



UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du Diplôme de Master en Fabrication
Mécanique et productique

Titre

**Etude et Conception D'un Moule D'injection
Plastique.**

Proposé et encadré par :

Dr. KIRAD Abdelkader.

Réalisé par :

Mr. Missoumi Riadh.

Mr. Tati Abdelmalek.

Remerciement

*Nous remercions tout d'abord le bon Dieu qui nous a
donné la foi et le courage pour accomplir ce projet*

*Nous tenons à exprimer notre sincère reconnaissance à
l'égard de tous ceux qui ont contribué à la réalisation de
ce travail, particulièrement à notre promoteur Mr A. Kirad
pour sa disponibilité, ses conseils et suggestions.*

*Nos plus vifs remerciements vont aussi à tous les membres
de jury pour avoir accepté d'honorer par leur jugement
notre travail.*

*Sans oublier nos parents qui ont sacrifié
jusqu'aujourd'hui,*

*Aussi leurs encouragements incessants tout le long de
notre parcours.*

*Enfin, nos remerciements vont à toutes les personnes qui
ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce
travail.*

Dédicaces

*Il nous est agréable de saisir cette Occasion pour dédier ce
travail à Tous :*

❖ Nos parents.

❖ Nos frères et sœurs.

*❖ Tous nos amis (es), camarades Et tous ceux qui nous
ont aidés De près ou de loin.*

Riadh Missoumi

Tati Abdelmalek

ملخص

يشهد عالم اليوم حالة من المنافسة، مما يؤدي بنا إلى الإنتاج بأقل تكلفة ممكنة وفي وقت قصير. لهذا، نحن نبحث عن طرق أكثر واقعية وأكثر ملاءمة. يعد التمكن من الأدوات التكنولوجية الحالية أمرًا ضروريًا، مثل استخدام الآلات التي يتم التحكم فيها رقميًا وتصميم برامج التصنيع.

الهدف من هذه الدراسة هو التعرف على المواد البلاستيكية وعملية التنفيذ عن طريق الحقن، ثم تصميم الأجزاء والانطباعات والقالب باستخدام برنامج تصميم (CAD) (SOLIDWORKS).

تمكّن شركة SOLIDWORKS® Plastics الشركات التي تصمم الأجزاء البلاستيكية أو قوالب الحقن من التنبؤ بسهولة بعيوب التصنيع وتجنبها في المراحل الأولى من التصميم. هذا يلغي التعديلات المكلفة، ويحسن الجودة ويسرع الوقت في السوق.

الكلمات الرئيسية : CAD ، SolidWorks ، البلاستيك، العفن، الحقن، التصميم.

Résumé

Le monde d'aujourd'hui vit une situation de concurrences, cela nous mène à produire au plus bas coût possible et dans un temps réduit. Pour cela, on recherche des méthodes plus réalistes et plus adaptées. La maîtrise des outils technologiques actuels est nécessaire, comme l'utilisation des machines à commande numérique, les logiciels de conception et de fabrication.

L'objectif de cette étude est de cerner les matières plastiques et le procédé de mise en œuvre par injection, puis de concevoir les pièces, les empreintes et le moule en utilisant un logiciel de conception CAO (SOLIDWORKS).

SOLIDWORKS® Plastics permet aux entreprises qui conçoivent des pièces en plastique ou des moules à injection de prévoir et d'éviter facilement les défauts de fabrication dès les premières étapes de la conception. Cela élimine les modifications coûteuses, améliore la qualité et accélère la mise sur le marché.

Mots clés : CAO, SolidWorks, plastique, moule, injection, conception.

Abstract

Today's world is experiencing a situation of competition, which leads us to produce at the lowest possible cost and in a reduced time. For this, we are looking for more realistic and more suitable methods. Mastery of current technological tools is necessary, such as the use of numerically controlled machines, design and manufacturing software.

The objective of this study is to identify the plastic materials and the process of implementation by injection, then to design the parts, the impressions and the mold using CAD design software (SOLIDWORKS).

SOLIDWORKS® Plastics enables companies that design plastic parts or injection molds to easily predict and avoid manufacturing defects in the early stages of design. This eliminates costly modifications, improves quality and speeds time to market.

Keywords : CAD, SolidWorks, plastic, mould, injection, design.

SOMMAIRE

Introduction générale 1

Présentation de l'entreprise

Chapitre I : Généralités sur la matière plastique

I.1. Introduction	3
I.2. Historique	3
I.3. Définition Des Matières Plastiques	4
I.4. L'origine du plastique	4
1. Origine animale	4
2. Origine végétale	4
3. Origine naturelle	5
I.5. Les Différents Groupes De Matières Plastiques	6
I.5.1. Les Thermoplastiques (Les Thermoplastes)	6
I.5.2. Les Thermodurcissables (Les Duroplastes)	6
I.5.3. Les Elastomères	6
I.6. Propretés des matières plastiques	6
I.6.1. La Légèreté	6
I.6.2. La résistance mécanique	6
I.6.3. La transparence	6
I.6.4. L'inaltérabilité	7
I.6.5. L'esthétique	7
I.6.6. L'isolation	7
I.6.7. L'imperméabilité	7
I.6.8. La glisse	7
I.6.9. L'entretien	7
I.6.10. L'asepsie naturelle	7
I.7. Les applications du plastique	7
I.8. Les Thermoplastiques	9
Thermoplastiques amorphes	9
Thermoplastiques semi-cristallins	9
I.9. Le polyéthylène téréphtalate (PET)	10
I.9.1. La définition du PET	10
I.9.2. Historique sur le PET	11
I.9.3. Synthèse du PET	11

I.9.4. Caractéristiques des matières premières PET	11
I.9.5. Fabrication du PET	12
I.9.6. Domaine d'utilisation du PET	12
I.10. Coloration des matières plastiques	14
I.10.1. Colorant à sec	14
I.10.2. Colorants dans la masse	14
I.11. SABIC PET BC212	14
Conclusion	15

Chapitre II : Procédés de Mise en œuvre

II.1. Introduction	16
II.2. Procédés de transformations du plastique par injection	16
II.2.1. Procédé de l'injection	16
II.2.2. Injection soufflage	17
II.2.3. Extrusion	17
II.2.4. Extrusion gonflage	18
II.2.5. Extrusion soufflage	19
II.2.6. L'expansion moulage	19
II.2.7. Thermoformage	19
II.2.8. Calandrage	20
II.2.9. Roto moulage	20
II.3. Moulage par injection	20
II.3.1. Description d'une presse a injection	21
II.3.2. Fonctionnement de la machine à injection plastiques	22
II.3.3. Composants d'une presse d'injection	22
II.3.4. Les caractéristiques d'une presse à injection	23
II.3.5. Les différentes presses d'injection	23
a) Presse horizontale	23
b) Presse verticale	23
c) Presse électrique	23
II.4. Différentes parties d'une presse à injection	24
II.5. Le choix d'une presse	27
II.6. Le cycle de moulage par injection	27
II.7. Les paramètre d'injection	28
II.7.1. Température de mise en œuvre	28
II.7.2. Pression dans l'empreinte	29
Conclusion	29

Chapitre III : Conception des Moule

III.1. Introduction	30
III.2. Conception D'un Moule Thermoplastique	30
III.3. Architecture Du Moule	30
III.3.1. Moule A Deux Plaques	31
III.3.2. Moule A Trois Plaques	31
III.3.3. Moule A Tiroir	31
III.3.4. Moule A Coquilles	32
III.3.5. Moule A Canaux Chauffant	32
III.4. Le Nombre Et La Disposition D'empreintes	33
III.4.1. Le Nombre D'empreintes	33
III.4.2. Disposition Des Empreintes Dans Le Plan De Joint	33
III.5. Matériaux Pour La Fabrication Des Moules	34
III.5.1. Généralités	34
III.5.2. Les Aciers Utilises	34
III.6. La Matière	35
III.7. Alimentation Du Moule	35
III.7.1. Généralités	35
A) Injection Dans Le Plan De Joint	35
B) Injection Perpendiculaire Au Plan De Joint	35
III.7.2. Point D'injection	35
III.7.3. Circulation De La Matière	36
A) Lignes De Soudure	36
B) Ecoulement De Matière	36
III.7.4. Remplissage Des Formes De Révolution	37
III.7.5. Canaux D'alimentation	37
A) Les Différents Modes D'alimentation	37
B) Composition D'un Système D'alimentation	38
III.8. L'éjection Des Pièces	39
III.9. Conception Des Pièces	39
III.10. La Machine	40
III.11. Thermique Du Moule	40
III.12. Dégazage Du Moule	40
III.13. Fixation Du Moule	41
III.13.1. Fixation Par Vis	41
III.13.2. Bridage	41
III.14. Autres fonctions assurées par le moule	41

III.15. Fabrication de moule	42
III.15.1. Usinage a grande vitesse (UGV)	42
III.15.2. Usinage par enlèvement de particules ou électroérosion	42
III.15.3. Forçage à froid	42
III.15.4. Electro-dépostions	43
III.16. Remplissage du moule	43
III.16.1. Organes constitutifs de la machine	43
III.16.2. Chauffage du filet	43
III.16.3. Système vis-piston	43
III.16.4. Clapet de vis	44
III.17. Cycle de moulage	44
Conclusion	45

Chapitre IV : Conception du moule Par CAO

Présentation du sujet

Dimensions de la pièce

IV. Introduction	46
IV.1. La CAO (conception assistée par ordinateur)	46
IV.1.1. Définition de la CAO	46
IV.1.2. Domaines de la CAO	46
IV.1.3. .Avantages de la CAO	46
IV.2. Application	47
a) Conception de la pièce moulée	47
b) analyse de la pièce à injecter	49
b.1) Analyse des épaisseurs	49
b.2) analyse préliminaire	49
b.3) analyse de contre-dépouille	50
b.4) analyse de dépouille	50
c) Conception du moule	52
c.1) partie mobile du moule	52
c.2) partie fixe du moule	53
c.3) Le moule	55
c.4) l'éjection de la pièce	57
c.5) Etude de mouvement	57
Conclusion	58

Chapitre V : Partie Calcul et vérification

V.I. Le choix de la machine	59
I.1) La capacité d'injection	59
a) La masse de la pièce	59
b) La masse de la moulée (M)	59
c) Volume injectable	59
d) Volume Moulée	60
e) Calcul course de dosage de la presse	60
I.2. La force de fermeture de la machine	60
I.2.1. La force de verrouillage	60
I.3. La puissance de plastification (C)	61
I.3.1. Le temps de cycle	61
I.3.2. Le temps de refroidissement	62
I.4. La distance entre colonnes	63
I.5. Epaisseur minimale du moule	63
V.II. Résistance des matériaux	64
II.1. Résistance du plan de joint au matage	64
II.1.1. : résistance du plan de joint	64
II.1.2. : partie fixe	65
II.1.3. : Partie mobile	66
Conclusion	66
Classification des défauts	67
Conclusion générale	71

LISTE DES FIGURES

Figure	Titre	page
Chapitre I		
Figure.I.1 :	Origine animale des plastiques.	4
Figure.I.2 :	Origine végétale des plastiques.	4
Figure.I.3 :	Transformation du Pétrole en Matières Plastiques.	4
Figure.I.4 :	Origine naturelle des plastiques.	5
Figure.I.5 :	Produits pétrochimiques à base des matières plastiques.	5
Figure.I.6 :	Evolution de la consommation des polymères	7
Figure.I.7 :	Répartition des marchés de la plasturgie	9
Figure.I.8 :	Unité constitutive du polyéthylène téréphtalate (PET)	11
Figure.I.9 :	Caractéristiques des matières premières PET	13
Figure.I.10 :	temps de refroidissement de PET	13
Figure.I.11 :	les propriétés de sabic pet BC212	14
Chapitre II		
Figure.II.1 :	Schéma du principe de mise en œuvre	16
Figure.II.2 :	Procédé d'injection.	17
Figure.II.3 :	Injection Soufflage	17
Figure.II.4 :	Extrusion	18
Figure.II.5 :	Extrusion gonflage	18
Figure.II.6 :	Extrusion soufflage	19
Figure.II.7 :	L'expansion moulage	19
Figure.II.8 :	Thermoformage	19
Figure.II.9 :	Système de calandrage.	20
Figure.II.10 :	Procédé de moulage par rotation.	20
Figure.II.11 :	Machine Husky injection plastique	21
Figure.II.12 :	Cylindre de plastification et moule.	21
Figure.II.13 :	Composants d'une presse d'injection	22
Figure.II.14 :	Dispositif d'une presse d'injection	24
Figure.II.15 :	Vis-Piston	25
Figure.II.16 :	Moule d'injection plastique	26
Figure.II.17 :	Cycle d'injection plastique	28
Figure.II.18 :	La pression dans l'empreinte sur un cycle de moulage	29

Chapitre III		
Figure.III.1 :	Exemple de moule simple à deux plaques.	31
Figure.III.2 :	Exemple de moule à trois plaques	31
Figure.III.3 :	Exemple de moule à tiroir.	31
Figure.III.4 :	Exemple de moule à coquilles.	32
Figure.III.5 :	Exemple de moule à canaux chauffant	32
Figure.III.6 :	Nombre d'empreintes en fonction de critères techniques et économiques.	33
Figure.III.7 :	Injection dans le plan de joint.	35
Figure.III.8 :	Injection perpendiculaire au plan de joint	35
Figure.III.9 :	centre de gravité.	36
Figure.III.10 :	équilibre des efforts	36
Figure.III.11 :	Lignes de soudure	36
Figure.III.12 :	Ecoulement de la matière.	36
Figure.III.13 :	Remplissage des formes révolution	37
Figure.III.14 :	Composition d'un système d'alimentation.	38
Figure.III.15 :	Event	40
Figure.III.16 :	Procédé de bridage	41
Figure.III.17 :	Procède de l'injection	43
Figure.III.18 :	Fonction du clapet	44
Figure.III.19 :	Cycle de moulage	45
Chapitre IV		
Figure.IV.1 :	La Pièce moulé (préforme pet)	48
Figure.IV.1.1 :	Cartographie des épaisseurs de la pièce	49
Figure.IV.1.2 :	analyse préliminaire	49
Figure.IV.1.3 :	Recherche de contre dépouilles de la pièce	50
Figure.IV.1.4 :	Résultat d'analyse de dépouille et de la pièce	51
Figure.IV.2 :	partie mobile du moule	53
Figure.IV.3 :	partie fixe du moule	54
Figure.IV.4 :	Le moule	55
Figure.IV.5 :	Les composantes du moule	56
Figure.IV.6 :	l'éjection de la pièce	57
Figure.IV.7 :	Etude de mouvement sur solidworks.	58

Chapitre V		
Figure.V.1 :	Préforme PET poids sur solidworks	59
Figure.V.2 :	Schémas d'un plateau d'une presse 225 T	63
Figure.V.3 :	Caractéristiques dimensionnelle de la presse 225T	63
Figure.V.4 :	Porte empreinte fixe.	65

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Titre	page
Chapitre I		
Tableau.I.1 :	Domaine d'application des polymères	8
Chapitre III		
Tableau.III.1 :	Disposition des empreintes dans le plan de joint	33
Tableau.III.2 :	Choix des matériaux	34
Chapitre V		
Tableau.V.1 :	Capacité d'injection	59
Tableau.V.2 :	La pression d'injection (Tonnes/cm ²)	61
Tableau.V.3 :	Caractéristiques techniques de la presse 225T.	63
Tableau.V.4 :	valeurs indicatives du coefficient de sécurité	64

LISTE DES SYMBOLES

CAO : conception assistée par ordinateur

FAO : fabrication assistée par ordinateur

PE : polyéthylène

PET : polyéthylène téréphtalate

PS : polystyrène

PVC : polychlorure de vinyle

PP : Polypropylène

ABS : Acrylonitrile Butadiène Styrène

PEHD : Polyéthylène haute densité

M : La masse de la moulée

Vi : Volume injectable

F : Force de fermeture du moule

K : Coefficient de sécurité

FV : force de verrouillage

P : la pression moyenne d'injection

S : la surface projeté

C : puissance de plastification

P : poids de la pièce moulée

Tc : temps de cycle

Tr : temps de refroidissement

Ti : temps d'injection (remplissage)

Tm : temps de maintien pression

Te : temps d'éjection

To : temps d'ouverture moule

Tf : temps de fermeture moule

Tr : temps de refroidissement [s]

e : épaisseur de paroi [m]

α_{eff} : coefficient de diffusion thermique [$10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$]

Tm : température de la matière [°C]

Tmo : température moyenne de la paroi du moule [°C] (Valeur moyenne de la température Minimale et maximale au cours d'un Cycle par injection)

Te : température moyenne de démoulage [°C]

F : Force de fermeture du moule

Re : la limite élastique du matériau.

Spj : surface du plan de joint

e : épaisseur de l'élément.

l : longueur de l'élément.

S : surface de l'élément.

σ : Contrainte normale

R_{pe} : Contrainte pratique à l'extension

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Aujourd'hui, les pièces thermoplastiques occupent une place de plus en plus importante dans notre quotidien, selon qu'il s'agisse d'une automobile, d'un meuble ou d'un appareil électroménager... Dans ces domaines très segmentés et concurrentiels, les changements de conception sont devenus si fréquents et obligatoires. Les plastiques sont en concurrence avec d'autres matériaux traditionnels dans de nombreux domaines, tels que l'emballage, la construction, l'industrie automobile et d'autres secteurs industriels. Les plastiques utilisent divers matériaux polymères synthétiques ou synthétiques. Plus de critères gouvernent leur sélection que ceux qui caractérisent les autres matériaux.

Parmi ces critères, il est possible de citer :

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

Le monde d'aujourd'hui vit une situation de concurrence, cela nous mène à produire au plus bas coût possible et dans un temps réduit. Pour cela, on recherche des méthodes plus réalistes et plus adaptées. La maîtrise des outils technologiques actuels est nécessaire, comme l'utilisation des machines à commande numérique, les logiciels de conception et de fabrication.

Les logiciels de CAO aident les concepteurs à développer des moules qui sont plus précis, font gagner de temps et améliorent la rentabilité. Avec ces logiciels, on peut faire plusieurs fonctions et avoir un accès à une large gamme d'outils de conception de moules automatisés.

Nous avons confié dans le cadre de l'exécution de notre mémoire de fin d'études, la conception et la fabrication d'un moule d'injection plastique pour un Préforme Pet. Cette dernière étant en plastique et obtenue par le procédé d'injection. L'objectif de cette étude est de cerner les matières plastiques et le procédé de mise en œuvre par injection, puis de concevoir les pièces, les empreintes et le moule en utilisant un logiciel de conception CAO (SolidWorks).

Nous avons organisé notre travail en cinq chapitres afin de bien le mener. Après une introduction générale sur le sujet, vient le chapitre I qui présente l'étude des matières plastiques, puis les procédés de mise en œuvre de ces dernières et généralités sur le moulage par injection sont présentés dans le deuxième chapitre.

INTRODUCTION GENERALE

Au chapitre III, nous avons traité la conception générale des moules, chapitre IV, est présenté la partie conception et fabrication assistée par ordinateur (CAO), ensuite nous aborderons la partie calcul et vérification dans le cinquième chapitre.

Enfin, nous terminerons par conclusion générale.

Présentation de l'Entreprise

AQUA SIM, SPA

Secteur d'activité : Nourriture & Boissons

Adresse : Route de Attatba

BP 75

09210 Mouzaia Blida

L'Entreprise a été fondée en 1990 par Monsieur TAIEB EZZRAIMI Abdelkader en tant que petite société familiale dans le domaine de la Minoterie-Semoulerie où elle a fait office de pionnière en sa qualité de première société privée dans cette filière d'activité en Algérie.



D'une dimension familiale modeste à sa création, la société SIM a connu dès ses premières années d'activité une croissance active et soutenue pour s'ériger actuellement en un groupe Industriel, commercial et financier d'une envergure nationale largement consacrée.

Outre l'extension et le développement de sa première filiale dans L'Agro-Alimentaire ; le Groupe SIM-SPA a élargi ses activités vers d'autres créneaux par la création de plusieurs filiales.

- **Secteur Industriel**

- Sous moulin.

- L'une des entreprises d'eau minérale, de jus de fruits, d'aliments en conserve et de boissons.

- **Activités**

- **Sirops**

- **Sodas, colas et boissons rafraîchissantes sans alcool (BRSA)**

- Boissons gazeuses amères au citron, à l'orange ou à la limette.
- Limonades.

- **Eaux**

- Eaux minérales naturelles.
- Eaux minérales aromatisées.

- **Secteur de la santé :**

- Une clinique Médico-chirurgicale.

- **Secteur de la construction :**
 - Une entreprise dédiée à la promotion immobilière et à la gestion d'infrastructures sportives et de détente.

- **Secteur de l'enseignement de la formation :**
 - Un complexe scolaire de différents paliers.
 - Deux instituts de management.

- Pour l'ensemble du groupe l'investissement existant est évalué à 16.000.000.000 Dinars tandis que les investissements actuels en cours d'engagement sont de 3.700.000.000 Dinars.
- De 1996 à 2013, le capital social est passé de 8.208.000 DA à 3.940.000.000 Dinars.
- Participation et partenariat du groupe
- Société mixte (Sonatrach-Sonelgaz-sim) dédiée au développement des énergies renouvelables.
- Société mixte Algéro-Italienne dédiée à la fabrication d'équipement et d'accessoires de meunerie.
- Société mixte Algéro-Française dédiée à l'aliment de Bétail.
- Effectif global du groupe : 2.200 agents.
- Dotée d'un capital social de 5.665.000.000 DA, LA SEMOULERIE INDUSTRIELLE DE LA MITIDJA (Filiale agroalimentaire) est située à la Zone industrielle d'Aïn Romana Commune de Mouzaia. Elle est érigée sur un terrain de 120.000 m² dont 70.000 m² couverts et emploie 900 personnes dont 90 cadres et 555 ouvriers d'exécution.
- La capacité de trituration est de 25 000 Q/Jour, répartis comme suit :
- Semoulerie (blé dur) : 15.000 Q/Jour.
- Minoterie (blé tendre) : 10.000 Q/Jour.
- Pâtes et couscous : 6.500 Q/Jour.
- Les sites d'Aïn Romana et Aïn Defla concourent respectivement à la production à hauteur de 22.500 Q/Jour et 2.500 Q/Jour.
- La capacité de production de l'usine se présente comme suit :
- Semoule et farine : 2.500 tonnes/jour.
- Pâtes alimentaires : 400 tonnes/jour.
- Couscous : 155 tonnes/jour.
- Aliments du bétail : 600 tonnes/jour.
- Cette production est assurée par :
- 3 semouleries.
- 3 minoteries.
- 4 lignes de production de pâtes courtes.
- 3 lignes de production de pâtes longues.
- 6 lignes de production de couscous.
- 1 unité d'aliments du bétail.
- 1 ensemble de silos de stockage de 85.000 tonnes.
- Les produits SIM conformes aux normes ISO 9001-2000 et à ceux de HACCP (semoule, farine, pâtes alimentaires, couscous) sont aujourd'hui vendus en France, Canada, Soudan, Niger, Mali, Tchad, Egypte, Sénégal, Libye.

Chapitre I

Généralités sur la matière plastique

I.1. Introduction

Les polymères, communément appelés "matériaux plastiques", sont inextricablement liés à notre environnement et à nos vies réelles. Ils se sont imposés dans tous les domaines de notre activité : des objets les plus banals aux applications techniques complexes, en passant par leur utilisation dans l'hygiène ou l'alimentaire.

Majoritairement synthétiques et parfois naturelles, elles doivent cette croissance à leur large éventail de propriétés, dures, souples ou élastiques, transparentes ou opaques, isolantes et parfois conductrices, plus ou moins résistantes aux conditions agressives utilisées, toujours légères.

Les polymères se retrouvent dans les petits objets du quotidien dans les maisons, les appareils électroménagers et aussi comme matériaux de construction, revêtements et peintures, emballages, pneus, fibres textiles, produits médicaux et chirurgicaux, prothèses, produits d'hygiène, produits de loisirs, composants de structure pour véhicules de transport, équipements électriques, circuits électroniques.

Ils pénètrent également dans les aliments, les cosmétiques, etc. Les propriétés d'un polymère dépendent avant tout des monomères dont il est issu. Un monomère peut produire deux polymères avec des propriétés mécaniques.

I.2. Historique

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

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

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

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

I.3. Définition des matières plastiques

Une matière plastique ou familièrement un plastique désigne un mélange contenant une matière de base organique naturelle ou synthétique qui est susceptible d'être moulée, façonnée, en général à chaud et sous pression, afin de conduire à un semi-produit ou à un objet fini. Le mot "plastique" dérive de malléabilité ou de plasticité. Les matières plastiques couvrent une gamme très étendue de matériaux polymères synthétiques ou artificiels. [1]

I.4. L'origine du plastique

A l'origine, la plupart des matières plastiques provenaient de résines dérivées de matières végétales, comme la cellulose (extraite du coton), le furfural (extrait de céréales), les huiles (obtenues à partir de graines), les dérivés d'amidon ou le charbon, La caséine (issue du lait) était l'une des seules matières non végétales utilisées. [3]

1. Origine animale : La figure représente les matières plastiques d'origine animale



Figure.I.1 : Origine animale des plastiques.

2. Origine végétale : La figure I-2 représente les matières plastiques d'origine végétale.

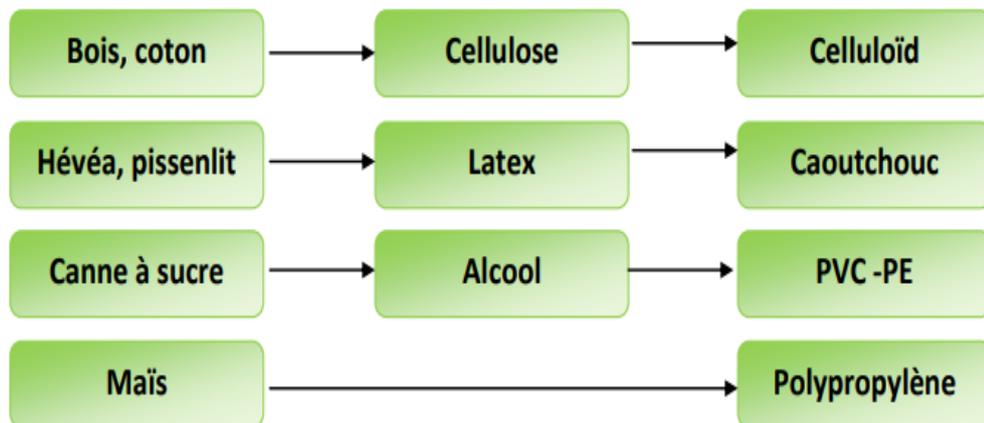


Figure.I.2 : Origine végétale des plastiques.

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



Figure.I.3 : Transformation du Pétrole en Matières Plastiques.

3. Origine naturelle : (Représentant 90% de la production des matières plastiques).

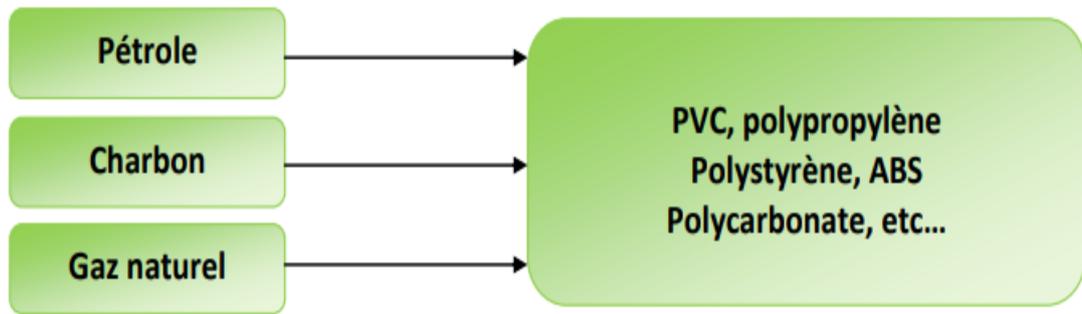


Figure.I.4 : Origine naturelle des plastiques.

