T > T_g$:

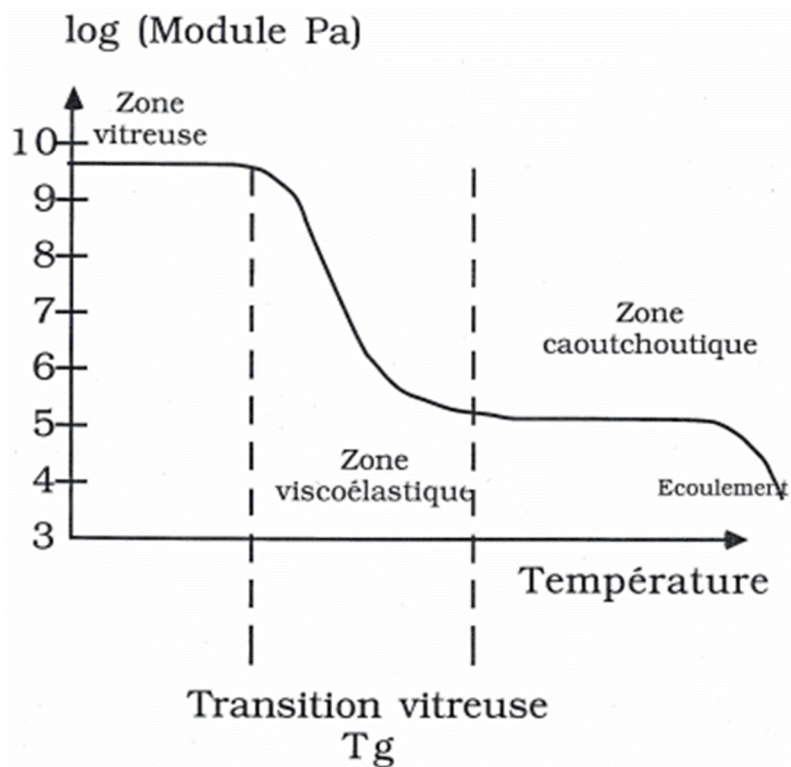
Changements de conformation « hiérarchiquement corrélés » \longrightarrow Mobilité moléculaire + enchevêtrements \longrightarrow Gênes topologiques.

- **Etat caoutchoutique :**

Les enchevêtrements forment un réseau temporaire \longrightarrow Elasticité entropique.

- **Zone d'écoulement :**

Les enchevêtrements sont moins persistants \longrightarrow Fluide viscoélastique \longrightarrow Mise en forme.



b- Les polymères semi-cristallins :

Un polymère semi cristallin possède des zones cristallines (généralement sous forme de sphérolites) et des zones amorphes, ainsi, un polymère semi-cristallin est constitué de deux phases : des cristaux en forme de lamelles (ou cristallites) dispersées dans une matrice

amorphe. Une caractéristique importante est alors à prendre en considération : la forme et les dimensions des domaines de chacune de ses phases, c'est-à-dire la morphologie cristalline.

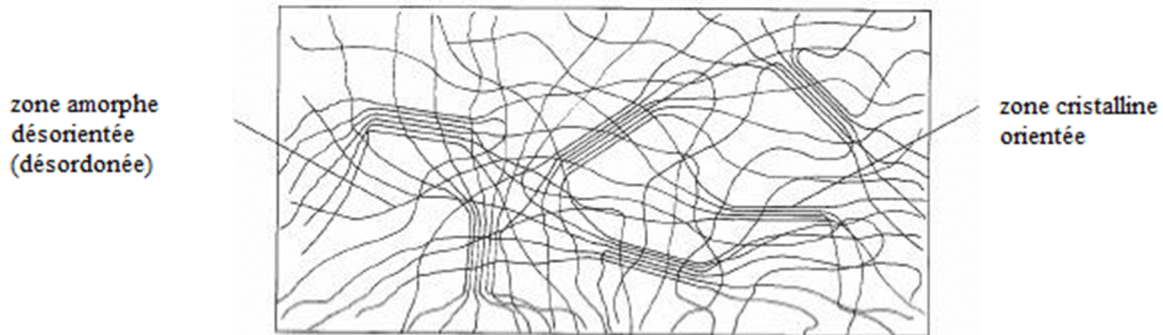


Fig.7. Structure d'un polymère semi-cristallin

Les principales caractéristiques de l'état cristallin sont :

- Densité supérieure à celle de la zone amorphe ;
- Existence d'un point de fusion T_f (absence de transition vitreuse) ;
- Indice de réfraction supérieur à celui de la phase amorphe ($n_c > n_a$) ;
- Imperméabilité totale à la plus part des gaz (sauf H_2 et H_e éventuellement), vapeurs ou liquides ;
- Rigidité supérieure à celle de la phase amorphe.

1-3- Propriétés macroscopiques :

a- Les thermoplastiques :

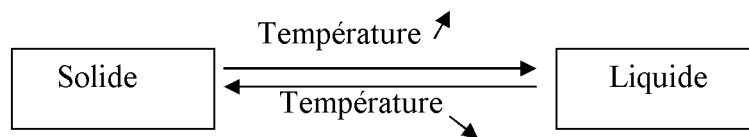
Un polymère thermoplastique est susceptible d'être, de manière répétée, ramolli par chauffage et durci par refroidissement. A l'état ramolli, il pourra être mis en forme par injection, extrusion ou formage dans un moule.

Les thermoplastiques sont de très loin les polymères les plus utilisés. Ils sont transformés sans réaction chimique à l'opposé des polymères thermodurcissables. La cadence de transformation de ces polymères est presque exclusivement liée à leur vitesse de refroidissement et est donc beaucoup plus rapide que celle des thermodurcissables ou des élastomères.

Les variétés les plus couramment utilisées sont :

- Les polyesters thermoplastiques ;
- Les polyphénylène oxyde ;
- Les polyamides ;
- Les polyacétals (polyoxyméthylène) ;
- Les polycarbonates ;
- Le polyéther ;
- Les polysulfures (PS).

La transformation d'un thermoplastique est mécanique et réversible, et non pas chimique :



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

Structure des thermoplastiques

Structure assez organisée ou semi cristalline.

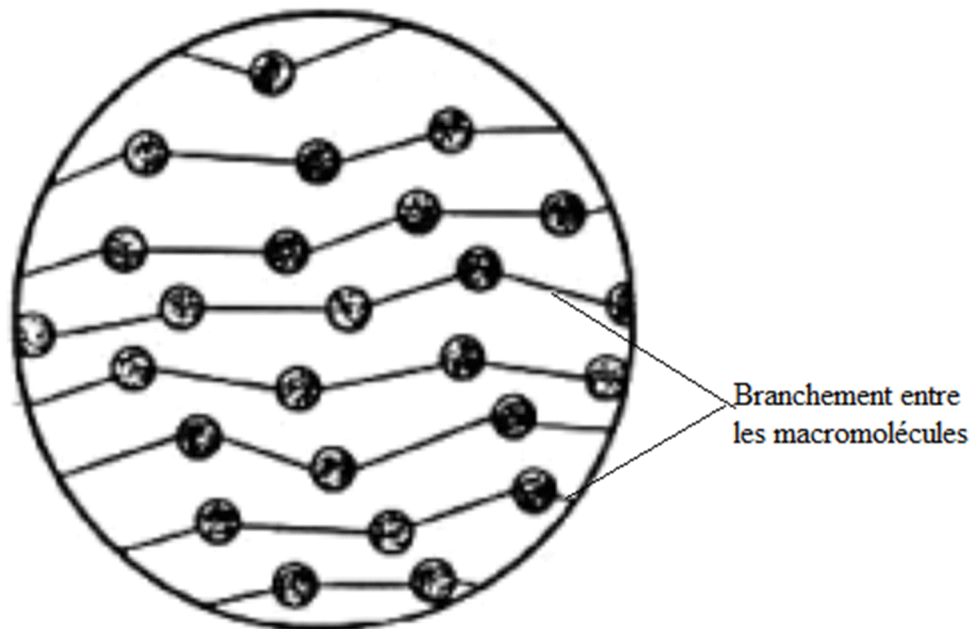


Fig.12. Structure semi cristalline

b- Les thermodurcissables :

Un polymère thermodurcissable, qualifie un polymère ne pouvant être mis en œuvre qu'une seule fois et qui devient infusible et insoluble après polymérisation. Une fois durci, leur forme ne peut plus être modifiée.

La polymérisation peut être engendrée par une montée en température, l'action de radiations, ou de produits chimiques (catalyseur, durcisseur,...).

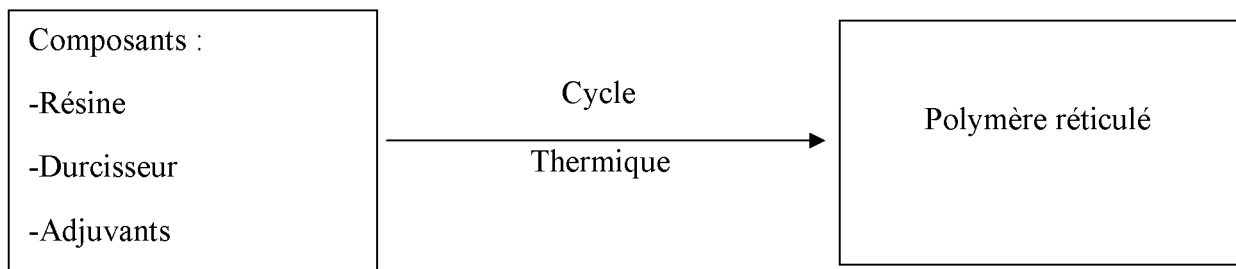
Après polymérisation et durcissement, une nouvelle montée en température ne permettra pas au produit de revenir à son état initial (liquide ou pâteux).

La plupart des résines utilisées dans l'industrie composite sont thermodurcissable.

Les variétés les plus couramment utilisées sont :

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

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



Structure des thermodurcissables

Structure non organisée dite amorphe

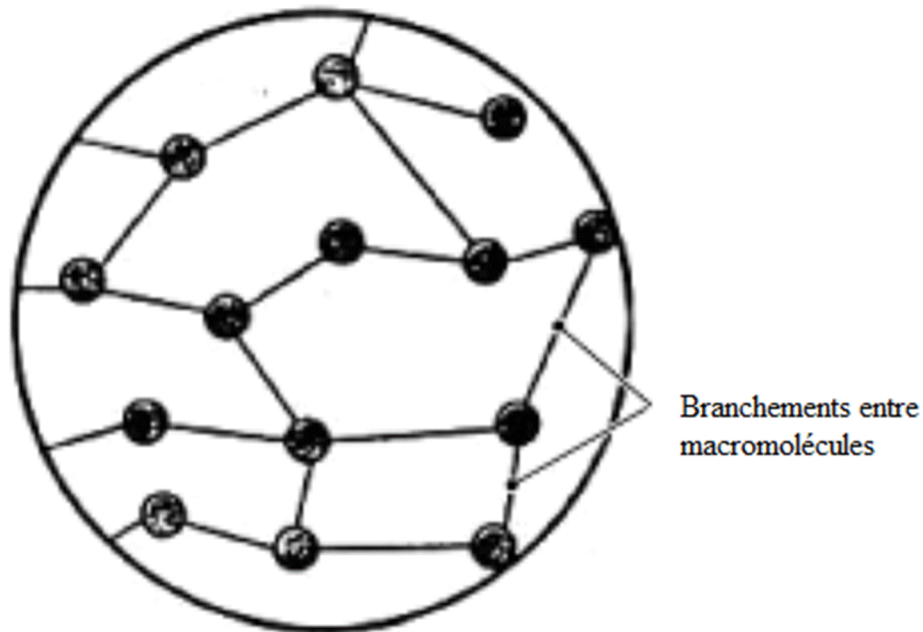


Fig.13. Structure amorphe

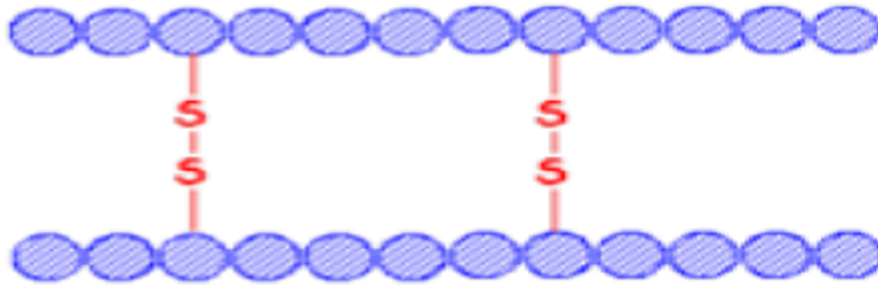
c- Les élastomères (ou caoutchouc) :

Ces polymères présentent les mêmes qualités 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.

Pour pouvoir déployer complètement ses chaînes, sans les faire glisser, ni supprimer leur flexibilité, le caoutchouc doit être vulcanisé.

Exemple d'un caoutchouc vulcanisé :



Un polymère avec des ponts inter-chaînes, il s'agit de pont S

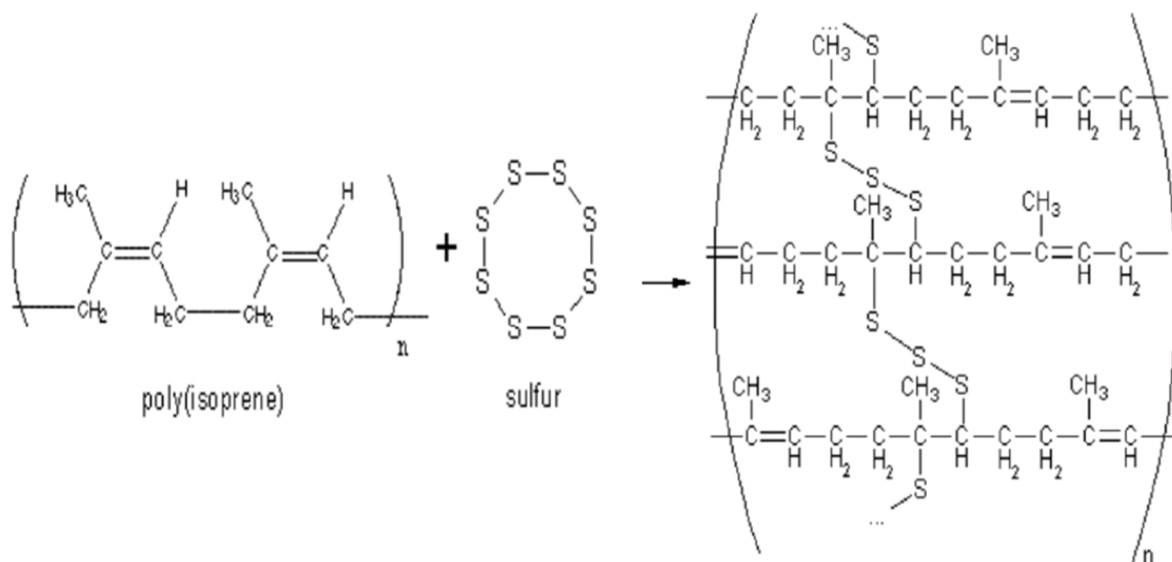


Fig.8. Réaction de vulcanisation (réticulation par le soufre) du caoutchouc naturel

1-4- Les différentes formes de polymérisation :

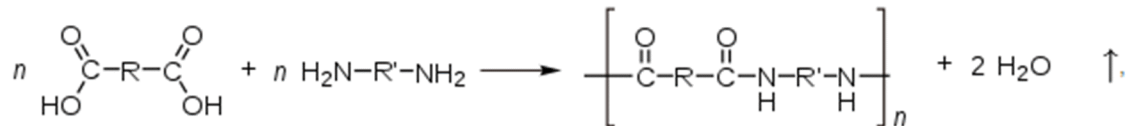
a- La polycondensation :

La polycondensation est également désignée par le terme « polymérisation par étape ». La formation de la macromolécule se fait par des réactions de condensation successives entre les fonctions chimiques des monomères. Ces réactions s'accompagnent généralement de l'élimination de petites molécules, telles que le H_2O , fonction des monomères en présence. Dans cette voie de polymérisation, la chaîne grossit, soit pas addition de monomères, soit par addition d'oligomères. Cette polymérisation est réalisée lentement et peut durer plusieurs heures, mais l'enchaînement produit des résidus gazeux ou liquides.

Et c'est la seule façon d'obtenir des polymères semi-cristallin aux propriétés mécaniques particulières et qui ont par exemple donné lieu à des applications dans le domaine des élastomères de synthèse.

Exemple :

Polymérisation des diamines primaires et des diacides carboxyliques (molécules bi-fonctionnelles et bi-valentes) qui conduit à des polyamides et à de l'eau.



- **Ce qu'il faut retenir sur la polycondensation :**

-Les molécules de monomères s'accrochent les unes aux autres par une suite de réactions de condensation pour former une macromolécule.

-Il y a élimination d'une petite molécule (exemple : l'eau) à chaque ajout d'un monomère à la chaîne macromoléculaire.

-Pour qu'une suite de réactions de condensation soit possible, il faut que le ou les monomères portent deux fonctions

b- Polyaddition :

La polyaddition est l'addition en chaîne d'un grand nombre de molécules identiques appelées monomères.

Lors de cette réaction, il y a ouverture des doubles liaisons C = C et formation de liaisons simples C—C



n : est l'indice de polymérisation.

Le polymère formé par polyaddition répète le motif du monomère (entre crochet) sans perte ou gain d'atomes.

Exemples :

- **Le polyéthylène :**

Il est obtenu par polyaddition de l'éthylène ou éthène



- **Le polychlorure de vinyle ou PVC :**

Il est obtenu par polyaddition du chlorure de vinyle (ou chloroéthylène ou chloroéthène)



IV- Amélioration des propriétés des matières plastiques :

Une matière plastique est un polymère composé d'un haut polymère (molécule complexe), d'adjuvants et d'additifs. Ces composés permettent d'améliorer les propriétés physiques et chimiques de la matière. La transformation de la matière première est assurée par apport de chaleur.

Matières plastiques = Haut polymère + Additifs + Adjuvants

- **Les plastifiants :** Assurent la transformation d'une matière rigide en matière souple.
- **Les stabilisants :** Ralentissent ou retardent une transformation de la matière (coloration aux ultra-violetts par exemple).
- **Les colorants et pigments :** Solubles, ils sont introduits dans le polymère, insolubles, ils sont mis sous forme de dispersion au moment de la transformation de la matière par la chaleur.
- **Les charges et renforts :** Permettent de diminuer le coût et augmentent la résistance mécanique des pièces fabriquées (fibre de verre, tissus, ...).

Les dosages des différents composants doivent être précis :

- **Les additifs** : Entrent pour plus de 10% dans la composition du produit fini ;
- **Les adjuvants** : Entrent pour moins de 10% dans la composition du produit fini (parfois moins de 1%).

V- Présentation des matières plastiques :

1- Domaine d'application des matières plastiques :

Les matériaux polymères sont présents dans tous les grands défis technologiques et progrès majeurs de notre époque, on trouve les produits plastiques dans de nombreux secteurs :

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

demande des plasturgistes par type et secteur d'application

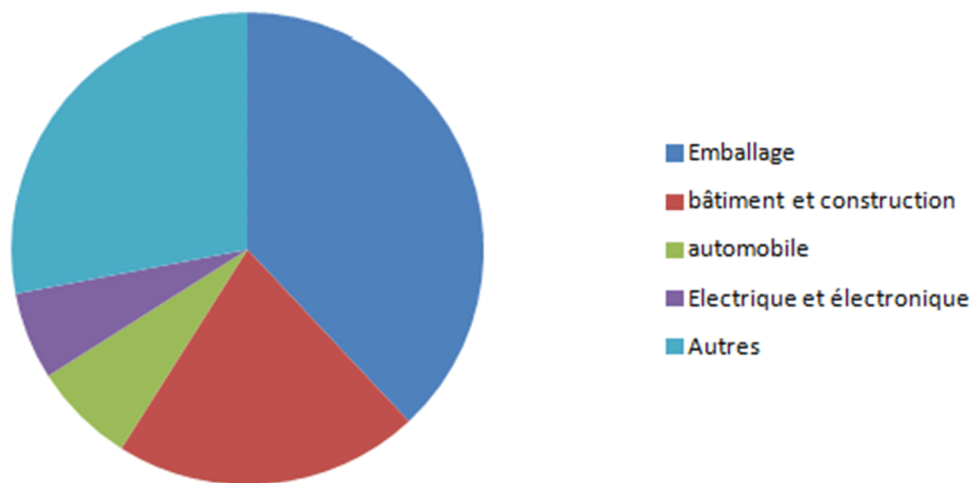
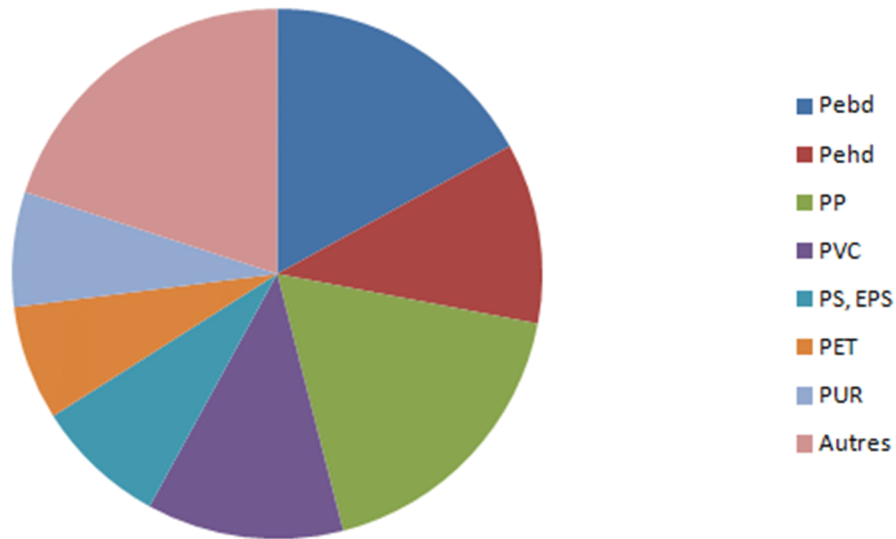


Fig.9. Demande des plasturgistes par type et secteur d'application en Europe



Grâce à leurs performances, les plastiques améliorent chaque jour notre qualité de vie :

- Légèreté : leur faible densité permet de faire des économies (exemple : allègement des véhicules pour une consommation réduite d'énergie) et de réaliser des exploits (voile, ski, sports mécaniques,...)
- Résistance : mécanique, chimique, thermique,... Ils sont également isolants et imperméables pour améliorer la sécurité et l'hygiène (emballage,...)
- Esthétique : les progrès de la recherche permettent d'allier les fonctions recherchées aux qualités visuelles (formes, couleurs) et tactiles.
- Recyclabilité : le plastique est le seul matériau qui permet quatre modes de valorisation : réemploi, valorisation matière, valorisation chimique ou énergétique.
- Mais aussi compétitivité, fiabilité, modernité, adaptabilité, technicité, sûreté,...

2- Evolution de la production des matières plastiques :

Le plastique apparut comme symbole de modernité et de rejet de vieux temps. L'expansion de son usage a permis l'épanouissement de la culture du jetable. Il est présent dans tous les domaines, il a évincé la plupart des matières traditionnelles : le bois dans le mobilier, le jouet et le bâtiment ; le verre et les métaux dans les emballages ; le coton et la soie dans les linges, etc., ainsi, « notre univers se plastifie ».

L'usage intensif des matières plastiques s'explique par ses diverses caractéristiques : légers, malléables, imperméables, résistants aux chocs, faciles à entretenir et s'adaptent à toutes sortes de situations. Pendant les trente dernières années, la production mondiale de plastiques a augmenté de 400%, contre 40% pour l'acier et 14% pour l'aluminium.

3- La forme commerciale :

La présentation commerciale des matières plastiques avant transformation dépend de la nature de celle-ci :

- En poudre : Polychlorure de vinyle (PVC) ;
- En granulés : La majorité des thermoplastiques ;
- En billes : Polystyrène expansé (PS) ;
- En résine liquide : La majorité des thermodurcissables ;
- En résine pâteuse : Silicones.

4- Le recyclage des matières plastiques :

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



PolyéthylèneTéréphtalate (PET) : Utilisé habituellement pour les bouteilles d'eau minérale, de sodas et de jus de fruits, les emballages, les blisters, les rembourrages. Potentiellement dangereux pour l'usage alimentaire.



Polyéthylène Haute Densité (PEHD) ou High Density Polyethylene (HDPE) : Certaines bouteilles, flacons, plus généralement emballages semi-rigides. Considéré comme sans danger pour l'usage alimentaire.



Polychlorure de Vinyle ou V : utilisé pour les canalisations, tubes, meubles de jardin, revêtements de sol, profilés pour fenêtre, volets, bouteilles de détergents, toiles cirées. Potentiellement dangereux pour l'usage.



Polyéthylène Basse Densité (PEBD) ou Low Density Polyethylene (PELD) : Utilisé pour les bâches, sacs poubelle, sachets, films, récipients souples. Considéré comme sans danger pour l'usage alimentaire.



Polypropylène (PP) : Utilisé dans l'industrie automobile (équipements, pare-chocs), jouets, et dans l'industrie alimentaire (emballages). Considéré comme sans danger pour l'usage alimentaire.



Polystyrène (PS) : plaques d'isolation thermique pour le bâtiment, barquettes alimentaires (polystyrène expansé), couverts et gobelets jetables, boîtiers de CD, emballages (mousses et films), jouets, ustensiles de cuisine, stylos, etc. Potentiellement dangereux, notamment en cas de combustion (contient du styrène).



Other (O) : tout plastique autre que ceux nommés de 1 à 6. Inclut par exemple, les plastiques à bas de polycarbonates ; les polycarbonates de bisphénol A. ils sont potentiellement toxiques.

VI- Présentation de l'ABS :

L'ABS est une matière plastique aux propriétés d'avoir des surfaces exceptionnelles. Inventé en 1946 aux Etats-Unis par Monsieur DALY, il est principalement utilisé dans l'électroménager, l'automobile, les articles de sports et les produits High Tech et tout les secteurs d'activité où l'on souhaite allier la tenue au choc avec un bel aspect final. Il est reconnu pour sa bonne tenue aux chocs, sa résistance à la rayure, son aptitude au vieillissement, son excellent aspect et sa capacité à être décoré. L'ABS est essentiellement mise en œuvre par injection.

1- Définition :

L'ABS est un copolymère thermoplastique amorphe, obtenu par la copolymérisation du styrène et l'acrylonitrile en présence de polybutadiène. Les proportions peuvent varier de 15 à 35% d'acrylonitrile, 5 à 30% de butadiène et 40 à 60% de styrène. Le résultat est une longue chaîne de polybutadiène sillonnée de courtes chaînes de poly (styrène-co-acrylonitrile).

- **L'Acrylonitrile :**

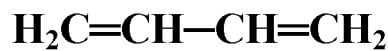
L'acrylonitrile (cyanure vinylique ou cyanure de vinyle) est constitué d'un groupe vinyle lié à un nitrile. Sa formule semi-développée est CH_2CHCN (ou $\text{C}_3\text{H}_3\text{N}$). C'est un liquide incolore

(à jaunâtre en raison d'impureté), son odeur est âcre et légèrement piquante. Il est généralement obtenu par oxydation du propylène C_3H_6 qui remplace l'Acétylène, par la présence d'Ammoniac NH_3 .



- **Le Butadiène :**

Le Buta-1,3-diène est un hydrocarbure de formule C_4H_6 , gazeux, incolore et inflammable. C'est l'isomère le plus courant du butadiène, raison pour laquelle, il est souvent simplement appelé Butadiène



- **Le Styrène :**

Le styrène est un composé organique, aromatique, de formule chimique C_8H_8 . C'est un liquide à température et à pression ambiante. Il est utilisé pour fabriquer des plastiques, en particulier, le polystyrène.

La combinaison de ces trois monomères donne naissance à un copolymère polyphasé constitué d'une matrice Acrylonitrile-Styrène avec des nodules de Butadiène noyés dans cette dernière.

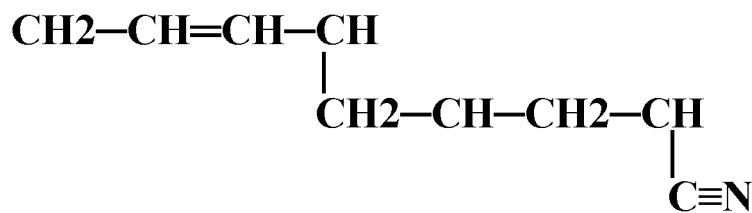


Figure.10. Structure chimique de l'ABS

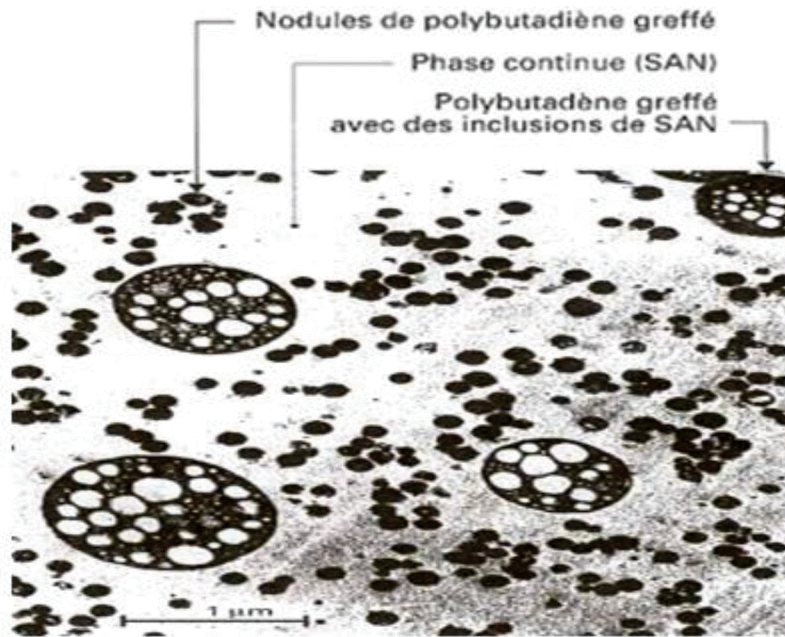


Fig.11. Vue d'un ABS au microscope électronique à transmission [2]

2- Caractéristiques de l'ABS : [4]

a- Caractéristiques physiques et mécaniques :

Masse volumique (g/cm ³)	Résistance aux chocs (K) à 20°C	Résistance à la rupture (MPa)	Résistance à la flexion (MPa)	Résistance à la compression (MPa)	Module d'élasticité (MPa)
1.03 à 1.08	1 à 2.5	47 à 55	65 à 75	63 à 68	2200 à 2600

Tab.2. Caractéristiques physiques et mécaniques de l'ABS

b- Caractéristiques thermiques :

Retrait %	Coefficient de dilatation linéaire K-1	Capacité thermique massique (j/Kg.K)	Conduction thermique (W/m/K)	Diffusivité thermique (m ² /s)
0.4 à 0.6	(0.8 à 0.95)10 ⁻⁴	1,6.10 ⁻⁵	0.2	8,3.10 ⁻⁸

Tab.3. Caractéristiques thermiques de l'ABS

c- Caractéristiques chimiques :

Les ABS résistent

- A l'eau ;
- Aux acides de bases ;
- A l'essence ;

- Aux huiles minérales ;
- Aux graisses.
- Les ABS ne tiennent pas aux acides minéraux concentrés, aux carbures aromatiques, solvants chlorés et aux esters.

d- Conditions de mise en œuvre de l'ABS : [4]

Température de la matière à injecter (°C)	Température du moule (°C)	Pression d'injection (bar)	Vitesse d'injection (m/s)	Préchauffage (°C)
220 à 280	60 à 80	800 à 1400	Elevée	70 à 80

Tab.4. Conditions de mise en œuvre de l'ABS

3- Présentation commerciale de l'ABS : [2]

L'ABS est en général commercialisé sous forme de granulés cubiques ou de billes (après compoundage dans des mélangeurs internes), ou bien, sous forme de granulés cylindriques (mélangeurs externes), naturel ou coloré, contenant des additifs.

