



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



UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA 1

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE MECANIQUE

Projet de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de master en fabrication mécanique et
productique

Thème

Etude et Conception d'un moule injection plastique

Pour Goblet

Réaliser par :

Mr. Timekbelt Yanis

Mr. Ahmed Rabah

Proposé est encadré :

Mr. Temmar Mustapha

Année universitaire 2020/2021

Remerciements:

Bismi'Allah, Louange et remerciements à Dieu, qui a facilité nos affaires et éclairé notre chemin.

Quant à l'après, nous tenons d'exprimer nos remerciements les plus distinguées et agréables, ainsi notre profonde gratitude à M^r MUSTHAPHA TEMMAR, dont nous avons été honorés en nous encadrant, nous le remercierons pour sa consécration, sa présence, ses conseils et encouragements durant tout le temps alloué au projet, dans le propos de bien mener ce travail avec toute satisfaction souhaitée.

Ensuite, on gratifie également notre société d'accueil techno **Molding Company** pour le temps et les précieuses informations qu'ils nous ont accordées, ainsi pour leurs conseils et leur soutien.

Nous ne remercierons jamais assez nos chères familles et amies pour leur amour, encouragement et pour leurs soutiens.

Nous remercierons aussi l'ensemble de la famille enseignante pour nous avoir formé durant ces années et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce travail,

ملخص:

الغرض من هذا العمل هو تصميم قالب حقن بلاستيكي ذو تجويفين، والذي من المفترض أن يتم تصنيعه من طرف الشركة المستضيفة من أجل تصنيع كأس بتقنية الحقن البلاستيكي الحراري. لهذا الغرض، أنشأنا دراسة متعمقة حول تقنية صنع القوالب المستخدمة عموماً في الهندسة.

بعد ذلك، انتقلنا إلى التصميم، حيث قمنا بنمذجة القالب والمنتج المطلوب على برنامج "CAD" "SOLIDWORKS"، مع مراعاة متطلبات المواصفات.

أخيراً، عرضنا العناصر المكونة لهذا القالب من خلال تحليل نوع المواد لكل منها وتحديد أبعادها.

Résumé :

Ce travail a pour objet de faire la conception d'un moule injection plastique a deux empreintes, qui est destiné à être usiné par notre compagnie d'accueil pour la fabrication d'un Goblet par injection thermoplastique. Pour cela, nous avons établi une étude approfondie sur la technique de moulage généralement utilisé en ingénierie

Ensuite, nous sommes passés à la partie conception, où on a modélisé le moule et le produit souhaité sur un logiciel CAO "SOLIDWORKS" en tenant compte des exigences du cahier de charges.

Enfin, nous avons présenté les éléments constitutifs de ce moule en analysant le type de matériaux de chacun de ces derniers et en définissant leurs dimensions.

Abstract :

This work aims to make a conception of a two-cavity plastic injection mold, which is intended to be machined by our host company for the manufacture of a thermoplastic injection Goblet. For this, we have established an in-depth study on the mold making technique generally used in engineering.

Then, we moved on to the conception part, where we modeled the mold and the desired product on "SOLIDWORKS" CAD software, taking into account the requirements of the specifications.

Finally, we presented the constituent elements of this mold by analyzing the type of materials of each of these and by defining their dimensions.

NOMONCLATURE

Symboles	Noms	Unités
n	Nombre d'empreinte	/
Ci	Capacité d'injection de la machine	[cm ³ /s]
Vg	Volume de la grappe	[cm ³]
Vp	Volume de pièce	[cm ³]
DCR1	Grand diamètre de la carotte	[mm]
DCR2	Petit Diamètre de la carotte	[mm]
Lcr	Longueur de la carotte	[mm]
SCR1	Section du grand diamètre de la carotte	[mm ²]
SC	Section du canal d'alimentation	[mm ²]
α	Angle de dépouille	[°]
Dcp	Diamètre du canal principale	[mm]
Dr	Coefficient du diamètre théorique	[mm]
Lf	Coefficient de la longueur théorique	[mm]
m	Masse	[Kg]
s	Epaisseur de la pièce	[mm]
M	Masse maximale	[kg]
Ds	Diamètre du seuille	[mm]
Ø6	Diamètre du canal de refroidissement	[mm]
Mm	Masse moulée	[kg]
Mg	Masse de la grappe	[kg]
Vm	Volume de la moulée	[cm ³]
D	Masse volumique de la matière	[cm ³]
Vinj	Volume injectable	[cm ³]
N	Coefficient de correction de la matière	/
cd	Course de dosage	[cm]
S	Section de la vise	[mm ²]
Rm	Retrait	[%]
tr	Temps de refroidissement	[s]
ti	Température d'injection	[°]
TM	Température de démoulage	[°]

td	Température de la surface d’empreinte	[°]
tr1	Temps de remplissage	[s]
V	Volume de la moulée	[cm ³]
QV	Débit volumique	[cm ³ /s]
Tcycle	Temps de cycle	[s]
Pm	Poids de la moulée	[kg]
P	Quantité moulée par heure	[kg/h]
Q	Quantité de chaleur évacuée	[kcal/h]
Hi et He	Enthalpie de la température de moulage	[kJ/kg]
Vr	Vitesse de rotation de la vise	[tr/min]
Vt	Vitesse tangentielle	[m/s]

Table des matières

ملخص	II
Résumé	II
Abstract	II
NOMONCLATURE	III
INDEX DES FIGURES	X
INDEX DES TABLEAUX	XII
Présentation de l'entreprise :	1
Introduction générale	2
 <u>Chapitre I: Generalites sur la matiere plastique</u> 	
I.1. Généralités	4
I.2. Les Plastiques	4
I.2.1. Adjuvants et additive :	4
I.2.1.1. Les adjuvants sont :	4
I.2.1.2. Les additifs sont :	5
I.3. Les Polymères :	5
I.3.1. Thermoplastiques	5
I.3.1.1. Polymères amorphes :	6
I.3.1.2. Polymères cristallins	6
I.3.1.3 Polymères semi-cristallins	6
I.3.1.4. Avantages et inconvénients des thermoplastiques	7
I.3.2. Les thermodurcissables	8
I.3.2.1. Avantages et désavantages des thermodurcissables	8
I.3.3. Elastomère :	8
I.3.4. Classification selon l'origine	8
I.3.4.1. Polymères naturels.....	9
I.3.4.2. Polymères artificiels	9
I.3.4.3. Polymères synthétiques.....	9
I.4. Appellation et Symboles	9
I.5. Les caractéristiques des polymères synthétiques les	

plus utilisés	11
I.5.1. Le Polypropylène (PP)	11
I.5.2. Le Polyéthylène (PE bd) :.....	12
I.6. Coloration des matières plastiques	12
I.6.1. Colorant à sec	13
I.6.2. Colorants dans la masse	13
I.7. Recyclage	13
I.8. Propriétés mécaniques :	13
Conclusion :	14
<u>Chapitre II: Développement à mise en forme des polymères</u>	
II.1. les différents Procédés de transformations du plastique par injection.....	15
II.1.1. Injection soufflage.....	15
II.1.2. Extrusion	16
II.1.3. Extrusion soufflage :	16
II.1.4. Extrusion gonflage	17
II.1.5. Thermoformage	17
II.1.6. Calandrage :	18
II.1.6.1. Principe du calandrage.....	18
II.2. Fréquence d'utilisation des différents procédés	19
II.3. Code famille des plastiques	20
II.4. Procédés de production par injection thermoplastique ...	20
II.4.1. Définition du procédé	21
II.4.2. Principe du procédé	21
II.4.3. Phases de moulage par injection	21
II.4.3.1. La phase de plastification	22
II.4.3.2. La phase de remplissage	22
II.4.3.3. La phase de compactage	23
II.4.3.4. La phase de refroidissement et d'éjection	23
II.5. Suivi de l'injection	24
II.5.1. Diagramme P(t).....	24
II.5.2. Diagramme de T (t) :	25
II.5.3. Diagramme de PVT	25
II.5.3.1. Interprétation du diagramme PVT	25

II.6. Defaults reliés à l'injection.....	26
II.6.1. Défauts liés à la phase dynamique d'injection (remplissage-maintien)	26
II.6.1.1. Les bavures	26
II.6.1.2. Une pièce incomplète.....	26
II.6.1.3. Apparition de sillons	27
II.6.1.4. L'effet Diesel	27
II.6.1.5. Les inclusions d'air	27
II.6.1.6. Gauchissement.....	28
II.6.2. Défauts liés à la phase quasi-statique d'injection :	28
II.6.2.1. Les retassures :	28
II.6.2.2. L'écaillage.....	28
II.6.2.3. La fissuration.....	28

Chapitre III: étude de la presse a injection et architecture du moule

III.1. Les presses à injection.....	29
III.2. Description d'une presse a injection :	29
III.3. Fonctionnement de la presse :	30
III.3.1. Groupe d'injection	30
III.3.2. Groupe de fermeture.....	31
III.4. Choix d'une presse	32
III.4.1. Le critère technique.....	32
III.4.2. Le critère économique	32
III.5. Architecture des moules.....	34
III.6. Classification des moules.....	35
III.7. Les fonctions d'un moule :	36
III.7.1. Fonction alimentation :	36
III.7.2. Carotte :.....	37
III.7.3. Canaux d'alimentation	37
III.7.4. Seuils :	37
III.7.5. Recommandations pour un positionnement optimum du seuil :	40
III.8. Refroidissement des moules :	41
III.8.1. Calcul du temps de refroidissement.....	41

III.8.2. Types des circuits de refroidissement	42
III.8.2.1. Circuits parallèles :	42
III.8.2.2. Circuits en série	42
III.9. La fonction éjection	43
III.9.1. Les différents types d'éjecteur	43
III.9.2. Caractéristiques d'un système d'éjection	44
III.10. Fonction évacuation d'aire :	45
III.11. Fonction mise en forme :	45
III.12. Règles de conception d'une pièce injectée	45
III.12.1. Dépouille	45
III.12.2. Congés.....	46
III.12.3. Épaisseurs	46
III.12.4. Localisation des traces de moulage :	47
III.12.5. Tolérances	47
<u>Chapitre IV: Projet de conception du moule par CAO</u>	
IV.1. Problématique :	48
IV.2. Ressources informatiques	48
IV.3. Cahier des charges	49
IV.4. Présentation du produit « Goblet en plastique »	50
IV.4.1. Fiche technique de la pièce :	50
IV.5. Choix de la presse utilisé :	51
IV.5.1. Selon le volume injectable :	51
IV.5.1.1. Calcule de la masse moulée :	51
IV.5.1.2. Calcule de la moulée à froid :	51
IV.5.1.4. Calcule du volume injectable :	52
IV.5.2. selon la force de fermeture :	52
IV.5.2.1. Calcule de la force de fermeture nécessaire de la presse :	52
IV.5.2.2 selon les dimension du moule :	52
IV.6. Dessin de définition :	54
VI.7. Model CAO de la pièce :	55
VI.8. Conception CAO du moule :	56
VI.8.1. Mise à l'échelle moulante :	56
IV.8.2. Analyse de dépouille	56

Les faces en vert (à droite de la face en rouge) sont à dépouille positive, donc elle doit appartenir à l’empreinte partie injection.	57
Les faces en rouge (et tous ce qu’est à gauche) sont à dépouille négative, donc elle doit appartenir à l’empreinte partie éjection.....	57
Les faces représentent les dépouilles requises	57
Dans notre cas la dépouille et requise au niveau de la partie supérieur de la pièce.....	57
IV.8.3. Lignes de joint.....	57
IV.8.4. Plan de joint :.....	58
IV.8.5. Insertion de noyau et d’empreinte	58
IV.8.6. Carcasses de moule	58
IV.8.7. Les éléments standardisés :	59
IV.9. Calcule de conception :	60
IV.9.1. Détermination du nombre d'empreinte :	60
IV.9.2. Dimensionnement de la carotte.....	60
IV.9.3. Dimensionnement des canaux d’alimentation	61
IV.9.4. Dimensionnement du Seuil d’injection :	63
IV.9.5. Diamètre du seuil (Ds)	63
IV.9.6. Conception de la grappe par CAO :	64
IV.9.7. Dimensionnement du canal de refroidissement :	64
IV.10. Détermination du temps de refroidissement :	65
IV.11. Temps de remplissage :	65
IV.12. Détermination du cycle optimal de moulage	66
IV.13. Détermination de la quantité moulée par heure.....	66
IV.14. Détermination de la quantité de chaleur à évacuer pour refroidir le polymère :	67
IV.15. Conception des éléments du moule par CAO :	67
IV.16. Assemblage du moule par CAO :	71
IV.15.1.Vu éclaté de l’assemblage :	72
Conclusion générale :	73

INDEX DES FIGURES

Figures	Titre	Page
Figure 0I.1	Structure des polymères	07
Figure 0II.1	Procéder de soufflage	15
Figure II.2	Procéder d'extrusion	16
Figure II.3	Procéder d'extrusion gonflage	17
Figure II.4	Procéder thermoformage	18
Figure II.5	Procéder de calandrage	18
Figure II.6	Fréquence d'utilisation des différent procéder	19
Figure II.7	Code des familles plastiques	20
Figure II.8	Phase de plastification	22
Figure II.9	Phase de remplissage	22
Figure II.10	Phase de compactage	23
Figure II.11	Phase de refroidissement est d'éjection	23
Figure II.12	Déroulement d'un cycle d'injection	24
Figure II.13	Diagramme de p(t)	25
Figure II.14	Évolution de la température au coure du cycle	25
Figure II.15	Diagramme de PVT	25
Figure II.16	Défauts de bavure	26
Figure II.17	Défaut de pièce	26
Figure II.18	Défaut de sillons	27
Figure II.19	Effet diésel	27
Figure II.20	Inclusion d'aire	27
Figure II.21	Gauchissement	28
Figure II.22	Retassures	28
Figure II.23	Écaillage	28
Figure II.24	Défaut de fissuration	28
Figure III.1	Presse horizontale	29
Figure III.2	Diffèrent unité d'une presse a injection horizontale	30
Figure III.3	Groupes d'injection	30
Figure III.4	Groupe de fermeture	31
Figure III.5	Représentations d'un moule standard	35

Figure III.6	Moule à 3 plaques	36
Figure III.7	Moule à 2 plaques	36
Figure III .8	Représentation de la carotte	37
Figure III.9	Canaux d'alimentation	37
Figure III.10	Seuil directe	38
Figure III.11	Seuil annulaire	38
Figure III.12	Seuil conique ou éventail	39
Figure III.13	Seuil capillaire	39
Figure III.14	Seuil en nappe	40
Figure III.15	Seuil sous-marin	40
Figure III.16	Types de circuit de refroidissement	42
Figure III.17	Exemple de forme non dépouillée	46
Figure III.18	Exemple de forme dépouillée	46
Figure IV.1	Représentation des cotes fonctionnelle par CAO	54
Figure IV.2	Model CAO du Goblet	55
Figure IV.3	Représentation de l'analyse de dépouille de la pièce	56
Figure IV.4	Représentation de la ligne de joint	57
Figure IV.5	Représentation du plan de joint de la pièce	58
Figure IV.6	Représentation de la carcasse du moule	59
Figure IV.7	Représentation de la carotte	61
Figure IV.8	Choix du Dr en fonction de l'épaisseur	62
Figure IV.9	Choix du Lf en fonction la masse et de la longueur du canal principal	62
Figure IV.10	Représentation de la grappe	64
Figure IV.11	Graphes des enthalpies en fonction de la température	67
Figure IV.12	Buse	68
Figure IV.13	Colonne de guidage	68
Figure IV.14	Plaque semel P.F	68
Figure IV.15	Raccord	68
Figure IV.16	Empreinte parti fix	68
Figure IV.17	Éjecteur cylindrique	71
Figure IV.18	Éjecteur a lame	71
Figure IV.19	Cache semelle p. Mobile	70
Figure IV.20	Bague de repos	70
Figure IV.21	Plaque d'éjection	70
Figure IV.22	Tasseaux	70

Figure IV.23	Empreinte parti mobile	70
Figure IV.24	Représentations de l'assemblage	71
Figure IV.25	Représentations de l'assemblage	71
Figure IV.26	Représentation de la vue éclatée du moule	72
Figure IV.27	Représentation de la vue éclatée du moule	72

INDEX DES TABLEAUX

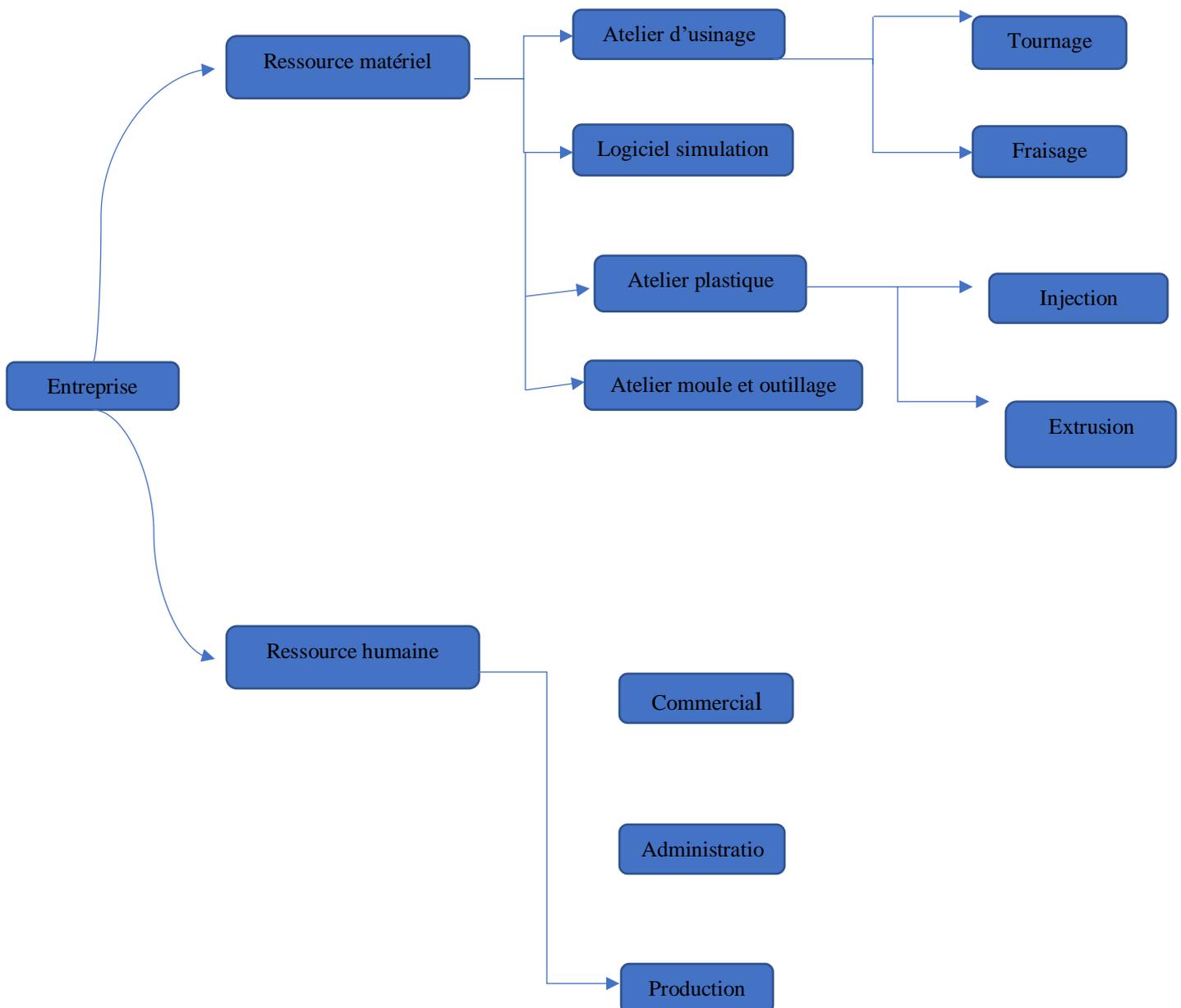
Tableaux	Titre	Page
Tableau I.1	Les avantages et les inconvénients des thermoplastiques	07
Tableau 0I.2	Avantages et les inconvénients des thermodurcissables	08
Tableau I.3	Appellation et Symboles des matières plastiques	10
Tableau I.4	Propriétés mécaniques et thermiques du PP	11
Tableau I.5	Propriétés mécaniques et thermiques du PE bd	12
Tableau I.6	Caractéristiques mécaniques	13
Tableau IV.1	L'essentiel du cahier des charges du produit	49
Tableau IV.2	Fiche technique de la Pièce	50
Tableau IV.3	Fiche technique de la presse utilisé	53
Tableau IV.4	Données des vitesses selon la matière	63
Tableau IV.5	partie fixe	67
Tableau IV.6	partie mobile	69

Présentation de l'entreprise

Présentation de l'entreprise :

La société SARL MOLDINGUE COMPANY et le regroupement d'un ensemble d'unités de fabrications industrielles. Possédant un matériel de qualité (atelier automatisé)

Actuellement, Sarl mol dingue compagnie développe une nouvelle gamme de produits, se spécialisant dans la production de Goblet par injection thermoplastique adaptés aux besoins et de la demande croissante du marché avec un rapport (qualités/prix).