➤ Les trois origines essentielles des matières plastiques sont :

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

➤ Par la pétrochimie, on obtient :

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

C'est à partir des naphtas que l'on extrait les produits de base des matières plastiques voire la figure ci-dessus

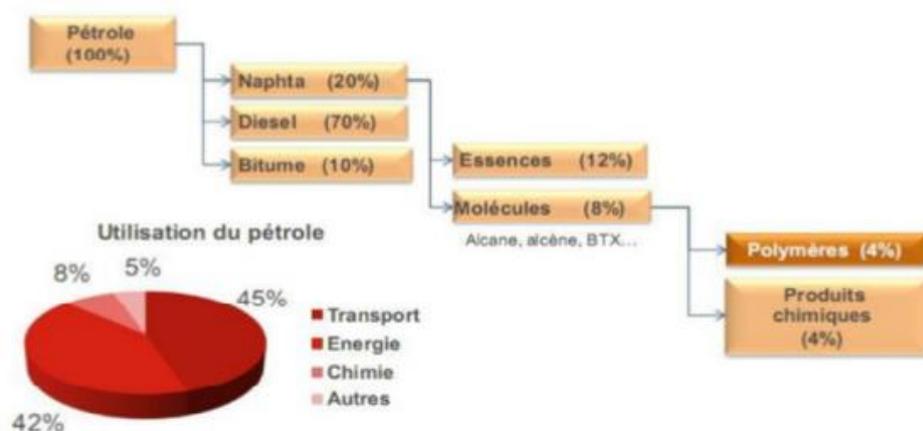


Figure.I.5 : Produits pétrochimiques à base des matières plastiques.

I.5. Les Différents Groupes De Matières Plastiques

Il existe trois grandes familles de plastique : les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères. Elles ont toutes trois des propriétés différentes.

I.5.1. Les Thermoplastiques (Les Thermoplastes)

Les thermoplastiques se ramollissent sous l'effet de la chaleur. Ils deviennent souples, malléables et durcissent à nouveau quand on les refroidit. Comme cette transformation est réversible, ces matériaux conservent leurs propriétés et ils sont facilement recyclables. La température d'utilisation est inférieure à 100°C.

I.5.2. Les Thermodurcissables (Les Duroplastes)

Les thermodurcissables sont des plastiques qui prennent une forme définitive au premier refroidissement. La réversibilité de forme est généralement impossible car ils ne se ramollissent plus une fois moulés. Mais dans certains cas il peut y avoir ramollissement mais sans fusion. Sous de très fortes températures, ils se dégradent et brûlent (carbonisation).

I.5.3. Les Elastomères

Ces polymères présentent les mêmes qualités élastiques que le caoutchouc. Un élastomère au repos est constitué de longues chaînes moléculaires repliées sur elles-mêmes.

A température ordinaire, les macromolécules forment un réseau déformable. Elles peuvent sous l'effet d'une force de traction extérieure se déplier. Elles présentent alors un allongement considérable. Ce phénomène appelé haute élasticité est réversible. Sitôt relâché, le produit reprend ses dimensions primitives. [1]

Grâce aux propriétés des différents plastiques, la diversité des demandes de l'utilisateur est satisfaite. Ces trois grandes familles regroupent donc une multitude de plastiques différents selon les caractéristiques attendues.

I.6. Propriétés des matières plastiques

Les propriétés spécifiques des matières plastiques vont d'une matière à l'autre. Les principales propriétés sont : [2]

I. 6.1. La Légèreté

- La densité de la plupart des matières plastiques est comprise entre 0,9 et 1,8. Le plus souvent 1.

I.6.2. La résistance mécanique

- Elle est variable suivant la composition chimique.
- Les pièces plastiques sont plus légères que les pièces métalliques assurant les mêmes fonctions.

I.6.3. La transparence

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

I.6.4. L'inaltérabilité

- Ils résistent aux agressions extérieures et à de nombreux produits chimiques.
- Certains demandent une protection contre les ultra-violets.

I.6.5. L'esthétique

- Les couleurs sont variées et les possibilités de mise en œuvre nombreuses. L'aspect lisse et fini du matériau confère à l'objet une impression "design".

I.6.6. Isolation

- Ce sont de bons isolants électriques, thermiques et acoustiques.

I.6.7. L'imperméabilité

- Ils assurent une bonne barrière aux gaz et à l'eau.

I.6.8. La glisse

- Ils possèdent le plus souvent un faible coefficient de frottement.

I.6.9. L'entretien

- Ils sont d'un entretien facile. - Ils ne nécessitent aucun traitement de surface. - Ils résistent à la corrosion.

I.6.10. L'asepsie naturelle

- Les matières plastiques transformées à des températures supérieures à 150° C apportent l'asepsie aux Emballages qu'elles permettent de fabriquer.

I.7. Les applications du plastique

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

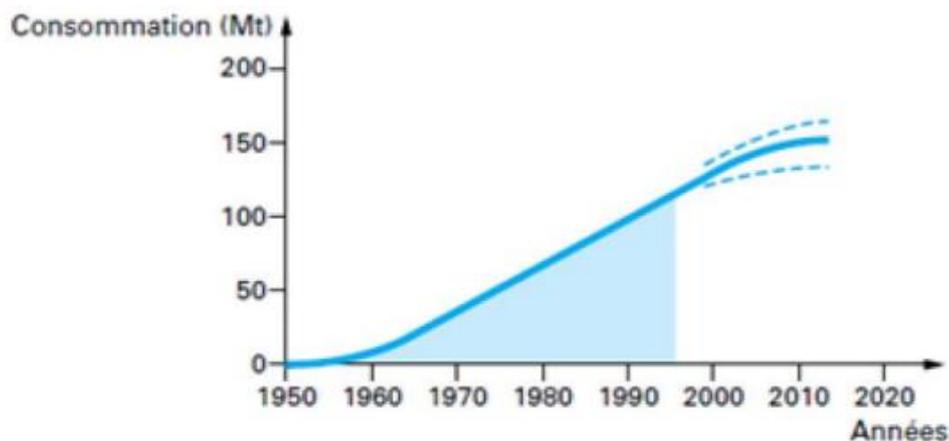


Figure.I.6 : Evolution de la consommation des polymères [4]

Domaines	Polymères	Applications
Automobile	PP PEHD PVC	- Coussin, volant, pare-choc - Filtre, batterie, climatiseur - Réservoir d'essence - Garniture interne
Electricité et Electronique	Polystères Epoxydes Phénolique ABS, PP, PS	- Isolants d'appareillages - Circuits imprimés - Cartères d'appareil
Emballage Et conditionnement	PEHD ABS PVC	- Sac cabas, sac poubelle, articles injectés - Couvercles, boîtages - bouteilles, feuilles, films
Santé	PVC PEHD ABS	- masque pour oxygénothérapie prothèse orthopédique - Paroi de rein artificiel
Bâtiments et travaux publics	PVC rigide PS PEHD	- Canalisation d'eau, raccord pour tubes Décoration lumière - Tuyaux et profils, tubes électriques
agriculture	PVC PE	- ensilage, bâchage - Poterie florale et cagette - Drainage, arrosage

Tableau.I.1 : domaine d'application des polymères. [4]

C'est un composant plus léger, plus modelable, plus durable. C'est aussi un élément que l'on trouve de plus en plus dans notre quotidien. De plus, le plastique est facile à produire. En effet, contrairement au carbone, au cuivre etc., le plastique, à la sortie des usines de production, est prêt à être façonné.

Le plastique est donc réellement utile et présent dans notre quotidien.

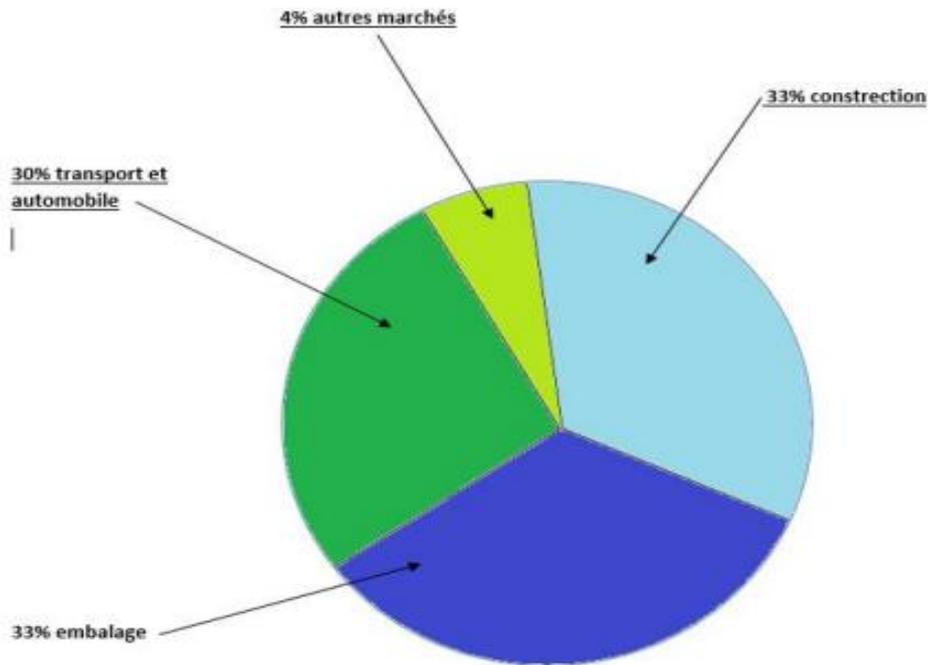


Figure.I.7 : Répartition des marchés de la plasturgie [5]

I.8. Les Thermoplastiques

Les thermoplastiques ramollissent et deviennent pâteux sous l'effet de la chaleur. Ils durcissent à nouveau quand on les refroidit. Tant que la température de décomposition n'est pas atteinte, cette transformation est réversible et peut être réalisée de façon répétée. Ces matériaux sont caractérisés par la présence d'un bain de fusion.

- **Thermoplastiques amorphes**

À température normale, les thermoplastiques amorphes se trouvent en phase d'élasticité énergétique, c'est-à-dire à l'état vitreux. Lorsque la température augmente, la force de liaison entre les chaînes moléculaires diminue jusqu'à atteindre la température de transition vitreuse. Ce ramollissement est associé à une baisse notable de la résistance mécanique. Si la température continue d'augmenter, le plastique se liquéfie et, après dépassement de la température de fluage, se transforme en un bain de fusion liquide visqueux. Une augmentation supplémentaire de la température conduit finalement à la décomposition, lorsque la température de décomposition est atteinte.

- **Thermoplastiques semi-cristallins**

La plage de température de l'état vitreux des thermoplastiques semi-cristallins est supérieure à celle des thermoplastiques amorphes. En outre, en raison de leur part cristalline, leurs propriétés de résistance diminuent moins vite lorsque la température de transition vitreuse est atteinte. Au-dessus de la transition vitreuse, les plastiques passent dans un état viscoplastique et ne deviennent liquides visqueux qu'au-delà de la température de fusion des

zones cristallines. Une augmentation supplémentaire de la température conduit enfin à la décomposition, lorsque la température de décomposition est atteinte. [6]

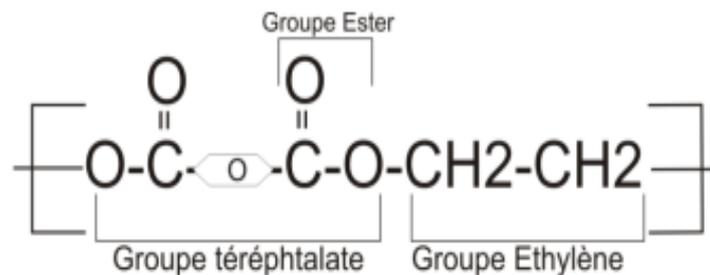
I.9. Le polyéthylène téréphtalate (PET)

PET est un polyester, qui est une abréviation de Polyéthylène téréphtalate.

Le polyéthylène téréphtalate est un plastique. Chimiquement, c'est le polymère obtenu par la polycondensation de l'acide téréphtalate et de l'éthylène glycol. Pour simplifier, on peut décrire le PET comme un pétrole affiné. L'éthylène glycol et les connexions téréphtalate sont exploités du pétrole qui a été partiellement transformé avec l'oxygène, pour la fabrication de PET, ces connexions sont liées à de longues chaînes de molécules.

Le matériau PET est généralement utilisé pour le moulage par injection pour préformes de bouteilles en plastique, telles que les bouteilles d'eau minérale, les bouteilles de coca-cola, les bouteilles de jus de fruit, etc. [8]

- **Linéaire** : Le PET à une structure interne homogène orienté dans le même sens.
- **Thermoplastique** : Qui deviennent malléables quand ils sont chauffés, se qui permet leur mise en œuvre.
- **Amorphe ou cristallin** : Une bonne propriété barrière (CO₂, O₂, H₂O).
- **Homo ou copolymère** : Les polymères peuvent être fabriqué à partir d'un seul type de monomères (On parle alors d'homo polymères). Ou bien à partir de plusieurs types de monomères (On parle alors de copolymères).



Le polyéthylène téréphtalate [O-(CH₂)₂-O-CO-PPH-CO] N (Molécule de base) [8]

I.9.1. La définition du PET

Le PET (Polyéthylène Téréphtalate) est une matière plastique du groupe des polyesters. Le PET est produit à 100% à partir du pétrole. Près de 1,9 kg de pétrole brut donnent environ 1 kg de PET Très léger.

Il est incassable et recyclable à 100%. Grâce à ses propriétés exceptionnelles, les possibilités d'utilisation du PET.

Sont pratiquement illimitées. De ce fait, la croissance du plastique PET, ces dernières années, a atteint des taux incroyables. La production annuelle mondiale de bouteilles en PET atteint quelques 120 milliards de cols. [9]

I.9.2. Historique sur le PET

Le PET a été synthétisé en 1941 par British Petroleum. Les premières productions industrielles et applications commerciales ont débutés dans les années 1950. La FDA (Food and Drug Administration américaine) l'autorise en 1976 pour le conditionnement des boissons. Les premières souffleuses avec bi-orientation pour le PET apparaissent à la fin des années 1970. Les années 1980 voient le début de l'essor commercial du PET pour le conditionnement des boissons, d'abord carbonatées puis pour les eaux minérales. Les années 1990 voient le développement de nouvelles applications (jus de fruits, remplissage à chaud, flacons plats, bière...). Les cadences maximales des souffleuses passent de 3 600 bouteilles par heure en 1980 à plus de 70 000 aujourd'hui. [10]

I.9.3. Synthèse du PET

Le PET est un thermoplastique semi-cristallin de la famille des polyesters saturés. Il est obtenu par polycondensation à partir d'acide téréphtalique et d'éthylène glycol. La figure I.8 illustre sa formule chimique. [11]

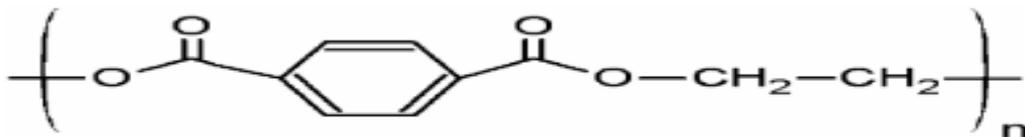


Figure.I.8 : Unité constitutive du polyéthylène téréphtalate (PET)

Les composants du PET :

- **Les composants Diacide :** L'acide téréphtalique (TPA) ou le diméthyle / téréphtalate (DMT).
- **Les composants Diol :**
 - (EG) l'éthylène glycol.
 - Les acides et les Diol sont tous les deux issues du pétrole.
- **Le di éthylène glycol (DEG)**
- **Le groupe vinil-ester (VEG)**

I.9.4. Caractéristiques des matières premières PET :

- Excellente transparence supérieure à 90%, excellente brillance de la surface et aspect vitreux.
- bon arôme et étanchéité à l'air.
- Excellente résistance chimique. Il est presque résistant à tous les médicaments organiques.
- Bonne hygiène, approuvé par le PDA (le plus grand laboratoire de chimie aux États-Unis).

- Aucun gaz toxique ne se produira lors de la combustion.
- Excellentes propriétés de résistance et peuvent être encore améliorées par l'étirement biaxial.

I.9.5. Fabrication du PET

a) Estérification :

Formation des monomères.

Etape 1 (estérification) : estérification directe (utilisation du TPA) : transe-estérification (utilisation du DMT).

b) Polycondensation :

Assemblage des monomères en phase visqueuse, environ 100 unités.

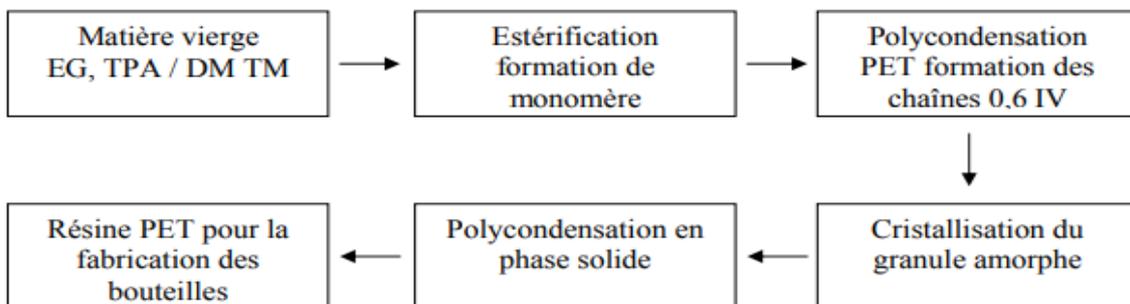
- **Etape 2 (polycondensation ou polymérisation),** PET monomère PET + EG [la polycondensation et poursuivie jusqu'à l'obtention d'une viscosité ~ 0,6 (environ 100 unités)]
 - La solution devenant visqueuse, l'extraction d'EG est rendue difficile.
 - La température étant importante, la génération d'AA augmente (similairement au processus d'injection).
 - Le PET visqueux est extrudé, refroidi et coupé pour donner des granulés de PET amorphe.

c) Enoncé de solide :

Continuation de la polycondensation en phase solide (augmentation de 100 à 140 unités environ)

- **Etape 3 (polycondensation en phase solide) –**énoncé de solide est généralement faite entre 180°C et 240°C pendant 6 à 8 heures.

La fabrication du PET peut être représentée par l'organigramme suivant :



I.9.6. Domaine d'utilisation du PET

Le PET s'est d'abord développé dans le domaine du textile (fils et fibres) et du film (emballage, arts graphiques, photos, audio et vidéocassettes), puis dans les fils industriels (bandes transporteuses, renforts pour pneumatiques, tissus pour sérigraphie) et aujourd'hui, de plus en plus, dans les corps creux, grâce à la parfaite maîtrise de la cristallisation

(cinétique et morphologie cristalline) qui permet de concilier transparence et propriétés thermomécaniques [12]

- ✓ Bouteilles. -Rembourrage de peluches, de coussins.
- ✓ Fibre textile pour la confection de vêtements (notamment à la base de pet recyclé).
- ✓ Emballage résistant au four.
- ✓ Revêtement ajouté sur le papier aluminium pour éviter le contact avec les aliments.
- ✓ Métalliser lunette d'observation des éclipses de soleil.
- ✓ Films transparents à bas coût pour les applications d'optique (écran LCD, instruments).
- ✓ Emballage jetable de toute sorte (boîtes pour salade, plateau de présentation, etc....)
- ✓ Plastie ligamentaire et chirurgie reconstructrice.

Polyéthylène téréphtalate				PET	
Famille : Polyesters	Amorphe S/cristallin	Transparent Opaque	Densité : 1,35	Retrait : 0,5 à 1,8 %	
Étuvage : Dessiccateur obligatoire Durée : 4 h T° : 140 °C			Prix (kg) : 2 à 4 €		
			Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,7 m/s		
T° d'injection : 270 à 300 °C		T° outillage : Produit amorphe : 20 °C Produit semi-cristallin : de 80 à 140 °C		T° veille : 220 °C	
Catégorie ISO 58 000 : Am 4/Cr 3		T° démoulage : Appliquer les recommandations du fabricant		KΔV amorphe : 0,90 KΔV cristallin : 0,81	
T° / Produits de dégradation : 270 °C / Faiblement irritants					

Figure.I.9 : Caractéristiques des matières premières PET [23].

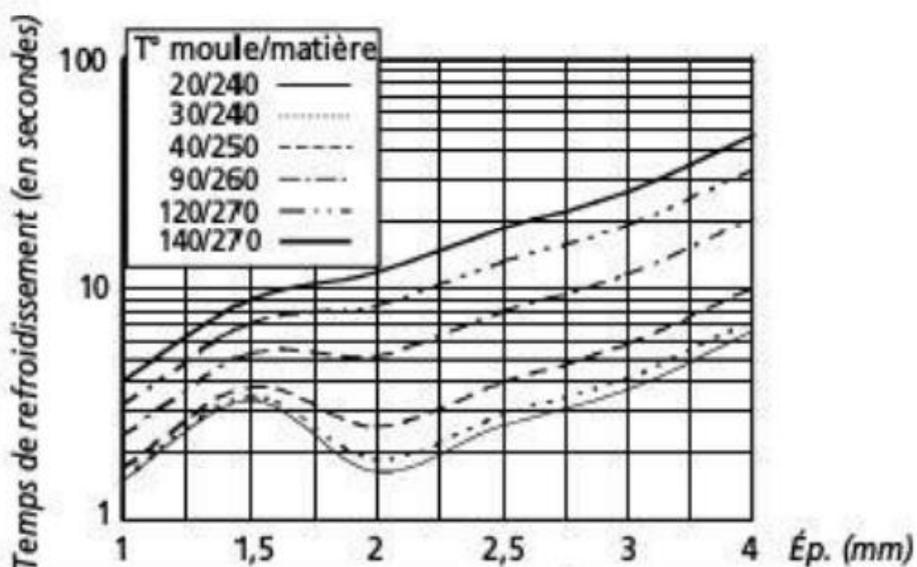


Figure.I.10 : temps de refroidissement de PET [23]

I.10. Coloration des matières plastiques

Les matières plastiques sont colorées à différents stades de leur élaboration suivant la couleur demandé 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).
- Les résines naturelles claires sont colorées claire ou pastel (jaune, Orange).
- Colorants : 11 existe deux types de colorant.

I.10.1. 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.10.2. 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.11. SABIC PET BC212

Le BC212 est un polymère thermoplastique cristallin de poids moléculaire élevé fabriqué par un processus continu de polymérisation en phase fondue suivi d'une polymérisation à l'état solide. BC212 est un PET de qualité bouteille spécialement formulé, caractérisé par une I.V élevée et une faible teneur en acétaldéhyde. La haute I.V. confère de bonnes propriétés mécaniques ; haute résistance à l'éclatement et réduction de la distension de la bouteille après le remplissage. [13]

PROPERTIES	TYPICAL VALUES	UNITS	TEST METHODS
PHYSICAL PROPERTIES			
Intrinsic Viscosity ²⁾	0.84 ± 0.02	dl/g	SABIC method
DEG Content	<1.5	Wt. %	SABIC method
Crystalline Density	<1390	kg/m ³	SABIC method
Moisture Content ¹⁾	<0.35	Wt. %	SABIC method
POLYMER PROPERTIES			
Acetaldehyde	<1	ppm	SABIC method
Color (L)	89 ± 4.0	L-value	IRC 0051
Color (b)	-1.5 ± 2.0	b-value	IRC 0051
Dust Content	<0.01	Wt. %	SABIC method
Bulk Density	850 ± 10	kg/m ³	ASTM D1895

Figure.I.11 : les propriétés de sabic pet BC212 [13]

Conclusion

À l'heure actuelle, le plastique est l'un des matériaux les plus importants dans le domaine de la plasturgie et revêt une grande importance dans tous les domaines en raison de ses propriétés physiques et mécaniques.

Dans ce chapitre, nous concluons que les plastiques sont des matériaux largement utilisés dans divers domaines, grâce à leurs propriétés (physiques, chimiques et mécaniques) correspondant à différentes exigences. De plus, cela nous permet de différencier les différents types de plastiques.

Chapitre II

Procédés de Mise en œuvre

II.1. Introduction

Depuis longtemps dans l'industrie, les matériaux organiques, principalement basés sur la chimie du carbone, ont été utilisés dans la construction de pièces dans plusieurs domaines. Mais le moulage des polymères est différent des autres matériaux anciens (fer, cuivre, acier...), il existe différentes méthodes et techniques pour mouler ce polymère. L'injection plastique, également appelée moulage par injection, est un procédé utilisé pour mettre en œuvre des matériaux thermo formables, notamment des matériaux thermoplastiques.

De la petite à la grande série, cela permet d'obtenir des pièces de formes simples ou complexes avec un minimum de manipulations.

La plupart des pièces thermoplastiques sont fabriquées avec une machine d'injection plastique :

La matière plastique est ramollie, injectée dans un moule, puis refroidie. Les principaux procédés industriels de fabrication sont : le moulage par injection, le moulage par injection soufflage, l'extrusion, le thermoformage, le calandrage, le roto moulage, etc.

La mise en œuvre

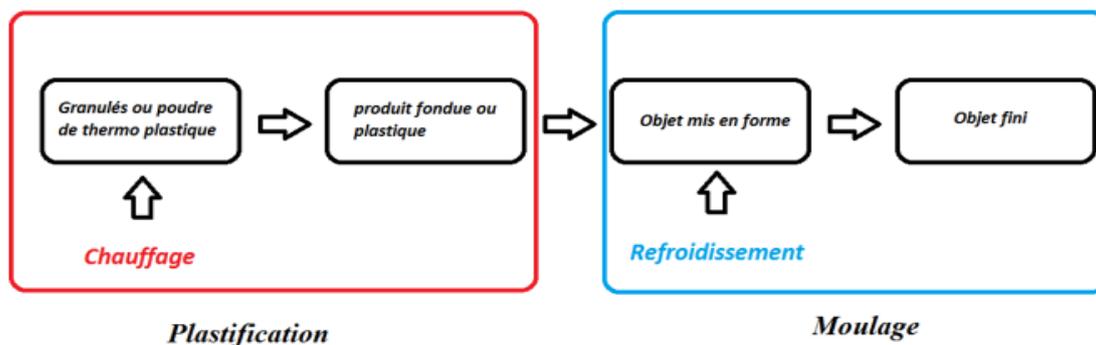


Figure.II.1: Schéma du Principe de mise en œuvre

II.2. 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 :

II.2.1. Procédé de l'injection

La matière plastique sous forme de granulés, est versée dans une trémie pour alimenter une vis sans fin logée dans un tube chauffé. Elle y est comprimée, malaxée et chauffée. Ce traitement mécanique et thermique fournit une pâte fondante et homogène qui est poussée par la vis en rotation vers un orifice. La matière expulsée sous pression par la vis d'injection à travers ce trou vient remplir un moule fermé et refroidi. Au contact des parois froides, elle prend la forme du moule et se solidifie. Le moule s'ouvre ensuite pour faire sortir la pièce. Pour changer la forme de la pièce, il faut changer le moule [1]

Ce procédé permet une transformation en discontinu des thermoplastiques. On obtient après démoulage des produits finis ou semi-finis de formes complexes en une seule opération. C'est une méthode de production très rapide pour produire des objets en très grande quantité. La technique de fabrication est fréquente pour fabriquer des objets moulés de qualité, parfois de forme compliquée dans le domaine de l'automobile, des jouets et de l'électronique. On peut réaliser des objets très volumineux, par contre, il n'est pas possible de faire des parois supérieures à 6 mm. Les préformes de bouteille d'eau minérale qui ne peuvent pas être réalisées par extrusion sont fabriquées par cette technique d'injection.