4- Avantages particuliers :

- Rigidité ;
- Aspect agréable (surfaces dures et brillantes) ;
- Stabilité dimensionnelle ;
- Bonne résistance aux chocs et aux rayures ;
- Assez bonne tenue à la chaleur et à l'humidité ;
- Moulage et formage aisés, décoration et impression facile.

Toutes ces qualités ont été exploitées par l'industrie dans de nombreux domaines tel que l'industrie automobile (tableaux de bord, calandres,...), l'électroménager (réfrigérateurs, capotages, carters,...), la radio, la télévision, l'ameublement (poignées, moulures,...), l'outillage (carrosseries de perceuses, manches d'outils divers,...), ou encore la coutellerie (manches de couteaux à usage professionnel) ou l'informatique (disquettes, souris, boîtiers d'ordinateurs,...)

5- Inconvénients :

- Opacité ;
- Très électrostatique (nécessité d'agents antistatiques) ;
- Jaunissement à l'extérieur (nécessité d'un stabilisant) ;
- Transparence laiteuse.

6- Application :

- Industrie automobile et transport
- Appareils domestiques et de jardinage
- Electrotechnique et électronique

- Bureautique et in informatique
- Phono, photo, optique
- Machines-outils
- Sanitaire et médecine
- Jouets
- Sport et loisirs.

7- Recyclage :

L'ABS est de plus en plus recyclé, comme tout polymère, il est difficile de recycler l'ABS souillé par d'autres matériaux. L'ABS à recycler doit être propre. Le séchage s'impose. Il est important de savoir si l'ABS contient un produit ignifuge, pour adapter les conditions de transformation. Pour tout objet d'une qualité élevée, il est conseillé d'utiliser un faible pourcentage de matière recyclée afin de ne pas nuire aux propriétés mécaniques et à la solidité de la couleur.

VII- Conclusion

Durant ce chapitre, on a étudié les matières plastiques et on a bien vu qu'ils se sont vite imposés dans de nombreux domaines et au détriment des autres matériaux.

Les matières plastiques sont devenues des matériaux incontournables aussi bien pour les utilisations courantes que pour des applications performantes, et cela grâce à leurs propriétés qui répondent aux différentes exigences.

Les implications économiques sont de plus en plus importantes et incluent désormais de nombreux pays en plein développement industriel.

I- Introduction

Entamée à l'issue du processus de fabrication des polymères, avant les phases de commercialisation, de consommation et de recyclage des plastiques, la mise en œuvre consiste à transformer les résines plastiques en produits finis ou semi-finis. Et si les opérations changent selon la nature de ces produits, il est néanmoins possible d'inventorier les quelques méthodes principalement employées par les industriels, telles que : l'injection, l'extrusion, le thermoformage, l'enduction, le calandrage et le roto-moulage.

II- Mise en œuvre des matières plastiques

• Mise en œuvre des thermoplastiques :

1- L'injection :

La matière plastique arrive sous forme de granulés. Elle est versée dans la trémie pour alimenter la vis de plastification, qui est dans un fourreau (tube) chauffé.

La matière plastique est ramollie, mélangée et poussée par la vis piston dans un moule refroidi complètement fermé.

Quand la matière plastique arrive au contact du moule froid, elle prend la forme du moule et se solidifie.

Le moule s'ouvre ensuite pour faire sortir la pièce.

Pour changer la forme de la pièce, il suffit de changer de moule.

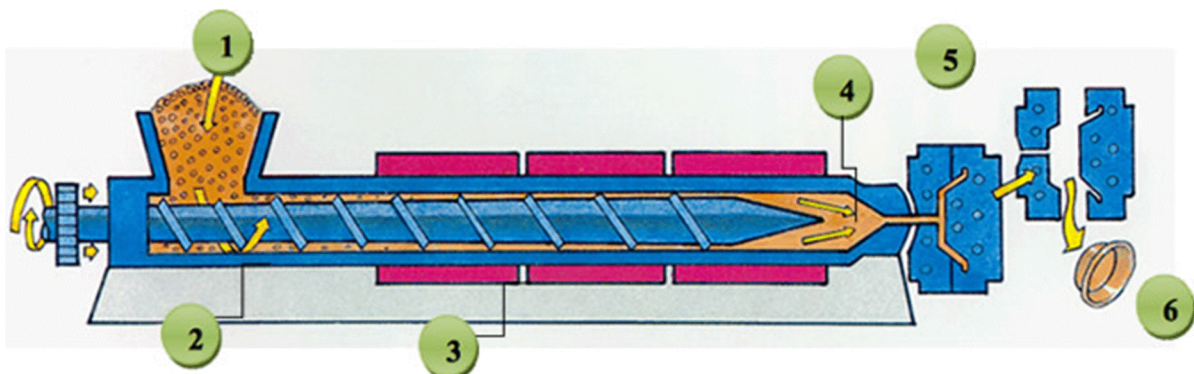


Fig.1. Procédé de mise en œuvre par injection

- 1- Les granulés sont introduits dans la trémie de la machine
- 2- La rotation de la vis sans fin entraîne les granulés dans le fourreau
- 3- Les colliers chauffants et le malaxage de la vis font fondre les granulés
- 4- Une fois que la quantité de matière nécessaire est fondue, elle est accumulée en bout de vis et un mouvement de translation injecte la matière dans le moule.
- 5- Le refroidissement dans le moule permet à la matière de garder la forme du moule.
- 6- Une fois refroidie le moule s'ouvre et la pièce est éjectée un nouveau cycle recommence

2- L'injection soufflage :

L'injection-soufflage, quant à elle, permet de réaliser des corps creux (bouteilles, flacons,...) en combinant, comme son nom l'indique, les techniques d'injection et de soufflage. Dans une première étape, on fabrique une préforme par injection, c'est ainsi que le goulot de la bouteille est déjà formé. Les pièces sont dilatées et plaquées contre les parois d'un moule à l'aide d'un jet d'air comprimé. Ce moule sera ensuite refroidi, permettant l'extraction du corps creux final.

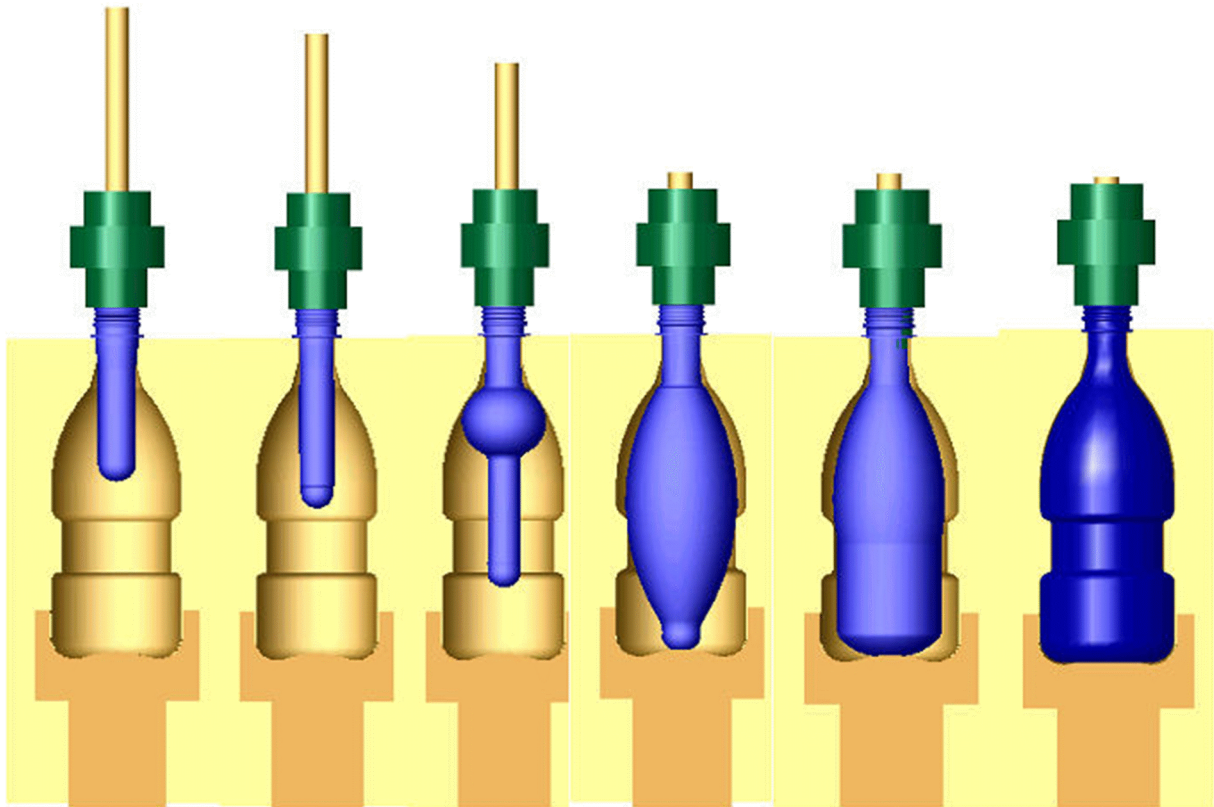


Fig.2. Procédé de mise en œuvre par injection-soufflage

Couramment employée, le moulage par injection permet donc de produire des pièces plus ou moins complexes en grande série.

Les principales matières plastiques utilisées pour l'injection sont :

- Le polyéthylène (PE)
- Le polypropylène (PP)
- Le polychlorure de vinyle

En cas de recyclage en interne du plastique industriel (purge machines, carottes, chutes de fabrication), des broyeurs placés au pied des presses d'injection récupèrent et concassent les déchets plastiques produits par les machines et peuvent ainsi les réintroduire dans le processus de mise en œuvre. Notons que le broyage fait également partie des nombreuses techniques utilisées par l'industrie du recyclage des plastiques pour recycler les déchets de ce type.

3- Le moulage par expansion

Au cours de cette opération de traitement du plastique, principalement utilisée pour produire des pièces en polystyrène expansé, des billes de résine thermoplastique sont placées dans une chaudière, où, sous l'effet de la vapeur d'eau, elles pourront atteindre jusqu'à trente fois leur taille initiale (on leur adjoint pour cela des agents d'expansion, comme le pentane). Après avoir été séchées, ces billes pré-expansées seront placées dans un moule clos, où elles seront homogénéisées et définitivement expansées sous l'effet d'une nouvelle injection de vapeur d'eau.

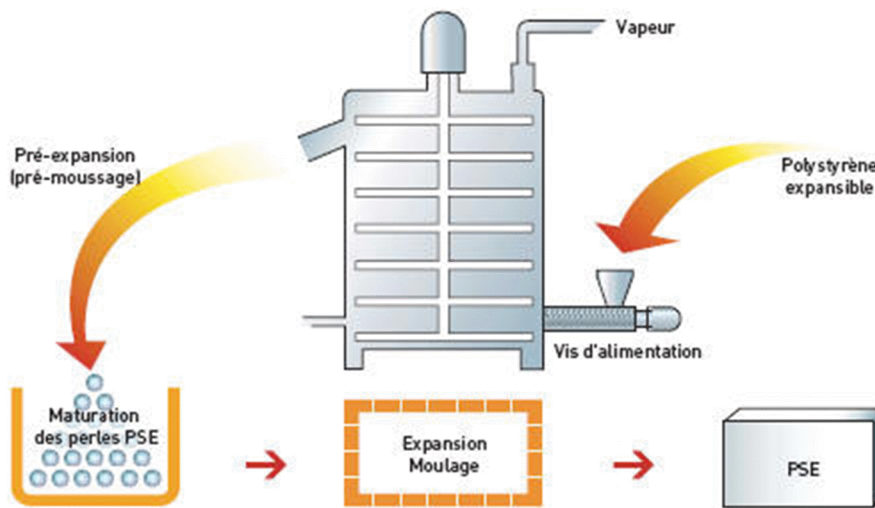


Fig.3. La pré-expansion, le stockage et le moulage

4- L'extrusion

L'extrusion plastique consiste à compresser la matière amollie et homogène (dans un cylindre chauffé et muni de vis rotatives semblable à celui d'une presse à injecter) et la pousser à traverser une filière (outil rigide percé d'au moins un trou) qui lui donnera la forme souhaitée. Puis, la matière expulsée de cette filière en continu est ensuite refroidie et sectionnée à la bonne longueur.

Appelées « extrudeuses » ou « boudineuses », ces machines d'extrusion permettent de produire des pièces pleines, creuses ou particulièrement longues (tubes, tuyaux, profilés pour portes ou fenêtres, câbles, canalisations etc.) à des cadences élevées.

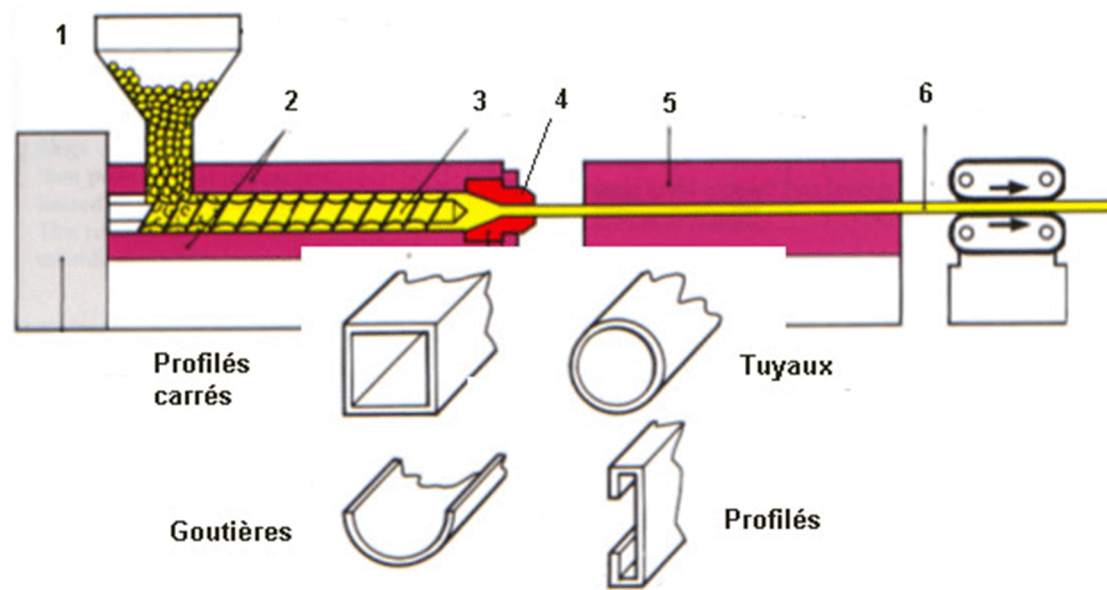


Fig.4. Procédé de mise en œuvre par extrusion

- 1- La matière est insérée dans l'extrudeuse (granulé ou poudre)
- 2- Le cylindre chauffant permet de ramollir la matière
- 3- La vis sans fin tourne et permet de fondre et homogénéiser la matière, celle-ci monte en pression en bout de vis.
- 4- La matière passe au travers la filière, qui va donner la forme finale du produit
- 5- La matière est refroidie et conformée généralement sous vide (pour conserver les dimensions)
- 6- Les profils sont tirés en bout de ligne puis coupés à longueur et palettiser

5- L'extrusion-soufflage

L'extrusion-soufflage permet également de produire des corps creux, mais en sectionnant une paraison (un tube de plastique extrudé percé à une extrémité pour laisser passer de l'air ou du gaz comprimé) et en plaçant celle-ci dans un moule en deux parties, qui lui donnera la forme désirée. Une canne de soufflage permettra ensuite d'injecter assez d'air ou de gaz comprimé pour plaquer la matière contre les parois du tube.

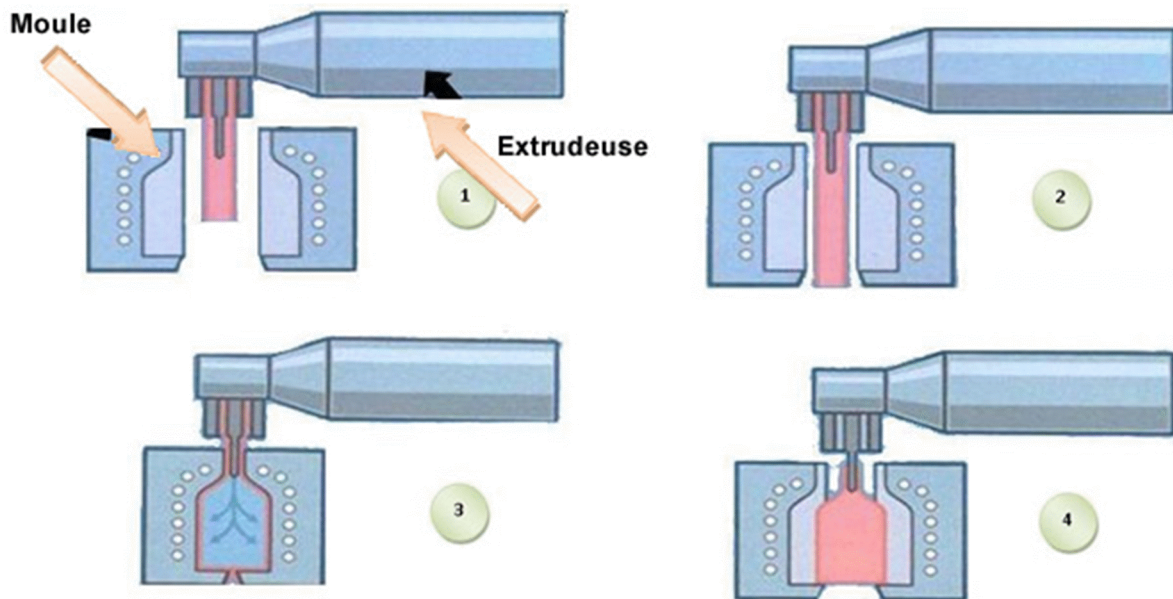


Fig.5. Procédé de mise en œuvre par extrusion soufflage

- 1- Moule ouvert : la paraison sort de l'extrudeuse puis descend dans le moule.
- 2- Fermeture du moule : La fermeture du moule vient assembler la partie inférieure de la paraison.
- 3- Soufflage de la paraison : la canne de soufflage introduit de l'air sous pression dans la paraison, celle-ci vient se plaquer sur les parois du moule refroidit.
- 4- Ouverture moule : la pièce est évacuée à l'ouverture du moule et un nouveau cycle recommence.

6- L'extrusion-gonflage

Ce procédé est un dérivé de l'extrusion, il consiste à souffler en continu de l'air à l'intérieur d'un tube appelé paraison pour la faire gonfler. Ce procédé ne nécessite pas de moule, c'est l'air soufflé qui donne la forme et le refroidissement. Cette technique permet de fabriquer des sacs plastiques.

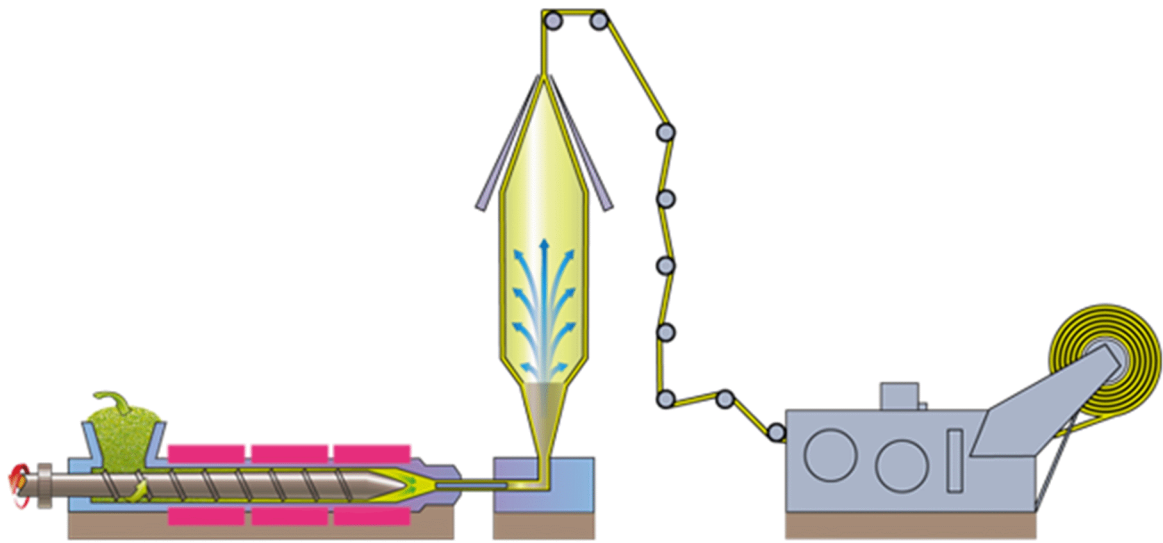


Fig.6. Procédé de mise en œuvre par extrusion-gonflage

- 1- La matière est extrudée et passe au travers une filière à tête d'équerre
- 2- L'air est soufflé à l'intérieur de la paraison (tube) pour la faire gonfler => formation de la gaine
- 3- L'air soufflé donne la forme et refroidi la gaine
- 4- Le passage dans les rouleaux permet d'aplatir la gaine pour réaliser différentes étapes (découpe, marquage, pliage...)
- 5- La gaine aplatie est ensuite enroulée sur des bobines pour le stockage ou d'autres étapes de fabrications.

Application :

Fabrication des sacs plastiques, sacs poubelles,....

7- Le calandrage

Les opérations de calandrage permettent de produire des plaques, des feuilles ou des films de diverses épaisseurs en comprimant la résine à l'aide de cylindres rotatifs en acier plus ou moins écartés (et à vitesse variable) appelés laminoirs (cette technique est proche du laminage de la tôle). Une fois transformée en film, en feuille ou en pellicule par ces rouleaux chauffants, puis refroidie et étirée aux dimensions souhaitées, la matière thermoplastique est placée autour d'une bobine industrielle. On utilise notamment ce procédé pour fabriquer des produits plats et larges en PVC, mais aussi des revêtements d'ameublement ou de maroquinerie.

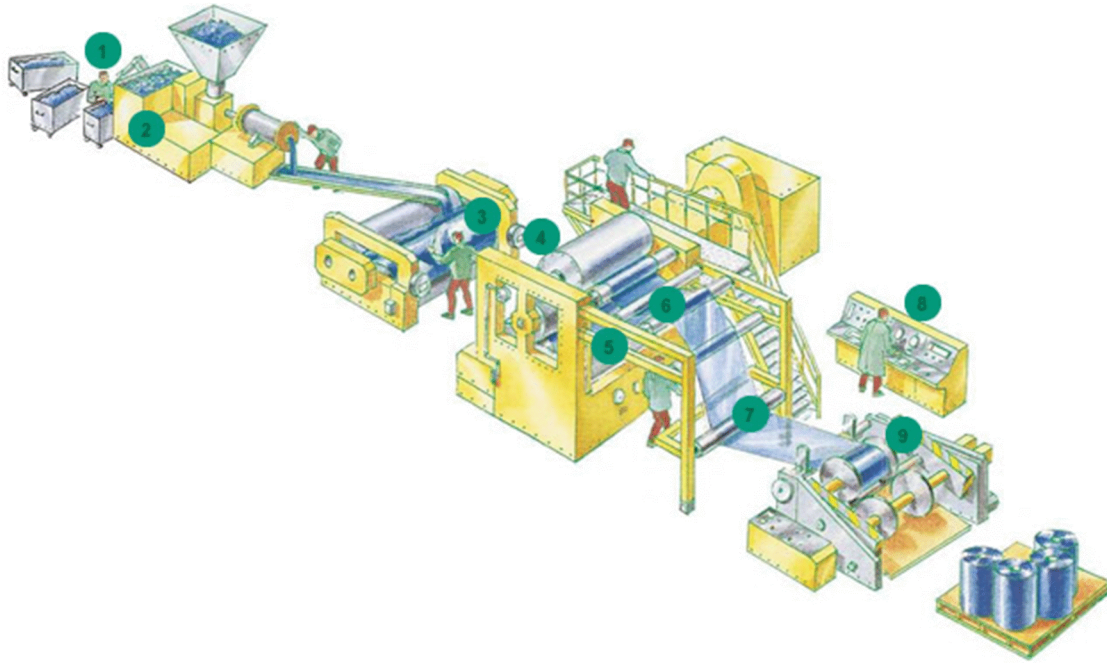


Fig.7. Procédé de mise en œuvre par calendrage

- 1- Formulation : Mélange de plastiques, additifs, stabilisants, charges diverses (suivant l'application final du produit)
- 2- Mélangeur pour homogénéiser la matière : la matière est chauffée puis malaxée dans une vis sans fin spéciale (différente de l'injection et l'extrusion) pour donner une pâte épaisse
- 3- Gélification de la matière entre 2 calendres chauffées : la matière passe plusieurs fois entre les rouleaux pour être bien homogénéisée.
- 4- Réglages des paramètres de gélification (température calendres, pressions, vitesse rotation...)
- 5- Calendrage : calibrage et grainage de la feuille. La matière passe entre des calendres chauffées à différentes températures. L'écartement, la pression, le type de rouleaux vont donner les dimensions et les aspects des films
- 6- Refroidissement et stabilisation le passage dans le chemin de rouleaux permet le refroidissement du film ou de la feuille
- 7- Tirage
- 8- Réglages et paramètres de la ligne (vitesse avance, espacement rouleaux...)
- 9- Mise en bobine ou empilage des feuilles suivant les dimensions et épaisseurs

8- L'enduction : [2]

Lors d'une opération d'enduction, la matière liquide ou la solution plastique est déposée sur un substrat (un support de papier, de tissu ou d'aluminium) puis envoyée dans un four de séchage. 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 types de ce procédé sont les tissus enduits pour sièges auto, les vêtements, les chaussures, l'ameublement, la toile cirée,....

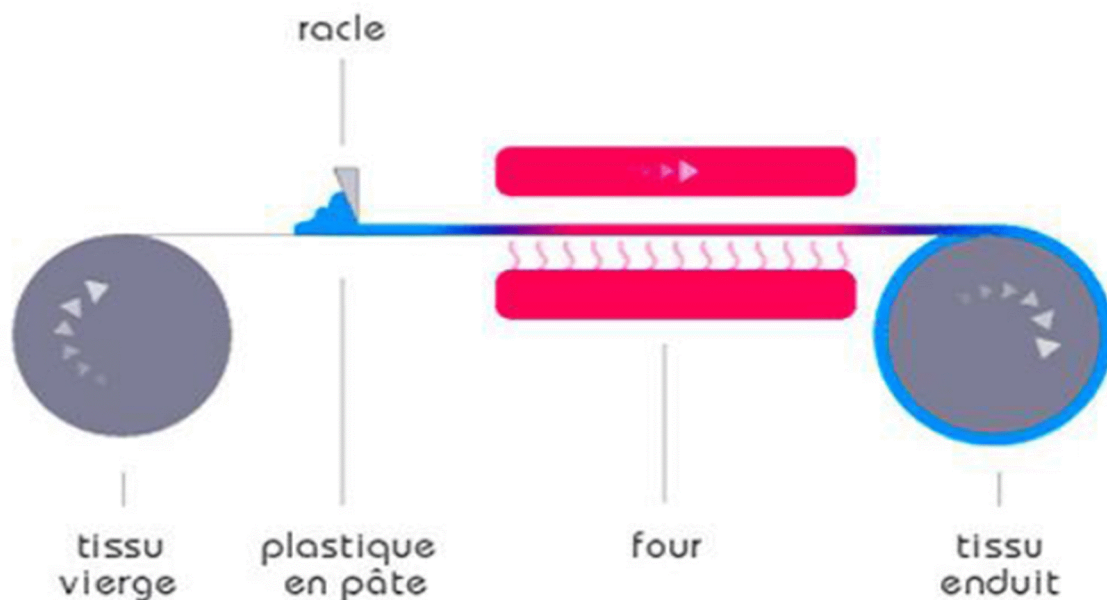


Fig.8. Procédé de mise en œuvre par enduction

9- Le moulage par rotation (Roto-moulage)

Le traitement du plastique par roto-moulage comprend le chauffage d'une poudre thermoplastique dans un moule métallique fermé, rotatif et démontable, la transformation de la matière plastique usinable par centrifugation au cœur du moule, le refroidissement de ce dernier au moyen de jets d'eau et/ou d'air froid, et enfin le démoulage de la pièce solidifiée.

C'est ainsi que sont notamment fabriqués certains objets creux, comme les canoës, les planches à voile, les jouets, les cuves, les citernes ou diverses pièces de mobilier. Notons également que les pièces transformées par roto-moulage sont principalement des plastiques recyclables en polyéthylène moyenne et basse densité. En cas de recyclage des

matériaux en interne, les déchets plastiques sont traités en trois temps : celui du broyage, du criblage et enfin de la réintroduction du plastique recyclé dans le processus de roto-moulage.