Introduction générale

Introduction générale

L'injection est aujourd'hui l'un des procédés les plus utilisés pour la fabrication en moyen et en très grande série dans la bonne matière, c'est une technique de mise en forme essentiellement appliquée aux thermoplastiques. Cependant elle commence à être appliquée aux thermodurcissables. Elle est utilisée dans de très nombreux domaines : l'automobile, l'électronique, la robotique, le médical l'aéronautique, l'aérospatial, Téléphones, seringues, pare chocs, capots, carters, boîtes...

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

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

Ces objets peuvent être obtenus par moulage qui permet de produire très rapidement (en une seule opération) des objets de qualité en grande quantité, même si les formes sont complexes, dans des gammes de poids allant de quelques grammes à plusieurs kilogrammes.

Le domaine de conception et fabrication des moules par injection des thermoplastiques marque un grand essor avec le développement des nouvelles techniques informatiques et technologiques « SOLIDWORKS, INVENTOR, CATIA... », et de simulation rhéologique

« MOLDFLOW, SOLIDWORKS PLASTICS... »

Dans ce contexte, et dans le cadre de développement industriel dans le domaine d'injection plastique, on se propose d'étudier et concevoir un moule d'injection plastique d'un élément « Goblet » à des besoins précis selon un cahier de charge proposé par l'entreprise techno Moldinge

L'objectif de ce travail est d'étudier et concevoir un moule d'injection plastique dédié à la fabrication en série d'un Goblet en plastique en utilisant un logiciel de conception CAO.

Ce manuscrit est composé de quatre (4) chapitres

- ✓ Le premier chapitre a comme objectif de présenter les matériaux plastiques les polymères d'une manière générale
- ✓ Le deuxième chapitre est consacré à la description du procédé du moulage avec les différents défauts relié à l'injection
- ✓ Le troisième chapitre est dédié à la présentation de la technologie des presses à injection et l'architecture des moules.
- ✓ Dans le quatrième chapitre, notre projet est présenté de point de vue fiche technique du produit, cahier des charges, choix du matériau et choix de la presse à injection avec les équations théorique utilisé pour le choix de la presse.

Par la suite une description de toutes les étapes de conception de l'empreinte et du noyau à l'aide de logiciel SolidWorks. Suivi des équations théoriques de moulage et d'injection dans le moule, est la conception de l'ensemble des différents éléments du moule.

Le mémoire se termine par une conclusion générale du travail effectué.

Chapitre I : Généralité sur la matière plastique

I.1. Généralités

Après avoir utilisé les matériaux naturels dans les temps préhistoriques (bois, pierre, peau, laine, etc.) et avoir extrait les métaux des minerais, ainsi que d'avoir créé des alliages métalliques, l'Homme a commencé à créer des matériaux de synthèse à partir des composants organiques. C'est ainsi que sont apparus les premiers polymères de synthèse (fin 18ème siècle) c'est-à-dire les premières matières plastiques. Plus récemment encore (les années quarante) l'idée est venue d'améliorer les caractéristiques mécaniques en y incorporant des fibres, ce que l'on appelle depuis les années 60-70, les matériaux composites. ^[1]

I.2. Les Plastiques

C'est un mélange d'un ou plusieurs polymères avec des additifs et des adjuvants (les polymères purs ne sont pas utilisés). Une multitude d'additifs et d'adjuvants sont incorporés dans les polymères pour améliorer les caractéristiques et pour faciliter la fabrication des matériaux plastiques. L'action de lui ajouter des additifs, en quantité plus ou moins grande, pour de multiples raisons telles que :

Protéger le polymère lors de sa mise en œuvre (par exemple avec un antioxydant) ;

Aider à sa mise en œuvre par modification des caractéristiques rhéologiques du mélange à l'état visqueux (par exemple avec un plastifiant, ou un lubrifiant) ;

Conférer au produit fini certaines propriétés spécifiques (par exemple avec un principe actif, un agent de conduction, etc.).

Ce sont des composés qui sont introduits dans les polymères afin d'améliorer les propriétés physiques (mécaniques, thermiques...), les propriétés chimiques et leurs mises en œuvre. ^[1]

I.2.1. Adjuvants et additive :

Les composés incorporés à moins de 5% sont appelés « adjuvants ». Ceux incorporés à plus de 5% sont appelés « additifs »

I.2.1.1. Les adjuvants sont :

- Les colorants ou pigments
- Les anti-ultraviolets (anti UV)
- Les ignifugeants (évite la combustion)

- Les antis oxydants
- Les lubrifiants
- Les antistatiques
- Les agents gonflants (anti retassure)
- Les fongicides (évite la formation de bactéries)

I.2.1.2. Les additifs sont :

- Les charges
- Les renforts
- Les plastifiants
- Les agents gonflants (structure allégé)

Remarque : Toute incorporation de plus de 1% d'un produit quelconque dans un polymère est susceptible de modifier ses caractéristiques mécaniques, thermiques, son retrait ainsi que sa fluidité. De plus, ce produit additionnel devra :

- Être compatible
- Posséder une tenue à long terme
- Avoir un rapport prix / performance

I.3. Les Polymères :

Un **polymère** est une macromolécule, organique ou inorganique, constituée de l'enchaînement covalent et répété d'un même motif appelée (monomères).

Le résultat est une suite d'atomes de carbone reliés entre eux et combinés à d'autres éléments (hydrogène, azote, fluor, silicium, chlore, etc.).

Ces différentes structures vont permettre de classer les polymères en trois grandes catégories : Les thermoplastiques thermodurcissables et les élastomères ^[1]

I.3.1. Thermoplastiques

Se ramollissent lorsqu'on les chauffe au-dessus d'une certaine température, mais qui redevient solide en dessous. Ces matières conservent de façon réversible leur thermo-plasticité initiale.

Exemples : PE, PVC, PP, PS, PMMA, PET....

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 (fig. I.5) a une influence importante sur les propriétés des polymères thermoplastiques. ^[2]

I.3.1.1. Polymères amorphes :

Dans un polymère amorphe, les chaînes se présentent sous la forme de pelotes statistiques (fig. I.5). Les chaînes sont enchevêtrées et on note l'absence de structure ordonnée. Quand on chauffe un polymère amorphe, il subit une transition douce de l'état solide à l'état fluide, il n'y a donc pas de température de fusion. En effet, la structure des chaînes de macromolécule en pelote compacte et désordonnée empêche une transition brutale entre les états solide et liquide. Cependant, une brusque variation de mobilité moléculaire est observée à une température appelée température de transition vitreuse notée T_g ^[2]

I.3.1.2. Polymères cristallins

Un polymère purement cristallin, quant à lui, présente des chaînes qui s'arrangent de façon ordonnée. Contrairement aux amorphes, les cristallins possèdent une température de fusion notée T_m . Cependant, un polymère totalement cristallin n'existe pas en réalité. Il reste toujours des défauts ou bien l'extrémité des chaînes qui ne peuvent adopter une structure cristalline. ^[2]

I.3.1.3 Polymères semi-cristallins

Les semi-cristallins présentent à la fois une partie amorphe où les chaînes moléculaires sont désordonnées et une partie cristalline ordonnée (fig. I). Ils présentent donc à la fois une température de transition vitreuse (correspondant à la mobilité de la phase amorphe) et une température de fusion (pour laquelle la phase cristalline se liquéfie). On a donc toujours $T_g < T_f$.

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. [2]

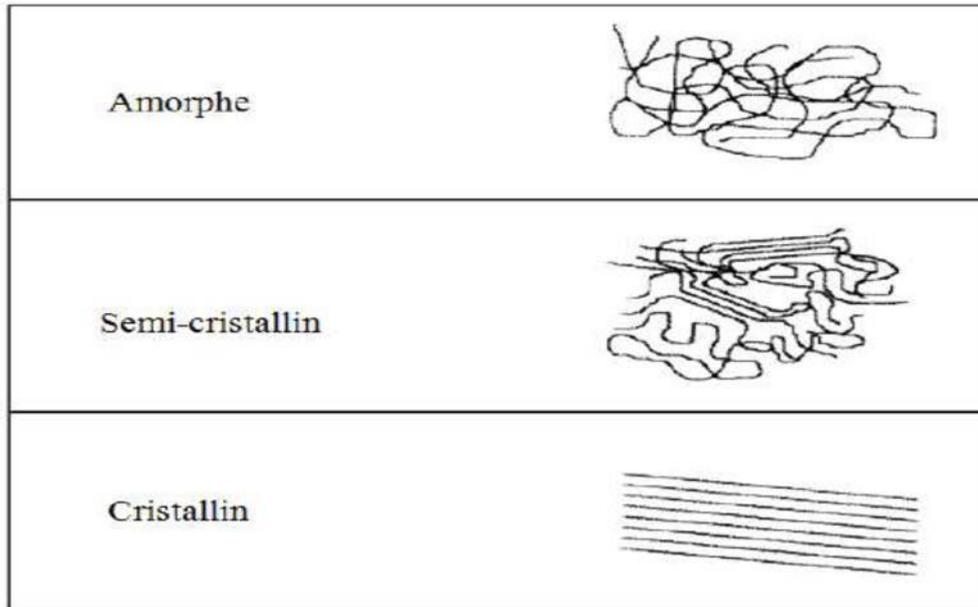


Figure I.1 structure des polymères [2]

I.3.1.4. Avantages et inconvénients des thermoplastiques

Avantages		Inconvénient
- Stabilité dans le temps (pas de polymérisation au cours du temps) - Recyclable (on peut les liquéfier à nouveau) - Facile à réparer (par soudure ou collage) - Post-formable		- Forte viscosité du fondu - Fluage
Amorphe	Crystalline	
Bonne résistance aux impacts module plus élevé	Moindre retrait au refroidissement plus grande dureté	

Tableau 0I.1. Les avantages et les inconvénients des thermoplastiques [3]

I.3.2. Les thermodurcissables

Sous l’action de la chaleur se durcissent progressivement pour atteindre un état solide qu’elles conserveront sous forme irréversible. (Création de liaisons chimiques entre les chaînes macromoléculaires).

Exemples : Epoxy, résines phénol/formol ; résines uréiques, polyesters insaturées.....

I.3.2.1. Avantages et désavantages des thermodurcissables

Avantages	Inconvénients
- Faibles viscosité de la résine	Cassant Non recyclable par techniques standard Non pas formable
- Bon mouillage des fibres	
- Bon stabilité thermique après polymérisation	
- Résistance aux agressions chimiques	
- Peu sensible au fluage	

Tableau 0I.2 avantages et les inconvénients des thermodurcissables [3]

I.3.3. Elastomère :

Entrant dans la composition de plastiques, les élastomères constituent une famille particulière de « hauts polymères » et se distinguent des plastiques (quelquefois appelés plastomères) par des comportements différents du point de vue, en particulier, de leur rigidité, de leur déformabilité et de leur résilience. Contrairement aux plastiques, les élastomères ont une température de transition vitreuse inférieure à la température ambiante.

I.3.4. Classification selon l'origine

Selon l’origine, les polymères peuvent être classés en trois familles : naturels, artificiels et synthétiques ^[4].

I.3.4.1. Polymères naturels

Les polymères naturels sont obtenus à partir de sources végétales ou animales. A cette catégorie, appartiennent toutes les familles de polysaccharides (cellulose, amidon, etc.), des protéines (laine, soie, etc.), le caoutchouc naturel, etc.

I.3.4.2. Polymères artificiels

Ce sont des polymères de base naturels ayant subi des modifications chimiques, tel que la viscose (cellulose modifiée chimiquement).

I.3.4.3. Polymères synthétiques

Ce sont des polymères synthétisés à partir des monomères, tel que le polyéthylène (PE), polypropylène (PP), polyamide 6,6 (PA66), ...etc.

I.4. Appellation et Symboles

La chimie des matières plastiques ainsi que sa technologie ont fait apparaître une série d'appellation spécifique dont l'utilisation orale n'est pas facile

Ces appellations sont souvent remplacées par des symboles utilisés par l'ensemble des outilleurs et des plasturgistes. ^[4]

Symboles	Appellation	Symboles	Appellation
ABS	-Acrylonitrile butadiène styrene	PP	-Poly Propylène
APV	-Alcool Polyvinylique	PPE	-Copolymère de polypropylène d'éthylène
BMC	-Bull Mol ding Compound	PPO	-Poly oxyde de phényle
CA	-Acétate de Cellulose	PPS	- Polysulfure de phényle
CAB	-Acétobutyrate de Cellulose	PRC	-PE hd réticule
CFE	-Chlorofluoréthylène Diallèle	PS	-Polystyrène
DAC	- diallèle Carbonate	PSC	-Polystyrène choc
DAP	-Diallèle phtalate	PSF	- Polysulfone
EP	-Epoxyde	PU	-Polyuréthane
EPF	-Polyéthylène propylène fluoré	PVB	-Butyral de polyvinyle
EPDM	-Ethylène propylène diane Monomère	PVC	-Polychlorure de vinyle
EPM	-Ethylène propylène monomère	RIM	-Réaction injection molding
PA	-Polyamide	SI	-Silicone
PAN	-Polyacry lontrille	TD	- Thermodurcissable
PBT	-Poly butylène téréphtalate	TEP	-Textile enduit plastique
PEE	-Polyéthylène Exposé	TP	-Thermoplastique
PES	-Poly ethersulfone		
PET	-Polyéthylène lènetéréphtate		
PF	-Phénol -Formol		
PFE	-Poly fluoré éthylène		
PI	- Poly imide		

Tableau 0I.3 Appellation et Symboles des matières plastiques [4]

I.5. Les caractéristiques des polymères synthétiques les plus utilisés

I.5.1. Le Polypropylène (PP)

Exemple de caractéristique de deux matières plastiques (PP)		
POLYPROPYLENE (PP)	<p><u>Origine :</u> Propylène Structure :</p> <p><u>Cristalline Retrait :</u> 1 à 2.8 %</p> <p><u>Densité :</u> 0.9</p> <p><u>Mise en œuvre :</u> injection, Extrusion, estampage, thermoformage.</p> <p><u>Températures :</u></p> <p>-de moulage : 210 à 300 °C</p> <p>-du moule : 20 à 90 °C</p> <p>-de fusion : 64 °C</p> <p>-d'Utilisation : 0 à 120 °C</p>	<p><u>Avantage :</u></p> <p>-Bonne résistance à la flexion.</p> <p>-Bonne propriétés électriques.</p> <p>-Bonne Résistance mécanique.</p> <p>-Bonne résistance aux produits chimiques</p> <p><u>Inconvénients :</u></p> <p>-inserts métalliques à basse de cuivre déconseillés.</p> <p>-Fragile à basse température.</p> <p>-retrait non homogène</p>

Tableau I.4 Propriétés mécaniques et thermiques du PP [4]

I.5.2. Le Polyéthylène (PE bd) :

Exemple de caractéristique de deux matières plastiques (PE bd)		
POLYETHYLEN E (PE bd)	<p><u>Origine :</u> Ethylène</p> <p><u>Structure :</u> Cristalline</p> <p><u>Retrait :</u> 1.3 à 2.8 %</p> <p><u>Densité :</u> 0.92</p> <p><u>Mise en œuvre :</u> injection</p> <p>Extrusion, roto moulage, thermoformage.</p> <p><u>Températures :</u></p> <p>-de moulage : 160 à 300 °C</p> <p>-du moule : 20 à 60 °C</p> <p>-de Fusion : 135 C°</p> <p>-d'utilisation : -80 à 110 °C</p>	<p><u>Avantage :</u></p> <p>meilleurs caractéristiques que PE bd.</p> <p>Rigidité surfaces brillantes</p> <p>Résistance à la température et à l'eau bouillante</p> <p>Inconvénients :</p> <p>Retrait non homogène</p> <p>Densité plus élevée que polyéthylène basse densité.</p> <p>Prix plus élevé.</p> <p>Décoration difficile</p>

Tableau I.5 Propriétés mécaniques et thermiques du PE bd [4]

I.6. Coloration des matières plastiques

Les matières plastiques sont colorées à différents stades de leur élaboration suivant la couleur demandée par le client.

Les résines issues des polymères sont teintées en fonction de leur couleur naturelle. Les résines naturelles foncées sont en (noir, rouge, bleu).^[4]

Les résines naturelles claires sont colorées claire ou pastel (jaune, Orange). Colorants 11 existe deux types de colorant.

I.6.1. Colorant à sec

Les granulés vierges sont mélangés dans le tambour avec le colorant choisi. Un lubrifiant peut être ajouté pour faciliter l'écoulement de la matière dans le moule

I.6.2. Colorants dans la masse

Les granulés sont colorés à sec et pour réaliser une bonne dispersion de la couleur, ils sont extrudés en filament, puis broyés par granulation.

I.7. Recyclage

Certaines fabrications de produits dont le recyclage est envisagé ; sont traitées avec des colorants fluorescents pour une identification ultérieure (parc, chocs, tableaux de bord). Les déchets de fabrication ainsi que les pièces usées peuvent être rebroyées pour être mélangées avec un pourcentage de 10 à 15%

I.8. Propriétés mécaniques :

Les matières plastiques ont une structure interne différente à des métaux et des alliages ; leur comportement sous l'action des efforts est donc différent. En fonction des utilisations envisagées ; il est nécessaire de mouler des éprouvettes et de réaliser des essais (Essai de traction, Essai de flexion, Essai de chocs... etc.) afin de déterminer des contraintes maximales admissibles.^[4]

Matières	Essai de traction		Essai de flexion
	Résistance (Mpa)	Allongement A%	Contrainte pour F max (Mpa)
Polyester et tissu de verre	35	05	5 - 35 suivant °C
Plexiglas	4.9	03	8 - 12 suivant °C
Polyéthylène	3.9	65 – 105	4 - 15 suivant °C
Polyéthylène	3.5 – 6.3	2 – 40	10 - 25 suivant °C

Tableau I.6 Caractéristiques mécaniques [4]

Conclusion :

Actuellement, le plastique est devenu l'un des matériaux les plus importants dans le domaine de la plasturgie et de manière significative dans tous les domaines, car il contient les propriétés physiques et mécaniques.

Chapitre II : développement sur la mise en forme des polymères

II.1.les différents Procédés de transformations du plastique par injection

Il existe différentes technologies qui permettent de transformer les plastiques et le choix des procédés de fabrication dépend essentiellement des polymères, les procédés utilisés le plus fréquemment sont : ^[5]

- L'injection plastique
- L'injection soufflage
- L'extrusion
- L'extrusion soufflage
- Le thermoformage
- L'expansion moulage
- Le malaxage
- Le roto moulage

II.1.1. Injection soufflage

Pour la conception des bouteilles, des flacons ou encore des biberons, on utilise l'injection soufflage. L'injection-soufflage permet d'avoir une cadence très élevée dans le cycle de fabrication qui se déroule en deux grandes phases. Dans l'atelier d'injection, on fabrique d'abord une préforme, pour façonner, une sorte d'éprouvette avec le goulot de la bouteille.

Dans l'atelier de soufflage, on chauffe de nouveau le plastique du tube que l'on va étirer dans un moule à l'aide d'une tige.