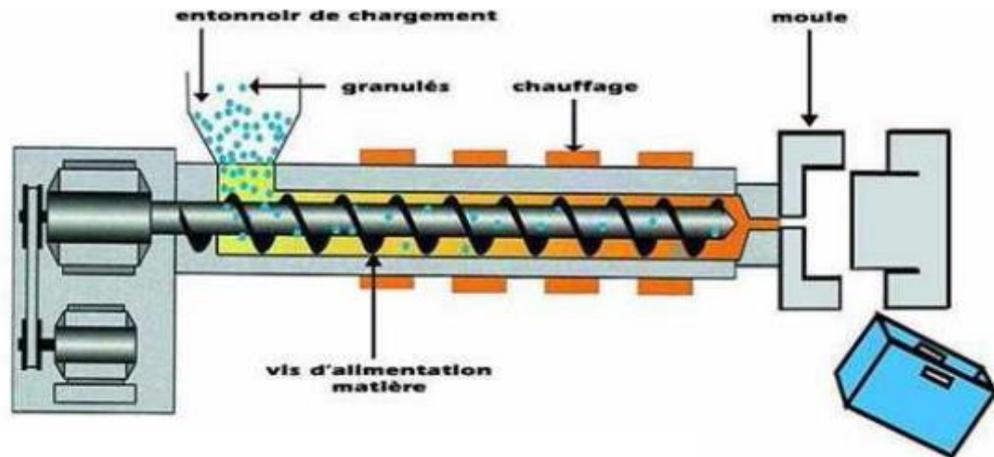


Figure.II.2: Procédé d'injection.

II.2.2. Injection soufflage

Ce procédé consiste à combiner la technique d'injection avec celle du soufflage. La matière est injectée pour former une (préforme) qui peut intégrer le vissage final de la pièce. La préforme peut être stockée, transportée ou directement réchauffée pour être ensuite soufflée à la forme voulue. L'éprouvette est alors enfermée dans un moule de soufflage en deux demi-coquilles ayant la forme désirée. Une extrémité de la préforme est pincée. De l'air comprimé (le plus souvent) est ensuite injecté dans la cavité par l'orifice de la préforme afin de plaquer la matière contre l'empreinte refroidie et figer la pièce dans sa forme finale [1]

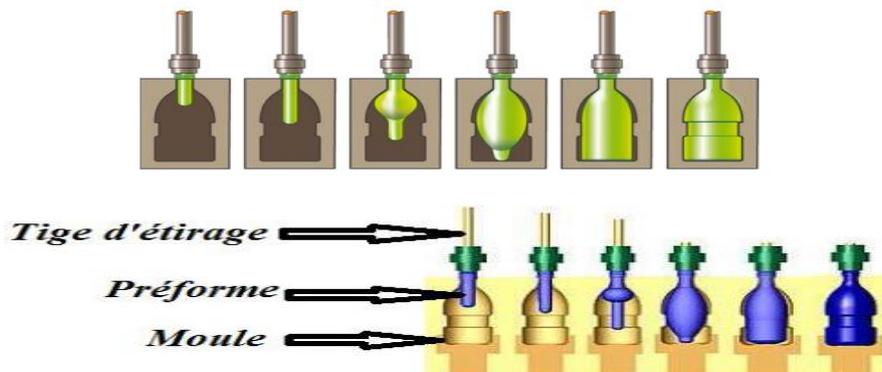


Figure.II.3: Injection Soufflage

II.2.3. Extrusion

Ce procédé de mise en œuvre en continu permet de transformer les poudres et granulés en tubes ou gaines, profilés, films ou plaques dont la longueur n'est pas limitée.

On introduit la matière dans un cylindre chauffant à l'intérieur duquel une vis sans fin la pousse. En avançant, la matière fond, se comprime, puis passe à travers une filière dont la forme est celle du produit à fabriquer.

Celui-ci est ensuite éventuellement traité pour acquérir certaines propriétés, puis refroidi. En utilisant plusieurs machines conjointement, on réalise des produits constitués de différentes matières sous forme de couches. Cette Co-extrusion permet de combiner les propriétés de plusieurs matériaux. L'extrusion est également employée pour le revêtement des fils et câbles électriques. L'extrusion est un procédé de fabrication à haute cadence, peu coûteux et qui permet d'obtenir des formes très diverses.

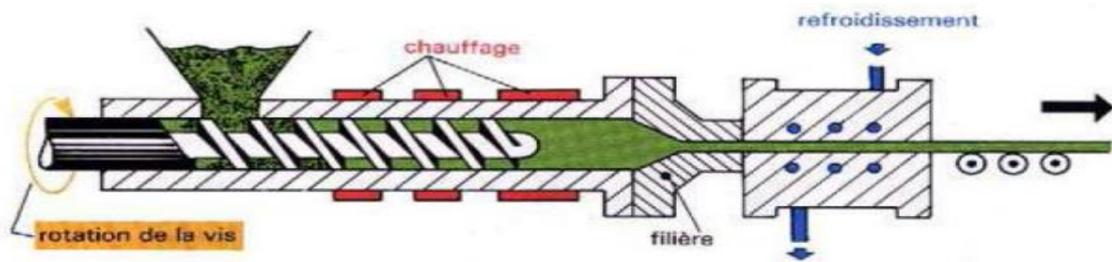


Figure.II.4: Extrusion [4]

II.2.4. 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. 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 [14]

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

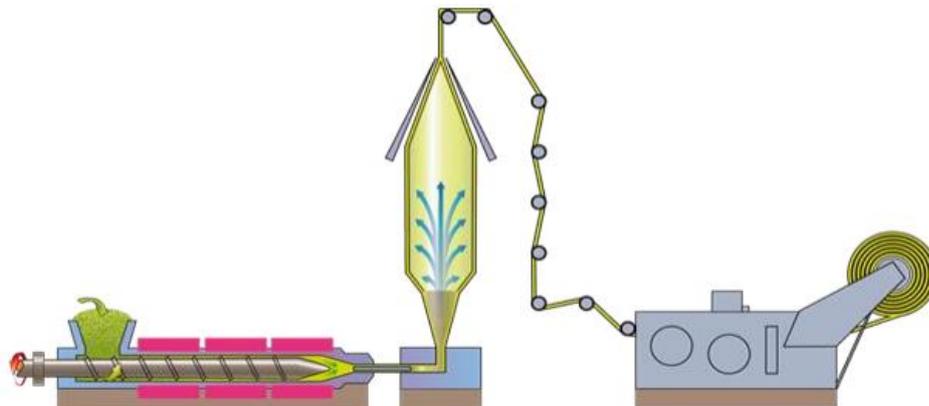


Figure.II.5: Extrusion gonflage

II.2.5. Extrusion soufflage

Cette technique permet de préparer des corps creux sans utiliser de moule pour réaliser la forme intérieure. L'extrudeuse, généralement munie d'une tête d'équerre produit la paraison. Cette paraison est transférée dans un moule. A la fermeture du moule, l'une de ses extrémités se soude sur elle-même et l'autre s'appuie sur un dispositif de soufflage qui injecte de l'air comprimé dans la paraison et la plaque sur les parois du moule où elle vient se refroidir. [15]

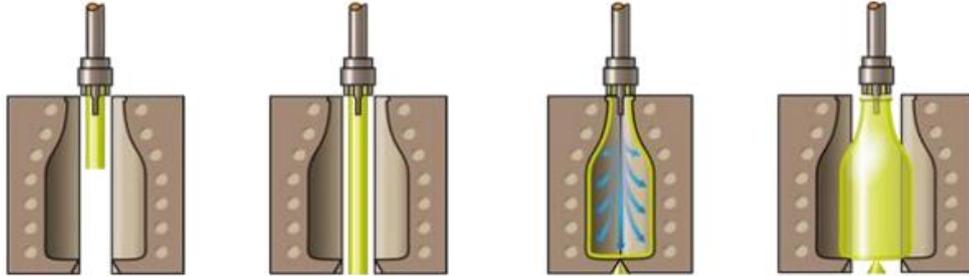


Figure.II.6: Extrusion soufflage

II.2.6. L'expansion moulage

Le dernier procédé de transformation est appelé expansion moulage. Il sert à fabriquer toutes sortes d'emballages en polystyrène expansé

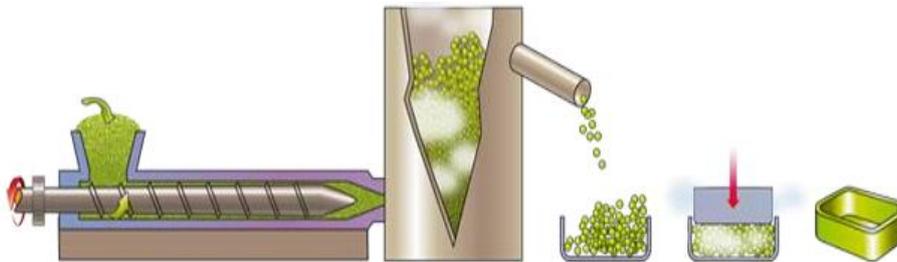


Figure.II.7: L'expansion moulage

II.2.7. Thermoformage

C'est un procédé de seconde transformation dans lequel la matière arrive sous forme de plaques de tubes ou de profilés. Le matériau est ramolli par chauffage avant d'être déformé et mis en forme par un moule métallique. La parfaite adhésion du polymère sur le moule se fait par aspiration sous vide ou par plaquage par injection d'air. Il est possible de réaliser des pièces dont les parois sont fines et des pièces de grandes tailles.

Les plaques de polystyrène ou d'ABS sont particulièrement adaptées à ce type de transformation. Cette technique est utilisée pour produire des objets de formes géométriques simples comme des pots de yaourt, des baignoires et des éléments de carrosserie. [15]

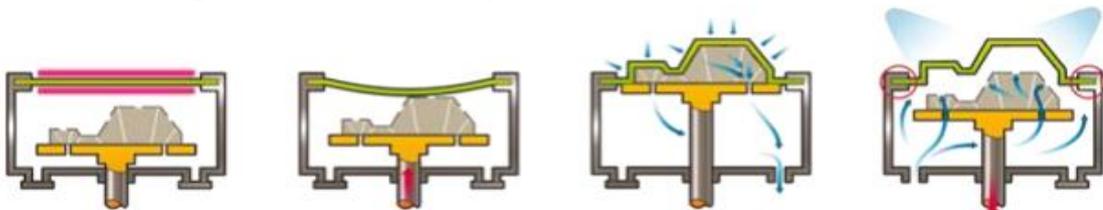


Figure. II.8: Thermoformage

II.2.8. Calandrage

Est une technique de fabrication de feuilles, de plaques ou de films par laminage d'une matière thermoplastique entre plusieurs cylindres parallèles constituant la machine appelée Calandre.

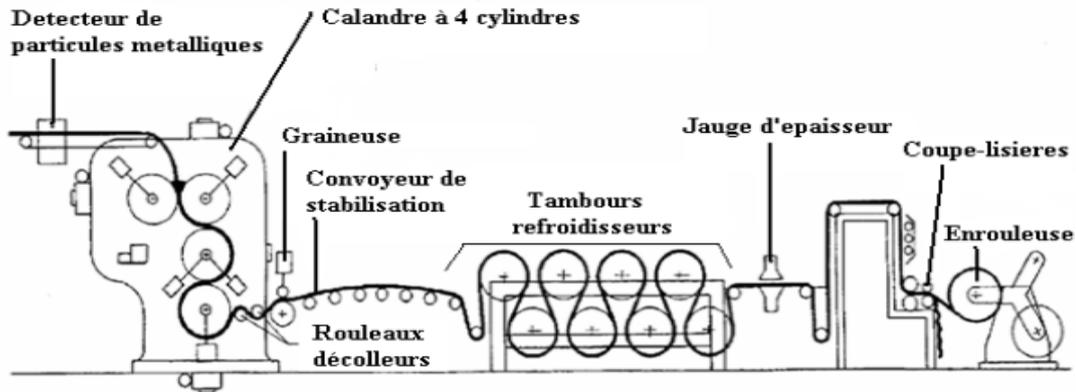


Figure.II.9: Système de calandrage.

II.2.9. Roto moulage

Le moulage par rotation est conçu pour réaliser des corps creux de toutes dimensions. La méthode de fabrication est très simple la matière thermoplastique est introduite dans un moule sous forme de poudre très fine, le moule est fermé puis chauffé ; pendant que la matière devient fluide, l'ensemble est mis en double rotation (ou rotation plus une oscillation) pour que la matière tapisse toutes les parois. Lorsque la matière est fondue et correctement répartie dans l'empreinte, le moule est introduit dans un système de refroidissement. [15]

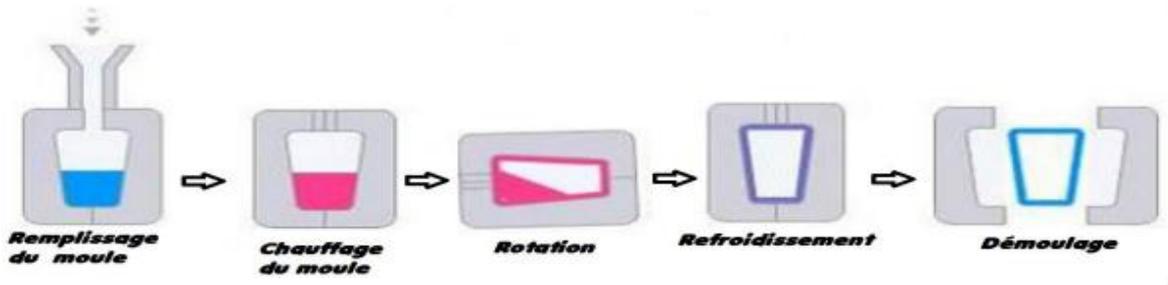


Figure.II.10: Procédé de moulage par rotation.

II.3. Moulage par injection

Le moulage par injection est une technique de fabrication de pièces en grande ou très grande série, il concerne avant tout les matières plastiques et les élastomères (caoutchoucs).

Mais aussi divers métaux et alliages à point de fusion relativement bas : alliages d'aluminium, de zinc (Zamak) ou encore laitons.

La plupart des pièces thermoplastiques sont fabriquées avec des presses d'injection plastique.

La matière plastique est ramollie par la chaleur puis injectée dans un moule, et ensuite refroidie.

La productivité du procédé est liée au temps de cycle (durée d'un cycle de moulage) et au nombre d'empreintes (ou cavités) de la moulée, Ainsi un moule à 8 cavités permet de réaliser 8 pièces lors d'un seul cycle.

La durée du cycle est essentiellement liée à la nature de la matière injectée, à la qualité des pièces à réaliser ainsi qu'à de chauffe et de refroidisse. [16]

II.3.1. Description d'une presse à 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). 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. [16]



Figure. II.11 : Machine Husky injection plastique

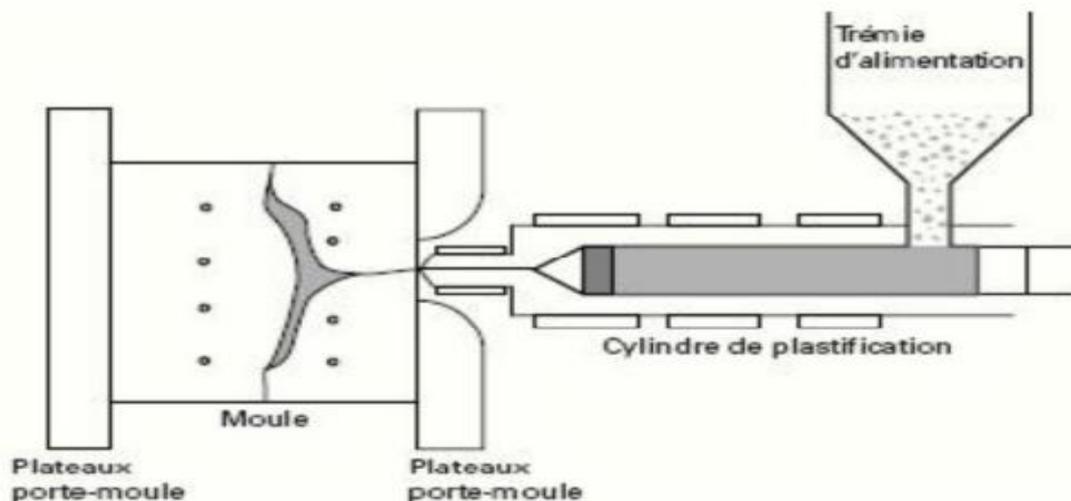


Figure.II.12: Cylindre de plastification et moule.

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

II.3.2. Fonctionnement de la machine à injection plastiques

Le fonctionnement de la machine à injection plastiques peut être décomposé en 4 étapes: la phase de plastification, l'injection, le refroidissement, puis l'éjection.

Lors de la phase de plastification, les granulés de matière plastique sont chauffés et homogénéisés par le biais d'une vis qui tourne et pousse cette matière à l'état fondu dans le moule de la machine à injection plastiques. Le moule, également appelé empreinte, est constitué de deux parties (une fixe et une mobile). C'est lui qui donne sa forme à la pièce. La température du moule de la machine à injection plastiques est réglée de façon à refroidir la pièce afin de la solidifier.

La pièce ainsi obtenue est ensuite extraite du moule, grâce à l'ouverture de celui-ci et à un dispositif d'éjection. [17]

II.3.3. Composants d'une presse d'injection

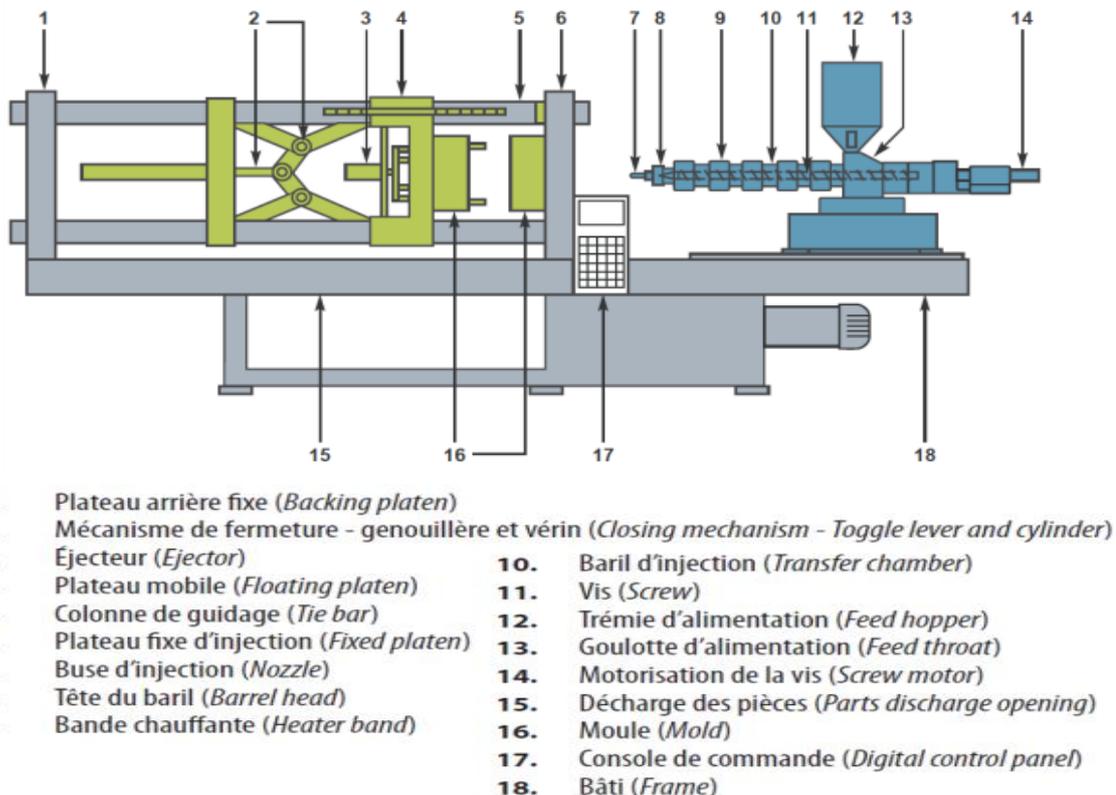


Figure.II.13: Composants d'une presse d'injection. [15]

II.3.4. Les caractéristiques d'une presse à injection

Les caractéristiques fondamentales d'une presse à injection sont :

- La force d'injection c'est –à- dire la force produite par le piston lors de son avance sous l'action du système hydraulique qui la commande elle s'exprime en newtons.
- La pression d'injection qui est celle sous laquelle la matière a moulé pénètre dans le moule elle s'exprime en bar.
- La capacité d'injection qui est la masse maximale de matière injectable a chaque cyclesuivant les machine cette masse peut varier de 15 g à 380 g.
- Temps d'avance de piston, durée de parcours de piston dans le cylindre lors de remplissage d moule il s'exprime en seconde.

La pression de verrouillage qui commande, pour une pression d'injection donne, la pression utilisable en objet moulé doit rester supérieure à la pression totale exercée par la matière dans le moule, si non ce dernier s'ouvrirait. [17]

II.3.5. Les différentes presses d'injection

Il existe plusieurs presses d'injection plastique : presse à piston, à vis sans fin, à plateau tournant ; et à fermeture horizontale et injection verticale et vis versa ; en principe suivant le sens d'injection, on distingue deux configurations de presse possible : [17]

a) Presse horizontale :

Dans la presse horizontale, le moule est difficile à mettre en place, il prend une position verticale par rapport à l'axe de la vis ou du piston qui est horizontal, son ouverture provoque alors la sortie immédiate de la pièce par gravité après éjection, d'où un gain de temps est automatisé possible de l'emballage des produits fabriqués.

b) Presse verticale :

Dans ce cas, la presse à moins d'encombrements, l'axe de la vis est vertical et l'ouverture du moule est dans un plan horizontal. Ce type de presse s'utilise pour des moules comportant des insertions de prisonniers métalliques mais le démoulage de la pièce nécessite un transfert. Cette presse occupe peu de place au sol.

c) Presse électrique :

Les principales commandes de mouvements des presses sont hydraulique, mais dernièrement sont apparues des presses a commandé tout électrique par servomoteurs alternatif, qui apportent les avantages suivantes :

- Meilleure précision (indépendance de la température d'huile).
- Démarrage plus rapide, cycle plus court.
- Consommation énergétique (-50%).
- Surface au sol réduite.
- Maintenance simplifiée.

II.4. Différentes parties d'une presse à injection

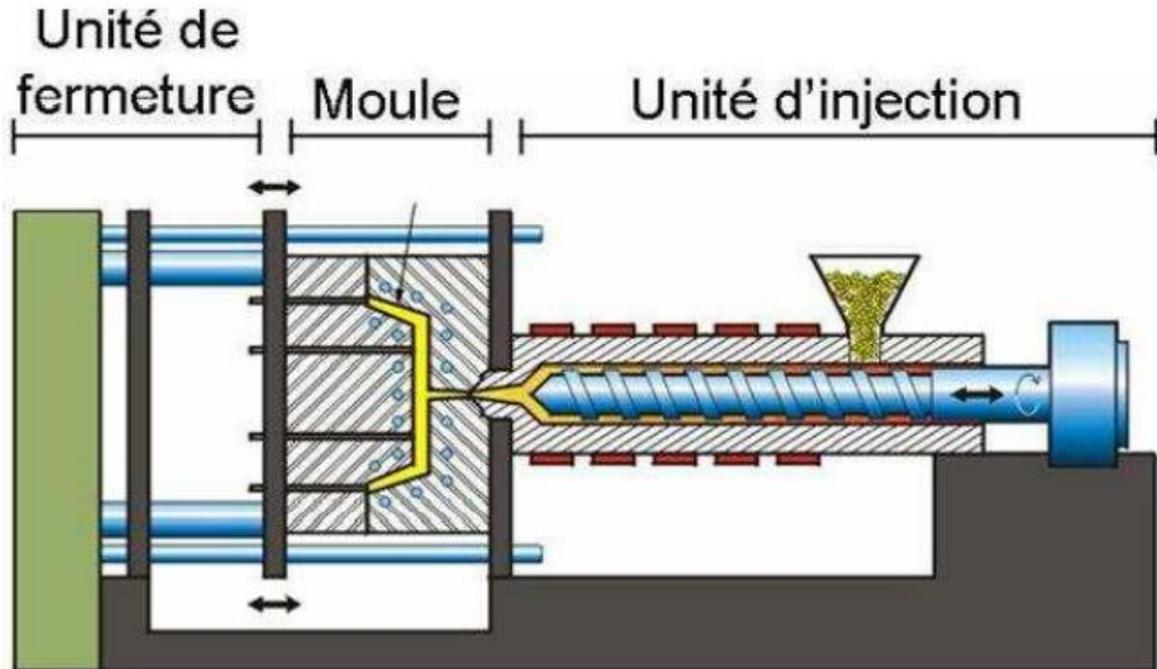


Figure.II.14: Dispositif d'une presse d'injection [4]

a) Unité d'injection :

Le groupe d'injection assure les tâches suivantes :

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

a.1) Système vis-piston :

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

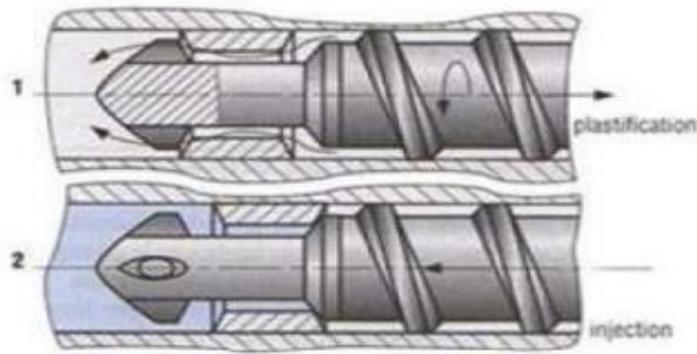


Figure.II.15: Vis-Piston

a.2) Caractérisation du système :

- La capacité d'injection : C'est le volume maximal que peut offrir le cylindre d'injection.
- La capacité de plastification horaire : Varie avec la nature du plastique. Les valeurs données par les constructeurs ont été obtenues souvent avec du polystyrène standard.
- La pression maximale d'injection : Détermine la force de poussée maximale du système vispiston qui est exercée sur le plastique pour le refouler dans le moule.
- Le dégazage : Dans certains cas bien spécifiques, est très utile pour avoir la possibilité d'évacuer le gaz produit pendant la plastification

b) Unité de fermeture :

Le rôle du groupe de fermeture est de permettre de monter le moule sur la presse et de rendre possible son ouverture et sa fermeture. Ce groupe comprend deux plateaux : l'un est mobile, l'autre est fixe. La partie mobile, peut se déplacer à des vitesses et courses très différentes. Le groupe sert aussi à appliquer la force de fermeture et à centrer les deux parties du moule lors de la fermeture. La force de fermeture est la force nécessaire pour maintenir les deux parties du moule fermées pendant son remplissage sous haute pression. Cette force, par conséquent, doit être plus grande ou au moins égale à celle qui résulte de l'application à l'intérieur du moule d'une pression de remplissage.

❖ Caractérisation d'un système de fermeture :

- **Force de fermeture** : La force de fermeture est la force nécessaire pour maintenir le moule fermé lors de l'injection. Cette force est calculée par rapport à la pression exercée dans le moule pendant l'injection. Elle doit être supérieure à la pression d'injection. Il est obligatoire d'exercer un verrouillage du moule, sinon lors de l'injection, il se produit une ouverture et du toilage sur les pièces. La pression de verrouillage doit-être de 20 à 25% supérieur à la pression d'injection.
- **Course de fermeture ou d'ouverture** : Elle conditionne la profondeur maximale des pièces moulables (épaisseur du moule). La course d'ouverture doit être au moins égale au double de cette profondeur. La course de fermeture peut-être réglable en

vue d'obtenir un gain sur le temps d'ouverture lorsque les pièces produites sont peu profondes.