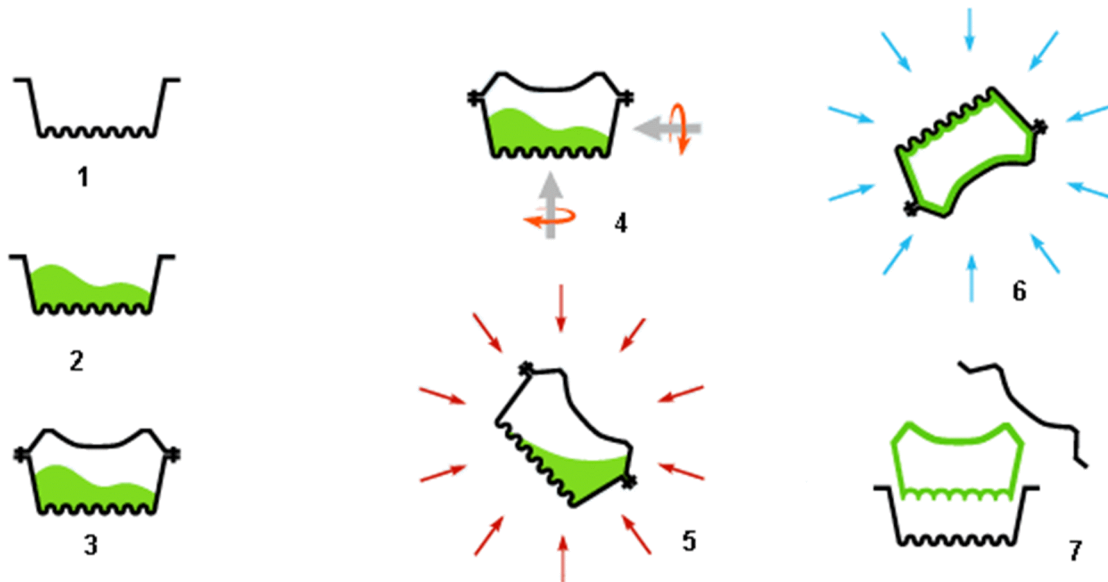


Fig.9. Mise en œuvre par roto-moulage

- 1- Ouverture du moule.
- 2- Chargement de la matière plastique dans le moule (polymères et additifs éventuels).
- 3- Fermeture et verrouillage du moule.
- 4- Mise en rotation du moule autour de deux axes perpendiculaire.
- 5- L'ensemble toujours en rotation est chauffé, cela entraîne la fonte du polymère qui adhère aux parois.
- 6- Une fois toute la matière fondue, l'ensemble toujours en rotation peut être refroidi.
- 7- Après le refroidissement, le moule est ouvert et la pièce peut être sortie (le démoulage).

10- Le thermoformage :

Le thermoformage est une technique qui utilise des matériaux thermoplastique semi-finis tels que les plaques, les films ou des feuilles. Le chauffage permet de ramollir la matière pour lui donner la forme souhaitée. La mise en forme se fait par le plaquage de la feuille sur un moule sous l'effet du vide. Le matériau se fige lorsqu'il refroidit, donnant ainsi la forme finale du produit.

➤ **Le thermoformage manuel :**

Cette technique est utilisée pour les petites séries et les pièces de grandes dimensions.

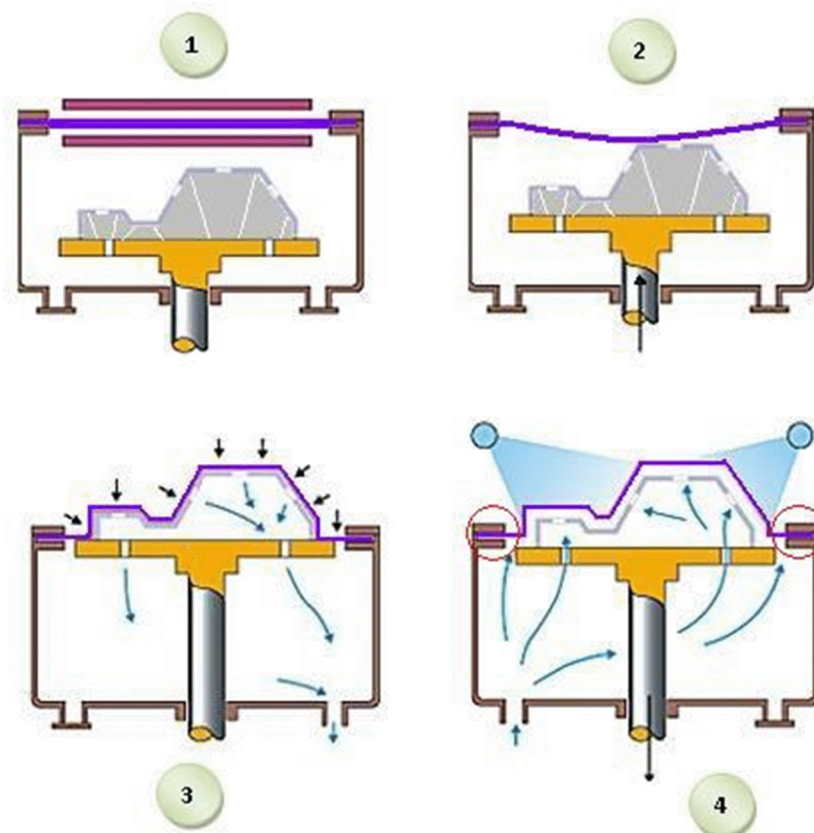


Fig.10. Procédé de mise en œuvre par thermoformage manuel

- 1- Mise en place de la feuille et chauffage par un plateau chauffant supérieur et inférieur.
- 2- Montée du moule : la feuille ramollie et le moule monte pour emboutir la feuille.
- 3- Formage / Refroidissement : une fois le moule en position haute, le vide est fait entre le moule et la feuille. La feuille se plaque sur le moule et prend sa forme.
- 4- De l'air ou de petites gouttelettes d'eau sont projetées sur la pièce pour la refroidir et lui donner sa forme finale. De l'air est soufflée à l'intérieur du moule pour décoller la pièce du moule et celui-ci descend pour libérer la pièce.
Une fois le moule descendu, la pièce peut être enlevée puis décortiquée pour enlever les déchets (cercle rouge).

➤ **Le thermoformage en ligne :**

Le principe est identique, mais la ligne est automatisée et utilisée pour les grandes séries et faibles épaisseurs.

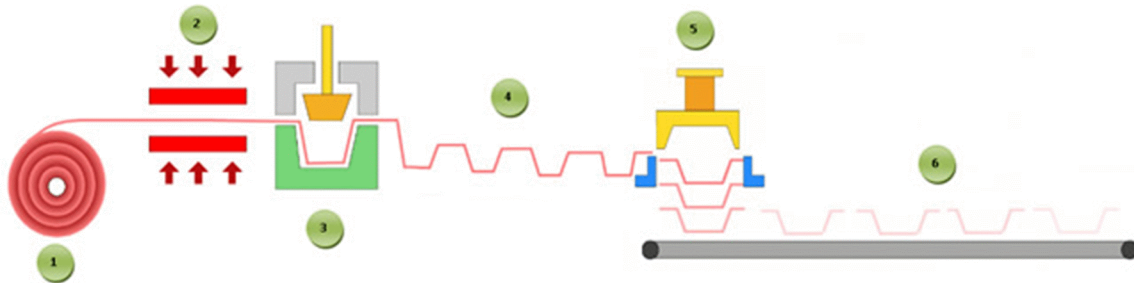


Fig.11. Procédé de mise en œuvre par thermoformage en ligne

- 1- Matière : la bobine de film est déroulée et avance pas à pas
- 2- Chauffage : le film est chauffé par des résistances et se ramolli
- 3- Formage : le film ramolli passe dans un moule (en vert) et l'aspiration plaque la matière sur le moule. Le formage peut être amélioré par un piston (en jaune)
- 4- Refroidissement : la pièce sort du moule et est refroidie
- 5- Découpe : la coupe peut se faire soit par un pistonnage (schéma) soit par une découpe par scie (suivant les applications et les dimensions)
- 6- Convoyage : les pièces sont amenées jusqu'au conditionnement

Application :

Pots de yaourts, Blister, Gobelets en plastique, emballage,

Notons que les produits thermoformés usagés se retrouvent souvent dans les déchets post-consommation et sont donc récupérés par les recycleurs de plastique. En cas de recyclage des films plastiques en interne, la matière recyclable est broyée, extrudée, et réintroduite sous la forme de granulés dans la chaîne de production.

• **Mise en œuvre des thermodurcissables :**

La mise en œuvre de ces matières est particulière, puisque les pièces en plastique thermodurcissable deviendront au cours de leur transformation des objets finis insolubles et infusibles. Pour ce faire, les industriels emploient principalement des méthodes de moulage par coulée (liquides versés dans un moule chauffé), par compression (poudre également comprimée dans un moule chauffé) ou par injection (comme pour les thermoplastiques, une vis mobile ou un piston injecte la matière dans un moule clos et chauffé, dont elle prendra la forme).

1- La coulée : [2]

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.

La matière est coulée dans un moule, puis solidifiée par refroidissement.

Un retrait 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.

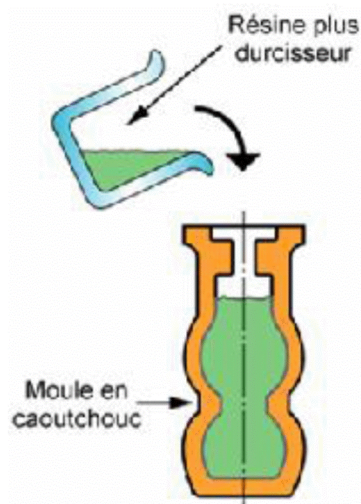


Fig.12. Technique de la coulée

Application :

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.

2- Moulage par compression : [6]

Ce procédé consiste à presser directement la matière à mouler dans l'empreinte du moule placée dans une presse verticale. On introduit dans un moule chauffé une matière thermodurcissable en poudre ou de pastilles, qui se fixeront en forme sous le double effet de la pression et de la température, le maintien sous pression comprime la poudre transformée jusqu'au refroidissement.

Après l'ouverture du moule, la pièce est éjectée.

Le durcissement définitif peut demander plusieurs minutes.

La cadence de production est assez lente.

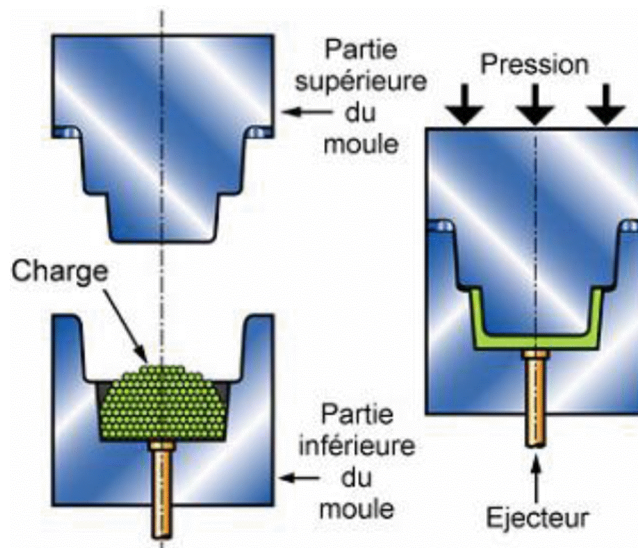


Fig.13. Technique du moulage par compression

3- Moulage par compression transfert : [5]

Dans ce cas, on se sert d'un moule à empreintes multiples. C'est un procédé consistant à rendre plastique hors du moule, dans un pot de transfert, la quantité de matière à mouler nécessaire pour un seul moulage, puis à la transférer sous pression dans l'empreinte du moule ; la matière est injectée dans une empreinte fermée.

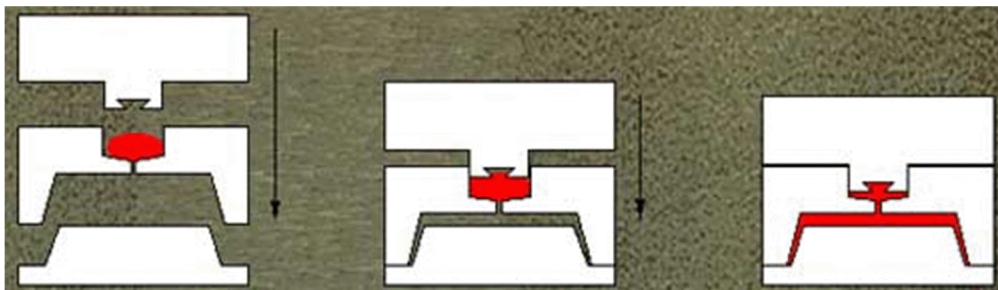


Fig.14. Technique du moulage par compression transfert

Le moulage par compression ou par compression/transfert se différencie du moulage par injection du fait que lors du moulage qui consiste à remplir sous haute pression l'empreinte du moule avec un polymère, les plastiques thermoplastiques se solidifient très rapidement en quelques dizaines de secondes dans le moule qui est refroidi alors que les plastiques

thermodurcissables doivent être polymérisés ou cuits pendant 3 à 15 mn à une température élevée de 120 à 180°C.

Les thermoplastiques sont réutilisables par broyage alors que la polymérisation d'un thermodurcissable est irréversible et les matériaux non retransformables.

4- 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.

- **Mise en œuvre des mousses : [2]**

Le procédé de moussage ou R.I.M (Reaction Injection Molding), permet la mise en œuvre essentiellement des mousses de polyuréthane.

Le polyuréthane est une des seules matières plastiques que le transformateur met en œuvre directement à partir des monomères. Le moulage des mousses polyuréthane consiste en la polyaddition d'isocyanates et de polyols.

Le transformateur prépare son moule et injecte à l'intérieur les deux monomères qui réagissent alors entre eux pour former la mousse. Elle se répand partout à l'intérieur du moule. On obtient alors, des pièces finies en mousse rigide, semi rigide ou souple, avec ou sans peau, en fonction des monomères mis en contact.

Le moule peut être habillé de tissus ou de films caoutchouteux avant moussage.

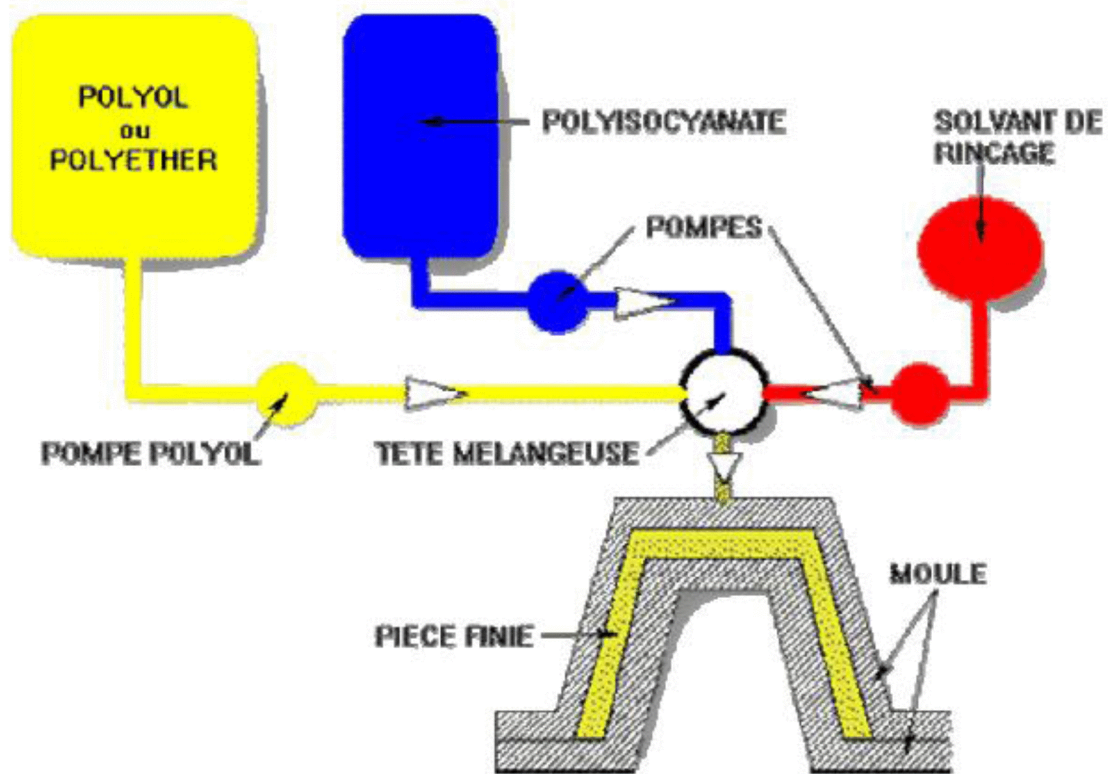


Fig.15. Procédé de moulage des mousses

III- Détails sur l'injection : [4]

Parmi tous les procédés qu'on a énumérés, l'injection plastique est le procédé le plus utilisé pour l'obtention de la plupart des pièces en plastiques.

Le matériau thermoplastique est préalablement rendu liquide par chauffage. Il est alors injecté sous haute pression, jusqu'à 1800 bar, dans la cavité du moule. On doit ensuite attendre que la matière plastique soit suffisamment froide et rigide avant d'ouvrir le moule et d'en éjecter la pièce sans risque de déformation, l'ensemble de ces étapes est assuré par une machine qui s'appelle : Presse d'injection.

1- Presse d'injection :

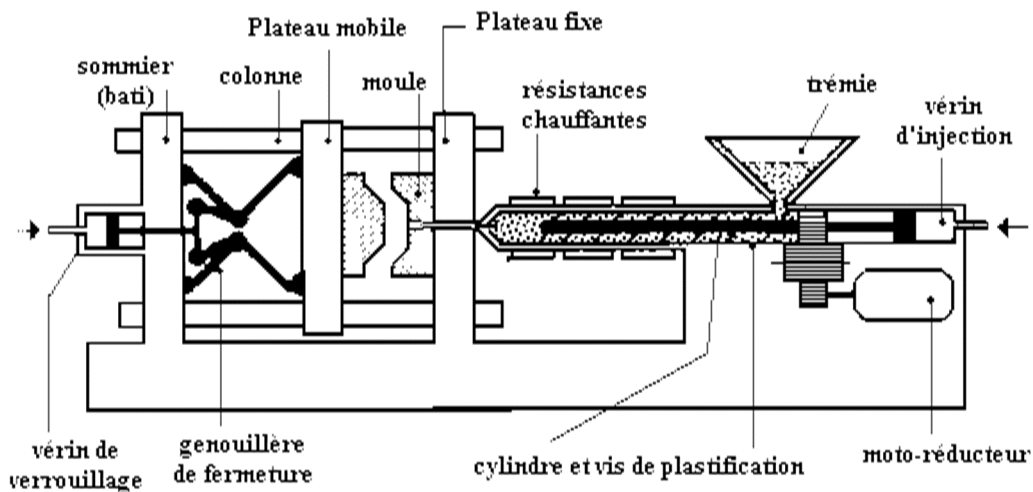


Fig.16. Presse d'injection

2- Différents types de presse d'injection :

a- Presse horizontale :

La machine de moulage par injection horizontale est le type le plus courant. Sa partie de serrage de moule et d'injection se trouve à la même position horizontale au centre de la ligne et son moule s'ouvre horizontalement. Ses caractéristiques sont : un petit corps, facile à utiliser et réparer. Son barycentre est bas, son installation stable. Suite à la confection du produit, on peut utiliser la force gravitationnelle pour le faire descendre automatiquement, ainsi l'éjection immédiate de la pièce. Opération entièrement automatisée facilement réalisable. Ses défauts sont : l'installation de moule est plutôt difficile, l'insertion de pièce peut inclinée ou faire tomber le moule, la surface d'occupation de sol est plutôt grande. A présent, de nombreuses machines de moulage par injection sur le marché utilisent cette forme.

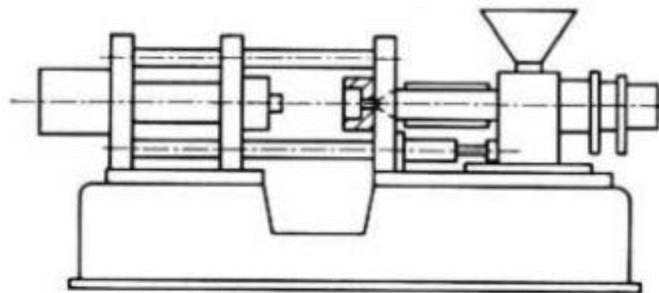


Fig.17. Presse horizontale

Principales caractéristiques :

- Bien que ce soit une machine de grande envergure, comme sont corps est bas, aucune limite de hauteur n'est impliquée pour son installation dans l'usine.

- Comme le produit descend automatiquement, il n'est pas nécessaire d'utiliser de robot industriel, pour réaliser un façonnage automatique.
- Comme le corps est bas, l'alimentation en matériaux est pratique, l'inspection et la réparation sont faciles.
- Le moule doit être installé grâce à un chariot-grue.
- Si plusieurs machines sont en parallèle ou en série, les produits peuvent être facilement récoltés par un convoyeur à bande pour l'emballage.
- Les cadences de travail sont très élevées.

b- Presse verticale : [2]

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

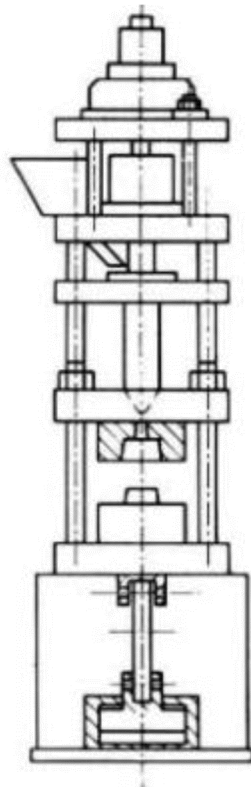


Fig.18. Presse verticale

3- Les différentes parties ou unités d'une presse :

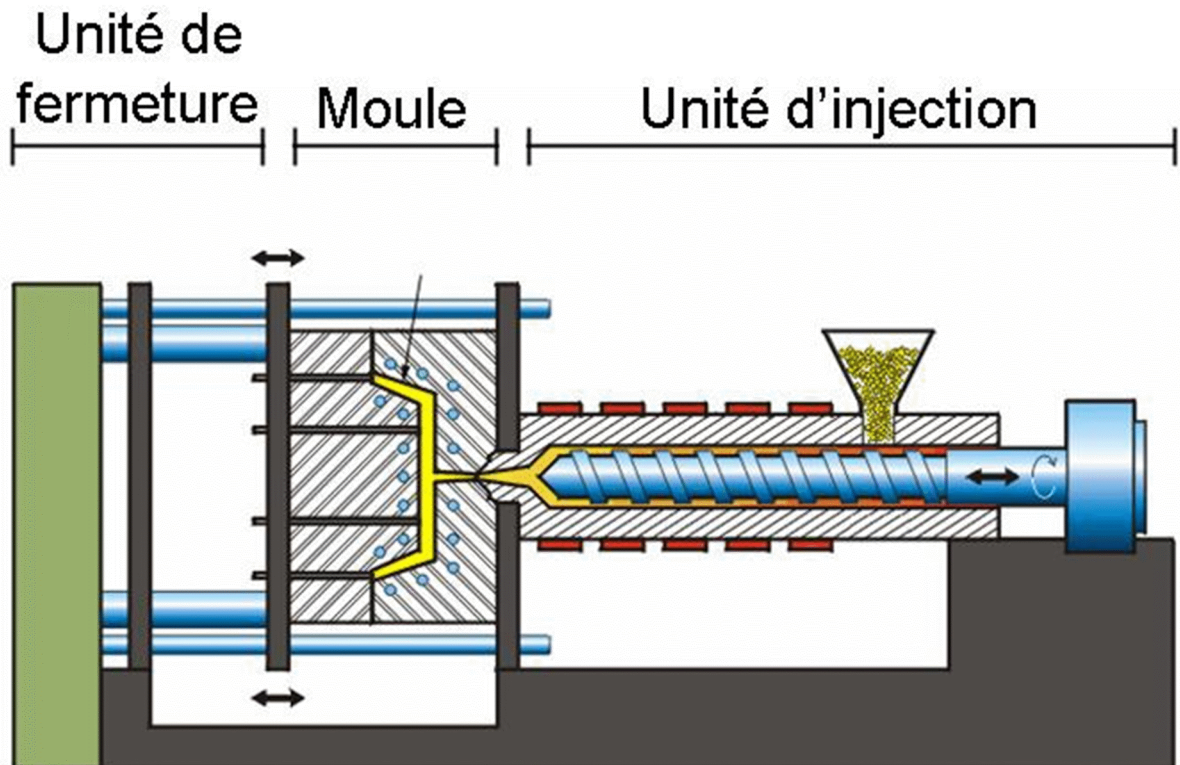


Fig.19. Dispositif d'une presse d'injection

a- Unité d'injection :

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

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

▪ Phase de plastification :

La vis tourne pour faire fondre et homogénéiser les granulés qui viennent de la trémie. Elle achemine la matière plastique faire l'avant de la vis par intermédiaire du clapet pour la stocker.

A fur et à mesure que l'on stocke la matière, la vis recule.

▪ Phase d'injection :

La vis avance, le clapet se plaque sur son siège. La matière ne peut plus refluer vers l'arrière. La matière est injectée dans le moule.

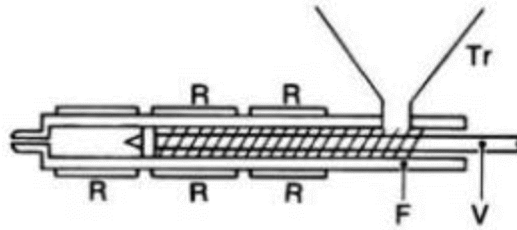


Fig.20. Système vis-piston

b- Unité de fermeture :

Ce système assure les fonctions, fermeture, verrouillage, ouverture et démoulage.

Le dispositif de manœuvre des plateaux porte-moule doit assurer l'ouverture, la fermeture et le verrouillage du moule avec une force suffisante pour s'opposer à l'ouverture du moule pendant l'injection. Ce groupe comprend deux plateaux : l'un est mobile, l'autre est fixe. La force de fermeture est la force nécessaire pour maintenir les deux parties du moule fermées pendant son remplissage sous haute pression. Ces fonctions importantes peuvent être assurées de différentes manières soit mécanique, hydraulique ou mixte.

c- Le moule :

La matière plastifiée par une vis dans un cylindre chauffé est injectée sous pression dans un moule, au contact du métal froid, elle se solidifie et conserve les formes de l'empreinte, le moule joue un rôle essentiel dans l'injection, c'est lui qui assure la mise en forme de la matière, la partie fixe du moule comporte, une plaque porte empreinte femelle, quatre colonnes de guidage, une plaque semelle, une buse d'injection, et une bague de centrage, quant à la partie mobile, elle comporte, une plaque porte empreinte male, des bagues de guidage des colonnes, des tasseaux, une batterie d'éjection composée de deux plaques et d'éjecteurs cylindriques, et enfin, une plaque semelle.

Fonctions du moule :

- Centrage ;
- Alimentation ;
- Mise en forme ;
- Refroidissement ;
- Ejection.

- Le volume injectable.
- La plastification horaire.
- L'encombrement entre colonnes.

5- Le cycle de moulage par injection :**a- Le démoulage :**

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

b- Fermeture du moule :

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

c- Verrouillage :

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

d- Injection et compactage :

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

e- Refroidissement :

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

f- Ouverture du moule :

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

Pendant le cycle, le plastique fondu se refroidit en passant de la température d'injection (le plus souvent voisine de 200°C ou supérieure) à une température proche de celle du moule, à laquelle l'objet devient solide.

IV- Conclusion :

Durant de chapitre, on a vu les différents procédés de mise en œuvre des matières plastiques, et on s'est basé surtout sur le procédé de l'injection plastique, car ce dernier est plus utilisé, on a qu'à regarder autour de nous, la majorité des pièces de plastique qui nous entoure sont injectées. Non seulement, l'injection permet des productions de très hauts volumes, elle offre la possibilité de réaliser des pièces de taille minuscule ou des très grandes pièces. Contrairement d'autres procédés, l'injection offre une excellente précision, une très grande uniformité entre les pièces et permet la réalisation de pièces dont la structure est très complexe, de plus, pour changer la forme d'un produit, il suffit de changer le moule, ce qui permet aux domaines qui utilisent cette matière d'évoluer leurs produits avec de nouvelles formes et des designs attirants.

I- Introduction

La fabrication des pièces injectées est sensiblement influencée par la conception du moule. Vous ne pourrez obtenir une qualité et un rendement parfaits qu'en travaillant dans le détail lors de la conception et de la réalisation des moules. Et pour ce, nous avons consacré ce chapitre à la conception des moules pour voir les différentes étapes et éléments de la conception.

II- Éléments constitutifs d'un moule : [10]

Un moule d'injection plastique est constitué de divers éléments, assurant chacun d'eux un rôle précis dans le processus de moulage.

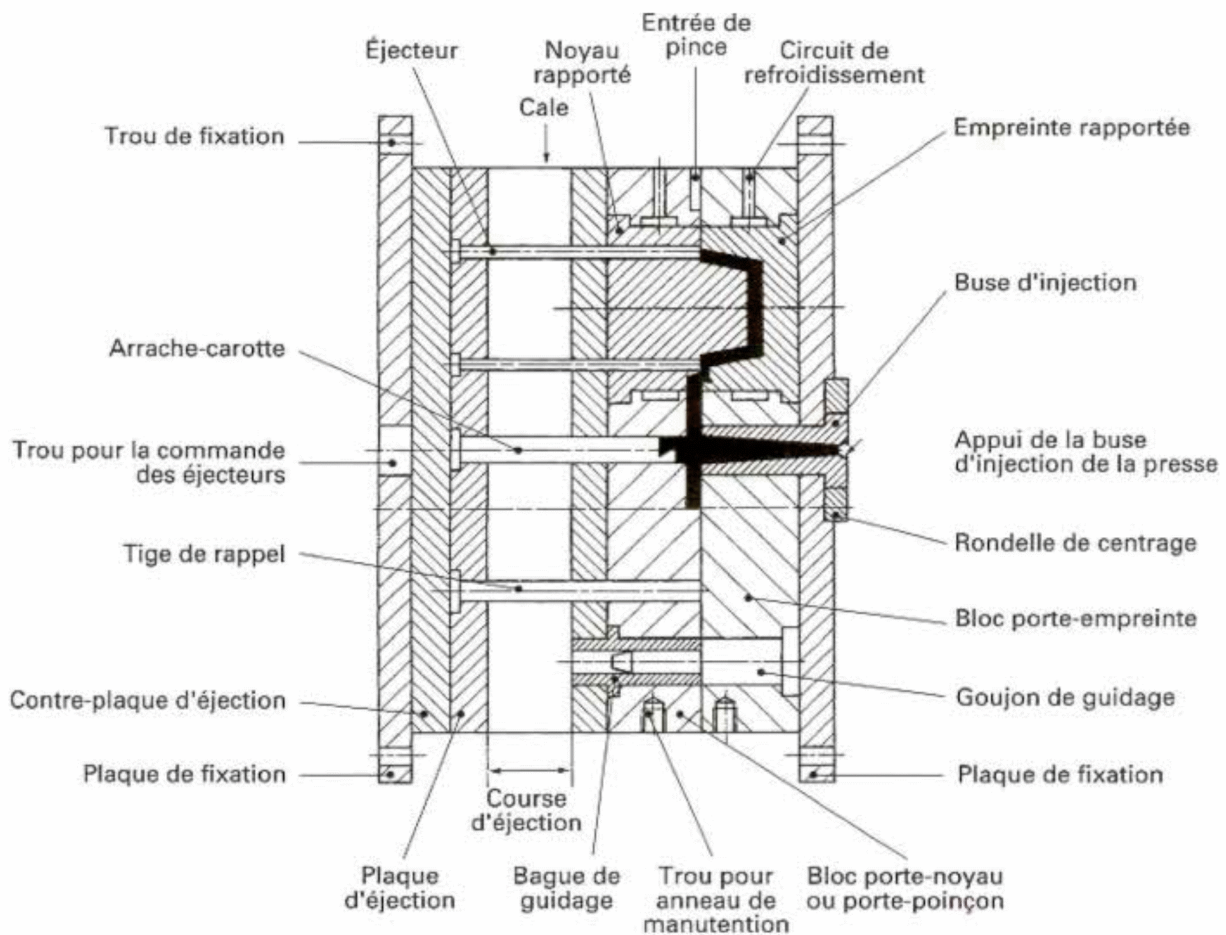


Fig.1. Éléments constitutifs d'un moule

Réalisation des fonctions du moule		
Fonction	Réalisé par	Exemple de solution constructive
Permettre le transfert de matière de la presse vers l'empreinte	Système d'alimentation	<ul style="list-style-type: none"> • Canal à chaud • Carotte
Mettre en forme la matière	Empreinte	Matrice et poinçon

Refroidir la matière	Système de régulation en température	Canaux de circulation de fluide caloporteur thermo régulé
Permettre l'extraction de la pièce moulée (avec ou sans le contenu du canal d'alimentation)	Dispositif de démoulage	Pièce située dans le plan de joint du moule
Ejecter la pièce (et le contenu du canal d'alimentation si il est plein)	Système d'éjection	Ensemble de poinçons d'éjection (éjecteurs) actionnés l'ouverture du moule

Tab.5. Réalisation des fonctions du moule [11]

III- Conception d'un moule thermoplastique :

Quand on conçoit un moule thermoplastique, on tient compte des paramètres suivants :

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

1- Le nombre et disposition des empreintes : [7]

➤ Le nombre d'empreintes :

Le nombre d'empreintes est en fonction de trois critères, qui sont :

- La capacité d'injection de la machine ;
- Critères techniques (distance entre colonnes de guidage) ;
- Critères économiques (le coût, délai de livraison, ... etc.).