Pour que la matière prenne parfaitement la forme du moule, on lui envoie un jet d'air très puissant (le soufflage).Le moule est ensuite refroidi et s'ouvre, la bouteille apparaît. ^[6]

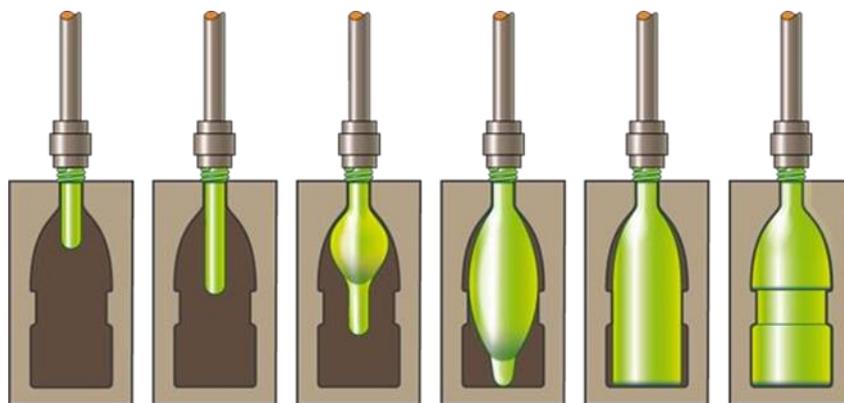


Figure II.1. Procéder de soufflage [6]

II.1.2. Extrusion

L'extrusion est le procédé de transformation qui sert à fabriquer des pièces en longueur comme des tuyaux, des gouttières ou des tubes : [6]

- On verse le polymère sous forme de granulés ou de poudre solide dans la trémie de l'extrudeuse.
- La matière est entraînée par la vis sans fin qui tourne dans un cylindre chauffé.
- Elle se liquéfie sous l'effet de la chaleur et de la friction.
- La vis entraîne le plastique vers la sortie. La tête de sortie (pièce en acier aux formes variées) donne sa forme au produit au plastique qui est ensuite refroidi

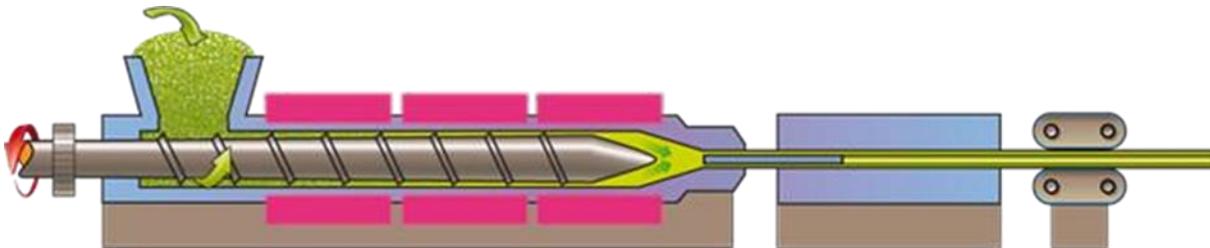


Figure II.02 procéder d'extrusion [6]

Cette technique permet de fabriquer des en phase initiale, le principe est le même que celui de l'extrusion classique mais il n'y a pas de forme à la sortie de l'extrudeuse plastiques.

- On insuffle de l'air comprimé dans le plastique ramolli.
- Il se gonfle alors et s'élève verticalement comme une bulle de film très fin. On le laisse ensuite refroidir.
- Avant de l'aplatir entre des rouleaux, on forme des soufflets et on prédécoupe les sacs.
- On les enroule sur des bobines ou on forme des rouleaux

II.1.3. Extrusion soufflage :

Ce procédé consiste à combiner la technique de l'extrusion avec celle du soufflage. Il permet de fabriquer des objets creux comme les bouteilles de lait ou les flacons de lessive par exemple. On réalise d'abord un tube par extrusion simple

Le tube extrudé (appelé paraison) est enfermé dans un moule de soufflage (2 demi-coquilles ayant la forme désirée).

La paraison présente un orifice à son extrémité, qui est pincée (là où sera l'ouverture finale du récipient).

Puis de l'air est injecté dans le moule afin que le tube adopte parfaitement les parois où il est très rapidement refroidi. Il suffit alors de démouler l'objet ainsi fabriqué et le tour est joué.^[6]

II.1.4. Extrusion gonflage

Ce procédé est un dérivé de l'extrusion, il consiste à souffler en continu de l'air à l'intérieur d'un tube appelé paraison pour la faire gonfler. Ce procédé ne nécessite pas de moule, c'est l'air soufflé qui donne la forme et le refroidissement.^[6]

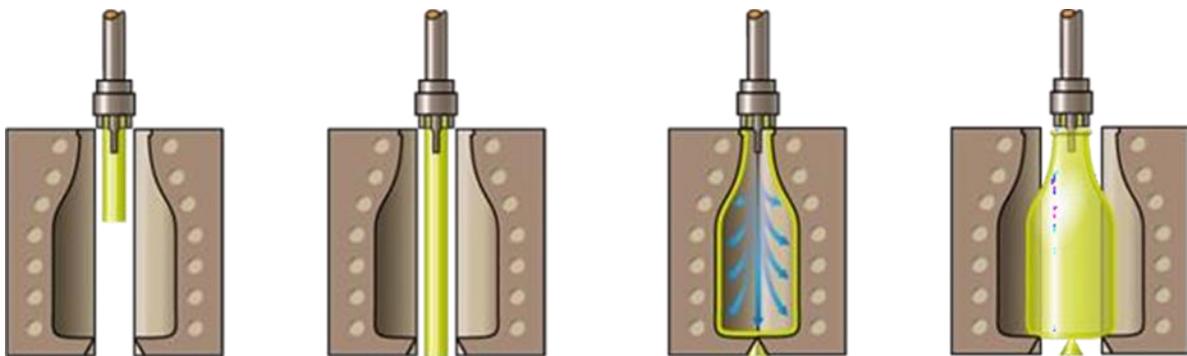


Figure II.3. Procéder d'extrusion gonflage [6]

II.1.5. Thermoformage

Derrière ce terme compliqué se cache le procédé de fabrication qui permet de réaliser toutes sortes d'objets aux formes creuses. Concrètement, pour les emballages, le thermoformage permet de créer des barquettes, des gobelets ou encore des pots de yaourt. Le thermoformage est une technique de moulage.

- Mise en place de la feuille et chauffage par un plateau chauffant supérieur et inférieur.
- Montée du moule : la feuille est ramollie et le moule monte pour emboutir la feuille.
- Formage / Refroidissement : une fois le moule en position haute, le vide est fait entre le moule et la feuille.
- La feuille se plaque sur le moule et en prend sa forme. De l'air ou de petites gouttelettes d'eau sont projetées sur la pièce pour la refroidir et lui donner sa forme finale.
- De l'air est soufflé à l'intérieur du moule pour décoller la pièce du moule et celui-ci descend pour libérer la pièce.

- Une fois le moule descendu, la pièce peut être enlevée puis décortiquée pour enlever les chutes de production (cercle rouge). [6]

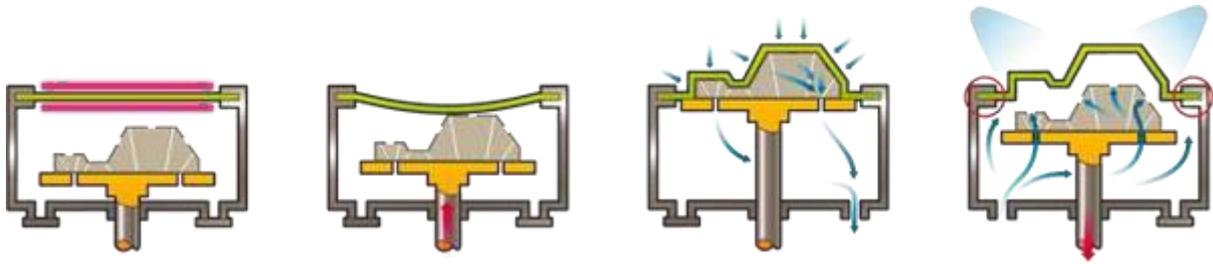


Figure II.4 procéder thermoformage [6]

II.1.6. Calandrage :

Ce procédé est semblable à celui utilisé pour les métaux. Il sert au laminage de produits plats de grande largeur et de longueur quasi illimitée en thermoplastiques ou en caoutchoucs. Cette technique est généralement employée pour produire des feuilles et des films de thermoplastiques. [6]

II.1.6.1. Principe du calandrage

Le principe schématisé par la figure II.5 consiste à Plastifier ou fondre le thermoplastique par le passage dans une extrudeuse ou un mélangeur.

Laminer le thermoplastique plastifié ou fondu entre les cylindres tournant en sens inverse pour obtenir un film ou une feuille d'épaisseur constante. Refroidir le polymère pour lui redonner sa consistance d'origine

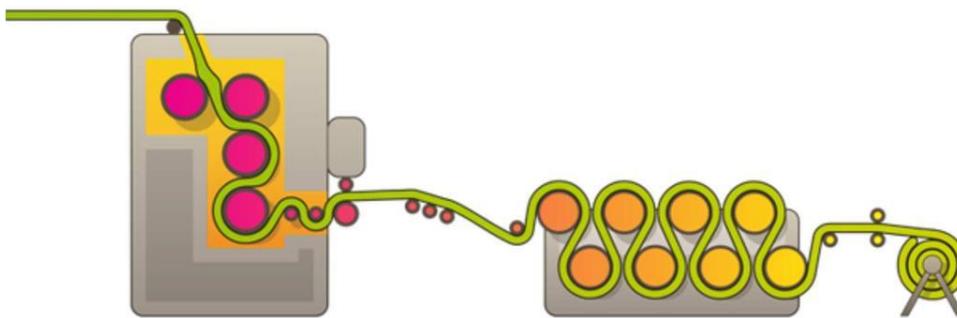


Figure II.5. Procéder de calandrage [6]

II.2. Fréquence d'utilisation des différents procédés

Les fréquences d'utilisation des procédés sont très variées, l'injection et l'extrusion. Ceci englobe les films, tubes, tuyaux. Les feuilles par exemple, couvrent plus de 50 % de la Production des pièces et demi-produits en matière plastique.

Pour les thermoplastiques, le soufflage constitue le troisième procédé alors que le calandrage, le poudrage, l'enduction, le thermoformage, le chaudronnage et la confection sont les moins utilisés. La figure 3 illustre la situation d'ensemble :

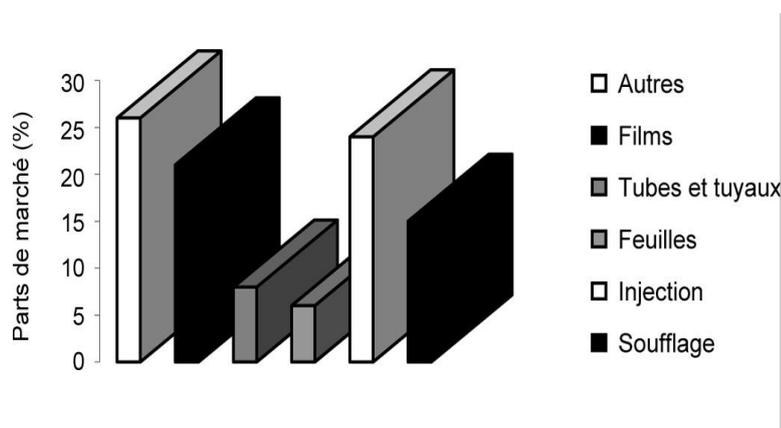


Figure II.6. Fréquence d'utilisation des différent procédés

II.3. Code famille des plastiques

Code	Famille des plastiques
	Polyéthylène téréphtalate (PET, PETE)
	Polyéthylène de densité élevée (HDPE)
	Polychlorure de vinyle (PVC)
	Polyéthylène à faible densité (LDPE)
	Polypropylène (PP)
	Polystyrène (PS)
	Autre. Comprend les résines qui ne sont pas répertoriées. Cette catégorie comprend aussi toutes les matières qui sont des mélanges ou qui contiennent des charges.
	Non déterminée, par exemple, anciennes données

Figure 0II.7. Code des familles plastiques

II.4. Procédés de production par injection thermoplastique

Dans la fabrication des pièces mécaniques il existe plusieurs procédés d'usinage, parmi ce procédé on a l'injection thermoplastique.

L'injection est aujourd'hui l'un des procédés les plus utilisés pour la mise en forme des polymères avec l'extrusion et le soufflage (30% des polymères transformés). Il est généralement utilisé pour la production de très grandes séries pour l'automobile ou l'électroménager par exemple ou pour des séries plus réduites en aéronautique. Le procédé d'injection permet d'obtenir une productivité élevée avec une très bonne reproductibilité des pièces. ^[7]

De ce fait, le principe du procédé de moulage par injection consiste à injecter et transformé une matière de polymères thermoplastiques, préalablement chauffée est injectée dans un moule.

Le polymère se solidifiant dans le moule créera un solide épousant la forme et les dimensions de l’empreinte du moule.

L’objectif de ce chapitre est présenté le procédé d’injection des thermoplastiques, et leur déroulement de cycle d’injection plus les caractéristiques d’une presse et la construction de structure. Et la façon dont nous de contrôle dans les paramètres de procédés d’injection.

II.4.1. Définition du procédé

Le procédé d’injection est un procédé de mise en forme des thermoplastiques par moulage permettant la production de pièces minces jusqu’à quelques millimètres d’épaisseur. Ce procédé est très répandu pour les productions de grandes séries comme l’automobile, l’électroménager ou l’électricité. ^[7]

II.4.2. Principe du procédé

L’injection permet de fabriquer des pièces de géométrie complexe en grande série, suivant un principe simple de fonctionnement. ^[7]

En effet, le polymère thermoplastique est chauffé afin de lui donner de cohésion d’un liquide visqueux. Ce liquide est ensuite injecté dans un moule, réalisé en plusieurs parties. Le polymère se refroidit jusqu’à l’état solide à la suite de quoi la pièce est extraite après ouverture de l’outillage.

Une nouvelle injection est réalisée quand l’outillage est à nouveau fermé.

II.4.3. Phases de moulage par injection

Le procédé de moulage par injection est très répandu dans le domaine de la plasturgie car il permet de fabriquer des pièces techniques de manière contrôlée et avec des cadences élevées. Lors d’une opération de moulage par injection, la fabrication de chaque pièce passe par quatre phases principales :

II.4.3.1. La phase de plastification

Au début de la transformation à l'étape dite initial e polymère passe de granulé a l'état fondu le procédé de fonte et réalisé par la vis fourreau et don la fonction est avec un mouvement rotatif et de broyer et chauffer le polymère tout en le déplaçant dans la cavité du moule.

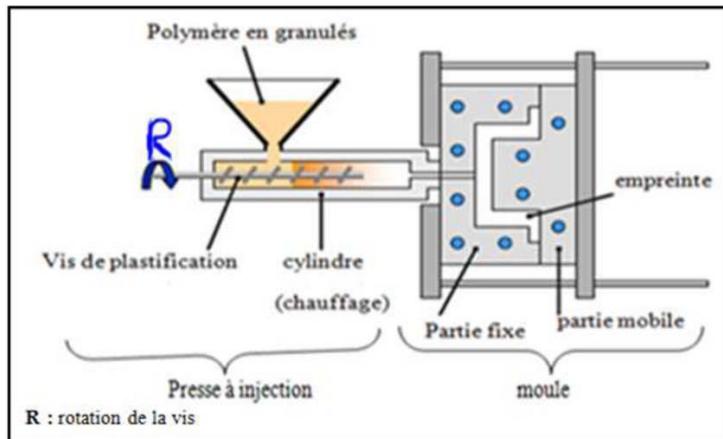


Figure II.8. Phase de plastification [7]

II.4.3.2. La phase de remplissage

La matière accumulée à la tête du fourreau est quand a elle injectée dans la cavité du moule grâce à la vis qui régulée en débit et en pression. À savoir que l'épaisseur de la pièce dépend du débit d'injection qui lui est en fonction du volume et de la durée de remplissage [7]

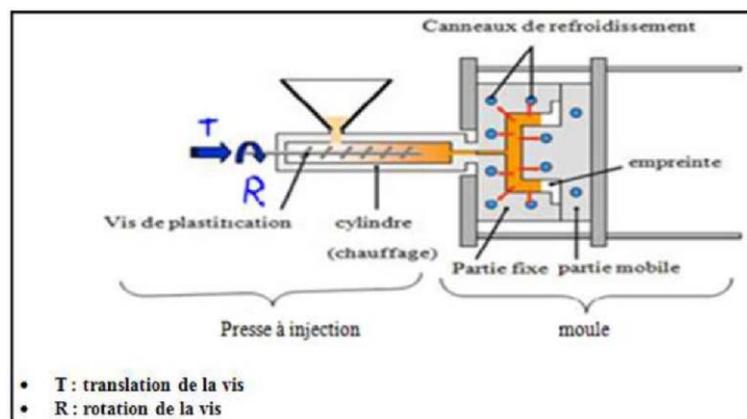


Figure 0II.9. Phase de remplissage [7]

II.4.3.3. La phase de compactage

A la phase de compactage du procéder d'injection, qui est l'étape transitoire entre la phase de remplissage et le maintien qui se fait grâce à la régulation en pressions de l'injection la commutation se passe en moment du pic de pression annonçant ainsi que l'empreinte est entièrement remplie une fois la commutation enclenché la presse applique au niveau du bloc d'injection une pression de maintien qui permet comme son nom l'indique de maintenir la matière dans la cavité du moule ^[7]

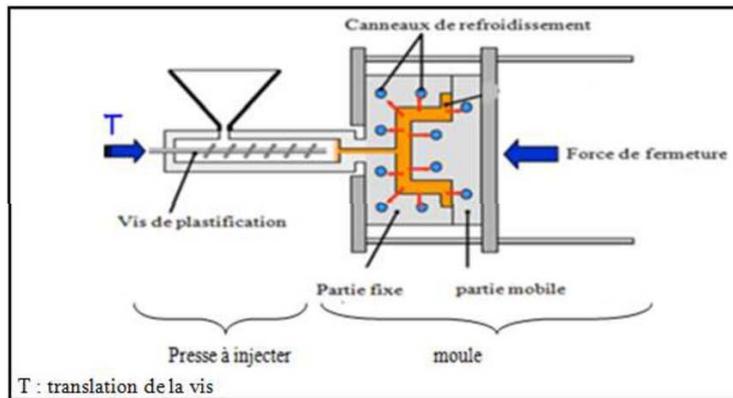


Figure 0II.10. Phase de compactage [7]

II.4.3.4. La phase de refroidissement et d'éjection

En parallèle de la phase de maintien, le polymère débute au contact de parois refroidies de l'outillage son retour à l'état solide. Cette phase appelée phase de refroidissement perdue jusqu'à

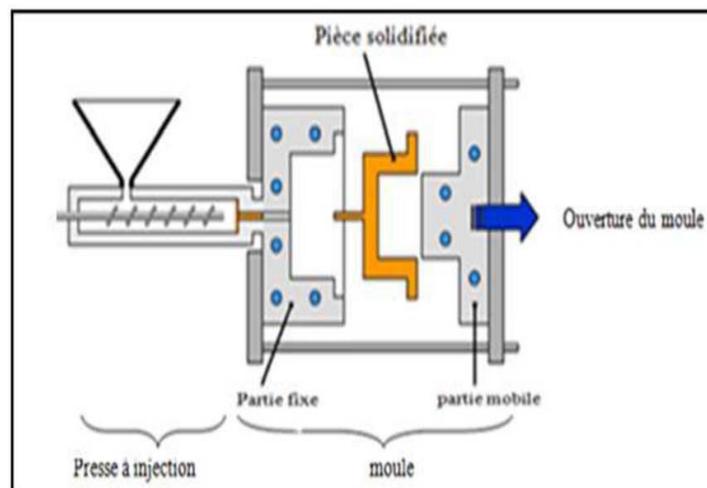


Figure II.11. Phase de refroidissement est d'éjection [7]

ce que le polymère atteint sa température de démoulage (Fig. II.12), après le refroidissement l'éjecteur pousser la pièce. [7]