- **Dimensions des plateaux** : Elles fixent les valeurs extrêmes possibles pour l'une des dimensions transversales du moule. Et nous assure la fixation du moule.
- **Épaisseur du moule minimale** : Il est inutile d'obtenir une fermeture complète des plateaux lorsqu'aucun moule n'est monté dessus. La distance entre plateaux en position moule fermé, représente alors le moule d'épaisseur minimale exploitable.
- **Épaisseur du moule maximale** : Si l'on veut conserver, pour la course d'ouverture de la presse, la valeur maximale possible en utilisant un moule plus épais que le moule minimal (cas fréquent), il est nécessaire de prévoir un réglage permettant de reculer le plateau mobile par rapport à la position correspondant à celle du serrage minimal. Ce réglage, ajouté à l'épaisseur du moule minimal, donne l'épaisseur maximale de moule possible dans ces conditions.
- **La force d'éjection** : Exprime la force que le système d'éjection peut développer.

c) Le moule :

D'une façon générale , un moule est un outil de transformation comportant une cavité destinée à recevoir un matériaux liquide , plus ou moins fluide , et à le mettre en forme en vue d'obtenir un objet dont le dessin a été déterminé à l'avance . L'opération de démoulage peut avoir lieu lorsque, pour les matières thermoplastiques, la pièce fabriquée a acquis par refroidissement le plus souvent une rigidité suffisante. Ce refroidissement est Assuré par des circuits qui sont implantés autour de la cavité de la pièce à moulée.

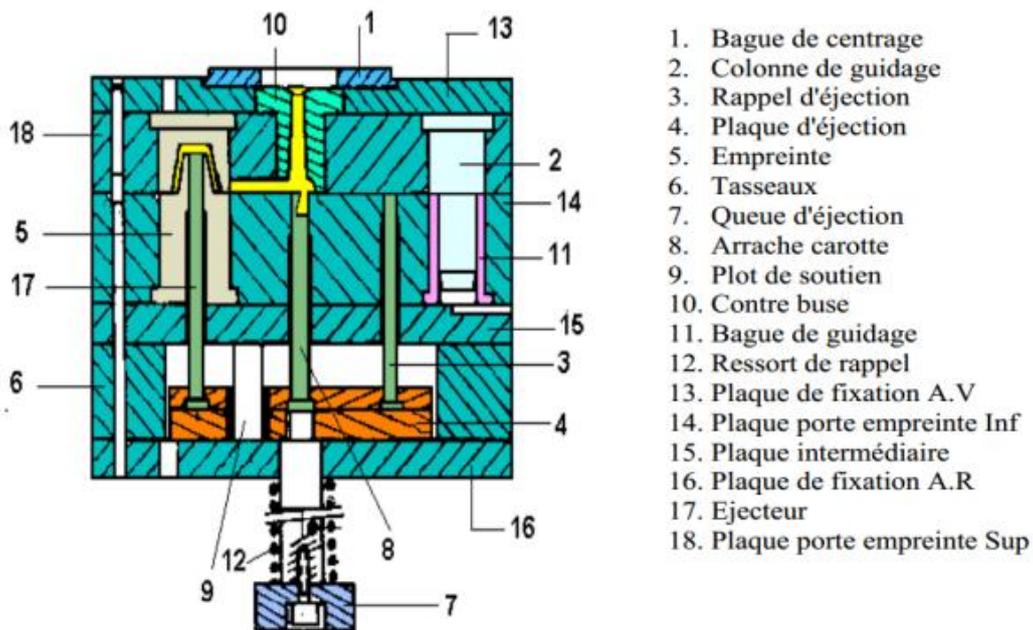


Figure.II.16: Moule d'injection plastique

II.5. Le choix d'une presse

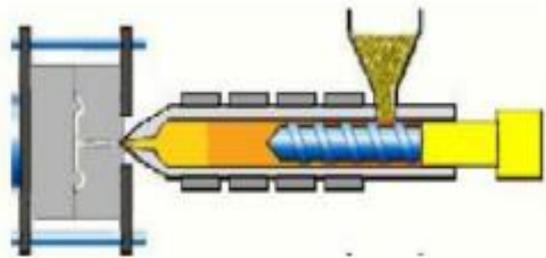
Le choix d'une presse dépend essentiellement, des critères suivants :

- ✓ La capacité d'injection
- ✓ La capacité de plastification
- ✓ L'encombrement entre colonnes
- ✓ La force de fermeture
- ✓ Epaisseur minimale du moule (fermeture maximale des plateaux) Mais le choix de ces critères n'est pas suffisant pour avoir un meilleur rendement, puisque le temps de cycle d'une pièce est conditionné par la vitesse d'injection, la vitesse d'ouverture/fermeture ainsi que la vitesse d'éjection. [15]

II.6. Le cycle de moulage par injection

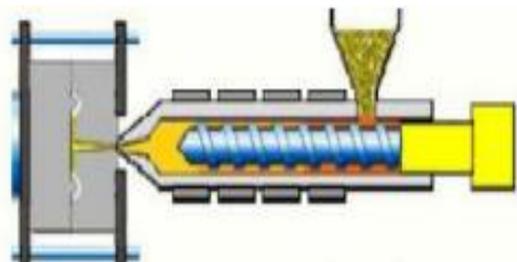
Etape 1 : la phase de dosage :

Les granulés de polymère tombent depuis une trémie dans un ensemble vis-fourreau. Ils sont ensuite fondus progressivement par action conjuguée des colliers chauffant le fourreau, et du cisaillement de la matière provoqué par la rotation de la vis et la friction des granulés (entre eux et contre les outillages). La matière fondue est alors convoyée en avant de la vis (via un clapet anti retour), dans l'espace créé par le recul progressif de cette dernière lors de sa rotation



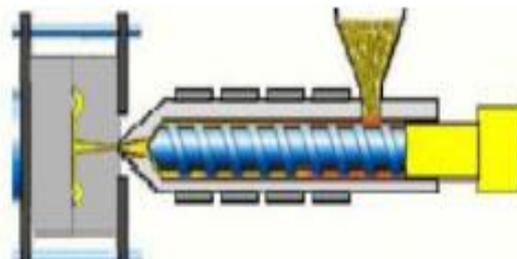
Etape 2: la phase d'injection :

Grâce à un mouvement de translation de la vis, actionnée par un vérin, et au clapet anti-retour qui dans cette phase empêche la matière de rebrousser chemin, le polymère fondu est transféré du réservoir à un moule via des canaux.



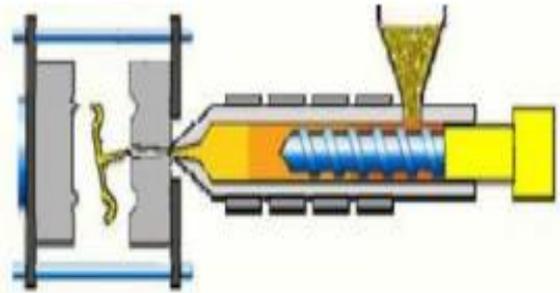
Etape 3: la phase de compactage :

Le moule, composé de deux parties, une fixe et une mobile, est à ce moment tenu sous pression pour rester fermé, pendant que de son côté la matière est compactée par la vis, jusqu'à atteindre une pression uniforme dans la cavité du moule (également appelée empreinte), dans laquelle le polymère fondu continue à être injecté pour compenser le rétrécissement, ou retrait, de la matière qui refroidit



Etape 4 : la phase de refroidissement :

Lorsque le polymère est entièrement figé au niveau du ou des seuils d'injection, il n'est plus nécessaire d'appliquer une pression de maintien, et la pièce continue de se refroidir jusqu'à ce qu'elle soit complètement solidifiée. La vis peut alors reprendre son cycle de rotation à l'étape 1.



En ce qui concerne les thermoplastiques, la plupart d'entre eux, amorphes ou semi cristallins, peuvent être injectés, moyennant bien sûr des différences dans le procédé, en fonction du type de polymère, des dimensions et de la qualité recherchée des pièces [16]

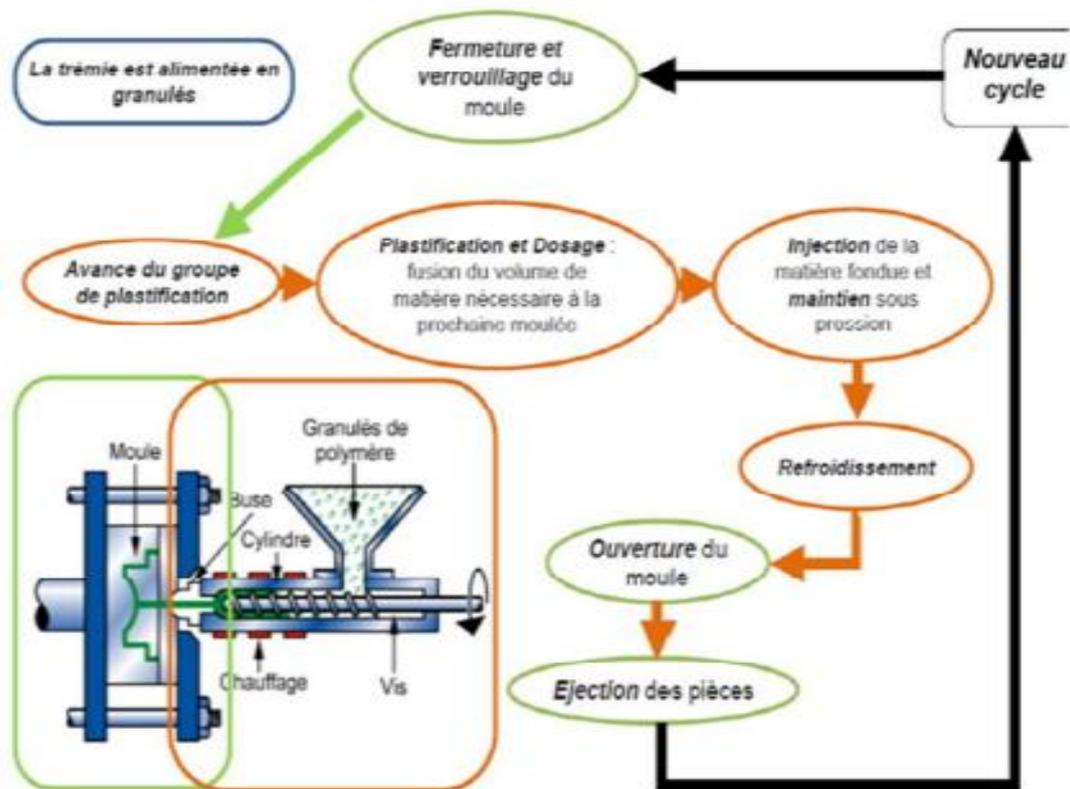


Figure.2.17: Cycle d'injection plastique.

II.7. Les paramètres d'injection**II.7.1. Température de mise en œuvre :**

Le réglage de température du cylindre de plastification s'effectue selon les grades, entre 240 et 280°C. Une température trop basse du matériau peut entraîner des tensions internes dans la pièce moulée par injection, tandis que des températures trop élevées peuvent être à l'origine d'une dégradation thermique du matériau avec des modifications des couleurs et des propriétés mécaniques.

Des températures de moule s'élevant selon les grades à des températures entre 40 et 120°C, sont des importances capitales pour obtenir des pièces moulées sans tensions internes.

Une température de moule augmentée conduit en général à des plus faibles tensions internes.[2]

II.7.2. Pression dans l’empreinte :

Pour assurer une bonne qualité et une bonne précision dimensionnelle, il faut par conséquent concevoir un système de régulation thermique optimum pour que la température soit la plus homogène possible. [17]

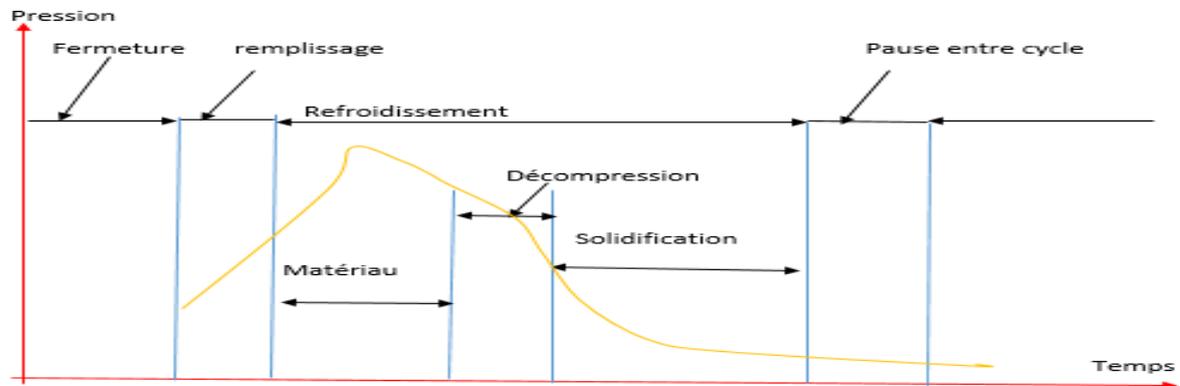


Figure.II.18 : La pression dans l’empreinte sur un cycle de moulage

Conclusion :

Les procédés de mise en œuvre des matières plastiques sont très divers et s'appliquent selon les cas à des matériaux solides ou liquides plus ou moins pâteux, thermoplastiques ou thermodurcissables, monolithiques, homogènes ou composites.

Chapitre III

Conception des Moules

III.1. Introduction

Un moule d'injection plastique est un ensemble mécanique de très haute précision qui permet de réaliser des milliers de pièces en injectant du plastique fondu dans les cavités prévues à cet effet. Sa conception nécessite une approche complexe et très spécifique. Il est utilisé sur une machine appelée machine de moulage par injection. Le moule est constitué de deux parties principales, une partie fixe pour l'injection de matière et une partie mobile pour la fermeture du moule. Lorsque le moule est fermé, la surface de contact entre ces deux pièces est appelée plan de joint, et la pièce doit être démoulée sur ce plan. La difficulté est de définir physiquement sa position pour ne pas laisser de traces après le formage de la pièce. Deux parties doivent être parfaitement ajustées pour créer une étanchéité lorsque le moule fermé est sous pression. [19]



III.2. Conception D'un Moule Thermoplastique

Un moule thermoplastique peut être défini par :

- Son architecture : plaques, tiroirs, coquilles
- Le nombre et disposition d'empreintes
- Le système d'alimentation : carotte perdue, canaux chauffants
- La matière à injecter
- L'éjection des pièces
- La machine
- La durée de vie (le choix des matériaux...)

III.3. Architecture Du Moule

La conception de la pièce et le choix de son type d'alimentation déterminent le choix de l'architecture du moule et les difficultés d'usinage et de moulage. Ces difficultés nous ont conduits à illustrer quelques exemples : [1]

III.3.1. Moule à deux plaques :

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

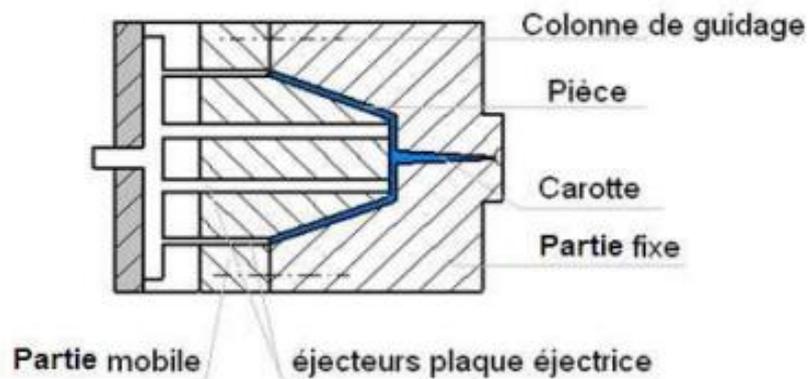


Figure.III.1: Exemple de moule simple à deux plaques.

III.3.2. Moule à trois plaques :

Ce moule permet un décarottage automatique et un gain de temps

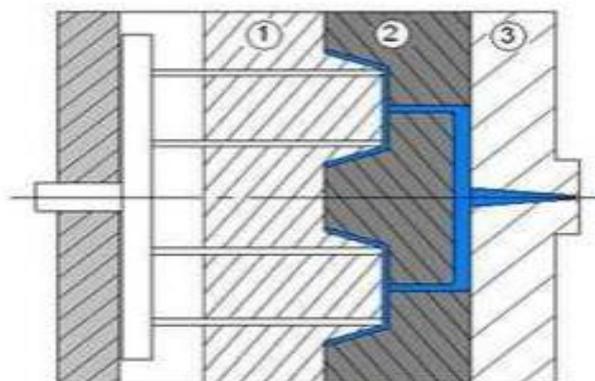


Figure.III.2: Exemple de moule à trois plaques

III.3.3. Moule à tiroir :

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

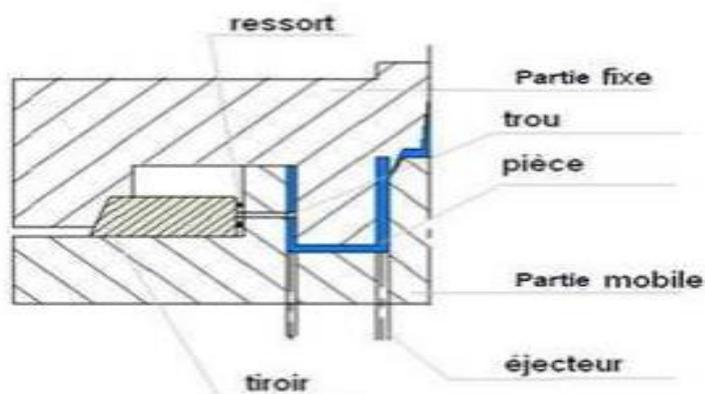


Figure.III.3: Exemple de moule à tiroir.

III.3.4. Moule à coquilles:

Ce moule permet de réaliser les contredépouilles extérieures (Fig.3.4), mais il faut surveiller la fermeture de la machine

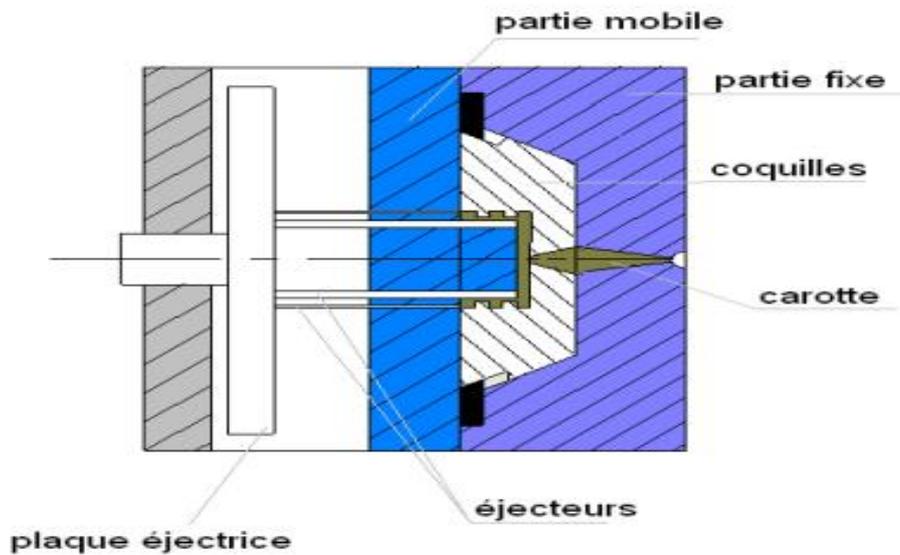


Figure.III.4: Exemple de moule à coquilles.

III.3.5. Moule à canaux chauffant :

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

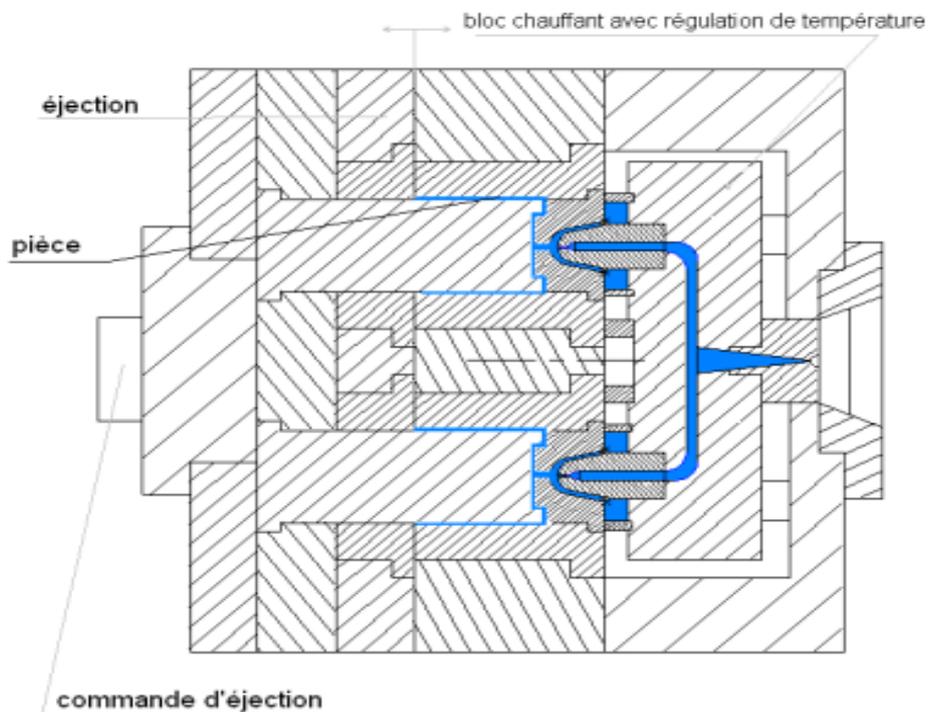


Figure.III.5: Exemple de moule à canaux chauffant

III.4. Le Nombre Et La Disposition D'empreintes

III.4.1. Le Nombre D'empreintes

Le nombre d'empreintes est en fonction de trois critères : [15]

- capacité d'injection de la machine
- Critères techniques : distance entre colonne
- Critères économiques : le cout, délais de livraison, ...etc.

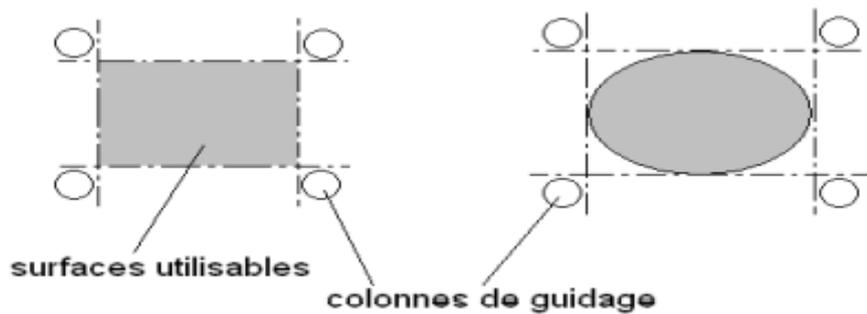


Figure.III.6: Nombre d'empreintes en fonction de critères techniques et économiques.

III.4.2. Disposition Des Empreintes Dans Le Plan De Joint

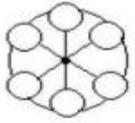
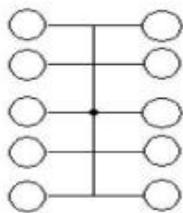
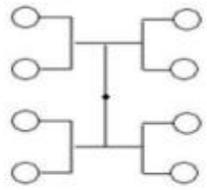
Dispositions	Avantages	Inconvénients
Répartition en étoile 	Même longueur d'écoulement vers toutes les empreintes Disposition favorable pour démoulage	Le nombre d'empreintes à placer est limité
Répartition en lignes 	Placement d'un nombre plus élevé d'empreintes qu'avec la répartition étoile	Différentes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

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

III.5. Matériaux Pour La Fabrication Des Moules

III.5.1. Généralités

La carcasse d'un moule sera réalisée à partir d'éléments standards en acier prétraité ou traité. Le fabricant de l'outillage n'intervient que pour réaliser les blocs ou pavés liés à la réalisation de l'empreinte, la mise en place du système d'éjection et l'obtention des formes en dépouille. [15]

Ces éléments standards pour l'outillage sont proposés par plusieurs entreprises : DME, HASCO, RABOURDIN..... ; Pour les dimensions, se reporter aux catalogues correspondants.

Ils permettent de réaliser des études de fabrication qui présentent un certain nombre d'avantages :

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

III.5.2. Les Aciers Utilises

Matériaux	Observation	Emploi
C45 Acier non allié	Acier mi-dur	Plaque éjectrice ; contre plaque éjectrice
C35 Acier non allié	Acier mi-dur	Les vis CHC et H
105 W Cr6 Acier faiblement allié	Acier extra-dur Résistance à l'usure par frottement ; dureté élevée ; acier trempable ; travail à chaud	Buse, bague de guidage
S235 Acier à usage général	Acier ordinaire	Bague de centrage ; semelles mobile et fixe ; plaque de sécurité et tasseaux
36 Ni Cr Mo 16 Acier faiblement allié	Bonne résilience ; résistant à la corrosion ; résistance mécanique à chaud	Ejecteurs ; empreintes mobile et fixe ; tige de rappel ; arrache carotte et goupille ; butée de course d'éjection
CC 493 K (Cu Sn 7Zn 4Pb7) Cuivre moulé	Inoxydable	Tétines
X 200 Cr12	Résiste à la corrosion ; inoxydable ; trempable	Colonnes de guidage ; tige de guidage
42 Cr Mo 4	Acier doux	Porte empreinte mobile et fixe

Tableau.III.2: Choix des matériaux

Dans la conception des outillages de moulage, pour résoudre certains problèmes particuliers, d'autres matériaux sont utilisés.

Une étude mécanique du moule doit être réalisée afin de s'assurer qu'en aucun point, les contraintes statiques ne dépassent la limite d'élasticité du matériau.

En particulier, il faut dimensionner :

- le plan de joint afin d'éviter le matage.
- L'épaisseur du moule, dans le cas d'injection de pièces élancées, pour éviter un fléchissement trop important. De plus, il faut éviter les angles vifs et les remplacer par des arrondis.

III.6. La Matière

Dans ce point le choix est guidé principalement par les propriétés de la matière dont : [15]

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

III.7. Alimentation Du Moule

III.7.1. Généralités

L'injection de la matière plastique vers l'empreinte est assurée à partir de la buse du moule par un réseau de canaux. L'alimentation du moule en matière à l'état visqueux est assurée de deux façons : [15]

a) Injection dans le plan de joint :

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

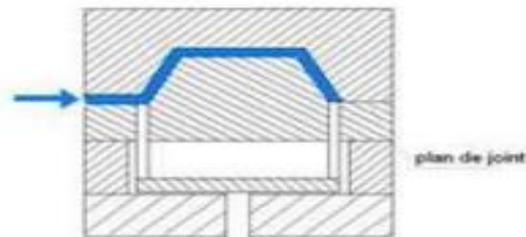


Figure.III.7: Injection dans le plan de joint.

b) Injection perpendiculaire au plan de joint :

Mode d'injection très utilisé.

❖ Inconvénients :

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

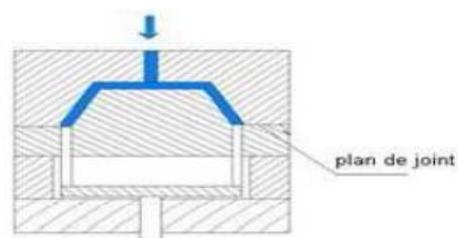


Figure.III.8: Injection perpendiculaire au plan de joint

III.7.2. Point D'injection

La bonne réalisation d'une pièce est conditionnée par un bon écoulement de la matière, ainsi que la bonne fermeture de l'outillage.

L'équilibre des forces dans un outil doit être réalisé avec un soin et l'injection de la matière doit être placée au point d'équilibre. Le point d'équilibre idéal est le centre de gravité de l'empreinte.