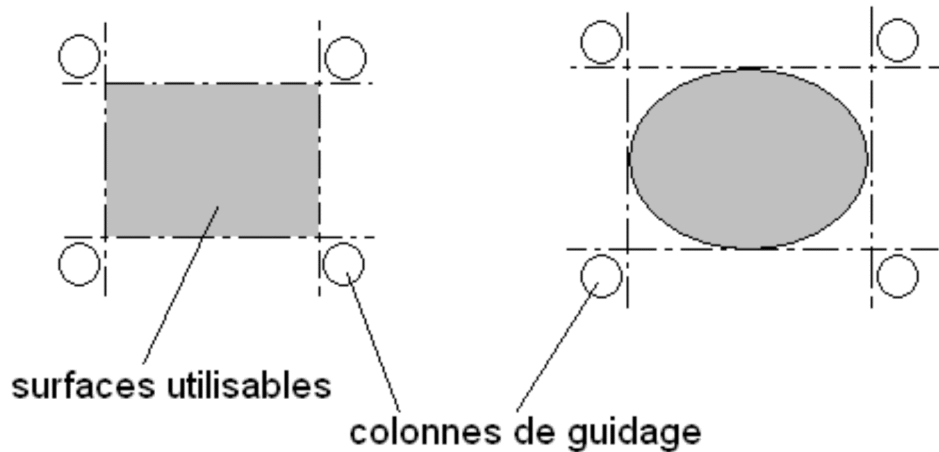
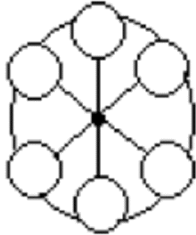


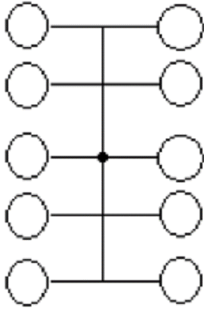
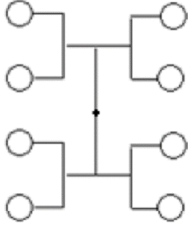
Fig.2. Nombre d'empreintes en fonction de critères techniques et économiques

➤ **Disposition des empreintes dans le plan de joint :**

C'est un des aspects les plus importants de la conception des moules à empreintes multiples, les règles élémentaires à respecter sont :

- Grouper les empreintes dans un cercle ayant pour centre la carotte
- Le remplissage des empreintes doit être simultanées et à températures identiques
- Les canaux d'alimentation seront toujours les plus courts possibles
- Prévoir suffisamment de place entre les empreintes pour la régulation ainsi que l'éjection
- L'épaisseur des parois entre les différentes empreintes doit être suffisante pour éviter les déformations dues à la pression dans l'empreinte.

	Avantages	Inconvénients
Répartition en étoile 	<ul style="list-style-type: none"> - Même longueur d'écoulement vers toutes les empreintes - Disposition favorable pour le démoulage 	Le nombre d'empreintes à placer est limité

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

Tab.6. Disposition des empreintes dans le plan de joint [4]

2- La matière : [7]

Le choix du moule se fait principalement par rapport aux propriétés de la matière, dont :

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

Temps de cycle

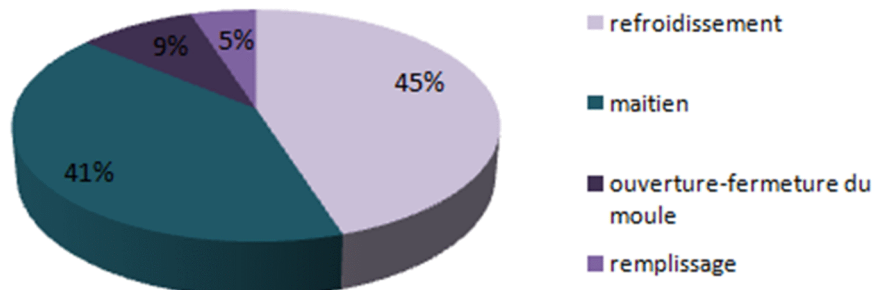


Fig.3. Temps de cycle d'une presse d'injection

3- La machine :

Le moule ainsi que sa conception doit tenir compte de :

- Capacités et impératifs de la pièce ;
- Le volume et la forme de la pièce ;
- Le nombre d'empreintes ;
- Le calcul de rentabilité ;
- La précision de la pièce.

4- Le système d'alimentation :

Un système d'alimentation est un canal permettant au plastique fondu de s'écouler de la carotte vers les points d'injection. Formes disponibles : cercle, demi-cercle et trapèze.

Le système d'alimentation est composé d'un canal principal, d'un canal secondaire et d'un canal tertiaire.

La carotte fait partie du système d'alimentation. Dans un moule à trois plaques, il peut exister une buse d'injection secondaire.

Le système d'alimentation répartit uniformément le plastique fondu, du nez de la machine vers toutes les empreintes du moule, l'illustration suivante présente les composants du système d'alimentation :

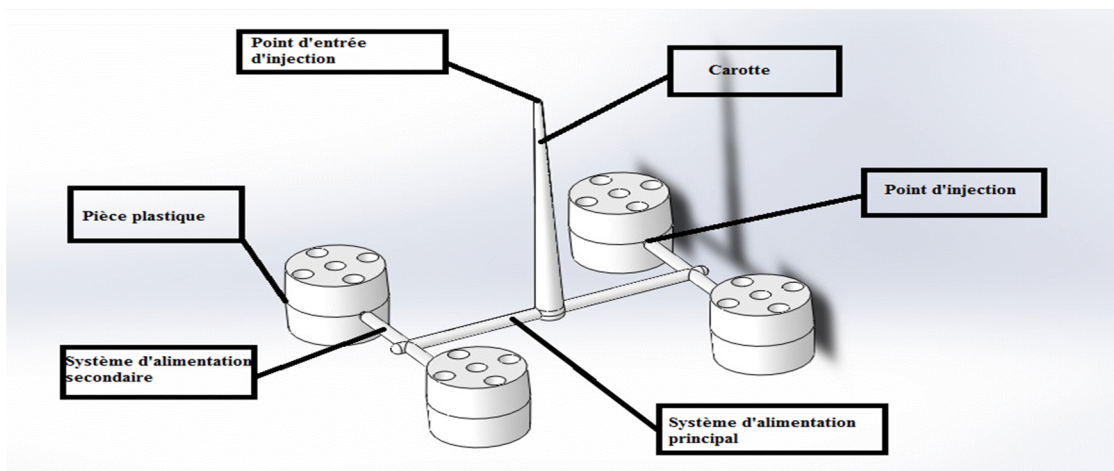


Fig.4. Les composantes du système d'alimentation

Les différentes composantes du système d'alimentation :

- La buse d'injection ;
- Point d'entrée d'injection ;
- La carotte ;
- Goutte froide ;
- Point d'injection ;
- Système d'alimentation principale ;
- Système d'alimentation secondaire,

- Ouverture en queue de carpe.

a- La buse d'injection :

La buse d'injection correspond à l'ouverture à travers laquelle le plastique fondu pénètre dans le moule.

La buse d'injection se loge dans la bague de centrage. En fonction de la configuration, l'extrémité est raccordée soit à une ouverture dans le système d'alimentation principal, soit directement à l'empreinte du moule. La buse d'injection dirige le plastique dans les systèmes d'alimentation, par le point d'injection et enfin dans l'empreinte de moule, ou directement dans l'empreinte.

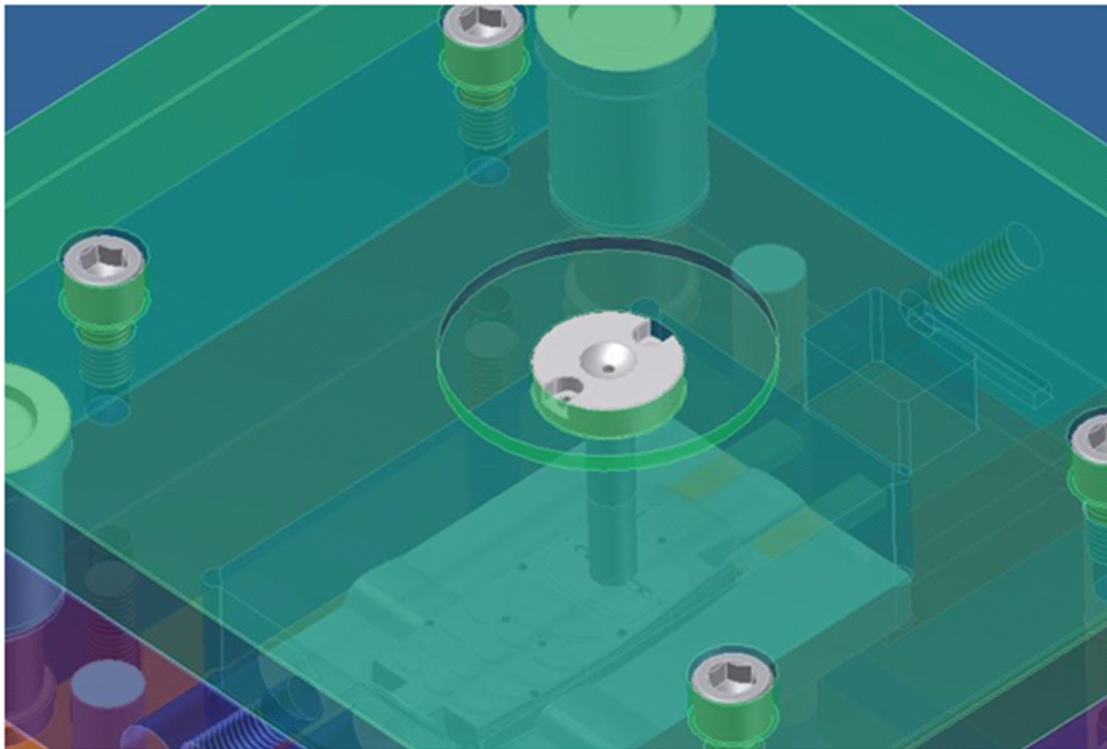


Fig.5. Buse d'injection

b- La carotte :

La carotte correspond à l'extension du nez d'injection dans le moule, conduit la matière plastique de l'entrée du moule jusqu'au plan de joint (elle est perpendiculaire au plan de joint).

Dans un moule mono-empreinte doté d'un seul point d'injection, la carotte peut se terminer au niveau de la paroi de l'empreinte. La carotte est généralement connectée à un système d'alimentation comme illustré dans le schéma suivant.

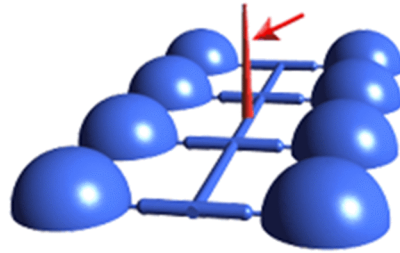


Fig.6. La carotte

Lors de l'ouverture du moule, il est nécessaire de s'assurer que la carotte ne reste pas dans la buse d'injection du côté du bloc fixe. A cette fin, on utilise un arrache carotte coté partie mobile.

- Dimensionnement de la carotte :

Les dimensions de la racine de la carotte dépendent essentiellement des dimensions du produit et surtout de son épaisseur. La carotte ne doit pas geler avant les surfaces en amont afin de permettre la transmission suffisante de pression de maintien. La carotte doit être conique pour permettre un démoulage facile et correct.

Le diamètre d'entrée de busette est la première porte à franchir par la matière en entrant dans le moule. Il est déterminé en fonction de la masse (G) de la moulée et de l'épaisseur maximale (e) de la paroi des pièces à injecter ainsi que du diamètre de la buse de la presse.

Le graphe suivant nous permet de déterminer la valeur du diamètre minimal qui doit être respecté pour assurer le remplissage des empreintes.

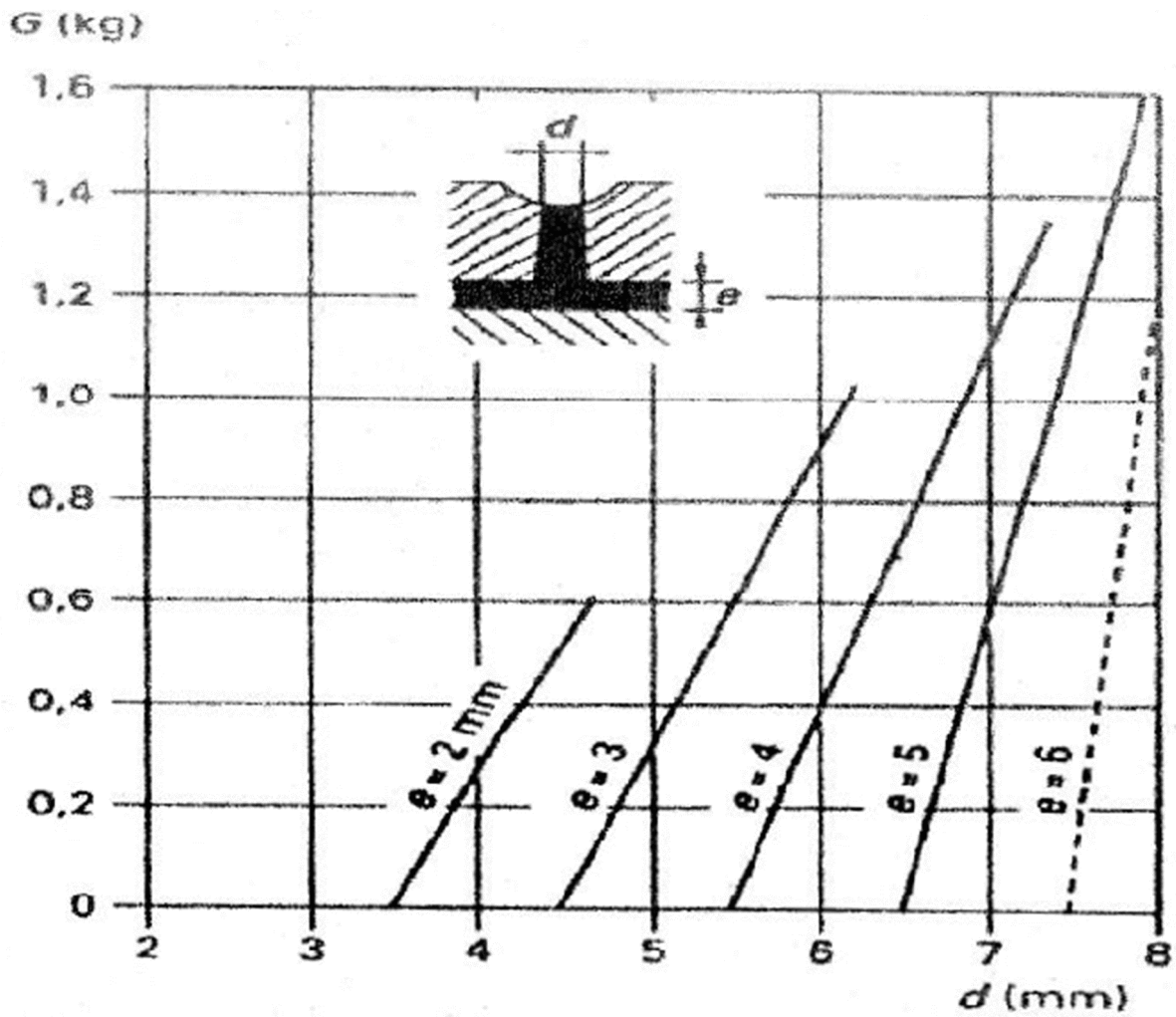


Fig.7. Diamètre du canal de la busette en fonction de la masse de la moulée et de l'épaisseur maximale de la pièce

- Réalisation de la carotte : [11]

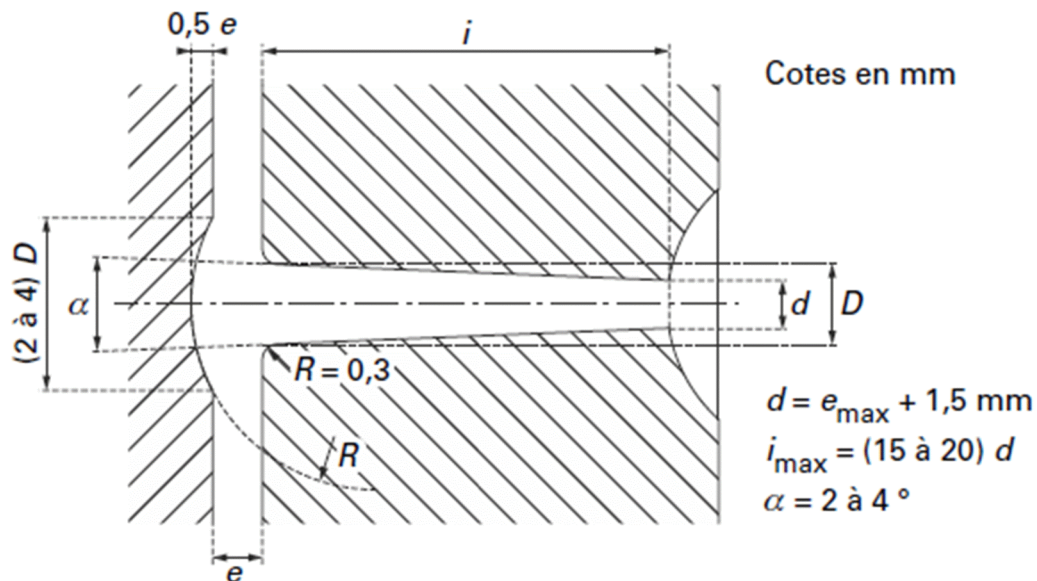


Fig.8. Réalisation de la carotte

c- Goutte froide :

Quantité de polymère refroidi qui peut se former dans le nez entre les injections.

Si elle n'est pas prise en compte dans la conception du système d'alimentation, la goutte froide peut bloquer le point d'injection. Pour éviter que les points d'injection soient bloqués, vous pouvez ajouter au système d'alimentation un piège à goutte froide.

d- Point d'injection (seuil d'injection) :

Les points d'injection permettent de connecter le système d'alimentation au moule et de transférer le plastique fondu du système d'alimentation à l'empreinte du moule.

Le plastique est injecté sous haute pression dans l'empreinte, de sorte à remplir complètement l'empreinte et créer un produit compact et propre. La taille, la précision, le nombre et l'emplacement des points d'injection ont une incidence sur la qualité de la pièce en plastique finie.

Comme les canaux d'alimentation rétrécissent au niveau des points d'injection, il faut concevoir le système d'injection en même temps que le système d'alimentation. Avant de créer un point d'injection, il est nécessaire d'identifier un emplacement de point d'injection. Après avoir créé des systèmes d'alimentation, on raccorde aux emplacements de points d'injection.

Les différents types de seuil sont : [4]

- **Seuil capillaire :**

Utilisé avec un moule à canaux chauds (sans carotte) ou un moule à 3 plaques.

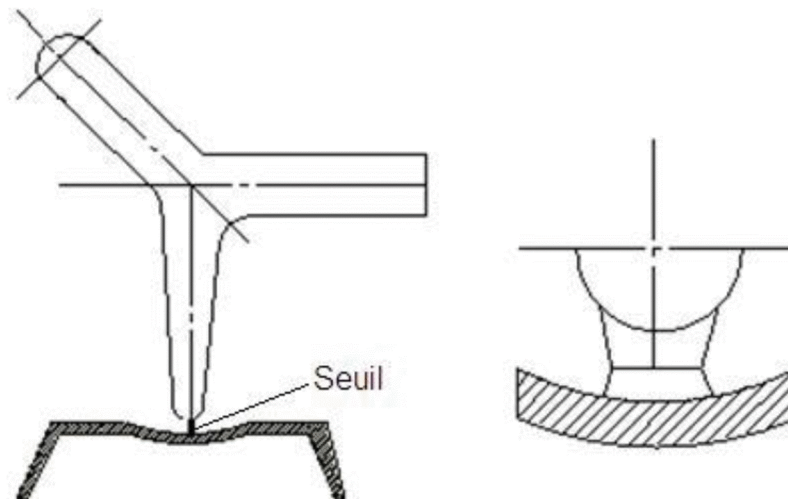


Fig.9. Seuil capillaire

Avantage :

Démoulage automatique et faible trace sur la pièce.

Inconvénients :

- Uniquement pour les matières fluides.
- Coût du moule élevé.

- **Seuil en masse ou direct :**

Utilisé pour les matières visqueuses.

Avantage :

- Très bon remplissage
- Bonne stabilité dimensionnelle de la pièce.

Inconvénients :

- Opération de reprise pour enlever la carotte
- Trace non esthétique sur la pièce.

- **Seuil annulaire :**

Utilisé pour la réalisation des pièces cylindriques ayant des noyaux.

Avantage :

- Remplissage uniforme de l'empreinte.

Inconvénients :

- Opération de reprise pour enlever la carotte
- Déchets importants.

- **Seuil conique ou en éventail :**

Utilisé pour les pièces de révolution symétrique avec noyau.

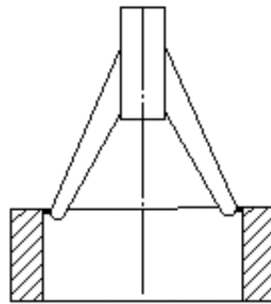


Fig.10. Seuil conique

Avantage :

- Permet un écoulement équilibré de la matière autour du noyau.
- Peut permettre un dégrappage automatique.

Inconvénients :

- Déchets
- Opération.

- **Seuil en nappe :**

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

Avantage :

Bonne qualité dimensionnelle.

Inconvénients :

- Opération de reprise
- Esthétisme.

- **Seuil sous marin :**

Utilisé pour les petites pièces et dans un but de dégrappage automatique.

Avantage :

Dégrappage automatique.

Inconvénients :

- Uniquement pour les pièces simples à cause de grosse perte de pression.

- **Seuil à tunnel courbe :**

Utilisé pour les pièces minces d'aspect.

Avantage :

Dégrappage automatique

Inconvénients :

- Usinage coûteux
- Ne convient pas à toutes les matières.

e- Canaux principaux et secondaires :

Ils assurent le passage de la matière fondue du pied de la buse jusqu'au seuil. Ce qui 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.

❖ **Différents modes d'alimentation :**

1- Alimentation à canaux froids :

Dans la méthode d'alimentation la plus ancienne et la plus simple, le polymère fondu passe directement dans la cavité par un canal tronconique dont le contenu est appelé carotte.

Le remplissage du moule lorsqu'il comporte plusieurs empreintes se fait à partir du canal central dans un réseau de canaux de distribution qui alimentent les cavités par l'intermédiaire de seuils (entrées rétrécies). Pendant le trajet, la matière se refroidit et se solidifie progressivement pendant que la pression chute.

La grappe, composée de la carotte, du contenu des canaux d'alimentation et des objets, est démoulée. Le décarottage, c'est-à-dire la séparation des objets et le nettoyage des traces, est une opération souvent onéreuse, faite manuellement ou exigeant des dispositifs spéciaux.

Dans les moules à empreintes multiples, le canal central débouche dans le plan de joint dans lequel se trouvent les canaux de distribution. Ces canaux ont une section circulaire ou trapézoïdale avec des arrondis dans les angles.

2- Alimentation à canaux chauds :

L'injection à canaux chauds présente plusieurs avantages techniques et économiques :

- suppression de la carotte ;
- suppression de l'ébarbage des pièces injectées ;
- raccourcissement du cycle d'injection (en particulier pour les petites pièces) ;
- augmentation, qui dépasse souvent 30 %, du rendement de la presse
- possibilité d'alimenter l'empreinte en plusieurs points et de changer facilement de couleur ;
- amélioration des pièces injectées, diminution des rebuts.

Les fabricants du matériel pour ce type d'injection annoncent des gains de temps sur la durée du cycle de l'ordre de 40 % par rapport aux moules à canaux froids.

Le prix des moules équipés de ce système est plus élevé que celui des moules à canaux froids, mais les gains de cadence et de durée de vie des outillages permettent de les amortir rapidement.

Différentes formes de canaux :

La forme et le diamètre des canaux d'alimentation sont des facteurs importants dans la réussite de la conception des moules.

- Canaux circulaires :

Ils garantissent un débit maximal de matière et un temps de refroidissement minimal. L'état de surface doit être de bonne qualité pour réduire les pertes de charge. La section circulaire est donc la géométrie optimale à privilégier. A noter que son usinage est des deux parties du moule, donc coût plus élevé.

- Canaux semi-circulaire :

Facilement usinable, ces solutions favorisent les pertes de chaleur et donc un refroidissement plus important

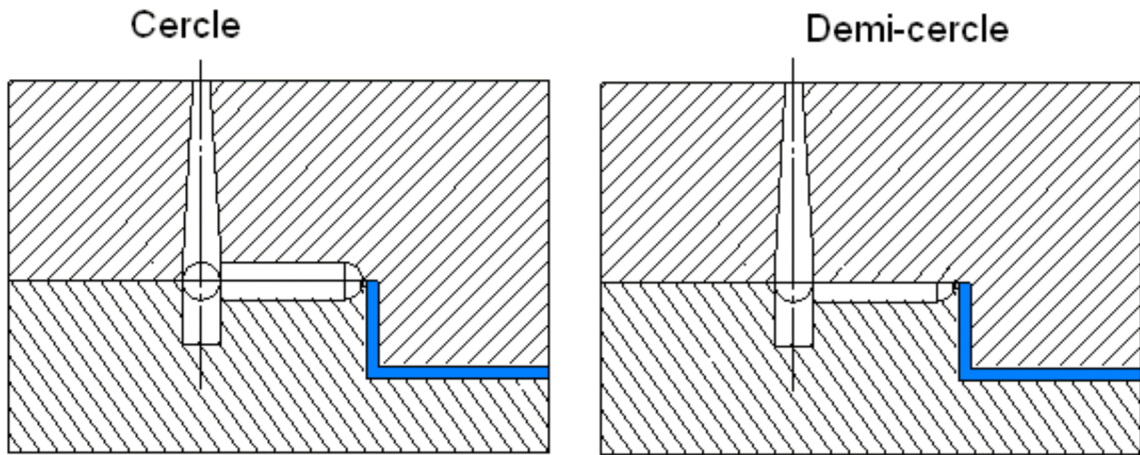


Fig.11. Canaux à section circulaire

- **Canaux paraboliques :**

C'est le type de canal qui se rapproche le plus du canal rond, simple à fabriquer (usinage dans une seule moitié). Perte de chaleur et refroidissement plus important qu'avec un canal circulaire.

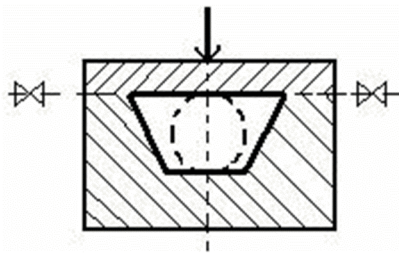
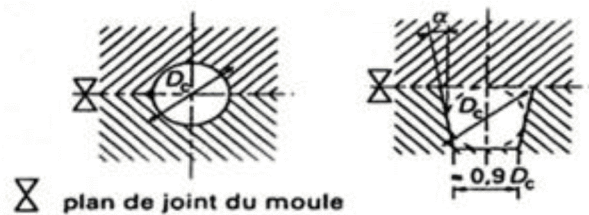


Fig.12. Canaux à section parabolique

- **Canaux trapézoïdaux :**

Perte de chaleur et refroidissement plus important qu'avec la forme parabolique.



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.

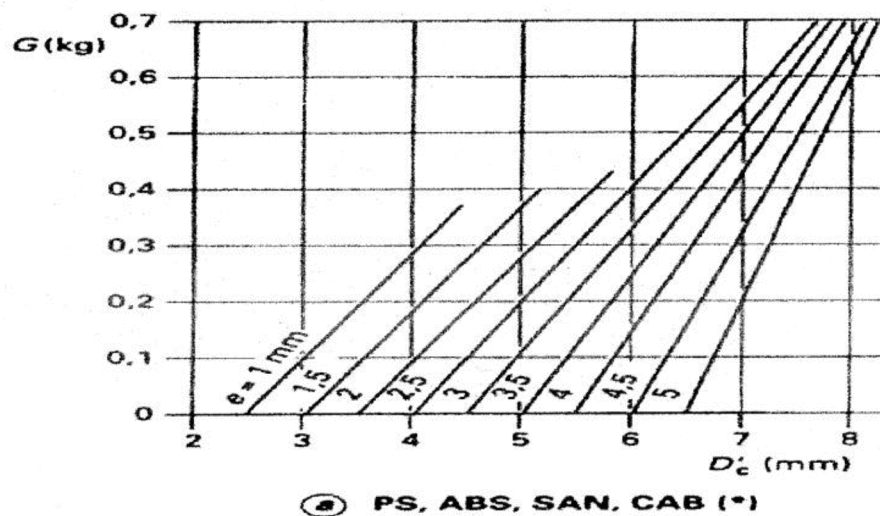


Fig.13. Diamètre du canal de distribution en fonction de la masse (G) et de l'épaisseur (e) de la moulée pour les styréniques.

• Le plan de joint :

Le plan de joint est le plan de coupe qui délimite les différentes parties d'un moule en tenant compte des rétentions. Avant le moulage, il est impératif de bien déterminer les plans de joints des différentes pièces pour qu'elles se démoulent sans se casser ou endommager le modèle. Elles doivent aussi se juxtaposer parfaitement pour constituer un moule complet.

Le tracé du plan de joint résulte de la morphologie de la pièce moulée, de ses tolérances, des exigences esthétiques, du choix du système d'extraction et de la presse à injection utilisée. La surface de contact des deux parties de l'empreinte peut être plane ou non ; elle doit assurer l'étanchéité du moule, être résistante à la force de fermeture et à l'abrasion. Une surface du type de celle représentée sur la figure ci-dessous (*a*) est déconseillée car elle provoque en général une usure prématurée de l'outillage ; en revanche, les solutions (*b*) et (*c*) peuvent être choisies.