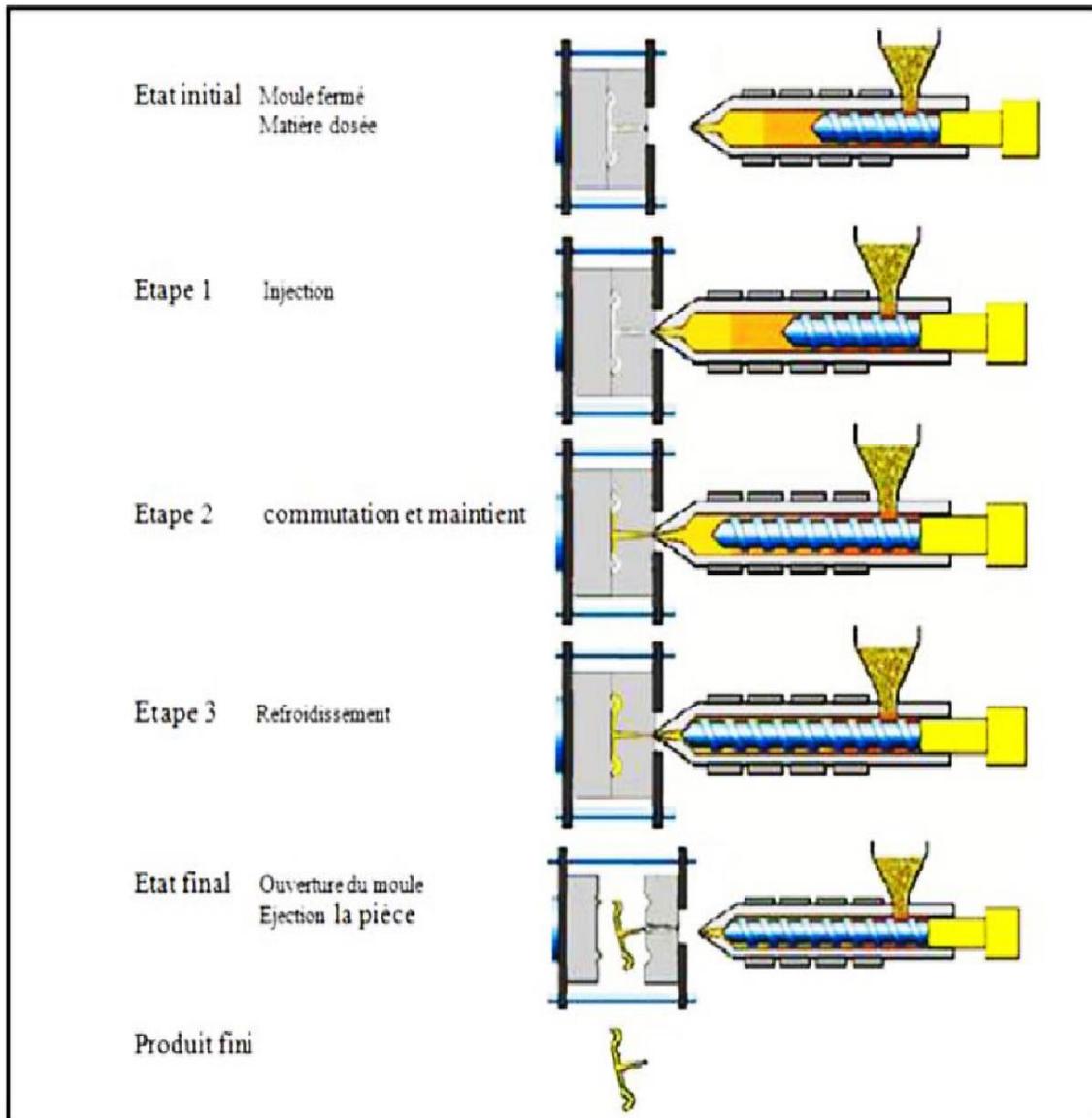


Figure II.12. Déroulement d'un cycle d'injection [9]

II.5. Suivi de l'injection

Le suivi de l'évolution des paramètres d'injection au cours du cycle se fait sur un ensemble de diagramme :

II.5.1. Diagramme P(t)

L'évolution de la pression moyenne dans le polymère au cours des différentes phases de l'injection sont représentées de manière schématique sur la figure II.13. [10]

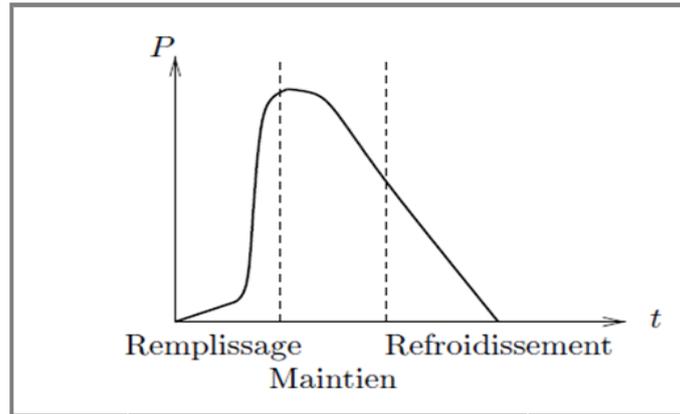


Figure II.13. Diagramme de $p(t)$ [10]

II.5.2. Diagramme de T (t) :

L'évolution de la température moyenne dans le polymère au cours des différentes phases de l'injection sont représentées de manière schématique sur la figure II.0.14. [10]

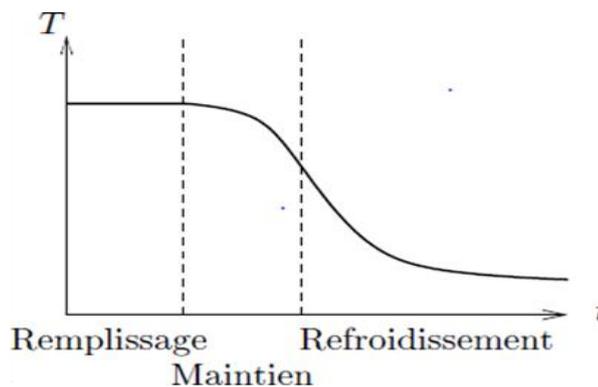


Figure 0II.14. Évolution de la température au cours du cycle [10]

II.5.3. Diagramme de PVT

II.5.3.1. Interprétation du diagramme PVT

On constate différents types d'évolution :

AB: le remplissage et le compactage peuvent être considérés comme une étape de mise en pression isotherme.

BE: le maintien en pression est composé d'une phase de maintien isobare (BC) puis on observe une brusque diminution de la pression et de la température lors de la cristallisation (D).

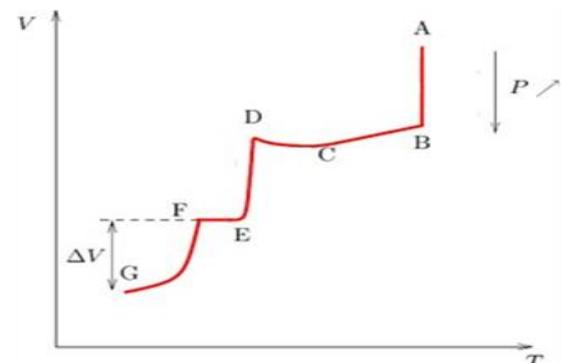


Figure II.15 diagramme de PVT

Lorsque le seuil d'injection est figé, le refroidissement isochore s'accompagne d'une diminution de la pression jusqu'à la pression atmosphérique (EF)

FG: le refroidissement se poursuit à la pression atmosphérique ce qui entraîne le retrait du polymère retrait du polymère

II.6. Defaults liés à l'injection

L'objectif de cette partie est d'établir une liste répertoriant les caractéristiques essentielles des principaux défauts des pièces injectées en polymère thermoplastique permettant de faire ultérieurement le choix des paramètres d'injection.

Par souci de clarté et de compréhension, ces défauts ont été répertoriés et classés selon les différentes phases du cycle d'injection d'un polymère. [11]

II.6.1. Défauts liés à la phase dynamique d'injection (remplissage-maintien)

II.6.1.1. Les bavures

Correspondent à une fuite du polymère par le plan de joint du moule lors de l'injection (figure II.0.16).

La formation des bavures peut être liée à une viscosité trop faible du polymère, à une pression d'injection trop élevée, à une force de fermeture ou une rigidité de l'outillage insuffisante ou un encrassement du plan de joint.



Figure II.16 défauts de bavure [11]

II.6.1.2. Une pièce incomplète

Correspond à un remplissage partiel de la cavité. La plupart du temps à la fin du parcours d'écoulement ou dans des zones de faible épaisseur (Figure II.0.17).

Ce défaut apparaît lorsque le volume de dosage est trop faible par rapport à celui de la pièce à mouler. Mais aussi lorsque l'épaisseur de l'empreinte est trop faible, la pression d'injection insuffisante ou les pertes de charges dans le circuit d'alimentation sont trop importantes.

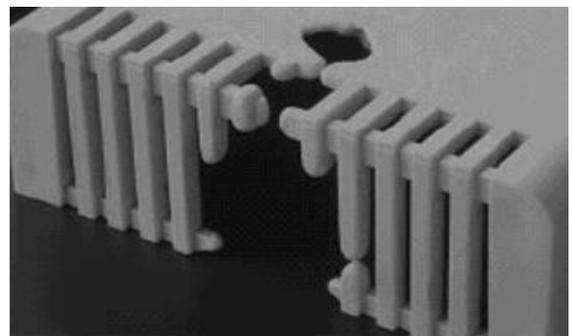


Figure 0II.17. Défaut de pièce [11]

Cette mal façon peut être éliminé par :

II.6.1.3. Apparition de sillons

Ils sont caractérisés par des fines rainures concentriques parallèles au front d'écoulement apparaissant autour du point d'injection ou dans des zones de faible épaisseur (figure II.18).

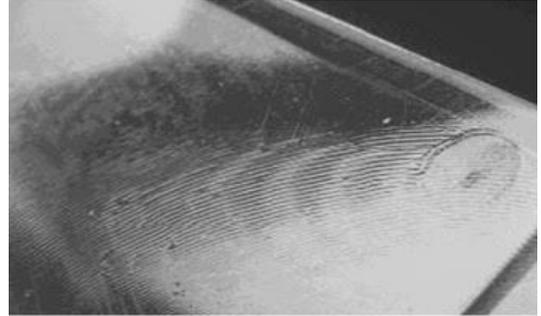


Figure 0II.18. Défaut de sillons [11]

II.6.1.4. L'effet Diesel

Caractérisé par l'apparition de taches noires ou carbonisées à la surface de la pièce (figure II.19) et est dû à un problème de ventilation.

Il se produit lorsque le parcours de l'écoulement entraîne la formation de poches d'air

L'élimination de ce défaut nécessite l'optimisation de la ventilation du moule, notamment

Dans les zones de convergence de flux de matière.

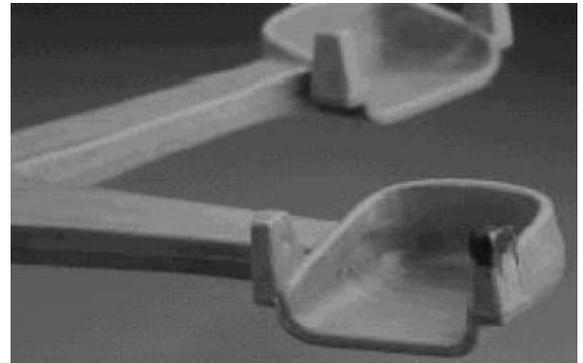


Figure 0II.19 effet diesel [11]

II.6.1.5. Les inclusions d'air

L'air emprisonné dans le moule peut empêcher l'écoulement du matériau pendant l'injection, ce qui entraîne une pièce incomplète. Une conception adaptée peut améliorer la fluidité du plastique fondu.

Les pièces avec des parois très minces ou des nervures mal conçues sont plus sujettes aux inclusions d'air.



Figure 0II.20. Inclusion d'air [11]

II.6.1.6. Gauchissement

Lorsque certaines sections refroidissent (et par conséquent se rétractent) plus rapidement que d'autres, la pièce peut gauchir de façon permanente en raison de contraintes internes.

Les pièces dont l'épaisseur de paroi n'est pas constante sont les plus sujettes au gauchissement

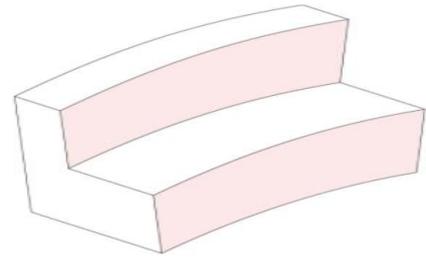


Figure 0II.21. Gauchissement

II.6.2. Défauts liés à la phase quasi-statique d'injection :

II.6.2.1. Les retassures :

Lorsque l'intérieur d'une pièce se solidifie avant sa surface, un petit creux, appelé retassure, peut apparaître sur une surface normalement plane.

Les pièces avec des parois épaisses ou des nervures mal conçues sont les plus sujettes aux retassures.

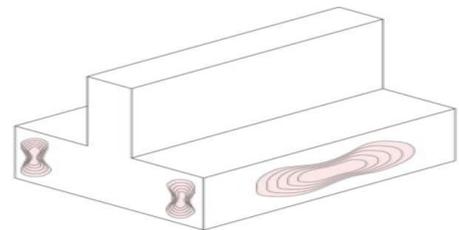


Figure II. 22.retassures [11]

II.6.2.2. L'écaillage

Dans ce cas la pièce est caractérisée par un aspect superficiel semblable à des écailles, avec une alternance de zones brillantes et mates, la plupart du temps près du seuil mais parfois sur la pièce.

La cause principale de ce défaut est un déplacement de la matière déjà refroidie



Figure II.23. Écaillage [11]

II.6.2.3. La fissuration

Le défaut de fissuration est caractérisé par un éclaircissement localisé de la teinte, avec une surface satinée.

Ces fissures apparaissent quelques jours voire plusieurs semaines après moulage. Ce défaut est lié à un état de contrainte excessif dans la pièce générée lors du moulage et/ou du démoulage.

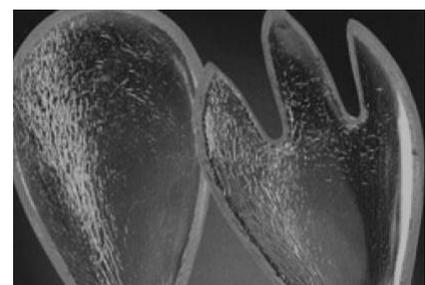


Figure 0II.24. Défaut de fissuration [11]

Chapitre III : étude de la
presse a injection et architecture
du moule

III.1. Les presses à injection

La presse à injecter est le moyen le plus utilisé pour réaliser des pièces en plastique par le procédé de moulage.

Dans l'industrie, on retrouve des presses classiques ou presses spéciales. Bien plus répandus, les presses classiques sont selon leurs dispositions de deux types : verticales ou horizontales. Pour des raisons d'encombrement, la presse horizontale est la plus utilisée.

La compréhension de l'environnement ou se déroule l'injection est une composante primordiale pour la conception des moules. Pour cela nous avons jugé très nécessaire d'explorer cette ressource.

Dans ce qui suit nous allons nous intéresser aux presses horizontales

III.2. Description d'une presse a injection :

Une presse à injecter, ou machine d'injection moulage, est constituée de deux unités principales : l'unité d'injection, ou de plastification, et l'unité de moulage (moule et système de fermeture) (Fig.III.1). Le plus souvent, les différences notables entre les types de machines concernent l'unité de plastification. Notons qu'il existe des presses verticales bien que les presses horizontales soient les plus fréquentes. Parmi ce type de machines, deux grands groupes se distinguent : les presses hydrauliques et les presses électriques. Elles présentent chacune des particularités plus ou moins intéressantes et adaptées à certaines fabrications.

La figure montre une représentation schématique d'une presse horizontale ainsi que les éléments principaux la constituant.

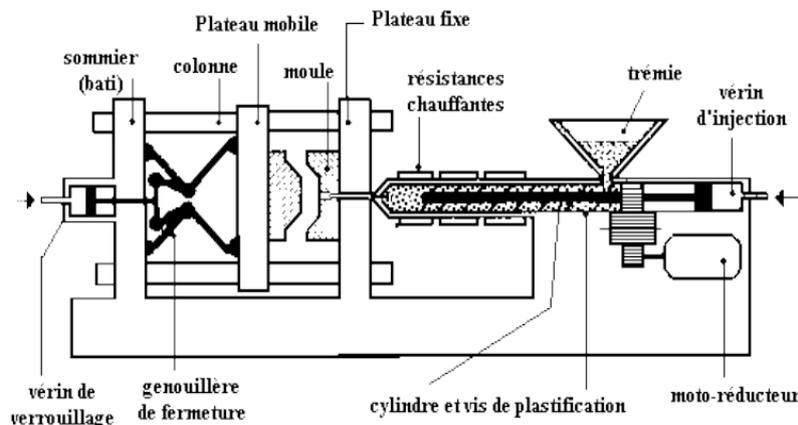


Figure III.1 presse horizontale [12].

III.3. Fonctionnement de la presse :

Les presses à injecter comportent un groupe d'injection et un groupe de fermeture positionnés sur le bâti.

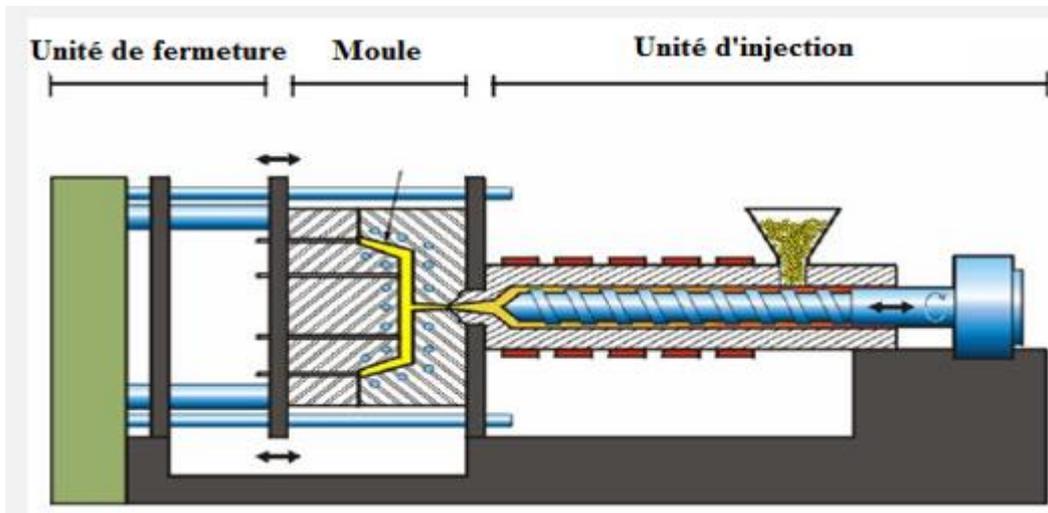


Figure III.2. Différent unité d'une presse à injection horizontale [12].

III.3.1. Groupe d'injection

Il se compose principalement des éléments suivants (voir Figure ci-dessous) :

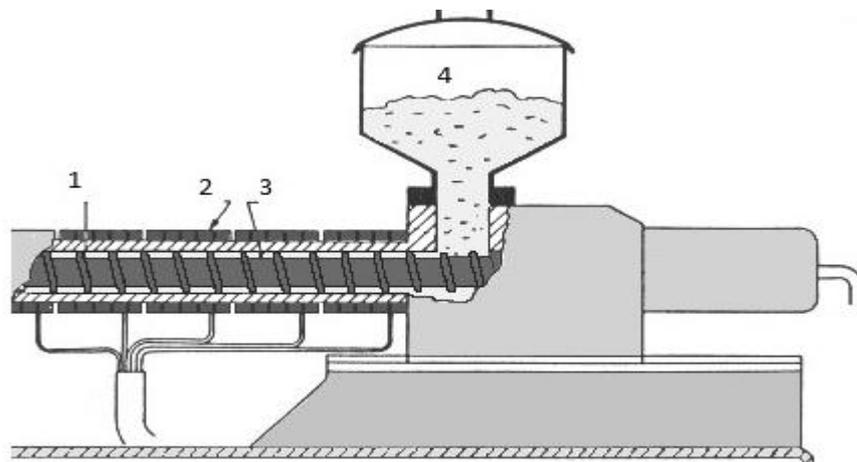


Figure III.3. Groupes d'injection [12].

1. Colliers chauffant du pot d'injection.
2. Pot d'injection.
3. Vis d'injection.
4. Trémie.

- Le groupe d'injection réalise les fonctions suivantes :
 - Alimenter la presse en granulés de façon continue ou discontinue.
 - Faire fondre la matière en apportant de l'énergie sous forme mécanique ou thermique.
 - Doser le volume de matière qui sera injectée.
 - Créer un écoulement de matière fondue.
 - Maintenir la matière injectée sous pression pendant son refroidissement et ajouter de la matière refondue dans le moule pour compenser la perte de volume lors du refroidissement.

III.3.2. Groupe de fermeture

La figure qui suit est une représentation du groupe de fermeture :

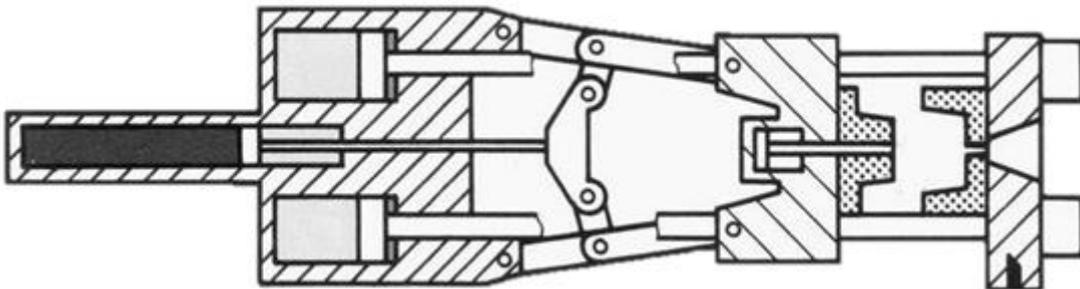


Figure III.4. Groupe de fermeture [12].

Le groupe représenté se compose d'une plaque fixé sur un système de genouillère commandé par un vérin hydraulique.

