

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



**UNIVERSITÉ SAAD DAHLAB DE BLIDA 1
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE MÉCANIQUE**

Projet fin d'Etude Master en Génie Mécanique

Option : Construction Mécanique

Thème :

**L'Étude et Conception Pratique d'un Moule par Injection
Plastique (fixation d'un profilé H)**

Réalisée Par :

- BENNAI Meriem

Promoteur :

- MR. ABADA Mourad

Co-Promoteur :

- TERKAWI Hossam

Année universitaires : 2022/2023

Remerciements

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au dieu et de soutien de mes parents **ZOUBIR BENNAI ET AMEL NOUMA** et mes frères **MOSTAPHA, Mohamed , Abderrahmane** à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude. je suis fière d'être votre unique fille, merci pour votre éducation. Vous êtes mon bonheur éternel.

Je voudrais tout d'abord adresser toute ma reconnaissance à Monsieur ABADA Mourad le promoteur de mon mémoire, le Co promoteur Monsieur TERKAWI Hossam, Directeur de SARL Optimind, Mes chères amies, Meriem khelif , Amina Kennoudi , Sarah meziani, Mounia mezianini, Ihcene rabeah , Chahrazed djar ,Meriem ABBAS ,Meriem Mahfoudi, Amina ISAMILI, Aya MEJAHDI , pour la patience, la disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je désire aussi remercier les professeurs de l'université de Mécanique, Monsieur TEMMAR Mustapha, Monsieur-chef Département KETFI Omar, qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études universitaires.

Je tiens à remercier spécialement Monsieur TERKAWI Hossam, qui fut la première à me faire découvrir le sujet qui a guidé mon mémoire.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers les amis et collègues du département d'informatique, plus précisément le club IT COMMUNITY, qui m'ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

Un grand merci à **mon père Zoubir** pour m'offrir toutes les sources et les conditions pour que je puisse étudier et rédiger afin pour l'obtention de mon diplôme du master, il a grandement facilité mon travail.

Je remercie spécialement mes collègues, du construction mécanique, promo2023, Bouchera, Rahma, Mohamed, Samir, Fares, Imad, Mohamed, Abderahmen, Monaim, la cafétéria du pavillon 09 on à passer de bon moments , ravie de votre connaissances.

Enfin, je tiens à témoigner toute ma gratitude pour les membres du jury, d'avoir accepté ce travail et pour leur confiance et leur soutien inestimable.

Dédicace

*Je dédie ce petit fruit mon travail, mon mémoire pour
moi la fille unique de mes chères parents ,ma mère
Amel, mon père zoubir , mes frères Mustapha,
Mohamed, Aderahmen,pour mes chères sœurs et amies
Amina KENNOUDI,Meriem KHELIF,SARAH
MEZ,Chahrazed DJIAR,Meriem MAHFOUDI ,Meriem
ABBAS,TATA Moufida,mes chères couzines
,OUMNIA,DOUNIA,ROMEY ,NARIMEEN,GHIZELENE
,Souhaib benachour pour tout le soutien durant mon
parcours d'étude dans département Mécanique , mes
chères collègues du club it community Blida, citons ;
tarek BOURAS,Billel TEMMAR, khaoula tatli, et tout les
membres du club*

Merci Amany pour la meilleure vidéo après soutenance

A la fin je voudrais dire « Battrez toujours pour ce que vous aimez »

Meriem BENNAI (El yakoute)

Résumé

Le thème traité parle de l'étude et de la conception d'un moule par la méthode d'injection plastique, le but recherché, c'est d'arriver à comprendre la partie, concevez dans les bureaux d'étude, d'analyser le matériel utiliser, savoir réaliser et modéliser le produit par un logiciel CAO, l'outillage utilisé dans l'industrie de plasturgie, savoir gérer les différents problèmes de moulage connus, et finalement l'étude économique pour but de fabriquer un produit qualité et prix.

Mot clés : injection, presse à injecter, outillage, moule, empreinte, éjecteur, CAO, SolidWorks, thermoplastique, choix des aciers, cavités.

Abstract

The topic is about the study and design of a mould by the plastic injection method, the goal is to understand the part, design in the design offices, analyse the material used, know how to make and model the product using CAD software, the tools used in the plastics industry, know how to manage the various known moulding problems, and finally the economic study for the purpose of producing a quality and price product.

Keywords: injection, injection moulding, tooling, mould, impression, ejector, CAD, SolidWorks, thermoplastic, choice of steels, cavities

ملخص

يتحدث الموضوع المعالج عن الدراسة بطريقة الحقن البلاستيكي، والهدف هو فهم الجزء المتصور في مكاتب الدراسة، لتحليل المواد المستخدمة، ومعرفة تنفيذ المنتج بواسطة برنامج حاسوبي، النمذجة، الأدوات المستخدمة في صناعة معالجة البلاستيك، لمعرفة إدارة مختلف مشكلات التشكيل المعروفة، وأخيرا الدراسة الاقتصادية لغرض تصنيع نوعية المنتج وسعره

الكلمات الرئيسية: الحقن، ضغط الحقن، الأدوات، التجويف، اللفظ، الرسم الهندسي، صوليد ووركس، البلاستيك الحراري، الاختيار الفولاذ

Table des Matières :

Chapitre I : Propriétés Mécaniques et mise en formes des Matières plastique

Introduction générale.....	1
1.1 Introduction	2
1.2 Principe général de transformation	3
1.3 Les plastique	4
1.4 Les polymères	5
1.4.1 Définition d'un polymère.....	5
1.4.2 Classification	5
1.4.3 Linéaire	5
1.4.4 Branchée	6
1.4.5 Réseau	6
1.5 Thermoplastique	6
1.6 Polymères amorphes	7
1.7 Polymères cristallins	7
1.8 Polymères semi-cristallins	7
1.9 Structures des polymères	8
1.10 Les caractéristiques des thermoplastiques les plus utilisés dans l'injection plastiques	9
1.11 Propriétés, additifs et viscosité du plastique.....	11
1.11.1 Charges et fibres courants.....	11
1.11.2 Les additifs et les adjuvants	12
1.12 Thermodurcissables	12
1.13 Les élastomères thermoplastiques TPE	14
1.14 Méthodes de production du plastiques	14
1.15 Moulage par compression	15
1.16 Extrusion.....	16
1.17 Moulage par soufflage.....	17
1.18 Thermoformage	18
1.19 Le Processus d'injection Du Plastique.....	19
1.20 Cycle d'injection	19
1.20.1 Les différents étapes d'injection plastiques.....	20

Chapitre II : la Machine d'injection

2.1 Introduction	21
2.2 Fonctionnement D'une Presse A Injection	22
2.3 Types Des Presses	23

2.4 Les Equipements D'une Presse A Injection	23
2.4.1 Trémie D'alimentation (La Cuve)	23
2.4.2 La Buse D'injection	23
2.4.3 Vis Fourreau	23
2.4.4 Plateau Fixe / Plateau Mobile	24
2.4.5 Console De Commande	24
2.4.6 Sommier De Bâti.....	24
2.4.7 Mécanisme De Fermeture- Genouillère Et Vérin	24
2.4.8 Le Moule	24
2.4.9 Moteur Réducteur	24
2.4.10 Éjecteur	25
2.5 Les Caractéristiques Technique D'une Presse D'un Injection Plastique.....	25
2.6 Structure Et Outillage D'un Moule	26
2.6.1 Introduction	26
2.7 Définitions D'un Moule	27
2.8 Les Equipements D'un Moule	27
2.9 Types De Moule	28
2.10 Moule A Deux Plaques.....	29
2.11 Moule A Plaquettes Interchangeables Round Mate.....	32
2.12 Moules A Trois Plaques Système De Canaux Froid.....	32
2.13 Moule A Canaux Chauds	34

Chapitre III : facteurs influençant la conception d'un moule par injection plastiques

3.1 introduction.....	35
3.2 conception structurelles des thermoplastiques.....	36
3.3 Épaisseur de paroi uniforme et symétrique.....	36
3.4 conception des bossages	38
3.5 Angles vifs	39
3.6 Thermoplastiques renforcés de fibres de verre	40
3.7 Nervures	41
3.8 Contre-dépouilles.....	43

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection

plastique

4.1 introduction	44
4.2 le systèmes d'injection et l'emplacement de la buse	45
4.3 moules à cavités multiples	46
4.4 les canaux d'alimentation	47
4.4.1 Equilibrage des écoulements dans et les caractéristiques des canaux d'alimentation	49
4.5 la conception des seuils	49
4.6 conception de la buse	51
4.7 la carotte	52
4.8 définition d'un éjecteur.....	53
4.9 le fonctionnement d'un éjecteur.....	53
4.10 méthode de calcul de force d'éjection	53
4.11 conception et dimensions d'un éjecteur	55
4.12 conception du système d'injection.....	56
4.13 paramètres de l'emplacement des éjecteurs.....	57
4.14 Éjection de pièces présentant des contre-dépouilles.....	59
4.15 types d'éjecteur.....	60
4.15.1 éjecteur plate goupille.....	60
4.15.2 éjecteur tubulaire.....	61
4.15.3 éjecteur cylindrique.....	62
4.15.4 éjecteur à noyaux pliable.....	63
4.16 le système de refroidissement et le choix des aciers d'un moule.....	63
4.16.1 choix des aciers	63
4.16.2 transfert de chaleur et résistance des matériaux.....	64
4.16.3 dureté et usinage	65
4.16.4 traitement de surface	67
4.17 le système de refroidissement.....	68
4.17.1 les trous de refroidissement.....	69
4.17.2 les rainures de refroidissement.....	70

Chapitre V : Conception et modélisation par CAO

5.1 Introduction.....	71
5.2 Présentation Du Logiciel SolidWorks	72
5.3 SolidWorks Définitions.....	72
5.4 Fonctionnalités De SolidWorks	72
5.5 Les Etapes De Fabrication De L’empreinte Par SolidWorks.....	73
5.5.1 Première Etape.....	73
5.5.2 Deuxième Etape.....	74
5.5.3 Troisième Etape.....	75
5.5.5 L’éjecteur	76
5.5.6 Le Refroidissement	78
5.6 Partie Simulation.....	78
5.7 Première Etape.....	78
5.8 Deuxième Etape.....	78
5.9 Troisième Etape.....	78
5.10 Résultats	78
5.11 Analyse de la dissipation de la chaleur des moules.....	79
Conclusion Générale	84

Table des figures

Chapitre I : Propriétés Mécaniques et mise en formes des Matières plastique

- Figure 1.1*** Structure Moléculaire Des Thermoplastiques
- Figure 1.2*** Morphologie Des Thermoplastiques
- Figure 1.3*** Morphologie Des Thermodurcissables
- Figure 1.4*** Schéma D'un Processus De Moulage Par Compression
- Figure 1.5*** Processus De L'extrusion
- Figure 1.1*** Schéma Etape De Moulage Par Soufflage D'une
- Figure 1.2*** Processus De Thermoformage
- Figure 1.8*** Les Etapes D'injection

Chapitre II : la Machine d'injection

- Figure 2.1*** Schéma D'une Presse A Injecter Horizontale
- Figure 2.2*** Conception Standard Moule Ronde Et Rectangulaire
- Figure 2.3*** Section Transversale Moule A Deux Plaque
- Figure 2.4*** Moules A Pièces Interchangeables Rondes
- Figure 2.5*** Moule Canaux Froids Trois Plaque
- Figure 2.6*** Moule A Canaux Chauds

Chapitre III : facteurs influençant la conception d'un moule par injection plastiques

- Figure 3.4*** Exemple D'un Angle Vif Et Arrondi
- Figure 3.5*** Influence De L'emplacement Du Canal Sur Le Comportement
D'écoulement De La Masse Fondue
- Figure 3.6*** La Conception D'une Bonne Nervure De Paroi Mince
- Figure 3.7*** Présentation D'une Nervure
- Figure 3.3*** Les Contre-Dépouilles Usuelles

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

Figure 4.1 Coût Total Des Pièces Par Rapport Au Nombre De Cavités

Figure 4.2 Déséquilibre Des Canaux

Figure 4.3 Système De Canaux Equilibré

Figure 4.5 Les Différents Types De Canaux D'alimentation Et Leurs Usinages Associés

Figure 4.6 Distribution Circulaire Des Empreintes Dans Le Moule

Figure 4.7 Distribution Linéaire Des Empreinte Dans Le Moule

Figure 4.8 Buse Machine

Figure 4.9 Le Flux De Plastique Dans La Carotte

Figure 4.10 Représentation Schématique Des Ejecteurs

Figure 4.4 Une Modification De La Conception De La Pièce Permet D'obtenir Un Moule Moins Coûteux

Figure 4.12 Goupilles D'éjection avec Arbre (Lamé)

Figure 4.13 Schéma D'un Ejecteur Tubulaire

Figure 4.14 Schéma D'une Ejecteur Cylindrique

Figure 4.15 Vue De Coupe D'une Ejecteur A Boyaux Pliable

Figure 4.5 La Contrainte D'endurance En Fonction De La Conductivité Thermique

Figure 4.17 Le Taux D'usinage Par Essai De Dureté Brinell

Figure 1.18 Un exemple d'un bon état de surface

Figure 4.19 Circuit De Refroidissement Des Plaques De Moules

Figure 4.19 Système De Rainure De Refroidissements

Chapitre V : Conception et modélisation par CAO

Figure 5.1 Pièce Moulé Par SolidWorks Devant

Figure 5.2 Pièce Moulée Par SolidWorks

Figure 5.3 Buse Machine Par CAO

Figure 5.4 Empreinte Du Moule Mâle Et Femelle

Figure 5.5 Plaque Ejecteur

Figure 5.6 Tube De Refroidissement

Figure 5.7 Simulation Du Flux Du Plastique

Liste des tableaux

Tableau 1	différence entre structure semi cristalline et amorphe
Tableau 2	caractéristique des thermoplastiques
Tableau 3	influence additif dur verres sur le plastique
Tableau 4	Tableau les avantages et inconvénients des thermoplastiques
Tableau 5	propriétés mécaniques des thermoplastiques
Tableau 6	Épaisseurs suggérées pour les pièces thermoplastiques moulées par injection
Tableau 7	les dimensions recommandées des canaux d'alimentation
Tableau 8	dimension des seuils
Tableau 9	Coefficient de frottement statique dépendant de la hauteur de rugosité
Tableau 10	Longueurs canaux alimentation maximales pour diamètres spécifiques
Tableau 11	des Critères de choix différents types de canaux
Tableau 12	propriétés mécanique des thermoplastiques

Table des symboles

Symboles	Désignations
Tg	Température vitreuse
Tf	Température de fusion
<i>Tm</i>	
ABS	Acrylonitrile butadiène styrène
Ø	Diamètre
A2	Acier dur extrêmement élevé
T°s	Température de séchage thermique
H13	Acier très dur , et peut traiter thermiquement
P 20	Acier allié Cr-Mo selon ASTM A681
MPA	Méga Pascale
RA	La rugosité des états de surfaces
Mm	Millimètres
GPA	Giga Pascal
μs	Coefficient de frottement
E	Module de flexion
D792 D995 D638 D790 D696	Méthodes d'essai normalisées pour la densité et la masse volumique (densité relative) des matières plastiques par moulage
AISI 4140 plaqué A	Est un acier faiblement allié contenant du chrome, du molybdène et du manganèse
HRC	l'échelle Rockwell pour mesurer la dureté d'un matériau par indentation

Table des symboles

Symboles	Désignations
T _g	Température vitreuse
T _f	Température de fusion
ABS	Acrylonitrile butadiène styrène
Ø	Diamètre
A2	Acier dur extrêmement élevé
T° _s	Température de séchage thermique
H13	Acier très dur , et peut traiter thermiquement
P 20	Acier allié Cr-Mo selon ASTM A681
MPA	Méga Pascale
RA	La rugosité des états de surfaces
Mm	Millimètres
GPA	Giga Pascal
μ _s	Coefficient de frottement
E	Module de flexion
D792 D995 D638 D790 D696	Méthodes d'essai normalisées pour la densité et la masse volumique (densité relative) des matières plastiques par moulage
AISI 4140 plaqué A	Est un acier faiblement allié contenant du chrome, du molybdène et du manganèse
HRC	l'échelle Rockwell pour mesurer la dureté d'un matériau par indentation

Introduction générale :

L'injection de plastique est fréquemment utilisée dans l'industrie pour produire des pièces en plastique de haute qualité. Ce mémoire se concentre sur l'étude pratique de la conception de moules d'injection plastique à l'aide d'outils de CAO comme SolidWorks.

Au commencement de cette étude, nous examinerons la sélection des matériaux polymères appropriés pour fabriquer les composants. Les caractéristiques mécaniques, la résistance mécanique, la durabilité et le coût seront pris en compte pour déterminer le matériau le plus approprié. Ensuite, nous passerons à la conception des moules en nous concentrant sur le choix des aciers appropriés pour supporter les contraintes mécaniques et thermiques liées au processus d'injection plastique. La dureté et la résistance à l'usure seront pris en compte dans cette sélection.

Nous discuterons également de la machine d'injection plastique utilisée dans le processus de production. Nous aborderons ses composants clés, comment il fonctionne et comment cela affecte la qualité des pièces.

Nous simulerons le processus d'injection de plastique pour améliorer la conception des moules. Les simulations permettront d'analyser le flux de plastique à l'intérieur du moule, d'identifier les zones à risque de défauts et de prédire les problèmes potentiels tels que les retassures et les lignes de soudure. Ces informations nous aideront à apporter les modifications nécessaires à la conception des moules afin de produire des pièces finales de meilleure qualité. L'éjecteur est également essentiel pour garantir une éjection efficace des pièces finies du moule après la phase d'injection. Afin d'éviter tout dommage potentiel aux pièces, nous examinerons les différents types d'éjecteurs disponibles, leur conception et leur fonctionnement.

Enfin, nous parlerons des facteurs influençant la conception fréquente lors de la production par injection plastique et des méthodes pour les éviter. Afin de garantir des pièces finales de haute qualité, nous étudierons des aspects tels que la géométrie de l'empreinte, le retrait plastique et les systèmes de refroidissement.

Chapitre I : Propriétés Mécaniques et mise en formes des Matières plastique

1.1 Introduction :

Les thermoplastiques sont un type de polymère qui peut être fondu et solidifié à plusieurs reprises sans subir de modifications chimiques importantes. Ils sont largement utilisés dans diverses industries tel que la plasturgie en raison de leurs caractéristiques uniques :

Flexibilité : Les thermoplastiques sont très flexibles et peuvent être moulés dans différentes formes et dimensions, ce qui les rend idéaux pour des produits tels que les jouets, les conteneurs et les matériaux d'emballage.

Durabilité : Les thermoplastiques sont solides et résistants à l'usure, ce qui permet de les utiliser dans des applications nécessitant une grande solidité et durabilité, comme les pièces automobiles et les matériaux de construction.

Légèreté : Les thermoplastiques sont plus légers que beaucoup d'autres matériaux, ce qui les rend appropriés pour les produits qui doivent être légers, tels que les composants d'avions.

Recyclable : Les thermoplastiques sont recyclables, ce qui les rend écologiques et durables. Ils peuvent être fondus et reformés en de nouveaux produits, ce qui réduit les déchets et préserve les ressources.

Faible point de fusion : Les thermoplastiques ont un point de fusion relativement bas, ce qui les rend faciles à transformer et à mouler. Ils peuvent être fondus et solidifiés plusieurs fois sans perdre leurs propriétés, ce qui les rend idéaux pour les processus de fabrication qui nécessitent des chauffages et des refroidissements répétés.

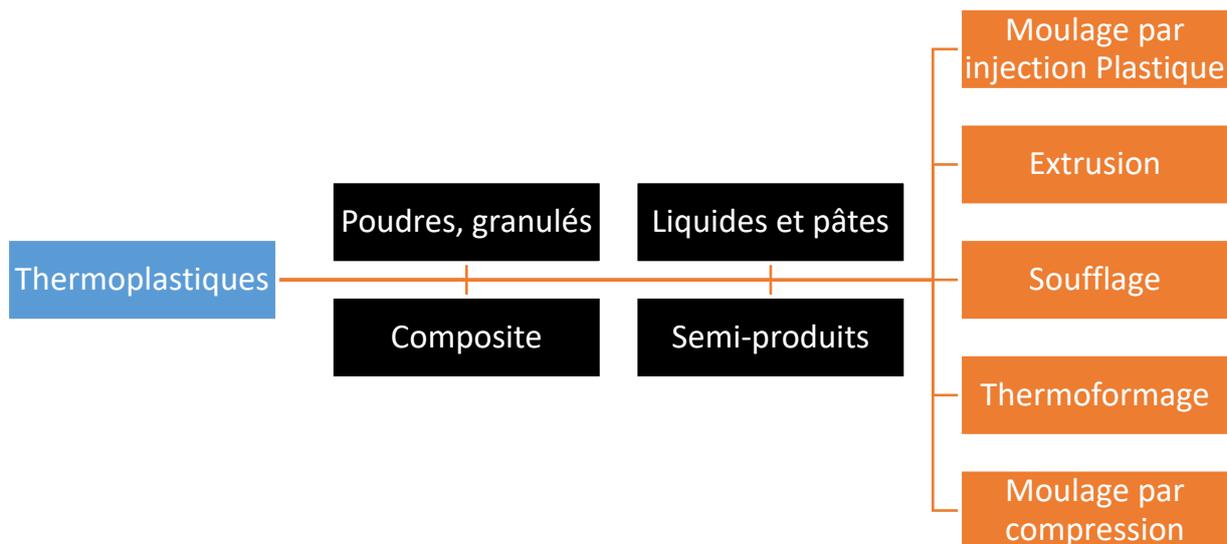
Dans l'industrie de plasturgie ou bien la déformation de matière plastique il est primordiale d'acquérir des connaissance thermomécanique et physiques, a fin pour conduisent de choisir la conception et la méthode mise en œuvre, appropriés dans ce chapitre on va introduire différents matières et substances du famille thermoplastique et thermodurcissable, à la fin pour but de prendre une décision et un choix adéquat pour notre produit ou bien le moule en injection des élastomères.

Chapitre I : Propriétés Mécaniques et mise en formes des Matières plastique

1.2 Principe général de transformation :

Le principe général de transformation consiste à donner au polymère la forme et l'aspect souhaités afin de fabriquer la pièce ou le demi-produit, tout en préservant ces formes et aspects jusqu'à leur utilisation et au-delà. De plus, il vise à atteindre les propriétés physiques, mécaniques et sensorielles désirées. Les polymères initiaux peuvent se présenter sous différentes formes physiques, allant des liquides fluides aux solides de grande taille. Ils peuvent également être présents sous différents états chimiques tels que **monomères**, **oligomères**, **polymères thermoplastiques** ou **thermodurcissables**. Dans ce dernier cas, une étape supplémentaire de **durcissement** ou de **réticulation** est nécessaire après la mise en forme. Certains polymères couramment utilisés à l'état thermoplastique peuvent éventuellement être réticulés, ce qui améliore leurs propriétés mécaniques et chimiques. D'autres familles de polymères, existent sous forme thermodurcissable, la plus courante dans ce cas, ainsi que sous forme **thermoplastique**, **TPU**. Les procédés de transformation et les caractéristiques finales diffèrent donc en fonction de ces différents états et types de polymères. [8]

L'**organigramme 01** représente la méthode de déformation des thermoplastiques, et comment elle se présentent



Chapitre I : Propriétés Mécaniques et mise en formes des Matières plastique

Les trois principaux paramètres de la transformation sont la **température**, les **contraintes** et le **temps**. Ils interagissent les uns avec les autres, amplifiant ainsi leurs effets. La température joue un rôle clé en influençant **la viscosité**, les **dilatations** et **retraits**, les **contraintes résiduelles**, **la cristallinité** et la **réticulation du matériau**. Cependant, il est essentiel de limiter la température en raison des risques de dégradation thermique et de réticulation excessive, qui peuvent compromettre la facilité de mise en forme. De plus, la dégradation des matériaux de renfort, peut imposer des contraintes supplémentaires à prendre en compte. En outre, la température de transformation a des conséquences sur la consommation d'énergie, le refroidissement et le coût final des processus de transformation. Les contraintes, qu'elles soient internes ou externes, résultent des forces exercées sur le matériau pendant la transformation, et elles peuvent avoir un impact sur la résistance mécanique, **la durabilité** et la **stabilité dimensionnelle**. Quant au temps, il est crucial car il détermine la durée pendant laquelle les paramètres de transformation sont appliqués, influençant ainsi **la viscosité**, le **retrait**, **la température de l'injection**. Il est donc essentiel de contrôler attentivement ces trois paramètres pour obtenir les propriétés souhaitées du matériau transformé et assurer la qualité et l'efficacité des processus de fabrication. [1]

1.3 Les Plastiques

Les plastiques sont des mélanges complexes qui peuvent contenir plusieurs composants. Le polymère est l'élément principal qui confère au plastique ses propriétés physicochimiques et lui donne son nom. La formulation d'un polymère consiste à ajouter des additifs en quantités variables pour différentes raisons, telles que :

- a) Protéger le polymère lors de sa transformation (*par exemple, en utilisant un antioxydant*) afin de prévenir la dégradation due à la chaleur, à la lumière ou à d'autres facteurs environnementaux lors du processus de fabrication.
- b) Faciliter la mise en œuvre du polymère en modifiant les caractéristiques **rhéologiques** du mélange à l'état visqueux. Par exemple, l'ajout d'un **plastifiant** peut rendre le matériau plus souple et plus facile à façonner, tandis qu'un **lubrifiant** peut réduire la friction et faciliter le processus de transformation.
- c) Conférer au produit fini des propriétés spécifiques. Les additifs peuvent être utilisés pour donner au plastique certaines propriétés particulières, telles la résistance aux UV, la résistance aux chocs, la résistance au feu, etc.

Chapitre I : Propriétés Mécaniques et mise en formes des Matières plastique

A la fin, la formulation d'un polymère implique l'ajout d'additifs pour protéger le polymère, faciliter sa mise en œuvre et conférer des propriétés spécifiques au produit fini. Ces additifs jouent un rôle crucial dans la fabrication des plastiques en permettant de modifier et d'améliorer les caractéristiques du matériau en fonction des besoins spécifiques de chaque application.

1.4 Les polymères

Les polymères sont les constituants de base des plastiques, qui leur confèrent l'essentiel de leurs propriétés physicochimiques. [19]

1.4.1 Définition d'un polymère

Un polymère est une macromolécule, organique ou inorganique, constituée de l'enchaînement répété d'un même motif, le monomère (*du grec môn : un seul ou une seule, et mérour : partie*), reliés les uns aux autres par des liaisons covalentes. Dans la macromolécule suivante ...**A-A-A-A-A-A**.... = A l'unité constitutive est A ; elle est formée d'un groupe d'atomes qui se répètent. A l'échelle moléculaire, quelques centaines de nm, la plupart des macromolécules se présentent sous forme de « **fils longs et souples** ». [19]

Les réactions chimiques permettant de passer d'un monomère A à la macromolécule s'appellent polymérisation. Ainsi, l'**éthylène CH₂=CH₂** (monomère) conduit par polymérisation. [19]

1.4.2 Classification

Les polymères sont constitués de la répétition d'un grand nombre de motifs élémentaires :

Les unités monomères. Dans le cas où les macromolécules ne contiennent qu'un type de monomères, il s'agit d'un homopolymère. Si les unités constitutives sont nombreuses, on parle alors de copolymère. La structure du polymère représente la façon dont les longues chaînes moléculaires de base sont reliées entre elles pour former le matériau. La disposition des chaînes entre elles ainsi que la densité des points de liaison vont modifier profondément les caractéristiques macroscopiques du polymère. [19]

Un polymère peut adopter trois structures moléculaires, présentées dans la (*figure 01.*)

1.4.3 Linéaire :

La macromolécule se présente sous la forme d'une longue chaîne. [19]

Chapitre I : Propriétés Mécaniques et mise en formes des Matières plastique

1.4.4 Branchée :

Une longue chaîne sur laquelle viennent s'embrancher des chaînes de longueur variable, en général plus petites. [19]

1.4.5 En réseau :

Les chaînes sont reliées entre elles en plusieurs points formant un réseau. [19]

Ces différentes structures vont permettre de classer les polymères en deux grandes catégories :

Les thermoplastiques et les thermodurcissables.

1.5 Thermoplastiques

Les thermoplastiques sont des solides généralement souples, formés de chaînes distinctes bien compactées et plus ou moins linéaires. Ils présentent la particularité de s'écouler à la chaleur, ce qui facilite leur mise en forme. Ils sont repartis en trois grandes familles :

Les amorphes, cristallins et les semi-cristallins.