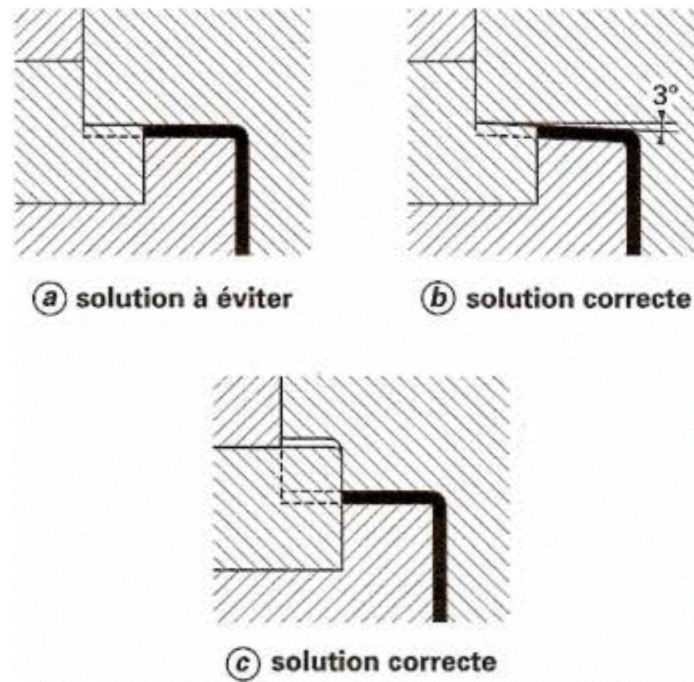


Fig.14. Différents plans de joint du moule

Pour diminuer les traces du plan de joint sur l'objet et les fuites provenant du manque d'étanchéité, on diminue la surface de contact dans les limites permises par la résistance de l'acier de l'empreinte. Ce problème apparaît surtout dans le cas d'une surface non plane de contact des deux parties de l'empreinte.

h- Ouverture en queue de carpe :

Empêche l'entrée d'une goutte de matière froide dans les systèmes d'alimentation et enfin, dans la pièce en plastique. Les ouvertures en queue de carpe se situent à l'extrémité de la carotte ou sur un système d'alimentation.

5- Son architecture :

a- Moule à deux plaques : [9]

Ce moule est le plus simple. Il est privilégié en termes de coût de fabrication et d'entretien.

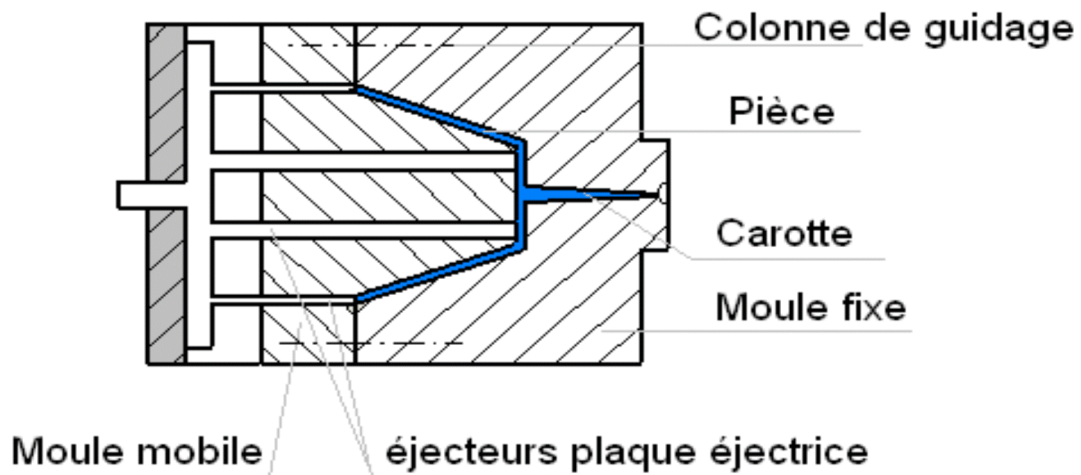


Fig.15. Exemple de moule simple à deux plaques

b- Moule à trois plaques :

Ce moule permet un décarottage automatique et un gain de temps

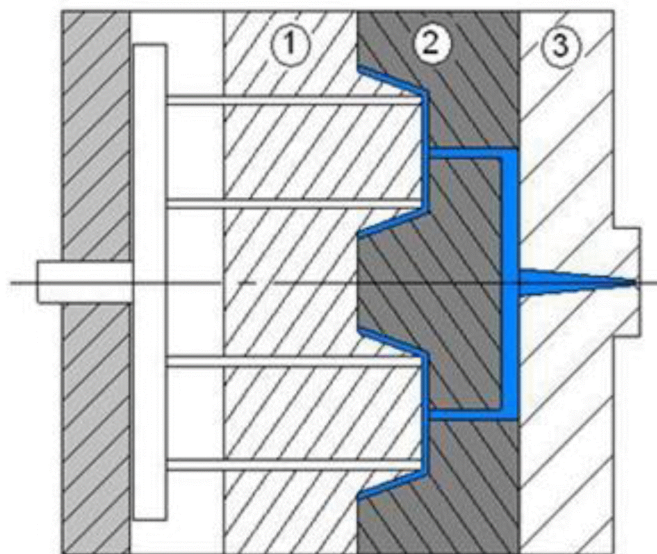


Fig.16. Moule à trois plaques

- 1 : Plaque porte-empreinte coté mâle.
- 2 : Plaque porte-empreinte coté femelle.
- 3 : Partie fixe.

c- Moule à tiroir :

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

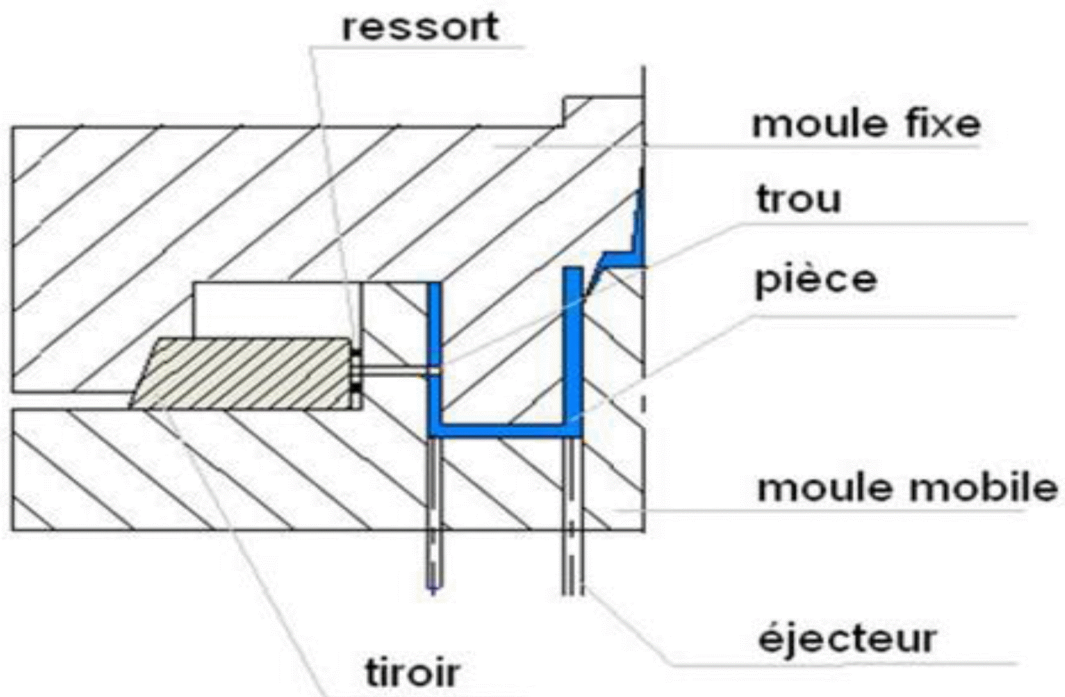


Fig.17. Moule à tiroir

d- Moule à coquilles :

Ce moule permet de réaliser les contre-dépouilles extérieures, mais il faut soigner la fermeture du moule et surveiller la fermeture de la machine.

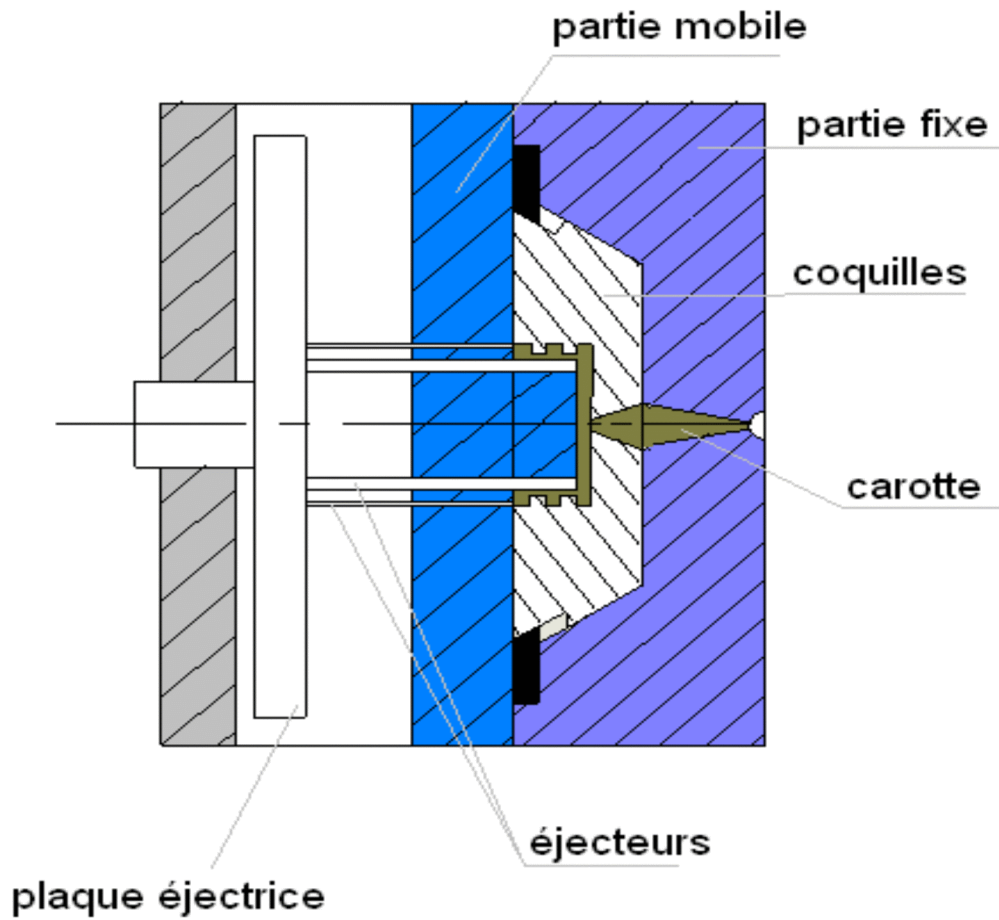


Fig.18. Moule à coquilles

e- Moule à canaux chauffants :

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

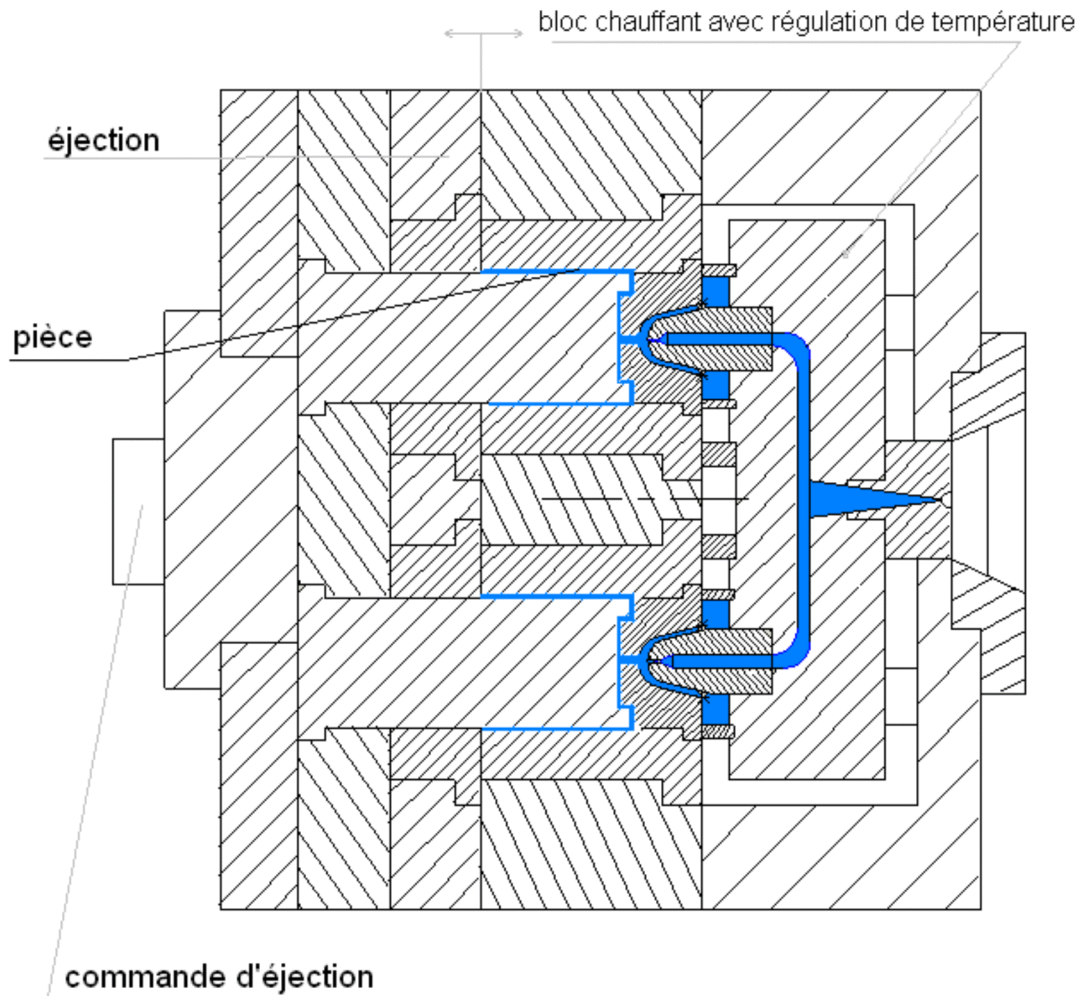


Fig.19. Exemple de moule à canaux chauffants

6- L'éjection des pièces :

Après solidification de la matière, le moule est ouvert et la pièce (ou les pièces) formée doit être éjectée. Cette évacuation doit être réalisée sans rupture de la pièce, ni marques, ni déformation et sans efforts importants. Cette fonction est assurée par des dispositifs mécaniques, pneumatiques ou hydrauliques.

- **Les différents types d'éjecteurs : [12]**

- **Ejecteurs cylindriques :**

L'éjection par des éjecteurs cylindriques est la plus courante. Pour les petites dimensions afin de limiter les risques de flambage, on utilise des éjecteurs épaulés.

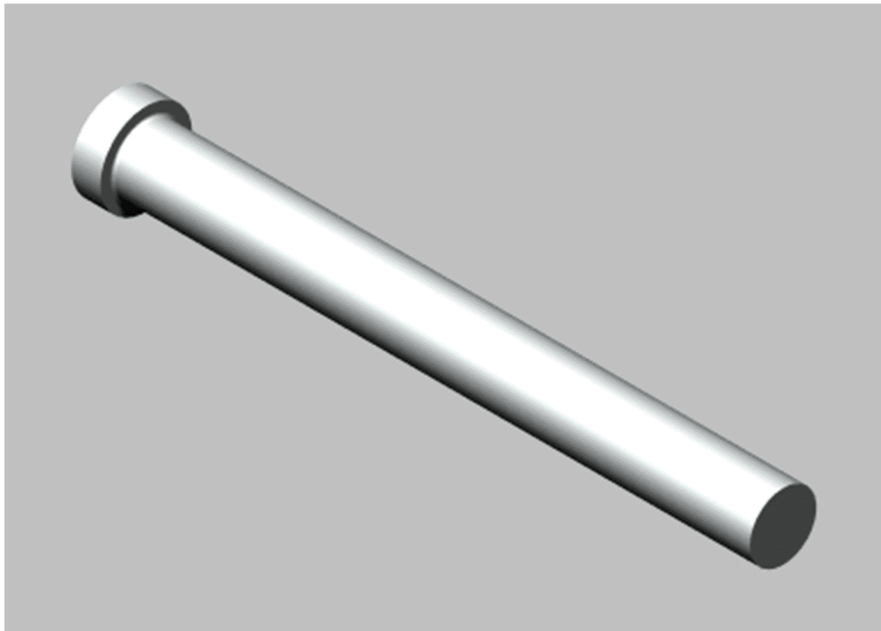


Fig.20. Ejecteur cylindrique

- Ejecteurs tubulaires :

L'éjection par des éjecteurs tubulaires permet l'éjection autour d'une broche, et permet de réaliser facilement des trous ou formes en creux. Ce sont des éléments standards et la dimension ne convient pas toujours à l'application que l'on veut en faire.



Fig.21. Ejecteur tubulaire

- Ejecteurs à lame :

Les éjecteurs en forme de lame correspondent à l'éjection tubulaire, mais le risque de traces d'éjection est important. Ce sont des éléments standards et la dimension ne convient pas toujours à l'application que l'on veut.



Fig.22. Ejecteur à lame

- 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.

- Ejecteur latéral :

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

Si :

$e < 2.5 \text{ mm}$; éjecteur $\text{Ø}3$

$e = 3$; éjecteur $\text{Ø}5$

$e \geq 3$; éjecteur $\text{Ø}10$

7- Thermique du moule :

Pour concevoir les circuits de refroidissement, on doit successivement calculer :

- Le temps de refroidissement, puis évaluer le temps de cycle ;
- La quantité de chaleur à évacuer lors du refroidissement de la pièce ;
- La consommation de fluide nécessaire pour évacuer toutes les calories.

A partir de là, trouver tous les paramètres de la disposition des canaux.

a- Circuit de refroidissement :

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

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

b- Conception du circuit de refroidissement :

- Calcul du temps de refroidissement.
- Calcul du temps de cycle.

Un cycle complet peut se décomposer de la manière suivante :

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

L'expression du temps de refroidissement T_R est donnée par :

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

Avec :

e : Epaisseur de la pièce moulée en mm

D : Diffusivité thermique du plastique

T_i : Température d'injection.

T_m : Température moyenne au cours du cycle.

T_e : Température d'éjection.

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 ou par le plan de joint.

Une évacuation insuffisante de l'air génère 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'évent principal est le plan de joint, mais certains cas (défauts de moulage par emprisonnement d'air) par exemple il est nécessaire de procéder à l'usinage d'évents supplémentaires.

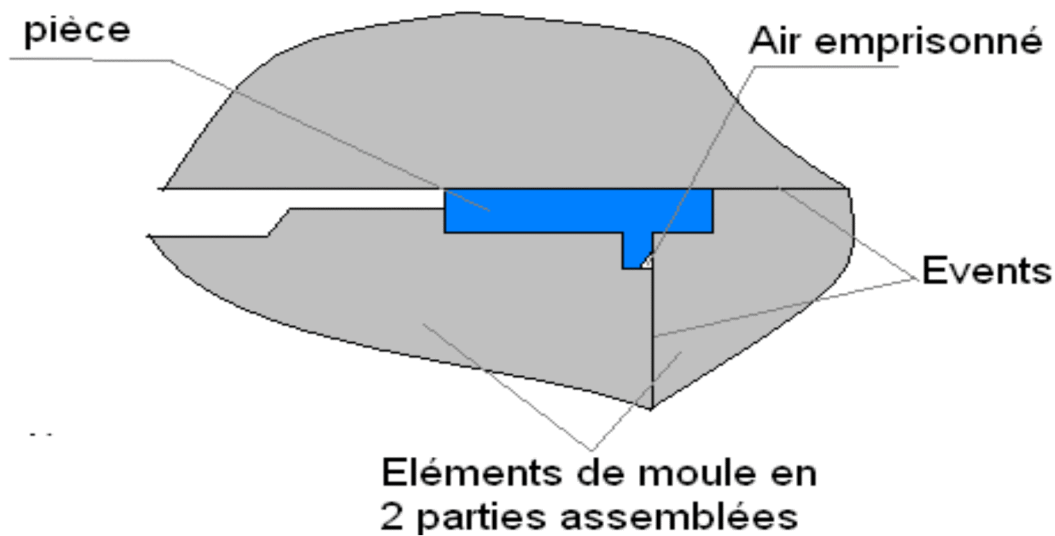


Fig.23. Events

8- La durée de vie (le choix du matériau) :

• Généralités :

La carcasse d'un moule sera 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, la mise en place du système d'éjection et 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 et présentent un certain nombre d'avantages pour les concepteurs de moules :

- 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.

• **Choix des matériaux :**

Pour assurer les fonctions nécessaires et pour avoir une durée de vie plus longue du moule, on opte pour les choix suivants :

Eléments	Matériaux	Eléments	Matériaux
Plaque éjectrice	C45	Empreinte fixe	36NiCrMo16
Contre plaque éjectrice	C45	Porte empreinte mobile	42CrMo16
Semelle fixe	S235	Empreinte mobile	36NiCrMo16
Porte empreinte fixe	42CrMo4	Les tasseaux	S235

Tab.7. Le choix des matériaux

IV- Cahier de charge fonctionnel du moule :

• **Produit :**

- Modèle géométrique : Le dessin de définition du produit est représenté ci-dessous (Fig.24).

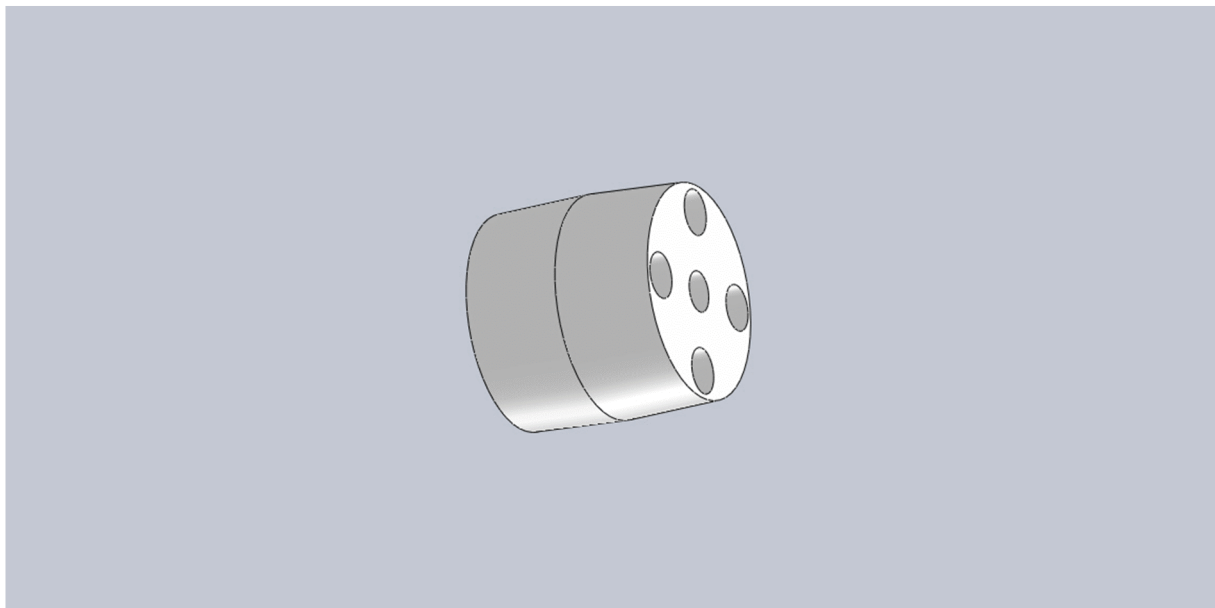


Fig.24. La roue en ABS

- Nombre d'empreintes : Dans notre cas, quatre (04) empreintes.
- Matière : Acrylonitrile Butadiène Styrene (ABS).
- Poids de la pièce : 12g

• **Moule :**

Concernant notre moule, on a opté pour :

- Alimentation :
Carotte : Carotte chaude.
Canaux d'injection : Cylindriques
Seuil d'injection : Capillaire.
Mise en forme : Inserts.

Ejection : Cylindrique.

Refroidissement : Par eau.

V- La CAO (conception assistée par ordinateur) : [2]

1- Définition :

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

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

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

2- Domaines de la CAO :

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

- Fabrication mécanique : conception des moules, usinage des pièces, outillage divers,....
- Domaine de la mécanique classique : simulation et calcul des matériaux, résistance des matériaux, vibration et acoustique.
- Aéronautique : conception des coques d'avions, calculs d'écoulement et aérodynamique.
- Electronique et micro électronique : assemblage des composants (résistances, capacités, éléments de logique,...) et leur simulation.
- Génie civil : calcul des structures.
- Automobiles et transports divers.
- La biomécanique : conception d'organes artificiels, prothèses,....

3- Les avantages de la CAO :

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

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

4- Application :

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

En premier, nous avons conçu la pièce (la roue) et les empreintes. Et pour permettre l'éjection automatique des pièces moulées, on a prévu des plaques d'éjection (inserts) dans l'empreinte mobile.

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

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

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

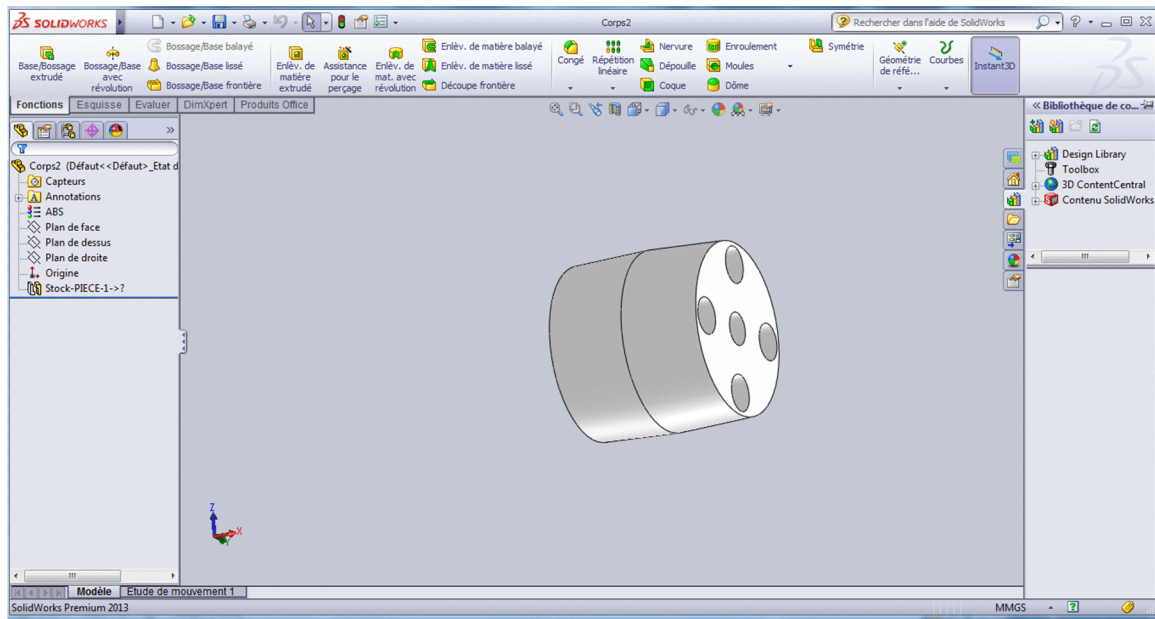


Fig.25. Fenêtre principale de SolidWorks

VI- Conclusion :

Dans ce chapitre, on a traité les paramètres de conception d'un moule thermoplastique. Le concepteur ne doit pas les négliger pour avoir des produits bien finis et réussis.

I- Choix du procédé de fabrication d'une pièce :

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

Critères	Procédés de fabrication	Observation	
Série	Contact-projection	1 à 1000 pièces	
	Roto-moulage	10 à 1000 pièces	
	Injection RTM	5000 pièces	
	Thermoformage	10 à 10000 pièces	
	Injection soufflage	10000 100000 pièces	
	Compression SMC, BMC	10000 100000 pièces	
	Injection	10000 1000000 pièces	
	Extrusion	10000 mètres linéaires	
	Calandrage	1000000 mètres linéaires	
	Pultrusion	5000 mètres linéaires	
	Dimension	Injection	Presse < 10000t, pièce <2 par 2m et 100 kg
		Injection RIM	Pièces < 50 kg
		Compression SMC	Pièces < 20 kg
Thermoformage		Pièces < 200 kg et 8 par 2.5 m	
Contact-projection		Pièces monobloc < 50 m (30t)	
Soufflage		Volume < 5 m ³	
Roto-moulage		Volume < 25 m ³	
Enroulement		Volume < 3000 m ³	
Enduction, calandrage		Largeur < 3.2 m	
Extrusion		Tube < Ø1.5 m, gaine < Ø0.5 m, plaque < 3.5 m, film < 15m	
Géométrie	Profilé	Extrusion, pultrusion	
	Tubulaire	Enroulement filamentaire, pultrusion, centrifugation	
	Creuse	Injection, soufflage, roto-moulage, enroulement	
	Plane	Compression, thermoformage	
	Volumineuse	Injection ...	

Tab.8. Choix du procédé de fabrication d'une pièce en fonction des différents critères.

Pour notre cas :

- Série : 125000 pièces
- Dimension: presse ≤ 500tonnes.
- Géométrie : volumique.

II- Choix de la matière à injecter :

Après une analyse technico économique effectuée par l'ENIEM, on a opté pour le matériau ABS.

III- Le choix de la presse :

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

- La capacité d'injection.
- La force de fermeture.
- Distance entre colonnes.
- Épaisseur minimale du moule.

1- La capacité d'injection :

Chaque presse d'injection a une capacité d'injection; le choix de la presse est en fonction de la masse des pièces et de la carotte (masse de la grappe).

a- La masse de la pièce :

La masse de notre pièce dépeignée est donnée directement dans les propriétés de la masse, du logiciel SolidWorks, après déclaration bien sûr du matériau (ABS).

La dépeignée est fonction de la matière, de la rugosité et des dimensions de la pièce.