Dans le cas d'un moule dont le point d'injection ne peut pas être placé au centre de gravité, un équilibrage des efforts doit être réalisé. Exemple : Pour réaliser l'équilibre, un effort complémentaire est réalisé à l'aide de cales ou tasseaux. La résultante des deux efforts passe par l'axe du plateau.

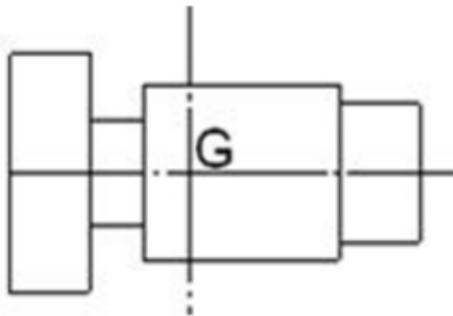


Figure.III.9: centre de gravité.

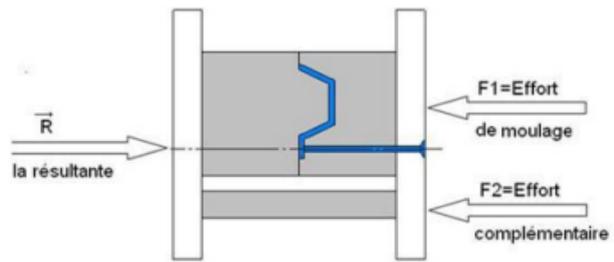


Figure.III.10: équilibrage des efforts.

III.7.3. Circulation De La Matière.

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

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

a) lignes de soudure :

Les lignes de soudure de la matière qui contourne un obstacle se forment à la jonction des flux de la matière au cours du remplissage du moule. L'excès de points d'injection augmente le nombre de lignes de soudure, mais diminue les zones de fragilisation.

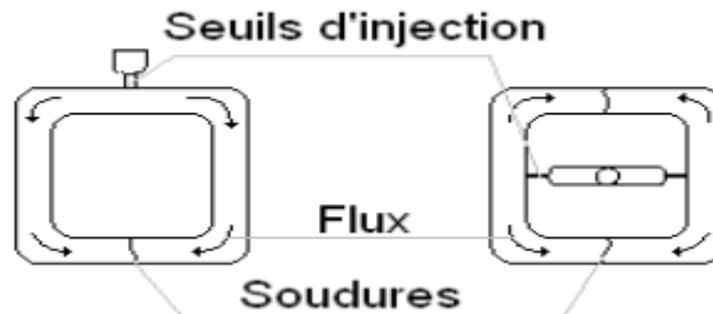


Figure.III.11: Lignes de soudure

b) Ecoulement de matière :

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

Le remplissage trop direct entraîne une déformation sur la pièce.

Une broche ou un noyau placé à proximité du seuil d'injection réalise une bonne dérivation du flux.

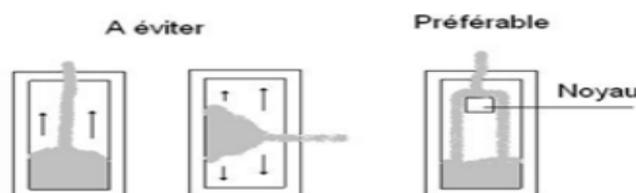


Figure.III.12: Ecoulement de la matière.

III.7.4. Remplissage Des Formes De Révolution

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



Figure.III.13: Remplissage des formes de révolution

III.7.5. Canaux D'alimentation

Le système de canaux d'alimentation doit être largement dimensionné et le diamètre du canal d'injection principal doit être au moins de 5 mm.

Les canaux doivent être aussi courts que possible : si les canaux doivent être longs, prévoir un système d'injection à canaux chauds.

A) Les différents modes d'alimentation :

On distingue trois principaux modes d'alimentation :

- alimentation en nappe
- alimentation capillaire
- alimentation en tunnel

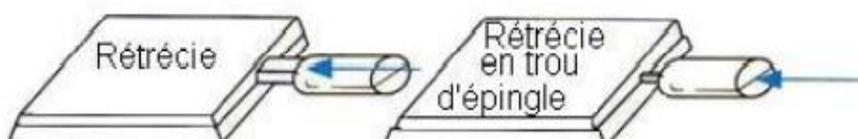
➤ Alimentation en nappe :

L'entrée à quelques fois la forme d'une fonte mince.



➤ Alimentation capillaire :

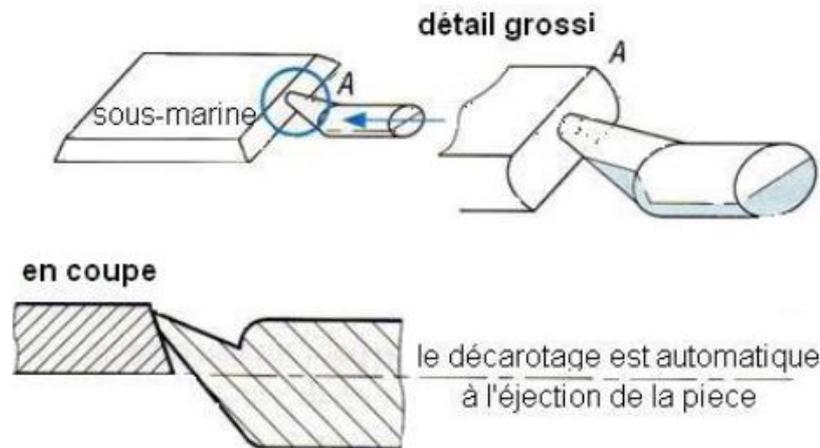
Le profil du seuil est tubulaire carré ou rectangulaire. Le seuil peut être représenté dans la face frontale ou latérale de l'empreinte



➤ **Alimentation en tunnel ou sous-marine:**

Utilisé avec des systèmes multi empreintes pour produire des petites pièces en matériaux amorphes avec seuil latéral

A éviter de l'utiliser pour les matériaux cristallins qui présente une grande fragilité, car il y a risque de cassure du canal de distribution ou du modèle lors de l'ouverture du moule.



Les différents types d'alimentation que nous avons présentée créent différentes configurations de grappes. L'alimentation en nappe et l'alimentation capillaire donnent naissance à une grappe solidaire dont la carotte soit arrachée par l'ouvrier après ouverture du moule. Contrairement à l'alimentation sous-marine ou en tunnel, où la carotte est automatiquement arrachée pendant l'ouverture du moule par cisaillement lors de l'éjection. La géométrie du seuil doit être optimisée à partir des caractéristiques thermo rhéologiques qui varient d'un polymère à l'autre.

B) Composition D'un Système D'alimentation

Dans les moules à plusieurs empreintes, le système d'alimentations est composé d'un canal principal, des canaux secondaires et des seuils d'injection. Le canal principal doit se prolonger au-delà du point de dérivation du canal secondaire pour constituer un puits à goutte froide. Il faut réduire au maximum la longueur des canaux pour diminuer les pertes de charges

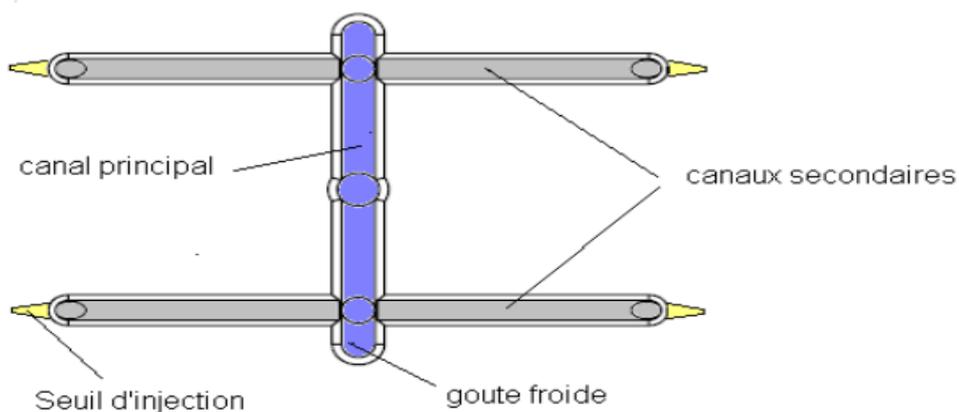


Figure.III.14: Composition d'un système d'alimentation.

Arrive au bout du canal de distribution, nous entrons dans un couloir de section plus fine et de petite longueur, ce dernier est le seuil d'injection.

III.8. L'éjection Des Pièces

L'éjection des pièces, après refroidissement et ouverture du moule, doit être facilement réalisée, sans rupture de la pièce ou déformation permanente avant le refroidissement définitif. [15]

III.9. Conception Des Pièces.

Les formes de la pièce à réaliser afin de répondre au cahier des charges vont dépendre : [15]

- de la fonction à remplir : supporter les efforts, isolation électrique et thermique
- des conditions de fabrication : séries importantes ou non ;
- du choix du matériau : thermoplastique, thermodurcissable...
- du procédé de fabrication : injection, compression, thermoformage, ...

Leur conception consiste à réaliser une pièce qui sera à la fois :

- la plus légère possible
- la plus facile à mouler : conception la plus simple du moule.
- la plus facile à assembler : si elle est composée de plusieurs éléments.
- La plus résistante : résistance aux chocs et au vieillissement.

La conception du produit doit tenir compte du retrait de la matière après démoulage, lors du refroidissement.

➤ Le retrait :

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

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

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

Le retrait augmente avec :

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

III.10. La Machine

Lors de la conception d'un moule on doit choisir la machine en fonction : [15]

- du volume et de la forme de la pièce.
- du nombre d'empreintes.
- du calcul de rentabilité.
- de la précision de la pièce.
-

III.11. Thermique Du Moule

Pour concevoir les circuits de refroidissement, on doit successivement calculer : [15]

- Le temps de refroidissement, puis évaluer le temps de cycle. A partir de là, trouver tous les paramètres de la disposition des canaux.

➤ Circuits de refroidissement :

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

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

III.12. Dégazage Du Moule

Au cours du remplissage du moule, il y a nécessité d'évacuer l'air prisonnier dans l'empreinte du moule et ce grâce aux éjecteurs et au plan de joint.

Une évacuation insuffisante de l'air gêne le remplissage et peut même donner lieu à des carbonisations vu la température élevée de l'air lors d'une injection rapide pour un processus d'évacuation plus faible. Il est nécessaire de procéder à l'usinage d'évents supplémentaires qui peuvent être réalisés sur le plan de joint, sur les éjecteurs ou sur les parties rapportées dans le moule.

L'air est généralement évacué par le plan de joint, mais dans certains cas, il est nécessaire de procéder à l'usinage d'évents supplémentaires. [15]

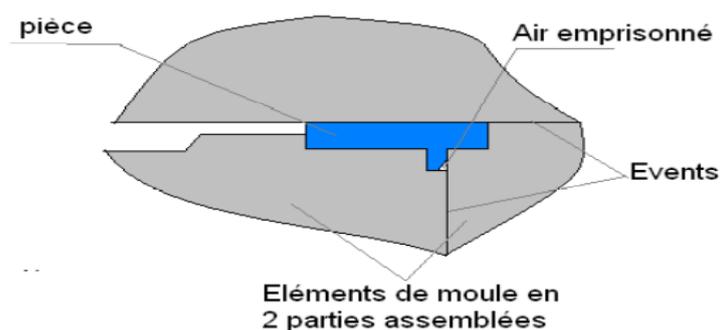


Figure.III.15: Event

III.13. Fixation Du Moule

Le maintien en position du moule sur les plateaux fixe et mobile est assuré par vis ou brides. [15]

III.13.1. Fixation Par Vis

❖ Avantage :

Fixation très simple et fiable, il n'y a pas de besoin de cales (la plaque du moule faisant office de cales). Bonne accessibilité pour le serrage.

❖ Inconvénients :

Les trous taraudés doivent avoir des entraxes identiques sur tous les plateaux de presses pour permettre l'interchangeabilité des moules.

III.13.2. Bridage

C'est aussi le procédé qui demande le plus de soin et d'attention lors du montage. En effet, il faut que la cale qui sert d'appui pour la bride soit de hauteur équivalente à la plaque du moule ou très légèrement supérieure. Sinon le bridage n'est pas solide et les vis risquent de se tordre.

Il faut que la vis qui sert à bloquer la bride soit le plus près possible de l'objet à brider.

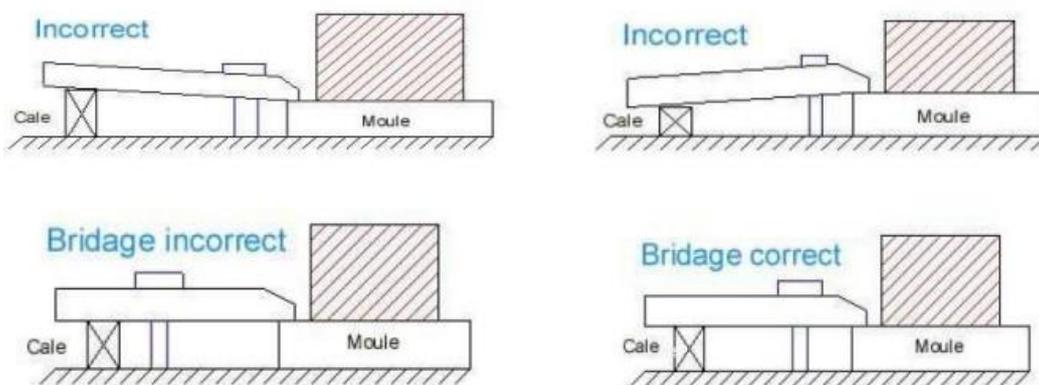


Figure.III.16: Procédé de bridage.

III.14. Autres fonctions assurées par le moule

Le moule assure en complément de la production de la pièce, les fonctions suivantes :

- le guidage et centrage des plaques portant les empreintes par des colonnes,
- le déplacement et butée de la plaque n°2 dans un moule à 3 plaques ainsi que le rappel des plaques pendant la fermeture,
- le mouvement des tiroirs et des coquilles par des pentes, des doigts inclinés, des cames, des moteurs ou des verins hydrauliques asservis.
- l'escamotage et rappel des broches de contre-dépouilles intérieurs,
- l'injection de la pièce et le rappel de rejection mécanique ou hydraulique pour une éjection du côté de la partie fixe de la fermeture de la presse,
- le décarottage automatique et le contrôle du non présence de carotte de pièce

- avant la commande de fermeture du moule,
- le positionnement des inserts avant la fermeture du moule.
 - la mesure et le contrôle de l'injection, par des capteurs de pression ou de force, ou par des capteurs de déplacement pour mesurer l'ouverture du moule pendant le remplissage,
 - **les sécurités** : des capteurs de position sont parfois nécessaires pour contrôler et commander les phases de l'ouverture ou de la fermeture du moule pour ne pas risquer d'endommager les tiroirs ou les surfaces des empreintes.

III.15. Fabrication de moule

Les outillages peuvent être réalisés par différents procédés :

III.15.1. Usinage à grande vitesse (UGV)

L'usinage à grande vitesse est une technique qui est apparue suite aux importantes innovations mise en œuvre au cours de ces dernières années. L'UGV s'applique à l'ensemble des techniques d'usinage. La notion de grande vitesse peut s'adresser à la vitesse de coupe, la vitesse d'avance par tour restant inchangée, alors que la vitesse d'avance relative outil-pièce est augmentée proportionnellement à la vitesse de coupe. Généralement, les moules et outillages sont réalisés dans des aciers durs, souvent fortement alliés à des résistances mécaniques comprises entre 650 à 1800 MPA. De plus les échanges thermiques peuvent affecter la structure métallurgique de l'alliage à la surface et introduire des contraintes résiduelles superficielles qui peuvent être prétraitées. La chaleur produite lors de la formation du copeau n'a pas le temps de diffuser ni dans le matériau de la pièce usinée, ni dans l'outil. Le matériau n'est plus affecté, et la qualité d'état de surface est meilleure. [21]

III.15.2. Usinage par enlèvement de particules ou électroérosion

Le métal est enlevé par étincelles électriques éclatant entre une électrode outil et la pièce usinée qui sont immergées dans un liquide diélectrique. Chaque étincelle agit comme une source thermique ponctuelle qui provoque localement la fusion et la vaporisation des matériaux constituant l'électrode et la pièce. Il n'y a pas de contact, entre l'électrode et la pièce qui sont distantes de l'intervalle d'étincelage ou gap, dans la valeur est d'environ quelques dixièmes de millimètre. On obtient directement ainsi une très grande précision (l'ébauche Ra 10 à 30 µm, finition Ra 0.4 à 1.6 µm), bien adaptée à la reproduction d'empreintes multiples. Pour la réalisation des filières de formes, on utilise également l'électroérosion par fil. [21]

III.15.3. Forçage à froid

Le forçage à froid a lieu à la presse hydraulique d'un poinçon de forme dans une empreinte de dureté inférieure, en métal de type Plastom, qui se déforme progressivement jusqu'à épouser la forme du poinçon. Ce procédé est également utilisé pour produire des empreintes multiples précises, mais de faibles tailles. [22]

III.15.4. Electro-dépositions

L'Electro-dépositions permet de déplacer par électrolyse assez forte de métal (Cu + Ni) sur un modèle a reproduire, après d'avoir rendu conducteur par un dépôt de cuivre chimique. Le temps de formation du dépôt est de l'ordre d'un a deux mois, pour pouvoir disposer d'une forme reproduite, avec son grain, qui sera ensuite ajustée dans la carcasse du moule. On peut procéder par projection de métal plus rapide, mais les détails a reproduire sont alors moins précis. [22]

III.16. Remplissage du moule

III.16.1. Organes constitutifs de la machine

Une machine d'injection classique comporte essentiellement : [17]

- une trémie d'alimentation en granules.
- un cylindre, ou fut de plastification, chauffe.
- une vis piston avec clapet anti-retour.
- un dispositif de manipulation et de retenue du moule.

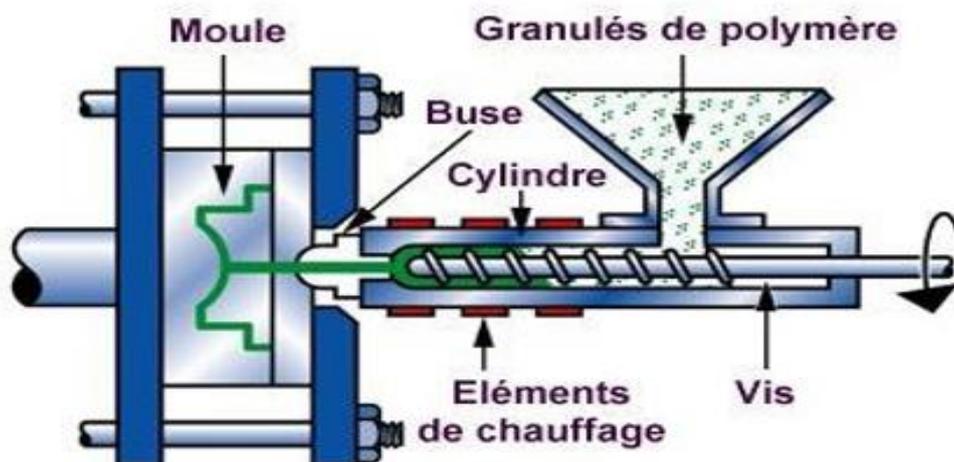


Figure.III.17: Procède de l'injection

III.16.2. Chauffage du filet

Le chauffage de filet (200 à 300°C) est réalisé par des colliers chauffants qui permettent d'atteindre une température interne de plastification de 150 à 250 °C. En fait rapport calorifique est réalisé pour moitié par les résistances électrique et pour l'autre moitié par brassage et frottement. [17]

III.16.3. Système vis-piston

Le dispositif remplit les deux fonctions de plastification et d'injection en un seul mécanisme. Pour la plastification, la vis tourne et plastifie la matière. Les granules sont chauffés, fondus, et homogénéisés pendant leur transport de la trémie vers la buse. Pour stocker la quantité de matière nécessaire à l'injection d'une pièce, le dispositif vis-piston peut reculer dans le

foureaux de la machine et doser la quantité voulue de matière plastifiée devant la vis, la vis s'arrête de tourner et de reculer. Pour injecter un vérin hydraulique pousse la vis, celle-ci plaque le clapet sur son siège, la matière ne peut plus refluer vers l'arrière. L'ensemble injecte sous pression dans le moule, la matière dosée. Pendant cette phase, l'hydraulique peut être asservi pour harmoniser le remplissage du moule en fonction de la pièce et de la matière injectée. [17]

III.16.4. Clapet de vis

La pression d'injection peut atteindre plus de 1 000 bars, et celle développée dans le moule, du fait des pertes de charges. Dans la pratique et pour des polymères courants, elle est de l'ordre de 300 bars. Il y a donc lieu de prévoir une fermeture efficace, que l'on réalise souvent à l'aide d'un système à genouillère à commande hydraulique. Suivant le sens de l'injection, on notera encore deux configurations possibles :

- presse horizontale. L'axe de la vis est horizontal et le plan d'ouverture du moule est vertical. L'ouverture provoque alors la sortie immédiate de la pièce par gravité après éjection
- presse verticale, l'axe de la vis est dans une position verticale et l'ouverture du moule dans un plan horizontal. On utilise ce type de presse pour mouler des petites pièces composées de nombreux inserts métalliques. [17]

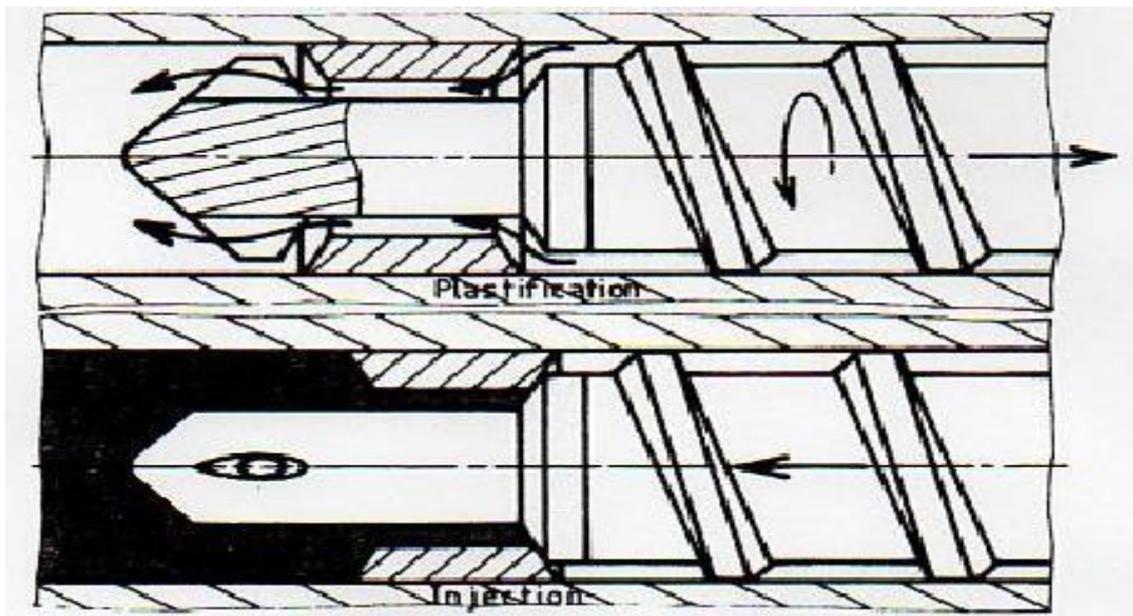


Figure.III.18: Fonction du clapet

III.17. Cycle de moulage

Le cycle complet de fabrication qui démarre toujours avec le moule ouvert, se déroule de la façon suivante : [17]

- fermeture du moule rapide en début de course, puis lente à la fin,

- verrouillage du moule ; une force importante en fonction des critères techniques (matière à injecter, forme des pièces,...) est appliquée pour maintenir les deux surfaces des parties fixes et mobiles en contact,
- injection de la matière, de l'entrée du moule vers les empreintes destinées à modeler la pièce. Cette matière est diffusée de manière homogène dans les empreintes pour bien les remplir,
- refroidissement rapide des empreintes pour solidifier la matière,
- ouverture lente du moule en début de course, puis rapide en fin,
- éjection de la pièce solidifiée.

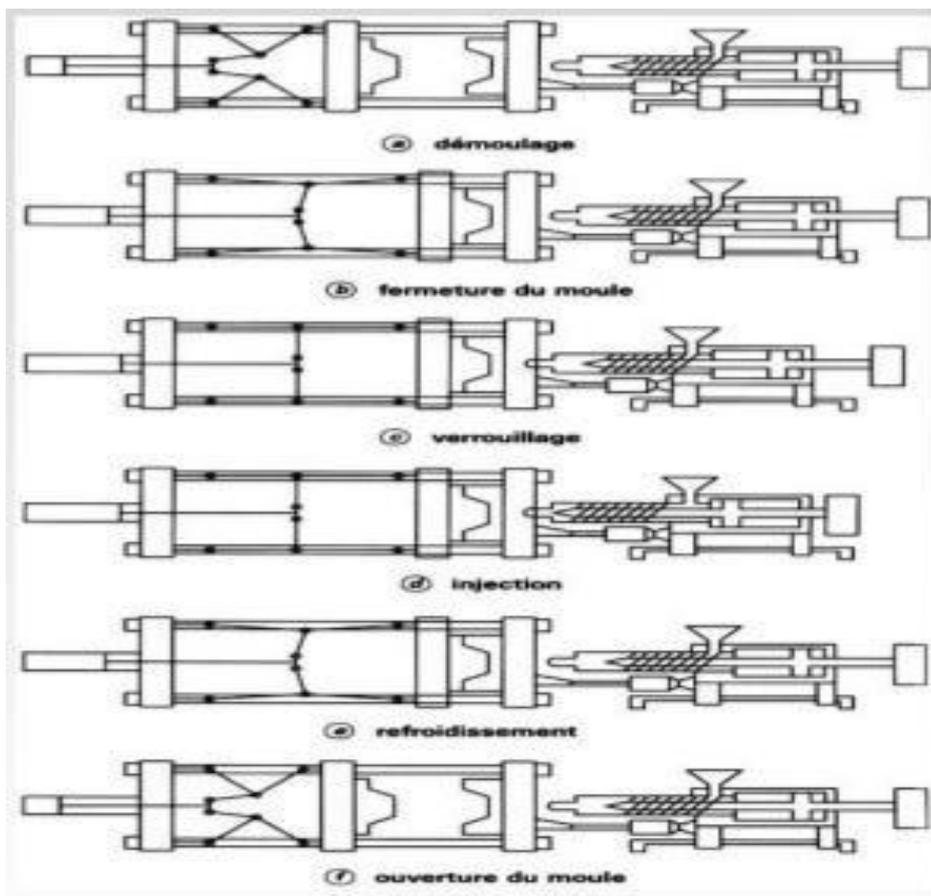


Figure.III.19: Cycle de moulage

Conclusion

Pour une bonne conception d'un moule d'injection plastique, le concepteur doit suivre toutes les étapes nécessaires, car le choix optimal des paramètres de conception garantit notre produit fini de haute qualité.

Présentation du sujet

L'entreprise **AQUA SIM** se voit dans l'obligation de fabriquer certains produits au sien de ses ateliers afin d'éviter leur importation pour améliorer son produit, ainsi garder sa place sur le marché. Parmi ces pièces **Préforme PET**.

Les préformes PET, plus connues sous le nom de « préformes », sont un produit intermédiaire grâce auquel la fabrication des bouteilles est réalisée. Le surnom du PET est dû au matériau à partir duquel ils sont fabriqués, le polyéthylène téréphtalate.



La Pièce (préforme pet)

Depuis que la société **AQUA SIM** fabriquait un bouchon de bouteille dans son atelier au moyen d'une machine injection plastique, elle l'importe maintenant en raison des nombreux problèmes dans le moule.

La machine a été arrêtée pendant un certain temps et l'entreprise a récemment connu une pression dans la fabrication d'un **préforme PET** de 6L en raison de la forte demande pour celle-ci et du manque de cavités dans le moule.