Cette morphologie (*figure 1.1.*) exerce une influence importante sur les propriétés des polymères thermoplastiques. [8]

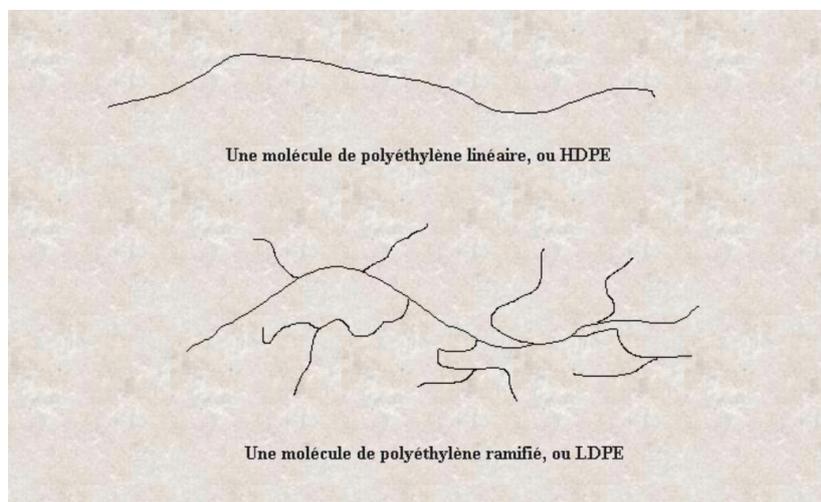


figure 1.1 structure moléculaire des thermoplastiques

Chapitre I : Propriétés Mécaniques et mise en formes des Matières plastique

1.6 Polymères amorphes

Dans un polymère amorphe, les chaînes polymériques adoptent une configuration sous forme de pelotes statistiques, comme illustré dans la figure 1.2. Ces chaînes sont enchevêtrées et ne présentent pas de structure ordonnée. Lorsque le polymère amorphe est soumis à une élévation de température, il subit une transition graduelle de son état solide à un état fluide, sans présenter de température de fusion distincte et bien définie. Cela est dû à la nature de la structure des chaînes macromoléculaires, qui forment des pelotes compactes et désordonnées, empêchant ainsi une transition brutale entre les états solide et liquide. Cependant, il est observé une variation abrupte de la mobilité moléculaire à une certaine température, appelée température de transition vitreuse (T_g). La T_g correspond à la température à laquelle le polymère amorphe passe d'un état rigide à un état plus flexible, ce qui se traduit par un changement significatif de ses propriétés physiques. Au-dessus de la T_g , les mouvements moléculaires deviennent plus importants et les chaînes polymériques ont davantage de liberté pour se déplacer les unes par rapport aux autres. [4]

La T_g est un point critique dans les applications des polymères amorphes, car elle marque la transition entre les comportements rigide et souple du matériau. En dessous de la T_g , le polymère conserve sa rigidité et ses propriétés mécaniques spécifiques, tandis qu'au-dessus de la T_g , il devient plus malléable et peut présenter des propriétés de type caoutchouteux. La connaissance de la T_g est donc essentielle pour déterminer les conditions de transformation et d'utilisation des polymères amorphes dans diverses applications industrielles et technologiques. [4]

1.7 Polymères cristallins :

Un polymère qui est purement cristallin est caractérisé par une disposition ordonnée de ses chaînes moléculaires. Contrairement aux polymères amorphes, les polymères cristallins possèdent une température de fusion, notée T_f . Toutefois, il est important de noter qu'un polymère entièrement cristallin n'existe pas dans la réalité. Des défauts ou des extrémités de chaînes empêchent souvent l'adoption d'une structure cristalline parfaite. [4]

1.8 Polymères semi-cristallins

Les polymères semi-cristallins se composent à la fois d'une partie amorphe, où les chaînes moléculaires sont désordonnées, et d'une partie cristalline, où les chaînes sont organisées de manière ordonnée, comme illustré dans *la figure 1.2*. Cette structure composite confère aux

Chapitre I : Propriétés Mécaniques et mise en formes des Matières plastique

polymères semi-cristallins des propriétés uniques. Tout d'abord, ces polymères présentent une température de transition vitreuse (T_g), qui correspond à la température à laquelle la phase amorphe du matériau subit une transition d'un état rigide à un état plus flexible. La T_g est déterminée par la mobilité des chaînes moléculaires dans la phase amorphe. Au-dessus de la T_g , les chaînes amorphes ont une plus grande liberté de mouvement, ce qui se traduit par une augmentation de la flexibilité et des propriétés caoutchouteuses du matériau. En plus de la T_g , les polymères semi-cristallins présentent également une température de fusion (T_m). La T_m correspond à la température à laquelle la phase cristalline du matériau passe de l'état solide à l'état liquide. Lorsque la température dépasse la T_m , les régions cristallines se liquéfient et perdent leur ordre structural, ce qui entraîne une perte de la rigidité et des propriétés mécaniques spécifiques associées à la phase cristalline. Il est important de noter que la T_g et la T_m peuvent varier en fonction de la composition chimique du polymère, de son degré de cristallinité et des conditions de refroidissement ou de chauffage,

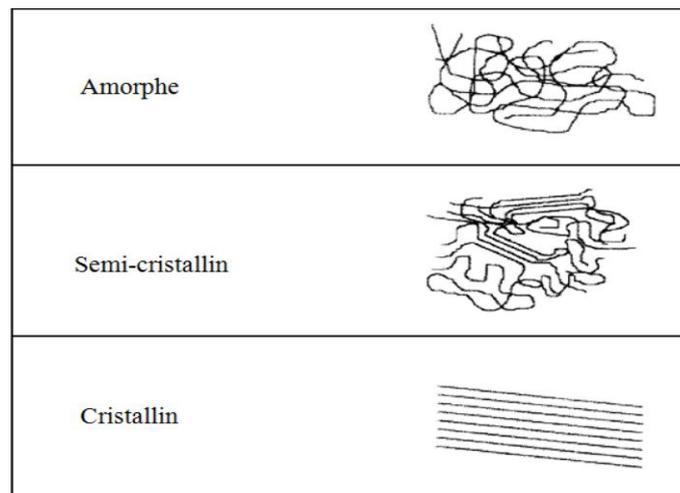


Figure 1.2 Morphologie Des Thermoplastiques

Les polymères semi-cristallins peuvent être caractérisés par leur taux de cristallinité ce qui représente la **fraction massique** ou **molaire** d'unités structurales cristallisées par rapport à la totalité des unités présentes. [4]

1.9 Structure des polymères :

Les différentes chaînes moléculaires s'organisent entre elles pour donner à la matière une structure. Des interactions physico-chimiques et des interactions géométriques vont se créer. On distingue deux types de structures. **Voir tableau 1.1** [9]

Chapitre I : Propriétés Mécaniques et mise en formes des Matières plastique

Tableau 1.1 différence entre structure semi cristalline et amorphe

Structure semi-cristalline	Structure amorphe
-Retrait important (1.5 à 3%)	-Retrait faible (0.2 à 1%)
-Translucide ou opaque	Matériau transparent
-Bonne tenue en température	Tenue en température moyenne
-Bonne résistance mécanique	Résistance mécanique limitée
-Bonne résistance à l'abrasion	Faible résistance à l'abrasion
-Bonne résistance sous contraintes	Résistance sous contrainte faible
-Coefficient de frottement moins important	Coefficient de frottement plus important
-Très bonne tenue à l'hydrocarbure	-La tenue au hydrocarbure réduite

1.10 Les caractéristiques des thermoplastiques synthétiques les plus utilisés dans l'injection plastique :

Dans ces tableaux suivant on a pu rassembler les thermoplastiques les plus utilisés dans le domaine de notre Project « injection plastique », d'après mon stage effectuer au sein de Sarl Optimind, voici les caractéristiques mécanique et les essais de Résistances, combien de temps faut-il pour séchage de des plastiques, la densité, le retrait, le module de flexion, et la résistance mécanique à la traction, ces données va nous pouvoir traiter le sujet pour :

- Choisir un matériau qui convient le client
- Dimensionner le moule
- Le temps nécessaire pour livrer le moule, la période d'étuvage du moule Les avantages et les inconvénients de chaque matériaux (VOIR TABLEAU DES AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE PLASTIQUE)

Dans le tableau suivant on va parler des différentes températures du thermoplastique [VOIR TABLEAU 2], cette dernière va nous faciliter la méthode de choisir le matériau approprié pour la fabrication du moule. [22]

Chapitre I : Propriétés Mécaniques et mise en formes des Matières plastique

Tableau 1.2 caractéristique des thermoplastiques

Caractéristique/ Matériaux	T° moule	T° max	T° processus	T°s Séchage thermique	Retrait (%)	Etuvage (h)
ABS	50°- 80 °	75°- 85°	210°- 270°	176°- 85°	0.4-0.7	2 -4
POM	176°	110 °	60°- 93°	Non	2.0-2.5	Inutile
PMMA	210°- 301°	87°	60°-87°	73°	0.3-0.6	4
HTN	2.44	298°	126°-148°	79°	0.2-0.6	2-16
LCP	332°	204°- 240°	348°-360°	121°-148°	0.2-0.5	1- 4
PA	60°-93°	148°	226°-287°	79°	0.2-0.6	2-20
PEI	65°- 176°	200°	337°- 426°	121°- 148°	0.2-0.7	4.0-6.0
PEEK	340°	250°	348°-421°	148°-176°	1.0-1.8	3.0
PC	79°- 121°	129°	221°-326°	126°	0.15-0.6	2.0-4.0
PPO	71°- 104°	115°	271°-315°	93°-121°	0.20- 0.60	2.0-4.0
PBT	243°- 276°	93°- 121°	43°- 93°	121°- 148°	0.30- 2.30	2.5-5.5
PET	265°- 296°	200°	265°- 296°	121°- 135°	0.20- 0.90	2.0-4.0
PE (LDPE)	10°-60°	60°-75°	182°-276°	65°	1.1-1.4	3.0
EVA	15°-40°	_	140°-223°	48°-60°	0,3	8.0
PPS	135°- 160°	232°	315°-379°	148°	0.6-3.5	3.0-6.0
PP	29°-79°	130°	198°-273°	79°	0.5-2.0	2.0-3.0
PS	198°- 248°	70°	198°-248°	71°-93°	0.05- 0.80	2.0-3.0

Chapitre I : Propriétés Mécaniques et mise en formes des Matières plastique

PSU	93°- 179°	190°	315°-379°	93°-160°	0.50– 0.80	3.0–4.0
PVC	185°- 204°	105°	185°-204°	71°-82°	0.10– 2.50	2.0–3.0
SAN	182°- 287°	79°	182°- 287°	71°- 87°	0.30– 0.50	2.0–4

1.11 Propriétés, additifs et viscosité du plastique

La viscosité d'un polymère est une mesure de sa facilité à s'écouler. Un polymère à faible viscosité s'écoule facilement, tandis qu'un polymère à viscosité élevée a une résistance plus importante à l'écoulement. Les polymères sont disponibles dans différentes gammes de viscosité, chacune ayant ses propres propriétés d'écoulement. Les polymères à faible viscosité ont généralement une masse moléculaire plus basse, ce qui les rend plus faciles à manipuler, mais ils peuvent être moins résistants mécaniquement par rapport aux polymères à viscosité plus élevée.

La viscosité du polymère permet de comparer les propriétés d'écoulement de différents polymères ou de différentes gammes d'un même polymère. Les données de viscosité sont également utiles pour évaluer un nouveau matériau ou pour comparer la cohérence d'un lot récent avec celui utilisé précédemment, En termes plus simples, **la rhéologie** est la science qui étudie comment la matière se déforme et s'écoule. La viscosité d'un polymère reflète sa résistance à l'écoulement, tandis que le taux d'écoulement du polymère est appelé taux de cisaillement. [1]

1.11.1 Charges et fibres courantes

Les charges et les fibres sont généralement ajoutées aux matières plastiques pour augmenter les propriétés mécaniques, chimiques ou électriques, ainsi que pour réduire les coûts des matériaux dans certains cas. Les fibres de renforcement comme le carbone ou le verre sont utilisées pour améliorer les propriétés mécaniques, tandis que le talc et l'argile sont utilisés comme charges. Voici un **tableau2-** qui nous montre différents additives que on peut ajouter dans le plastique, le tableau suivant nous montre les effets de fibres de verres sur les propriétés mécaniques dans les thermoplastiques.

Chapitre I : Propriétés Mécaniques et mise en formes des Matières plastique

1.11.2 Les additifs et les adjuvants

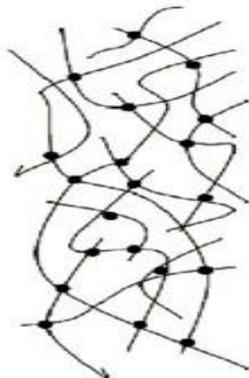
Les additifs constituent plus de 10% de la composition du produit fini. Les plastifiants sont des solvants lourds qui, une fois incorporés au polymère de base, altèrent sa structure. Cette modification permet d'obtenir un matériau souple et flexible plutôt que rigide. Les charges et les renforts sont largement utilisés dans le polymère pour réduire les coûts et augmenter la résistance mécanique du produit final, par exemple avec l'ajout de fibres de verre. Les agents gonflants sont utilisés pour créer une structure cellulaire légère dans le matériau après sa mise en forme, soit par l'action de la chaleur, soit par une réaction chimique.

Les adjuvants, quant à eux, représentent moins de 10% de la composition du produit fini, parfois moins de 1%. Les colorants solubles sont introduits dans le polymère, tandis que les colorants insolubles sont dispersés lors de la transformation du plastique. Les lubrifiants sont utilisés pour faciliter le processus de mise en œuvre de la matière, en particulier lors de l'injection, en réduisant le frottement entre la matière et les surfaces en acier de l'outil. Ils sont généralement utilisés à hauteur de 1 à 2% du matériau de base. Les stabilisants sont destinés à ralentir ou retarder les transformations de la matière, par exemple en offrant une protection contre la décoloration due aux rayons ultraviolets. [9]

(Note : Le tableau d'additifs pour les thermoplastiques, les fibres et les charges courantes mentionnées peut être consulté dans le tableau 1.3)

1.12 Thermodurcissables

Thermodurcissables



Les polymères thermodurcissables possèdent une structure en réseau tridimensionnel, ce qui les empêche de fondre. La rigidité et la stabilité thermique du polymère dépendent du degré de réticulation, c'est-à-dire de la densité de points de liaison entre les chaînes macromoléculaires. (4)

Figure 1.3 Morphologie des thermodurcissables

Chapitre I : Propriétés Mécaniques et mise en formes des Matières plastique

Tableau 1.3 influence de l'additif verres sur le plastique

Plastique	Densité	Retrait %	Résistance traction (MPA)	Module de flexion GPA	Dilatation thermique %
ASTM	D792	D995	D638	D790	D696
ABS	1.05	0.6	41	2.2	0.0095
30% verre	1.28	0.1	210	7.6	0.0029
Acétal POM	1.42	2.0	60	2.8	0.0081
30% verre	1.63	0.3	134	9.6	0.0040
Nylon 6	1.14	1.6	81	2.8	0.0083
30% verre	1.37	0.4	158	8.3	0.0031
Nylon 6/6	1.14	1.8	80	0.170	0.0081
30% verre	1.37	0.4	180	9	0.0032
PPO	1.06	0.5	65	2.5	0.0059
30% verre	1.27	0.2	144	9	0.0025
Polycarbonate	1.2	0.6	62	2.3	0.0067
30% verre	1.43	0.1	127	8.3	0.0023
Polyster T.P	1.31	2.0	59	2.3	0.0095
30% verre	1.52	0.3.	134	9.6	0.0022
HDPE	0.95	2.0	18	1.4	0.0108
30% verre	1.17	0.3	69	6.2	0.004
Polypropylène PP	0.91	1.8	34	1.2	0.0072
30% verre	1.13	0.4	68	5.5	0.0036
Polystyrène PS	1.07	0.4	48	3.1	0.0065
30% verre	1.28	0.1	93	9	0.0034
Polysulfide PSU	1.24	0.7	69	2.8	0.0056
30% verre	1.45	0.3	124	8.3	0.0025
SAN	1.08	0.5	68	3.4	0.0061
30% verre	1.31	0.1	120	10	0.0032

Chapitre I : Propriétés Mécaniques et mise en formes des Matières plastique

1.13 Les élastomères thermoplastique TPE :

Les élastomères thermoplastiques (TPE) sont des matériaux qui présentent à la fois les caractéristiques d'un thermoplastique et les propriétés de performance d'un caoutchouc thermo durci. Les TPE peuvent être transformés en utilisant les mêmes équipements et méthodes thermoplastiques couramment utilisés, tels que l'extrusion, le moulage par injection et le soufflage. Les résines TPE combinent ainsi les avantages du caoutchouc et des thermoplastiques. [4]

1.14 Méthodes de production de plastique :

Les méthodes de production du plastique ont évolué au fil du temps pour répondre à la demande croissante de produits en plastique. De l'emballage alimentaire aux pièces automobiles, le plastique est devenu un matériau omniprésent dans notre vie quotidienne. Il existe plusieurs méthodes de production de plastique, chacune ayant ses avantages et ses inconvénients, en fonction du produit à fabriquer, du volume de production requis et de la rentabilité de la méthode.

Parmi les méthodes de production de plastique les plus courantes figurent le moulage par injection, l'extrusion, le soufflage, le thermoformage et le moulage par compression. Le moulage par injection est la méthode la plus populaire pour la production en grande quantité de pièces plastiques complexes, tandis que l'extrusion est rentable pour la production de formes continues telles que les tuyaux et les feuilles. Le soufflage est utilisé pour produire des produits en plastique creux tels que des bouteilles et des conteneurs, et le thermoformage est utilisé pour mouler des feuilles de plastique en diverses formes pour l'emballage et d'autres produits. Enfin, le moulage par compression est utilisé pour le moulage à haute pression de grandes pièces en plastique très résistantes.

Il est essentiel de comprendre les différentes méthodes de production de plastique disponibles pour choisir la bonne méthode pour un produit particulier, car cela peut affecter la qualité, le coût et l'efficacité de la production du produit. Dans cette section, nous allons explorer en détail les différentes méthodes de production de plastique, en mettant plus particulièrement sur le moulage par injection, l'extrusion, le soufflage, le thermoformage et le moulage par compression.

Chapitre I : Propriétés Mécaniques et mise en formes des Matières plastique

1.15 Moulage par compression :

Le moulage par compression est la méthode la plus courante de fabrication des plastiques thermodurcissables *figure 1.4*. Dans cette méthode, le plastique, sous forme de poudre, de pastille ou de disque, est séché par chauffage, puis chauffé à près de la température de séchage ; cette dernière est chargée directement dans la cavité du moule. La température de la cavité du moule est maintenue entre 150 °C et 200 °C, selon le matériau. Le moule est alors partiellement

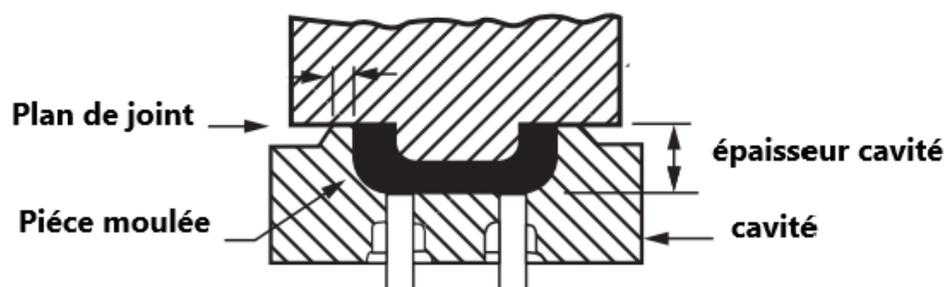


Figure 1.4 Schéma d'un processus de moulage par compression

Fermé, et le plastique, qui est liquéfié par la chaleur et la pression exercée, s'écoule dans le creux du moule. À ce stade, le moule est complètement fermé, et le flux et le durcissement du plastique sont complets. Enfin, le moule est ouvert, et la partie moulée complètement éjectée, moulage par compression est couramment utilisé dans la fabrication de pièces en plastique thermo durcis. Dans ce processus, les matières premières plastiques sont transformées en produits finis en les comprimant simplement dans les formes souhaitées en utilisant des moules, de la chaleur et de la pression. Le processus peut produire des variétés de formes et de tailles, comme le montre la *figure 1.4*

Chapitre I : Propriétés Mécaniques et mise en formes des Matières plastique

1.16 Extrusion :

Le processus d'extrusion est essentiellement conçu pour convertir en continu un matériau mou dans une forme particulière. Une analogie simplifiée peut être un moulin à viande domestique. Cependant, contrairement à l'extruder d'un hachoir à viande, les extrudats en plastique s'approchent généralement d'une formation vraiment continue. Comme le hachoir habituel, l'extrudeuse (*figure 1.5*) est principalement un convoyeur à vis. Il transporte la matière plastique froide (**sous forme de granulés ou de poudre**) vers l'avant par l'action de la vis, le presse, et avec la chaleur de réchauffeurs externes et le frottement du flux visqueux, le change en un jet fondu. Ce faisant, il développe une pression sur le matériau, qui est le plus élevé juste avant que le plastique en fusion entre dans la matrice. L'écran de conditionnement, consistant

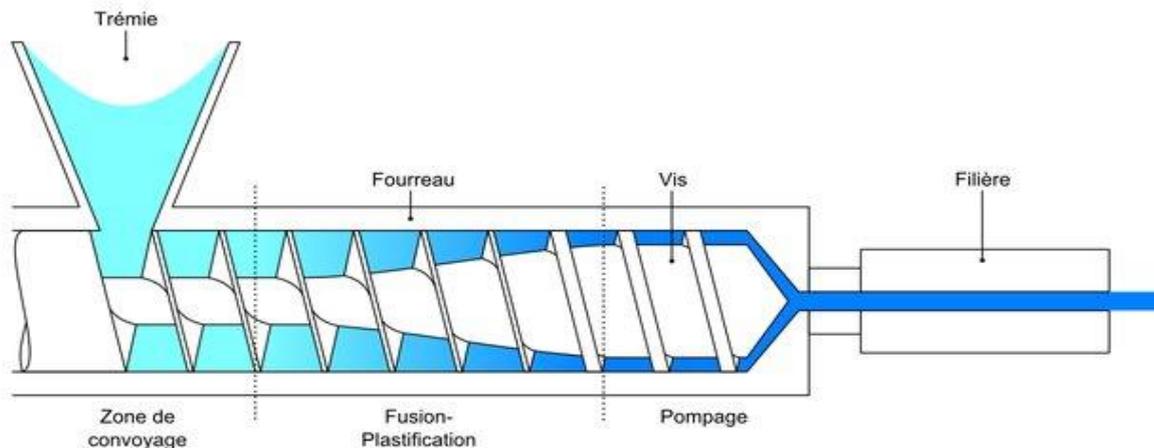


Figure 1.5 Processus de l'extrusion

en un Certain nombre de gazes à mailles fines ou grossières supportées sur une plaque de disjoncteur et placées entre la vis et la matrice, filtre la saleté et les morceaux de polymère non fondus. La pression sur le plastique en fusion le force par un adaptateur et dans la matrice, qui dicte la forme de l'extruder fine. Une matrice à ouverture ronde, comme le montre la *figure 1.5*, produit un tuyau ; une matrice à ouverture carrée produit un profil carré, etc. des formes continues, telles que le film, la feuille, les tiges, peuvent être produites avec des matrices appropriées. [24]

1.17 Moulage par soufflage :

Essentiellement, le moulage par soufflage est destiné à la fabrication de produits en plastique creux, tels que les bouteilles et autres contenants [*figure 1.6*]. Toutefois, le procédé est également utilisé pour la production de **jeux**, de **pièces automobiles**, de **accessoires** et de nombreux **composants techniques**. Les principes utilisés dans le moulage par soufflage sont

Chapitre I : Propriétés Mécaniques et mise en formes des Matières plastique

principalement similaires à ceux utilisés dans la production de bouteilles en verre. Bien qu'il y ait des différences considérables dans le procédé de moulage par soufflage,

Les étapes de base sont les mêmes :

- (1) fondre le plastique ;
- (2) former le plastique fondu en une paraison (forme tubulaire de plastique fondu) ;
- (3) sceller les extrémités de la paraison, sauf pour une zone par laquelle l'air soufflé peut entrer ;
- (4) gonfler la paraison pour prendre la forme du moule. Dans lequel il est placé ;
- (5) refroidir la partie moulée par soufflage ;
- (6) éjecter la partie moulée par soufflage ;
- (7) couper le flash si nécessaire. [20]

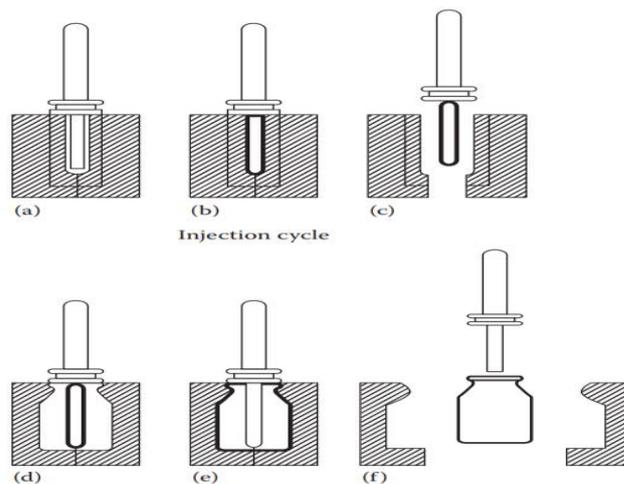


Figure 1.6 schéma étape de moulage par soufflage d'une

1.18 Thermoformage :

Lorsqu'elle est chauffée, la feuille thermoplastique devient aussi souple qu'une feuille de caoutchouc, et elle peut alors être étirée à n'importe quelle forme [figure 1.7]. Ce principe est utilisé dans les procédés de thermoformage qui peuvent être divisés en trois Principaux types :

- (1) formage sous vide,
- (2) formation de pression (soufflage),

Chapitre I : Propriétés Mécaniques et mise en formes des Matières plastique

(3) le formage mécanique (par exemple, formage de métal apparié) selon le moyen utilisé pour étirer la feuille ramollie par la chaleur. [20]

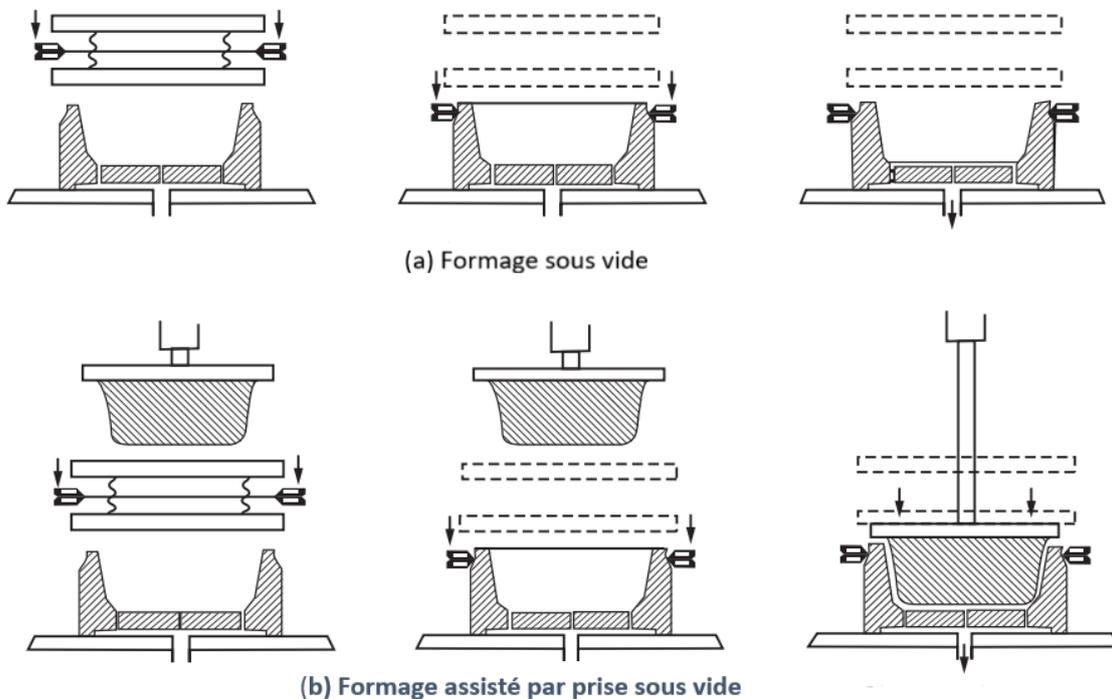


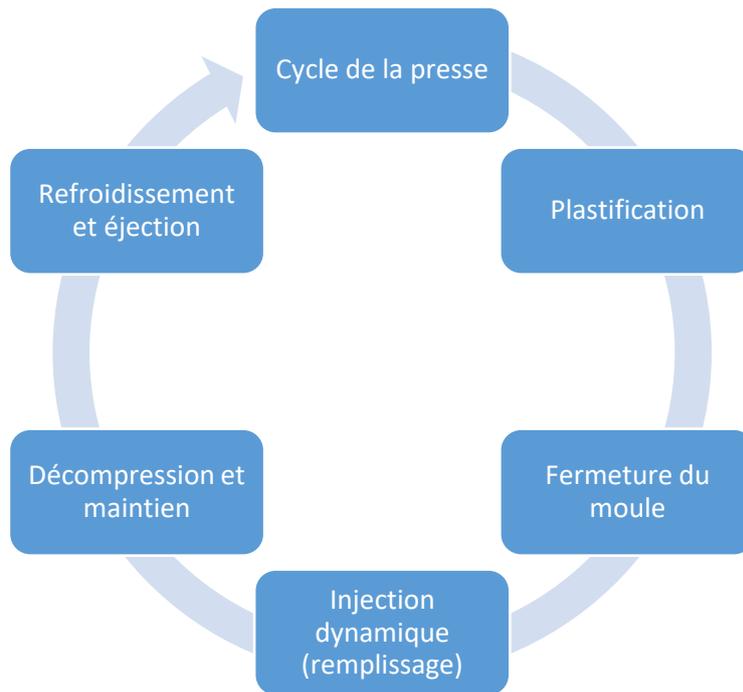
Figure 1.7 processus de thermoformage

1.19 Le Processus D'Injection Du Plastique :

Le moulage par injection est un procédé de fabrication utilisé pour créer des pièces en injectant un matériau fondu dans un moule. Il est généralement utilisé pour la production en série de pièces et de produits en plastique, mais peut également être utilisé avec d'autres matériaux tels que les métaux, les céramiques et les composites. Le processus de moulage par injection consiste à introduire la matière première dans un baril chauffé, où elle est fondue et mélangée. La matière fondue est ensuite injectée sous haute pression dans la cavité d'un moule, où elle refroidit et se solidifie pour prendre la forme souhaitée. Le moule est en général constitué de deux parties qui peuvent être séparées pour libérer la pièce finie. Le moulage par injection présente de nombreux avantages, notamment la possibilité de produire rapidement et efficacement de grandes quantités de pièces de haute qualité, avec des résultats cohérents et reproductibles. Le moulage par injection peut par ailleurs permettre de produire des géométries et des conceptions complexes qu'il serait difficile, voire impossible, de réaliser avec d'autres

Chapitre I : Propriétés Mécaniques et mise en formes des Matières plastique

procédés de fabrication, Cependant, le moulage par injection peut être coûteux à mettre en place et nécessite un appareillage et une expertise spécialisés. En outre, il y a certaines limites aux types de matériaux qui peuvent être utilisés, ainsi qu'à la taille et à la forme des pièces qui peuvent être produites. Voici *l'organigramme 02* qui explique les différents étapes principaux d'injection plastique.[2]



1.20 Cycle d'injection :

le cycle d'injection nous permet de produire des pièces de forme complexe, par suite de cadence de cycle d'injection, et défis des mono empreinte , ou bien plusieurs empreinte , on vas d'abord expliquer le fonctionnement de cycle d'injection phase par phase , commençant par ramollir la matière fondue et chauffé à l'aide d'un vis fourreau, puis injection par une force d'injection calculer , dans l'empreinte du moule ou bien la cavité par ce que on appelle la partie fixe , du moule , puis les deux plaques de moule se referment entre eux avec une force de fermeture deux fois plus grande que la force de pression de thermoplastique, puis éjecter à l'aide des angles de dépouille et les éjecteurs , et la vérin et les colonnes de guidages plus la plaque arrière coté éjection retourne au position initial , pour commencer un autre cycle d'injection,

Chapitre I : Propriétés Mécaniques et mise en formes des Matières plastique

1.20.1 Les différentes étapes d'injection plastiques :

Le procédé de moulage par injection est une technique de fabrication utilisée pour produire des pièces en plastique en grandes quantités (*figure 1.8*). Le cycle d'injection dans un moule comprend généralement les étapes suivantes : [2]

- **Fermeture de moule** - Le moule est fermé et serré à l'aide d'une presse à haute pression afin de s'assurer que les moitiés du moule sont bien maintenues ensemble.
- **Injection** - La matière plastique est fondue et injectée dans la cavité du moule sous haute pression à l'aide d'une unité d'injection
- Cette étape est généralement réalisée en quelques secondes, et le plastique remplit complètement le moule.
- **Refroidissement** - Le moule est refroidi à une température permettant au plastique de se solidifier, ce qui peut prendre de quelques secondes à plusieurs minutes, selon la dimension et la complexité de la pièce.
- **Ouverture** - Le moule est ouvert et la pièce en plastique est éjectée à l'aide d'un système d'éjection.
- **Éjection** - La pièce en plastique est retirée de l'empreinte du moule, manuellement ou automatiquement, et le moule est prêt pour le prochain cycle d'injection.
- **Recyclage** - L'excédent de plastique est retiré, et le matériau restant peut-être recyclé et réutilisé dans le processus de production, Le cycle d'injection dans un moule peut être répété des milliers ou des millions de fois, ce qui permet aux fabricants de produire des pièces en plastique avec une grande précision et une grande régularité.