Les fonctions du groupe de fermeture sont :

- Centrer le moule.
- Permettre la fixation du moule sur les plateaux.
- Fermer et ouvrir le moule.
- Guider la partie mobile du moule.
- Assurer la sécurisation du moule lors de la fermeture.

- Verrouiller le moule.
- Ejecter les pièces injectées.

III.4. Choix d'une presse

Le choix d'utiliser une presse pour la fabrication d'une pièce donnée se fait selon deux critères :

III.4.1. Le critère technique

Il faut assurer un minimum requis en matière de caractéristiques de la presse. Cela concerne :

- **La fusion de la matière**

On entend le débit de plastification, la température et l'homogénéité de la matière fondue obtenue.

- **La fermeture du moule**

Cela englobe la force de verrouillage également appelé force de fermeture, les vitesses de fermeture, le dispositif de sécurisation et l'épaisseur minimale du moule.

- **L'ouverture du moule**

On s'intéresse à la force d'ouverture, la (ou les) vitesse(s) d'ouverture, la course d'ouverture et la position des plateaux en fin d'ouverture.

- **L'éjection des pièces**

Elle est définie par les paramètres de force, vitesse, course et la position extrême du vérin d'éjection.

- **Les dimensions du groupe de fermeture**

Désignent les dimensions extérieures, le passage entre colonnes et la hauteur des plateaux. ^[13]

III.4.2. Le critère économique

On essaye toujours de saturer la presse, ceci est pour gagner en ;

- **Prix de revient**

Il est obtenu par la réduction de la part machine. En plus, déplacer à chaque cycle la masse d'un plateau machine surdimensionné n'est pas sans conséquence sur la consommation d'énergie.

- **Qualité des pièces**

N'utiliser qu'une fraction de la course d'injection implique la perte de beaucoup de précision lors du remplissage.

- **Productivité**

Le rapport (course de fermeture du clapet/course totale) augmente fortement pour les courses de vis faible. Le dosage en quelques tours de vis ne permet pas une grande stabilité du processus.^[14]

Une presse est dite adéquate pour mouler un model donné après avoir choisis le nombre d'empreintes, si elle remplit le cahier de charge suivant :

- Pression max d'injection \geq (pertes de charges calculées avec la simulation numérique rhéologique)
- Débit max d'injection \geq (volume total de la moulée/temps de remplissage.)
- Débit de plastification \geq volume de la moulée/ (temps de refroidissement + temps d'ouverture).
- Force de fermeture \geq (pression max d'injection maximale) x (la somme des surfaces projetées des empreintes) x (le coefficient de sécurité.)
- Passage entre colonne \geq (largeur du moule).
- Hauteur des plateaux \geq (hauteur du moule).
- Distance min entre plaques \leq (épaisseur du moule).
- Distance max entre plaques \geq (épaisseur du moule + épaisseur de la pièce).
- Course d'éjection \geq (épaisseur de la pièce).
- Température max de la presse \geq (Tf de la matière a mouler).

III.5. Architecture des moules

La réalisation de pièces en thermoplastique nécessite l'utilisation d'une presse à injection qui sera équipée d'un moule.

Un moule standard est constitué de deux parties :

- Une partie s'adaptant sur le plateau fixe des presses : c'est le côté injection ; partie fixe.

Une partie s'adaptant sur le plateau mobile des presses : c'est le côté éjection ; partie mobile.

Le moule doit assurer les fonctions suivantes :

- L'alimentation en matière plastique, jusqu' à la cavité.
- La mise en forme du plastique.
- Le refroidissement de la moulée.
- L'ouverture et la fermeture.
- L'éjection de la pièce.
- L'évacuation de l'air.
- Démoulage des contre dépouilles et orifices latéraux.

Pour assurer ces dernières, des fonctions auxiliaires sont nécessaires :

- Le maintien.
- Le positionnement.
- Le guidage.
- La fixation.
- La manutention

Dans la figure qui suit (figure III.5) représente un moule standard : un moule mono empreinte à deux plaques, un canal froid et sans tiroir.

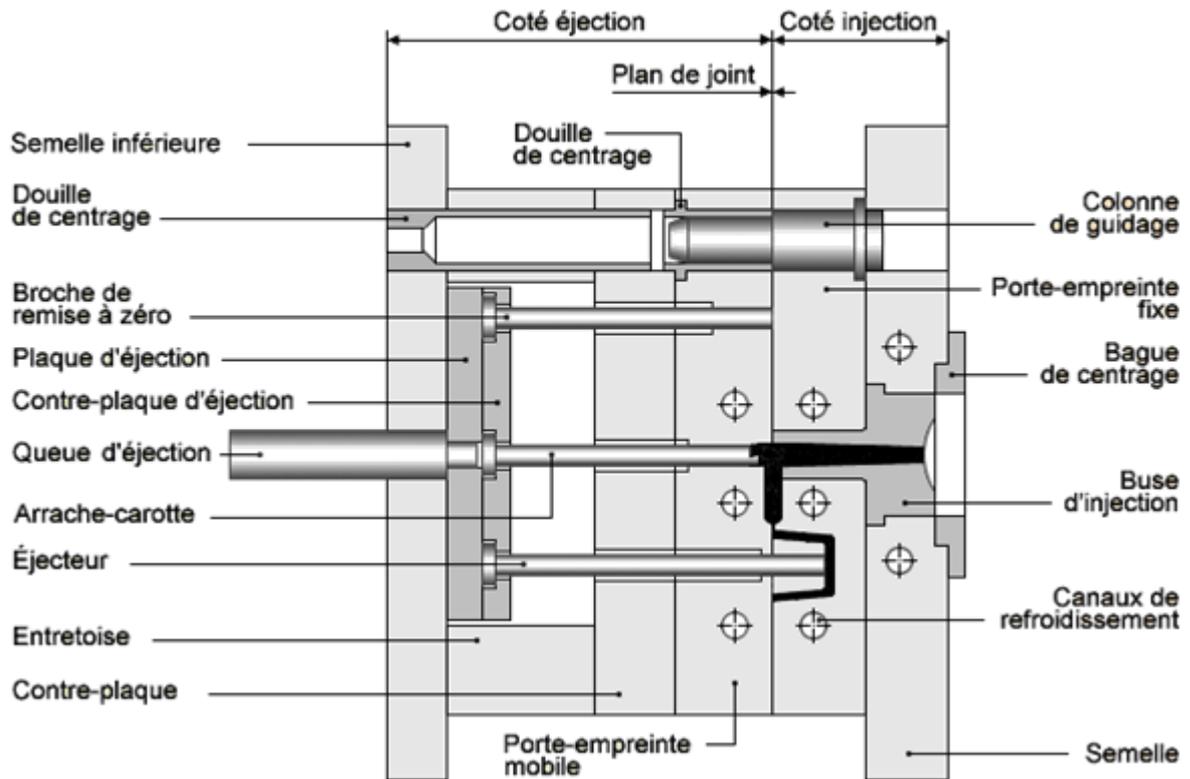


Figure III.5. Représentations d'un moule standard [15].

III.6. Classification des moules

Les moules sont classifiés selon plusieurs critères :

- **Le nombre d'empreintes :**
 - Mono empreinte.
 - Multi empreintes.
- **Le nombre de plaques moulantes :**
 - Moule à deux plaques (figure III.6) ;
 - Moule à trois plaques (figure III.7).
 - Moule à canaux chauds

- **La possession de tiroir :**
 - Avec tiroir.
 - Sans tiroir.
- **La cadence :**
 - Petites et moyennes cadences.
 - Grandes cadences.
- **Le dispositif d'alimentation :**
 - Canal froid.
 - Canal chaud.
 - Sans canal
- **Ejecteur des pièces :**
 - Ejecteur cylindrique
 - Ejecteur a lame
 - Ejecteur tubulaire
- **Durée de vie**

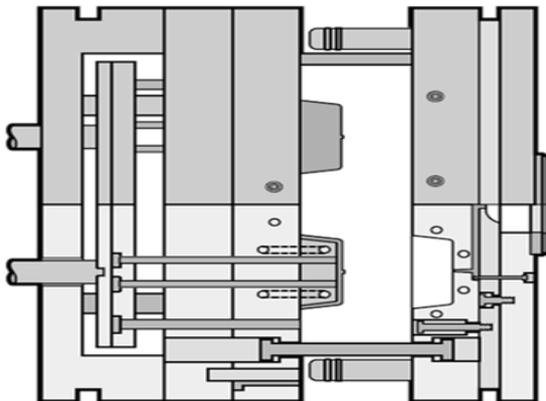


Figure III.6. Moule à 3 plaques [16]

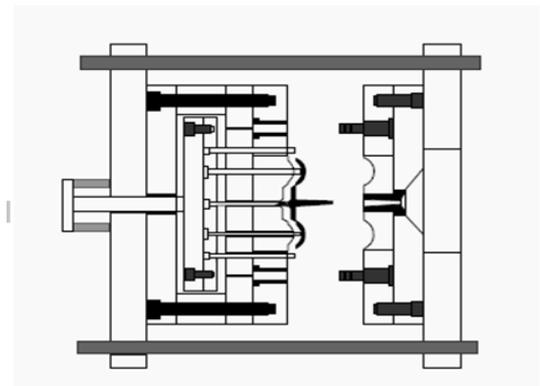


Figure III.7. Moule à 2 plaques

III.7. Les fonctions d'un moule :

III.7.1. Fonction alimentation :

La fonction alimentation permet un acheminement de la matière plastifiée, du cylindre de plastification (fourreau) vers l'empreinte qui se trouve dans l'outillage. Le remplissage de l'empreinte doit se faire rapidement et le plus uniformément possible ^[18]

III.7.2. Carotte :

La “carotte” permet de traverser le bloc empreint fixe jusqu’au plan de joint. Sa conicité favorise le démoulage.

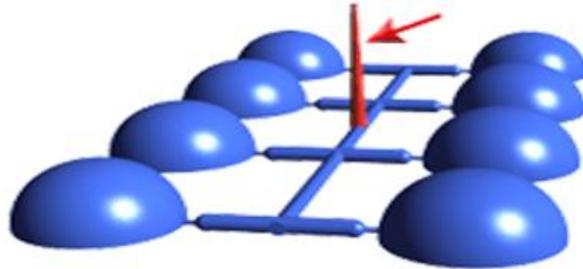


Figure III .8. Représentation de la carotte [18]

III.7.3. Canaux d'alimentation

Les canaux d'alimentation sont des canaux qui relient la carotte aux seuils. La conception des canaux d'alimentation est importante pour garantir le remplissage régulier des cavités

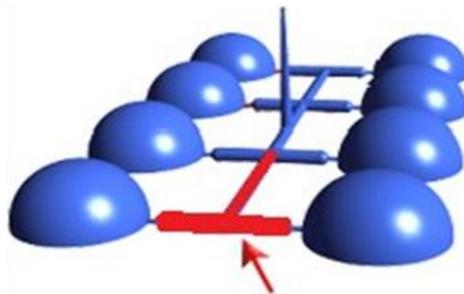


Figure III.9 canaux d'alimentation [18]

III.7.4. Seuils :

Le seuil d'injection établit la relation entre le canal d'alimentation et l'empreinte. Sa section doit être minimum afin de laisser peu de trace sur la pièce. La séparation de la pièce et du déchet d'alimentation (carotte +canaux) est ainsi facilitée. La réduction importante de la section d'entrée impose à la matière une accélération violente et un réchauffement considérable. On limitera la longueur du seuil à 0,5 - 1,5 mm La position du seuil influe sur le remplissage de la cavité. Il doit :

- Assurer la continuité d'alimentation de la pièce moulée pendant la durée de solidification de la matière plastique dans l'empreinte.
- La pression de maintien permet cette alimentation.

- Il doit donc être situé à proximité des zones massives.
- Permettre le d'égrappage des pièces moulées.
- Déterminer le remplissage correct et la direction de l'écoulement de la matière plastique dans l'empreinte.

Beaucoup de moules présentent des sections très voisines de celle calculées à l'aide de la formule de SOMER FIELD.

- ✓ $S = 0.35 \times M$
- ✓ Avec S (mm²) section des entrées
- ✓ M (g) masse de matière injectée dans l'empreinte [3]

- **Les seuils sont de plusieurs types :**

A : Seuil en masse ou direct :

Utilisé pour les matières visqueuses

- A : Très bon remplissage Bonne stabilité dimensionnelle de la pièce
- I : Opération de reprise pour enlever la carotte Trace non esthétique sur la pièce

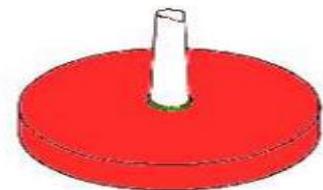


Figure III.10 seuil directe [19]

B : Seuil annulaire :

Utilisé pour la réalisation de pièce cylindrique ayant des noyaux

- A : Remplissage uniforme de l'empreinte
- I : Opération de reprise pour enlever la carotte Déchets importants

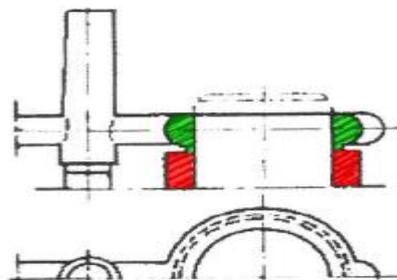


Figure III.11 seuil annulaire [19]

C : Seuil conique ou en éventail :

Utilisé pour les pièces de révolution symétrique avec noyau

- A : Permet un écoulement équilibré de la matière autour du noyau Peut permettre un d'égrappage automatique
- I : Déchets Opération de reprise

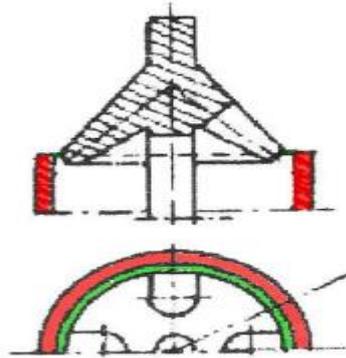


Figure III.12 seuil conique ou éventail [19]

D : Seuil capillaire

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

- A : Démoulage automatique et faible trace sur la pièce
- I : Uniquement pour les matières fluide Coût du moule élevé

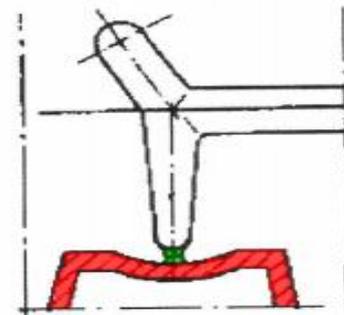


Figure III.13 [22] seuil capillaire [19]

E : Seuil en nappe

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

- A : Bonne qualité dimensionnelle
- I : Opération de reprise Esthétisme

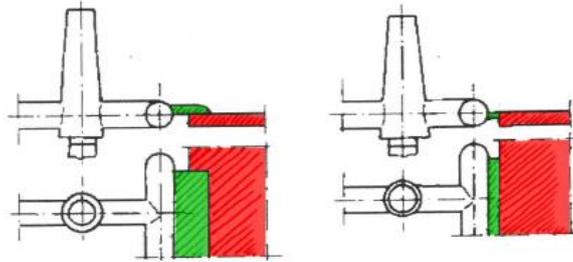


Figure III.14 seuil en nape [19]

F : Seuil sous-marin

Utilisé pour les petites pièces et dans un but de d'égrappage automatique

- A : D'égrappage automatique
- I : Uniquement pour les pièces simples car grosse perte de pression

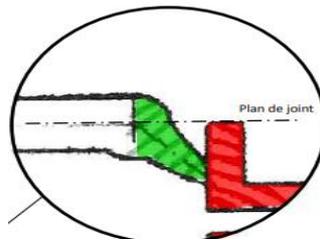


Figure III.15 seuil sous-marin [19]

III.7.5. Recommandations pour un positionnement optimum du seuil :

Toujours chercher à positionner le point d'injection dans la zone présentant la plus grande épaisseur de paroi.

Ne jamais positionner le seuil près de zones soumises à de fortes contraintes.

Pour les pièces longues, le seuil sera si possible positionné longitudinalement, de préférence à une position transversale ou centrale, notamment dans le cas de résines renforcées.

Si le moule possède deux cavités ou plus, les pièces et leurs points d'injection seront disposés de façon symétrique par rapport à la carotte.

Pour les pièces comportant des charnières intégrées, le seuil sera positionné de telle sorte que la ligne de soudure soit éloignée de la charnière. Les interruptions d'écoulement près des charnières doivent être évitées à tout prix.

Pour des pièces tubulaires, le fondu devra d'abord remplir la circonférence annulaire à une extrémité, puis la longueur du tube proprement dit. Cette procédure permettra d'éviter l'asymétrie du profil de l'écoulement frontal.

Les surfaces apparentes ne devant présenter aucun défaut visuel (comme par exemple des marques de référence) pourront être moulées à partir d'un point d'injection situé sur leur face inférieure, en utilisant une alimentation par seuil sous-marins.

Positionner le point d'injection de façon à éviter autant que possible les interruptions de l'écoulement frontal (pièces complexes, moules à empreintes multiples de formes différentes, etc.), même brèves, durant le remplissage [20]

III.8. Refroidissement des moules :

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

La plupart du temps, on perce des **trous** pour faire circuler un liquide de refroidissement. Les diamètres couramment utilisé vont de **Ø6, Ø8, Ø10, Ø12.** [20]

III.8.1. Calcul du temps de refroidissement

Le temps de refroidissement du moulage par injection est donné par l'équation :

$$Tr = \frac{h^2}{\pi^2 \alpha} \times Ln \left[\frac{4}{\pi} \times \left(\frac{Ti - Tm}{Te - Tm} \right) \right]$$

α : Diffusivité thermique de la matière plastique

h : Epaisseur de la pièce

Te : Température d'éjection

Ti: Température d'injection

Tm: Température du moule

III.8.2. Types des circuits de refroidissement

Les circuits de refroidissement sont généralement classés en circuits série ou parallèle. Dans ces deux types de circuits, la hausse de température finale du liquide de refroidissement est entièrement déterminée par l'énergie provenant du plastique et par le débit volumique du liquide de refroidissement.

Les facteurs les plus importants dans le maintien d'un transfert de chaleur efficace sont le débit et la conception du circuit. Le schéma suivant montre un circuit de refroidissement en série (à gauche) et un circuit en parallèle (à droite). [21]

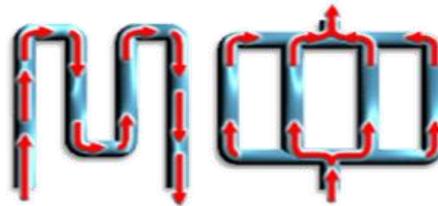


Figure III.16 types de circuit de refroidissement [20]

Il est plus facile de contrôler la vitesse du liquide de refroidissement dans un circuit en série car le débit est le même dans toutes les sections. Il est donc plus facile de maintenir des conditions de débit qui fournissent un transfert de chaleur efficace.

III.8.2.1. Circuits parallèles :

Les canaux de refroidissement parallèles sont forés directement d'un distributeur à un collecteur. Les caractéristiques d'écoulement de la conception parallèle font que le débit diffère dans chacun des canaux de refroidissement selon la résistance à l'écoulement de chaque canal. Ces différents débits entraînent à leur tour une efficacité du transfert de chaleur

Différente pour chaque canal de refroidissement. Ainsi, le refroidissement peut ne pas être Uniforme avec un circuit parallèle.

III.8.2.2. Circuits en série

Les canaux de refroidissement reliés en une seule boucle de l'entrée du liquide de refroidissement à sa sortie, sont appelés circuits en série. Il s'agit du type de canal de

refroidissement le plus courant. Si les canaux de refroidissement sont de même taille, le liquide de refroidissement peut conserver un débit turbulent sur tout le circuit.

Le liquide de refroidissement continu à collecter la chaleur dans le circuit de refroidissement, ce qui assure que l'augmentation de la température du liquide de refroidissement de l'entrée à l'orifice de sortie est minimisée. La différence de température du liquide de refroidissement entre l'entrée et la sortie ne doit pas dépasser 5 °C pour les moules à usage général et 3 °C pour les moules de précision. Plusieurs circuits en série peuvent être nécessaires pour les grands moules afin d'assurer une température de liquide de refroidissement et un refroidissement uniforme.

III.9. La fonction éjection

Après solidification, la pièce et les éléments qui assurent l'alimentation devront être extraite de l'empreinte. Pour remplir cette fonction, plusieurs solutions techniques sont envisageables tels les éjecteurs, plaque dévêtisseuse...etc.