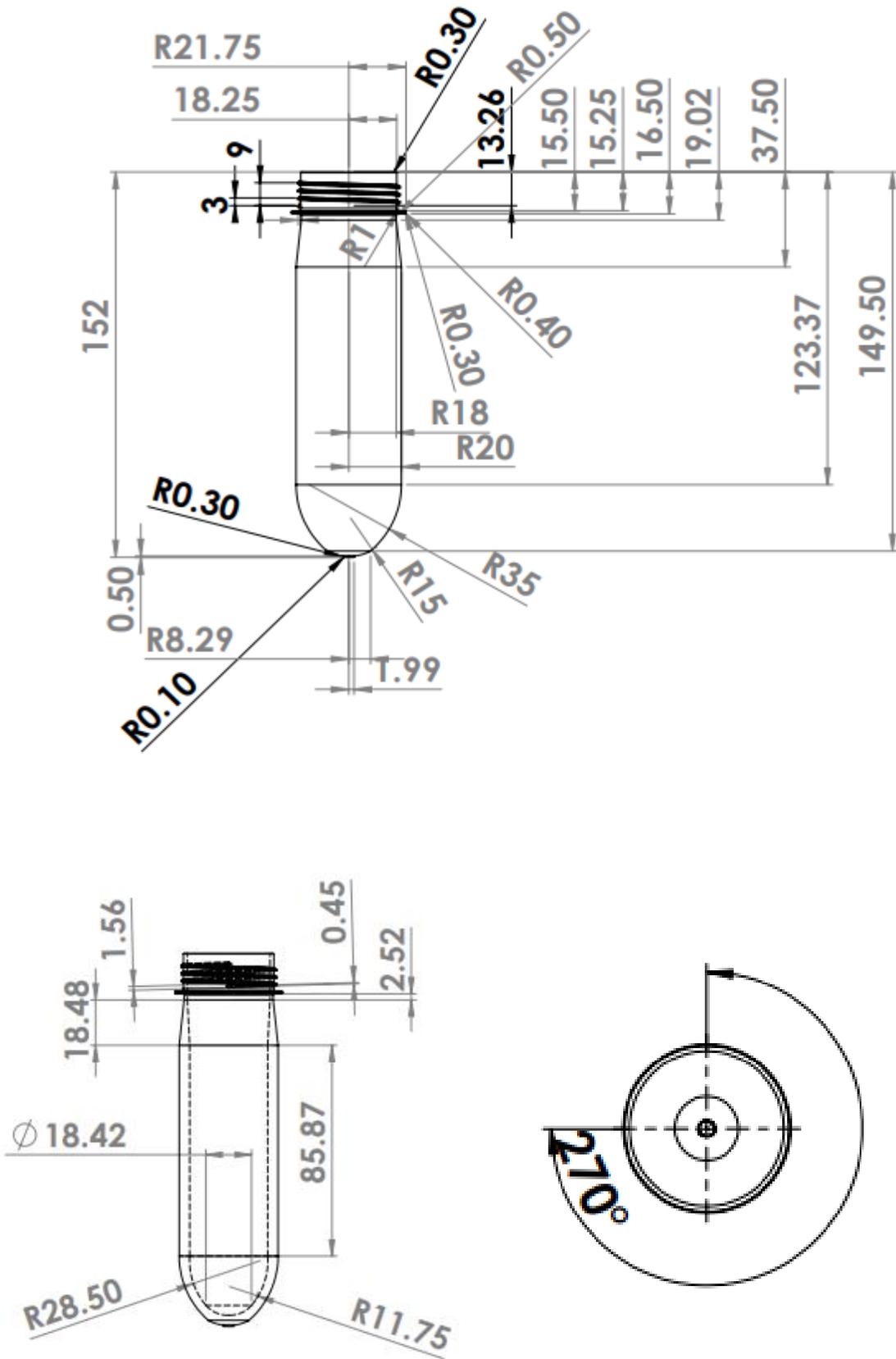
Nous avons donc suggéré de fabriquer un moule d'injection plastique qui correspond au paramètre de la machine pour économiser plus de pièces et éliminer le problème de pénurie, Et profiter de la machine au lieu de l'abîmer de la longueur de l'arrêt.

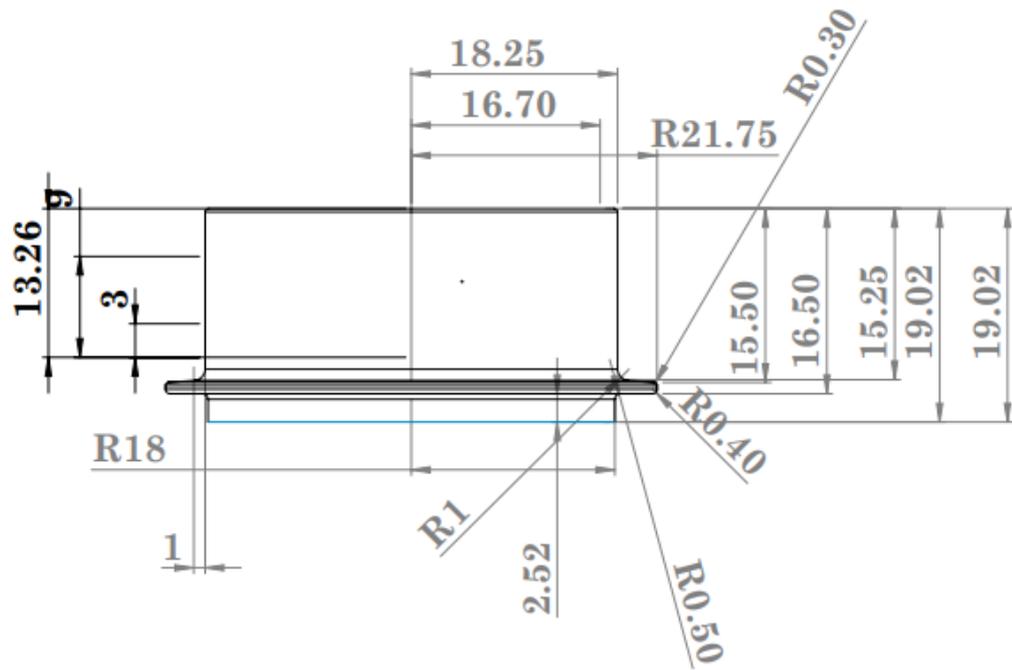
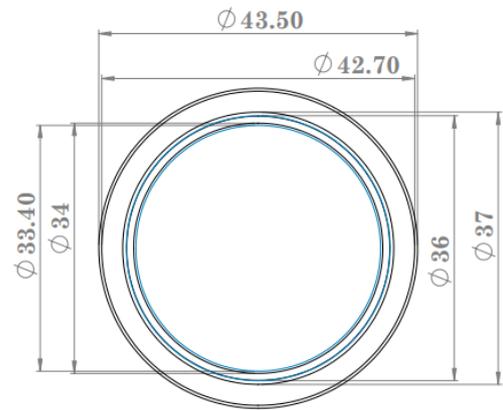
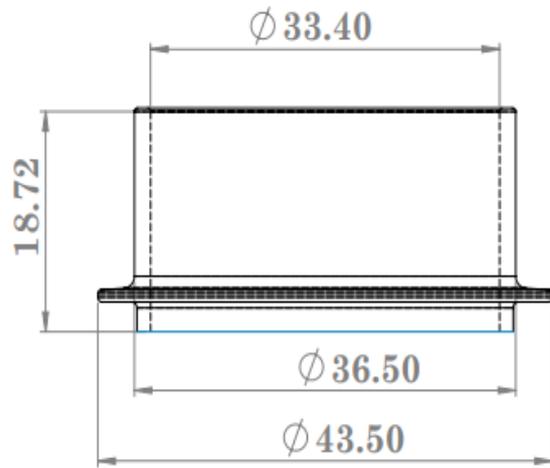
Travail demandé :

Le travail consiste en l'étude et la conception d'un moule à injection plastique d'un **Préforme PET** en **PET cristalline (Sabic PET BC212)** à 18 empreintes.

1. Conception du moule sur logiciel solidworks.
2. Calcul et vérification dimensionnel.

Dimensions de la pièce :





Chapitre IV

Conception du moule Par CAO

IV. Introduction

Ce chapitre est consacré à la conception de la pièce (Préforme PET), en dérivant les éléments du moule, Les logiciels de CAO sont essentiels dans l'industrie des moules d'aujourd'hui, et la plupart des logiciels de conception contiennent des sections pour la conception de moules ou des modules spécifiques, ces derniers pour la modélisation des empreintes, qui créent automatiquement des composants de moule.

IV.1. La CAO (conception assistée par ordinateur)

IV.1.1. Définition de la CAO

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

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

IV.1.2. Domaines de la CAO

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

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

IV.1.3. Avantages de la CAO

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

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

- Proposer une visualisation des parties moulantes en cours d'étude, avec photo et vues 3D à l'appui.
- Apprécier les zones de résistance créatique.
- Contrôler les possibilités de mouvement des ensembles mobiles de l'outil.
- Réaliser des plans fiables avec des coupes et des sections exactes.
- Préparer et simplifier le travail de FAO : le fichier livré au mouliste n'est pas celui de la pièce, mais celui des empreintes des moules.

IV.2. Application

a) Conception de la pièce moulée

Durant la conception des pièces, nous avons utilisé le logiciel SolidWorks :

Le logiciel Solid Works aide les concepteurs à développer des moules plus précis, à gagner du temps et à augmenter la rentabilité.

Avec le logiciel Solid Works, vous pouvez non seulement définir la géométrie du moule, mais également accéder à une large gamme d'outils de conception de moules automatisés. Vous pouvez ainsi façonner le design avant de l'envoyer en production. De plus, vous pouvez identifier automatiquement les contre-dépouilles, compléter les tiroirs, vérifier les angles de dépouille et définir les lignes de séparation, créer des lignes de séparation et identifier les fonctions de remplissage correctes.

Le logiciel Solid Works vous permet d'exécuter toutes ces fonctions dans un environnement familier de modélisation et de gestion de plans. Vous avez accès à une gamme complète de coffrages et autres composants standard, ainsi qu'à l'intégration avec les solutions des partenaires de la FAO.

La majorité des logiciels assistés par ordinateur (Solid Works, Pro/Eng, Solidpède, Catia,..) offrent des outils, qui permettent la création des moules pour injection plastique à partir d'une pièce créée sous logiciel, ou d'une pièce importée d'un autre logiciel.

Pour bien comprendre comment utiliser cet outil, nous avons présenté un exemple sous Solid Works.

En premier lieu nous avons utilisé les commandes du logiciel SolidWorks tel que :

Esquisses, fonctions pour concevoir le préforme PET avec les modifications nécessaires, ainsi que l'attribution de la matière appropriée (le PET dans notre cas).

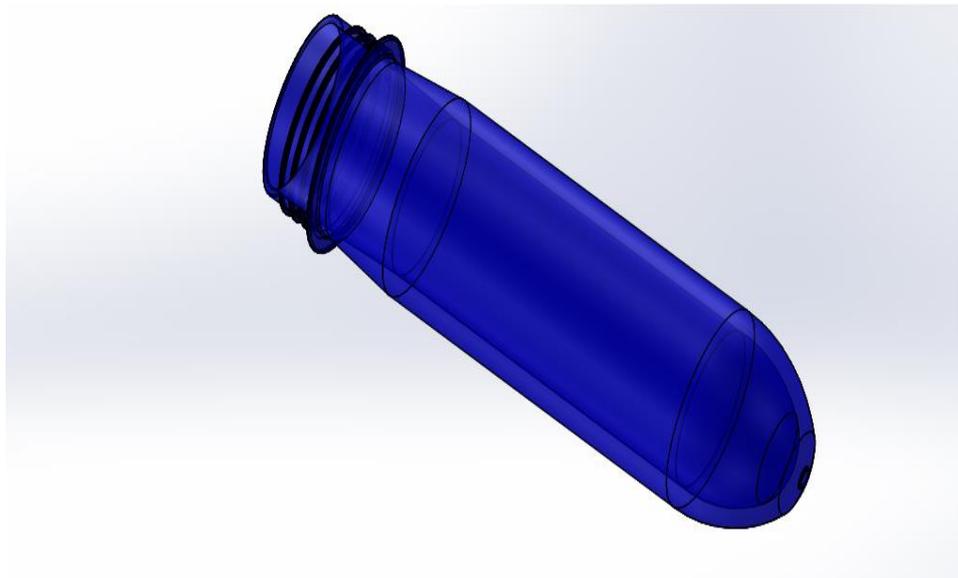
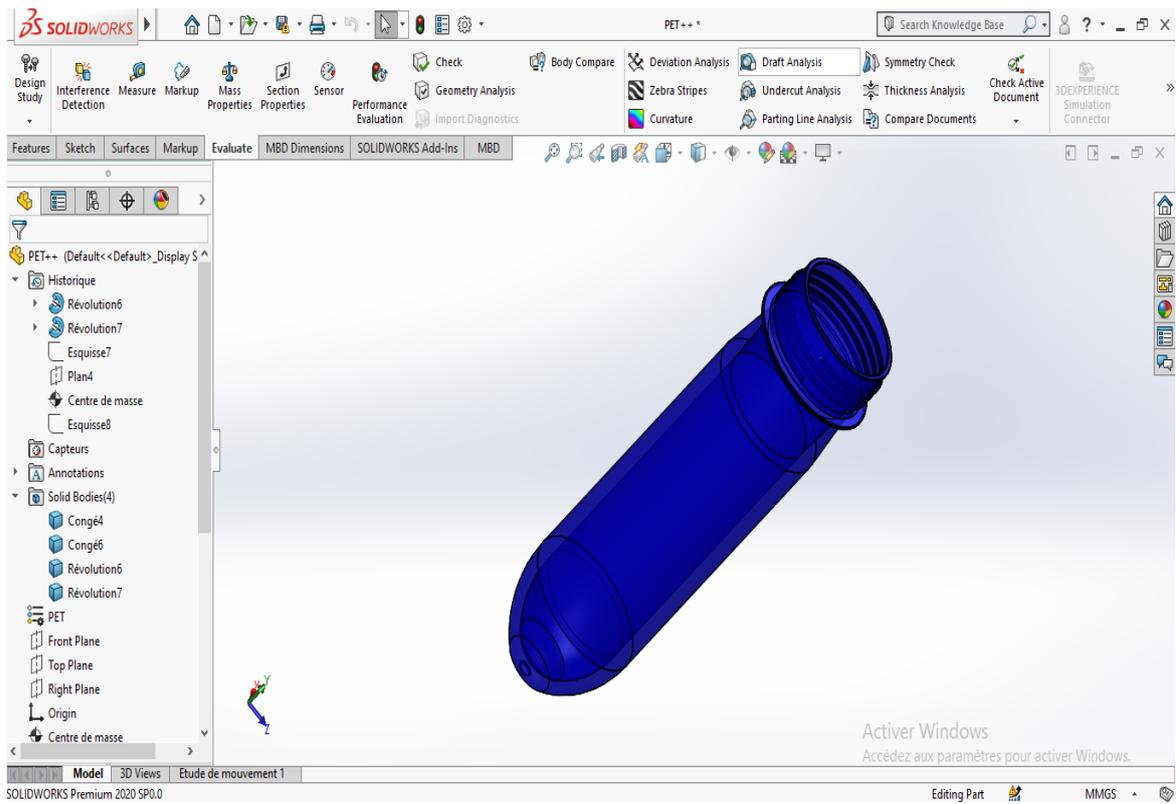


Figure.IV.1: La Pièce moulé (préforme pet)

b) analyse de la pièce à injecter**b.1) Analyses des épaisseurs:**

L'analyse des épaisseurs nous permet de déterminer les épaisseurs dans toutes les zones de la pièce et de détecter les zones épaisses, pour les modifier en cas de nécessité.

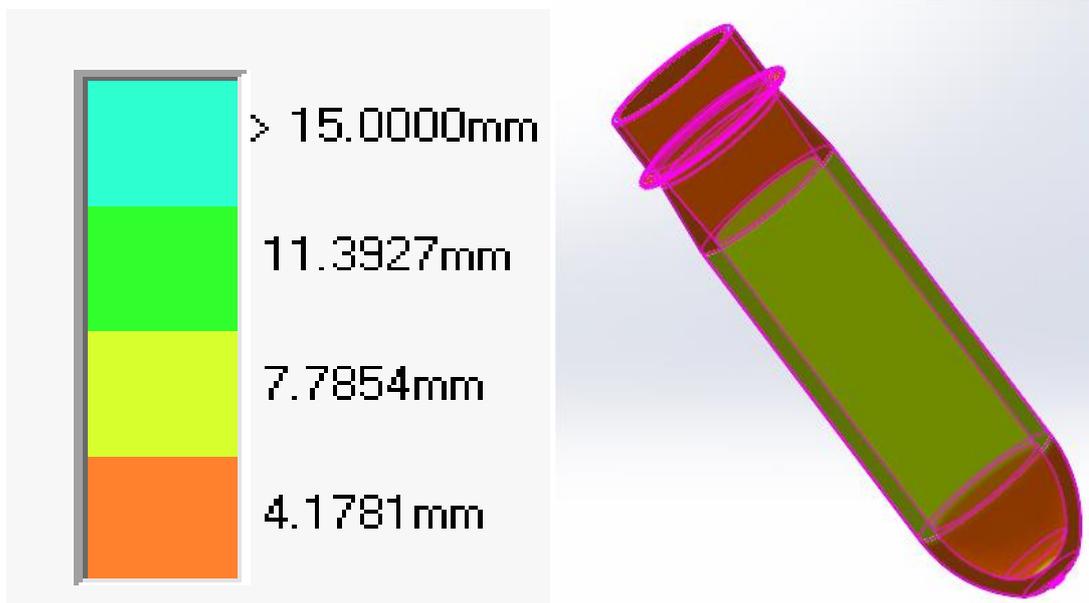


Figure.IV.1.1: Cartographies des épaisseurs de la pièce

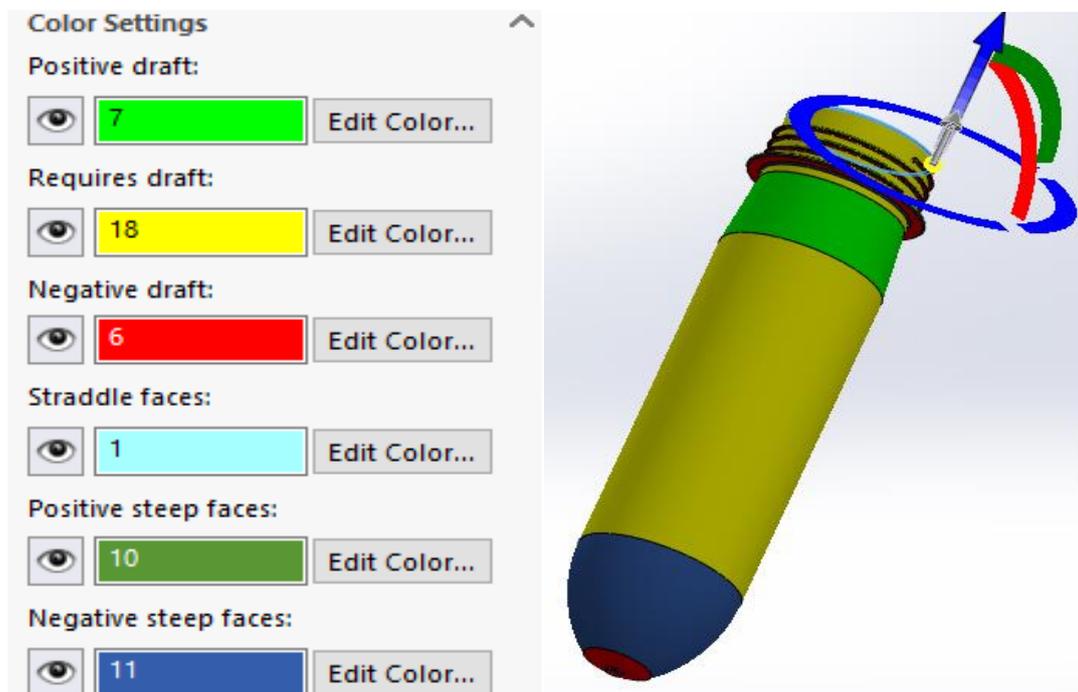
b.2) analyse préliminaire :

Figure.IV.1.2: analyse préliminaire

b.3) analyse de contre-dépouille :

On utilise l'outil "détection de contre dépouille" pour repérer d'éventuelle zones de blocage du model susceptible, d'empêcher l'injection du moule avec les plan de jointe spécifique pour créer le noyau et l'empreinte.

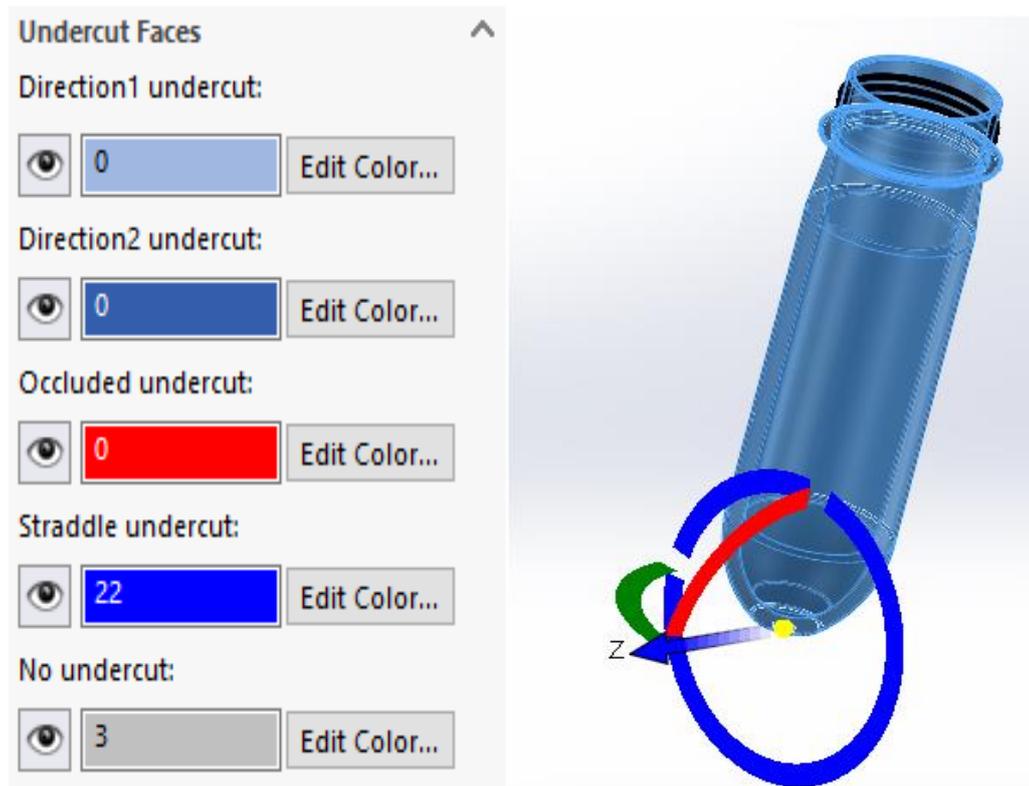
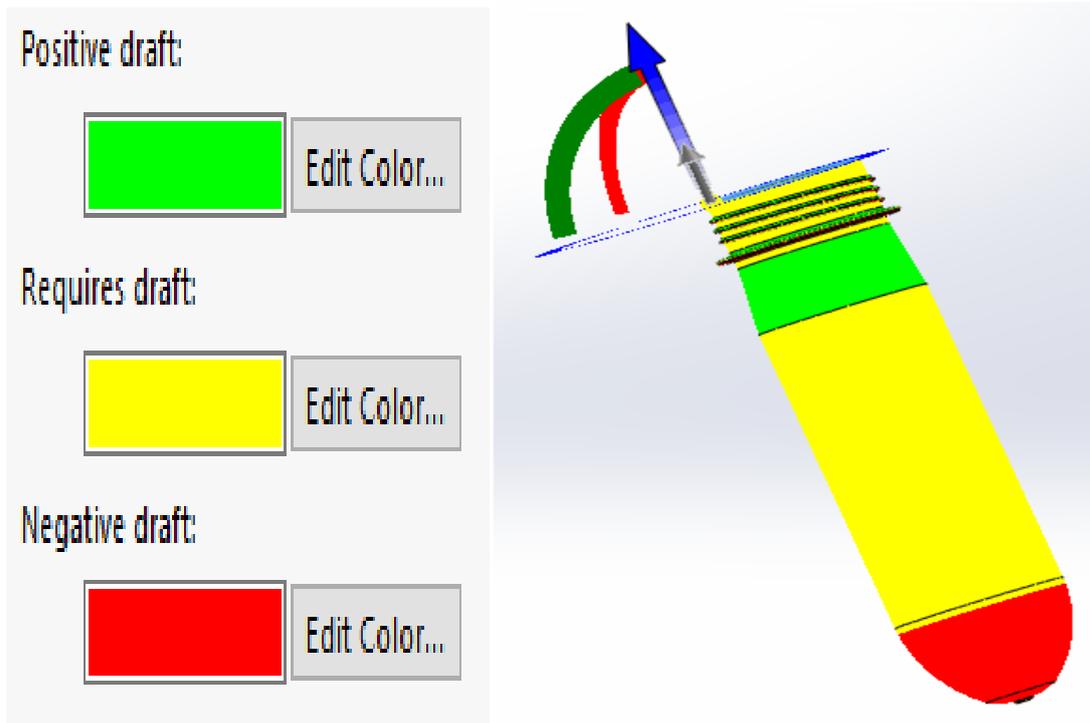


Figure.IV.1.3 : Recherche de contre dépouilles de la pièce

b.4) 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

Transition progressive :