Injection Process

Processus de l'Injection

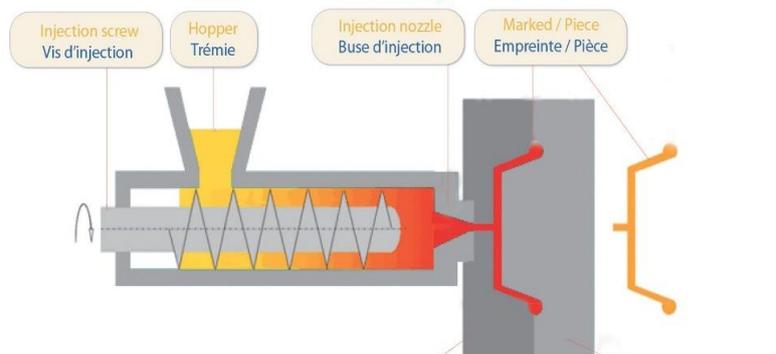


Figure 1.8 les étapes d'injection

Chapitre II : la Machine d'injection

2.1 Introduction :

La conception et la production de pièces moulées par injection plastique impliquent plusieurs éléments clés, notamment la machine d'injection plastique, les moules d'injection thermoplastique et le type de moule utilisé dans le processus. Il existe différents types de moules utilisés dans le moulage par injection, chacun ayant ses propres caractéristiques et ses avantages.

Dans ce chapitre, nous aborderons les différents types de moules couramment utilisés dans le moulage par injection et les facteurs clés à prendre en compte lors de la sélection du moule approprié pour une application particulière. Nous verrons également comment interpréter et étudier le fonctionnement de la machine de moulage par injection, y compris les diverses spécifications techniques et les documents utilisés pour communiquer les détails et les exigences de la conception.

En outre, nous examinerons les caractéristiques de chaque type de moule standard, y compris les avantages et les inconvénients de chacun. En comprenant les spécificités de chaque type de moule, les ingénieurs, les concepteurs et les fabricants peuvent prendre des décisions éclairées qui conduisent à des processus de moulage par injection de matières plastiques plus efficaces et plus rentables.

Dans l'ensemble, ce chapitre constitue une ressource précieuse pour la conception et la production de pièces moulées par injection plastique. Il fournit une vue d'ensemble complète des différents types de moules et de la manière de les sélectionner et de les utiliser en conjonction avec la machine d'injection plastique

Chapitre II : la Machine d'injection

2.2 Fonctionnement d'une presse à injection

Le fonctionnement d'une presse à injection de plastique est généralement le suivant : Les granules de plastique sont introduits dans la trémie, soit manuellement, soit par un système automatisé. Les granules sont ensuite acheminés par gravité à travers une goulotte d'alimentation jusqu'au baril d'injection où se trouve la vis sans fin. Le plastique est fondu à l'aide de la chaleur fournie par l'unité d'injection, qui peut atteindre des températures allant de **200°C** à **300°C**. La matière plastique fondue est déplacée à l'intérieur du baril d'injection par la vis sans fin. Cette vis, tout en se déplaçant vers le moule, agit également comme un piston pour injecter le plastique fondu sous pression dans les cavités du moule qui est fermé. L'injection du plastique fondu se fait à travers la buse, qui communique avec un orifice situé dans la partie fixe du moule, montée sur le plateau fixe. Les cavités du moule sont maintenues à une température appropriée pour permettre le refroidissement et la solidification du plastique fondu injecté. Pendant que les pièces refroidissent, la vis sans fin se déplace vers la trémie afin de se recharger en granules et se préparer pour la prochaine injection. Après un délai prédéterminé pour permettre aux pièces de se solidifier, le moule s'ouvre. Lorsque le moule est ouvert, les éjecteurs sortent pour extraire les pièces moulées ou les décoller afin de faciliter leur extraction par un robot ou un équipement périphérique. Une fois les pièces extraites, le mécanisme de fermeture génère le mouvement de fermeture du plateau mobile : la partie mobile du moule se rabat sur sa partie fixe, ce qui correspond à la fermeture du moule. Le moule fermé est alors prêt à recevoir une nouvelle injection de plastique fondu, et le cycle se répète. Un schéma explicatif des différents équipements d'une presse à injection horizontale est disponible pour visualiser le processus.[21]

1. Plateau arrière fixe

2. Mécanisme de fermeture - genouillère et vérin

3. Éjecteur **4.** Plateau mobile **5.** Colonne de guidage **6.** Plateau fixe d'injection

7. Buse d'injection **8.** Tête du baril **9.** Bande chauffante

10. Baril d'injection **11.** Vis **12.** Trémie d'alimentation **13.** Goulotte d'alimentation **14.** Motorisation de la vis

15. Décharge des pièces **16.** Moule **17.** Console de commande **18.** Bâti

Chapitre II : la Machine d'injection

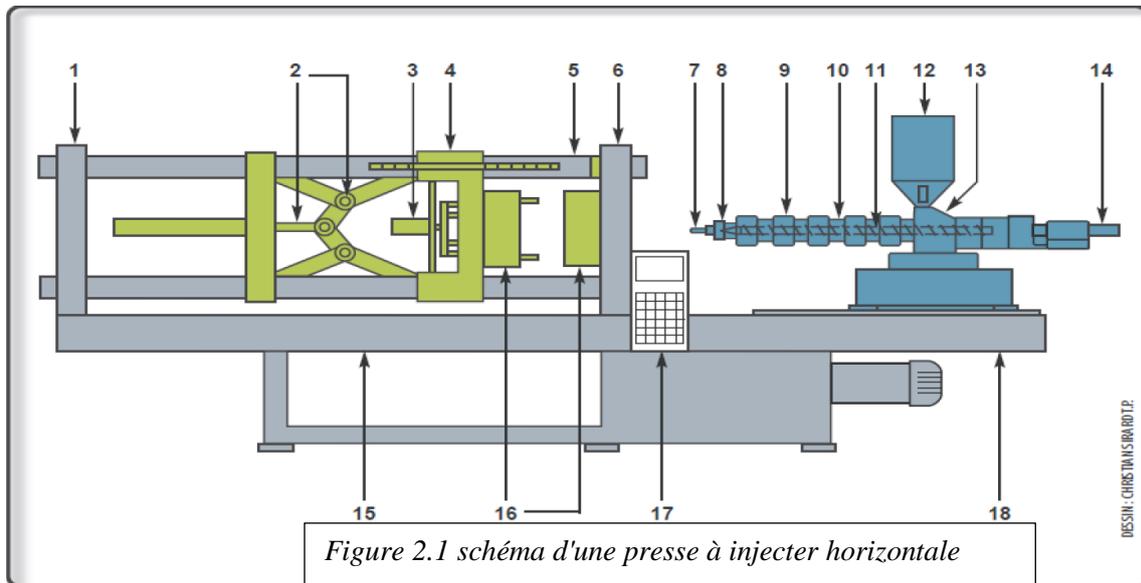


Figure 2.1 schéma d'une presse à injecter horizontale

2.3 Types de presse :

Les presses utilisées pour la compression et le moulage par transfert des thermo sets peuvent être de formes et de conceptions diverses, mais elles peuvent être généralement classées comme des types manuels, mécaniques ou hydrauliques. Les presses à main ont relativement capacité inférieure, allant de 10 à 100 tonnes, tandis que les presses hydrauliques ont une capacité considérablement plus élevée (500 tonnes). Les presses hydrauliques peuvent être des variétés course ascendante ou Course descendante. Dans le simple course pression, la pression peut être appliquée assez rapidement, mais le retour est lent. Dans la presse à course descendante équipée d'un réservoir de remplissage, cet inconvénient de la presse à le remplissage avec le liquide d'un réservoir. Les principes de base de l'hydraulique sont utilisés dans les presses. L'eau ou l'huile est utilisée comme fluide principal .[21]

2.4 Les équipements d'une presse à injection :

2.4.1 Trémie d'alimentation (la cuve) :

C'est un convoyeur pour stocker le plastique pour produire et générer le flux aussi pour le recyclage de plastique pour accomplir des fonctions bien spécifiés

2.4.2 La buse d'injection :

Une buse de presse doit : Assurer un contact étanche avec le moule durant l'injection, malgré les forces pressions mises en œuvre. La force d'appui buse-moule doit être assez élevée et s'exerce sur des portées sphériques ou tronconiques, rarement planes.

2.4.3 Vis fourreau :

C'est un cylindre à vis électriquement chauffé et équipé d'une vis universelle de trois zone

Chapitre II : la Machine d'injection

1. Zone d'alimentation
2. Zone de compression
3. Zone de plastification [3]

2.4.4 Plateau fixe - plateau mobile :

Plateau fixe : Ce plateau qui se trouve à la sortie du cylindre de plastification comporte un moule avec une carotte.

–Plateau mobile : Ce plateau comporte également un moule avec empreintes qui sera pressé contre le moule du plateau fixe pendant un certain laps de temps pour permettre à la matière de se solidifier.

2.4.5 . Console de commande :

Une console système ou console est un périphérique informatique de télécommunications des entrées-sorties d'un système.

2.4.6 Sommier bâti :

Pièce d'appui sur une maçonnerie ou un massif de fondation soit sur le sol ou bien des piliers de béton pour but de fixation et éviter le broutage ainsi les vibrations.

2.4.7 Mécanisme de fermeture - genouillère et vérin :

Cet ensemble permet la fermeture et le verrouillage de la partie mobile du moule, sur la partie fixe. Devant résister à la pression d'injection, sa conception est très importante. Son fonctionnement peut être mécanique, hydraulique, ou mixte., Il existe deux type de fermeture : fermeture mécanique (SIMPLE ET DOUBLE) –fermeture hydraulique

2.4.8 Le moule :

Un moule est un ensemble de pièces métalliques qui sont bien assemblé dans le but d'accomplir des fonctions bien déterminées, dont l'objectif de fabriquer des pièces en plastiques d'une manière automatique, cet outil est constitué d'une partie mobile est une partie fixe séparées par ce qu'on appelle un plan de joint

2.4.9 Moteur réducteur :

Le motoréducteur est un appareil composé d'un moteur électrique monophasé ou triphasé et d'un réducteur. Le principe de celui-ci est de réduire la vitesse de sortie grâce à un système de pignon, tout en augmentant le couple il existe plusieurs types de moteur dans les machines injection

Chapitre II : la Machine d'injection

rappelons aussi le **servomoteur** : qui a pour but de maintenir une puissance selon le couple demandé parce que il contient un appareil « tachymètre » qui mesure le couple entrant.

2.4.10 Éjecteur :

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

2.5 Les caractéristiques technique d'une presse d'un injection plastique :

Un standard Européen "Euromap" définit les caractéristiques des presses. Exemples :

1) 900 H – 210

- 900 : Force de fermeture en KN
- H : Presse horizontale
- 210 : Volume maximum de matière injectable

2) La Baby Plast 6/6 M 62,5 H – (4 à 15)

3) La plus grosse presse (Billion) 100 000 H - 80 000

=> Pour mouler des pièces d'une surface de 2 m² et de 80 kg : grosses poubelles collective. [8]

Il existe plusieurs types de machine presse injection, horizontale et vertical. Mais comment choisir selon la fiche technique (ANNEXE) les propriétés de la machine que je vais travailler et la machine de celle du client, on cite les critères suivants :

2.5.1 Le type de vis :

le rapport $\frac{L}{D}$ Ce rapport comporte la longueur de la vis sur le diamètre de vis ce dernier va nous permettre de choisir le type de matériau et proportionnel sur le diamètre et la longueur.

2.5.2 Le poids injectable :

Il consiste sur le grammage du **plastique**, pour un remplissage complet du moule y compris le canal d'alimentation

2.5.3 La force d'ouverture :

C'est la force nécessaire pour maintenir le moule [ensemble] pendant l'injection elle est importante pour que le moule ne soit pas ouvert prématurément à cause de pression d'injection il faut toujours surveillée et contrôlée

Chapitre II : la Machine d'injection

2.5.4 La course d'ouverture :

C'est la distance entre les deux moitiés du moule appelée course d'ouverture la taille de la machine définit la course d'ouverture possible avec une distance suffisante les pièces peuvent être éjectée facilement on note que plus le noyau (*empreinte*) est profond plus que la course d'ouverture nécessaire est grande ; mais il faut mieux de réduire (plus courte que possible)

2.5.5 Espace inter colonne :

Cette mesure peut nous donner deux information (VOIR IMAGE ANNEXE)

- La limite des tailles des moules peut placer entre les barres d'attache dans la machine
- La faisabilité des moules après fabrication coté dimension est ce que l'atelier peut fabriquer ce moule pour le client

2.5.6 Hauteur de moule :

De sorte qu'il ait suffisamment d'espace pour l'éjection de la pièce pour la plaque de moule est complètement ouverte

2.5.7 La course d'éjecteur :

Pour que le produit soit bien éjecté est protéger contre les déformations est ça nous aides surtout pour calculer la longueur du moule l'éjecteur (L) qui il le convient

2.5.8 Force d'éjection :

Pour savoir déterminer si la quantité optimale de lubrifiant a été ajouter à la formulation

2.5.9 Capacité de la trémie :

Pour savoir la quantité maximale du plastique (granulé) en kg

2.5.10 Dimension De la Machine :

Pour savoir le bon emplacement dans l'atelier Mécanique.

2.6 Structure et outillage d'un moule

2.6.1 Introduction

Après avoir représenté la machine injection plastique et ses différentes caractéristiques, dans cette section consacrée spécialement pour les équipements de moules, la géométrie de moule et les types standards de moule, cela pour but d'améliorer la conception structurelle des moules injection dans l'industrie de plasturgie pour éviter les défauts de fabrication

Chapitre II : la Machine d'injection

2.7 Définition d'un Moule :

Un moule est un dispositif mécanique extrêmement précis qui permet la fabrication en série de milliers de pièces en injectant du matériau plastique dans des cavités spécifiquement conçues à cet effet. Il est utilisé en conjonction avec une presse à injection. Un moule se compose généralement de deux parties principales : une partie fixe qui permet l'injection du matériau plastique, et une partie mobile qui assure la fermeture du moule.

Lorsque le moule est fermé, la zone de contact entre ses deux parties est appelée plan de joint. C'est à cet endroit précis que la pièce sera démoulée ultérieurement. La position physique du plan de joint est délicate à définir. Afin d'éviter tout marquage indésirable sur la pièce moulée, les deux parties du moule doivent s'emboîter de manière parfaite, établissant ainsi une étanchéité lorsque le moule fermé est soumis à la pression. Le plan de joint n'est pas toujours plat et peut présenter des formes complexes. [8]

2.8 Les équipements d'un moule

- **La buse moule** : permet le passage de la matière du fourreau vers l'empreinte.
- **La rondelle de centrage** : Permet le centrage du moule sur les plateaux de la machine (presse), dans le but de centrer la buse moule à la buse machine.
- **Plaque arrière côté injection** : Permet de fixer la rondelle de centrage, la buse moule et les

Bagues de guidage, ainsi que le bridage.

- **Bague de guidage** : Permet le guidage des colonnes de guidages
- **Plaque porte empreinte côté injection** : Permet la fixation de la bague de guidage, contient
Le circuit de régulation de température.
- **Colonnes de guidage** : Permet de guider la partie mobile (PM) sur la partie fixe (PF)
pour
Aligner parfaitement l'empreinte
- **Plaque porte empreinte côté éjection** : Permet la fixation des colonnes de guidage,
Contient le circuit de régulation
- **Ejecteur de rappel** : Permet la remise à zéro de la batterie d'éjection, dans le cas d'une Éjection non-attelé.
- **Ejecteurs** : Permet d'éjecter la pièce quand le moule est ouvert

Chapitre II : la Machine d'injection

- **Extracteur de carotte (arrache-carotte)** : Permet l'extraction de la carotte, ainsi lors de l'ouverture, la moulée ne reste pas bloqué dans la PF.
- **Tasseaux d'éjection** : Permet d'obtenir une course optimum de la batterie d'éjection.
- **Plaque arrière côté éjection** : Permet le blocage en translation de la batterie d'éjection, Permet le bridage du moule sur le plateau mobile, permet également la fixation des Tasseaux.
- **Batterie d'éjection** : Permet la translation des arraches carottes, remise à zéro et éjecteurs. Est composé de la plaque porte éjecteurs et de la contre plaque d'éjection.
- **Vis de fixations** : Permet de fixer la plaque arrière côté injection sur la plaque porte Empreinte côté injection
- **Rainures de bridage** : Permet le passage de la bride
- **Raccord rapide du circuit d'eau** : Permet un raccord rapide du circuit d'eau
- **Circuit de régulation thermique** : permet de réguler le moule avec de l'eau. [8]
- **Le plan de joint** : Le plan de joint dans le moulage par injection désigne la ligne de démarcation ou la surface où les deux moitiés du moule se joignent et se détachent. Cette ligne définit la limite entre la cavité et le noyau du moule, et c'est le point où la matière plastique fondue est injectée dans la cavité du moule. Le plan de joint est un aspect essentiel du moulage par injection car il détermine la forme, la dimension et la qualité du produit final. Il est essentiel de veiller à ce que le plan de joint soit précis, propre et lisse afin d'éviter tout défaut ou imperfection dans le produit fini (VOIR FIGURE NOMENCLATURE DE MOULE D'UN MOULE ANNEXE) [15]

2.9 Types de moule



Figure 2.2 conception standard moule ronde et rectangulaire

Le concepteur de moule, doit impérativement connaître les types de moule standard, leur construction mécanique ainsi le choix des aciers, dans l'annexe vous trouverez les figurines des types de moules standard, Pour certains moules, il est nécessaire de modifier la base du moule pour tenir compte d'une caractéristique spécifique. Dans l'ensemble, la base de moule standard peut être utilisée de manière bénéfique par le concepteur du moule, le fabricant du moule et l'utilisateur final. Néanmoins, il est Parfois nécessaire

d'avoir un "moule sur mesure" afin d'incorporer une spécificité ou d'adopter un système de

Chapitre II : la Machine d'injection

refroidissement de moule différent, ou simplement parce qu'une base de moule standard de forme ou de taille appropriée n'est pas disponible. la *figure 2.2* Montre deux styles de base de moule ;

L'une a une section rectangulaire (c'est la forme la plus courante), l'autre est ronde.

On va citer quelque avantage et inconvénients à propos de l'utilisations des moules de base standard. [15]

Tableau 1 avantages et inconvénients des moules standards

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- Dessin de conception pour des tailles d'unités individuelles, ce qui réduit le temps de conception des moules- Moins d'acier doit être stocké, l'investissement est réduit- Le contrôle des achats et des stocks est facilité.- Le prix de base du moule est connu, l'estimation du coût du moule est plus facile.	<ul style="list-style-type: none">- Le nombre de tailles de bases de moules disponibles est limité- Les bases de moules de grande dimension sont limitées- La profondeur maximale des plaques de fond de moule est également relativement réduite.- La course du système d'éjection peut être plus importante que ce qui est réellement nécessaire

2.9.1 Critères de choix la conception de moule :

La conception des moules d'injection varie en fonction de la géométrie du produit, des applications finales, des tolérances du produit (*type de porte et emplacement*), de la durée de vie du produit, du coût de produit alloué, des exigences de production du moulage, de l'efficacité (*économie optimale*), du degré de mécanisation, des facteurs qui dicteront la dimension du moule et du type de matériau thermoplastique à mouler. Les types de moules d'injection les plus courants sont les suivants.

2.10 Moule à deux plaques :

Voir La *figure 2.3* montre un moule dit à deux plaques qui comporte en réalité plus de deux plaques. Il s'agit du nom commun d'un moule d'injection thermoplastique avec un seul plan de joint. Le plan de joint d'un moule peut être défini comme la surface avec laquelle les deux moitiés

Chapitre II : la Machine d'injection

du moule se séparent pour permettre aux pièces moulées par injection et aux canaux d'être éjectés du moule. Un côté de la cavité est monté dans la plaque **a** cavité "A" avec l'anneau de positionnement et la douille de carotte assemblés dans la moitié fixe du moule. La plaque porte-empainte "B" fait partie de la moitié mobile du moule et contient les noyaux, les systèmes de canaux et le système d'éjection, qui sont actionnés par la barre d'éjection fixée à l'actionneur de la machine et l'ensemble plaque d'éjection, déplaçant les goupilles d'éjection et la goupille d'extraction de la carotte vers l'avant pour éjecter les pièces moulées et le système de canaux lors de l'ouverture du moule. Le thermoplastique en fusion est acheminé directement depuis la buse de la machine à travers la douille de la carotte qui est reliée au canal et aux portes de bord, remplissant les cavités de matière fondue. Les cavités du moule se refroidissent ensuite pour former le produit solide final (petits récipients). [15]

Chapitre II : la Machine d'injection

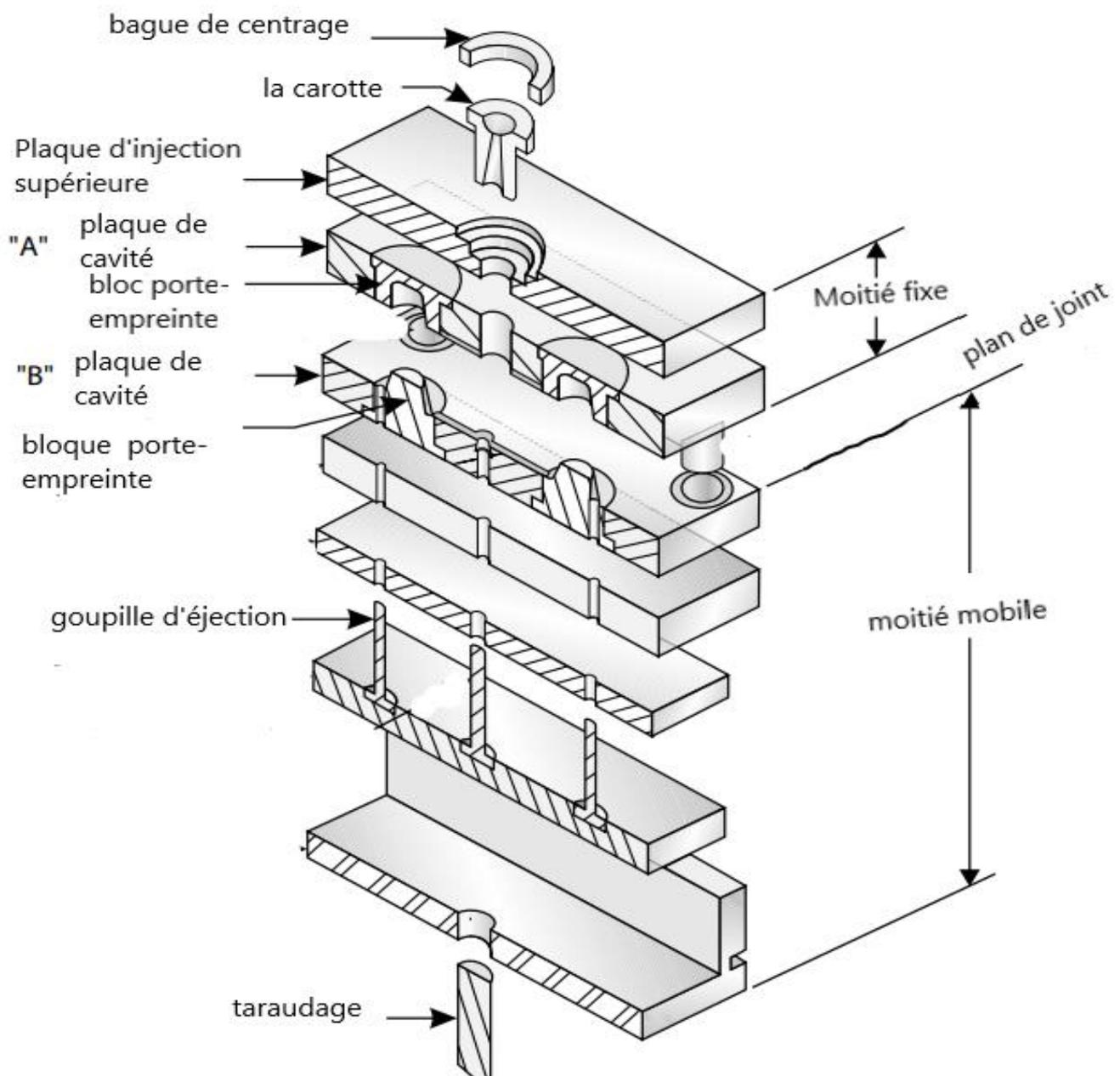


Figure 2.3 section transversale moule à deux plaques

Chapitre II : la Machine d'injection

2.11 Moules à plaquettes interchangeables Round Mate :

Le système Round Mate® se compose d'un corps principal circulaire avec des pièces rondes interchangeables et facilement amovibles, comme le montre la *figure 2.4*. Pour les opérations de production de moulage par injection de grande quantité, ou pour produire différentes pièces en même temps, l'utilisation d'inserts multi-empreintes et d'un système à canaux chauds est

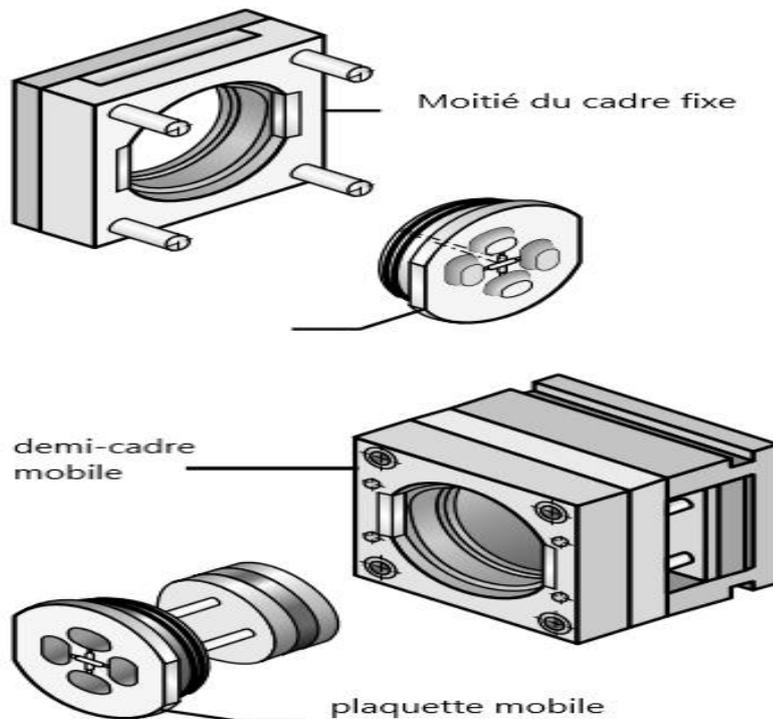


Figure 2.4 Moules à pièces interchangeables rondes

Possible dans toutes les dimensions. Le système Round Mate® offre la flexibilité et la facilité d'utilisation nécessaires pour changer les pièces rapportées dans la machine de moulage par injection en seulement dix minutes. Ce système Round Mate® permet d'économiser des heures inutiles de fabrication de moules. En utilisant le cadre universel Round Mate®, l'usinage standard et le travail de découpe sont effectués une seule fois, Le châssis principal en acier à outils **AISI 4140 plaqué A** est totalement résistant à la rouille et à la corrosion. La conception des plaquettes permet de nettoyer le système de refroidissement de tous les dépôts minéraux et de la corrosion. L'entretien est réduit au minimum. [13]

2.12 Moules à trois plaques Système de canaux froids :

Le moule à trois plaques est utilisé lorsqu'un point d'injection central est nécessaire sur un moule à plusieurs empreintes ou lorsque la géométrie de la pièce moulée nécessite l'éjection d'une

Chapitre II : la Machine d'injection

plaque de démoulage. Ce système de moule à trois plaques fonctionne comme suit : Le moule est ouvert au niveau du plan de joint et la carotte est immédiatement tirée par la goupille

D'extraction de la carotte. L'ensemble du système de canaux à trois plaques recule ainsi avec la plaque porte-empreinte en mouvement, le canal, sous l'effet de la force d'arrachement exercée par la broche suceuse, se détache de la cavité. Le mouvement continu de la plaque de

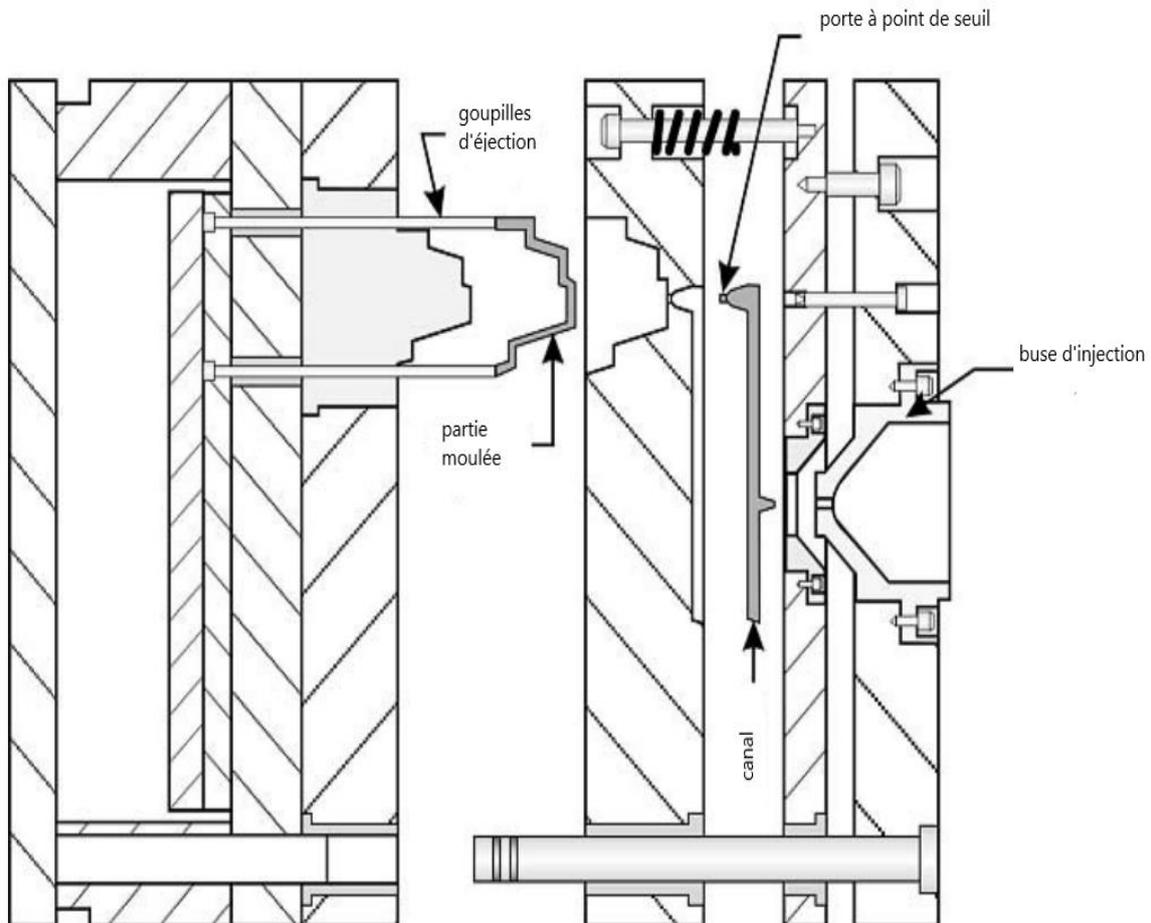


Figure 2.5 moule canaux froids trois plaque

L'empreinte "A" entraîne le cisaillement de la goupille suceuse du canal à trois plaques et libère des cavités, prête à être éjectée. Lorsque le moule est fermé, les plaques sont progressivement ramenées à leur position initiale. La **figure 2.5** illustre un système de moule à trois plaques, un canal à froid et un point de seuil. [15]