Influence de la rugosité sur la dépeignée pour trois polymères				
Indices de rugosité (µm)		Angle de dépeignée (°)		
Ra	Rz	PA	PC	ABS
0,40	1,5	0,5	1,0	0,5
0,56	2,4	0,5	1,0	0,5
0,80	3,3	0,5	1,0	0,5
1,12	4,7	0,5	1,0	0,5
1,60	6,5	0,5	1,5	1,0
2,24	10,5	1,0	2,0	1,5
3,15	12,5	1,5	2,0	2,0
4,50	17,5	2,0	3,0	2,5
6,30	24,0	2,5	4,0	3,0
9,00	34,0	3,0	5,0	4,0
12,50	48,0	4,0	6,0	5,0
18,00	69,0	5,0	7,0	6,0

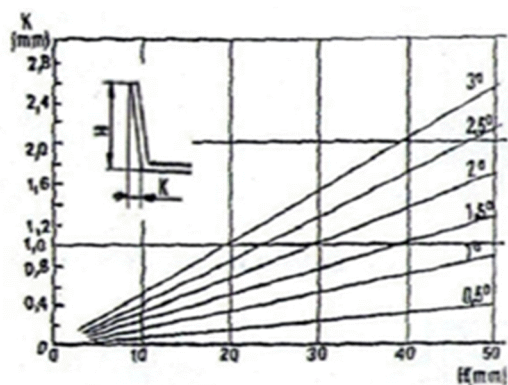


Fig.2 : influence de la matière, rugosité et dimensions de la pièce sur la dépeignée.

La masse de la pièce de l'étude (retrait pris en considération) est : Mp = 13,46 g.

b- La masse de la carotte :

Les dimensions de la carotte sont faites comme suit (fig.2):

$$d = e_{\max} + 1,5\text{mm}$$

A.N :

$$d = 3 + 1,5 = 4,5 \text{ mm}$$

$$l_{\max} = (15\text{à}20) * d$$

A.N :

$$l_{max} = 20 * 4,5 = 90$$

$$\text{tg } 2\alpha = D - d * 2 / l_{max} \quad \text{avec } \alpha = 2 \text{ à } 4^\circ$$

$$D_c = 1,5 e_{max}$$

A.N :

$$D_c = 3 * 1,5 = 4,5 \text{ mm}$$

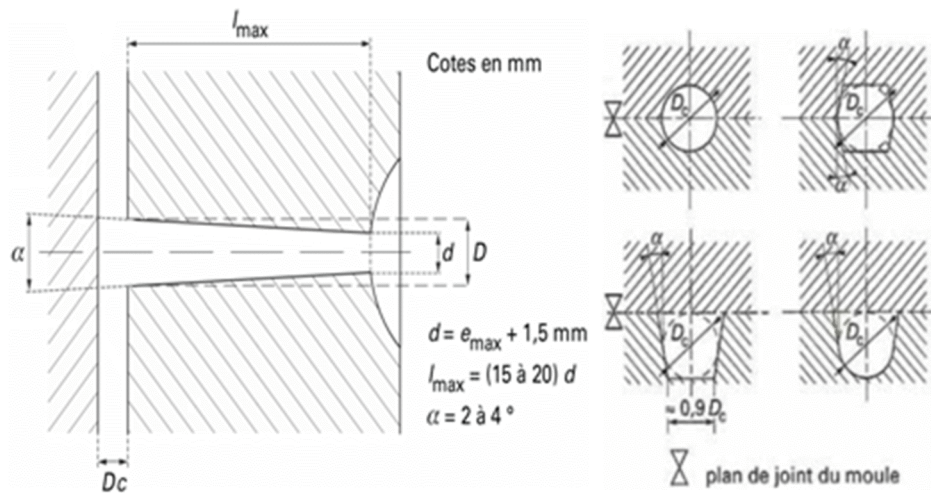


Fig.2. Dimensionnement, des diamètres et longueur de la buse, d'une carotte.

On a :

$$M_c = \delta * V_c$$

M_c : La masse de la carotte.

δ_c : La masse volumique

V_c : Le volume de la carotte

Avec :

$$V_c = V_{tot} - 4 * V_p$$

Avec :

V_{tot} : Le volume total

V_p : Le volume de la pièce

A.N :

$$V_c = 5268,66 - 4 * 13196,56 = 13196,42 \text{ cm}^3$$

$$\delta = 1,02 \text{ g/cm}^3$$

$$M_c = 2,4842 \times 1,02 = 56,37 \text{ g}$$

c- Dimensionnement des canaux de distribution de la carotte :

Les canaux de distribution doivent être tracés de façon à ce que la chute de la pression de la matière fondue pendant l'écoulement soit la plus faible possible.

Les facteurs sur lesquels on peut agir sont les suivants :

- La forme et la section des canaux ;
- Leurs longueurs ;
- Leurs changements de direction et la forme de leurs ramifications ;
- Leur état de surface ;

d- Dimensionnement des seuils d'injection

Les dimensions des seuils sont :

Pour la figure (5-a) :

$$b = D_c - 1,5 \text{ mm}$$

- Pour les polymères amorphes : $h = 0,4$ à $1,2$ mm
- Pour les polymères cristallins : $h = 0,5$ à $0,7$ mm

Pour la figure (5-b) : $d = D_c - 2$ mm

- Pour les polymères amorphes : $d = 0,6$ à $2,5$ mm
- Pour les polymères cristallins : $d = 0,5$ à $0,7$ mm

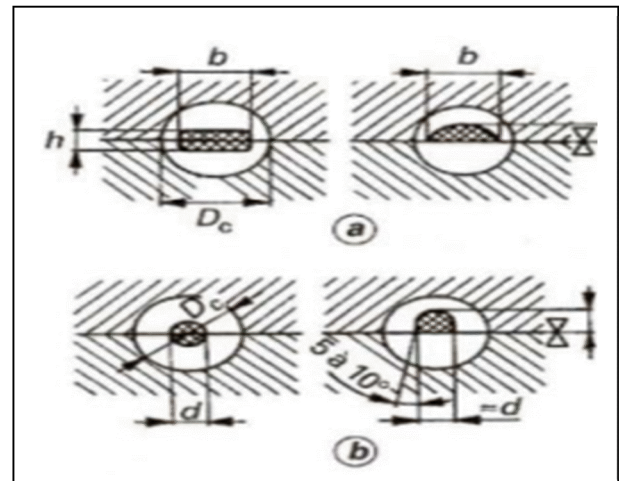


Fig.3. Dimensionnement du seuil d'injection.

Dans le cas de cette étude, on utilise les canaux circulaires, car ils sont favorables du point de vue rhéologique.

$$d = 1 \text{ mm.}$$

e- La masse de la moulée (grappe) :

La presse d'injection doit pouvoir injecter une quantité suffisante M_g (g).le moule produit dans chaque cycle quatre pièces et une carotte, ce qui nous donne :

$$M_g = 4 * M_p + M_c$$

A.N:

$$Mg=4*13.46 +2.53=56.37g$$

f- Capacité d'injection des pièces :

Machines (Presses)	Capacité d'injection (g)	
	Pour le PE (semi cristallin)	Pour l'ABS (amorphe)
25T	36	45
75T	83	105
150T	180	230
220T	355	450
350T	680	850
550T	1080	1360

Tab.9. Capacité d'injection selon la structure (Exemple : ABS / structure amorphe).

D'après le tableau ci-dessus et les résultats obtenus, on constate que toutes les presses peuvent injecter cette quantité de matière sauf la presse 25 tonnes car $Mg > 45g$.

2- Calcul de la force de fermeture :

L'injection de la matière à l'intérieur du 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.

a- Force de verrouillage :

$$F_v = P \times S_p$$

Avec :

F_v : force de verrouillage ;(elle est donnée par solidWorks, mesure et projection).

S_p : surface projetée (fig.4)

P : pression intérieure moyenne ;

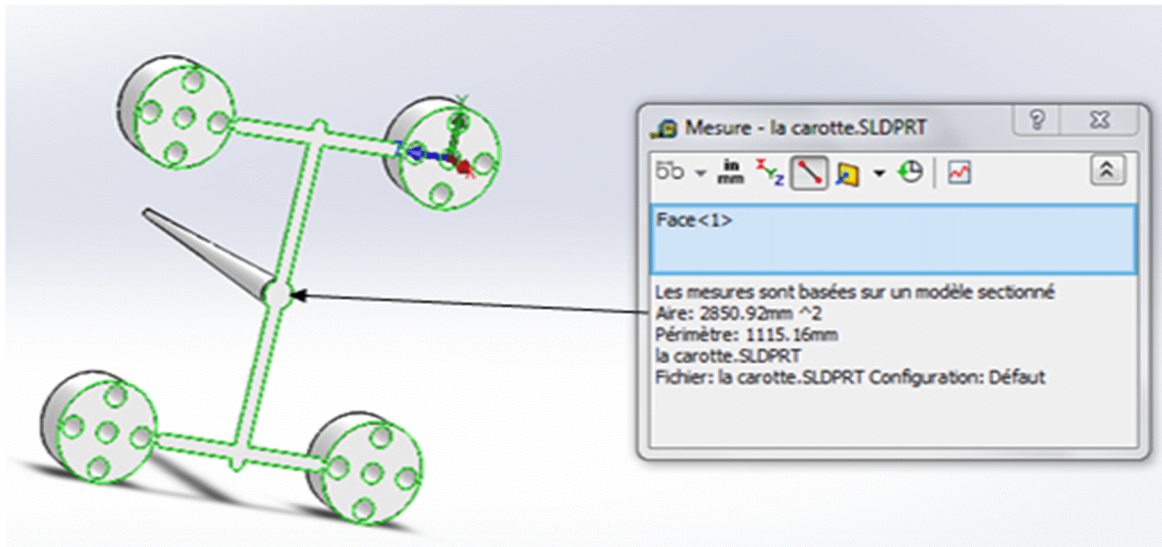


Fig.4. La surface projetée donnée par le logiciel solidWorks

b- La pression intérieure moyenne :

Il existe des valeurs de pression intérieure des grands parcours de fluctuation par rapport à l'épaisseur de moulage, épaisseur faible ou avec beaucoup de grilles, formes compliquées.

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

Tab.10. Pression moyenne (tonnes/cm²) selon la matière

A.N :

$$F_v = 0.5 \times 28.5 = 14.25 \text{ tonnes.}$$

c- La force de fermeture :

La force de fermeture est donnée par la relation suivante :

$$F=K \times F_v$$

Avec :

F : Force de fermeture ;

F_v : Pression intérieure ;

K : Coefficient de sécurité ;

A.N :

$$F= 14,25 \times 2.2 = 24.22 \text{ tonnes.}$$

D'après les résultats obtenus de la capacité du procédé de l'injection et la force de fermeture, notre choix de la presse se portera sur la presse de 75 tonnes.

IV- La puissance de plastification (C):

La presse qu'on a choisie est de 75 tonnes, elle peut injecter une masse de 56.37g du matériau ABS.

La vérification de plastification est nécessaire, elle est en fonction du poids de la grappe et du temps du cycle.

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

A.N :

$$C = \frac{56.37}{24/3600} = 8455.5 \text{ g/heure.}$$

a- Le temps du cycle :

Le temps du cycle est la somme de tous les temps des procédés de l'injection plastique :

Temps de fermeture, injection, maintien, refroidissement, ouverture et en fin éjection.

$$T_c = \sum t = t_f + t_i + t_m + t_o + t_e + t_R$$

Pour le matériau ABS d'épaisseur de 1 à 6 mm, on a:

- La vitesse d'injection est de 15mm/s ;
- Le temps d'ouverture est entre 30% à 50% de t_r.

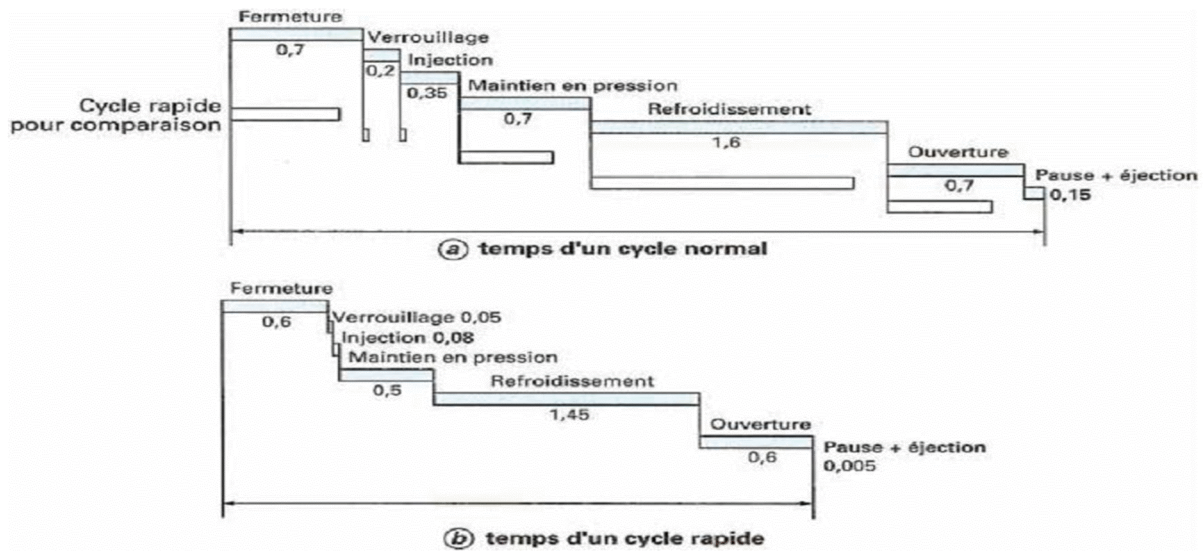


Fig.5. Exemple de comparaison des temps élémentaires (en secondes) de deux cycles d’injection (normal et rapide) d’une pièce polypropylène

b- Temps de refroidissement :

$$t_r = \frac{e^2_{moy}}{\pi^2 * a} * \ln \left[\frac{8}{\pi^2} \left(\frac{T_i - T_m}{T_e - T_m} \right) \right]$$

Avec :

e_{moy} : épaisseur moyenne de la pièce $e_{moy}=3\text{mm}$;

a : coefficient de diffusion thermique du polymère ABS ;

T_i : température d’injection de la matière plastique ;

T_e : température moyenne de la moulée au moment du démoulage ;

T_m : température de la surface de l’empreinte du moule ;

Pour une pièce de matière thermoplastique, il est intéressant de retirer du moule la pièce encore chaude pour profiter de sa malléabilité, lors de son éjection rapide (étant au-dessus de la Température de la transition vitreuse $T_g / 105^\circ\text{C} - 115^\circ\text{C}$).

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

Tab.11. Grandeurs thermiques de quelques matières de pièces injectées.

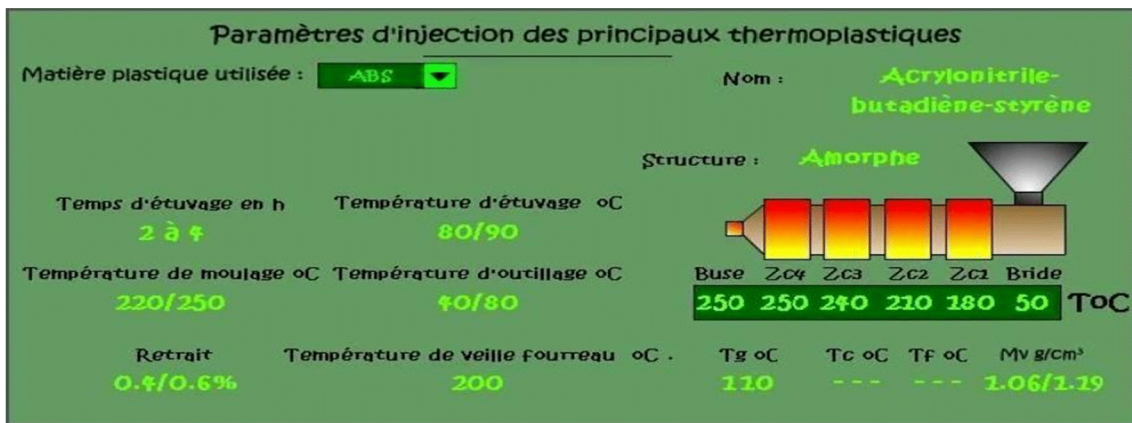


Fig.6. Paramètres d'injection de la matière plastique ABS.

Matière	Température du moule
Polystyrène normal	50à80°C
Polystyrène choc	60à70°C
Styrène	60à 90°C
Polyéthylène	50 à 80°C
Polychlorure de vinyle	70°C
Polyamides rilsan	40°C

Tab.12. Les températures régulées

A.N:

E= 3.5mm

a=8.3*10⁻⁸ m²*s⁻¹ c tirée du tableau.11

Te =120°C tirée de la fig. (6)

Ti=250°C tirée de la fig. (6)

Température du moule :Tm= 90°C

$$Tr = \frac{3.5^2}{3.14 \cdot 8.3 \cdot 10^{-8}} * \ln \left[\frac{8}{3.14^2} * \left(\frac{250-75}{120-75} \right) \right]$$

Tr=7.22s

c- Calcul des temps d’ouverture et de fermeture et d’éjection :

Le temps de refroidissement est de 7.22 s ce qui nous donne :

Le temps d’ouverture : $t_o = 3.61s$

Le temps de fermeture : $t_f = 3.61s$

La course minimale d’ouverture du moule est de trois fois la largeur de la grappe.

En cas où cette largeur est courte, il faut assurer une distance d’intervention

$C_{min} \geq 3 \cdot L_G$, la largeur de la grappe est $L_G \approx 104mm \implies C_{opt} = 312mm$

Avec :

C_ϵ : course d’éjection de la grappe ;

V_ϵ : vitesse d’éjection de la grappe.

A.N :

$T_\epsilon = 312/150 = 2.08s$

d- Le temps de maintien :

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 (retrait) en raison du refroidissement, par un ajout de matière injectée.

Condition 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 constellées par le producteur de matière, en fonction de la formulation.	

Tab.13. Conditions de moulage par injection plastique

Pour optimiser la compensation du retrait, on prend le temps de maintien : $t_m = 3s$.

e- Le temps d'injection de la matière :

Le temps d'injection de la matière t_i est déduit en utilisant solidWorks plastique.

$$t_i = 5.66s$$

Le temps de cycle est : $t_c = 5.66 + 3.61 + 3.61 + 2.08 + 7.22 + 3 = 25.12s$

f- Dimensions minimales du moule :

Le moule doit être monté sur des plateaux de fixation qui se trouvent sur la presse, cette dernière possède quatre colonnes de guidage. La distance maximale entre colonnes est de 290mm. Ce qui nous permet de choisir les dimensions du moule qui sont les suivantes:

- Longueur : 338mm.
- Largeur : 278mm.

g- Epaisseur minimale du moule :

Les caractéristiques dimensionnelles de la presse 75 tonnes sont :

- La distance entre plateaux de la presse est de 630 mm ;
- La course maximale du piston de serrage est de 460 mm ;
- La course de la buse d'injection est de 247mm ;
- L'encombrement entre les plateaux de la presse est de 170 mm.

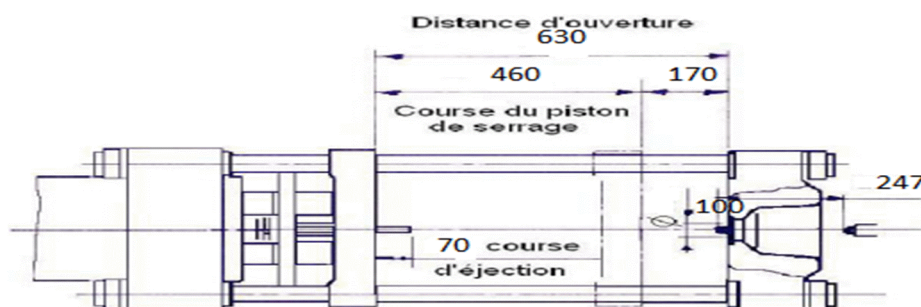


Fig.7. Caractéristiques dimensionnelles de la presse 75T (i3)

➤ Le moule doit être dimensionné par rapport aux valeurs caractéristiques dimensionnelles de la presse d'injection de 75 tonnes.

➤ L'épaisseur minimale de notre moule doit être supérieure à l'encombrement et qui est de 170 mm

h- Caractéristiques techniques de la presse 75 tonnes :

Symbole d'injection	i 2
Symbole de cylindre	A
pression d'injection	2030 Kg/cm ²
Taux d'injection	87 Cm ² /sec
Quantité d'injection	Ps 83 g PE 105 g
Diamètre de la vis	32mm
Puissance de plastification (PS)	50 Kg/h
Puissance de serrage	75 tonnes
Puissance d'ouverture	6 .3 tonnes
Vitesse max.de rotation de la vis	380 tr/min
Intervalle des tirants	360×360 mm
Dimensions de la plaque matrice	540×540 mm
Course de serrage	460 mm
Epaisseur minimale du moule	170 mm
Ouverture	630 mm
Puissance de foulage (hydrolique)	2.7 tonnes
Course de foulage	70 mm
Quantité d'huile d'usage	360 litres
Moteur destiné à la pompe	15 Kw
Capacité de réchauffeur	6.6 Kw

Dimension de la machine (L*1*H)	4.5×1.2×2.1
Poids de la presse	4 tonnes

Tab.14. Caractéristiques techniques de la presse 75 tonnes

V- Le bilan thermique :

Le but de cette étude est d'établir un bilan thermique de l'ensemble du moule ; puis déduire les caractéristiques qui nous intéressent en l'occurrence la longueur du circuit de refroidissement en passant par le calcul de certaines caractéristiques physiques ou dynamiques .

1- La quantité de chaleur évacuée :

La quantité de chaleur évacuée dépend du polymère. Sur la figure ci-dessous, QM est la quantité de chaleur que l'empreinte doit évacuer pour refroidir 1g de polystyrène de la température Ti à la température Tm.

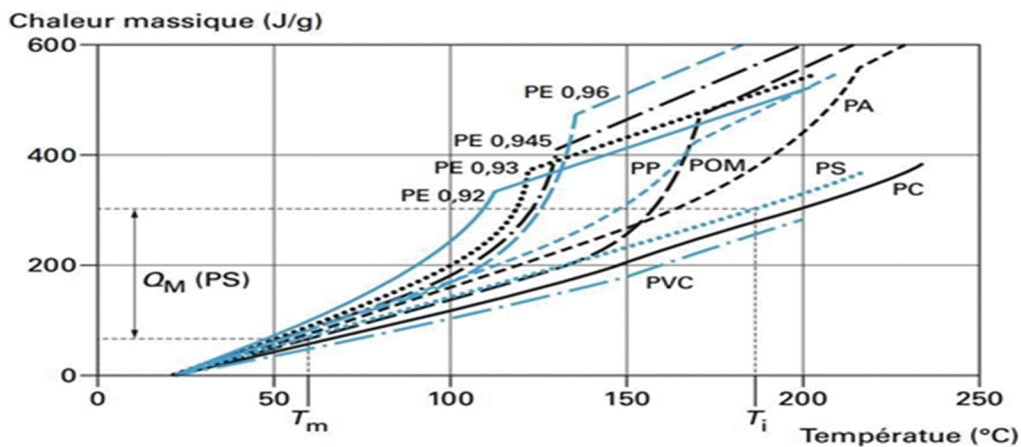


Fig.8. Variation de la Chaleur massique de différents polymères/ Température (°C).

Notre ABS appartient à la famille des polystyrènes. En faisant référence au graphe de la variation de l'enthalpie, on tire les valeurs suivantes :

$$T=250^{\circ} \longrightarrow 107.48 \text{ Kcal/Kg}$$

$$T=120 \longrightarrow 51.59 \text{ Kcal/Kg}$$

La quantité de chaleur évacuée est donnée par la relation suivante :

$$Q_m = \frac{3600}{24} \times M_g \times (H_i - H_o)$$

Mg : masse de la matière injectée ;

H_i : enthalpie à la température d'injection ;

H_o : enthalpie à la température d'ouverture du moule.

A.N :

$$Q_m = \frac{3600}{24} \times (107.48 - 51.59) \times 61 \times 10^{-3} = 511.4 \text{ Kcal/h}$$

2- Dimensionnement du circuit de refroidissement :

a- Hypothèses :

- La température d'eau de régulation est supposée constante en tout point du circuit ;
- Les pertes de charges dans le circuit et le régulateur sont négligeables ;
- Le polymère ABS garde ces mêmes caractéristiques entre 200 et 260°C ;
- Le contact entre les différents organes du moule, entre la moulée ainsi que l'eau avec l'empreinte du moule est supposé parfait.

L'objectif est d'assurer, même pendant les journées caniculaires, un refroidissement symétrique et homogène des parois constituant la pièce pour éviter les déformations et de refroidir rapidement pour optimiser le temps de cycle.

L'apport de chaleur dans le moule est périodique et lié à la cadence d'injection. Le maintien d'une température constante dépend de l'efficacité des échanges thermiques entre la surface de l'empreinte et celle des canaux, qui dépendent elles-mêmes de l'efficacité du réseau des canaux, de sa surface, de sa répartition, de sa distance par rapport aux parois et de la conductivité thermique des matériaux de l'empreinte (le choix d'une grande valeur n'est pas toujours évident).

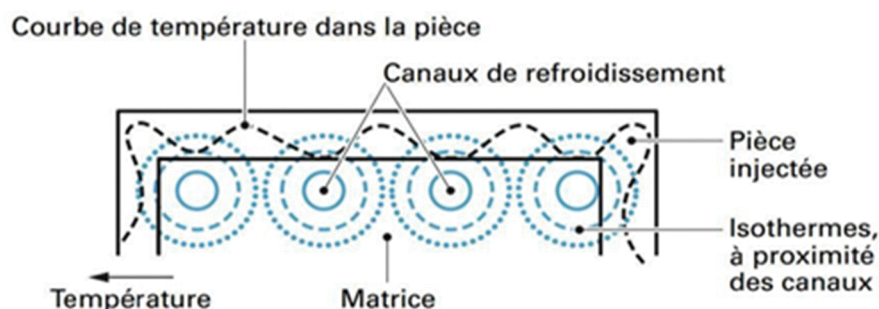


Fig.9. Variations de la température en fonction de la position des canaux.

La figure Fig.9 illustre les variations de la température dans la pièce en fonction de la position des canaux de refroidissement. Il est donc nécessaire de minimiser les variations de température qui en découlent en éloignant suffisamment les circuits.

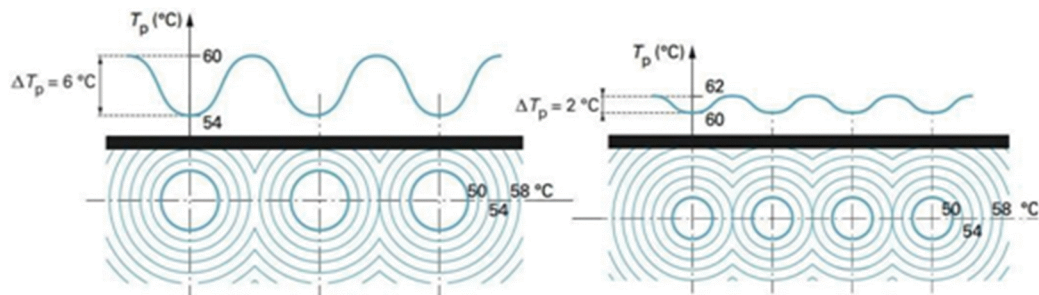


Fig.10. Conséquence de l'éloignement des canaux de la surface de l'empreinte.

$$L = \frac{Q - (Kp \times Sp \times \Delta\theta p)}{Ke \times \pi \times d \times \Delta\theta e}$$

Avec :

$Kp \times Sp \times \Delta\theta p$: Quantité de chaleur absorbée par le matériau du moule ;

$Ke \times Se \times \Delta\theta e$: Quantité de chaleur absorbée par l'eau.

Où :

Ke : Coefficient de transfert thermique global entre la matière et l'eau de refroidissement avec le matériau du moule ;

Se : Surface du circuit de refroidissement ;

$\Delta\theta e$: Différence de température moyenne logarithmique entre la matière et l'eau ;

Kp : Coefficient du transfert thermique entre le produit et l'air extérieur avec le matériau du moule

Sp : Surface de la matière en contact avec le moule qui est 0.0077 m^2

$\Delta\theta p$: Différence de température moyenne logarithmique entre le produit et l'air ambiant

$$Q = D_e \times C_{pe} \times (T_{se} - T_{ee}) + m \times (T_2 - T_1) \times C_m$$

Avec :

$D_e \times C_{pe} \times (T_{se} - T_{ee})$: L'augmentation de l'enthalpie d'eau ;

C_{pe} : Chaleur spécifique de l'eau (Kcal/Kg \times C $^\circ$) ;

$m \times (T_2 - T_1) \times C_m$: L'augmentation de l'enthalpie du matériau du moule ;

D_e : Le débit de l'eau ;

T_{se} : Température de sortie d'eau [Kg/h] ;

T_{ee} : Température d'entrée d'eau = 5 $^\circ$ C ;

m : La masse du matériau par cycle de moulage [Kg/h] ;

T_2 : Température finale du matériau ;

T_1 : Température initiale du matériau ;

C_m : Chaleur massique du matériau du moule.

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

Donc l'expression deviendra :

$$Q = D_e \times C_{pe} \times (T_{se} - T_{ee})$$

D'où la valeur T_{se} :

$$T_{se} = \frac{Q}{D_e \times C_{pe}} + T_{ee}$$

Calcul de débit d'eau :

$$D_e = V \times \rho \times S$$

Avec :

D_e : Débit massique de l'eau.

$V = 1.5 \text{ m/s} = 5400 \text{ m/h}$

S : Section de passage d'eau.

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

Avec :

d_c : Diamètre du canal

$$\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

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

Tab.15. Valeurs du diamètre du canal (d_c)

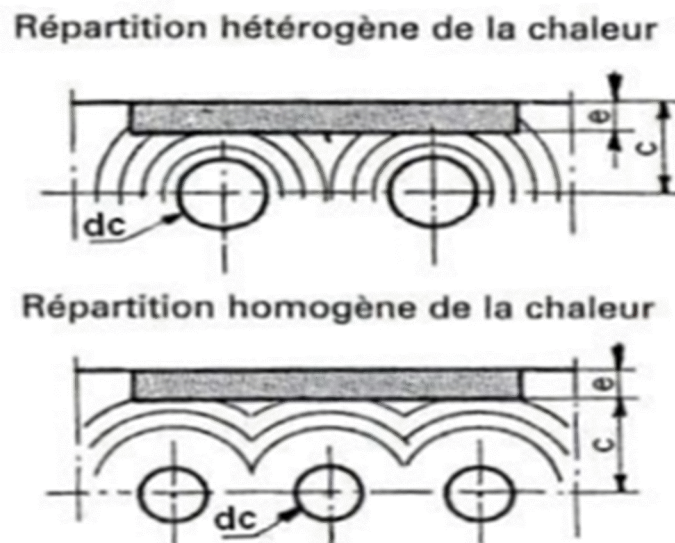


Fig11. Dimensions du canal

D'après le tableau ci-dessus : $d = 12\text{mm} = 0.012 \text{ m}$;

A.N :

$$S = 0.000113 \text{ m}^2$$

$$D_e = 5400 = 5400 \times 1000 \times 0.000113 = 610.2 \text{ Kg/h}$$

On remplace dans l'expression, on aura :

$$T_{se} = \frac{511.4}{610.2 \times 1} + 5 = 5.83 \text{ °C}$$

$$T_{se} = 5.83 \text{ °C}$$

Calcul de K_e : (coefficient de transfert thermique global entre la matière et l'eau de refroidissement avec le matériau du moule)

$$K_e = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{e}{\lambda}}$$

Avec :

δ_1 : Distance produit conduite de refroidissement = 10 mm

λ_1 : Conductivité thermique du matériau du moule qui est égale à 70 Kcal/ hm° C

λ : Conductivité thermique de l'ABS qui est égale à 512 Kcal/ m h °C

E : épaisseur de la pièce : e = 3.5 mm ;

α_e : Coefficient de transfert de chaleur par convection dans l'eau qui dépend des caractéristiques thermo physiques de l'eau et de régime d'écoulement caractérisé par le nombre de Reynolds :

$$Re = \frac{V \times d}{V_e}$$

Avec :

V : Vitesse de l'eau ;

d : Diamètre de la tubule d= 13 mm ;

V_e : Viscosité cinématique de l'eau ; $V_e = 0.0022 \text{ m}^2/\text{h}$;

A.N :

$$Re = \frac{5400 \times 0.0013}{0.0022} = 3190.9$$

$$Re = 3190.9$$

Cette valeur montre que l'écoulement de l'eau dans le circuit de refroidissement est turbulent ($Re > 2300$).