Pour garantir l'éjection, les pièces doivent impérativement se situer dans la partie mobile du moule lors de l'ouverture et la batterie d'éjection doit pouvoir être manœuvrée. Encore Pour assurer un bon démoulage, les empreintes doivent présenter un angle de dépouille de l'ordre de 10° ^[21]

III.9.1. Les différents types d'éjecteur

En fonction de la forme de la pièce, du nombre de pièces et des spécifications du cahier des charges pièce, on choisira un type d'éjecteur différent :

- **Ejecteur cylindrique :**

Permet l'éjection directe. Ils sont sous forme de tige cylindrique.

- **Ejecteur Tubulaire :**

Permet l'éjection autour d'une broche. Ce sont des éléments standards et la dimension ne convient pas toujours à l'application que l'on veut en faire.

- **Ejecteurs à lames :**

Ils correspondent à l'éjection tubulaire, mais le risque de traces d'éjection est important.

III.9.2. Caractéristiques d'un système d'éjection

En fonction de la forme, le nombre ainsi que des spécifications des cahiers des charges, on choisira un type d'éjection selon :

- **Forme des éjecteurs :**

On favorise la forme circulaire autant que possible (facilité d'usinage). La lame si l'appui se trouve sur un rebord ou à l'extrémité d'une nervure ou bien tubulaire si nous sommes en présence d'une forme circulaire creuse à démouler.

- **Le nombre des éjecteurs :**

Le plus grand nombre possible sera le mieux, afin d'assurer une extraction sans problème, mais tout en essayant de réduire le coût d'outillage.

- **Le positionnement des éjecteurs :**

On essaye de les placer sur des surfaces non visibles et non fonctionnelles à proximité des endroits où l'empreinte est profonde (nervure, bossage, rebord...). Ou encore, à proximité immédiate des contre-dépouilles ou des surfaces ayant des dépouilles faibles Proche des seuils sous-marins.

- **La longueur des éjecteurs :**

Chaque éjecteur est ajusté individuellement par rapport à la surface de l'empreinte.

- **La course d'éjection :**

Elle sera au minimum égale à la profondeur maxi de l'empreinte à démouler ou de la longueur du noyau.

- **La sécurité d'éjection :**

Afin d'éviter toute détérioration de l'outillage, il est impératif qu'à la fermeture du moule le dispositif d'éjection soit rentré.

- **Les systèmes permettant le retour de la batterie d'éjection sont :**

- Les vérins.

III.10. Fonction évacuation d'air :

Lors de l'injection, la matière plastique prend la place de l'air dans l'empreinte. Dans la majorité des cas, cet échange doit se faire dans un temps très court. Des orifices placés correctement permettront une évacuation rapide.

En général, ces événements sont placés sur le plan de joint de l'outillage, autour des broches d'éjection, des noyaux, des éléments rapportés. En fonction de la forme de la pièce, de l'emplacement du point d'injection et de l'écoulement de la matière dans l'empreinte, les événements seront positionnés différemment.

Une éventration mal conçue, lors d'une injection rapide, provoque une compression d'air considérable à l'intérieur de l'empreinte. Cette augmentation de pression conduit à :

- Un retardement du remplissage de l'empreinte.
 - Une pression prématurée sur le polymère.
- Des brûlures de polymère (effet diesel). ^[20]

III.11. Fonction mise en forme :

Elle permet d'obtenir une pièce conforme au cahier des charges mais surtout une pièce qui soit démoulable sans problème.

Cette fonction est assurée par une empreinte cotée fixe, une empreinte cotée mobile et un ou plusieurs noyaux si nécessaire.

III.12. Règles de conception d'une pièce injectée

La conception d'une pièce destinée à être moulée doit prendre en compte des paramètres spécifiques à ce procédé d'obtention.

III.12.1. Dépouille

C'est une inclinaison prévue sur les parties verticales de la pièce. La dépouille est indispensable pour permettre l'extraction de la pièce du moule. L'angle de dépouille dépend du polymère et varie entre 0.5 à 2°.

On utilisera la fonction de Soli Works. ^[21]



- **Forme non dépouillée :**

Le démoulage est difficile voire impossible car il y a un frottement important entre les formes moulantes de l’empreinte (poinçon) et la matière solidifiée. Ces frottements sont dus essentiellement au retrait de la matière lors de son refroidissement dans l’empreinte

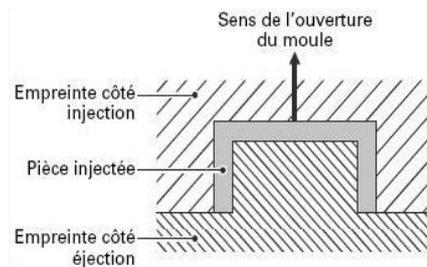


Figure III.17.exemple de forme non dépouillée

- **Forme dépouillée**

Mettre des angles de dépouilles facilite le démoulage de l’empreinte α : angle de dépouille

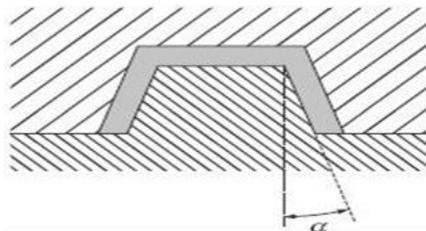


Figure III.18.exemple de forme dépouillée

III.12.2. Congés

On privilégiera des rayons de 0,3 à 0,5 .mm à la place des angles vifs.

On utilisera la fonction de SolidWorks. ^[16]



III.12.3. Épaisseurs

Les épaisseurs les plus courantes vont de 0,7 à 3 mm.

On choisira des conceptions à épaisseur constante.

On utilisera la fonction de SolidWorks. ^[21]



Lorsque de fortes épaisseurs s’avèrent indispensable pour satisfaire notamment des caractéristiques mécaniques, des nervures se substitueront à ces surépaisseurs.

Elles doivent être de plus faible épaisseur que la paroi à renforcer (0,3 à 0,6 fois l'épaisseur de cette paroi).

On utilisera la fonction de SolidWorks.



III.12.4. Localisation des traces de moulage :

Les traces de lignes de soudure, seuils d'alimentation, éjecteurs, sont à localiser dans des endroits peu visibles pour ne pas nuire à l'aspect de la pièce.

III.12.5. Tolérances

Elle dépend de la précision du moule et peut aller jusqu'à une qualité 8.

(La conception d'une pièce destinée à être moulée doit aussi intégrer les contraintes de réalisation du moule, d'usinage des éléments et la nécessité de maintenance. [21])

**Chapitre IV : Projet de
conception du moule par
CAO**

IV.1. Problématique :

Ce projet consiste à l'étude et la conception d'un moule d'injection plastique selon un cahier des charges bien définies par la société SARL TECHNO MOLDINGE et en prenant compte de la capacité du parc de presses à injection dont dispose l'entreprise pour la conception d'un moule a deux empreintes pour un Goblet.

IV.2. Ressources informatiques

Tout le long de projet, l'utilisation des ressources informatiques ainsi que des techniques spécifiques à la conception des moules d'injection ; est indispensable. C'est afin d'aboutir à un résultat qui satisfera le cahier de charge de chaque pièce moulée.

Nous allons présenter un aperçu sur les différentes ressources utilisées.

Logiciel de conception et simulation mécanique

Dans ce projet la conception et diviser en deux parties ; la première consiste à concevoir les modèles géométriques des deux pièces en 3D. La conception des éléments du moule fait l'objet de la deuxième partie.

Le logiciel SolidWorks 2018

SolidWorks est un logiciel de conception mécanique 3D paramétrique qui tire profit de l'interface graphique Microsoft® Windows®.

Grâce à cet outil, les ingénieurs en mécanique peuvent produire des modèles et des mises en plan précises, les avantages de celui-ci sont :

- Possède une large gamme d'outils de CAO pour la conception mécanique.
- Permet de valider les conceptions.
- Permet de faire la gestion des données techniques.

Nous allons utiliser ce logiciel pour la conception et la vérification des pièces.

Le logiciel I-MOLD v12

C'est un modeleur 3D utilisant la conception paramétrique intégré dans SOLIDWORKS, ainsi que des fonctions propres au moulage, qui permet la conception intégrale des moules à injection plastique.

A savoir que Les logiciels CAO sont aujourd’hui indispensables dans l’industrie des moules, la plupart des logiciels de conception comporte une partie pour la conception des moules, ou un module spécifique, ce dernier pour la modélisation de l’empreinte, la création automatique d’assemblage du moule et la simulation d’écoulement de la matière.

IV.3. Cahier des charges

Le cahier des charges (parfois abrégé en CDC) est un document qui doit être respecté lors de la conception d'un projet. Le CDC permet aux clients d’exprimer leurs besoins en termes de fonction de services et de contraintes.

Les données les plus importantes du cahier des charges sont présentées dans le Tableau suivant

Nom de produit	Goblet	
Définition de la pièce	Matière première	PP
	Poids de la pièce	76.28 grammes max
	Cadence de production	10KG/heure
	Procédé de fabrication	Moulage par injection
	Mode de refroidissement	à eau
	Mode de travail	Automatique
Moule	Nombre d’empreintes	Max deux (02) empreintes
	Dimension	320×200×346
	Type de moule	Moule à deux plaques
	Type d’alimentation	Circulaire
	Type de refroidissement	Circulaire

Tableau IV.1 L’essentiel du cahier des charges du produit.

Selon le cahier des charges établi, le matériau plastique choisit pour la fabrication du produit est le polypropylène PP. En effet, le PP est un thermoplastique technique offre d'excellentes propriétés mécaniques. Le PP proposé à utiliser est délivré sous forme de granules, Ces principales caractéristiques techniques

- **Caractéristiques principales du polymère :**
 - Très Faible densité ;
 - Très grande dureté ;
 - Bonne résistance à hautes températures ;
 - Grande résistance à la fissuration ;
 - Faible absorption d'eau ;
 - Grande résistance aux agents chimiques ;
 - Recyclable
 - Inertie physiologique (certains PP sont "alimentaires").
- **Propriétés physiques**
 - Module de Young : 1,1 à 1,6 GPa
 - Retrait : 1 à 2,5 %
 - 145 à 175 °C

IV.4. Présentation du produit « Goblet en plastique »

IV.4.1. Fiche technique de la pièce :

Dimension est cote nominale	
Longueur du Goblet	160 mm
Epaisseur	2 mm
Diamètre supérieur	85mm
Diamètre inférieur	60 mm
Masse	76.28g
Densité	0.89 g/cm ³
Volume	85.70cm ³

Tableau 0IV.2. Fiche technique de la Piece

IV.5. Choix de la presse utilisé :

Le choix de la presse à utiliser doit être fait selon plusieurs critères. Les plus importants sont :

- ✓ Volume injectable (Dosage)
- ✓ Force de fermeture
- ✓ Dimensions du moule

IV.5.1. Selon le volume injectable :

IV.5.1.1. Calcule de la masse moulée :

$$\mathbf{Mm} = \mathbf{M} + \mathbf{Mg} = 76.28 + 2.45 = 78.73\text{g}$$

Mm : Masse moulée

M : Masse de la pièce = 76.28 g

Mg : Masse de la grappe = 2.45g

IV.5.1.2. Calcule de la moulée à froid :

$$V_{mf} = \frac{\text{masse moulée}}{D}$$

$$V_{mf} = 78.73 / 0.89 = 88.46\text{cm}^3$$

Vmf : volume de la moulée à froid

D : masse volumique de la matière polypropylène 0.89

m : masse moulée

IV.5.1.3. Calcule de la moulée à chaud :

$$V_{mc} = \frac{V_{Mf}}{n}$$

$$V_{mc} = 88.46 / 0.70 = 126.37\text{ cm}^3$$

Vmc : volume de la moulée a chaud

Vmf : volume moulée a froid

n : coefficient de rétraction = 0,70 (pour la matière semi-cristalline) et 0,85 pour la matière amorphe

IV.5.1.4. Calcule du volume injectable :

Le volume injectable (dosage) est le volume de la matière à chaud injectée dans le moule.

$$V_{inj} = V_{mc} + V_{mt}$$

$$V_{inj} = 126.37 + 12.63$$

$$V_{inj} = 139.007 \text{ cm}^3$$

V_{inj} : volume injectable

V_{mc} : volume de la moulée à chaud

V_{mt} : volume matelas = 10% du volume de la moulée à chaud → **12.63 cm³**

IV.5.2. selon la force de fermeture :

IV.5.2.1. Calcule de la force de fermeture nécessaire de la presse :

$$F_f = P_i \times S_{tp} \times K$$

$$F_f = 0.61 \times 1786.029 \times 10^{-2} \times 2$$

$$F_f = 21.78 \text{ tonnes}$$

F_f : force de fermeture de la presse en tonne

P_i : Pression d'injection. La pression d'injection du polymère PP = 100 BAR ⇒ 0.61 T/cm²

S_{tp} : Surface totale projetée des pièces. Ce sont toutes les surfaces qui sont parallèles au plan de joint. En cm² a savoir que la surface projeté d'après SolidWorks = 1786.029 mm²

K : Coefficient de sécurité (1 < K ≤ 2).

On prend **K = 2**, pour travailler en toute sécurité.

IV.5.2.2 selon les dimensions du moule :

Les dimensions du moule sont :

- ✓ Longueur : 320 mm
- ✓ Largeur : 200 mm

✓ Epaisseur : 346 mm

Alors le choix de la presse se porte sur : presse ksa 80

Caractéristique	Unité	Presse : ksa80
Volume injectable	Cm ³	180
Force de fermeture	Tonne	80
Epaisseur moule (min-max)	mm	200-390
Dimension des plateau	mm	510*510
Cycle a vide de la presse	s	2
Débit d'injection	Cm ³ /s	120
Diamètre de la vise	cm	25

Tableau IV.3. Fiche technique de la presse

IV.6. Dessin de définition :

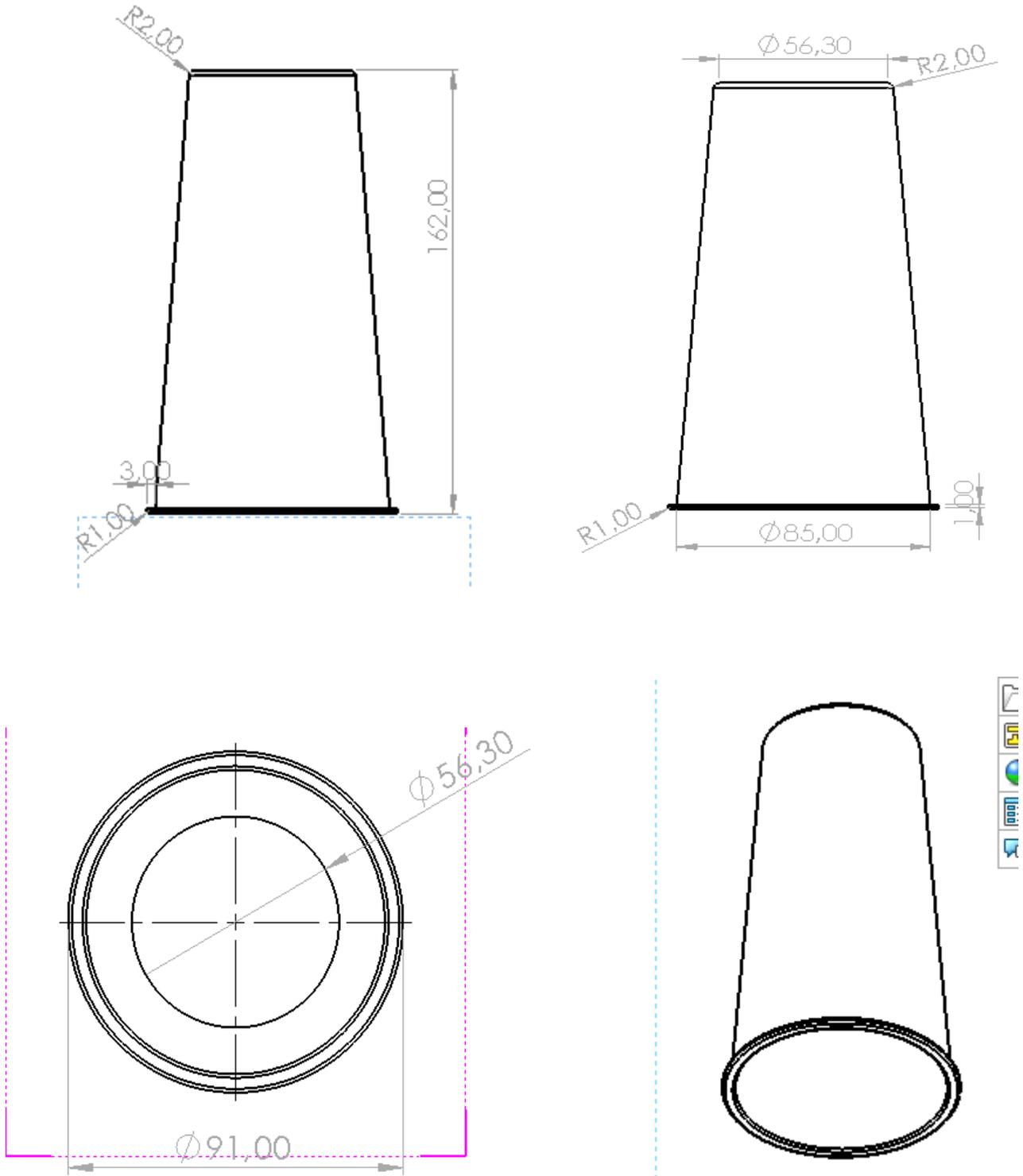


Figure IV. 1. Représentation des cotes fonctionnelle par CAO

VI.7. Model CAO de la pièce :

Dès l'obtention de l'échantillon de la pièce, nous avons récupéré les différentes cotes de la pièce. Puis nous avons modélisé le modèle géométrique

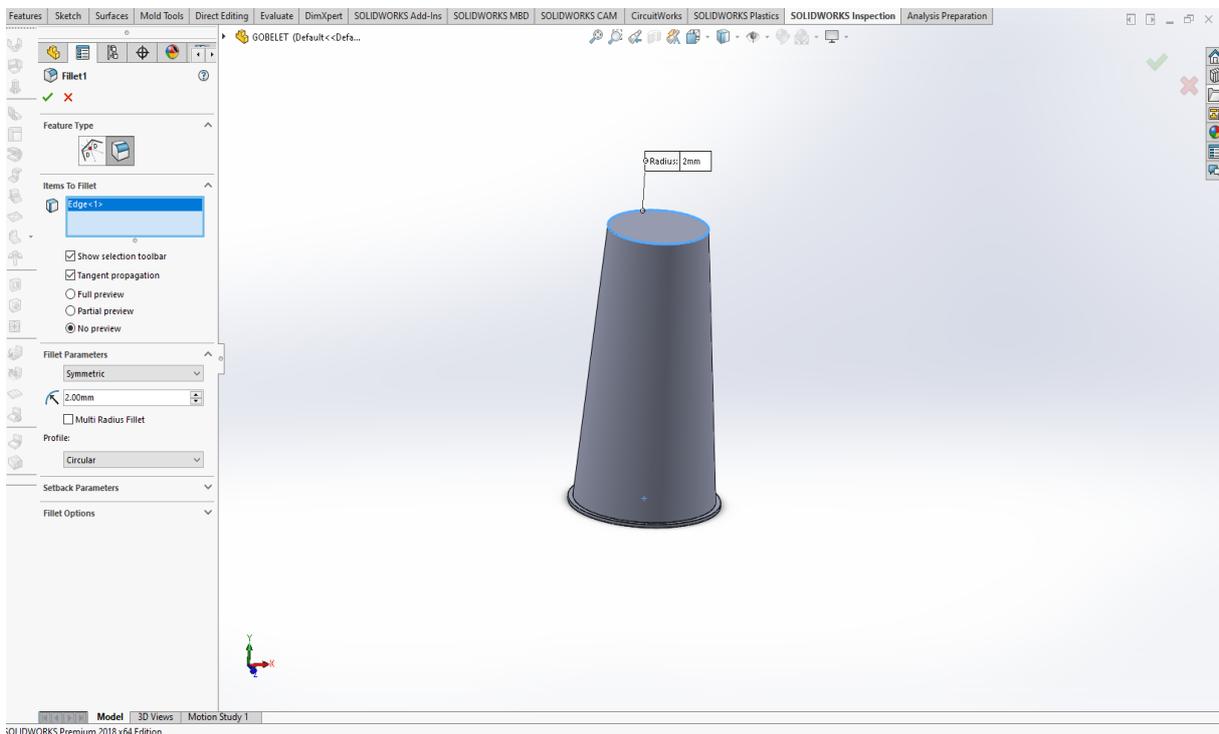
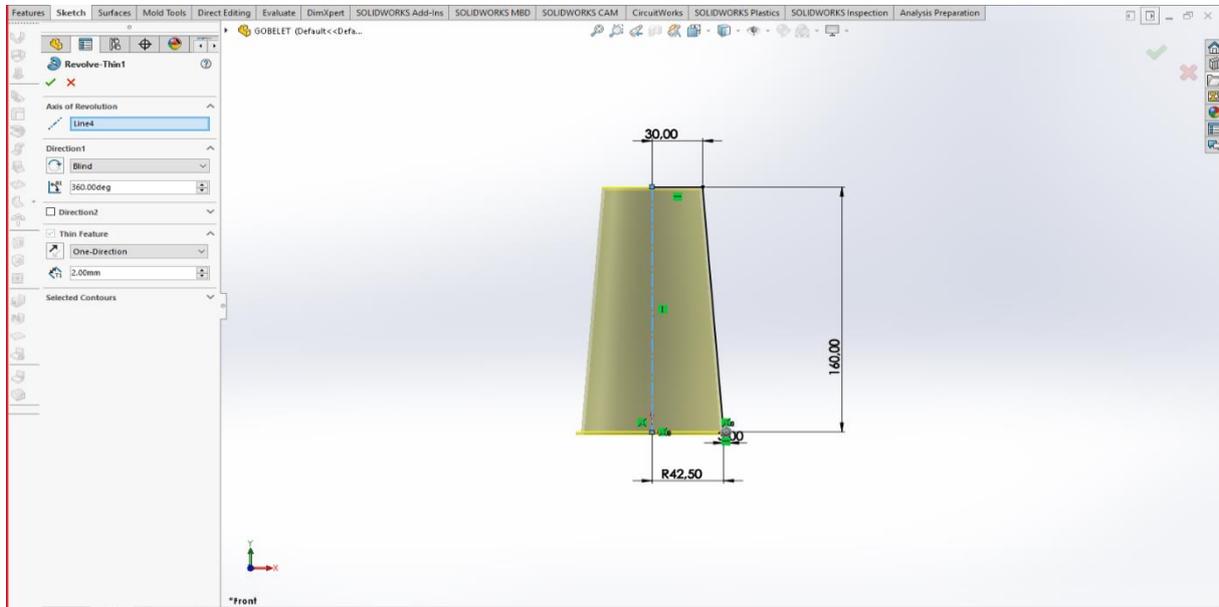


Figure IV. 2. Model CAO du Goblet

VI.8. Conception CAO du moule :

VI.8.1. Mise à l'échelle moulante :

$$\text{Cote de l'empreinte} = \text{cote de la pièce} \times \frac{1}{1-\text{retrait}}$$

Le retrait exerce une influence directe sur les dimensions d'une pièce moulée par injection. Un retrait différentiel provoque des déformations (gauchissement ou voilage).