Chapitre II : la Machine d'injection

2.13 Moules à canaux chauds :

Offrent les avantages des moules à trois plaques sans leurs inconvénients, mais soulèvent d'autres problèmes. Le terme "canal chaud" est utilisé car le système d'alimentation est généralement chauffé et reste donc en état de fusion pendant toute la durée du cycle de moulage. Par conséquent, le canal chaud ne consomme pas de matériau et n'exige pas de temps de cycle pour transporter la matière fondue de la machine de moulage aux cavités du moule. Le système de canaux chauds comprend une douille de carotte chaude, un collecteur chaud et deux buses de canaux chauds, ainsi que des réchauffeurs, des câbles et d'autres composants liés au chauffage. Le système de canaux chauds est soigneusement conçu pour minimiser le transfert de chaleur entre le système de canaux chauds et le moule environnant grâce à l'utilisation d'espaces d'air et d'une zone de contact minimale. Comme dans le cas du moule à trois plaques, les canaux primaires et secondaires sont acheminés dans le collecteur au-dessus des cavités du moule, ce qui permet une certaine souplesse dans l'emplacement des points d'entrée. Étant donné que le polymère reste fondu, les canaux chauds peuvent être conçus pour offrir des orifices d'écoulement plus larges et une excellente transmission de la pression de la machine de moulage aux cavités du moule. Ainsi, les systèmes à canaux chauds peuvent faciliter le moulage de pièces plus fines avec des temps de cycle plus rapides que les moules à deux ou trois plaques, tout en évitant les déchets associés aux canaux froids. (Voir figure 2.6) [15]

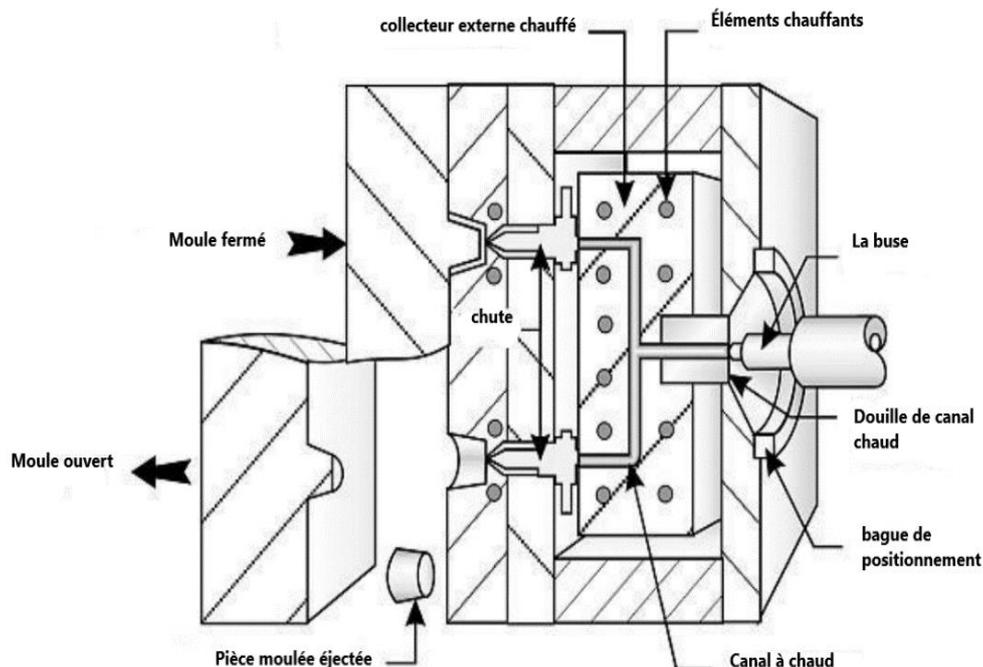


Figure 2.6 moule à canaux chauds

Chapitre III : facteurs influençant la conception d'un moule par injection plastiques

3.1 Introduction :

La conception du moule d'injection peut avoir un impact significatif sur la qualité, le coût et l'efficacité du processus de moulage par injection. Par exemple, une mauvaise conception du moule peut entraîner des défauts tels que des déformations, des marques d'enfoncement, des bavures, etc., qui peuvent augmenter le coût de production et entraîner une baisse de la qualité du produit. En outre, une mauvaise conception des composants du moule peut entraîner une usure accrue, ce qui se traduit par des coûts de maintenance et de remplacement fréquents.

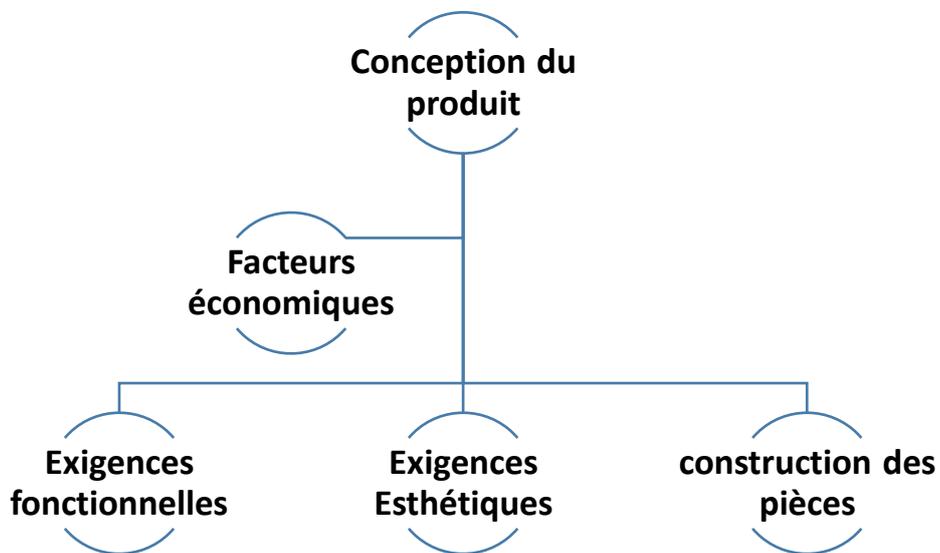
Par conséquent, les ingénieurs mécaniciens impliqués dans le moulage par injection doivent avoir une connaissance approfondie des facteurs qui influencent la conception des moules. Ils doivent être en mesure de concevoir des moules capables de résister aux pressions et températures élevées du processus de moulage par injection, tout en garantissant une épaisseur de paroi uniforme, des angles de dépouille appropriés, ainsi qu'une finition et une texture de surface adéquates.

En conclusion, on ne saurait trop insister sur l'importance de comprendre les facteurs qui influencent la conception des moules dans le domaine du moulage par injection, en particulier compte tenu de la croissance significative du marché du moulage par injection. Les ingénieurs mécaniciens impliqués dans le moulage par injection doivent posséder les connaissances et les compétences nécessaires pour concevoir des moules capables de produire des pièces en plastique de haute qualité, cohérentes et rentables.

Chapitre III : facteurs influençant la conception d'un moule par injection plastiques

3.2 Conceptions structurelles des thermoplastiques :

La construction des moules en thermoplastique demande beaucoup des exigences, de la part des clients, de connaissances géométrique tell que l'assemblage, des acquisitions des propriétés mécanique, chimiques et électriques, pour finir des compréhensions préalables dans les échanges thermiques. Ce, schéma présentatif des différents facteurs affectant la conception du produit Va nous permettez comment la conception du produit influence le produit final, dans ce chapitre on va focaliser surtout sur les facteurs d'exigences esthétiques, et fonctionnelles, les autres on va détailler plus précisément dans les chapitres suivants



Le comportement caractéristique de différents polymères doit être pris en compte. Un certain nombre de principes généraux de conception. On va interpréter et discuter, chaque problème géométrique tell que : la symétrie de la pièce, épaisseur, les bords vifs, les angle de dépouilles, Nervures et structures profilées, Contre-dépouilles. [15]

3.3 Épaisseur de paroi uniforme et symétrique :

La règle de conception ultime pour les produits thermoplastiques de moulage par injection est de s'assurer que l'épaisseur de la paroi est uniforme et symétrique. Les produits moulés par injection peuvent rencontrer des problèmes de déformation (gauchissement) et de contrôle dimensionnel en raison d'épaisseurs de paroi non uniformes ou lourdes. Les sections lourdes des murs, comme le montre la figure 3.1, provoquent non seulement un rétrécissement interne, des vides et des retassures en surface, mais également un rétrécissement non uniforme qui entraîne un mauvais

Chapitre III : facteurs influençant la conception d'un moule par injection plastiques

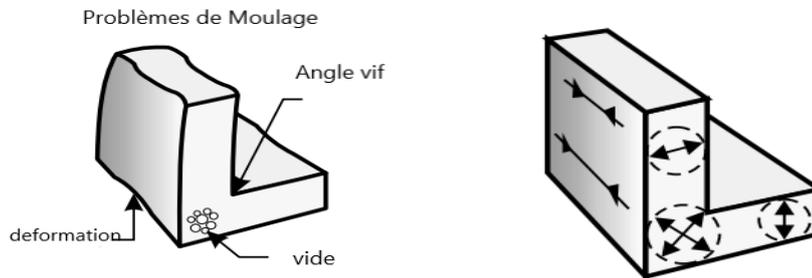


Figure 3.1 problème de moulage dans cas d'un épaisseur de paroi avec un angles vifs

Problèmes de contrôle dimensionnel et de déformation, Le refroidissement du thermoplastique et la température de traitement à la température ambiante déterminent le comportement de retrait du thermoplastique. Il est crucial d'assurer un refroidissement approprié et un retrait prévisible de la pièce. Gardez les épaisseurs des murs aussi minces et uniformes que possible tout en respectant les exigences fonctionnelles. Même le remplissage anticipé et le retrait du moule tout au long du moulage peuvent être obtenus de cette manière. Il est possible de réduire les contraintes internes. Pour raccourcir le cycle de moulage, obtenir un faible poids de pièce et optimiser l'utilisation des matériaux, l'épaisseur de la paroi doit être minimisée. L'épaisseur minimale de paroi qui peut être utilisée dans le moulage par injection est déterminée par la taille et de la géométrie du moulage et du comportement du flux du matériau voir **figure 3.2**. Lorsque des épaisseurs de paroi variables sont inévitables pour des raisons de conception, il devrait y avoir une transition progressive, En règle générale, l'épaisseur de paroi maximale utilisée ne doit pas dépasser **4mm**. Des parois plus épaisses augmentent la consommation de matériaux, allongent considérablement le temps de cycle et causent des contraintes internes élevées, retassures et des vides.[15] (POUR UN PLUS DE DETAIL VOIR TABLEAU DANS ANNEXE) (TABLEAU 1 ÉPAISSEURS SUGGEREES POUR LES PIECES THERMOPLASTIQUES MOULEES PAR INJECTION)

Chapitre III : facteurs influençant la conception d'un moule par injection plastiques

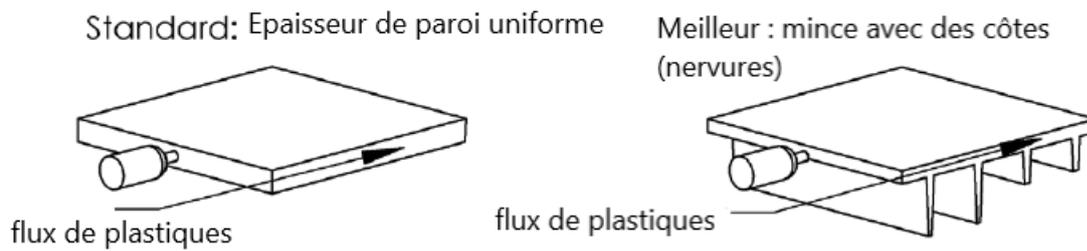


Figure 3.2 épaisseur de paroi uniforme meilleur et standard conception

3.4 Conception des bossages

Les bossages sont généralement utilisés pour fixer plusieurs composants ensemble à l'aide de vis auto taraudeuses. *La figure 3.3* présente différentes conceptions de bossages. Le modèle le plus à gauche présente un bossage près d'un coin avec deux nervures et un gousset placé à 120° . Le modèle central montre un bossage sur une nervure avec deux goussets à 90° . Le modèle le plus à droite montre un bossage indépendant avec des nervures à soufflets qui fournissent une surface d'assemblage surélevée. Toutes ces conceptions de bossage utilisent une épaisseur de bossage, de nervure et de gousset égale à **70 % de l'épaisseur nominale de la paroi**. Comme pour la conception des nervures, l'épaisseur de la paroi et l'angle de dépouille des goussets peuvent être modifiés en fonction de **leur hauteur** et du **matériau moulé**. Les bossages doivent

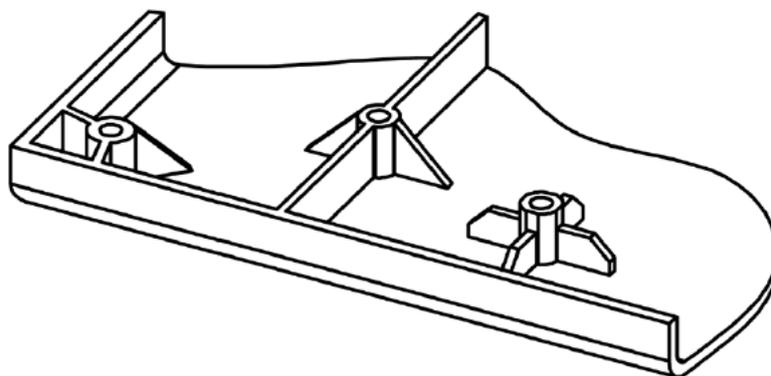


Figure 3.3 Conception efficace de bossage

Chapitre III : facteurs influençant la conception d'un moule par injection plastiques

Pouvoir résister au couple appliqué lors de l'insertion des vis auto taraudeuses ainsi qu'aux **forces d'arrachement** potentielles appliquées lors de l'utilisation finale. Dans le même temps, Les sections trop épaisses des bossages peuvent entraîner des temps de cycle prolongés ou des problèmes esthétiques. Aucune dépouille n'a été utilisée sur les bossages et les goussets dans les conceptions de *la figure 3.3*. Bien que ces caractéristiques de conception soient essentielles à l'intégrité structurelle de la pièce, elles sont petites par rapport à la taille globale de la pièce. Cependant, dans le moulage par injection, l'éjection des bossages peut être un problème, c'est pourquoi des éjecteurs tubulaires [voir section éjecteurs] peuvent être utilisés pour faciliter l'éjection des bossages de grande taille qui nécessiteront des forces d'éjection importantes.[15]

3.5 Angle vifs :

Un principe important est d'éviter les coins internes pointus. En raison de la différence dans le rapport *surface/volume* du polymère à l'extérieur et le à l'intérieur du coin, le refroidissement à l'extérieur est mieux que le refroidissement à l'intérieur. En conséquence, le matériau à l'intérieur montre plus de retrait et ainsi le coin tend à dévier. En outre, un coin interne pointu introduit la concentration de contrainte. Un coin arrondi a :

- Refroidissement uniforme
- Petite déformation
- Moins de résistance au débit
- Remplissage plus facile
- Concentration de contrainte plus faible - Sensibilité moins marquée

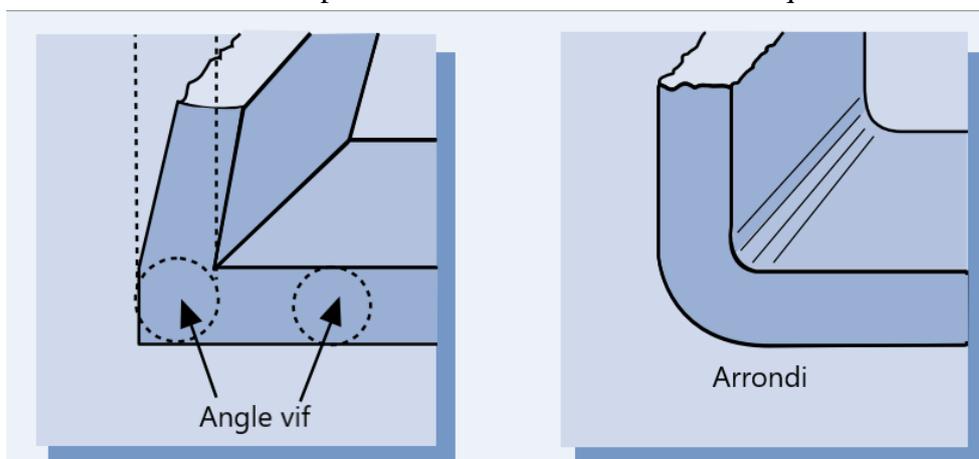


Figure 3.4 exemple d'un angle vif et arrondi

Chapitre III : facteurs influençant la conception d'un moule par injection plastiques

La figure 3.4 nous montre une bonne conception des angles, Les angles de dépouille pour les parois internes et externes sont essentiels à l'éjection des pièces moulées du moule. Les murs extérieurs nécessitent des angles de dépouilles plus petits que les murs intérieurs (POUR PLUS DE DETAIL DES ANGLES DE DEPOUILLES VOIRE TABLEAU MATERIAUX/ANGLE DE DEPOUILLES DANS L'ANNEXE). Le matériau thermoplastique se dilate en volume à l'intérieur de l'unité de plastification, et le matériau solide est transformé en un fondant fluide. Ensuite, la moulée est injectée à l'intérieur du moule. La température froide à l'intérieur des cavités déclenche le refroidissement et la contraction de la fonte chaude. La quantité de retrait d'une pièce moulée est le produit des caractéristiques de retrait du polymère, de l'épaisseur de la paroi de la pièce, du temps d'injection/d'emballage, de la température du moule et du temps de refroidissement.

Pendant le processus de retrait, les parois extérieures de la pièce moulée rétrécissent, à partir des parois extérieures de la cavité, tandis que les parois internes rétrécissent autour de la surface principale ou des parois. Les matériaux thermoplastiques semi-cristallins ont des caractéristiques de retrait de moule plus élevées que les matériaux amorphes (VOIR TABLEAU DIFFERENCE STRUCTURE SEMI CRISTALLIN ET AMORPHE CHAPITRE 01). Les pièces faites de matériaux semi-cristallins nécessitent des angles de dépouille plus élevés pour leurs parois internes, tandis que les matériaux amorphes qui ont des caractéristiques de retrait de moule plus faibles, nécessitent des angles de dépouille plus élevés pour leurs parois externes, des températures de moule plus basses et des temps de refroidissement plus longs. Lorsqu'une pièce moulée nécessite une paroi interne avec un angle de dépouille minimum, il est recommandé de disposer d'un contrôle efficace de la température du moule, avec des cavités de moule et des noyaux en acier durcissant, bien poli dans le sens de l'éjection et faible coefficient de frottement, de surface de frottement sur les noyaux. [11]

3.6 Thermoplastiques renforcés de fibres de verre :

Le degré d'orientation des fibres de verre dépend de plusieurs facteurs, tels que :

- l'épaisseur de la paroi du moulage
- la position et le type d'injection (canal à chaud ou à froid)
- la dimension de canal d'injection
- la vitesse d'injection.

Chapitre III : facteurs influençant la conception d'un moule par injection plastiques

En général, l'orientation des fibres de verre dans les sections de paroi plus fines, par exemple moins de 2 mm, et lorsque la vitesse d'injection augmente. Une vitesse d'injection élevée est

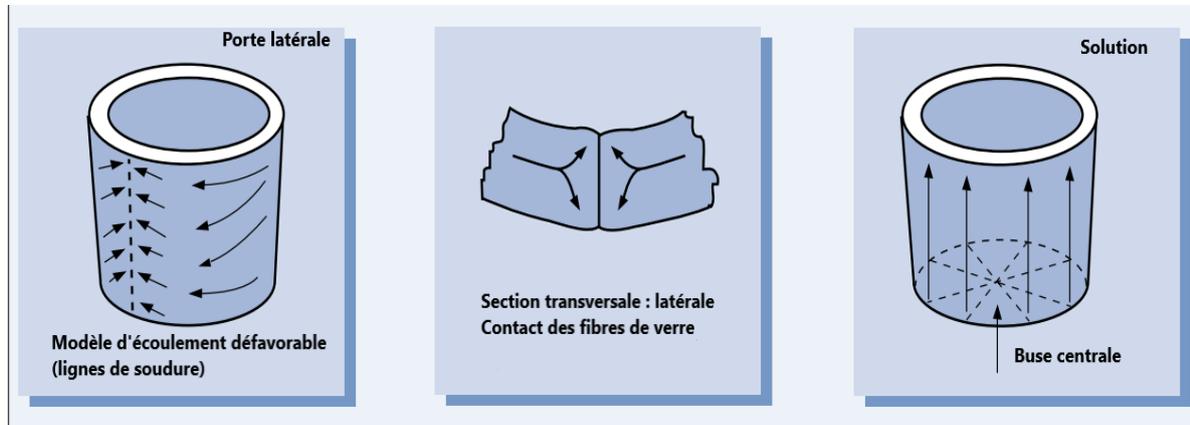


Figure 3.5 Influence de l'emplacement du canal sur le comportement d'écoulement de la masse fondue

Nécessaire pour obtenir une surface lisse. La direction de l'orientation est influencée par le type et l'emplacement de la carotte et, bien sûr, par la forme du produit. [11] (**Voir figure 3.5**)

3.7 Nervures :

Si la charge sur une pièce structurale nécessite des épaisseurs supérieures à **4 mm** épaisseur, renforcement au moyen de nervures ou de sections de boîtes est conseillé dans afin d'obtenir la résistance requise à une épaisseur de paroi acceptable. Les nervures et les sections de caisson, voir **figure 3.6** Augmentent la rigidité, améliorant ainsi la capacité portante du moulage. Ces méthodes de renforcement permettent une diminution de l'épaisseur de la paroi, mais confèrent à la section la même résistance qu'une plus grande épaisseur de paroi. L'utilisation de nervures réduit

Considérablement les contraintes internes qui se produisent normalement pendant le retrait dans les sections épaisses. D'un point de vue économique, l'utilisation de nervures entraîne des économies de matériel et des cycles de moulage plus courts. Les côtes sont conçues de

Chapitre III : facteurs influençant la conception d'un moule par injection plastiques

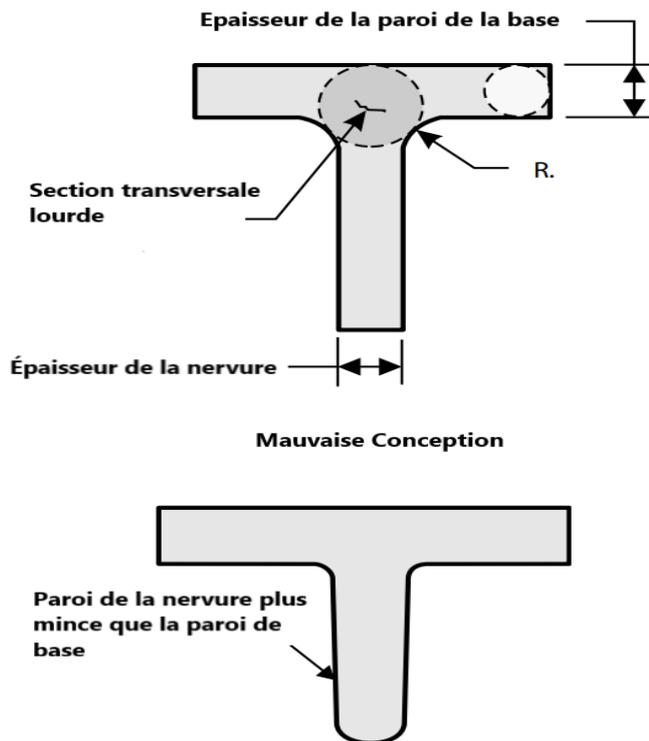


Figure 3.6 la conception d'une bonne nervure de paroi mince

Préférence en parallèle Il doit être plus fin que le mur à renforcer. L'épaisseur d'une côte ne doit pas dépasser la moitié de l'épaisseur de la paroi . Côtes d'une épaisseur supérieure à la moitié, l'épaisseur de la paroi provoquera retassure clairement visibles sur la surface de la paroi opposée aux nervures. De plus, les nervures épaisses peuvent agir comme des débits préférentiels pendant l'injection. Il en résulte des et le piégeage de l'air, Exemples de comment éviter les grands murs épaisseurs aux raccords de nervure voir.[,15] **figure 3.7**

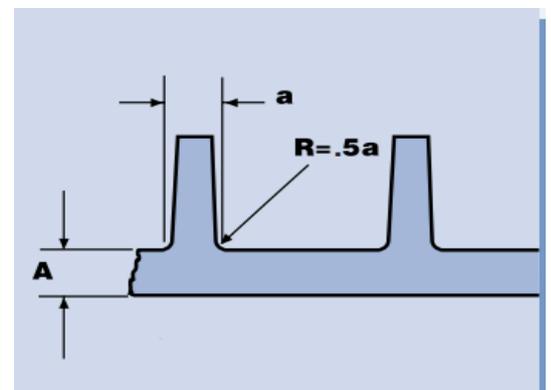


Figure 3.7 présentation d'une nervure

Chapitre III : facteurs influençant la conception d'un moule par injection plastiques

3.8 Contre-dépouilles

Une contre-dépouille est une caractéristique de la conception du produit qui interfère avec l'éjection de la pièce moulée du moule. Quatre caractéristiques de conception typiques nécessitant des contre-dépouilles sont illustrées à la **voir figure 3.8**. Ces caractéristiques comprennent, bossage horizontal, filetage intérieur, surplomb, Encoche trou débouchant. Pour éviter l'adhérence de la contre-dépouille dans la partie fixe « femelle », il existe des méthodes structurelles à base de connaissances acquises dans le dessin technique, la théorie des mécanismes, on note l'utilisation des éjecteurs tubulaires, éjecteur avec noyaux pliables nous allons expliquer et illustrer dans les chapitres suivants, la deuxième solution c'est d'utiliser le type de moule à étage ou bien moule à trois plaques. Il est nécessaire de bien étudier le produit avant de concevoir avec le client, car cette dernière exigence est parmi les exigences les plus difficiles à réaliser. [15]

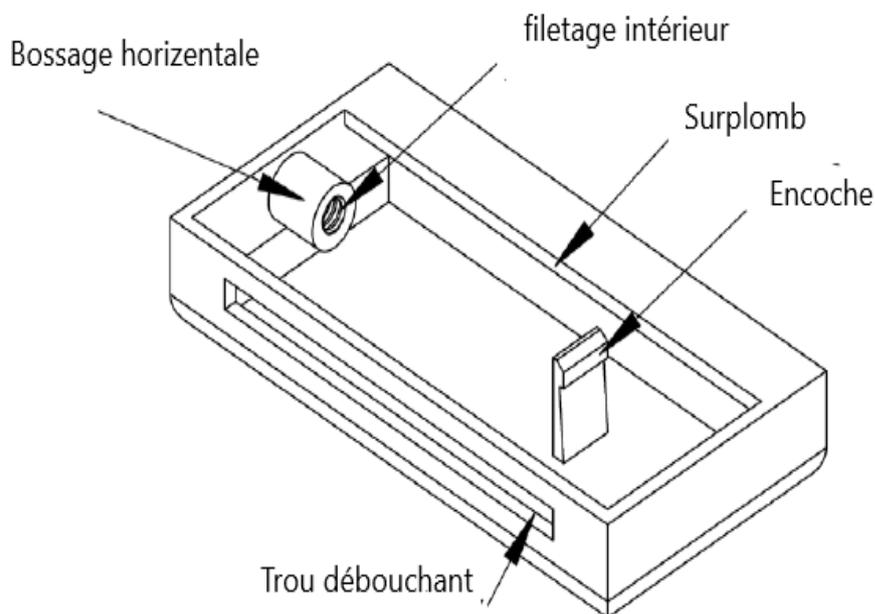


Figure 3.8 les contre-dépouilles usuelles

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

4.1 Introduction :

La conception structurelle du moule joue un rôle crucial dans la réussite de ce processus. Ce chapitre se concentre sur les différents aspects de la conception structurelle d'un moule par injection plastique, en mettant l'accent sur trois éléments essentiels : la méthode d'alimentation du moule, le système d'éjection et le choix des aciers, ainsi que le système de refroidissement.

La méthode d'alimentation du moule est un élément clé de la conception structurelle, car elle détermine comment le matériau plastique est injecté dans le moule pour former la pièce. Le choix de la méthode d'alimentation appropriée est crucial pour assurer un remplissage uniforme et une distribution optimale du matériau plastique dans le moule, afin d'éviter les défauts tels que les vides, les retassures ou les contraintes excessives.

La pièce doit être éjectée du moule de manière efficace et sans dommage. Le système d'éjection, composé d'éjecteurs, de broches d'éjection et de ressorts, est conçu pour pousser la pièce hors du moule avec précision et rapidité. Une conception appropriée du système d'éjection garantit un démoulage fluide et réduit les risques de défauts ou de déformations de la pièce.

Le choix des aciers est également un aspect crucial de la conception structurelle du moule par injection plastique. Les aciers utilisés pour fabriquer le moule doivent être capables de résister aux températures élevées et aux pressions du processus d'injection,

Enfin, le système de refroidissement joue un rôle important dans la conception structurelle du moule. Un refroidissement efficace des moules est essentiel pour raccourcir les cycles de production, minimiser la déformation des pièces et garantir une qualité constante des pièces produites d'injection.

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

4.2 Le système d'injection et l'emplacement de la buse

Ils peuvent limiter la flexibilité de conception des moules à cavités multiples. La précision dimensionnelle et les exigences de qualité doivent être prises en compte. La disposition des canaux des moules à cavités multiples doit être conçue pour un remplissage simultané et régulier des cavités. Les systèmes de canaux asymétriques entraînent un déséquilibre dans le remplissage des cavités. Les systèmes de canaux déséquilibrés entraînent un remplissage, un post-remplissage et un refroidissement inégaux des cavités individuelles, qui peuvent provoquer des défaillances telles que :

- Un remplissage incomplet
- Des différences dans les propriétés du produit
- Des différences de rétrécissement ou de déformation
- Retassures
- Bavure
- Mauvais démoulage
- Incohérence.