Par conséquent α_e sera donné par la relation :

$$\alpha_e = 0.024 \times (\lambda_e) \times (V_e)^{-0.8} \times (V_e)^{0.8} \times (d)^{-0.2} \times \sqrt{\frac{V_e \times C_{pe}}{\lambda_e}}$$

Avec :

λ_e : Conductivité thermique de l'eau qui est égale à 0.544 Kcal/mh°C

C_{pe} : Chaleur spécifique de l'eau qui est égale à 1 Kcal/Kg °C ;

V_e : Viscosité é cinématique de l'eau ;

d : Diamètre de la tubulure ;

Donc :

$$\alpha_e = 0.024 \times 0.544 \times (0.0022)^{-0.8} \times (0.0022)^{0.8} \times (0.0012)^{-0.2} \times \sqrt[3]{\frac{0.0022 \times 1}{0.544}} = 520$$

$$\alpha_e = 520 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

On remplace dans l'expression précédente, on aura :

A.N:

$$K_e = 500 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

Calcul de K_p : (coefficient de transfert thermique entre le produit et l'air extérieur avec le matériau du moule).

$$K_p = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + \frac{\delta_2}{\lambda_1} + \frac{e}{\lambda}}$$

Avec :

$$\alpha_a = 15 \text{ Kcal/m}^2 ;$$

δ_2 : Distance produit, paroi extérieure du moule ; 104 mm = 0.104 m

En remplaçant dans l'expression, on aura :

$$K_p = \frac{1}{\frac{1}{15} + \frac{0.104}{70} + \frac{0.0035}{512}} = 16.28 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

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} : Température initiale du produit qui est égale à 250°C ;

t_{fp} : Température finale du produit qui est égale à 75°C ;

t_{ee} : Température d'entrée d'eau qui est égale à 5°C ;

t_{se} : Température de sortie d'eau qui est égale à 5.83°C ;

A.N :

$$\Delta\theta_e = \frac{(250-5.83)-(110-5)}{\ln \frac{250-5.83}{110-5}} = 165.6 \text{ °C}$$

Calcul de $\Delta\theta_p$

$$\Delta\theta_p = \frac{(t_{fp}-t_{ip})}{\ln \frac{t_a-t_{fp}}{t_a-t_{ip}}}$$

Avec :

T_a = Température ambiante qui est égale à 20°C

$$\Delta\theta_p = \frac{110-250}{\ln \frac{20-110}{20-250}} = 148.93 \text{ °C}$$

En remplaçant dans la relation, on trouve :

A.N :

$$L = \frac{511.4 - (16.28 \times 0.0077 \times 148.93)}{500 \times 3.5 \times 3.14 \times 0.012 \times 165.6} = 4.51 \times 10^{-2} \text{ m}$$

3- Résistance des matériaux :

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

3-1- Poids des pièces du moule :

Le poids est déterminé par la relation suivante :

$$P = \delta \times V$$

Avec :

δ : Masse volumique da N/cm³ ;(pour les aciers $\delta = 7.85$ da N/cm³ ;

V : le volume [cm³]

Les pièces	Les matières	Volume (dm ³)	Masse volumique (δ) en [daN /dm ³]	Les poids [daN]
Plaque éjectrice	C45	1.24	7.80	9.67
Contre plaque éjectrice	C45	1.26	7.80	9.82
Semelle fixe	S235	2.05	7.80	25.81
Porte empreinte fixe	42CrMo4	5.85	7.80	45.63
Empreinte fixe	36NiCrMo16	0.91	7.80	7.09
Porte empreinte mobile	42CrMo16	5.81	7.80	7.08
Empreinte mobile	36NiCrMo16	0.92	7.70	45.31
Les tasseaux	S235	0.71	7.80	5.46

Tab.16. Poids des pièces du moule

3-2- Résistances des éléments du moule au matage dû à la force de fermeture :

La force de fermeture d’une presse 75 tonnes égale à 75000 Kg = 750 000 N

Conditions de résistance :

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

Avec :

$$R_{pe} = R_e / S'$$

Avec :

Re : limite élastique qui est égale à 370 N/mm² (pour les aciers) ;

S' : coefficient de sécurité pour les pièces en acier qui est égale à 2.2 ;

Donc :

$$R_{pe} = 370/2.2 = 168.18 \text{ N/mm}^2$$

Le coefficient de sécurité est choisi de façon à ce qu’en cours de fonctionnement normal les contraintes normales maximales ne dépassent pas la limite élastique Re du matériau.

Valeurs indicatives				
S	Charges exercées sur la structure	Contraintes dans la structure	Comportement du matériau	Observation
1 < s ≤ 2	Régulières et connues	Connues	Testé et connu	Fonctionnement constant sans à-coup
2 < s ≤ 3	Régulières et assez bien connues	Assez bien connues	Testé et connu moyennement	Fonctionnement usuel avec
3 < s ≤ 4	Moyennement connues	Moyennement connues	Non testé	légers chocs et surcharges modérées
	Mal connues ou incertaines	Mal connues ou incertaines	Connu	

Tab.17. Valeurs indicatives du coefficient de sécurité

La partie fixe :

a) La semelle

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

Avec :

$$F = 75000 \text{ N}$$

$$S = e \times l \longrightarrow S = 20 \times 388 = 7760 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = 96.64 \text{ N/mm}^2 \leq 168.18$$

La condition est vérifiée donc la semelle fixe résiste au matage.

b) Porte empreinte fixe :

$$e = 80 \text{ mm}$$

$$l = 323 \text{ mm}$$

$$S = 25840 \text{ mm}^2$$

On a :

$$\sigma = 750000/25840 = 29.02$$

$$\sigma = 29.02 \text{ N/mm}^2 \leq R_{pe}$$

La condition est vérifiée donc la porte empreinte résiste au matage.

La partie mobile

a) Semelle mobile

$$e = 20 \text{ mm}$$

$$l = 390 \text{ mm}$$

$$S = 7800 \text{ mm}^2$$

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

A.N :

$$\sigma = 96.15 \text{ N/mm}^2$$

La condition est vérifiée.

b) Porte empreinte mobile :

$$e = 80 \text{ mm}$$

$$l = 323 \text{ mm}$$

$$S = 25840 \text{ mm}^2$$

On a :

$$\sigma = 750000 / 25840 = 29.02$$

$$\sigma = 29.02 \text{ N/mm}^2 \leq R_{pe}$$

La condition est vérifiée donc la porte empreinte résiste au matage

c) Les tasseaux :

$$e = 60 \text{ mm}$$

$$l = 280 \text{ mm}$$

$$S = 16800 \text{ mm}^2$$

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

A.N :

$$\sigma = 750000 / 16800 = 44.64 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma \leq R_{pe}$, la condition est vérifiée donc les tasseaux résistent au matage.

3-3- Résistance des colonnes de guidage du moule au cisaillement :

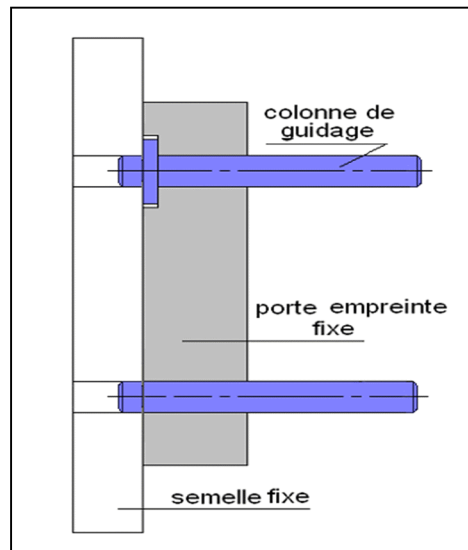


Fig.12. Colonnes de guidage

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

La condition de résistance s'écrit :

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

Avec :

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

A.N:

$$[\tau] = \frac{785.6}{2.2} \times 0.8 = 285.7 \text{ N/mm}^2$$

$$[\tau] = 285.7 \text{ N/mm}^2$$

Avec :

$$S: \text{ Section de la colonne } S = \frac{\pi \times d^2}{4};$$

d : Diamètre de la colonne ;

n : Nombre de colonnes cisillées ;

σ_e : Contrainte de la limite élastique $\sigma_e = 785.6 \text{ N/mm}^2$;

K : Coefficient de sécurité, $k = 2.2$;

F : Poids de la partie fixe, $F = 73094\text{g} = 73.094\text{Kg} = 730.94\text{N}$

$$S = \frac{\pi \times 25^2}{4} = 490.62 \text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{730.94}{4 \times 490.62} = 0.37 \text{ N/mm}^2$$

$\tau \leq [\tau]$, donc la condition est vérifiée.

3-4- Résistance des colonnes de rappel de la batterie éjectrice au cisaillement :

Condition de résistance :

$$\tau = \frac{T}{S} = \frac{P}{S \times n} \leq [\tau]_{\text{cis}}$$

$$[\tau]_{\text{cis}} = \frac{\sigma_e}{k} \times 0.8$$

A.N :

$$[\tau]_{\text{cis}} = \frac{785.6}{2.2} \times 0.8 = 285.66 \text{ N/mm}^2$$

P : Poids de la batterie éjectrice ; $F = 97.25\text{N}$

S : Section cisailée ; $\frac{\pi \times d^2}{4}$

d : Diamètre de la tige de rappel et de 16 mm

n : Nombre de colonnes de rappel ;

k : Coefficient de sécurité,

A.N :

$$\tau = \frac{4 \times 97.25}{3.14 \times 2.2 \times 16^2} = 0.21 \text{ N/mm}^2$$

$\tau \leq [\tau]_{\text{cis}}$, donc la condition est vérifiée.

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

Condition de résistance :

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

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

A.N :

$$[\tau] = \frac{580}{2.2} \times 0.8 = 210.9 \text{ N/mm}^2$$

N : Nombre de vis, n = 4 ;

K : Coefficient de sécurité ;

D : Diamètre de la vis ;

F : Poids de l'empreinte fixe et porte empreinte fixe ;

$$F = 456.52 + 72.46 = 528.98 \text{ N}$$

$$S = \frac{\pi \times 64}{4} = 50.24 \text{ mm}^2$$

D'où:

$$\tau = \frac{528.98}{4 \times 50.24} = 2.36 \text{ N/mm}^2$$

$\tau = 2.36 \leq [\tau]_{\text{cis}}$, la condition est vérifiée .

3-6- Vérification des vis de fixation de la semelle mobile avec les tasseaux au cisaillement :

Condition de résistance :

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

N : Nombre de vis, n = 4 ;

d : Diamètre de la vis d = 12mm

F : Poids des tasseaux, de contre plaque et de porte empreinte mobile ;

$$F = 146.43 + (55.93 \times 2) + 453.89 = 730.18 \text{ N}$$

$$S = \frac{\pi \times 12^2}{4} = 113.04 \text{ mm}^2$$

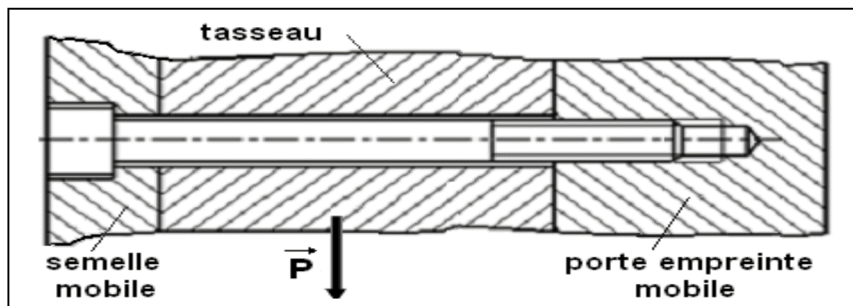
$$\tau = \frac{730.18}{4 \times 113.04} = 1.61 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = 1.61 \leq 580 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau \leq [\tau]_{\text{Cis}}$$

Donc la condition est vérifiée.

V-3-7- Vérification des vis de fixation, des tasseaux et de la porte empreinte mobile au cisaillement :



Condition de résistance :

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

Avec :

d : Diamètre de la vis d= 12mm

N : Nombre de vis, n =4 ;

F : Poids de la porte empreinte et de ces composantes

$$F = 453.89 + 72.83 + (4 \times 0.036) = 526.86 \text{ N}$$

$$S = \frac{\pi \times 12^2}{4} = 113.04 \text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{526.86}{3.14 \times 12} = 1.16 \text{ N/mm}^2$$

$\tau \leq [\tau]_{\text{cis}}$, donc la condition est vérifiée.

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

Condition de résistance :

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

d : Diamètre de la vis d= 12mm

N : Nombre de vis, n =4 ;

$$S = \frac{\pi \times 12^2}{4} = 113.04 \text{ mm}^2$$

a) Semelle fixe :

F : Poids de la semelle ; F= 159.9 N

$$\tau = \frac{159.9}{3.14 \times 12^2} = 0.35 \text{ N/mm}^2$$

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

Donc la condition est vérifiée

b) Partie mobile :

F= 164.43 N

$$\tau = \frac{164.43}{3.14 \times 12^2} = 0.36 \text{ N/mm}^2$$

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

Donc la condition est vérifiée.

I- Usinage des pièces du moule :

Généralement la mise en forme de la matière pour produire des pièces de différents types de machines et d'appareils fait appel à des techniques très diverses et suivant l'état de la matière (liquide, solide ou pulvérulent),

Donc deux types de solutions se présentent :

- La mise en forme par enlèvement de la matière qui est l'usinage ou coupe de matière et qui occupe une place de première importance en construction mécanique et dont les moyens sont sans cesse perfectionnés pour diminuer le coût de fabrication et améliorer la qualité du travail réalisé.
- La mise en forme sans enlèvement de la matière et parmi lesquelles on peut citer : Le Formage à chaud et à froid, La Fonderie et le Frittage.

Ce qui nous intéresse dans cette étape est l'usinage des différentes pièces du moule, pour cela on donne un exemple de l'empreinte (fixe).

I-1- Choix de la machine d'usinage :

Le type de machine est sélectionné en fonction des données suivantes :

- Morphologie des pièces à usiner ;
- Dimensions et poids des pièces à usiner ;
- Précisions d'usinage demandées ;
- Quantités de pièces à usiner par lancement ;
- Nature des matériaux usinés par l'entreprise ;
- Diversité et complexité des usinages ;
- Encombrement au sol, compte tenu de l'espace disponible dans l'atelier.

Vu la précision et la complexité de la pièce, on opte pour la machine-outil à commande numériques (MOCN), qui impose actuellement sa technologie dans le domaine de l'usinage, pilotée par un programme qu'on obtient en simulation par le biais de l'outil *DS CATIA Machining V5*. Comparé à l'outil *CAMWorks* du logiciel *DS SolidWorks 2013*

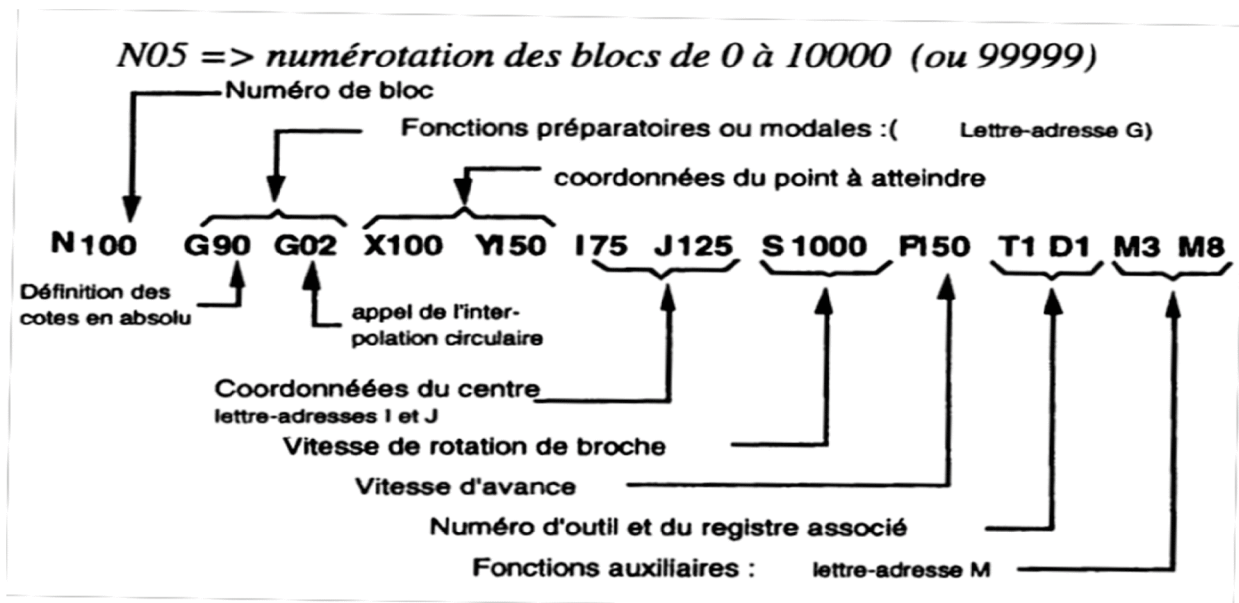
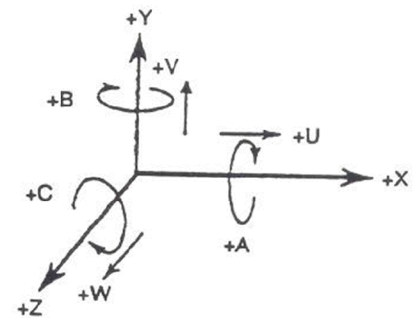
I-2- Simulation et programmation par l'outil Machining :

La simulation de l'usinage est faite avec l'outil *Machining* du logiciel *CATIA V5* qui génère les programmes de fabrication sous format *APT* et *CNC*, après avoir effectué un bon choix des paramètres de fabrication (la stratégie d'usinage, choix des conditions de coupes et des outils, changements automatiques d'outils.....), les programmes ainsi générés présentent des erreurs, alors que leur vérification est nécessaire avant la validation.

Le passage du premier logiciel (*DS SolidWorks*) au second (*DS CATIA Machining V5*) a été effectué à l'aide du format d'échange standard « *IGES* ».

Organisation d'une instruction d'usinage :

- Axes linéaires: X, Y, Z
- Axes secondaires: U, V, W
- Axes Rotatifs: A, B, C



G02 => 2 chiffres de 0 à 99 pour les fonctions préparatoires

X+05.3 Y+05.3 Z+05.3 : Pour les cotes 5 chiffres possibles, pour les entiers suivis de 3 chiffres pour les décimales

I+05.3 J+05.3 K+05.3 comme ci-dessus

U+05.3 V+05.3 W+05.3 comme ci-dessus

A+03.3 B+03.3 C+03.3 coordonnées

angulaires **F05.2** pour définir les vitesses d'avance.

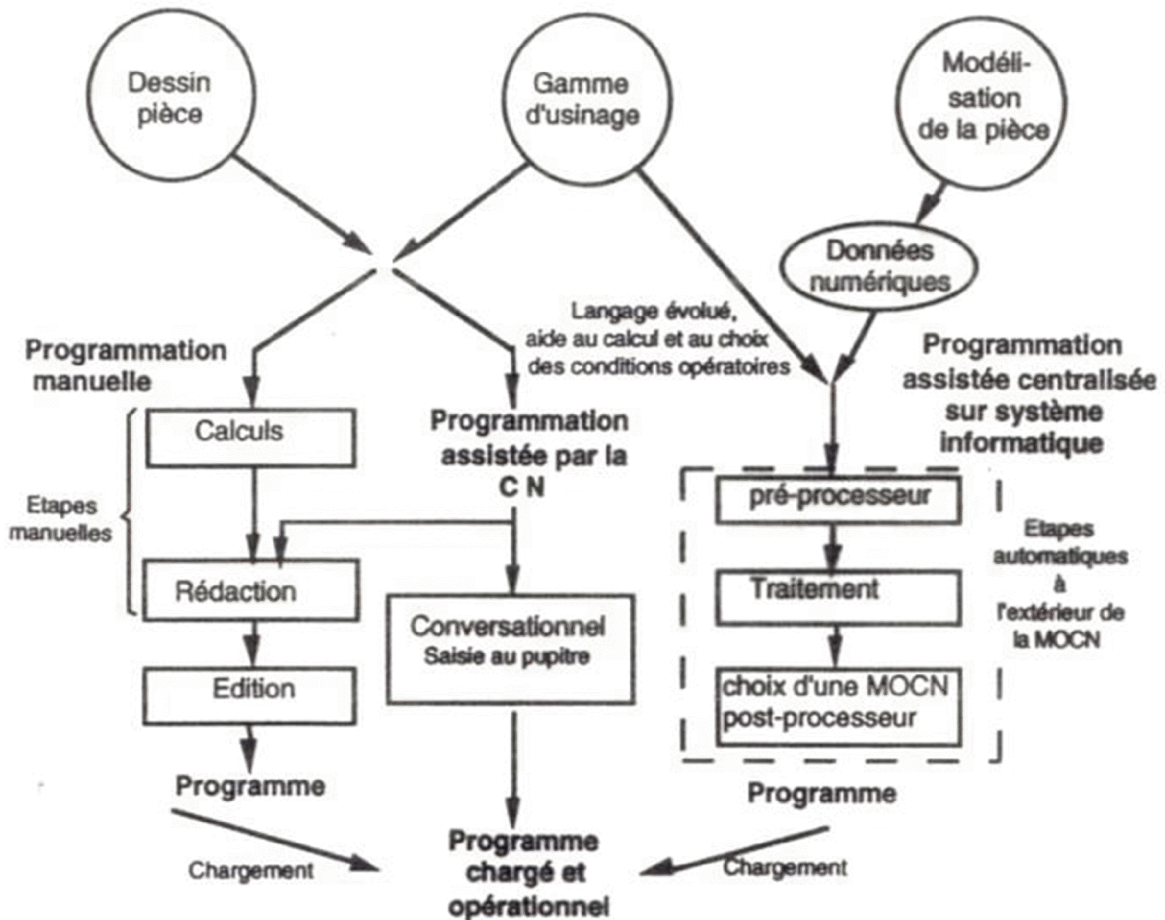
S05 vitesse de rotation de la broche en tours/mn.

M03 2 chiffres pour les fonctions auxiliaires.

T05 numéro d'outil à 3 chiffres.

D03 numéro de registre pour correcteurs d'outil.

La programmation des machines-outils :



a- Conditions de coupe:

L'obtention d'un état de surface spécifié sur le dessin de définition d'une pièce influence le choix et les conditions de coupe à savoir :

- La valeur de l'avance et la géométrie de pointe de l'outil ;
- La valeur de la vitesse de coupe et la nature du travail ;
- La nature et les caractéristiques du matériau usiné ;
- Les vibrations du système « machine-pièce ».

- **Paramètres de coupe fraisage :**

Symboles	Désignations	Unité	Calcul
Vc	La vitesse de coupe	m /min	Imposé par le fabricant d'outil
Vf	Vitesse d'avance pour le Fraisage	mm/min	$Vf = N * z * f$
N	La vitesse de broche	trs / min	$N = 1000 Vc / \pi D$
F	L'avance par dent	mm/dent	Fonction de la rugosité désirée, du copeau mini
Z	Nombre de dents sur la fraise		
A	La profondeur de passe	mm	1/3 de la largeur de la plaquette maxi. Fonction du diagramme brise copeaux.
Tc	Le temps de coupe	min	$Tc = 1 / f * z * N$

Tab.18 : les paramètres de coupe fraisage

- **Le processus d'usinage:**

Nous avons une rugosité générale de l'empreinte, hormis le passage des inserts ou $Ra=0.8$, qui est de 1.6 et une dureté $HB=170$, ce qui impose une ébauche et une finition réalisées sur machine-outil à commande numérique avec des fraises en carbure selon les phases suivantes :

Phase une : contrôle du brut.

Phase deux : insertion du programme d’usinage dans la commande numérique et son exécution.

Phase trois : contrôle finale.

Caractéristiques	Intervalle de tolérance			Qualité		Etat de surface			
	IT ≥0.3	IT ≥ 0.05 Et IT < 0.3	IT ≤0.05	Sup 12	8 9 10 11	6 7	Ra ≥ 6.3	Ra > 0,8 Ra < 6.3	Ra ≤ 0.8
Opérations	F	E F	E ½ F	F	E F	E ½ F	F	E F	E ½ F F

Tab.19. Relation entre les tolérances et le nombre d’ébauche et finition

• **Choix des paramètres de coupe :**

Lorsqu’on fait un usinage unitaire, il n’est pas nécessaire d’optimiser les conditions de coupe. On se contente alors de faire le bon choix des paramètres suivants pour que l’usinage se passe bien :

- La vitesse de coupe (Vc) ;
- L’avance par dent (f) ;
- La profondeur de passe (a).

Paramètres de coupe	Ebauche			Finition	perssage
	T1	T2	T3	T4	T5
Vc (m/min)	80	50	40	75	50
f (mm/dent)	0,45	0,06	0,02	0,05	0.02
a (mm)	1	0,6	0,2	0,1	0.1
Z	7	3	3	3	3
D (mm)	100	8	4	4	4

Tab.20.Paramètres de coupe

- **Calcul des conditions de coupe (N,Vfet tc) :**

Fraise à surface dressée (T1) :

$$N=1000*(Vc/\pi D)$$

A.N :

$$N= 254.77 \text{ trs/min}$$

$$N \text{ corrigée } =250 \text{ Tr/min}$$

$$V_{cc}= 78.5 \text{ m/min}$$

$$V_f=N_c*Z*f$$

A.N :

$$V_f= 787\text{mm/min}$$

Fraise à queue cylindrique à 2 tailles (T2):

$$N=1000*(Vc/\pi D)$$

A.N :

$$N=1990 .44 \text{ trs/min}$$

$$N \text{ corrigée } = 2000 \text{ trs/min}$$

$$V_{cc}=50\text{m/min}$$

$$V_f=N_c*Z*f$$

A.N :

$$V_f = 360 \text{ mm/min}$$

Fraise cylindrique à deux tailles (T3) :

$$N = 1000 * (V_c / \pi D)$$

A.N :

$$N = 6369,42 \text{ trs/min}$$

$$N \text{ corrigée} = 6360 \text{ trs/min}$$

$$V_{cc} = 40 \text{ m/min}$$

$$V_f = N_c * Z * f$$

$$V_f = 382 \text{ mm/min}$$

Fraise à queue cylindrique à deux tailles (T4) :

$$N = 1000 * (V_c / \pi D)$$

A.N :

$$N = 2388,53 \text{ trs/min}$$

$$N \text{ corrigée} = 2390 \text{ trs/min}$$

$$V_{cc} = 75 \text{ mm/min}$$

$$V_f = N_c * Z * f$$

$$V_f = 358 \text{ mm/min}$$

Foret (T5) :

$$N = 1000 * (V_c / \pi D)$$

A.N :

$$N = 7961,78 \text{ tr/min}$$

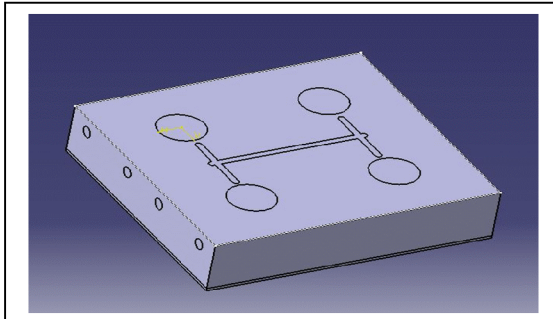
$$N \text{ corrigée} = 7960 \text{ tr/min}$$

$$V_{cc} = 50 \text{ mm/min}$$

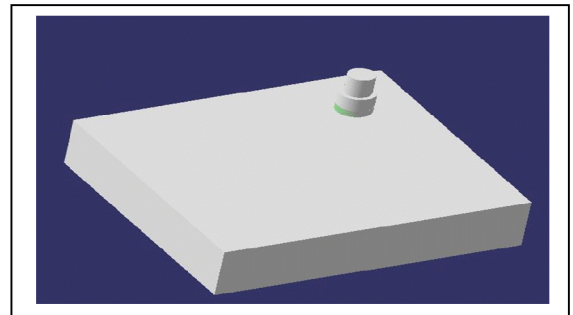
$$V_f = N_c * Z * f$$

$$V_f = 239 \text{ mm/min}$$

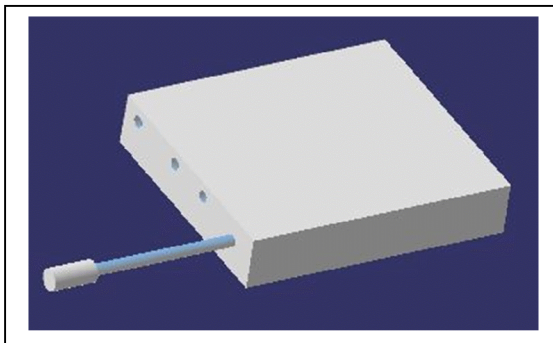
Images des différentes étapes de l'usinage :



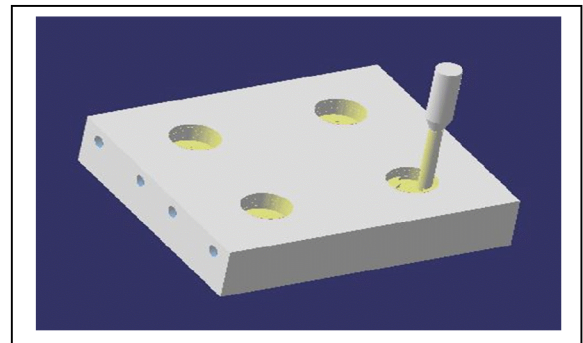
Brute



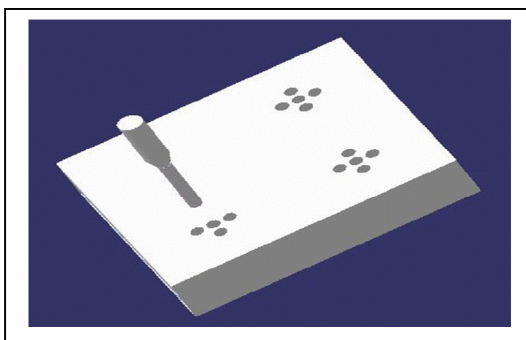
Surfaçage



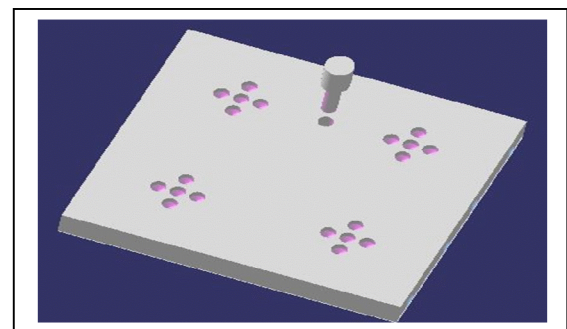
Perçage 1



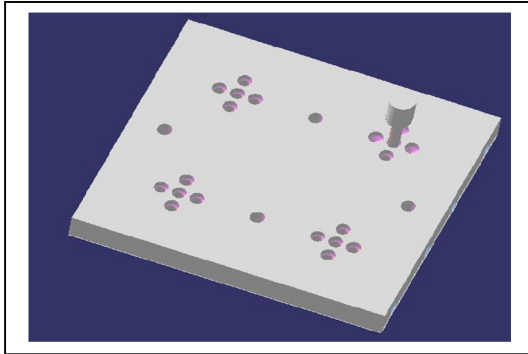
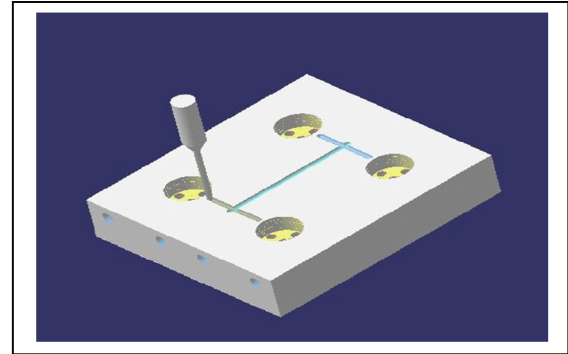
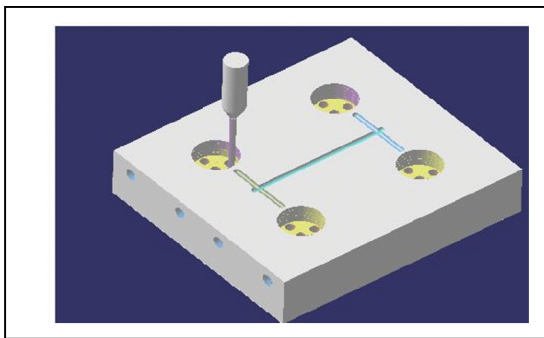
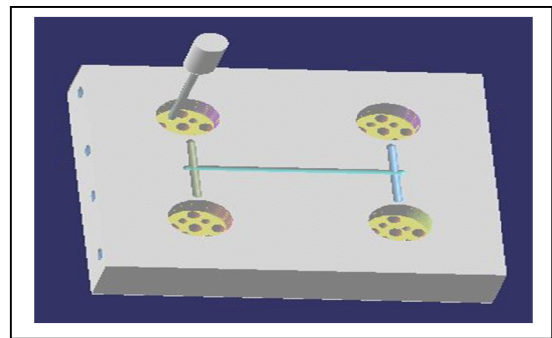
Ebauche 1



Perçage 2



Perçage pour les vis

**Perçage pour les inserts****Contournage****Finition****Perçage pour les éjecteurs****Fig.1.** Différentes étapes de l'usinage**I-3- Dessin de définition des éléments constitutifs du moule:**

Il précise complètement et sans ambiguïté les exigences auxquelles le produit doit satisfaire dans l'état de finition prescrit. Ce dessin fait partie des documents qui font foi dans les relations entre les parties contractantes.