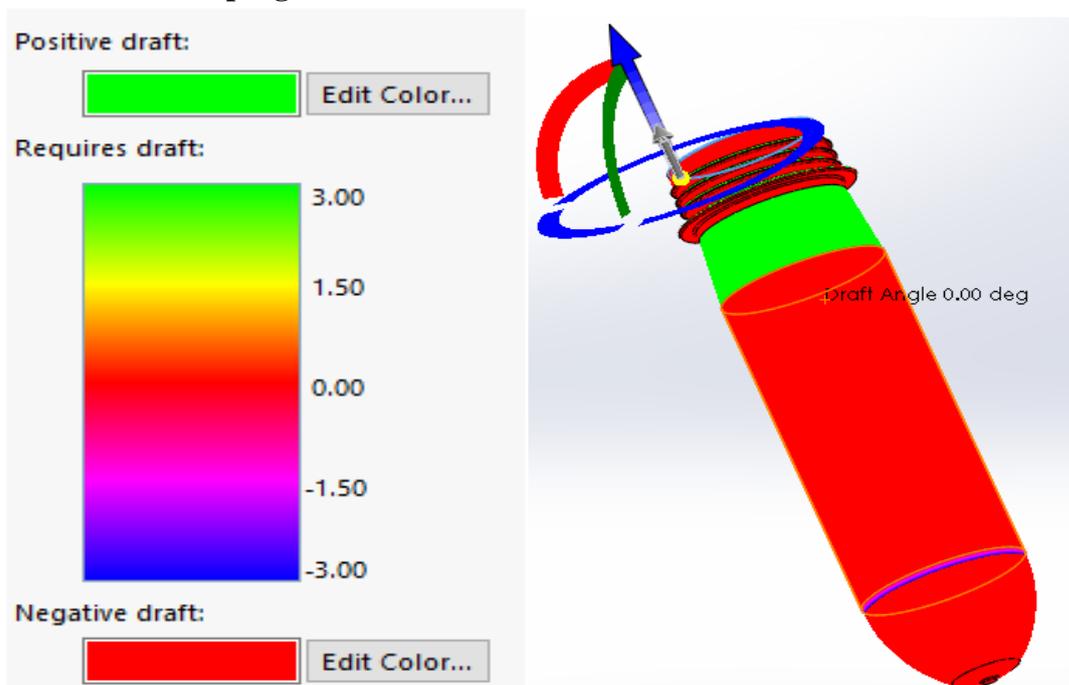
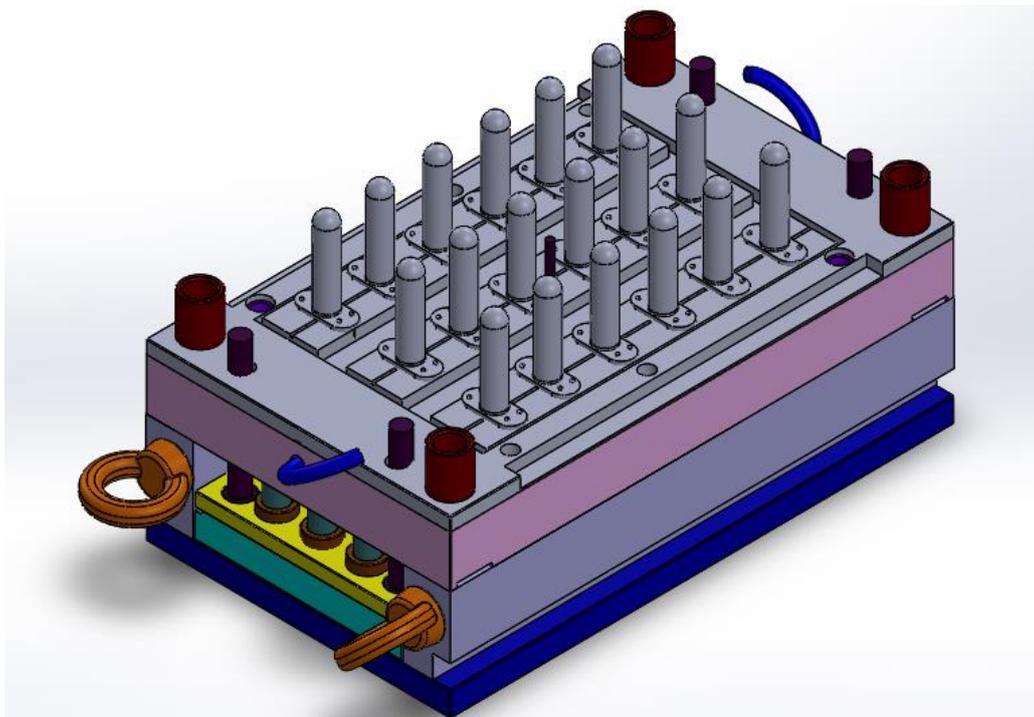
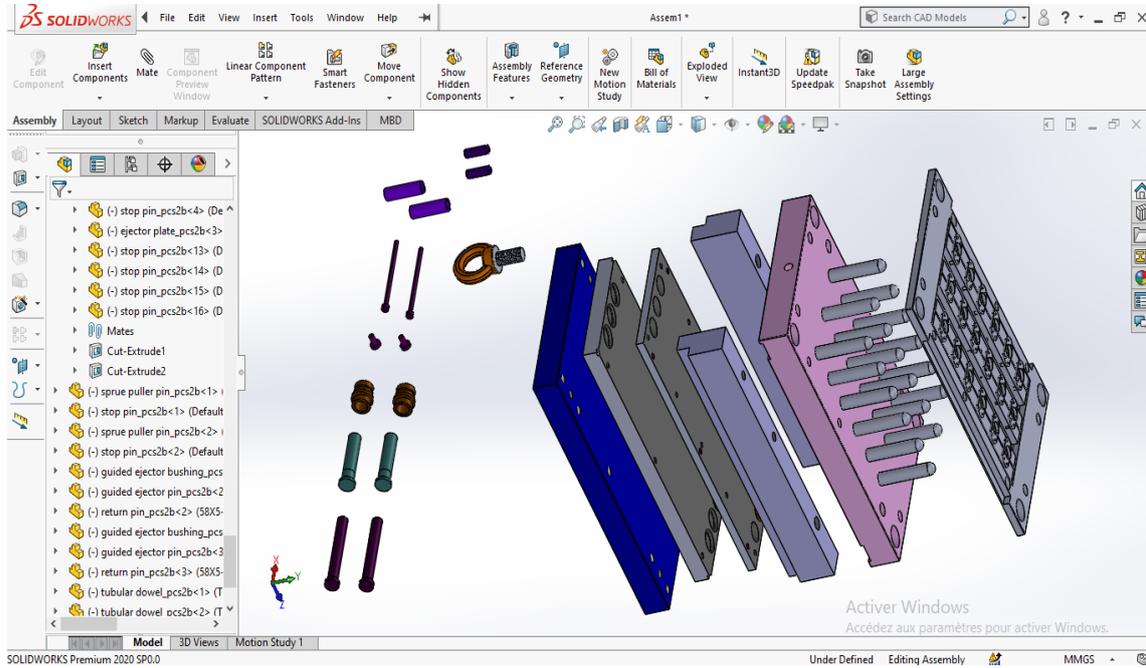


Figure.IV.1.4: Résultat d'analyse de dépouille de la pièce

c) Conception du moule

Dans cette étape nous avons commencé par la création des deux parties du moule.

c.1) partie mobile du moule :



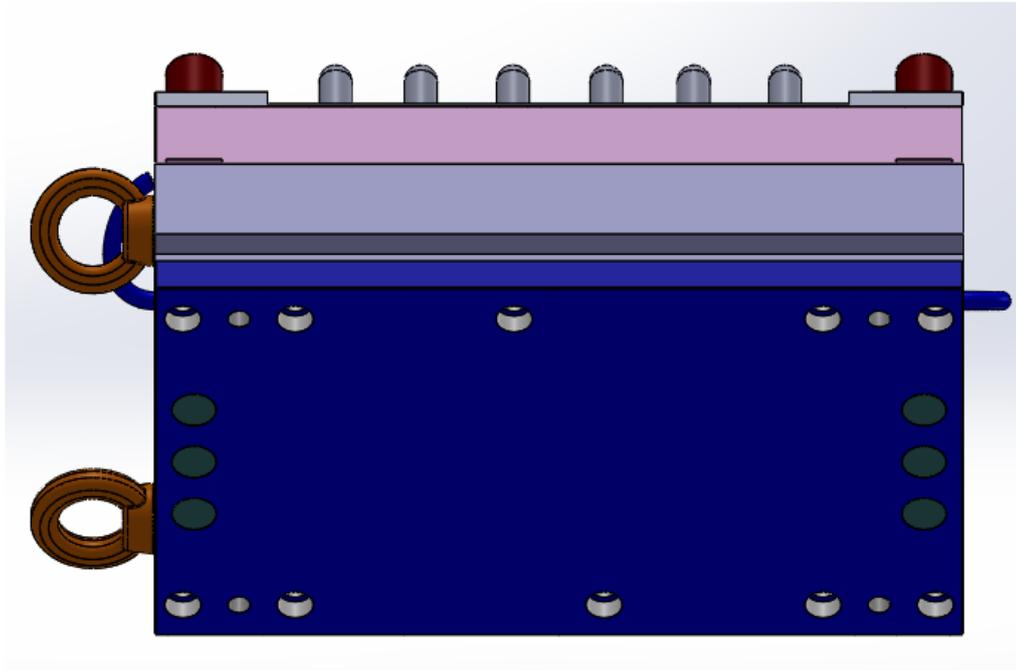
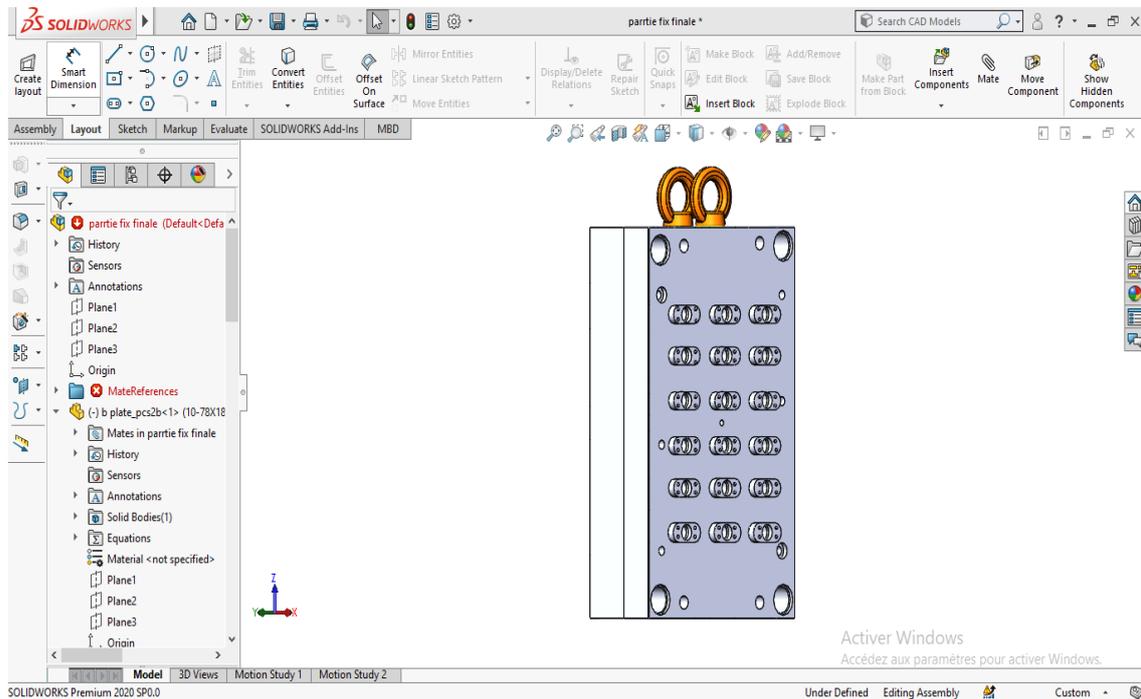


Figure.IV.2: partie mobile du moule

c.2) Partie fixe du moule :



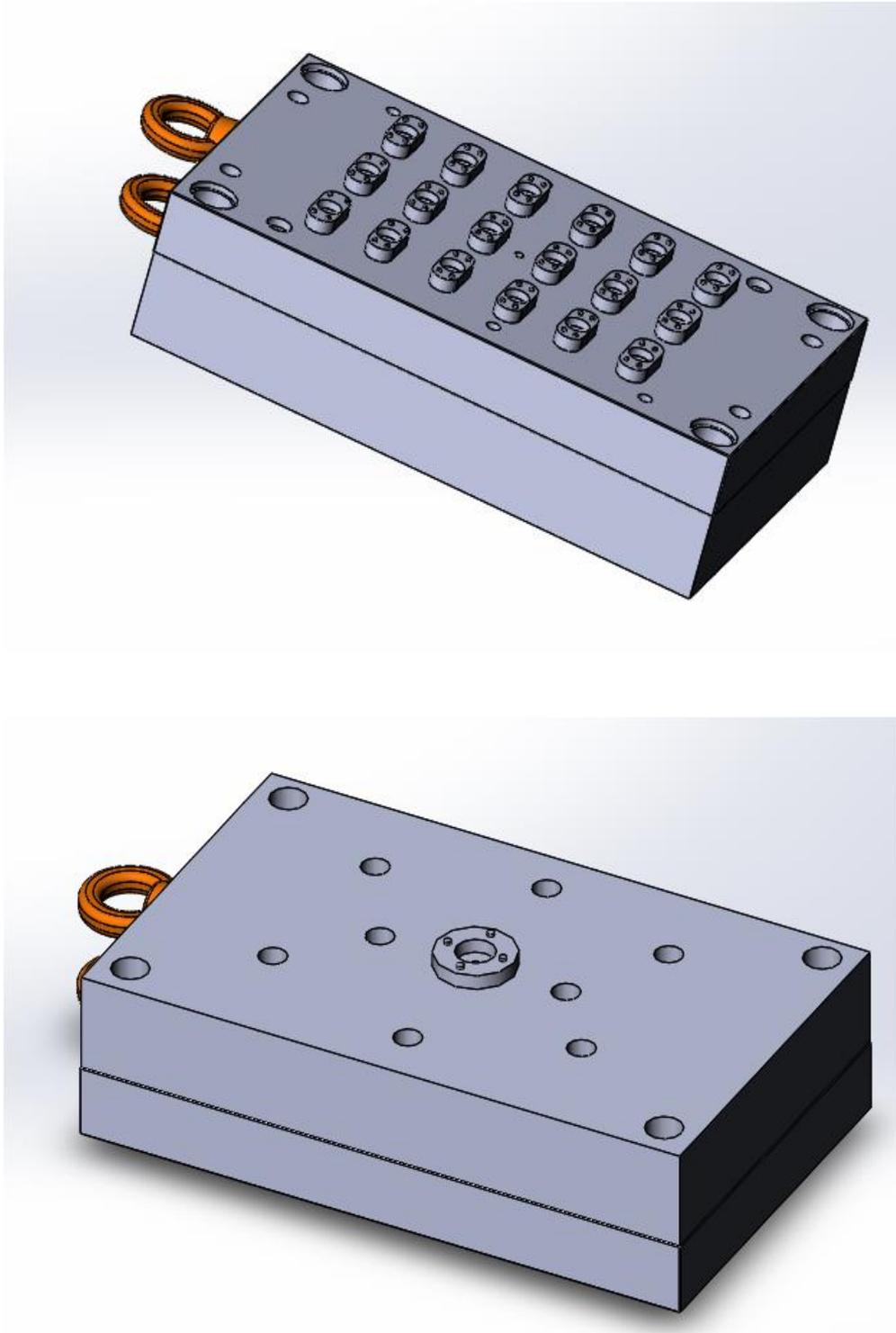


Figure.IV.3: partie fixe du moule

c.3) Le moule :

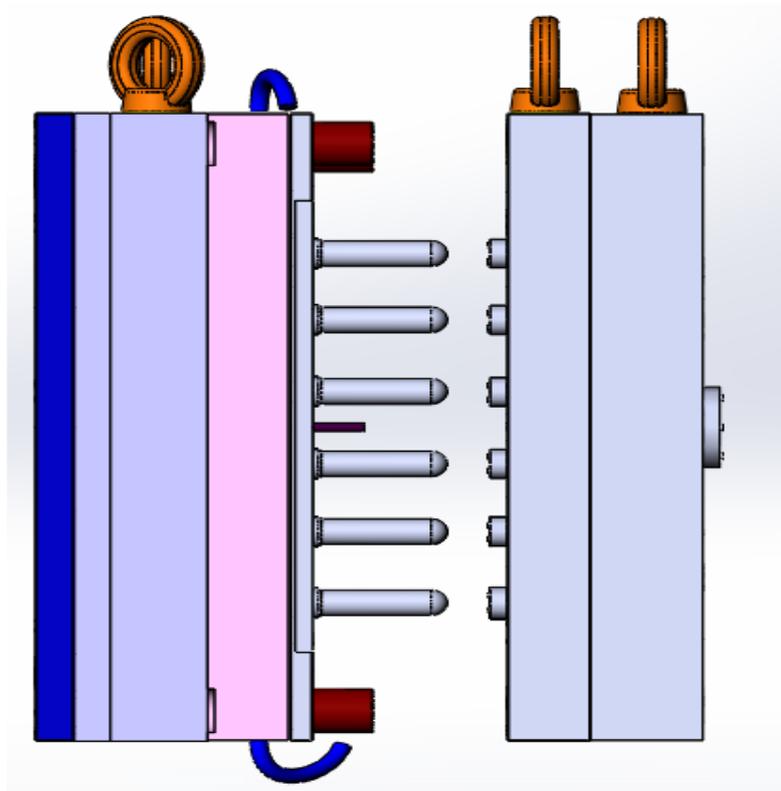
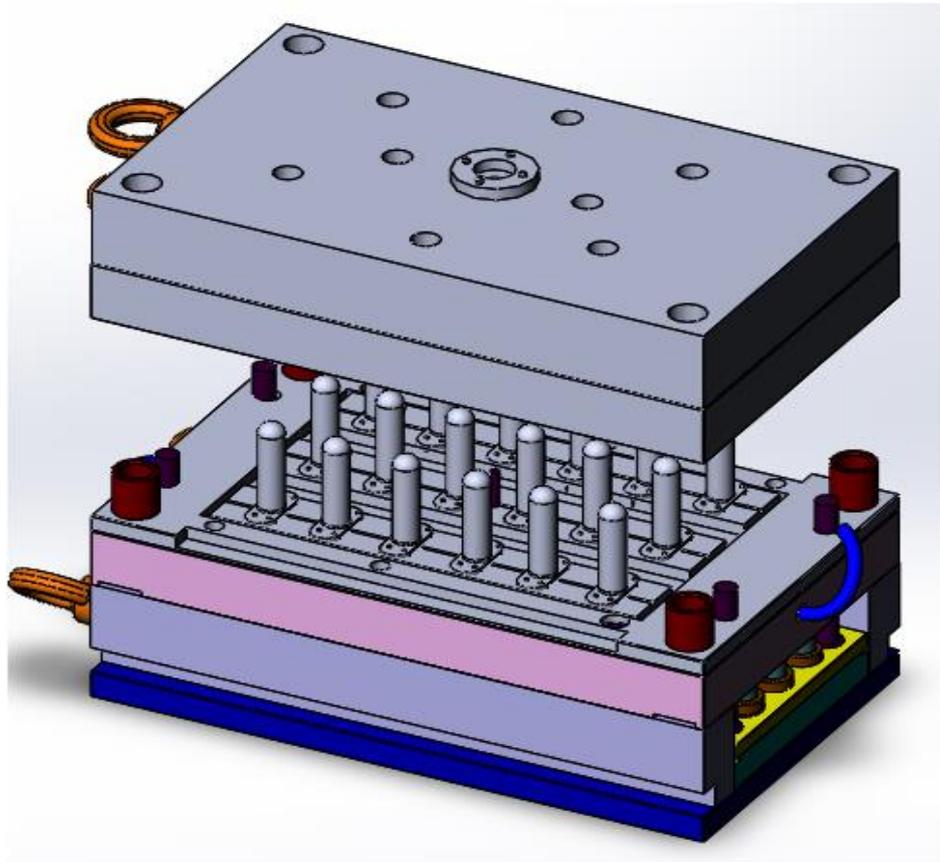


Figure.IV.4: Le moule

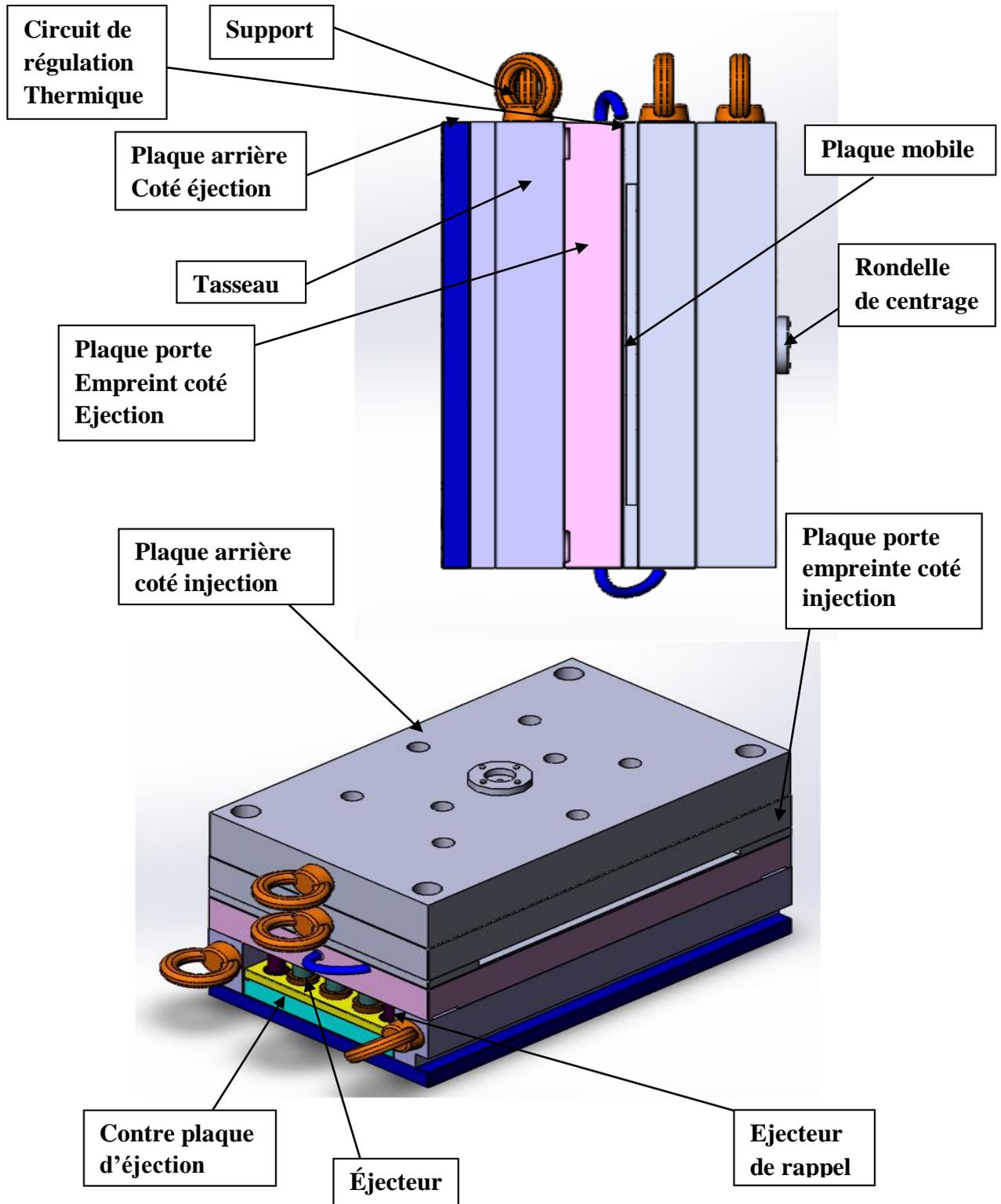


Figure.IV.5: Les composantes du moule

c.4) L'éjection de la pièce :

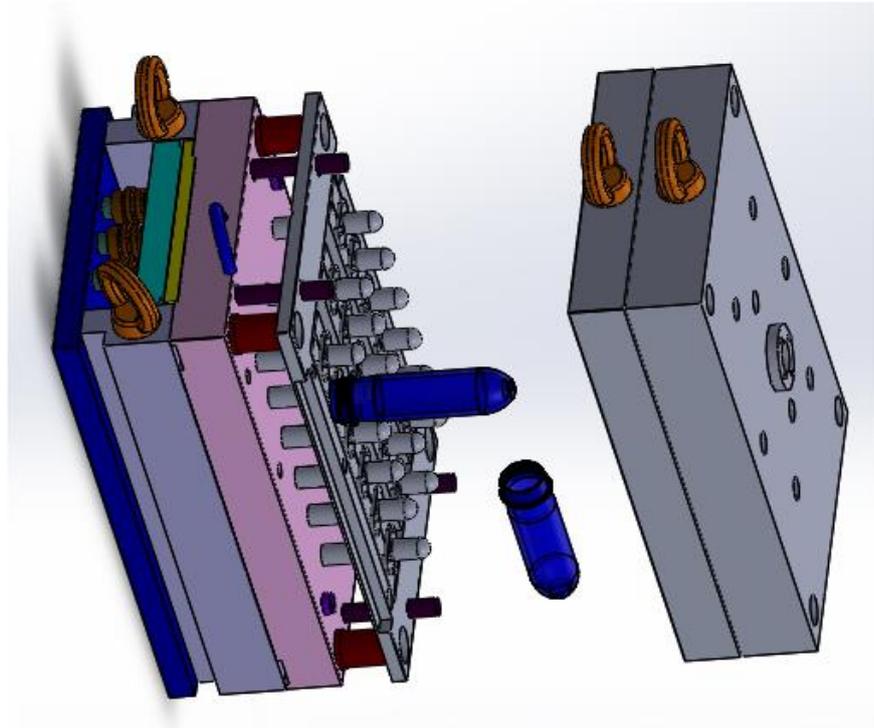
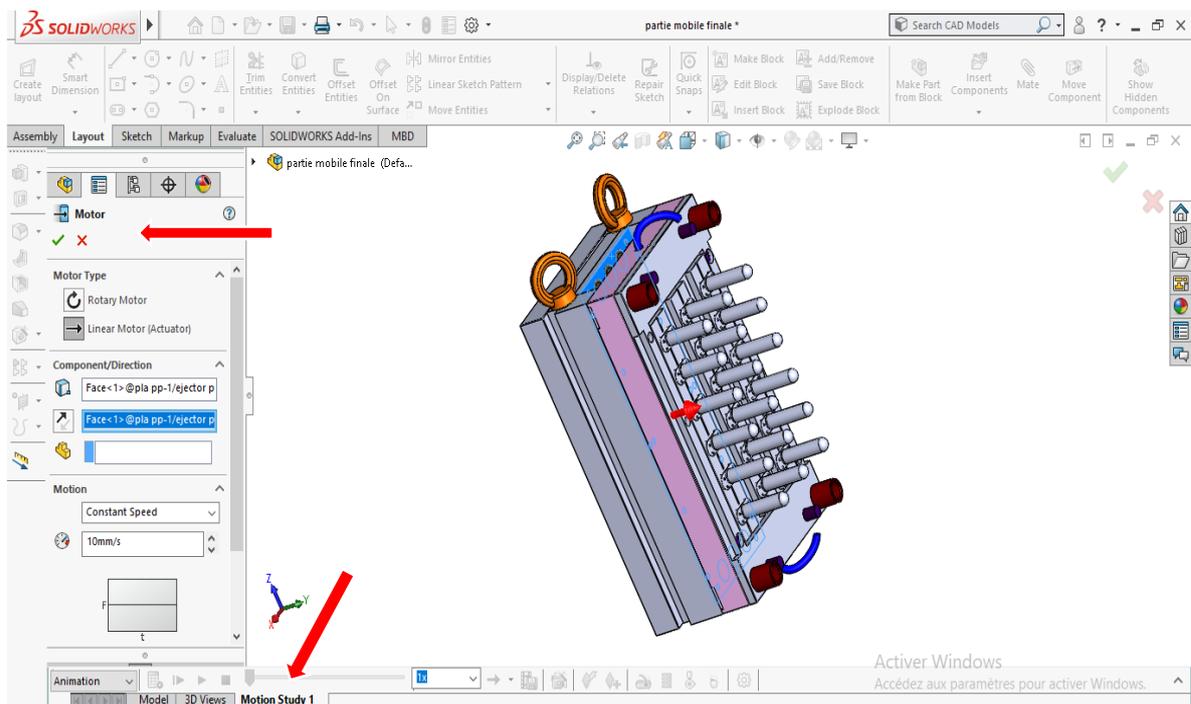


Figure.IV.6: l'éjection de la pièce

c.5) Etude de mouvement :

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



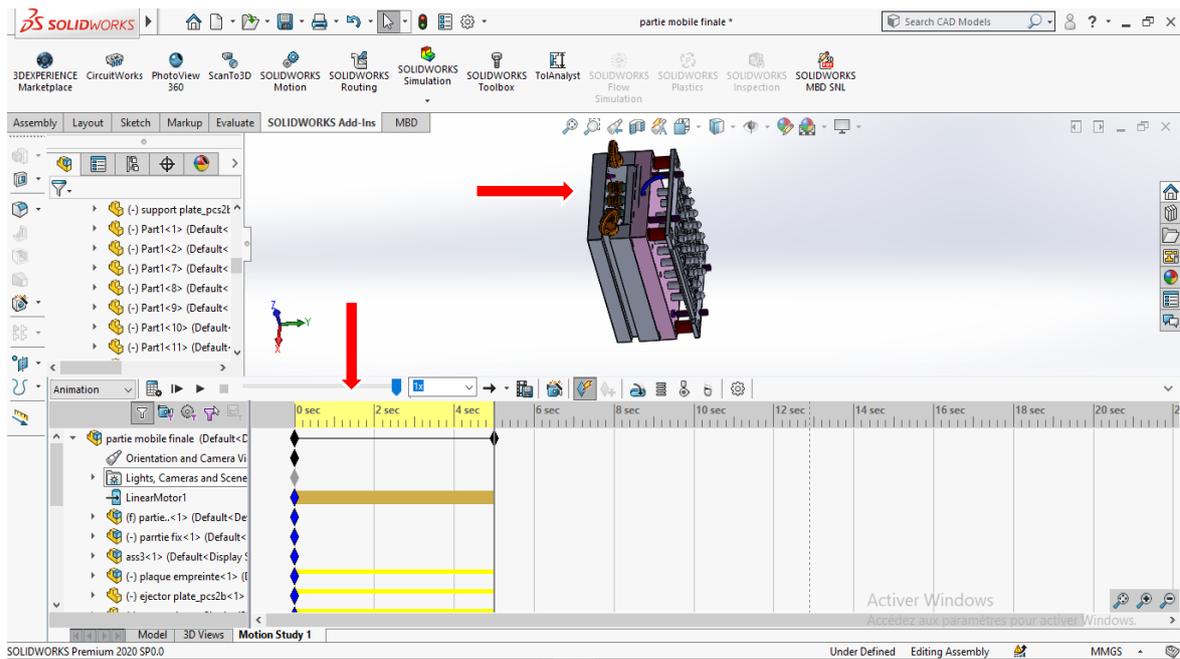


Figure.IV.7: Etude de mouvement sur solidworks.