4.3 Moules à cavités multiples :

Le nombre de cavités et la construction de moules dépendent à la fois de facteurs économiques et techniques. L'important est le nombre des pièces à mouler, le temps requis et le prix par rapport aux coûts de fabrication des moules. La **figure 4.1** montre la relation entre le coût total des pièces et le nombre de cavités. [11]

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

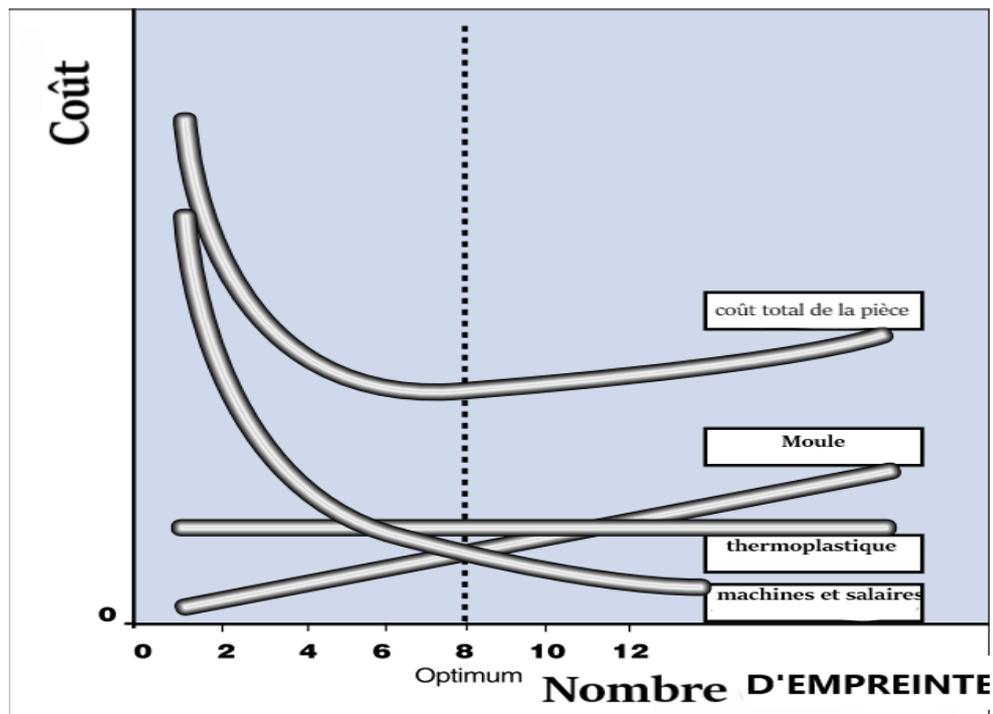


Figure 4.1 Coût total des pièces par rapport au nombre de cavités

Des exemples de canaux asymétriques (déséquilibrés) sont illustrés à la **figure 4.2**. Grâce à la modélisation de l'écoulement assistée par ordinateur, il est possible d'ajuster les dimensions des canaux principaux et secondaires pour obtenir des schémas de remplissage égaux. L'ajustement des dimensions des canaux pour obtenir un remplissage égal peut ne pas être suffisant dans les parties critiques pour prévenir les défaillances potentielles.

Une attention particulière est requise pour :

- Les pièces de très petite dimension
- Les pièces à section mince
- Les pièces qui ne permettent aucune retassures
- Les pièces dont la longueur du canal principal
- Beaucoup plus grande que la longueur du canal secondaire.

Il est préférable de concevoir des canaux naturellement équilibrés comme le montre la **figure 4.3** lorsqu'une qualité élevée et des tolérances serrées sont requises, les cavités doivent être uniformes. Les moules familiaux ne sont pas considérés comme inadaptés. Néanmoins, il peut être nécessaire, pour des économies, de mouler différentes pièces dans un même moule. La

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

cavité contenant le plus grand composant doit être placée le plus près de la carotte, Le nombre maximal de cavités dans un moule dépend du volume total de la cavité, y compris les canaux, par rapport à la capacité maximale du baril et la force de fermeture de la presse à injecter. [11]

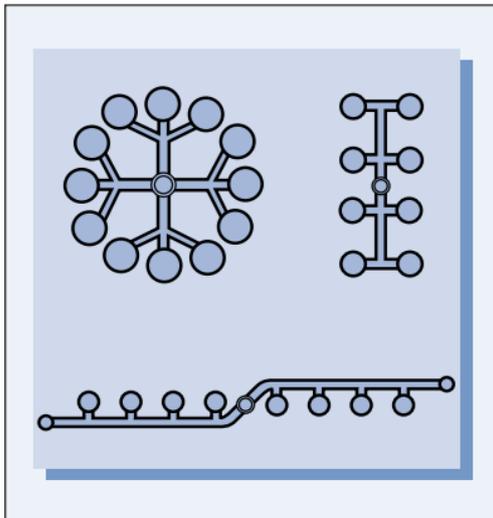


Figure 4.3 déséquilibre des canaux

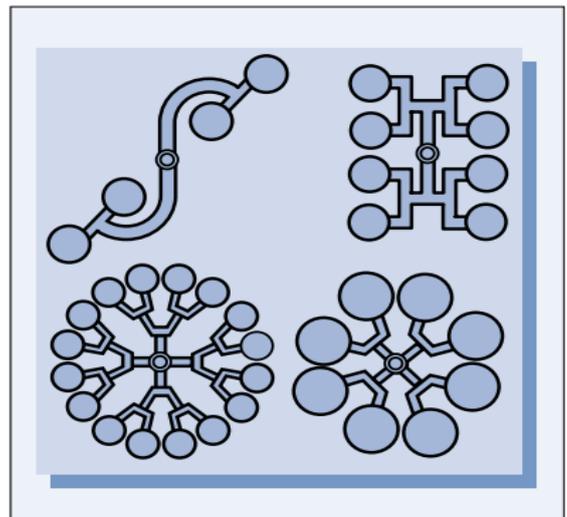


Figure 4.2 système de canaux équilibré

4.4 Les canaux alimentation :

Le système de canaux est un collecteur permettant de distribution de la matière thermoplastique fondue de la buse de la machine vers **les empreintes**. Longueur canal vers carotte et les canaux doivent être aussi courts que possible, afin de limiter les pertes de pression dans le moule, La conception des canaux permet d'éviter l'écoulement irrégulier de la matière fondue, ce qui peut avoir pour conséquence de coincer de l'air. Une répercussion potentielle. La résistance à l'écoulement peut être réduite en arrondissant tous les angles du système de canaux.

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

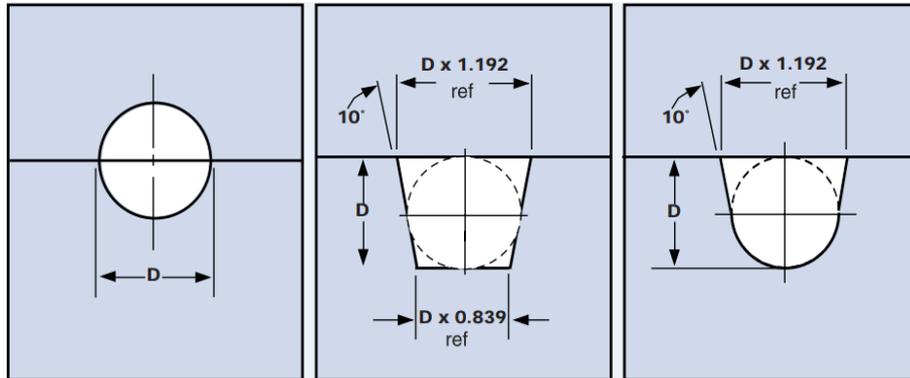


Figure 4.4 Section transversale de différents profils de canaux d'alimentation

Les canaux avec une section transversale circulaire favorisent l'écoulement et le refroidissement de la matière fondue en raison de leur rapport *surface/volume* optimal. Cependant, il faut la construction de canaux circulaires demande plus de travail, car une moitié doit être usinée dans la partie fixe du moule et l'autre moitié dans la partie mobile du moule. Cette option est plus coûteuse car les deux parties doivent correspondre l'une à l'autre avec une grande précision. Les **canaux semi-circulaires** ne sont pas recommandés en raison des pertes de chaleur importantes. Les **canaux trapézoïdaux** complets dans l'une des deux moitiés de moule constituent une alternative plus économique (*voir figure 4.4*).

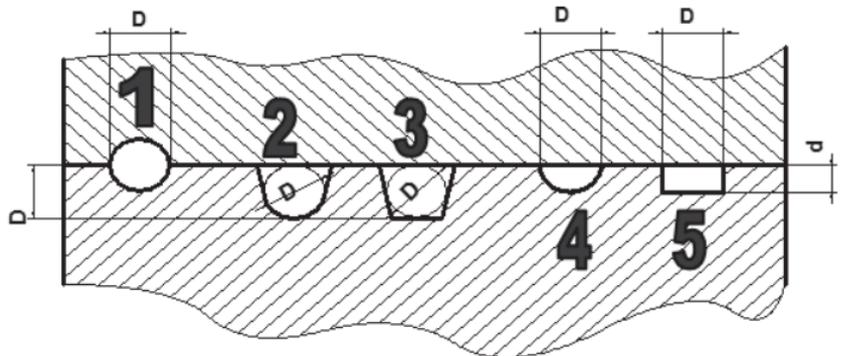
La section transversale trapézoïdale arrondie combine la facilité d'usinage dans une moitié de moule et une section transversale qui se rapproche de la forme circulaire souhaitée. La hauteur d'un canal trapézoïdal doit correspondre au moins **80 %** de la plus grande largeur. [16]

Le diamètre d'un canal dépend fortement de sa longueur, mais ne doit jamais être inférieur à la plus grande épaisseur de paroi du produit. Les dimensions recommandées pour les canaux peuvent être prises dans le (TABLEAU 1 ANNEXE), Le diamètre d'un Canal dépend fortement de sa longueur, mais ne doit jamais être plus petit que la plus grande épaisseur de paroi du produit.

Les dimensions recommandées peuvent être tirées du TABLEAU 2 ANNEXE, Introduit dans la figure suivante [10](*figure 4.5*)

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

Figure 4.5 Les différents types de canaux d'alimentation et leurs usinages associés



4.4.1 Equilibrage des écoulements dans le canal Les caractéristiques des canaux d'alimentations sont :

Pour faciliter la phase maintien lors de l'injection, le canal principal doit être supérieur au \emptyset d'entrée de la buse outillage.

- La taille d'un canal dépend généralement du diamètre du seuil.
- Le diamètre du canal d'alimentation du seuil varie de **2x à 3x**.

Le ratio entre le canal principal et les canaux secondaires doit être de : **\emptyset Principal** est égal à **1,3 à 1,5 x \emptyset Secondaires**.

Nous allons expliquer la méthode de distribution des canaux principaux et secondaires de type circulaire et linéaire dans les figures suivantes.

Le principe des distributions des canaux d'alimentation secondaire(*seuil*) est de choisir la trajectoire la plus courte possible, à moins que d'autres paramètres ne soient incompatibles avec l'emplacement, comme indiqué ci-dessous :

- Le dispositif de refroidissement
- Le système de fixation. [8]

4.5 La conception des seuils :

L'emplacement du seuil est très important pour les caractéristiques et l'apparence de la pièce finie. La matière fondue doit remplir rapidement et uniformément toute la cavité. Pour la conception du seuil, les points suivants doivent être pris en compte :

- Placer l'entrée au niveau de la section la plus épaisse
- Noter les marquages du seuil pour des raisons esthétiques
- Éviter les excédentaires, en modifiant les dimensions ou la position du seuil

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

- Équilibrer les voies d'écoulement pour assurer un remplissage et un emballage uniformes
- Éviter les lignes de soudure ou diriger vers des sections moins critiques
- Minimiser l'air piégé pour éliminer les marques de brûlure (retassures)
- Éviter les endroits soumis à des chocs ou contraintes mécaniques
- Les placer de manière à faciliter le dégazage.

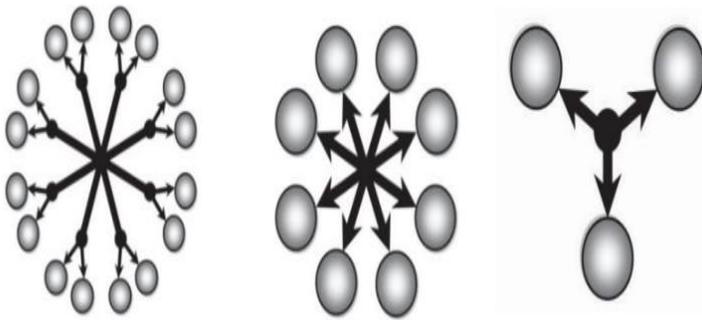


Figure 4. 6 distribution circulaire des empreintes dans le moule

Une distinction peut être faite le **seuil direct et indirect**. Les pièces à **injection centrale** présentent un flux radial de la matière fondue. Ce type d'injection est particulièrement adapté Aux pièces symétriques, telles que les produits en forme de coupe ou les engrenages, car la cavité peut se remplir uniformément et donner des résultats très prévisibles. En revanche, D'autre part, les propriétés de l'écoulement linéaire et de l'écoulement transversal différent souvent. Dans les pièces plates (section linéaire ou rectangulaire), cela peut induire une contrainte supplémentaire et entraîner un gauchissement (flexion) ou un retrait des thermoplastiques. [10] (*Voir figure 4.6 et 4.7*)

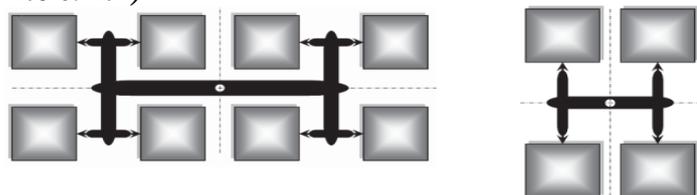
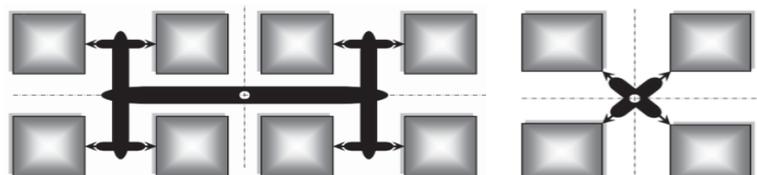


Figure 4.7 distribution linéaire des empreinte dans le moule



Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

4.6 Conception de la buse :

L'emplacement des buses est d'une grande importance pour les propriétés et l'apparence de la pièce finie. La matière fondue doit remplir toute la cavité rapidement et uniformément (*voir figure 4.8*, les points suivants doivent être pris en compte :

- Noter les marques de la porte pour des raisons esthétiques
- Éviter les jets d'eau en modifiant les Dimensions ou la position de la vanne
- Équilibrer les flux d'écoulement pour assurer Un remplissage et un compactage uniformes
- Minimiser l'air piégé pour Éliminer les marques de brûlure (retassures)
- Éviter les zones sollicitées par des forces où Contraintes mécaniques
- Les placer de manière à faciliter le dégazage. [16]



Figure 4.8 buse machine

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

4.7 La carotte :

L'injection directe avec la carotte est simple pour les moules à empreinte unique **dite (mono empreinte)** symétriques et à injection centrale.

Ce type d'injection est particulièrement adapté aux moulages épais, car la pression de maintien est plus efficace. Une carotte courte est privilégiée, permettant un remplissage rapide du moule et de faibles pertes de pression. En général, le diamètre au début de la carotte doit être supérieur d'environ **0,5 mm** à l'orifice de la buse. Une conicité totale minimale de **3°** est requise, La jonction de la carotte et de la pièce doit être la pièce arrondie pour éviter les fissures de contrainte. Après le démoulage, la carotte est retirée mécaniquement de la pièce. (*Voir figure 4.9*), Nous avons plusieurs types de seuils, et pour chacun de type sans utilisation, la conception mécanique, et le dessin technique associés pour plus d'information voire tableau dans l'annexe (TABLEAU DES TYPES DE SEUILS). [16]

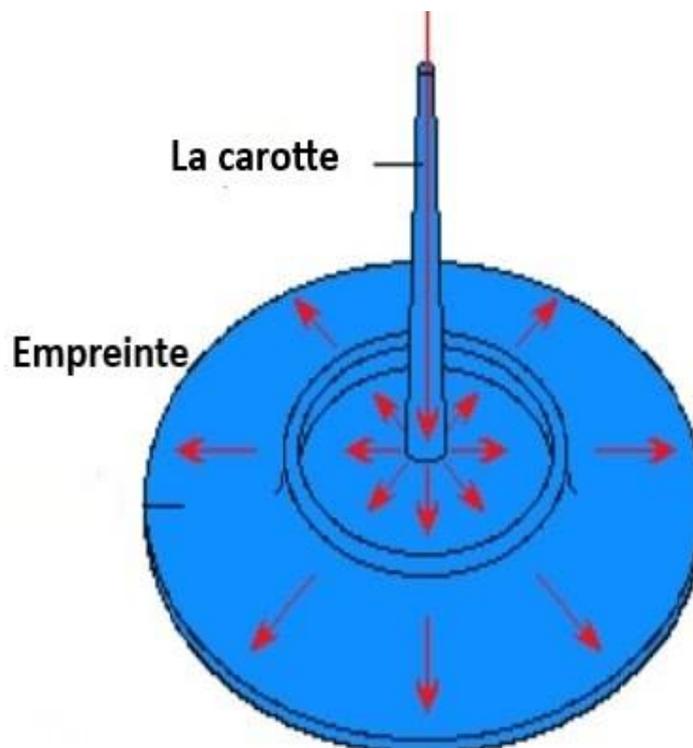


Figure 4. 9 le flux de plastique dans la carotte

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

4.8 Définition d'un éjecteur :

Dans la fabrication par injection, on utilise couramment l'éjecteur comme dispositif mécanique qui permet le retrait des pièces produites finies hors de la cavité du moule où elles ont été modelées. Le système d'éjection se compose généralement d'un ensemble de broches ou tiges positionnées dans la partie mobile du moule. Une fois que le matériau plastique injecté a durci dans l'empreinte du moule, les broches sont activées pour sortir proprement et sans conséquence toute dégradation la pièce moulée vers l'extérieur du moule.

Enfin afin d'assurer son fonctionnement efficace en permanence, il exigera également une maintenance adaptée et régulière incluant une lubrification appropriée.

4.9 Le fonctionnement d'un Ejecteur :

Le dispositif d'éjection extrait la pièce du moule à l'ouverture du moule. Il peut être composé d'éjecteurs, d'une plaque d'éjection ou d'un système basé sur l'air comprimé. La course d'éjection doit être suffisante pour assurer l'évacuation de la pièce de l'empreinte, moule ouverte.

Les mécanismes de démoulage sont situés sur le côté du moule où la pièce reste fixée, souvent du côté de la partie mobile. En règle générale, les pièces sont retenues sur les noyaux lors du retrait. Si nécessaire, il est possible d'utiliser de petites contre-dépouilles pour imposer ce résultat ou pour que la pièce reste dans l'empreinte. Le coefficient de frottement, le module d'élasticité du polymère au moment de l'éjection et le retrait déterminent l'adhérence de la pièce.
[7]

4.10 Méthode de calcul de force d'éjection :

La force d'éjection peut généralement être déterminée avec la contrainte normale présente au moment de l'éjection et un coefficient de friction,

$$\text{On a : } F_E = f \cdot p_{A \cdot A_C} \quad [15] \quad (1:1)$$

F_E : force d'éjection

f : coefficient de frottement

A_C : surface centrale de l'empreinte

p_A : Pression de contact entre la pièce moulée et le noyau,

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

La grandeur du coefficient de frottement f dépend essentiellement de l'appariement plastique - acier, mais aussi de certains paramètres de traitement. Ce coefficient est affecté par le contact entre la couche superficielle solidifiée et la surface du moule au moment du démoulage. Seules les mesures effectuées dans le moule lui-même, dans des conditions de traitement réelles et sans séparation préalable entre le moulage et la surface du moule, peuvent être utilisées dans ***l'équation (1. 1)*** si l'on veut obtenir des valeurs réalistes. Pour les éléments de moule, qui ont été fabriqués par électroérosion et polis, le coefficient de frottement a été déterminé en fonction de la rugosité de surface et est présenté dans (TABLEAU ANNEXE COEFFICIENT DE FROTTEMENT)

4.10.1 Déformation élastique autour des contre-dépouilles :

En fait, les plaques de démoulage sont idéales pour ce type d'éjection car elles fournissent des forces d'éjection très uniformes qui sont presque en ligne avec la force de frottement entre le moulage et le noyau. La déformation, ε , causée par une contre-dépouille lors de l'éjection peut être facilement estimée comme la quantité de déviation, δ , que la pièce doit subir divisée par la distance, L , sur laquelle la déviation est appliquée, soit

$$\varepsilon = \delta/L \quad [13]$$

On observe que la plupart des plastiques ont une limite élastique supérieure à 2 % (*réf tableau*), ce qui constitue une ligne directrice raisonnable pour la conception des moules. L'exception concerne les matériaux fortement chargés, dont la limite d'élasticité est inférieure et qui ont tendance à se rompre de manière fragile. La force d'éjection d'une pièce déformée élastiquement pendant l'éjection peut également être estimée. Tout d'abord, la contrainte dans la section déformée de la pièce peut être calculée comme la déformation imposée multipliée par le module du matériau, E

$$\text{Soit : } \delta \equiv E\varepsilon \quad [13]$$

Cette contrainte agit comme une contrainte de cerceau autour du périmètre de la pièce, comme dans l'analyse précédente. La force normale est estimée comme suit

$$f_{normal} = \sigma A_{surface\ de\ contact} \quad [13]$$

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

La force d'éjection peut être estimée en fonction de la force normale, du coefficient de frottement, μ_s , et de l'angle de dépouille, $\cos(\emptyset)$. La combinaison des termes ci-dessus donne :

$$F_{eject} = \mu_s \cdot \cos(\emptyset) \cdot E \left(\frac{\delta}{L} \right) \cdot A_{contact} \quad [13]$$

4.11 Conception et dimensions des éjecteurs :

Les éjecteurs sont un élément essentiel du processus de moulage par injection. Elles sont utilisées pour éjecter la pièce finie du moule après qu'elle ait été formée. Les éjecteurs sont généralement fabriqués en acier trempé et sont insérés dans le moule pendant la phase de conception.

Les dimensions des éjecteurs sont déterminées par la hauteur et la forme de la pièce finie, ainsi que par la conception du moule. Les éjecteurs existent dans une variété de dimensions et de formes, notamment **cylindriques**, **plates** et **angulaires**. La taille et la forme de la tige d'éjection déterminent également son emplacement dans le moule.

Lors de la conception d'un moule d'injection, il est important de tenir compte de l'emplacement et de la taille des éjecteurs. Si les broches sont trop petites, elles risquent de ne pas pouvoir éjecter la pièce correctement. Si elles sont trop grandes, elles risquent d'endommager la pièce ou le moule. En outre, le nombre et l'emplacement des éjecteurs auront un impact sur la qualité générale et la cohérence des pièces finies. [7]

Globalement, les éjecteurs sont un élément crucial du processus de moulage par injection. Elles jouent un rôle important en garantissant que les pièces finies sont correctement formées et éjectées du moule. Une attention particulière doit être accordée à leur conception et à leur placement afin de garantir des produits finis de la plus haute qualité.

Pour démouler une pièce, les éjecteurs sont les éléments les plus fréquemment utilisés. Ils sont présents sur le marché en tant que standards dans de nombreuses variantes et dimensions. L'éjecteur est le plus souvent fabriqué en acier à matrice pour travail à chaud (**type AISI H-13**) et trempés ou nitrurés au gaz pour obtenir une dureté superficielle élevée d'environ **70**

RC. Une trempe adéquate et une bonne qualité de surface empêchent le grippage dans le moule et assurent une longue durée de vie. **Le bisulfure de molybdène** doit être appliqué sur la surface de l'axe pendant les travaux de maintenance pour améliorer le fonctionnement dans des

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

conditions défavorables. Cela permet d'obtenir un flux de grain uniforme et d'éviter les angles vifs, qui affaibliraient la goupille par un effet d'entaille. Il existe deux types fondamentaux de goupilles d'éjection en fonction de leur utilisation voir *figure 4.10* :

a) **Les goupilles cylindriques droites** sont les plus courantes pour toutes les forces d'éjection. La tête cylindrique réduit le risque d'être enfoncé dans la plaque d'éjection. Ils sont généralement disponibles dans des diamètres de **1,5 à 25 mm** où. Et dans des longueurs allant jusqu'à **635 mm**

b) **Les éjecteurs à épaulement** ou à tige étagée sont utilisés lorsque seule une petite partie de la pièce moulée est disponible pour l'éjection et qu'une faible force est nécessaire. L'axe étagé

augmente, résistance **au flambage**. Les diamètres courants sont de **1,5 à 3,0 mm** en longueurs standard jusqu'à 355 mm, avec des épaulements standard de **12,7 ou 50,8 mm**.

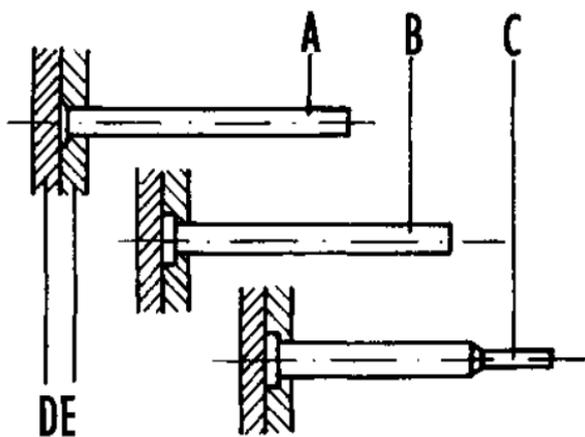


Figure 4.10 Représentation schématique des éjecteurs

A- Goupille d'éjection avec tête conique et tige cylindrique,

B- Goupille d'éjection à tête cylindrique et à tige cylindrique,

C - Goupille d'éjection de type épaulé,

D - Plaque d'éjection

E - Plaque de retenue de l'éjecteur [13]

4.12 Conception du système d'éjection :

Dans le moulage par injection, le système d'éjection dépend de plusieurs paramètres, théoriques et pratiques, dans la partie suivante on va parler des différents paramètres et leur influence sur le produit injecté, système de refroidissement, le choix des aciers de moule, afin un exemple d'application pour comprendre comment réellement ça fonctionne l'emplacement des éjecteurs.

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

Pour une conception détaillée du système d'éjection (nombre, emplacement et type d'éléments d'éjection) il est important de connaître les forces d'éjection, et les paramètres qui nous permette de réduire cette force en apportant des modifications mineures à la configuration de la pièce.

Essentiellement, on peut s'attendre à deux types de forces :

- **Forces d'ouverture** : elles sont générées si le moule est coincé par trop peu de retrait ou trop de déformation.

- Forces d'éjection subdivisées en deux :

a) Forces de desserrage : elles sont présentes pour toutes les pièces avec des noyaux et sont générées par le rétrécissement de la moulure sur le noyau. On les remarque aussi avec des côtes minces et effilées. Ici, elles peuvent provoquer une fracture des lamelles qui forment les côtes.

b) Forces de poussée : elles peuvent résulter d'une trop faible conicité du noyau et du frottement qui en résulte entre la pièce et le noyau. [7]

4.13 Paramètres de l'emplacement des éjecteurs :

Il est important de comprendre les facteurs qui peuvent affecter le système d'éjection dans le moulage par injection pour optimiser le processus de production et obtenir des résultats constants et de haute qualité. Une conception, un fonctionnement et une maintenance appropriés du moule et du système d'éjection peuvent contribuer à minimiser les défauts et à réduire les coûts de production.

Pour conclure on liste quelques facteurs qui peuvent affecter l'emplacement de systèmes d'éjection

- Conception de la pièce :

La conception de la pièce à mouler peut affecter le système d'éjection. Les pièces aux formes complexes ou aux contre-dépouilles profondes peuvent nécessiter des éjecteurs supplémentaires ou des systèmes d'éjection spécialisés.

Conception et emplacement des éjecteurs :

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

La conception et le positionnement des éjecteurs peuvent affecter le processus d'éjection. La dimension, la forme et le nombre de broches nécessaires dépendent de la section et de la forme de la pièce à mouler.

- Course de l'éjecteur :

La distance parcourue par les broches de l'éjecteur pendant l'éjection peut affecter le processus d'éjection. La longueur de la course doit être suffisante pour éjecter complètement la pièce sans l'endommager.

- Force d'éjection :

La force requise pour éjecter la pièce peut varier en fonction de la dimension, de la forme et du matériau de la pièce. Une force d'éjection insuffisante peut entraîner le blocage de la pièce dans le moule, tandis qu'une force excessive peut endommager la pièce ou le moule

- Temps de refroidissement :

Le temps nécessaire au refroidissement de la pièce peut affecter le processus d'éjection. Une éjection prématurée peut entraîner une déformation ou une déformation de la pièce, tandis qu'une éjection retardée peut endommager le moule.

- Conception et construction du moule :

La conception et la construction du moule peuvent affecter le processus d'éjection. Le moule doit être conçu pour permettre une éjection facile de la pièce, et doit être construit dans des matériaux capables de résister aux forces impliquées dans le processus d'éjection.

- Agents de démoulage :

L'utilisation d'agents de démoulage (lubrifiant *des moules*) peut affecter le processus d'éjection. Des lubrifiants insuffisants ou mal appliqués peuvent faire coller la pièce dans le moule, tandis que des agents de démoulage en excès peuvent contaminer la pièce ou affecter son état de surface. **(La rugosité RA)**

- Entretien :

Un entretien régulier du moule et du système d'éjection est important pour garantir des performances et une longévité optimale. L'usure des broches d'éjection ou d'autres composants peut affecter le processus d'éjection et entraîner des dommages ou une défaillance du moule.

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

4.14 Éjection de pièces présentant des contre-dépouilles :

La question du démoulage des pièces présentant des contre-dépouilles dépend avant tout de la forme et de la profondeur de la contre-dépouille. Elles déterminent si la contre-dépouille peut être directement démoulée ou si des dispositions spéciales doivent être prises pour dégager la contre-dépouille à l'aide de glissières, d'une cavité fendue ou en la vissant. Les pièces qui ne peuvent pas être démoulées directement nécessitent donc un outillage coûteux et éventuellement un équipement dépouilles peuvent être évitées par une modification de la forme.

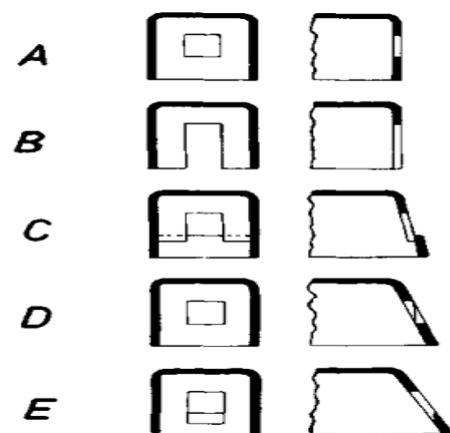
Ainsi, il convient d'abord de vérifier si les contre-dépouilles peuvent être évitées par une modification mineure de la conception de la pièce, telle que l'utilisation intelligente d'un cône ou d'une ouverture dans une paroi latérale. Des exemples sont présentés à la figure 12.57. Dans ce qui suit, de telles pièces moulées avec contre-dépouilles, qui peuvent encore être démoulées directement, sont examinées en premier lieu, sont abordées Les raccords rapides et les filetages font partie de ces cas relativement rares.