La lecture et la compréhension de ce document de base doivent être aisées et rapides.

Il traduit les vœux et besoins du bureau des études responsables de la conception.

Dimensions nominales		0,5 à 3	de 3 à 6	de 6 à 30	de 30 à 120	de 120 à 315	de 315 à 1000	1000 à 2000	2000 à 4000
Ecart (mm)	Série fine	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	-	-	-
	Série moy	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2
	Série grossière	-	± 0,2	± 0,5	± 0,8	± 1,	± 2	± 3	± 4

Tab.20.Écart des ajustements les plus couramment utilisés

CONCLUSION GENERALE

Ce travail est le fruit d'une collaboration avec l'ENIEM, où nous avons effectué un stage de deux mois ; qui nous a permis de se rapprocher du secteur de l'industrie et de compléter nos connaissances dans le domaine de la conception.

Nous avons à travers cette étude, présenté les matières plastiques fréquemment utilisées dans la fabrication des pièces mécaniques, et les avantages procurés par ces matières. L'accent est mis sur l'ABS (acrylonitrile Butadiène Styrène) qui constitue la matière de la pièce de l'étude. De même, les méthodes de mise en œuvre de ces pièces telles que l'injection, l'extrusion...etc, ont été exposées.

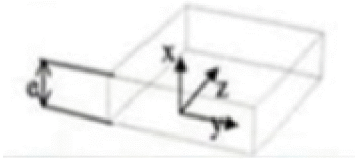
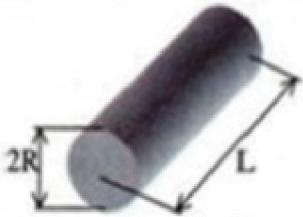
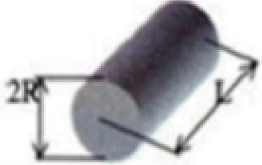
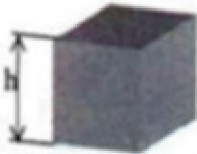
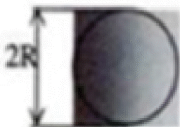
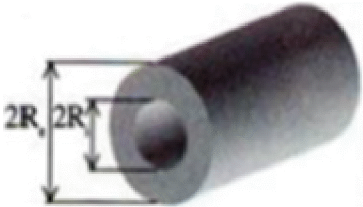
La conception du moule d'injection plastique correspondant à la pièce « roue en ABS » demandée par l'ENIEM, a été élaboré par le logiciel « SolidWorks », et les dessins de définition de chaque élément constituant le moule ont été donc déterminés.

Cette étude est complétée par le calcul de résistance des éléments du moule, donnant un résultat concluant, satisfaisant le cahier de charge exigé par l'ENIEM.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : Jacki AUBRY/ LES MATIERES PLASTIQUES / TECHNOLOGIE DES MATERIAUX.
- [2] : S.BERRABAH et M.AISSOUNE : Etude, conception et réalisation d'un moule d'injection plastique d'un cache poignée d'un réfrigérateur ENIEM/Mémoire d'ingénieur/ Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, promotion 2012.
- [3] : Cours matériaux 2008 /microstructure des polymères/ Jean Marc HAUDIN, CEMEF
- [4] : K.LATTARI : Etude, conception et réalisation d'un moule d'injection plastique/ Mémoire d'ingénieur / Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, promotion 2010.
- [5] : Jacques.NKONGO DIM : Les polymères dans l'industrie / Université de Douala – Cameroun, promotion 2005.
- [6] : Claude COBRET / Mémotech matières plastiques : matériaux et outillages de mise en forme / Edition CASTEILLA, 2012.
- [7] : ANA MARIA BIANCHI, Transfer thermique, ISBN 2-88074-496-2, 2004.
- [8] : Jacki AUBRY / LES MATIERES PLASTIQUES/ TECHNOLOGIE DES MATERIAUX.
- [9] : K.TOUAHIR et H.HAMOUDI /Etude, conception et réalisation d'un moule d'injection plastique pour couverture pour la boîte de lampes d'un réfrigérateur ENIEM 520L.
- [10] : Michel CHATAIN / Technique de l'ingénieur / Injection des thermoplastiques : les moules / Mise à jour 2012.
- [11] : Thomas MUNCH / Technique de l'ingénieur / Moule pour l'injection des thermoplastiques : Généralités et périphériques / 10 octobre 2010.
- [12] : Thomas CHATAIN / Technique de l'ingénieur / Moule pour l'injection des thermoplastiques : Conception et réalisation / 10 juillet 2011.

ANNEXE : 1

Géométrie	Conditions limites	Equation
	<p>Plaque</p> $Q_z = 0$ $Q_y = 0$	$t_R = \frac{e^2}{D\pi^2} \ln \left[\frac{8}{\pi^2} \frac{T_i - T_M}{T_e - T_M} \right]$
	<p>Cylindre</p> $Q_y = 0$ $Q_z = 0$ $L \gg R$	
	<p>Cylindre</p> $Q_y = 0$ $L \approx R$	
	<p>Cube</p>	
	<p>Sphère</p>	
	<p>Cylindre creux</p> $Q_y = 0$ $Q_z = 0$	

Équations pour le calcul des temps de refroidissement

ANNEXE : 2

- Paramètres d'injection de différents thermoplastiques								
T_m , T_i , T_s respectivement température du moule, température d'injection et solidification								
	Symbole (1)	T_m (°C)	T_i (°C)	T_s (°C)	$\Delta T = T_i - T_s$	Viscosité		
						bonne	moyenne	faible
POLYMÈRES AMORPHES	PPO	80	300	120	180			
	PEI	100	370	215	155			
	PMMA	70	245	100	145			
	ABS	75	250	110	140			
	ASA	75	245	105	140			
	SAN	80	255	115	140			
	PS	45	225	100	125			
	SB	70	225	100	125			
	PES	150	350	230	120			
	PSU	150	315	200	115			
	PVC	35	195	100	95			
	PC	90	300	150	150			
	CAB	55	215	140	75			
TPU (2)	35	210	150	60				
POLYMÈRES CRISTALLINS	PE	25	250	140	110			
	PP	35	255	165	90			
	LCP (3)	175	400	330	70			
	PA 11	60	230	175	55			
	PA 12	60	230	175	55			
	FEP	150	340	290	50			
	PET	140	285	245	40			
	PBT	60	265	225	40			
	PPS	110	330	290	40			
	PEEK	160	370	334	36			
	PA 6-10	90	250	215	35			
	PA 6	90	250	220	30			
	PA 6-6	90	285	255	30			
POM	100	200	181	19				

Température dans la zone du seuil pour ΔT (°C)

Froide	Chaude	Très chaude
180	100	60
180	100	25

(1) Se reporter au chapitre [A 3 012] *Plastiques*. Symboles dans le présent traité.

(2) TPU : élastomère thermoplastique de polyuréthane.

(3) LCP : polymères à cristaux liquides.

ANNEXE : 3

	ρ kg m ⁻³	c_p J kg ⁻¹ °C ⁻¹	λ W m ⁻¹ °C ⁻¹		ρ kg m ⁻³	c_p J kg ⁻¹ °C ⁻¹	λ W m ⁻¹ °C ⁻¹
Métaux et alliages				Matériaux de construction			
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 caverneux	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	Matériaux isolants			
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
Matériaux divers				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

Propriétés physiques de certains corps

ANNEXE : 4

Propriétés de l'eau à saturation							Propriétés de l'air à 1 atm						
θ	ρ	c_p	λ	$10^4 \mu$	$10^7 a$	Pr	θ	ρ	c_p	λ	$10^5 \mu$	$10^5 a$	Pr
$^{\circ}\text{C}$	kg.m^{-3}	$\text{J.kg}^{-1}.\text{}^{\circ}\text{C}^{-1}$	$\text{W.m}^{-1}.\text{}^{\circ}\text{C}^{-1}$	Pa.s^{-1}	$\text{m}^2.\text{s}^{-1}$		$^{\circ}\text{C}$	kg.m^{-3}	$\text{J.kg}^{-1}.\text{}^{\circ}\text{C}^{-1}$	$\text{W.m}^{-1}.\text{}^{\circ}\text{C}^{-1}$	Pa.s^{-1}	$\text{m}^2.\text{s}^{-1}$	
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	0,945	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	0,745	1025	0,0386	2,57	5,05	0,68
220	842	4610	0,652	1,26	1,68	0,89	220	0,709	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	0,615	1045	0,0450	2,93	6,99	0,68

Corrélations entre θ et 100°C

(θ : température en $^{\circ}\text{C}$, T température en K)

Pour l'air

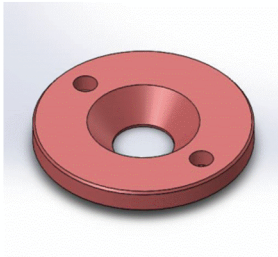
- $\rho = \frac{353}{(\theta + 273)}$ kg m^{-3}
- $c_p = 1008$ $\text{J kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- $\lambda = 7,57 \cdot 10^{-5} \theta + 0,0242$ $\text{W m}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- $\mu = 10^{-5} (0,0046 \theta + 1,7176)$ Pa s^{-1}
- $\alpha = 10^{-5} (0,0146 \theta + 1,8343)$ $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$
- $\text{Pr} = -2,54 \cdot 10^{-4} \theta + 0,7147$
- $\beta = \frac{1}{T}$ K^{-1}

Pour l'eau

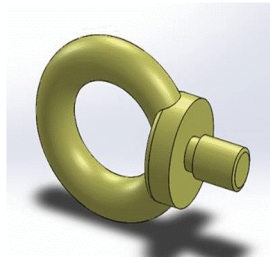
- $\rho = -0,00380\theta^2 - 0,0505\theta + 1002,6$ kg m^{-3}
- $c_p = 4180$ $\text{J kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- $\lambda = -9,87 \cdot 10^{-6} \theta^2 + 2,238 \cdot 10^{-3} \theta + 0,5536$ $\text{W m}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- $\mu = 10^{-4} \frac{17,9 - 0,07377\theta + 0,0003354\theta^2}{1 + 0,03032\theta + 8,765 \cdot 10^{-5} \theta^2}$ Pa.s^{-1}
- $a = 10^{-7} (-0,00360 \theta + 1,340)$ $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$
- $\text{Pr} = \frac{13,06 + 1,387\theta - 0,0037\theta^2}{1 + 0,12407\theta + 0,005297\theta^2}$
- $\frac{g \beta \rho^2 c_p}{\mu \lambda} = (0,0105\theta^2 + 0,477\theta - 0,0363) 10^9$ $\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \text{ m}^{-3}$
- $\log_{10} [p_{\text{sat}}(T)] = 20,3182 - \frac{2795}{T} - 3,868 \log_{10}(T)$ mmHg $-50^{\circ}\text{C} < \theta < 200^{\circ}\text{C}$
- $L_v = 2495 - 2,346 \theta$ kJ.kg^{-1} $0^{\circ}\text{C} < \theta < 100^{\circ}\text{C}$

Propriétés physiques de l'air et de l'eau

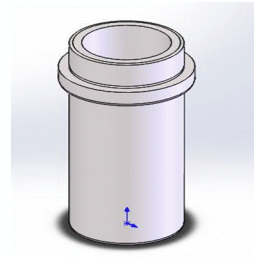
ANNEXE : 5



Anneau de centrage



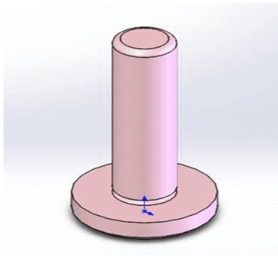
Anneau de levage



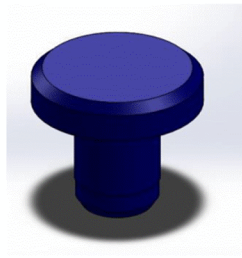
Bague de guidage



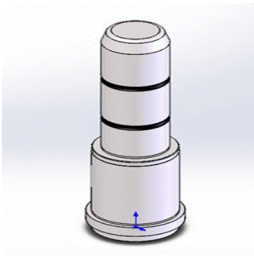
Bague



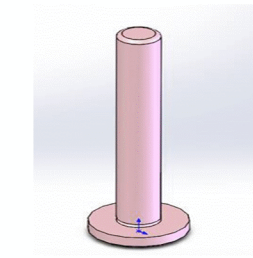
Buse d'injection



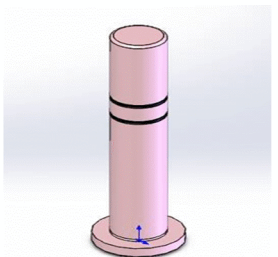
Butée de course d'injection



Colonne de guidage



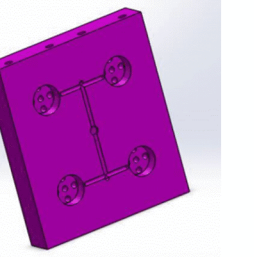
Colonne de sécurité



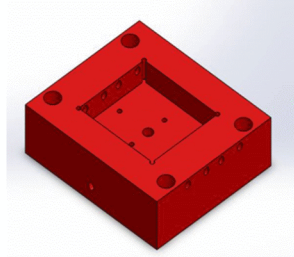
Colonne de guidage pour batteries



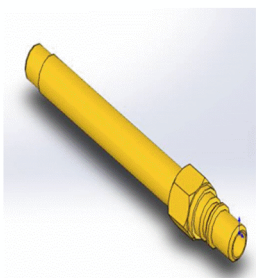
Ejecteur



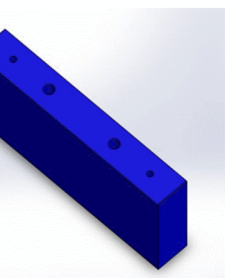
Empreinte mobile



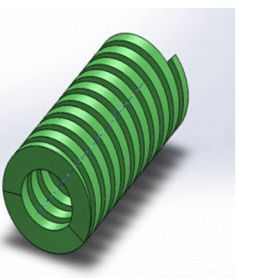
Porte empreinte mobile



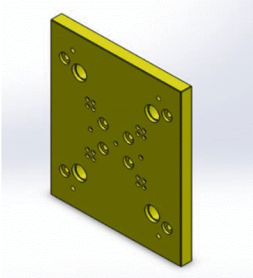
Tétine



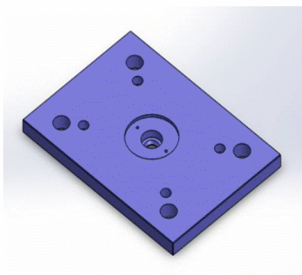
Tasseau



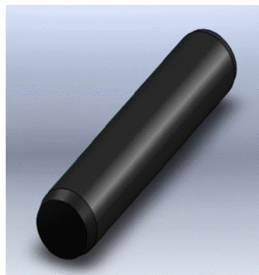
Ressort



semelle fixe



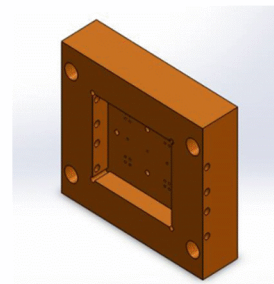
Semelle mobile



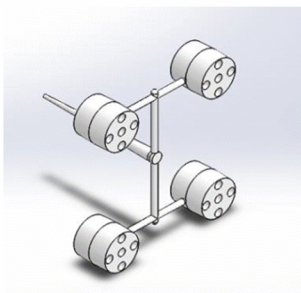
Goupille



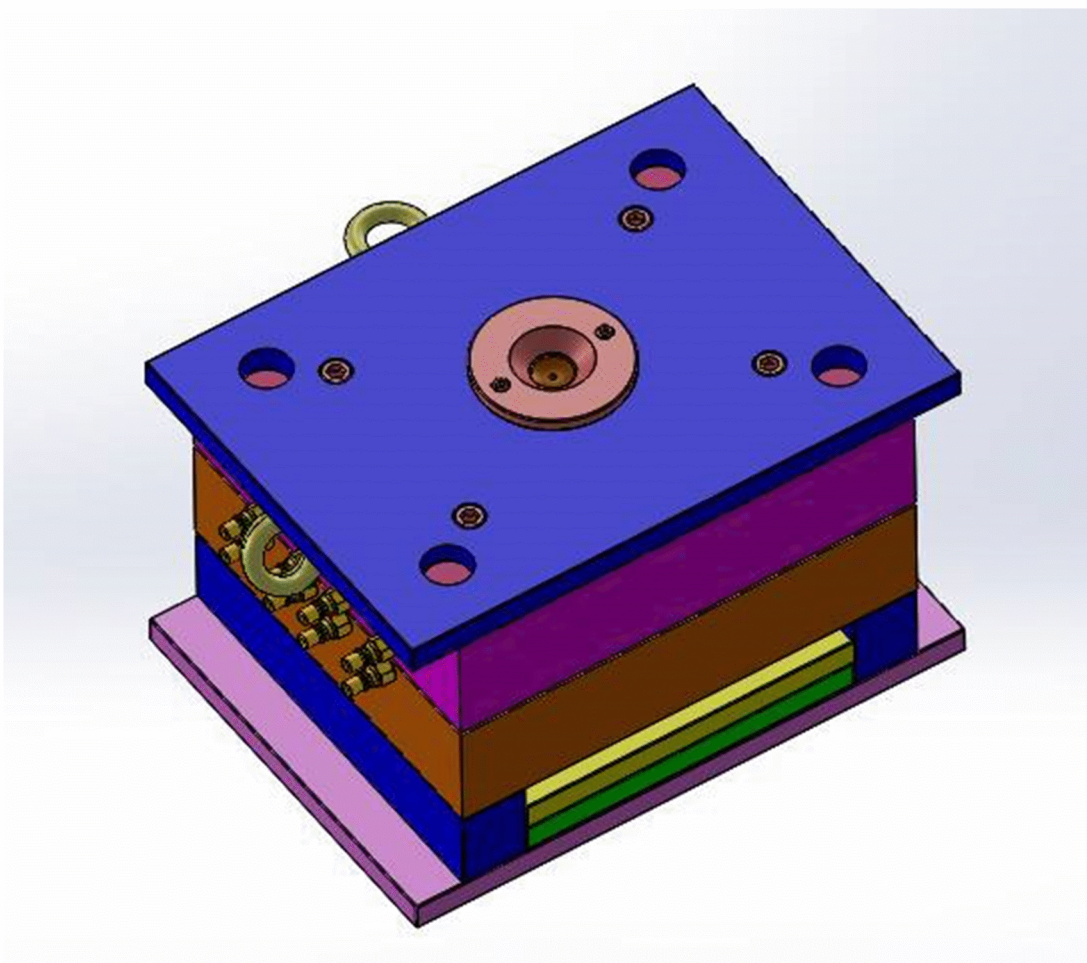
Insert



Porte empreinte fixe



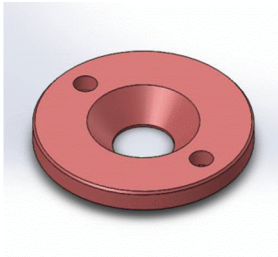
La carotte



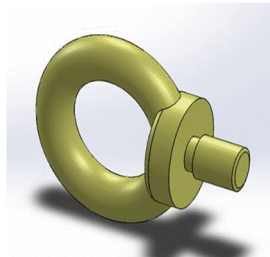
Assemblage final

Pièces conçues par le logiciel solidworks

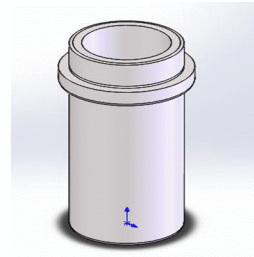
ANNEXE : 5



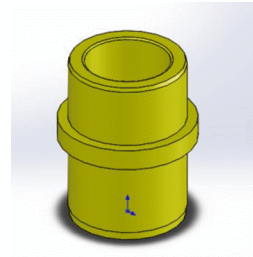
Anneau de centrage



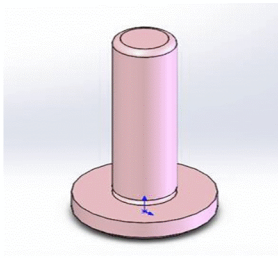
Anneau de levage



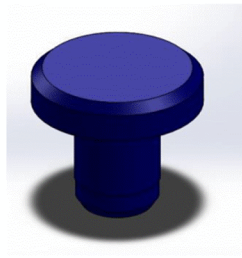
Bague de guidage



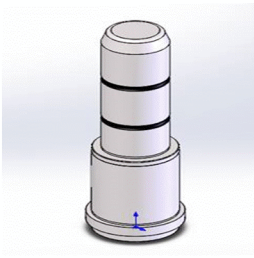
Bague



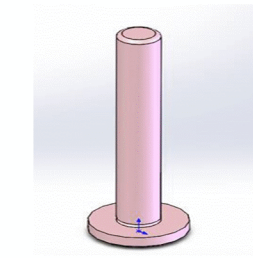
Buse d'injection



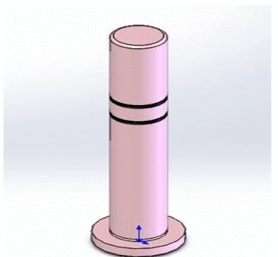
Butée de course d'injection



Colonne de guidage



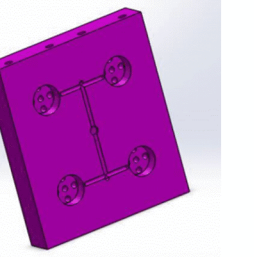
Colonne de sécurité



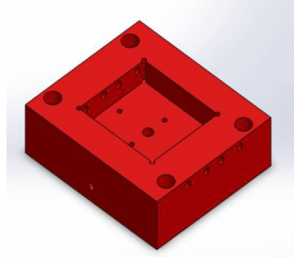
Colonne de guidage pour batteries



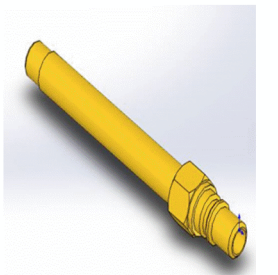
Ejecteur



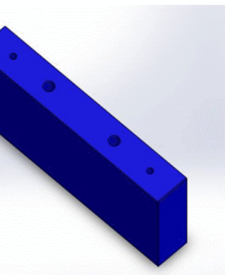
Empreinte mobile



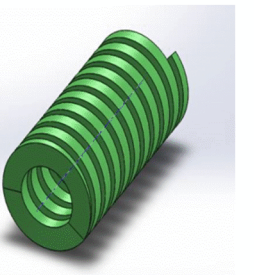
Porte empreinte mobile



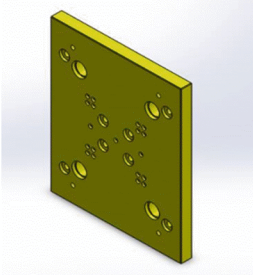
Tétine



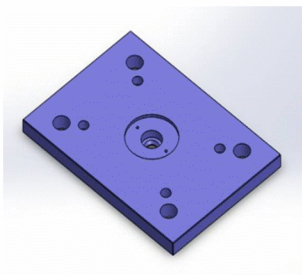
Tasseau



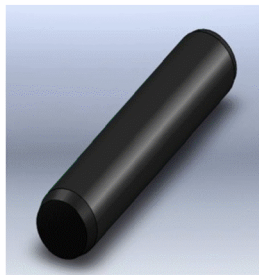
Ressort



semelle fixe



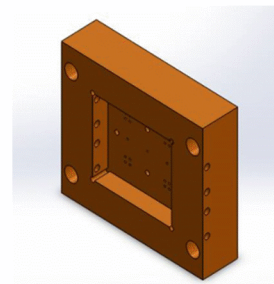
Semelle mobile



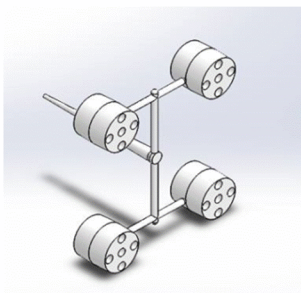
Goupille



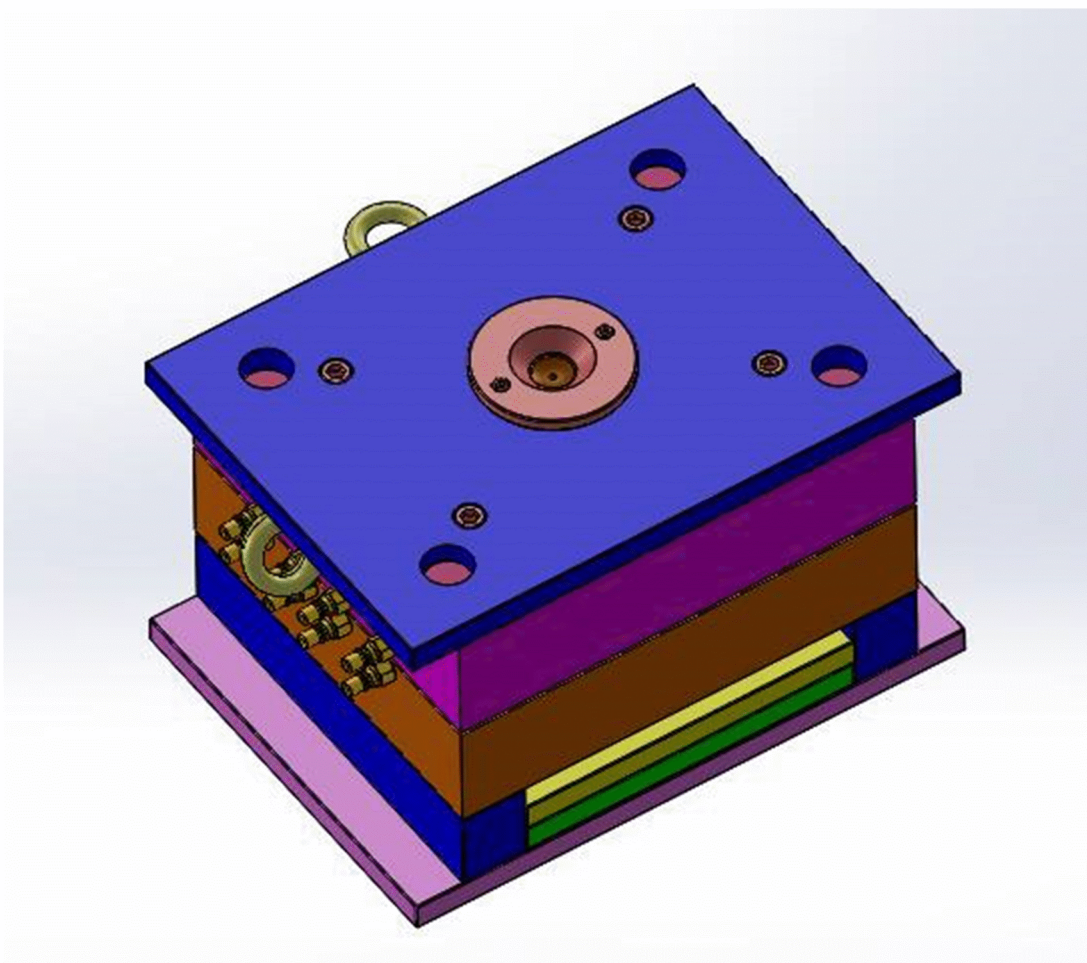
Insert



Porte empreinte fixe



La carotte



Assemblage final

Pièces conçues par le logiciel solidworks