L'évaluation du retrait est toujours difficile, quel que soit la matière plastique, il convient à le déterminer par des résultats expérimentaux.

-Le retrait de moulage est indiqué en % :

Remarque : pour le polypropylène en sais que le retrait se situe 1 A 2,5 %

La valeur du retrait choisie est 1 %

IV.8.2. Analyse de dépouille

Pour la conception des pièces en plastique et de moule, on utilise l'outil "analyse de la dépouille" pour assurer que la dépouille sur leurs pièces s'effectue correctement.

Avec l'analyse de la dépouillé, il examine les faces du modèle pour assurer qu'elles présentent une dépouille suffisante pour permettre à la pièce de sortir correctement du moule

Pour faciliter le démoulage et l'éjection de la pièce, et éviter ainsi sa déformation, un angle de dépouille de 0.25° à 3° est nécessaire sur toute face. Dans notre cas nous avons opté pour un angle de 3°.

Les résultats sont représentés ci-dessous :

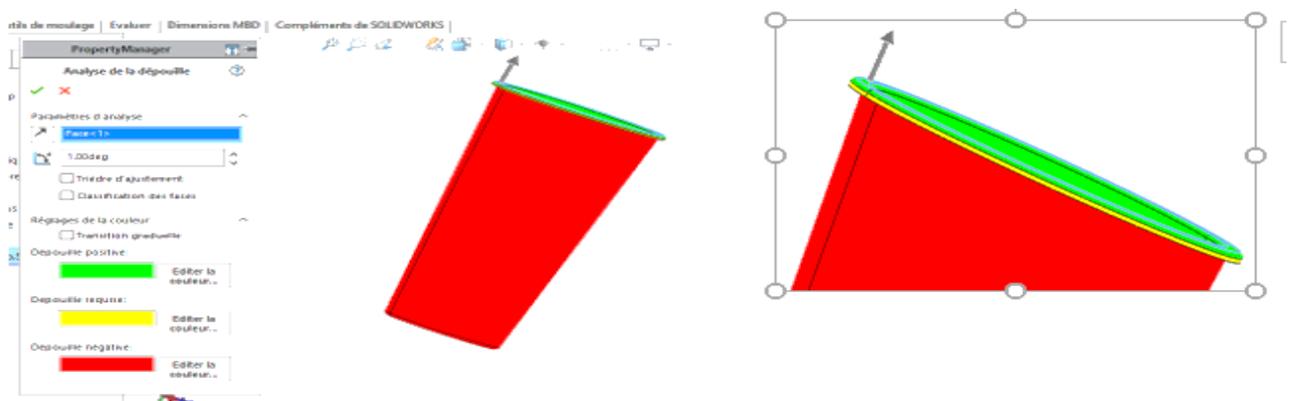


Figure IV. 3. Représentation de l'analyse de dépouille de la pièce

- **Interprétation**

Les faces en vert (à droite de la face en rouge) sont à dépouille positive, donc elle doit appartenir à l’empreinte partie injection.

Les faces en rouge (et tous ce qu’est à gauche) sont à dépouille négative, donc elle doit appartenir à l’empreinte partie éjection.

Les faces représentent les dépouilles requises

Dans notre cas la dépouille et requise au niveau de la partie supérieur de la pièce

IV.8.3. Lignes de joint

On peut créer la ligne de joint automatiquement ou manuellement à l’aide de l’outil ligne de joint, qui a deux fonctions : la première pour le contrôle de la dépouille, et l’autre pour la création de plan de joint.

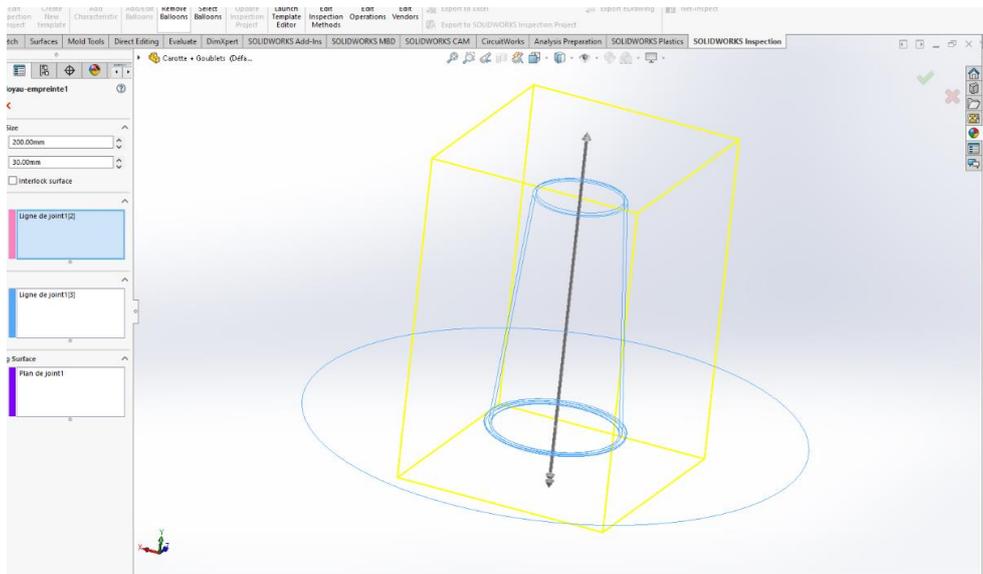


Figure IV. 4. Représentation de la ligne de joint

IV.8.4. Plan de joint :

Les plans de joint sont utilisés pour séparer l’empreinte du moule de son noyau. Les logiciels de CAO pour la conception des moules créent le plan de joint par extrusion de la ligne de joint.

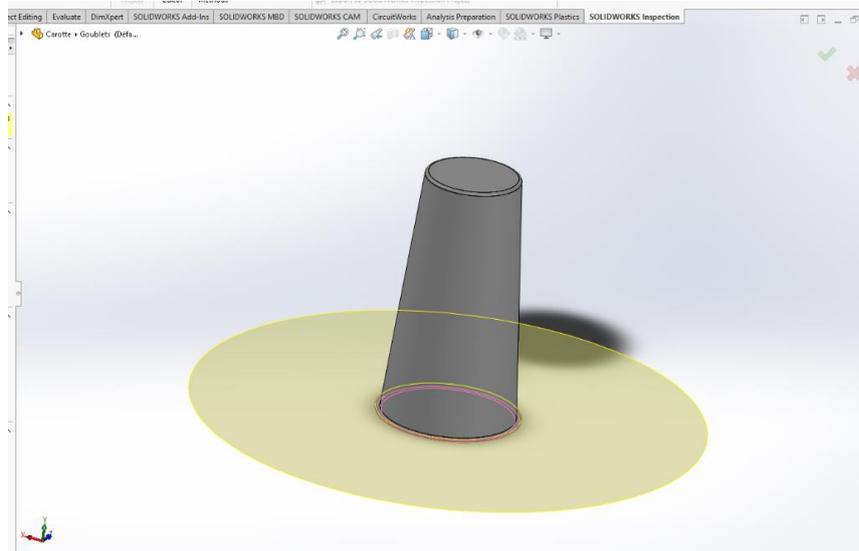


Figure IV.5. Représentation du plan de joint de la pièce

IV.8.5. Insertion de noyau et d’empreinte

Dans cette étape, on crée simultanément les deux parties principales du moule à l’aide de l’outil “noyau/empreinte” sous forme des pièces dérivées qui deviennent les moitiés des moules après les coupes.

- L’empreinte : est la partie femelle du moule, elle est creusée de l’intérieur et le métal fondu ou le plastique modèle est versé de sorte qu’il puisse prendre la forme de l’empreinte pour créer le composant.
- Le noyau : est la partie male du moule et définit le secteur ou le métal fondu ne devrait pas atteindre.

IV.8.6. Carcasses de moule

Les carcasses de moule sont des assemblages totalement contraints qui contiennent des composants standards. “Mouldbase” est un catalogue d’assemblage et de composants de moules standards intégrés dans le SOLID WORKS. Permettant des gains de temps importants. On peut citer un assemblage de moules standards en quelques minutes au lieu de plusieurs heures.

- **Avantage d'utilisation des moules standards :**
 - Diminution du prix de revient de l'outillage.
 - Diminution de délai d'approvisionnement.
 - Diminution du temps de l'étude.
 - Réutilisation de certains éléments.

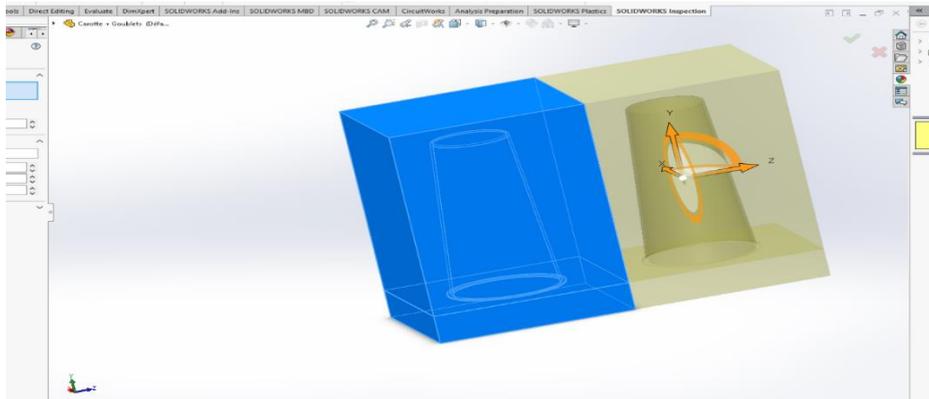


Figure IV. 6. Représentation de la carcasse du moule

IV.8.7. Les éléments standardisés :

L'outil de conception de carcasse permet de la création automatique des logements pour tous composant comme : les plaques supérieures et inférieures, vis, éjecteurs, bagues, etc. ainsi que la visualisation simplifiée par suppression temporaire de l'affichage composants non nécessaires à la poursuite du processus de création.

On peut créer facilement des composants individuels que composent un assemblage de carcasse moule.

Spécification des propriétés des composant :

Choix du vendeur ou standard.

Réglages de style et Taille de composant.

On peut également éditer un composant pour modifier n'importe lequel de ses paramètres après sa création.

Mais dans notre étude on a obtenu un moule standard à partir de la bibliothèque de solideWorks et on a fait placer l'empreinte et le noyau.

IV.9. Calcule de conception :

IV.9.1. Détermination du nombre d'empreinte :

Le nombre d'empreinte dans le moule d'injection est dans la plupart des cas déterminés en fonction des performances de la machine mais quelques fois par la forme de la pièce. Dans notre étude en vas déterminer le nombre d'empreinte suivant les caractéristiques de la machine : ^[22]

Avec :

$$n = (C_i - V_g) / (V_p)$$

$$n = (180 - 2.75) / 85.70 = 2.06$$

Avec :

n : le nombre d'empreinte

C_i: capacité d'injection de la machine = 180 cm³

V_g : volume de la grappe = 2.75 cm³

V_p: volume de la pièce injectée 85.70 cm³ ;

Donc :

Le nombre d'empreinte doit être inférieur à 2.06, c'est pourquoi en a choisi un nombre d'empreinte de 2 (N = 2)

IV.9.2. Dimensionnement de la carotte

On utilise la méthode des calculs par récurrences pour calculer **Dcr1** et **Dcr2**, avec :

Dcr1 : Grand diamètre de la carotte (mm) et **Dcr2** : Petit diamètre de la carotte (mm).

L_{cr} : longueur de la carotte = **220mm**

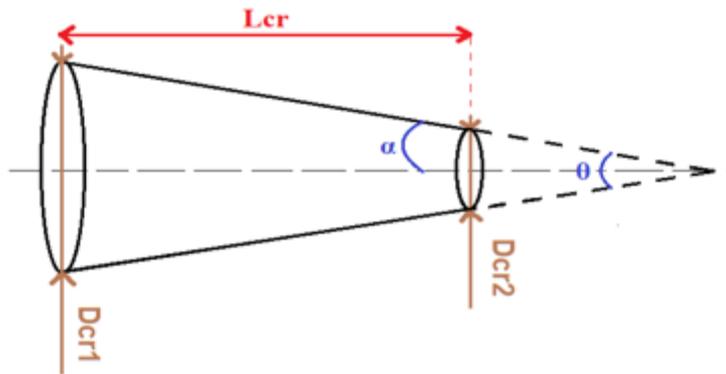


Figure IV. 7. Représentation de la carotte [22]

$$S_{cr1} = 2 \times S_c$$

$$\frac{\pi \times D_{cr1}^2}{4} = \frac{2 \times \pi \times D_c^2}{4}$$

$$D_{cr1}^2 = D_c^2$$

$$D_{cr1} = \sqrt{2} \times D_c = \sqrt{2} \times (3.73) = 5.23 \text{ mm}$$

S_{cr1} : Section du grand diamètre de la carotte (mm²).

S_c : Section du canal d'alimentation (mm²).

Remarque : La carotte a une forme d'un tronc de cône tel que montre la figure :

$$\text{Tg}(\alpha) = \frac{D_{cr1} - D_{cr2}}{2} \times \frac{1}{L_{cr}}$$

$$D_{cr2} = D_{cr1} - (L_{cr} \times \alpha) = 5.23 - 2 \times (68 \times \text{tg}(1 \times \pi/180))$$

$$D_{cr2} = 1,32 \text{ mm} \approx 1,50 \text{ mm}$$

Avec :

$$\alpha = 1^\circ = 1 \times \frac{\pi}{180} \text{ rad}$$

IV.9.3. Dimensionnement des canaux d'alimentation

Les canaux d'alimentation permettent d'acheminer la matière depuis la carotte au plan de joint jusqu'au seuil d'injection. Sa section doit faciliter l'écoulement et garantir une distribution homogène et suffisante.

On utilise des canaux circulaires. Ce type de canaux garanti un débit maximal de matière, une faible perte de chaleur et de charge et un temps de refroidissement minimal.

Dans ce moule, il y a deux (2) canaux principaux

- **Calcul du diamètre Dcp :**

On utilise : $D_{CP} = D_r \times L_f$

Avec :

Dr : Coefficient du diamètre théorique.

Lf : Coefficient de la longueur théorique.

Pour trouver Dr et Lf, on utilise les **Figures IV.08** et **IV.9**.

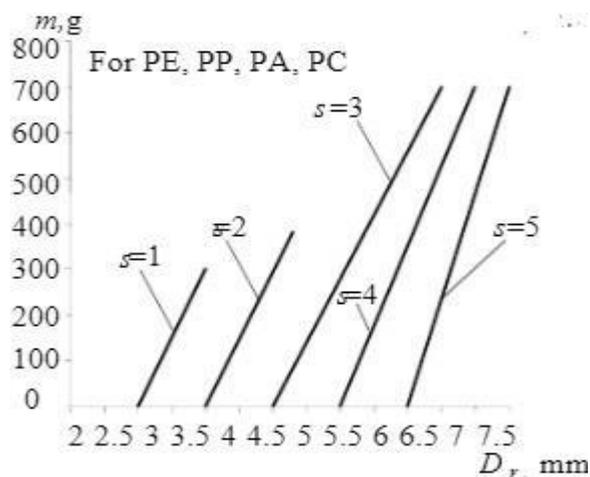


Figure IV.8. Choix du Dr en fonction de l'épaisseur

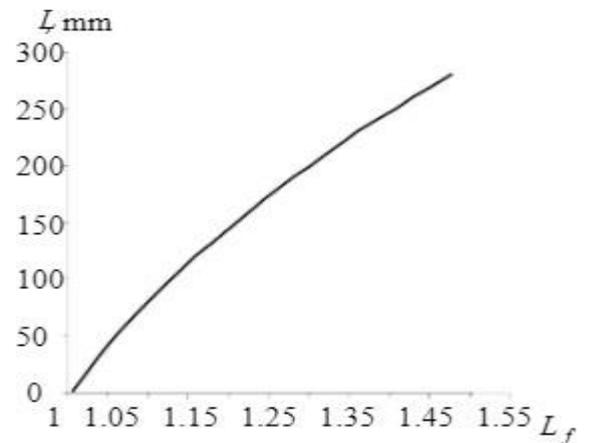


Figure IV.9. Choix du Lf en fonction la masse et de la longueur du canal principal

- **Calcul Dr :**

Selon la Figure si le matériau est PA, PC, PE, PP, POM et l'épaisseur moyenne de la pièce est 2,5 mm, le coefficient Dr sera calculé en utilisant :

$$D_r = \frac{(1,75 m + 2,25) - (S + 1,5) m + M(S + 1,5)}{M}$$

$$D_r = \frac{(1,75 \times 76,28 + 2,25) - (2,06 + 1,5) 76,28 + 800(2,06 + 1,5)}{800}$$

$$D_r = 3.39 \text{ mm}$$

Avec :

m : Masse de la pièce (g)

S : Epaisseur moyenne de la pièce (mm)

M : Masse maximale ; M = 800 g

- **Calcul Lf :**

Pour trouver Lf, on fait la projection de la longueur du canal L sur l'axe des « x » à partir de la Figure

Sachant que L = 75.7mm. (Cette valeur est prise en considérant la disposition des empreintes).

On le trouve $L_f \approx 1,10$.

De (a) et (b) on peut trouver Dcp :

$$D_{cp} = D_r \times L_f$$

$$D_{cp} = 3.39 \times 1,10 = 3.73\text{mm}$$

IV.9.4. Dimensionnement du Seuil d'injection :

Le seuil d'injection établit la relation entre le canal d'alimentation et l'empreinte. Il doit assurer la continuité d'alimentation de la pièce moulée pendant la durée de solidification de la matière plastique dans l'empreinte. La pression de maintien permet cette alimentation.

La géométrie du seuil choisi est de type circulaire. (Cette géométrie permet d'avoir un écoulement régulier et un démoulage facile)

IV.9.5. Diamètre du seuil (Ds)

Les paramètres recommandés pour calculer le diamètre des seuils sont donnée dans

Taille du produit	Masse en gramme	Diamètre des seuils
Très petit	0-5	0.5
Très petit à petit	5-10	0.62
Petit	10-20	0.75
Petit à moyens	20-40	1
Moyens	40-100	1.25

Tableau IV.4 : diamètre des seuils généralement utilisé

La masse de la pièce est $m = 76.28\text{g}$; donc on est dans l'intervalle le moyens (entre 40 g et 100g).