A -Une boîte avec une ouverture dans la paroi latérale entraîne une contre-dépouille,

B- La transformation de l'ouverture en fente élimine la contre-dépouille,

C-E Avec une paroi inclinée, la fente peut être refermée sans créer de contre-dépouille et l'éjection simple du noyau est possible. (*Figure 4.11*) [13]

Figure 4.11 Une modification de la conception de la pièce permet d'obtenir un moule moins coûteux.



Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

4.15 Types d'éjecteur :

L'éjection des pièces peut être assurée par un éjecteur simple, par un système à air comprimé ou par de multiples éjecteurs. De façon générale il est important de limiter la **pression de contact** pour éviter la **déformation** ou le bris de la pièce injectée. [7]

4.15.1-Ejecteur plate goupille : Ejecteur lame

Des broches d'éjection spéciales sont disponibles si la pointe de la broche doit être adaptée au contour du moulage (*figure 4.12*). Ces goupilles doivent être protégées contre la torsion et guidées par des éléments spéciaux si une certaine longueur est dépassée. [13]

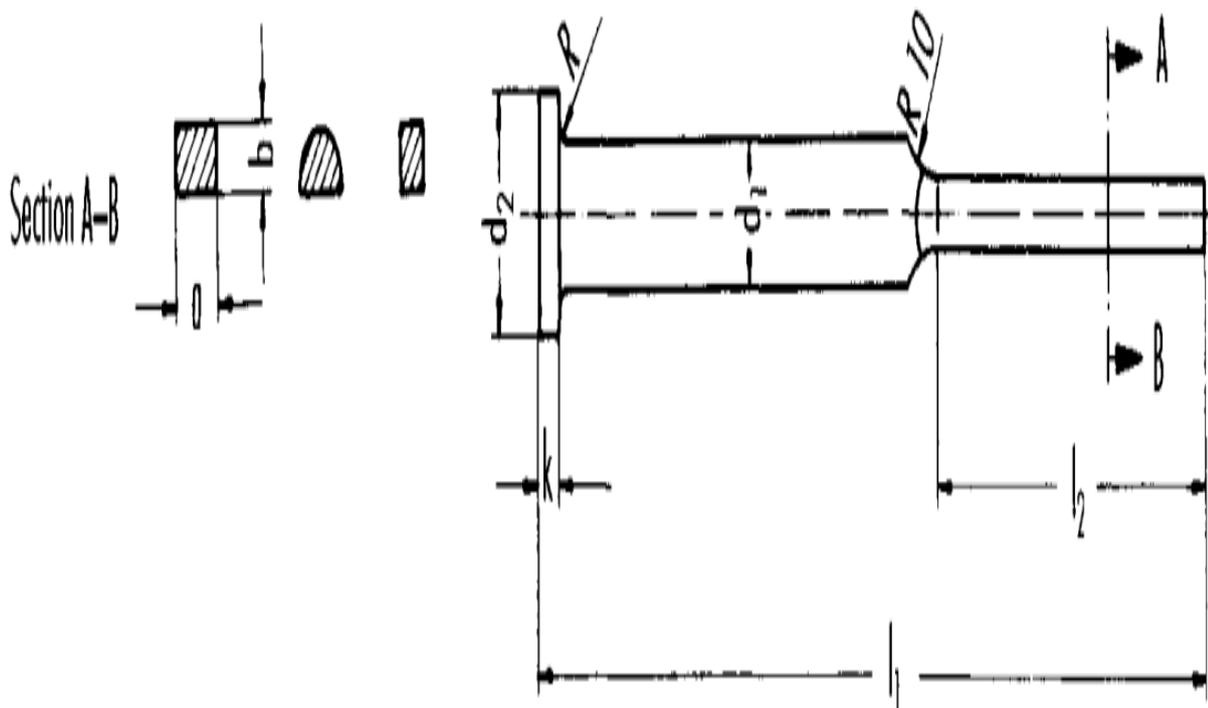


Figure 4. 12 Goupilles d'éjection à arbre (lamé)

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

4.15.2 Ejecteurs tubulaire :

Les éjecteurs tubulaires sont présentés à (*la figure 4.13*). Les broches des éjecteurs sont rodées avec précision pour obtenir des tolérances étroites afin d'assurer un glissement en douceur dans le moule. Leur ajustement dans le moule dépend du plastique à mouler et de la température du moule. Dans les moules chauffés, il faut être attentif au fait que les goupilles d'éjection ne doivent pas être actionnées avant que la température appropriée du moule n'ait été atteinte. [13]

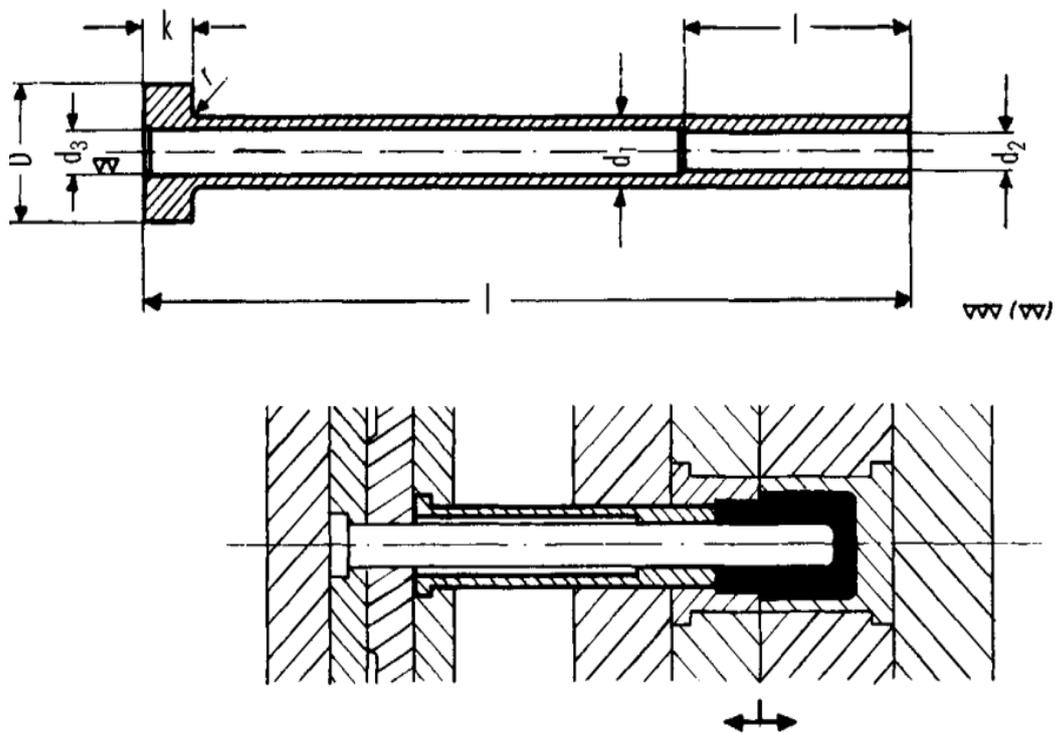


Figure 4.13 schéma d'un éjecteur tubulaire

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

4.15.3 Éjecteur cylindrique :

Le dispositif d'éjection représenté dans la *figure 4.14* est conçu avec un éjecteur à grande surface de contact qui joue un rôle important. Il permet de répartir la force d'éjection de manière uniforme, ce qui est essentiel pour les pièces profondes et les surfaces lisses qui ont tendance à

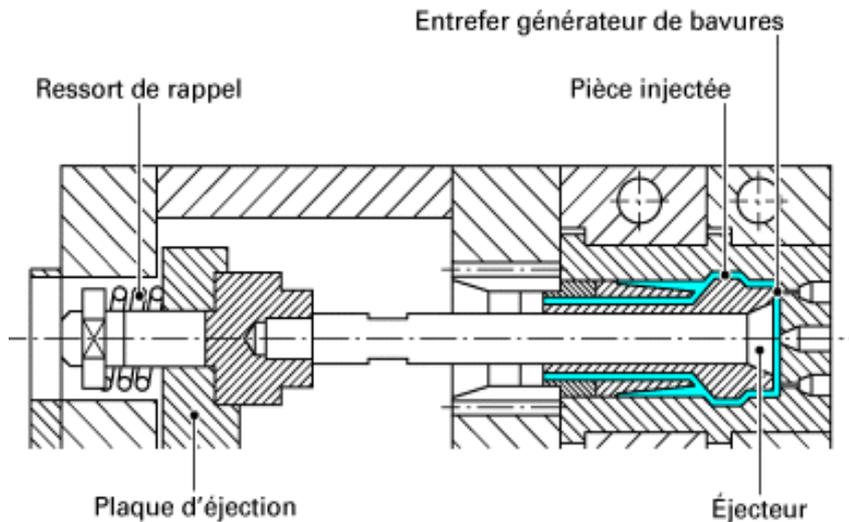


Figure 4.14 Schéma d'une éjecteur cylindrique

adhérer fortement à l'empreinte du moule, l'éjecteur introduit également de l'air entre la pièce et l'empreinte dès le début de l'éjection. Cette action réduit l'adhérence de la pièce, qui peut être problématique. Pour éviter les **bavures** et assurer un bon fonctionnement, un ressort de rappel est intégré pour garantir que la partie principale de l'éjecteur reste en contact avec la plaque éjectrice, éliminant ainsi tout espace indésirable entre l'empreinte et la pièce. Cette conception soigneusement étudiée contribue à produire des pièces moulées de haute qualité et à minimiser les défauts potentiels.[7]

4.15.4 Ejecteur à Noyaux pliables

Il est parfois possible d'utiliser un mandrin repliable pour les petites pièces. Le filetage est contenu dans une douille fendue, qui peut être contrainte où aider par une goupille ou une douille conique (*figure 4.15*). Une plaque de démoulage supplémentaire est nécessaire dans ce cas. Outre son coût élevé, ce composant du moule présente d'autres inconvénients. Les retassures (les marques de segments) du noyau fendu peuvent difficilement être évitées et réduisent la qualité des pièces sensibles. Inconvénient n'a que peu d'importance, car les

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

bouchons sont peu coûteux et peuvent être facilement remplacés. Le refroidissement pose toutefois un problème et il faut s'accommoder de temps de refroidissement plus longs.

Les capuchons en caoutchouc peuvent être déformés au-delà de ce qui est admissible sous la pression de la matière plastique fondue qui entre. Cela peut limiter la précision dimensionnelle.

[13]

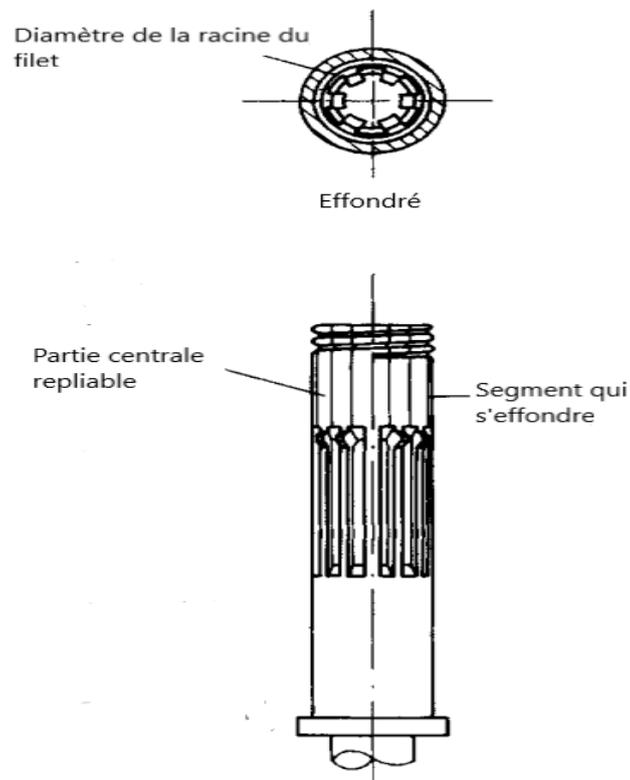


Figure 4.15 vue de coupe d'une éjecteur à noyaux pliable

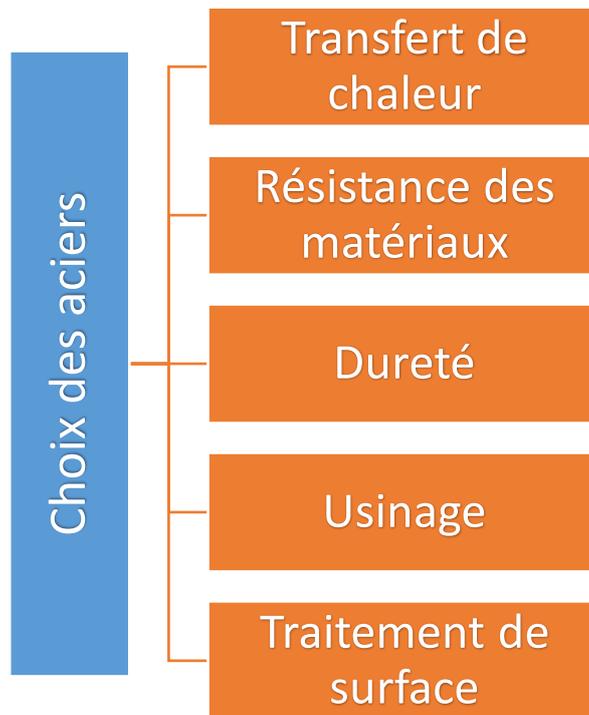
4.16 Le Système De Refroidissement Et Le Choix Des Acier D'un Moule

4.16.1 Choix des Aciers :

Dans le processus de conception et de fabrication de la partie inférieure du moule, les matériaux pour les empreintes et les autres composants doivent également être sélectionnés. Tout comme il existe de nombreux plastiques différents pour le moulage par injection, il existe de nombreux

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

métaux ferreux et non ferreux qui conviennent aux moules à injection, les caractéristiques de choix des aciers seront représentées dans le schéma suivant :



4.16.2 Transfert de chaleur et Résistance des Matériaux :

La résistance est généralement caractérisée par la contrainte ultime qu'un matériau peut supporter avant de se rompre, ou par la **limite d'élasticité** qui peut être appliquée à un matériau sans provoquer de déformation permanente. Pour les moules d'injection, cependant, aucune de ces propriétés ne doit être utilisée. Au lieu de cela, la résistance à la fatigue (*également connue sous le nom de contrainte limite d'endurance*) est la quantité de contrainte qui peut être appliquée de manière cyclique sans provoquer de défaillance. L'un des problèmes de la conception structurelle est que le comportement à la fatigue diffère d'un matériau à l'autre. Pour la plupart des aciers, la résistance à la fatigue est approximativement égale à la moitié de la limite d'élasticité. Cependant, l'aluminium et de nombreux autres matériaux n'ont pas de limite d'endurance. Au contraire, ces matériaux finiront par se rompre après un cycle continu, quelle que soit la quantité de contrainte appliquée. C'est pourquoi la contrainte admissible est définie après un certain nombre de cycles (par exemple, dix millions),

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

Dans la mesure où les fabricants de moules et les concepteurs recherchent des propriétés de matériaux différentes, **il n'existe pas de matériau de moule parfait**. [23]

La **figure 4.16** illustre un équilibre courant entre la résistance à la fatigue et la conductivité thermique pour différents matériaux. En général, les matériaux les plus résistants (**A2, D2, H13 et P20**) ont le transfert de chaleur le plus faible. Inversement, les matériaux ayant le transfert de chaleur le plus élevé (**alliages d'aluminium et de cuivre tels que C-18200**) ont la résistance la plus faible. Il n'existe aucun matériau ayant une contrainte limite de fatigue très élevée et une diffusivité thermique très élevée. **P20**, le plus commun de tous les matériaux de moulage. [15]

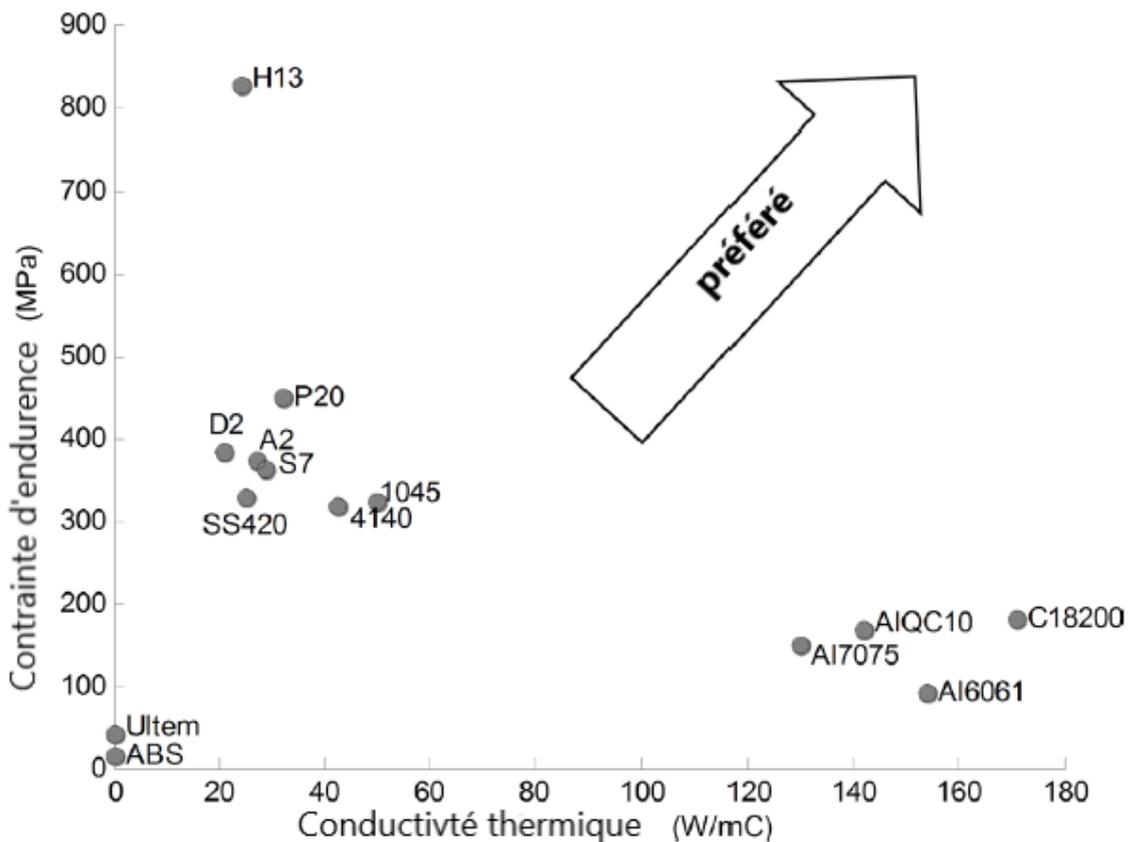


Figure 4.16 la contrainte d'endurance en fonction de la conductivité thermique

4.16.3 Dureté et Usinage :

En règle générale, la dureté d'un matériau est liée au module et à la résistance à la compression du matériau d'essai. Plus la dureté du matériau augmente, plus il est difficile à usiner. Des outils

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

de coupe plus durs et des vitesses de coupe et d'avance plus faibles deviennent nécessaires. Le taux d'usinage volumétrique peut être calculé à partir des vitesses de coupe et des avances recommandées pour divers moules.

Les données de la **figure 4.17** indiquent que les matériaux à dureté élevée ont des taux d'usinage faibles, tandis que les matériaux à taux d'usinage élevés ont une dureté faible. C'est pourquoi les matériaux très durs tels que **A2**, **D2** et **H13** ne doivent être utilisés que pour mouler des matières plastiques abrasives qui abîmeraient rapidement les surfaces des matériaux de moulage plus tendres. En raison de leurs vitesses d'usinage très élevées, les alliages d'aluminium peuvent être utilisés pour produire rapidement et économiquement des moules, mais ils sont rarement utilisés pour le moulage à des pressions de fusion élevées (**100 MPa ou plus**) ou avec des plastiques même légèrement abrasifs (**tels que le carbone renforcé**). [15]

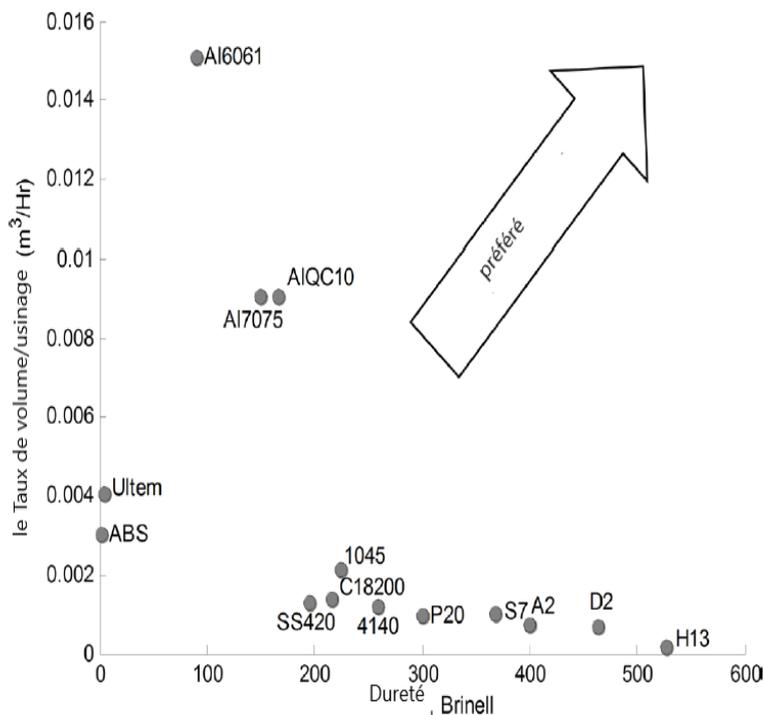


Figure 4.17 Le taux d'usinage par essai de dureté brinell

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

4.16.4 Traitement de surface :

Lorsqu'il choisit le matériau des différents composants du moule, le concepteur du moule doit également tenir compte de son **homogénéité**, ainsi que de sa capacité à être fini et traité. La plupart des métaux sont **coulés** puis **laminés/formés/fendus** pour obtenir la forme voulue. [11]

La structure du grain et les propriétés qui en résultent sont une fonction complexe non seulement des éléments d'alliage constitutifs, mais aussi de l'évolution thermique et structurelle au cours du traitement. Les concepteurs de moules, les fabricants de moules et les utilisateurs finaux doivent être conscients que de nombreux problèmes tels que la porosité (*vides*), les contaminants, l'inhomogénéité et les contraintes résiduelles peuvent avoir un impact sur la qualité du moule usiné. Les traitements de la surface sont conclus au nom de la **Rugosité** (Ra)



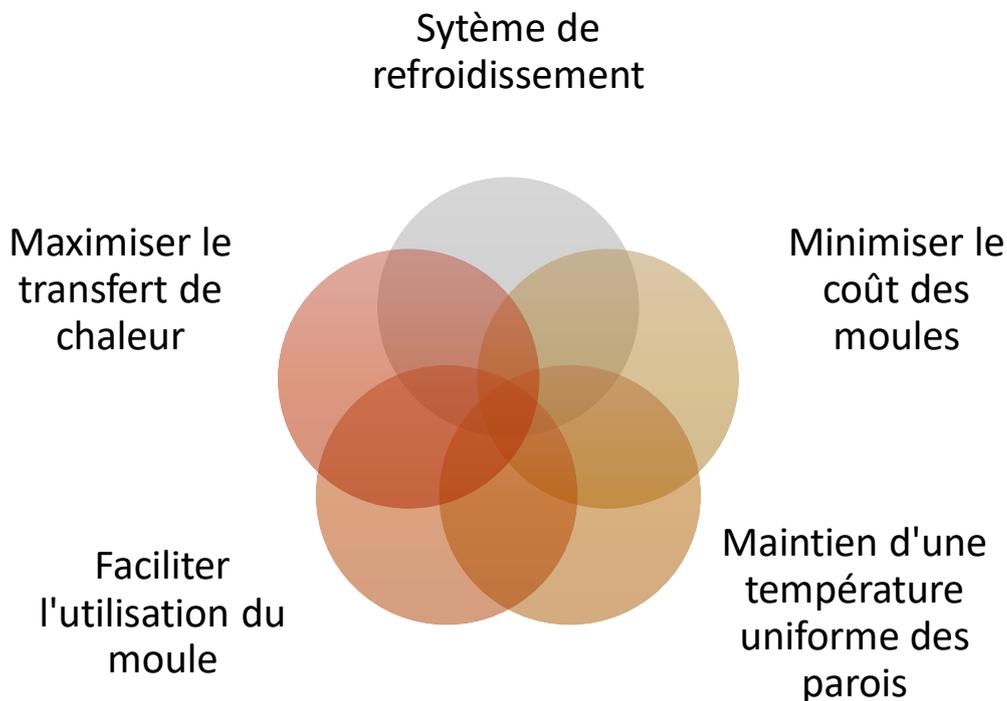
Figure 4 .18 un exemple d'un bon état de surface

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

4.17 Le système de refroidissement :

Le système de refroidissement est extrêmement important pour l'économie et le fonctionnement de la matrice conçue, et pourtant il reste l'un des systèmes les moins bien conçus dans les moules d'injection. Peut-être que la raison de ce manque d'ingénierie est que la distribution de température n'est pas aussi évidente lors du moulage que les défauts liés à l'écoulement. Les systèmes de refroidissement mal conçus entraînent souvent au moins deux résultats indésirables. Premièrement, les temps de refroidissement et de cycle sont beaucoup plus longs que ce qui aurait pu être réalisé.

Deuxièmement, des gradients de température significatifs se produisent à travers la matrice, entraînant une contraction différentielle et une déformation des moulages. Pour fonctionner



Efficacement, les systèmes de refroidissement doivent être soigneusement conçus pour gérer le flux de chaleur dans toute la matrice sans encourir de coûts ou de complexité excessifs, (Le système de refroidissement pour atteindre son objective doit contenir les caractéristiques qui

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

sont présenter dans **le schéma**, le système de refroidissement est crucial pour le bon fonctionnement de la matrice d'injection, mais il est souvent mal conçu et négligé. Les problèmes de refroidissement peuvent entraîner des temps de production plus longs, des gradients de température qui provoquent des défauts dans les moulages, et des coûts supplémentaires. Il est donc essentiel que les systèmes de refroidissement soient conçus avec soin pour gérer efficacement la chaleur tout en minimisant les coûts et la complexité, La fonction de régulation de l'outillage est essentielle pour garantir la solidification adéquate du polymère lors de son injection, tout en réduisant au minimum le temps de production. Toutefois, ces deux objectifs sont souvent en conflit. Pour atteindre cette fonction, un fluide caloporteur circule à travers les circuits de régulation de l'outillage. [23]

4.17.1 Les trous de refroidissement :

Les moules sont refroidis en comparaison avec la température d'injection du polymère. Les moules ont généralement des températures allant de 40°C à 100°C. La plupart du temps, pour faire circuler un liquide de refroidissement, des trous sont percés. Au-delà des diamètres couramment utilisés, un flux laminaire est nocif pour l'absorption des calories. Comme le montre la **figure 4.19**, l'importance du raccordement standard peut également affecter le dimensionnel, Les diamètre couramment utilisée pour un système de refroidissement : (**Ø** : diamètre) **Ø6, Ø8, Ø10, Ø12**. [10]

Chapitre IV : conception structurelle d'un moule par injection plastique

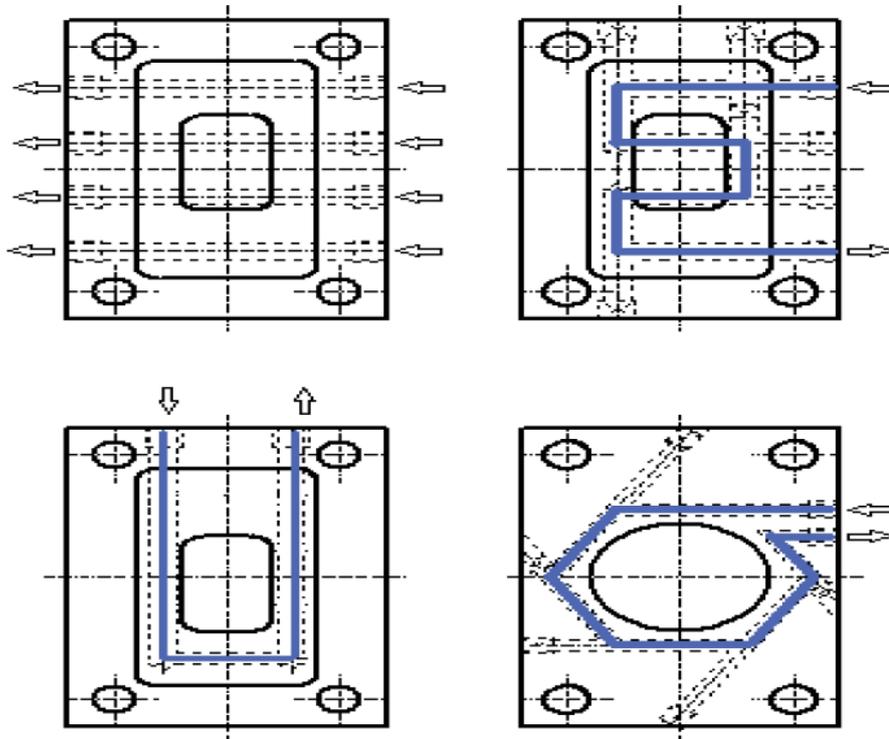


Figure 4.19 Circuit de refroidissement des plaques de moules

4.17.2 Les rainures de refroidissement :

Une autre technique consiste à faire des rainures soit sur un fond, soit sur le périmètre d'une pièce circulaire. Voir *figure 4.20* [8]

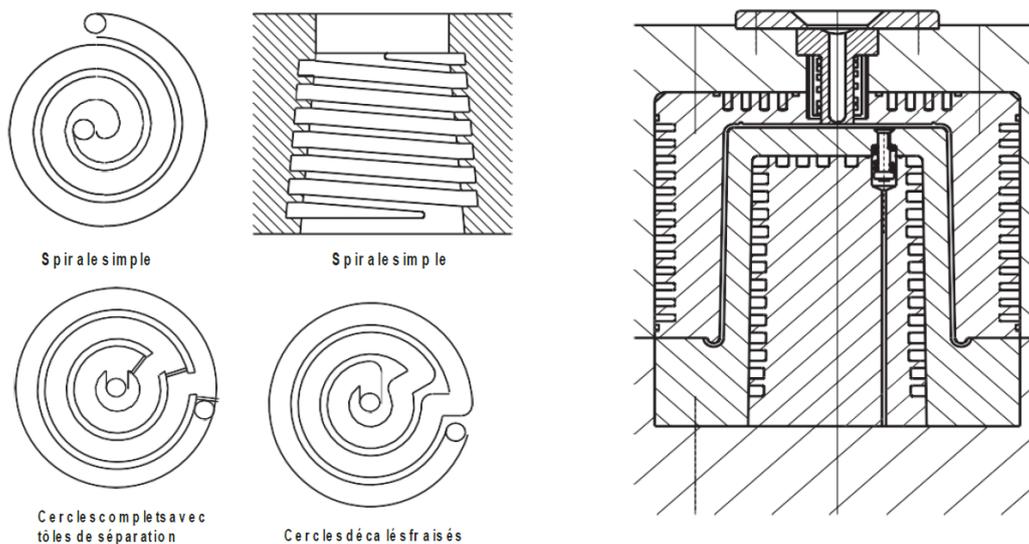


Figure 4.20 système de rainure de refroidissements

Chapitre V : Conception et modélisation par CAO

5.1 Introduction :

La conception et la modélisation du moule par CAO (Conception Assistée par Ordinateur) sont des étapes essentielles dans le processus de fabrication par injection plastique. Ce chapitre se concentre sur l'utilisation de la CAO, en mettant l'accent sur la simulation, l'utilisation de SolidWorks, le calcul du nombre d'empreintes, l'analyse du flux du plastique et les aspects de calcul dans la conception et la modélisation du moule.

La simulation joue un rôle crucial dans la conception et la modélisation du moule par CAO. Elle permet de prévoir et d'évaluer virtuellement le comportement du moule et du matériau plastique avant même la production physique. Grâce à des logiciels de simulation avancés, il est possible de simuler le processus d'injection plastique, d'analyser le remplissage du moule, de détecter les éventuels problèmes de flux, de prédire les contraintes et les déformations, ainsi que d'optimiser les paramètres de fabrication. La simulation permet donc de réduire les coûts de développement et les risques d'erreurs, tout en améliorant l'efficacité et la qualité des pièces produites.

Dans le domaine de la CAO, SolidWorks est l'un des logiciels les plus utilisés pour la conception et la modélisation du moule. Grâce à ses fonctionnalités avancées, SolidWorks permet de créer des modèles 3D précis du moule, en prenant en compte les dimensions, les formes, les canaux de refroidissement, les systèmes d'éjection, etc. Ce logiciel offre également des outils de simulation intégrés, ce qui facilite l'analyse du flux du plastique, la détection des problèmes potentiels et l'optimisation du moule.

Enfin, les aspects de calcul sont également importants dans la conception et la modélisation du moule par CAO. Ils

Chapitre V : Conception et modélisation par CAO

5.2 Présentation du logiciel SolidWorks [1]

Est utilisé par des millions de concepteurs et d'ingénieurs dans des centaines de milliers d'entreprises. C'est l'un des logiciels de conception et d'ingénierie les plus populaires du marché. Reconnu pour ses nombreuses caractéristiques et sa grande fonctionnalité, SOLIDWORKS est utilisé dans de nombreuses professions et industries à travers le monde.

SOLIDWORKS utilise la conception paramétrique, ce qui en fait un outil très efficace pour les concepteurs et les ingénieurs. Cela signifie que le concepteur peut voir comment les modifications affecteront les composants voisins, voire la solution globale. Par exemple, si la taille d'un seul composant est augmentée, cela affectera le joint ou le trou auquel il est attaché. Les concepteurs peuvent ainsi repérer et corriger les problèmes rapidement et facilement.

5.3 SolidWorks Définitions : [1]

Stylisé comme SOLIDWORKS est une application de conception assistée par ordinateur (CAO) et d'ingénierie assistée par ordinateur (IAO) de modélisation des solides éditée par Dassault Systèmes.

Selon l'éditeur, plus de deux millions d'ingénieurs et de concepteurs dans plus de 165 000 entreprises utilisaient SolidWorks en 2013. Selon la société, le chiffre d'affaires de SolidWorks pour l'exercice 2011-2012 s'élevait à 483 millions de dollars.

5.4 Fonctionnalités de SolidWorks [1]

- Conception CAO 3D simple mais sophistiquée
- Utilisation de modèles et de la bibliothèque CAO pour une plus grande efficacité
- Automatisation et réutilisation des conceptions pour accélérer le processus
- Les outils d'estimation des coûts vous permettent d'effectuer un suivi en temps réel.
- Le contrôle des défauts de fabrication permet de détecter rapidement les risques potentiels
- Produire rapidement des dessins 2D pour la production
- Créez facilement des animations et des rendus photoréalistes.

Chapitre V : Conception et modélisation par CAO

5.5 Les étapes de fabrication de l’empreinte Par SolidWorks :

Dans cette section on va à l’aide des informations cités dans chapitre 01,02,03 Concevoir et structurer le dessin dans le SolidWorks.

5.5.1 Première étape :

À partir du tableau mentionné dans chapitre et à l’aide du choix du client le plastique utiliser c bien **ABS**

Les caractéristiques des ABS selon cités dans ce tableau :

Plastique	Retrait	Épaisseur de paroi (mm)	Famille
ABS	0,7 %	8mm	Amorphe

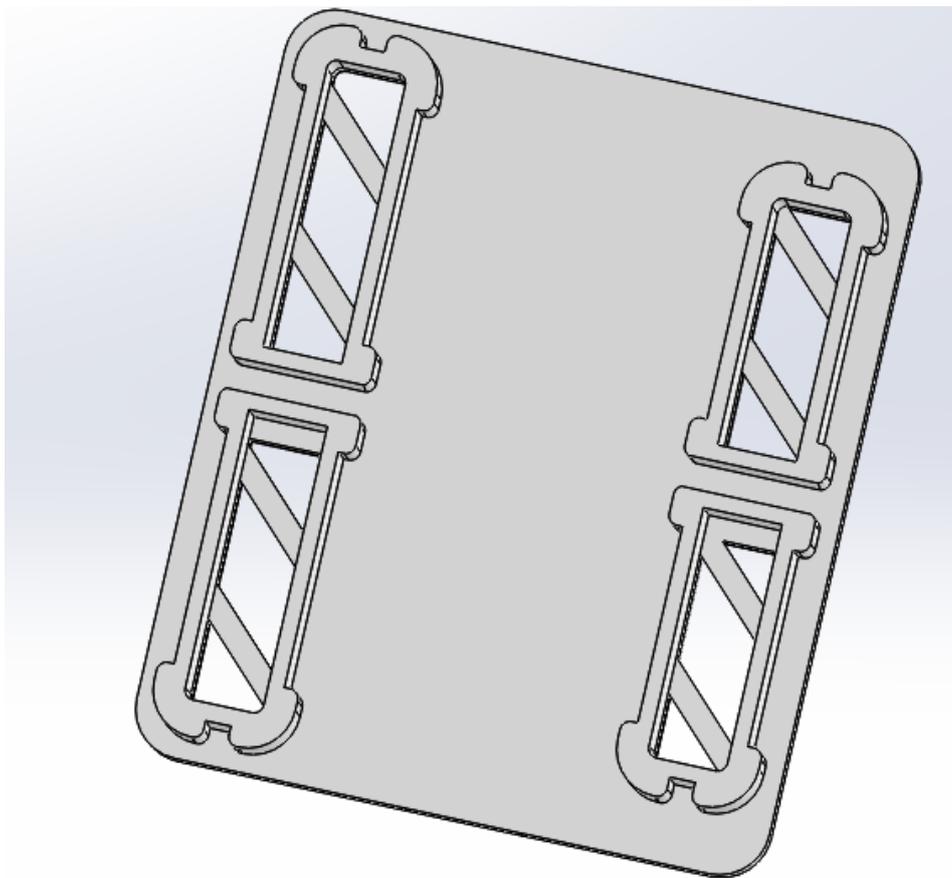


Figure 5. 1 pièce moulé par SolidWorks devant

Chapitre V : Conception et modélisation par CAO

Selon le tableau on a choisi 0.7 pour effectuer le retrait de pièce moulée en plastique faut effectuer dans SolidWorks : insertion → fonction → échelle

Cela veut dire :

$$l_{pièce}=76,70mm$$

$$l_{pièce} \times 0.007=77,24mm$$

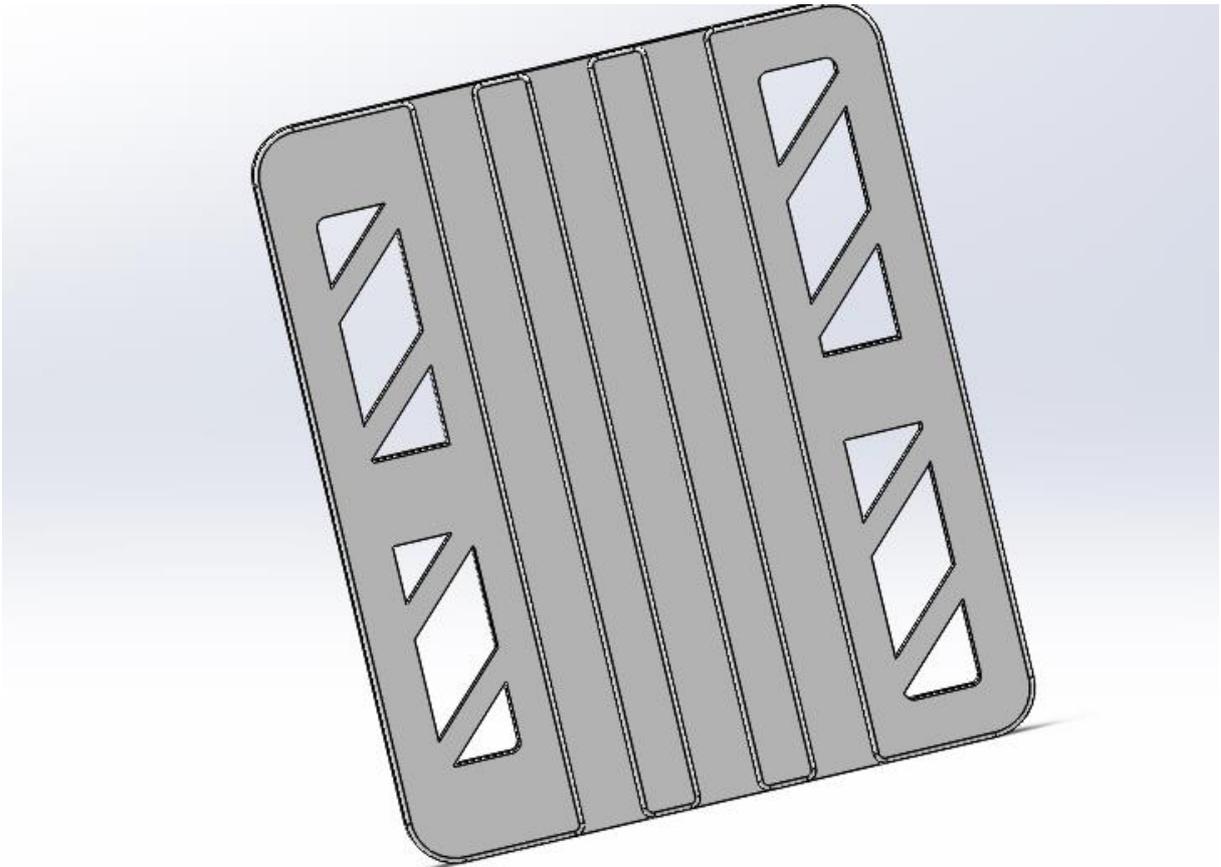


Figure 5. 2 pièce moulée par SolidWorks

5.5.2 Deuxième étape le point Injection :

La buse utilisé et buse d'injection directe, Elles comportent une dépouille suffisante, un état de surface polie et une dureté de minimum **55HRC**,

Le \emptyset de l'entrée doit être supérieur à \emptyset de sortie pour éviter l'adhérence du plastique au niveau de la buse

Chapitre V : Conception et modélisation par CAO

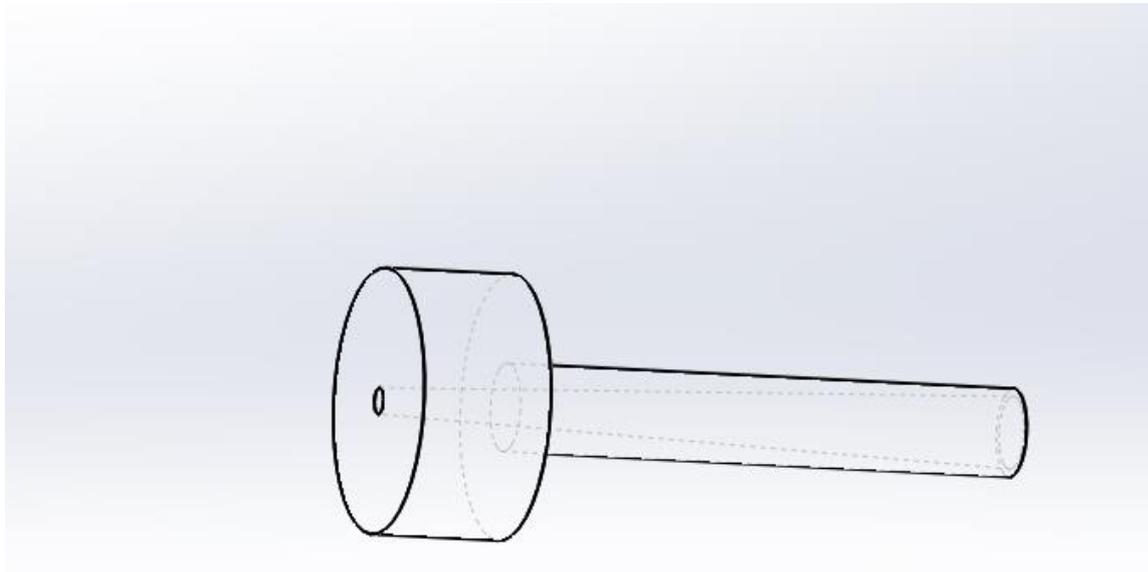


Figure 5.3 buse machine par CAO

Ø entrée 01 buse machine : 3mm

Ø entrée plastique : 6mm il est conseillé d'utiliser de petites diamètre pour les petites surfaces des pièces moulées

5.5.3 Troisième étape Type de seuil :

Le seuil choisi c'est bien le seuil dit latéral

Plan de joint :

Physiquement parlant le plan de joint doit être fait dans la surface la plus grande dans la partie mobile (voir chapitre 02 03)

5.5.4 Calcul de nombre d'empreinte par moule :

On les données suivantes :

Pour un cycle d'injection optimale : 1 minute → une pièce moulée

Donc : 1 heure → 60 pièce moulée

Les jours de travail par mois (sans compter les weekend) : 22 jour de travail par mois / 8 heure par jour

Pièce moulée par journée

Chapitre V : Conception et modélisation par CAO

$$P_{\text{journal}} = 1h \rightarrow 60 \text{ pièce} \\ 8h \rightarrow x$$

$$P_{\text{journal}} = 8 \times 60 = 480 \text{ pièce moulée par journée}$$

Pièce par mois :

$$P_{\text{mois}} = 480 \times 22 \text{ jour} = 10560 \text{ pièce par mois}$$

Pièce par années :

$$10560 \times 12 \text{ mois} = 126720 \text{ pièce par an}$$

$$\text{Nombre d'empreinte : } \frac{\text{pièces moulées requises}}{\text{nombre de pièce moulée par an}} = \frac{500000 (\text{selon le besoin du client})}{126720 \text{ pièce par an}} = 3,9 \approx$$

4 empreinte par moule

Voici les figure suivantes montre l'empreinte du moule par 4 cavité

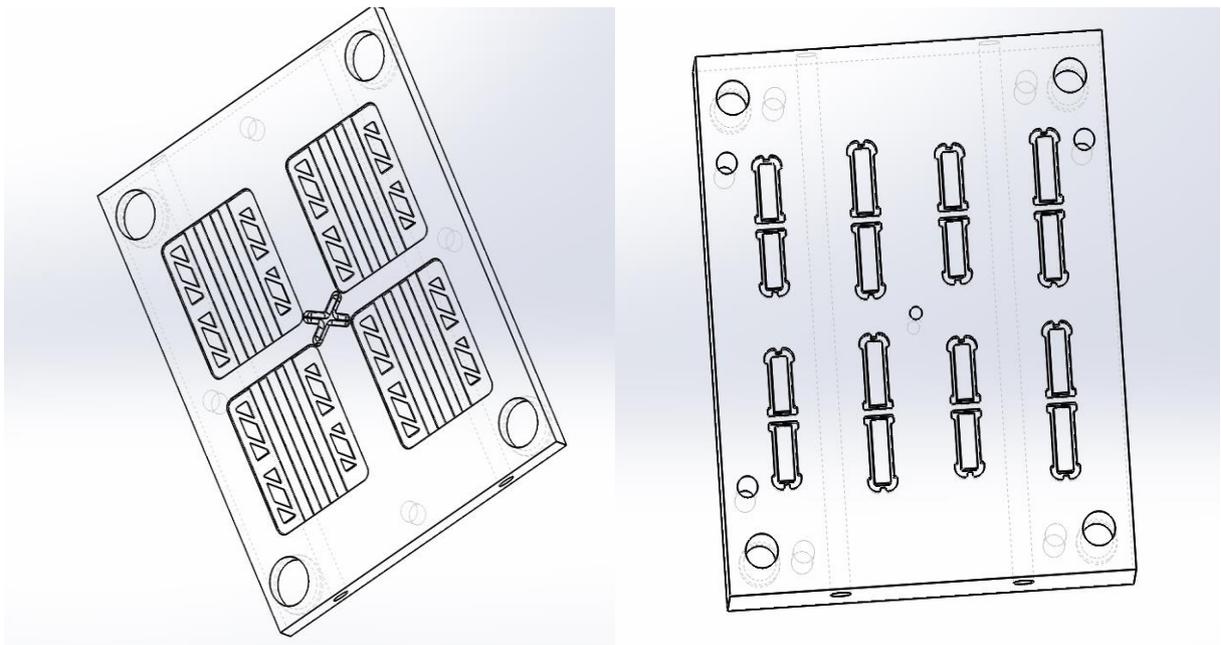


Figure 5.4 empreinte du moule mâle et femelle

5.5.5 L'éjecteur :

le choix c'est un éjecteur cylindrique , dans chaque bossage dans la pièce il y a 16 éjecteur de $\varnothing 6\text{mm}$, donc $\rightarrow 16 \times 4_{\text{empreinte}} = 64 \text{ éjecteur}$

(Voir figure 05)

Chapitre V : Conception et modélisation par CAO

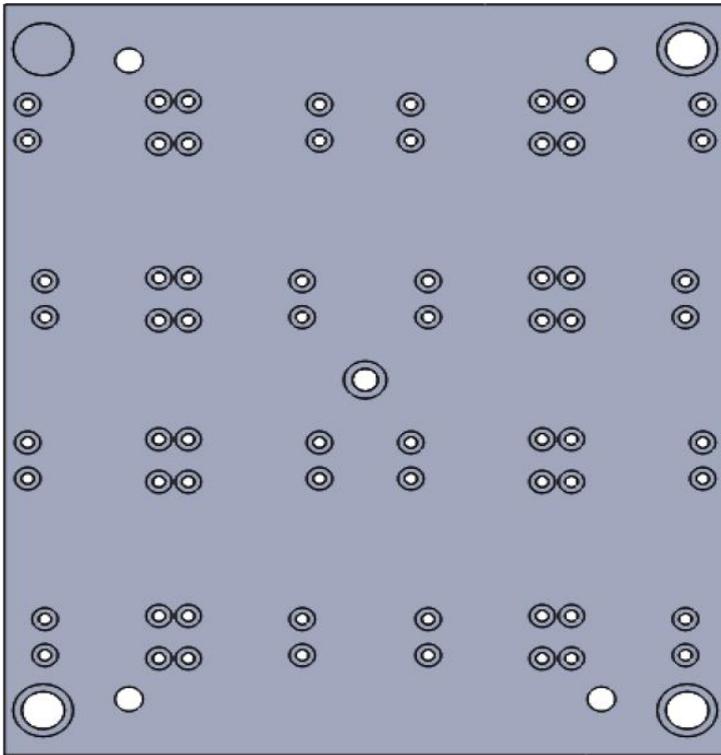


Figure 5.5 plaque éjecteur

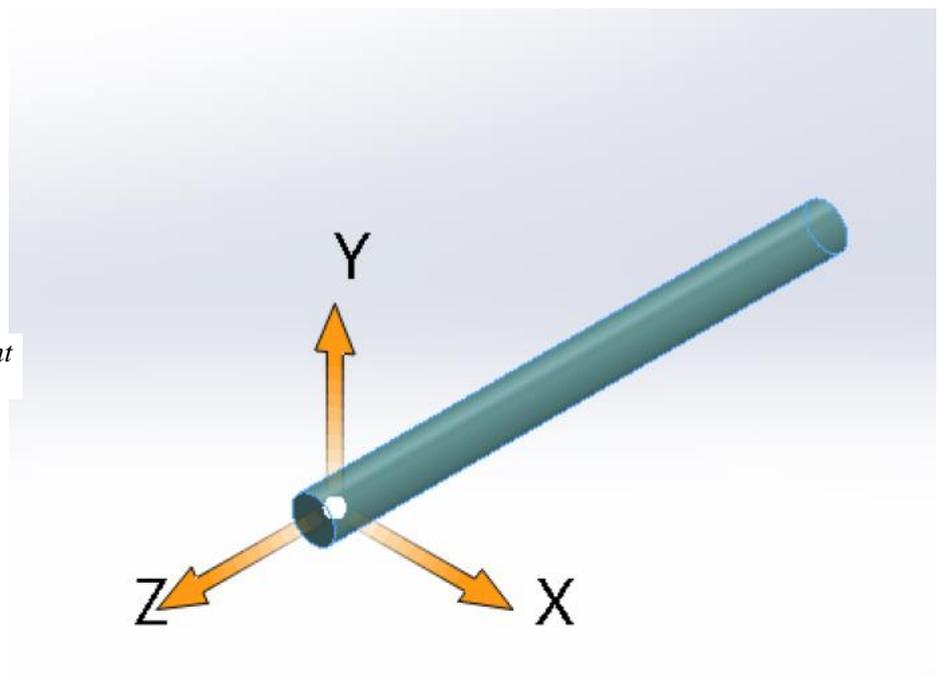


Figure 5.6 tube de refroidissement

Chapitre V : Conception et modélisation par CAO

5.5.6 Le refroidissement :

4 tube de refroidissement de Ø 6,50 mm ça suffit pour refroidir le cycle d'injection voir figure 42 et 0,5 mm laisser pour éviter le frottement en les aciers du moule, on appelle ça le dégagement d'un refroidissement voir *figure 6*.

5.6 Partie simulation :

Dans cette partie on va essayer de simuler le cycle d'injection plastique dans l'empreinte, par le complément de SolidWorks plastique, en utilisant la méthode des éléments finis pour le maillage, toute les étapes seront expliquées au fur à mesure

Les étapes de simulation :

5.7 Première étape :

Déclaration des données → déclaration du moule

→ déclaration de l'empreinte

5.8 Deuxième étape :

Le maillage dans ce cas on va utiliser le maillage volumique et surfacique pour but d'exécuter un bon résultats en utilisant → génération du moule virtuel, la taille de moule :

X : 250 mm

Y :250mm

Z :210mm

Le nombre de maillage c'est 1 et la tolérance de maillage (valeur proportionnelle), d'après la théorie de maillage « lorsque le maillage est petit ça nous donne de résultat plus précis », et aussi la densité des maillages serait dans les parties surfacique tel que les bossages, le rivet, donc la tolérance ça serait 0,1, en utilisant le raffinement local automatique

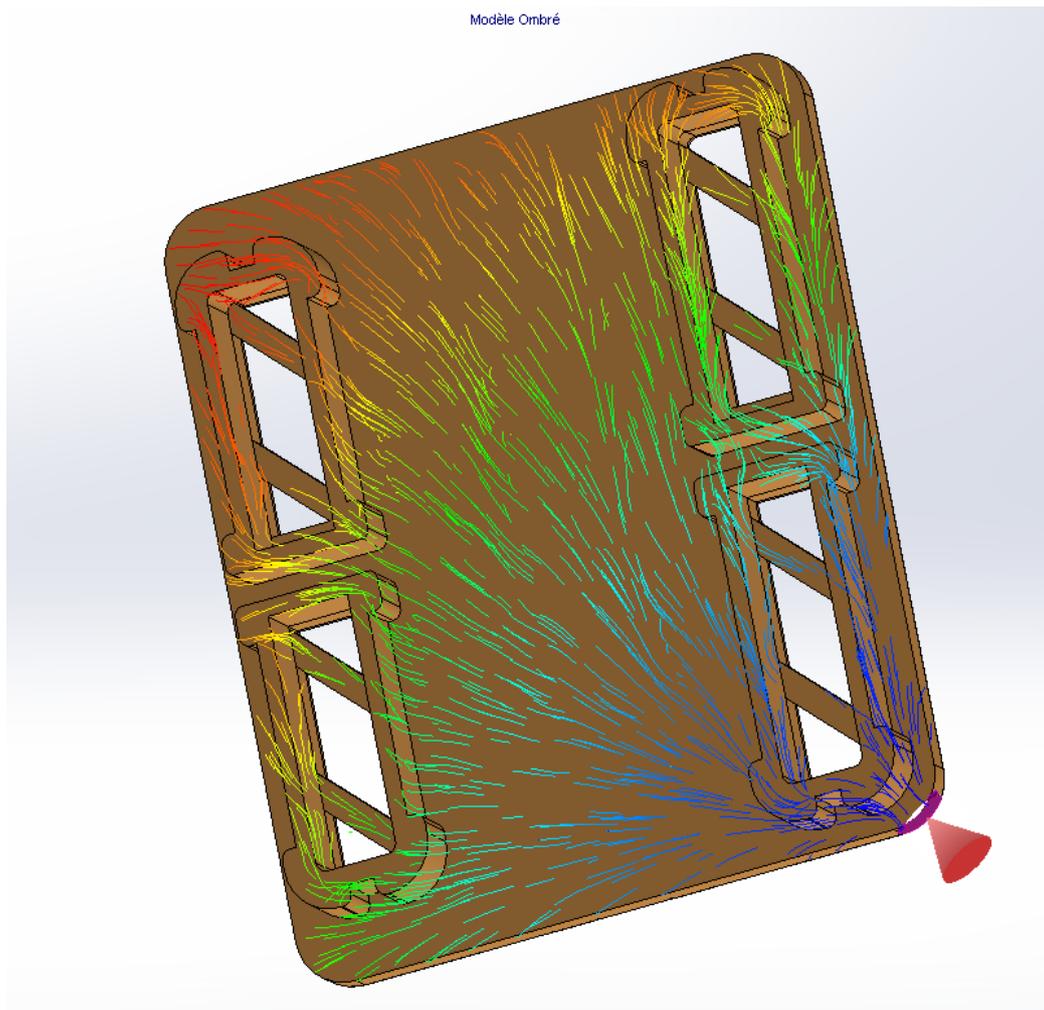
5.9 Troisième étape :

Le choix du matériau, il est très primordiale cette étape, il faut utiliser le même matériau que on a dans l'atelier mécanique ou bien l'industrie en Algérie, dans ce cas c'est bien ABS Générique

5.10 Résultats :

Chapitre V : Conception et modélisation par CAO

En exécutant le démarrage de résultat, après choisissant le débit, on peut effectivement exécuter d'autre résultat tel que, débit+ compactage, débit+ déformation etc. ... mais dans cette étude on aura besoin seulement le résultat de débit voir *figure 5.7*



5.11 Analyse de la dissipation de la chaleur des moules

Le thermoplastique, la dimension, la géométrie et l'épaisseur des parois des pièces moulées, le taux de viscosité de la matière fondue, la chaleur spécifique, la conductivité thermique, la densité, le processus de moulage et les conditions de fonctionnement de la température du moule sont tous des facteurs qui influencent le taux et la quantité de transfert de chaleur :

Chapitre V : Conception et modélisation par CAO

d'après les résultats de simulation on tire les informations suivantes

temp de remplissage : 2,2 seconde

le température en début de refroidissement : 50°C

$$v = \frac{\text{longueur de pièce (m)}}{\text{temp de remplissage (s)}}$$

$$v = \frac{0.008 \text{ m}}{2.2 \text{ s}} = 3.64 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

Et Température d'Injection Matière Principale=230 °C

Température d'éjection =90.00 °C

Masse= 17.38 g= 0.01738 kg

D'après les documents spécifiés du matériau ABS on $c_p = 2.13 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C} * 1000 = 2130 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

$$Q_1 = m_{\text{empreinte}} \times c_p \times (T_{\text{injection}} - T_{\text{eject}})$$

$$Q_1 = 0.01738 \times 2130 \times 140 = 5182,716 \text{ j}$$

Donc la valeur le taux de transfert de chaleur ou "puissance de refroidissement" nécessaire pour alimenter le système est **5182,716 j**

La puissance de refroidissement est définie comme la quantité d'énergie qui doit être éliminée par seconde de temps de refroidissement d'où : $Q_{\text{refroidissement}} = \frac{Q_1}{t_c}$

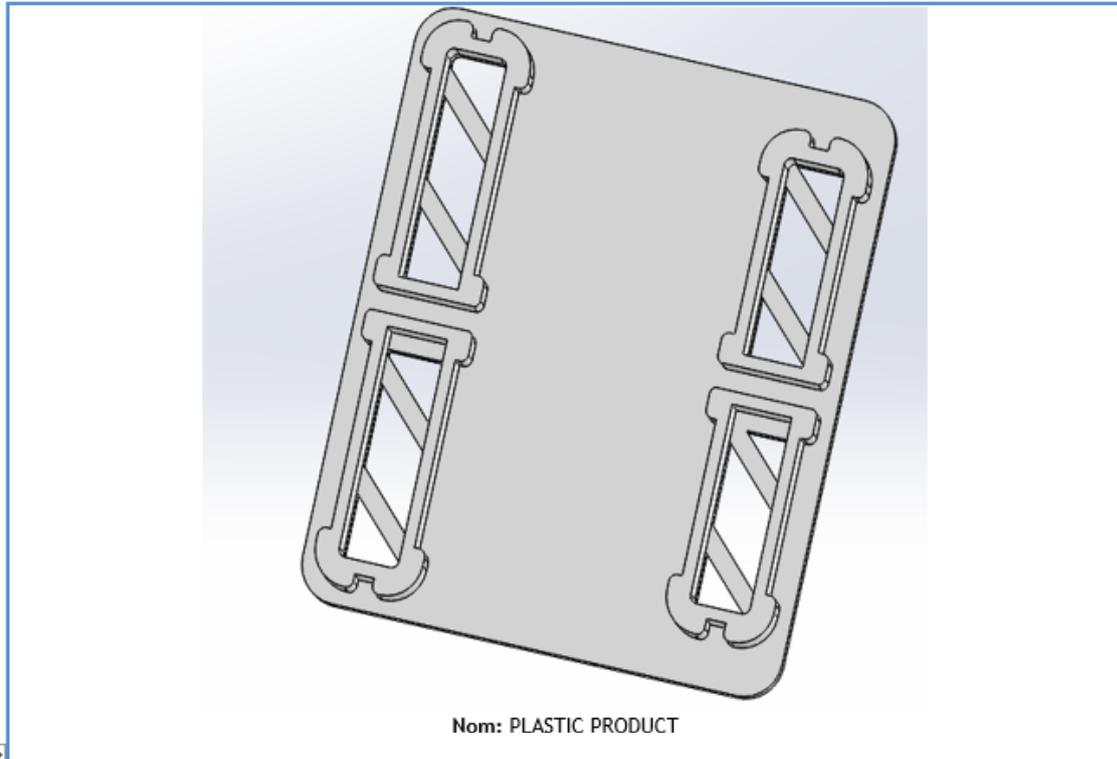
Ou $t_c = \text{temp de refroidissement} = 17.95 \text{ sec}$

$Q_{\text{refroidissement}} = \frac{5182.716}{17.95} = 289 \text{ w}$ pour une seule empreinte donc ça devient $=289\text{W} \times 4 = 1155 \text{ Watt}$ nécessaire pour refroidir les cavités du moule.