A partir des données précédentes, on utilise l'équation de la ligne droite suivante pour le calcul du diamètre des seuils pour des intervalles des masses petites : selon l'Equation V.1.

$$D_{\text{seuil}} = 0.0042m + 1.08$$

$$D_s = 0.0042 \times 76.28 + 1.08 = 1.4\text{mm}$$

s : Diamètre du seuil (mm)

m : Masse de la pièce (g) ; $m = 76.28\text{ g}$

Avec :

0,0042 : Constante pour $40 < m < 100\text{ g}$.

1.08 : Diamètre minimum.

IV.9.6. Conception de la grappe par CAO :



Figure IV.10. Représentation de la grappe

Remarque : poids de la grappe : 2.45g

IV.9.7. Dimensionnement du canal de refroidissement :

D'après la technique d'ingénierie les diamètres couramment utilisés vont de Ø6, Ø8, Ø10, Ø12 au-delà les diamètres créent un flux laminaire néfaste à l'absorption des calories. L'importance du standard des raccords de raccordement peut aussi jouer sur le dimensionnel

On a choisi un Ø6

IV.10. Détermination du temps de refroidissement :

- D'après la loi de fourrier :

$$dT / dt = a * (d^2 T / dx^2)$$

$$t_r = \frac{e^2}{\pi^2 \times \alpha} \times \ln \left[\frac{8}{\pi^2} \times \frac{T_i - T_m}{T_d - T_m} \right]$$

$$tr = \frac{(2.06 \times 10^{-3})^2}{(3.14^2) \times (6.2 \times 10^{-8})} \times \ln \left[\frac{8}{3.14^2} \times \frac{240 - 40}{70 - 40} \right]$$

$$Tr : 11.03 \text{ s}$$

d' ou : e : épaisseur de la pièce en mm

α : diffusivités thermique du polymère (mm²/s)

Ti : température d'injection

Tm: température de la pièce au démoulage

tr : temps de refroidissement en secondes

Td : température de la surface d'empreinte

IV.11. Temps de remplissage :

$$tr = \frac{V + 1.5}{Qv}$$

$$tr = \frac{126.37 + 1.5}{120}$$

$$tr = 1.06s$$

Tr : temps de remplissage en s

V : le volume de la moullée a chaud cm³

Qv : le débit arrivant de la buse cm³/s

IV.12. Détermination du cycle optimal de moulage

$$T_{\text{cycle}} = t_r + C_v + t_r + B$$

$$T_{\text{cycle}} = 11.03 + 2 + 1.06 + 14$$

$$T_{\text{cycle}} = 28.09\text{s}$$

t_r : temps de remplissage de la moulée

C_v : cycle a vide de la presse

B : autres de temps technologique (éjection, dévissage, robot...) d'après la donnée de la compagnie = 14s

T_r : temps de refroidissement en secondes

IV.13. Détermination de la quantité moulée par heure

$$P = P_m \cdot 3600 / T$$

$$P = 0.07628 \times 3600 / 26.09$$

$$P = 9.77 \text{ KG/h équivlant de } 127 \text{ pièce/h}$$

P : poids total de la moulée par heure (Kg/h)

P_m : poids de la moulée (Kg)

T : temps de cycle (s)

IV.14. Détermination de la quantité de chaleur à évacuer pour refroidir le polymère :

$$Q = P (H_i - H_e)$$

$$Q = 9.88 \times (145 - 35) = 1074.7 \text{ kcal/h}$$

Q : quantité de chaleur à évacuer (Kcal /h)

P : poids total moulé par heure

Hi et He : enthalpie correspondant aux températures de moulage et de démoulage voire courbe

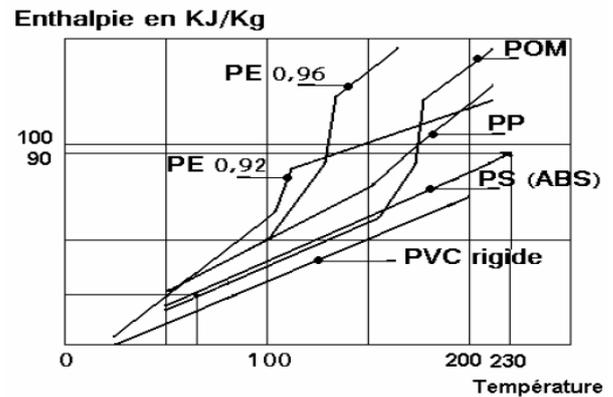


Figure IV.11 Graphe des enthalpies en fonction de la température

IV.18. Conception des éléments du moule par CAO :

Partie fixe :

Composant	Nombre	Matériaux
Bague de centrage	1	C10
Buse	1	35NiCr15
Cologne de guidage	4	10NiCr6
Empreinte parti fix	1	40CrMoMn8
Plaque semelle parti fix	1	C38
Vise CHC M6*10-10N	3	Acier alliée
Vise chc M10*16-16N	4	Acier alliée
Raccord	24	Laiton

Tableau IV.5 : partie fixe



Figure IV.12. Buse



Figure IV.13. Colonne de guidage

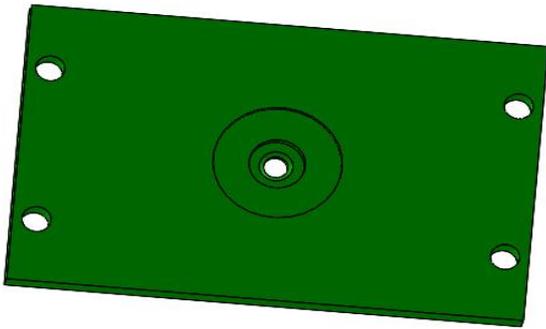


Figure IV.14. Plaque semel P.F

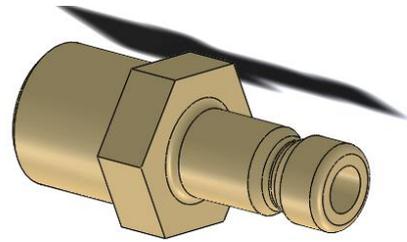


Figure IV.15. Raccord

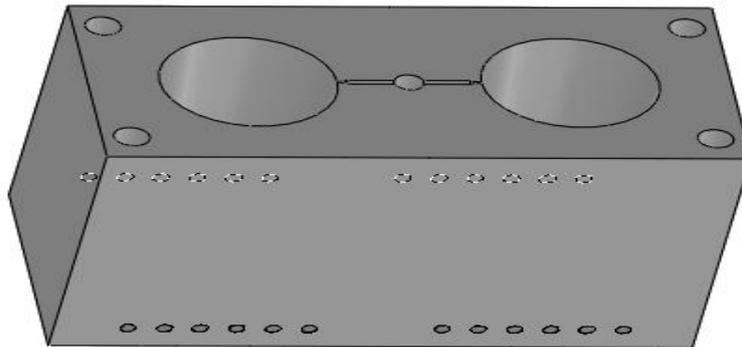


Figure IV.16. Empreinte parti fix

Parti mobile :		
Plaque semelle parti mobile	1	C38
Cache plaque semelle	1	A60
Plaque d'éjection	1	C38
Contre plaque d'éjection	1	C48
Ejecteur cylindrique	1	X40CrMoV5
Ejecteur a lame	6	X40CrMoV5
Empreinte parti mobile	1	40CrMoMn8
Plaque déjection	1	C38
Plaque semelle partie mobile	1	C38
Vise m4	2	Acier alliée
Tasseau	2	C38

Tableau IV.6 parti mobile

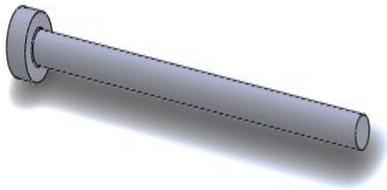


Figure IV.17. Éjecteur cylindrique



Figure IV.18. Éjecteur a lame

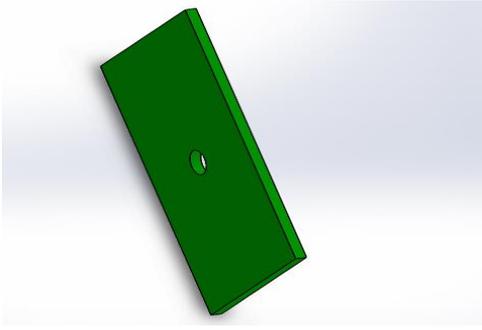


Figure IV.19. Cache semelle p. Mobile

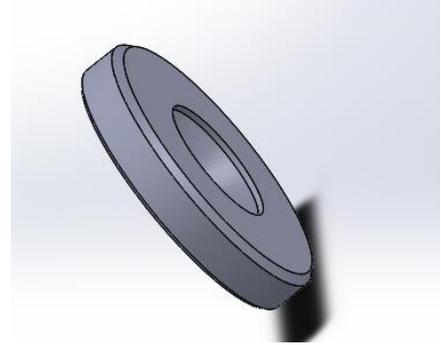


Figure IV.20. Bague de repos

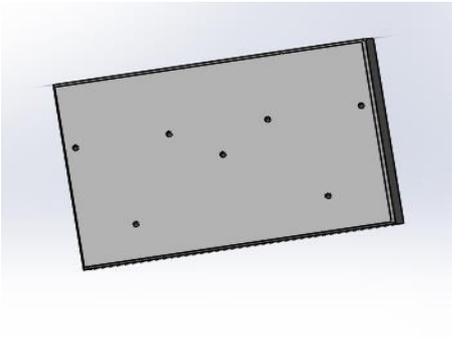


Figure IV.21. Plaque d'éjection

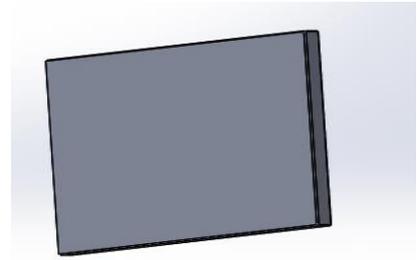


Figure IV.22. Tasseaux

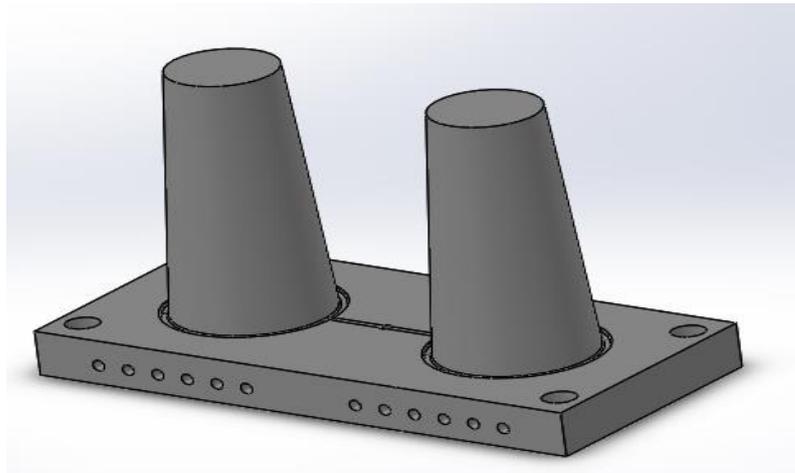


Figure IV.23. Empreinte parti mobile

IV.15. Assemblage du moule par CAO :

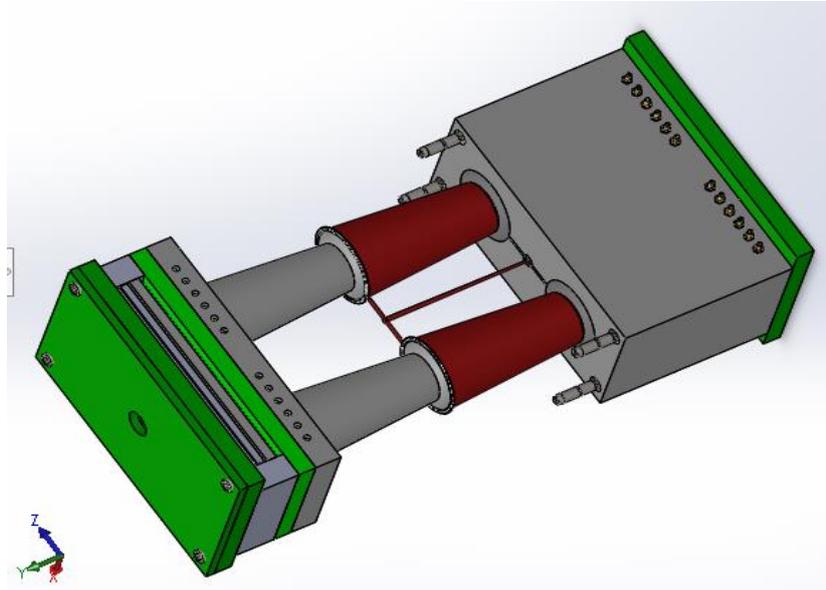


Figure IV.24. Représentations de l'assemblage

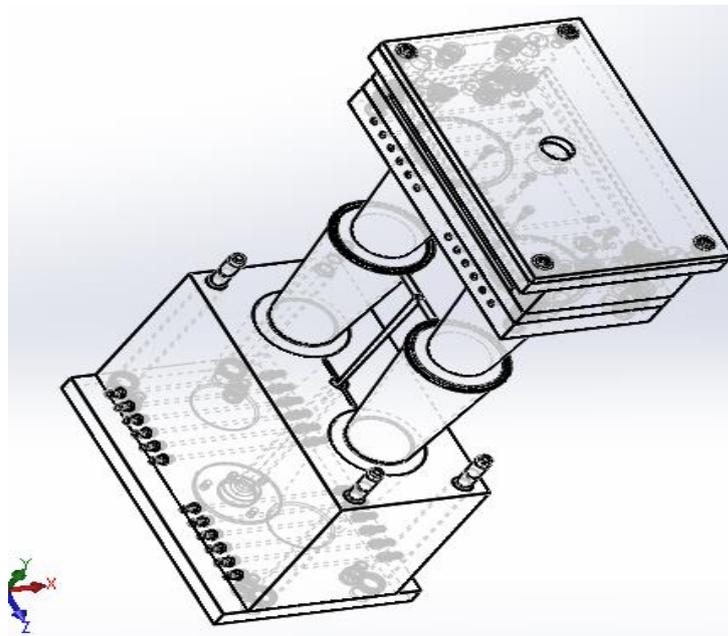


Figure IV.25. Représentations de l'assemblage

IV.15.1. Vu éclaté de l'assemblage :

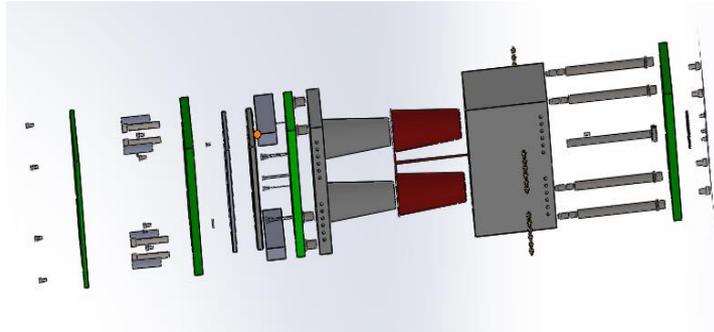


Figure IV.26. Représentation de la vue éclatée du moule

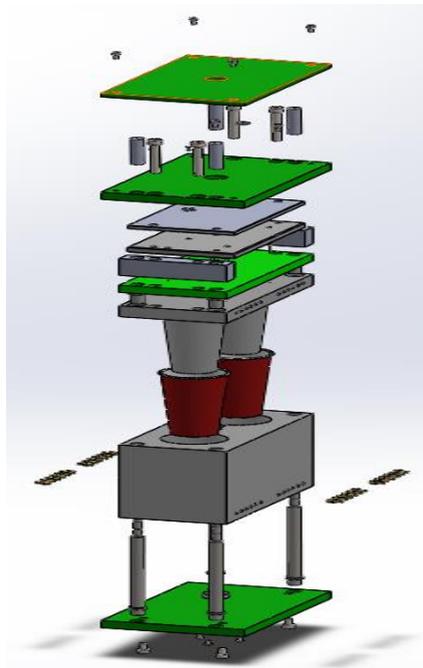


Figure IV.27. Représentation de la vue éclatée du moule

Conclusion générale

Conclusion générale :

La conception d'un moule est un processus très complexe. Le concepteur est amené à faire plusieurs choix de solutions technologiques qui peuvent s'affecter mutuellement

Préalablement à toute action dans la conception du moule, une analyse approfondie du problème est nécessaire. Elle permet une meilleure prise en charge des solutions qui doivent être adaptées à la problématique initiale.

A l'issue de ce travail, on peut affirmer qu'il nous a non seulement permis d'élargir nos connaissances et de mieux comprendre comment résoudre une problématique, mais aussi à maîtriser l'approche technique pour traiter un sujet technique et de constater la place grandissante qu'occupent les matières plastiques dans l'industrie de divers domaines.

Bibliographie

[1] **Alain Dessarthe**, Introduction aux plastiques et composites en mécanique, Techniques ingénieurs, B5170, **1993**.

[2] **HADEF Saddek**: « Étude de l'influence des conditions d'injection sur la qualité des pièces injectées en matière plastique », mémoire de magister, département de mécanique, université de Biskra, **2012**.

[3] **HEDDAR Djamel Eddine**: « ETUDE ET CONCEPTION A L'AIDE DE L'OUTIL CAO D'UN MOULE A INJECTION PLASTIQUE » mémoire de magister, département de mécanique, université de Biskra, **2014**.

[4] **AHMED HAMADI**: « Conception générale des moules pour injection plastique », mémoire du diplôme d'ingénieur, département de mécanique, université de **M'sila**, **2003**.

[5] procède de fabrication plastique <http://www.plasturgie-cojema.com/>

[6] <http://www.valorplast.com/le-campus/collège/la-transformation/>

[7] **Gassou Mostafa et Rahmani Ahmed** : «Etude de la qualité des pièces fabriquées en moulage par injection», mémoire master professionnel, département de mécanique,

UKM Ouargla, 2013

[8] **Thomas Munch**, Presses à injecter - Choix et optimisation du process, Techniques de l'Ingénieur am3673, **2009**.

[9] **Thomas Munch**, Presses à injecter - Caractéristiques et architecture, Techniques de l'Ingénieur am3672, **2009**.

[10] **J-F. Agassant et M. Vincent**, Modélisation de l'injection Remplissage des moules, Techniques de l'Ingénieur am3695, **2009**.

[11] **jean Etienne fournier** analyse des écoulement des thermoplastique université de Lille **2008**

[11] **Eliette Mathey**, Optimisation numérique du refroidissement des moules d'injection

des thermoplastiques basée sur la simulation des transferts thermiques par la méthode des éléments frontières, Thèse de DOCTORAT Université Toulouse III - Paul Sabatier.

France, **2004.**

[12] **C. Bathias, J.P.Bailon**, Leçon d-injection plastique, presse de l'université de Montréal, **1998.**

[13] **Thomas Munch**, **Presses à injecter** - Caractéristiques et architecture, Techniques de l'Ingénieur am3672, **2009.**

[14] **Gassou Mostafa et Rahmani Ahmed** : «Etude de la qualité des pièces fabriquées en moulage par injection», mémoire master professionnel, département de mécanique,

UKM Ouargla, 2013

[15] **Alain Bertelone**, **moule d'injection des matières plastiques**, **2005.**

[16] **Linhaer Jerome**, **injection plastique**, Lycée Jules Haag. France, **2012.**

[17] **Peter Jones**, part and mold design, Bayer materials sciences, Engineering Polymers, **THERMOPLASTICS, 2000.**

[18] www.moldflow.com, **avril 2014.**

[20] moule injection **2008/2009**

[20] **Rapport PFA: Etude**, conception et simulation par injection d'une caisse en polypropylène www.slideshar.com

[21] Fiche de connaissance académie **Lyon**

[22] (**Ž. Rutkauskas, A. Bargelis**, Knowledge – based method for gate and cold runner definition in injection mold design, 2007.

[23] **OUACHOUACHE A**, Conception d'un moule d'injection des pièces en M.P, Mémoire de fin d'études Master 2, **Université Badji-Mokhtar-Annaba, 2018.**

[24] **Mr MOUFFOK S**, Moulage par injection des plastiques, cour master 2, Fabrication mécanique et productique, **2020.**

[25] ZAIRE RAYNE BAZIZE SARAH Etude et conception d'un moule d'injection plastique pour un élément de serrure à larder FOUILLOT – **2019/2020**