Chapitre V : Conception et modélisation par CAO

Info modèle

Une seule empreinte ABC Matériau



Nom	Default
Type	Volumique
Élément	362412
Nœud	131993
Plan de symétrie	Non
Volume	15.77 (cm3)
Masse	17.38 (G)
Dimensions	65.00 (mm) x 76.70 (mm) x 8.00 (mm)



Simulation de PLASTIC PRODUCT 2

Réglages Débit

Temps de remplissage	2.2 sec
Température d'Injection Matière Principale	230 °C
Température Parois Moule	50 °C
Pression d'Injection Limite	100 MPa
Point de commutation Débit/Compactage (% volume rempli)	100 %

Chapitre V : Conception et modélisation par CAO

|- b). Temps de Refroidissement Pur

17.95 sec

Nom	Type	Min	Max
Temps de remplissage	Résultats Débit	0.000131	2.188423

Figure 5.7 simulation du flux du plastique

Max : 2.1884 sec
Min : 1.310e-004 sec

sec

2.1884

1.7508

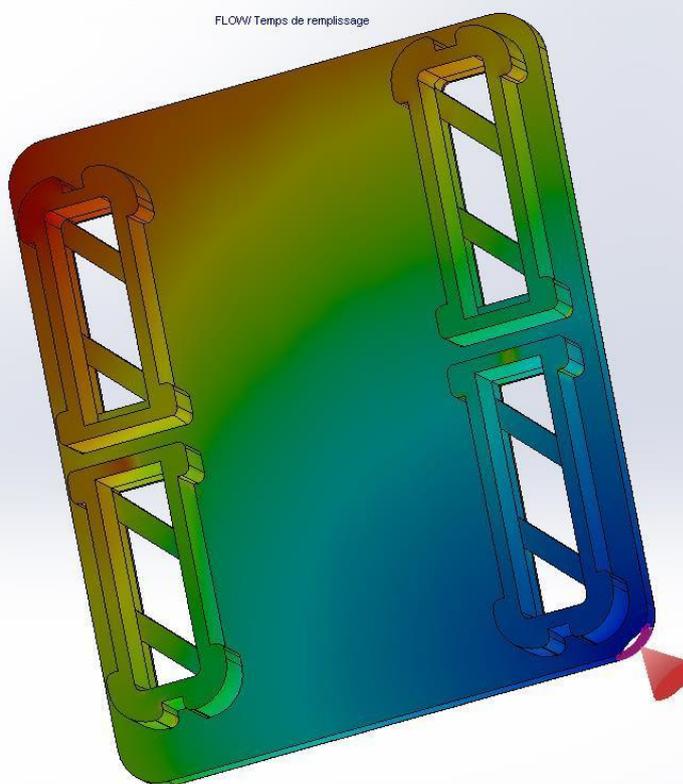
1.3131

0.8754

0.4378

1.310e-004

FLOW/ Temps de remplissage



Type : Volumique
Élément : 36241
Nœud : 131993
Matériau : ABS
Produit : "(P) C
Configuration : D

Conclusion générale :

Cette étude met en évidence l'importance cruciale de la recherche théorique cohérente avec l'industrie, en mettant l'accent sur le processus de développement des moules pour l'industrie plasturgique en Algérie. Le processus commence dès la phase de conception du moule, où il est essentiel de choisir les matériaux appropriés qui répondent aux exigences fonctionnelles et structurelles du produit final. Cette décision peut avoir un impact majeur sur la qualité et la durabilité des moules, ainsi que sur la performance des pièces en plastique produites.

Une étape fondamentale de cette recherche consiste à réaliser des simulations et des modélisations de moules standard. Ces simulations permettent d'anticiper les problèmes potentiels, d'optimiser la conception du moule et d'obtenir des informations précieuses sur les flux de matière plastique, les zones de refroidissement et les points critiques du processus de moulage. Une approche basée sur la modélisation permet de minimiser les essais et les erreurs coûteux qui sont courants dans l'industrie.

L'étude met également en lumière l'importance de développer l'industrie plasturgique en Algérie. En investissant dans la recherche et le développement de moules de haute qualité, le pays peut non seulement améliorer sa capacité à produire des pièces en plastique de classe mondiale, mais aussi stimuler la croissance économique et créer des emplois dans le secteur manufacturier.

Lorsque la fabrication des moules commence, il est crucial de mener des expérimentations approfondies pour valider les concepts théoriques. Ces essais permettent de confirmer que le remplissage en plastique, le dégazage et le refroidissement se déroulent comme prévu. En cas de problèmes, des ajustements peuvent être apportés pour garantir la qualité des produits finaux.

Enfin, cette recherche a le potentiel de devenir une référence essentielle pour l'ensemble de l'industrie. Elle peut servir de guide aux industriels qui souhaitent travailler directement sur la

production de moules, les étapes d'usinage et les simulations par CNC. En encourageant la collaboration entre les chercheurs, les ingénieurs et les machinistes dans les ateliers, elle contribuera à renforcer le secteur de la recherche industrielle et scientifique en Algérie. L'objectif ultime est de favoriser l'innovation, d'augmenter la compétitivité de l'industrie plasturgique nationale et de contribuer à la croissance économique du pays.

Références

1. **Biron, Michel.** Aide-mémoire de l'ingénieur. *s.l. : Dunod, L'Usine Nouvelle, 2010. 978-2-10-053079-3 -.*
2. **guicho, jean- françoisbichons et christophe.** Aide-mémoire INJECTION DES MATIÈRES PLASTIQUES. *s.l. : DUNOD, 2015. ISBN 978-2-10-072469-7.*
3. **Jean-François Pichon, Christophe Guichou.** aide mémoire injections des matières plastiques. *Paris : Dunod, 2015. 2100813684.*
4. **Kutz, Myer.** APPLIED PLASTICS ENGINEERING HANDBOOK Processing, Materials, and Applications Second Edition. *United Kingdom : Elsevier Inc, 2017. 978-0-323-39040-8.*
5. **DÉSÉVAUX, Philippe.** Article de bases documentaires-Éjecteurs. *techniques-ingenieur. [En ligne] 10 novembre 2022. <https://www-techniques-ingenieur-fr.sndll.arn.dz/base-documentaire/mecanique-th7/technologies-du-vide-42175210/ejecteurs-bm4250/>. DOI : 10.51257/a-v1-bm4250.*
6. **CHEVALIER, André.** Chevalier-Guide du dessinateur Industriel. *Paris : HACHETTE Technique, 2004. 2.01.16.8831.0.*
7. **SAS, Thomas MUNCH : Ingénieur ENSAIS-EAMP - Agrégé en Mécanique - Ancien responsable Injection de Hager.** CHOIX D'UNE PRESSE A INJECTER . *Technique de l'ingénieur. [En ligne] 10 mars 2009. <https://www-techniques-ingenieur-fr.sndll.arn.dz/base-documentaire/materiaux-th11/procedes-d-injection-des-thermoplastiques-42151210/presses-a-injecter-am3673/>. <https://doi-org.sndll.arn.dz/10.51257/a-v1-am3673>.*
8. **Bechir, SAADA.** CONCEPTION DE MOULE D'INJECTION PLASTIQUE. MATIERE : CONCEPTION DE MOULE. *Vol. 1.*
9. **LOUATI.H, Enseignants : HAMMAMI.T et.** CONCEPTION DES MOULES D'INJECTION DES MATIERES PLASTIQUE. *Cours de PMF des Matières plastiques-Licence en GM. Vol. 4.*
10. **H, Enseignants : HAMMAMI.T et LOUATI.** Cours de PMF des Matières plastiques-Licence en GM. INTRODUCTION ET GENERALITES LES MATIERES PLASTIQUES. *Vol. 1 et 2.*
11. **DSM.** DESIGNING FOR PERFORMANCE AND VALUE WITH ENGINERRING THERMOPLASTICS. *AMERICAS,EUROPE,ASIA : D S M - E N G I N E E R I N G - P L A S T I C S.*
12. **Zheng, Peter K. Kennedy-Rong.** Flow Analysis of Injection Molds. *Munich : Hanser Publishers, Munich, 2013. 978-1-56990-512-8.*
13. **Mohren, Georg Menges -Walter Michaeli -Paul.** How to Make Injection Molds. *Germany : Hanser Publishers, Munich, 2000. 3-446-21256-6.*
14. **system, Dassault.** <https://www.solidworks.com/>. *[En ligne]*
15. **Kazmer, David O.** Injection Mold Design Engineering. *Munich : HANSER 2nd Edition, 2016. 978-1-56990-570-8.*
16. **Handbook, Runner and Gating Design.** John P. Beaumont. *München : HANSER , 2004. 978-1-56990-590-6.*
17. **Labs, Édition spéciale Proto.** La conception des pièces moulées par injection pour les Nuls®, Édition spéciale Proto Labs. *Indiana. USA : John Wiley & Sons, Inc., 2012. 978-1-118-20414-6.*
18. **Plastisem.** LES FONDAMENTAUX DE LA CONCEPTION D'UNE PIÈCE POUR L'INJECTION PLASTIQUE. *PARIS : Plastisem. 885 782 029 00015.*

19. **OUACHOUACHE ABDELKRIM.** *Mémoire Conception d'un moule d'injection des pièces en M.P. Mémoire.* ANNABA : UNIVERSITE BADJI-MOKHTAR-ANNABA, 2019.
20. **Sidali, HADJ AISSA FAKHAR Abderrahmane-HASNAOUI.** *Mémoire Procédure de conception d'un moule par injection plastique d'une multiprise. [dspace] BLIDA : Université SAAD DAHLEB BLIDA 01-Faculté de technologie-Département de Mécanique , 2016.*
21. **Bourbonnière, Yuviv Chinniah-Sabrina Jocelyn-Barthélemy Aucourt-Réal.** *Presses à injection de plastique ayant des équipements périphériques. Québec : l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), 2014. 0820-8395.*
22. **Lane-ElPaso, E. Alfredo Campo-Cerrito Perdido.** *The Complete Part Design Handbook For Injection Molding of Thermoplastics. Munich : HANSER , 2006. 3-446-40309-4.*
23. **Guide, Injection Molding Reference.** traininteractive. [En ligne]
<https://www.traininteractive.com/knowledge/reference/>.
24. **Yanneck, WIELHORSKI.** *Transferts de chaleur dans un écoulement de polymère fondu en régime.* Thèse de DOCTORAT. Polytech 'Nantes, Nantes : Ecole polytechnique de l'Université de Nantes, le 10 décembre 2009.

Annexe :

Tableau des épaisseurs de paroi recommandé de chaque matériau en (mm)

ABS	1.14- 3.5mm
Acetal POM	0.7 – 3mm
Acrylic	0.6- 12.7 mm
Liquid crystal polymer LCP	0.76- 3mm
Long-fiber reinforced plastics	1.905- 25.4mm
Nylon	0.762- 2.921mm
Polycarbonate PC	1.016- 3.81mm
Polyester PES	0.635- 3.175mm
Polyethylene PE	0.762- 5.08mm
Polyphenylene sulfide	0.508- 4.572mm
Polypropylene PP	0.635- 3.81mm
Polystyrene PS	0.889- 3.81mm
Polyurethane	2.032- 19.05mm

Annexe :

Tableau les noms du plastiques

Liste de codes de polymères		
Code	Nom français, Noms commerciaux (Nom anglais)	Catégorie
ABS	Acrylonitrile butadiène styrène (<i>Acrylonitrile butadiene styrene</i>)	thermoplastique
PA	Polyamide, nylon, Perlon (<i>Polyamide</i>)	thermoplastique
PAR	Polyarylate (<i>Polyarylate</i>)	
PBT	Poly(téréphtalate de butylène) (polyester) (<i>Polybutylene terephthalate</i>)	thermoplastique
PC	Polycarbonate, Lexan, Makrolon (<i>Polycarbonate</i>)	thermoplastique
PE	Polyéthylène (polyoléfine), Tupperware (<i>Polyethylene</i>)	thermoplastique de grande consommation
PE-HD	Polyéthylène haute densité (polyoléfine) (<i>High-density polyethylene</i>)	thermoplastique de grande consommation
PE-LD	Polyéthylène basse densité (polyoléfine) (<i>Low-density polyethylene</i>)	thermoplastique de grande consommation
PEEK	Poly(éther-éther-cétone de phénylène) (<i>Polyetheretherketone</i>)	thermoplastique de hautes performances

Annexe :

PEI	Polyétherimide (<i>Polyetherimide</i>)	thermoplastique
PEN	Poly(naphtalate d'éthylène) (polyester) (<i>Polyethylene naphthalate</i>)	thermoplastique
PESU (ou PES)	Polyéthersulfone (<i>Polyethersulfone, Polyethersulfon (de)</i>)	thermoplastique de hautes performances
PET	Poly(téréphtalate d'éthylène), Tergal (<i>Polyethylene terephthalate</i>)	thermoplastique
PFA	Perfluoroalkoxy (<i>Perfluoroalkoxy</i>)	thermoplastique
PI	Polyimide (<i>Polyimide</i>)	thermoplastique ou thermodurcissable, polymère de hautes performances
PMMA	Poly(méthacrylate de méthyle), Plexiglas (<i>Poly(methyl methacrylate)</i>)	thermoplastique
POM	Polyoxyméthylène, polyacétal (<i>Polyoxymethylene (polyacetal)</i>)	thermoplastique
PP	Polypropylène (polyoléfine) (<i>Polypropylene</i>)	thermoplastique de grande consommation
PPE	Polyphénylène éther.	thermoplastique (souvent modifié par mélange)
PPO (ou PPE)	Poly(oxyde de phénylène).	thermoplastique de hautes performances (souvent modifié par mélange)

Annexe :

PPS	Poly(sulfure de phénylène) (<i>Poly(p-phenylene sulfide)</i>)	thermoplastique thermostable de hautes performances
PS	Polystyrène (<i>Polystyrene</i>)	thermoplastique de grande consommation
PSU	Polysulfone (<i>Polysulfone</i>)	thermoplastique thermostable de hautes performances
PVC	Poly(chlorure de vinyle) (<i>Poly(vinyl chloride)</i>)	thermoplastique de grande consommation
SAN	Styrène-acrylonitrile (<i>Styrene-acrylonitrile</i>)	thermoplastique

Annexe :

Tableau 1 les additifs des thermoplastiques

	Alumina	carbonate de calcium	noir de carbone	argile	perles de verre	fibres de verre	Graphite	Quartz	Talc	Disulfure de molybdène	Silicate de wollastonite
ABS					•	•					•
Acetal (POM)						•					
Acrylic (pc)						•					
Nylon PA				•	•	•	•	•		•	•
Polycarbonate PC						•					
Polyester TP						•					
Polyethylene PE / PET	•	•	•			•		•			•
Polypropylene PP		•	•			•		•	•		•
Polystyrene PS					•	•			•	•	•
Polysulfide PSU						•					
Polyurethane PU	•	•		•	•			•			•
PPO Modifié						•					
PVC (Rigide)	•	•	•	•	•	•	•		•		•

Annexe :

Tableau 2 Tableau les avantages et inconvénients des thermoplastiques

Matériaux	Avantage	inconvénients
ABS	<ul style="list-style-type: none"> - Les revêtements métalliques ont une excellente adhérence à l'ABS - Bonne résistance aux chocs (ténacité) et propriétés de rigidité - Bonne stabilité dimensionnelle - Propriétés à haute résistance 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible résistance diélectrique - Seul un faible allongement est disponible - Basse température de service continu - L'ABS est résistant aux acides
POM	<ul style="list-style-type: none"> - Propriétés mécaniques élevées, résistance à la traction, rigidité. - Surfaces moulées brillantes 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible résistance aux acides et aux bases - Forte rétrécissement des moules -
PMMA	<ul style="list-style-type: none"> - Excellente clarté optique - Excellente dureté de surface - Résistance au soleil - Rigide avec une bonne résistance aux chocs 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible résistance aux solvants ; attaqué surtout par les cétones, les esters, les chlorocarbones, - Les hydrocarbures aromatiques et le fréon®
HTN	<ul style="list-style-type: none"> - Absorption d'humidité inférieure à celle du nylon 6 et du nylon 6/6 - Bonne stabilité dimensionnelle - Excellentes propriétés mécaniques 	<ul style="list-style-type: none"> - Sa principale faiblesse est un faible allongement. - Faible cristallisation (nécessite une température de moisissure de 148 °C). - Problèmes de pré-séchage de la résine. Résistance aux chocs et pièce finie
PA	<ul style="list-style-type: none"> - Excellente ténacité et résistance aux chocs - Excellente résistance à l'abrasion - Faible coefficient de frottement 	<ul style="list-style-type: none"> - Une faible résistance aux chocs et un mauvais aspect des pièces finies sont causés par des quantités excessives
PEI	<ul style="list-style-type: none"> - Excellente résistance chimique à la plupart des hydrocarbures, alcools non-aromatiques, solvants entièrement hydrogénés 	<ul style="list-style-type: none"> - Réaction à court terme avec des bases douces. Les solvants partiellement hydrogénés, comme le chlorure de méthylène, peuvent être de bons solvants pour PEI

Annexe :

PEEK	<ul style="list-style-type: none"> - Excellent module de flexion et rétention de la résistance à la traction - Propriétés thermiques exceptionnelles - Faible inflammabilité et production de fumée - Indice UL-94 V0, sans additifs ignifuges 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût élevé de la résine - Type limité de résines commerciales disponibles - Les résines non renforcées peuvent réagir aux acides et aux bases
PC	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance élevée aux chocs - Faible inflammabilité - Blindage électrique - Résistance à l'usure 	<ul style="list-style-type: none"> - Soluble dans certains hydrocarbures chlorés - Exposition d'acétone et attaque par des bases
PPO	<ul style="list-style-type: none"> - Haute résistance mécanique - Résistance élevée à la chaleur et à l'humidité - Faible coefficient de dilatation thermique - Bonne Résistance aux ruptures 	<ul style="list-style-type: none"> - La plupart des hydrocarbures et des substances aromatiques de base comme les esters, les huiles, les graisses, - Les applications UV ne sont pas recommandées - Ils sont très difficiles à traiter, même à haute température de fusion
PBT	<ul style="list-style-type: none"> - Excellente résistance à l'eau jusqu'à 50 °C de température. - Excellentes propriétés électriques, y compris une résistance diélectrique et d'isolation élevée. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensible aux acides oxydants alcalins, eau chaude, bases fortes, aromatiques - PBT non modifié est sensible à l'entaille. Les niveaux élevés de remplissage de verre - Matériau fragile.
PET	<ul style="list-style-type: none"> - Le PET n'est pas attaqué par la plupart des huiles et graisses. - Faible facteur de dissipation. Indice de température d'utilisation continue des laboratoires des assureurs (UL) pour les résistances électriques et mécaniques allant de 150 à 200 °C 	<ul style="list-style-type: none"> - Le PET nécessite un séchage de la résine de 2 à 4 heures à 135 °C pour atteindre 0,02 % - Déformation Partielle de la pièce causée par des taux de refroidissement différents, qui sont le résultat d'une pièce - géométrie ou conception de l'outil conduit à un retrait différentiel
PE (LDPE)	Avec une bonne résistance à l'humidité et la flexibilité. LDPE est généralement utilisé dans les processus d'extrusion à haut volume.	
PPS	<ul style="list-style-type: none"> - Capacité d'utilisation prolongée à 232 °C - Bon rayonnement, 	<ul style="list-style-type: none"> - Difficile à traiter (température de fusion élevée)

Annexe :

	<ul style="list-style-type: none"> - Excellente stabilité dimensionnelle et faible absorption d'eau - Non brûlant 	<ul style="list-style-type: none"> - Comparativement, coût élevé de la résine - Charges nécessaires pour obtenir une bonne résistance aux chocs
PP	<ul style="list-style-type: none"> - Polymère plus léger ou de faible densité (0,90 g/cm³) - Bonne résistance à la fatigue (fermetures de charnières intégrales) - Traitement par toutes les méthodes thermoplastiques 	<ul style="list-style-type: none"> - Dégradé par les UV - Inflammable, mais il existe des produits ignifuges - Attaqué par des solvants chlorés et des solutions aromatiques - Plusieurs métaux accélèrent la dégradation oxydative
PS	<ul style="list-style-type: none"> - Clarté optique - Haute brillance - Les grades FDA (aliments approuvés) sont disponibles - Traitable par toutes les méthodes thermoplastiques - À faible coût - Bonne stabilité dimensionnelle 	<ul style="list-style-type: none"> - Matières inflammables, mais ignifuges disponibles - Soumis à des contraintes et à des fissures environnementales - Mauvaise stabilité thermique
PSU	<ul style="list-style-type: none"> - Propriétés de résistance élevée et diélectrique - Haute résistance à la combustion sans additifs ignifuges - Excellente stabilité thermique - Excellente résistance à la dégradation thermique 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût élevé de la résine - Mauvaise résistance aux intempéries et fissuration sous contrainte - La viscosité est très sensible à la température - Le traitement nécessite de fortes pressions de moulage par injection, des températures.
PVC	<ul style="list-style-type: none"> - Traité par toutes les méthodes thermoplastiques - Large gamme de flexibilité, rendue possible par différents niveaux de plastifiant - Coût relativement faible - Non inflammable - Bonne résistance aux intempéries 	<ul style="list-style-type: none"> - Capacité thermique limitée - Coloré par des composés sulfurés - Densité supérieure à celle de nombreux autres plastiques
SAN	<ul style="list-style-type: none"> - SAN est optiquement clair, dur et rigide avec une excellente stabilité dimensionnelle - Et une bonne résistance à la fissuration sous contrainte. 	<ul style="list-style-type: none"> - Le polymère hygroscopique nécessite un pré-séchage - Très sensible aux effets de l'orientation de la structure

Annexe :

		- Faible capacité thermique (79 °C)
--	--	-------------------------------------

La résistance à la traction : est la valeur de la contrainte maximale qu'un matériau peut supporter. C'est la limite entre la zone de plasticité et la zone de rupture.

Il est important de noter la différence entre résistance et élasticité.

Un élastique est plus facile à déformer qu'un spaghetti mais il est plus difficile à casser.

La loi de Hooke s'exprime alors sous la forme :

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Grandeur	Symbole	Unité SI	Autres unités usuelles
Contrainte	σ	Pa	kPa, MPa, GPa
Module de Young	E	Pa	MPa, GPa
Déformation	ε	1	%, ‰

ASTM :

"American Society for Testing and Materials", l'ASTM est un organisme qui élabore des normes internationales de consensus volontaire. Les normes ASTM sont élaborées par des comités de professionnels du secteur concernés qui se réunissent régulièrement dans le cadre d'un processus ouvert et transparent afin de fournir des normes, des méthodes d'essai, des spécifications, des guides et des pratiques.

L'ASTM crée de nombreuses procédures normalisées régissant les services environnementaux et d'ingénierie,

Annexe :

Materiax	Moyenne		
	mm	mm	mm
Acetal	0.4	1.6	3.2
ABS	0.8	2.3	3.2
Nylon	0.4	1.6	3.2
Polycarbonate	1.0	2.4	9.5
Polyester T.P	0.6	1.6	12.7
Low Density polyethylene	0.5	1.6	6.4
High Density Polyethylene	0.9	1.6	6.4
Ethylene Vinyl Acetate	0.5	1.6	3.2
Polypropylene	0.6	2.0	7.6
Polysulfone	1.0	2.5	9.5
PPO (Noryl)	0.8	2.0	9.5
Polystyrene	0.8	1.6	6.4
Styrene Acrylo Nitrile	0.8	1.6	6.4
Polyvinylchloride (Rigid)	1.0	2.4	9.5
Polyurethane	0.6	12.7	38.1
Ionomer (Surllyn)	0.6	1.6	19.1

Tableau 3
Épaisseurs
suggérées pour
les pièces
thermoplastiqu
es moulées par
injection

Tableau 4 les dimensions recommandées des canaux

D (mm)	Circulaire (mm2) A	Trapèze (mm2) A	Trapèze modifié (mm2) A
3.2	8.0	10.4	9.7
4.8	18.1	23.4	21.8
6.4	32.2	41.6	38.7
7.9	49.0	63.4	59.0
9.5	70.9	91.6	85.3
11.1	96.8	125.1	116.4
12.7	126.7	163.8	152.4
15.9	198.6	256.7	238.9

Tableau 5 dimension des seuils

Epaisseur de la paroi (mm)	Diamètre /longueur du seuil (mm)
0.7 - 1.2	0.7 - 1.0 / 0.8 - 1
1.2 - 3.0	0.8 - 2.0 / 0.8 - 1
3.0 - 5.0	1.5 - 3.5 / 0.9 - 1

Tableau 6 Coefficient de frottement statique dépendant de la hauteur de rugosité

Annexe :

Matériaux	Coefficient de frottement		
	1 μm	6 μm	20 μm
PE	0.38	0.52	0.70
PP	0.47	0.50	0.84
PS	0.37	0.52	1.82
ABS	0.35	0.46	1.33
PC	0.47	0.68	1.60

Tableau des angles de dépouille suggérés pour les thermoplastiques

Matériaux	Angle dépouille
Acetal (POM)	0.5-2 degrés
Acrylic (PMMA)	1-2 degrés
Nylon 6,6	0.5-2 degrés
Polycarbonate (PC)	1-2 degrés
Polyethylene (PE)	1-2 degrés
Polypropylene (PP)	0.5-2 degrés
Polystyrene (PS)	1-2 degrés
Polyvinyl chloride (PVC)	1-2 degrés

Annexe :

Tableau 7 Longueurs canaux alimentation maximales pour diamètres spécifiques.

Diamètre du canal (mm)	longueur Maximal du canal (mm)	
	Faible viscosité	haute viscosité
3	100	50
6	200	100
9	280	150
13	330	175

Tableau 8 Critères de choix des différents types de canaux

	Avantages	Inconvénients
1 Canal cylindrique	<ul style="list-style-type: none"> • C'est le canal le plus performant, • Il offre une section d'écoulement maximale pour un périmètre minimal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Usinage sur 2 plaques du moule. Cependant avec les machines à commande numérique cet inconvénient disparaît. • Utilisation difficile avec les moules 3 plaques. • Impossibilité dans le cas de canaux sous chariot
2 Canal cylindrique plus dépouille pour déporter le plan de joint	<ul style="list-style-type: none"> • Usinage sur une seule plaque Utilisation avec les moules 3 plaques. • Idéal pour le choix de canaux sous chariot 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficulté pour la réalisation de l'outil spécial : affutage délicat. • Obligation d'utilisation d'outil non standard • Perte de matière par rapport au canal rond
3 Canal trapézoïdal	<ul style="list-style-type: none"> • Usinage sur une seule plaque Utilisation avec les moules 3 plaques. • Outil spécial plus facile à affuter 	<ul style="list-style-type: none"> • Perte de matière par rapport au canal rond • Obligation d'utilisation d'outil non-standard
4 Canal ½ cylindrique	Simplicité d'usinage	Mauvais écoulement
5 Canal rectangulaire	Facilité d'exécution	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvais démoulage

Annexe :

		• Mauvais écoulement
--	--	----------------------

la partie ejecteur :

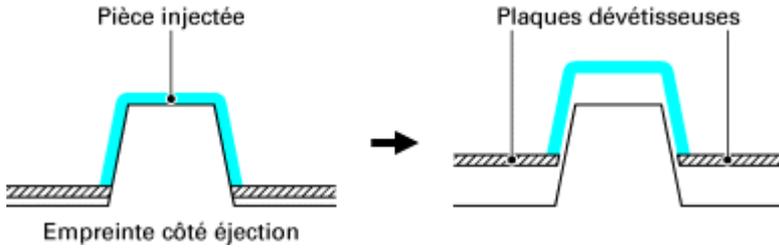
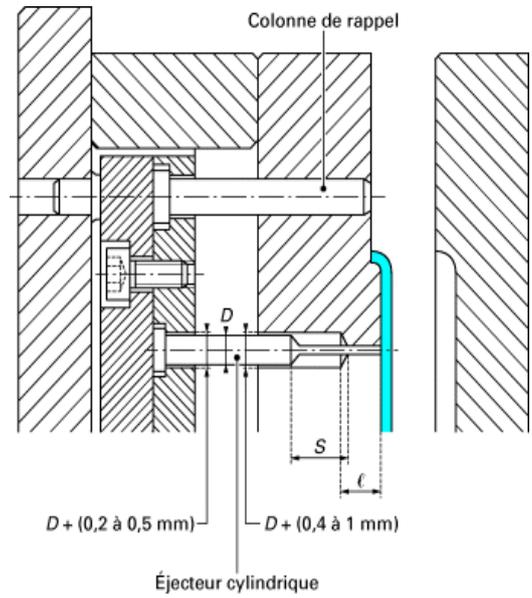


Figure 2 Action d'une plaque revêtisseuse

Figure 1 Exemple de montage d'un éjecteur cylindrique



Annexe :

CPT	Famille Du PLA	Densité	E 22° (GPA)	RMT (mpa) 22°
M				
ABS	Amorphe	1.05	2.06e-6	0.03
POM	S/cristallin	1.42	0.002	0.06
PMMA	Amorphe	1.17	2.62e-6	0.05
HTN		1.44	0.001	0.22
LCP	S/cristallin	1.62	1.55e-5	0.15
PA	S/cristallin	1.30	5.5e-6	0.08
PEI	Amorphe	1.50	8.96e-6	0.16
PEEK	S/cristallin	1.3–1.6	4.13e-6	0.268
PC	Cristalline	1.40	8.61e-6	0.13
PPO	Amorphe	1.25	0.007	0.099
PBT	S/cristallin	1.53	0.009	0.12
PET	S/cristallin Amorphe	1.67	0.01	0.15
PE (LDPE)	s/ cristallin	0.91	0.0003	0.015
EVA	Faiblement cristallin	0.93	0.017	0.017- 0.003
PPS	Amorphe	1.38	0.011	0.15
PP	S/cristallin	0.90	0.0011	0.027
PS	Amorphe	1.05	0.003	0.041
PSU	Amorphe	1.46	9.30e-6	0.099
PVC	Amorphe	1.38	2.41e-6	0.041
SAN	Amorphe	1.06–1.08	2.75e-6- 3.86e-6	0.062- 0.082

Tableau 9 propriétés mécanique des thermoplastiques

Annexe :

Figure 4 vue éclatée du moule