Conclusion

L'utilisation de C.A.O. (Solid Works) permet de créer des pièces selon la demande du client quelle que soit la forme et mis dans des moules avec des caractéristiques variées, cela dépend de la pièce et de la machine.

SOLIDWORKS Plastics Professional offre aux concepteurs de moules d'injection, des outils précis pour optimiser leurs conceptions et avoir une vue de ce qui se passe à l'intérieur du moule. Vous aurez aussi un aperçu des effets du changement de ces variables.

Chapitre V

Partie Calcul et vérification

V.I. Le choix de la machine

Le choix de la machine dépend essentiellement de plusieurs facteurs tels que :

I.1. La capacité d'injection

Chaque machine a une capacité d'injection ; donc on a une machine :

Presses	Capacité d'injection (Gramme)
	Pour Le PET
225 T	1600 gramme

Tableau.V.1 : Capacité d'injection [27]

a) La masse de la pièce :

Le masse de notre pièce est : **80,21 g = 0,08021 Kg = 0,787 N**

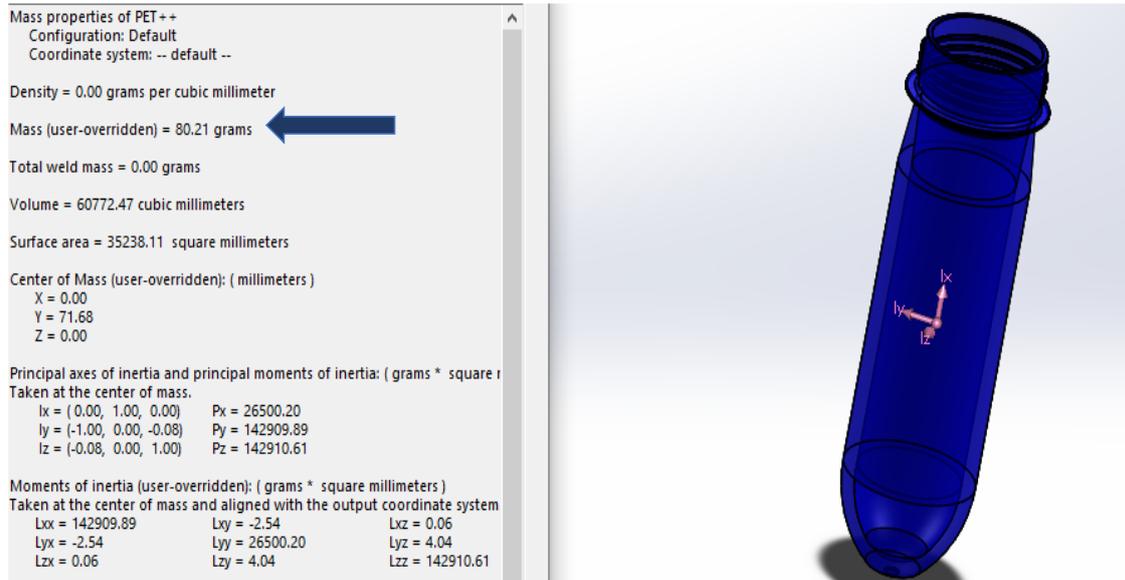


Fig.V.1 : Préforme PET poids sur solidworks

b) La masse de la moulée (M)

Tant qu'On a 18 cavités La machine doit pouvoir injecter une quantité suffisante (M).

$$M = (80,21 \cdot 18) \text{ g} = \mathbf{1443,78 \text{ g}}$$

Bien que le poids de la moulée est l'un des paramètres essentiel pour déterminer la machine adéquate, La presse choisit est celle de 225 T. (vérifier)

c) Volume injectable :

$$\mathbf{\text{Volume injectable}} = \frac{\mathbf{\text{Volume de moulée (cm}^2)}}{\mathbf{\text{Coeiff de correction}}} \quad [26]$$

- **Coeiff de correction : 0,85** (matières amorphe)

d) Volume Moulée :

$$\text{Volume Moulée} = \frac{\text{la masse moulée(g)}}{\text{la masse volumique de la matière } \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)} \quad [26]$$

Avec : masse moulée = masse pièces

Donc : la masse moulée = **1443,78 g** pour 18 pièces (préforme)

Soit pour le PET, la masse volumique est de = 1,38 g/cm³

$$\text{Volume Moulée} = \frac{1443,78}{1,38}$$

$$\text{Volume Moulée} = 1046,21 \text{ cm}^3$$

Alors :

$$V_i = \frac{1046,21}{0,85} = 1230,83 \text{ cm}^3$$

e) Calcul course de dosage sur la presse :

$$\text{course de dosage} = \frac{\text{Volume injectable}}{\text{section de la vis}} \quad [26]$$

Avec : section de la vis = $\pi \cdot \varnothing_{\text{vis}}^2 / 4$

Pour diamètre de la vis = 60 mm,

On aura $3,14 \cdot 60^2 / 4 = 3,14 \cdot 3600 / 4 \text{ mm}^2 = 2826 \text{ mm}^2$ soit donc 28,26 cm²

Alors :

$$\text{course de dosage} = \frac{1230,83 \text{ cm}^3}{28,26 \text{ cm}^2}$$

D'où : course de dosage = 43,55 cm

I.2. La force de fermeture de la machine

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

La force de fermeture :

$$F = F_v \cdot K \quad [15]$$

Avec :

F : Force de fermeture du moule (T)

K : Coefficient de sécurité (1,5 à 2)

FV : force de verrouillage [T]

I.2.1. La force de verrouillage : [15]

$$FV = P \cdot S \quad [26]$$

Avec :

P : la pression moyenne d'injection (tonnes /cm²)

$$P = 0,4$$

S : la surface projeté (cm²), donné par le logiciel de conception solidworks ;

$$S = 339,1 \text{ cm}^2$$

Matières	La pression intérieure moyenne (dans la normalité) ((tonnes /cm ²))	Grand parcours de fluctuation (forme compliquée) ((tonnes /cm ²))
PET	0,3 à 0,4	0,4 à 0,5

Tableau.V.2 : La pression d'injection (Tonnes/cm²)

AN :

$$F_v = P.S = 0,4 \times 339,1 = 135,64 \text{ T} = 136 \text{ T}$$

Donc :

$$F = F_v \cdot K = 136 \times 1,5 = 204 \text{ T}$$

D'après les résultats obtenus de la capacité d'injection et la force de fermeture, notre choix se portera sur la presse de **225 T**. (vérifier)

I.3. La puissance de plastification (C) :

Même si la machine **225 T** peuvent injecter **1443,78 g**, on doit vérifier sa capacité de plastification (la quantité de matière plastifiée par heure) qui est en fonction du poids de la pièce moulée et du temps de cycle.

$$C = \frac{\text{masse de la grappe}}{\text{temps de cycle}} \quad [16]$$

La masse de la grappe = poids de la moulée $\times 3600s$

$$C = \frac{P \cdot 3600}{t_c}$$

Avec :

C : puissance de plastification [kg/h]

P : poids de la pièce moulée [g]

Tc : temps de cycle [sec],

$$C = \frac{1443,78 \cdot 3600}{t_c}$$

➤ Etude Thermique :Dont :**1.3.1. Le temps de cycle**

$$T_c = t_r + t_i + t_m + t_e + t_o + t_f$$

Avec :

Tr : temps de refroidissement

Ti : temps d'injection (remplissage) = (5,15 sec)

Tm : temps de maintien pression = (8,74 sec)

Te : temps d'éjection = (0,32 sec)

To : temps d'ouverture moule (2,59 sec)

Tf : temps de fermeture moule (0,78 sec)

I.3.2. Le temps de refroidissement :

Le calcul d'un temps de refroidissement s'effectue de la manière suivante :

$$t_r = \frac{e^2}{(\pi^2 \cdot \alpha_{\text{eff}})} \text{Ln} \left(\frac{(8)(T_m - T_{m0})}{(\pi^2)(T_e - T_{m0})} \right) \quad [26]$$

Avec :

- **t_r** temps de refroidissement [s]
- **e** épaisseur de paroi [m]
- **α_{eff}** coefficient de diffusion thermique [$10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$]
- **T_m** température de la matière [°C]
- **T_{m0}** température moyenne de la paroi du moule [°C] (Valeur moyenne de la température Minimale et maximale au cours d'un Cycle par injection)
- **T_e** température moyenne de démoulage [°C]

Alors :

$$t_r = \frac{(4,24^2 \cdot 10^{-6})}{(3,14^2 \cdot 10 \cdot 10^{-8})} \text{Ln} \left(\frac{(8)(297 - 50)}{(3,14^2)(70 - 50)} \right)$$

$$T_r = 4,20 \text{ second}$$

Alors :

$$T_c = 4,20s + 5,15s + 8,74s + 0,32s + 2,59s + 0,78s = 21,78 \text{ second}$$

Donc :

$$C = \frac{1443,78 \cdot 3600}{21,78} = 238641,32 \text{ g/h} = 238,64 \text{ Kg/h}$$

Cette condition est vérifiée puisque notre machine plastifie 350 kg/h (voir les caractéristiques de la presse (**Tableau.V.3**))

Diamètre de la vis	60 mm
Puissance de plastification (PET)	350 Kg /h
Puissance de serrage	225T

Tableau.V.3 : Caractéristiques techniques de la presse 225T. [27]

I.4. La distance entre colonnes

La presse possède quatre colonnes de guidages des plateaux sur lesquels le moule sera fixé.

Les dimensions de notre moule sont :

Largeur : 440 mm

Longueur : 622,5 mm

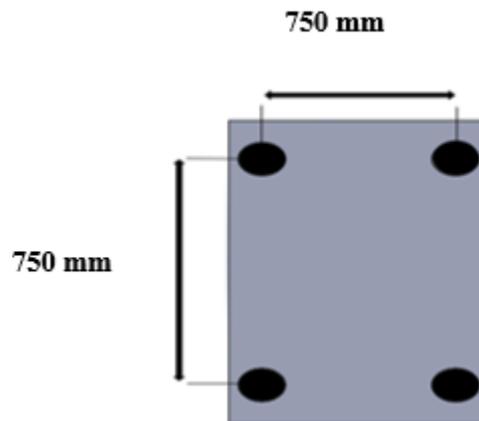


Fig.V.2 : Schémas d'un plateau d'une presse 225 T [27]

I.5. Epaisseur minimale du moule :

Les caractéristiques dimensionnelles de la presse **225T** sont : [27]

- La distance entre plateaux de la presse 1300 mm ;
- La course maximale du piston de serrage 1100 mm ;

A partir de la, on voit que l'épaisseur minimale du moule doit être supérieure à 200mm (notre moule a une épaisseur de mm).

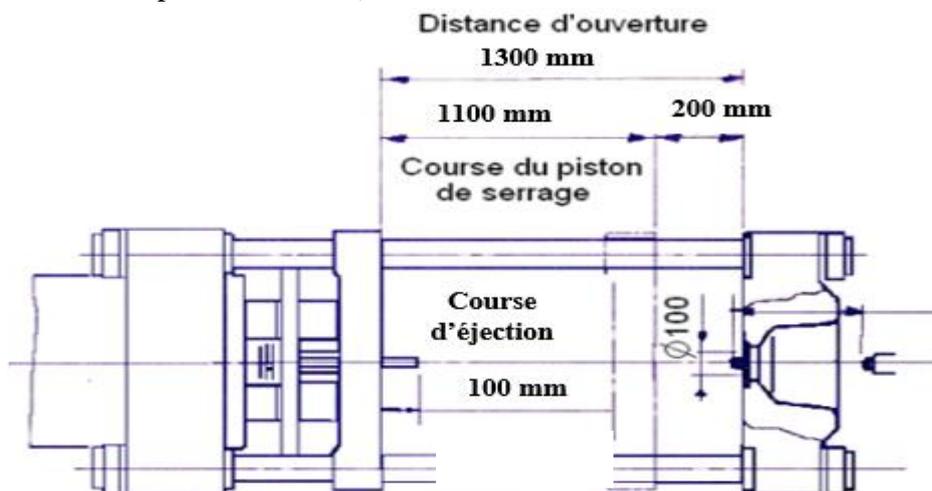


Fig.V.3 : Caractéristiques dimensionnelle de la presse 225T [27]

V.II. Résistance des matériaux : [28]**II.1) Résistance du plan de joint au matage :**

La force de fermeture de la presse 225T est égale à 2250000 N.

Condition de résistance au matage :

$$\sigma = \frac{F}{S} \leq Rpe \quad [28]$$

Et :

$$Rp = \frac{Re}{S'} \quad [28]$$

Re = 370 N/mm² (pour les aciers non alliés).

S' = 2 (coefficient de sécurité)

Donc :

$$Rp = \frac{370}{2} = 185 \frac{N}{mm^2}$$

Le coefficient de sécurité est choisi d'une façon à ce qu'en cours de fonctionnement normale, les contraintes normales maximales ne dépassent pas la limite élastique Re du matériau.

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

Tableau.V.4 : valeurs indicatives du coefficient de sécurité [28]

II.1.1. : résistance du plan de joint :

$$Spj \geq \frac{F}{0,2 \cdot Re} \quad [28]$$

Avec :

F : Force de fermeture du moule est de 225T = 2250000N.

Re = 370 N/mm² (pour les aciers non alliés).

Spj : surface du plan de joint

0.2 : coefficient de sécurité

$$Spj \geq \frac{F}{0,2 \cdot Re} = \frac{2250000}{0,2 \cdot 370} = 30405,405 \text{ mm}^2$$

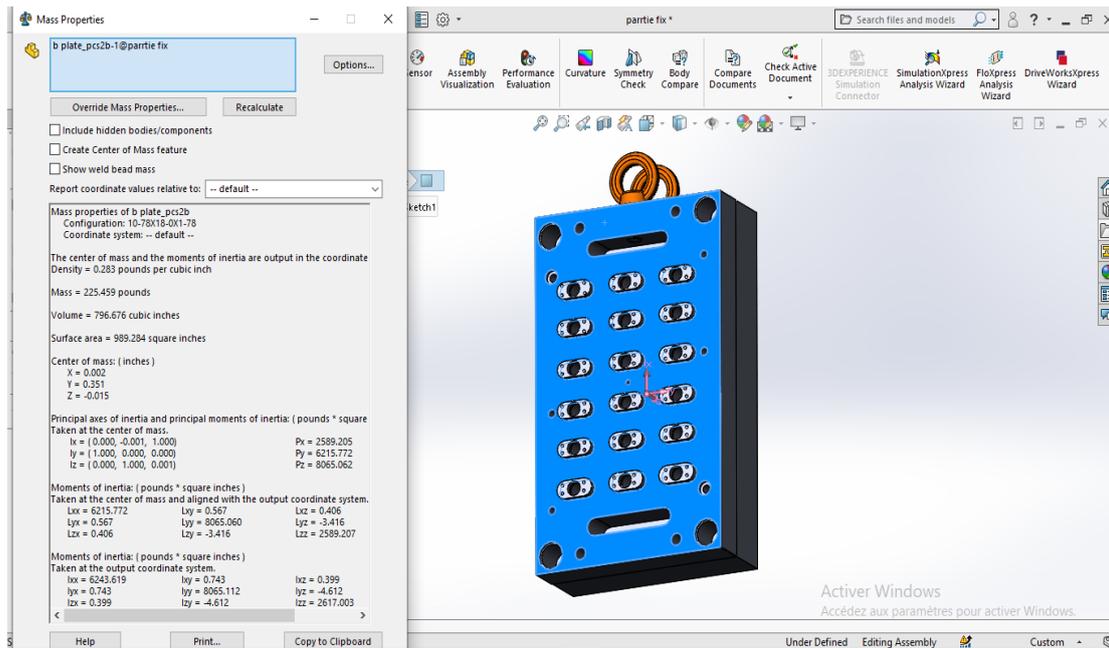


Fig.V.4 : Porte empreinte fixe.

Spj est la surface minimale que pourra supporter la force de fermeture, dans notre cas la surface de contact entre les deux portes empreintes est de 638063,24 mm² largement supérieure.

II.1.2. : partie fixe :

a) semelle fixe :

$$\sigma = \frac{F}{S} \leq Rpe \quad [28]$$

F = 2250000 N

S = e . l



Avec :

e : épaisseur de l'élément. = 110 mm

l : longueur de l'élément. = 622,5 mm

S : surface de l'élément.

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{2250000}{110.622,5} = 32,558 \text{ N/mm}^2 < Rp$$

➤ La semelle fixe résiste au matage.

b) porte empreinte fixe :

e = 90 mm

l = 622,5 mm

s = 622,5 x 90 = 56025 mm²

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{2250000}{56025} = 40,116 \text{ N/mm}^2$$

➤ La porte empreinte fixe résiste au matage.



II.1.3. : Partie mobile :**a) semelle mobile :**

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

$$l = 622,5 \text{ mm}$$

$$s = 74700 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{2250000}{49800} = 45,18 \text{ N/mm}^2 < R_p$$

➤ La semelle mobile résiste au matage.

**b) porte empreinte mobile :**

$$e = 120 \text{ mm}$$

$$l = 622,5 \text{ mm}$$

$$s = 18675 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{2250000}{74700} = 30,12 \text{ N/mm}^2 < R_p$$

➤ La porte empreinte mobile résiste au matage.

**c) les tasseaux :**

$$e = 200 \text{ mm}$$

$$l = 622,5 \text{ mm}$$

$$s = 124500 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{2250000}{124500} = 18,072 \text{ N/mm}^2 < R_p$$

➤ Les tasseaux résistent au matage.



Les calculs précédents nous montrent que les éléments constituant le moule résistent au matage due à la force de fermeture du moule.

Conclusion :

Dans cette partie de travail, nous avons calculé et vérifié tous paramètres du moule, à savoir, son dimensionnement,

Les calculs trouvés ont permis aussi de choisir la presse à utiliser pour l'obtention du préforme pet. Comme on a aussi vérifié la résistance des différents éléments.

Classification des défauts

1- Description des défauts : cette section propose les descriptions, les images et les remarques concernant les différents défauts qui permettront de classer le problème. [25]

2- causes possible des défauts : cette section contient une brève explication des causes physique possible du défaut. Des remarques importantes sur les erreurs globales sont données, ainsi que des remarques sur les limites à respecter. [25]

3- solutions suggérées [25]

Bulles :



Causes possible	Solutions suggérées
Formation de gaz dans la matière fondue causée par les pastilles de résine en fusion en aval de l'extrudeuse. [25]	<ul style="list-style-type: none">○ Augmenter les températures de l'extrudeuse○ Augmenter l'échauffement par cisaillement en augmentant la contre-pression

Ebrusement :



Causes possible	Solutions suggérées
<p>Marques d'ébrusement créées en injectant une matière fondue trop chaude ou de mauvaise qualité dans l'empreinte. [25]</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Réduisez les températures de la pointe de la buse, le distributeur du moule et / ou de la machine ○ Vérifier la zone de la pointe de la buse du moule, l'isolateur vespol et la zone du fond d'empreint pour détecter d'éventuels

Résidus d'injection longue :



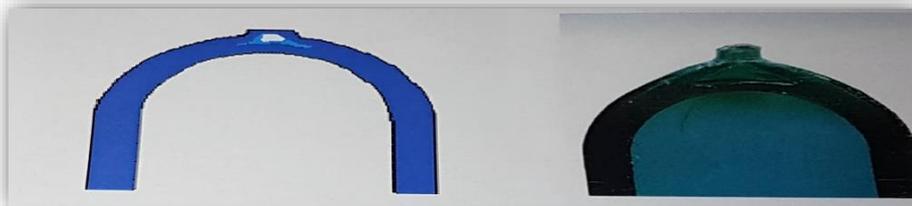
Cause possible	Solutions suggérées
<p>Fermeture incorrecte de la tige de vanne</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Augmentez la température du distributeur de moule ○ Vérifier la pression d'air de la buse a obturation
<p>Préforme non décompressé laissent la matière fondue sortir de l'obturateur une fois le moule ouvert [25]</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Réduisez la pression de maintien

Préforme floue :



Cause possible	Solutions suggérées
Refroidissement insuffisant du moule permettant une recristallisation [25]	<ul style="list-style-type: none">○ Augmentez le temps de refroidissement

Vide de l'obturateur :



Cause possible	Solutions suggérées
Temporisation ou fermeture incorrecte de tige de vanne [25]	<ul style="list-style-type: none">○ Vérifier la pression d'aire de la tige de vanne.

Cristallisation de l'obturateur :



Cause possible	Solutions suggérées
Refroidissement insuffisant du seuil d'injection [25]	<ul style="list-style-type: none"> ○ Assurez-vous que le refroidissement du moule n'est pas bloqué et est suffisant

Matière non fondues :



Cause possible	Solutions suggérées
Point de fusion de résine trop élevé [25]	<ul style="list-style-type: none"> ○ Vérifier la détérioration de la résine en détectant sa décoration

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans La domaine des industries, le monde recherche toujours le meilleur produit avec le moindre cout c.-à-d. augmenter la production, minimiser le cout avec une grand fiabilité. Par conséquent dans le domaine du cette règle s'applique aussi comme tous les autres industries

La présente étude effectuée dans ce projet nous a donné l'opportunité d'élargir et d'acquérir des connaissances dans le domaine de la plasturgie, et de voir la place importante et grandissante qu'elles occupent dans les divers domaines.

L'étude en elle-même est réalisé par le logicielle de solidWorks. Nous avant essayer donner les informations utiles sur les polymères, leurs structures, leurs caractéristiques ainsi, que leurs comportements afin d'approfondir l'étude sur le procède d'injection des polymères.

Le logicielle solidWorks nous a facilité la conception des pièces, l'obtention des empreintes et la conception de toutes les autres pièces du moule puis de faire le montage complet et une analyse des interfaces de la pièce moulé.

Le choix de la machine dépend essentiellement, nous avons calculé et vérifie tous paramètre du moule, à savoir, son dimensionnement, Les calculs trouvés ont permis aussi de choisir la presse à utiliser pour l'obtention du préforme pet. Comme on a aussi vérifié la résistance des différents éléments du moule.

Enfin, nous espérons que cet humble travail sera utile et soutiendra la recherche de suivi.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

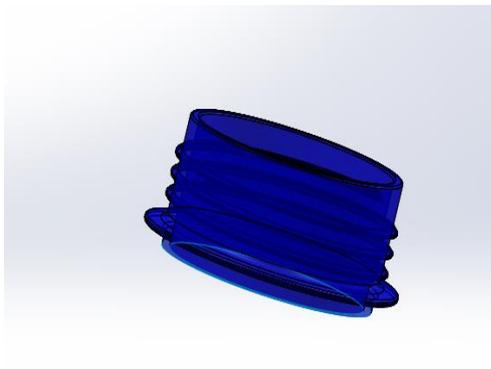
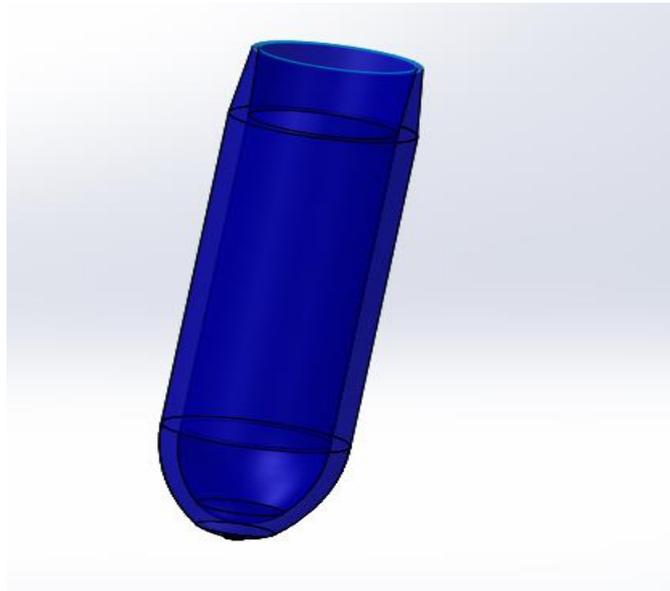
- [1] J-P TROTIGNON, J VERDU, A DOBRACZYNSKY, M PIPERAUD : Matières plastiques structures, propriétés, mise en œuvre et normalisation ; Edition Nathan, 2006.
- [2] origines plastiques de Jacky Aubry
- [3] Jacky Aubry : technologie les matériaux, Les Matières Plastiques 2010.
- [4] S.HAMMA, K.LATTARI : Etude, conception et réalisation d'un moule d'injection plastique. Mémoire d'ingénieur. Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, Promotion 2007.
- [5] les plastiques en débat ensemble scolaire Notre Dame 2010 2011
- [6] outils PFERD pour l'usinage des matières plastiques
- [7] thermoformages plastiques de Rhône Alper 2013 2015
- [8]. J. F. Agassant, J.M. Haudin, « mise en forme des polymères thermoplastiques », in M. Carrega et Coll, matériaux industriels. Matériaux polymères, Dunod, Paris (2000).
- [9] 'Etude des systèmes technique industriels, soufflage et embouteillage des eaux', dossier technique, septembre 2003.
- [10] BERNARD PLANTAMURA, 'Soufflage de corps creux bi-orientés', am3700, technique de l'ingénieur, 2012, PARIS.
- [11] M. BORDIVAL, 'Modélisation et optimisation numérique de l'étape de chauffage infrarouge pour la fabrication de bouteilles en PET par injection-soufflage', 2009
- [12] M. PICARD, 'Evolution de la microstructure d'un PET lors du bi-étirage soufflage; corrélation au durcissement structural', octobre 2008.
- [13] <https://www.sabic.com/en/products/polymers/polyethylene-terephthalate-pet/sabic-pet>
- [14] <https://www.valorplast.com./le-campus/collège/la-transformation/>
- [15] Mémoire fin d'étude : Conception et Fabrication d'un moule à injection plastique d'une grille d'aération Ø100. Mémoire d'ingénieur. Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, Promotion 2014.
- [16] Mémoire fin d'étude : Etude et conception d'un moule d'injection plastique d'un cache d'une boîte de dérivation. Mémoire d'ingénieur. Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, Promotion 2018/2019
- [17] Mémoire fin d'étude : Procédure de conception d'un moule à injection plastique d'une multiprise électrique A3. UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA1 Mémoire d'ingénieur. Promotion 2015/2016
- [18] Mémoire fin d'étude : Etude du processus de l'injection plastique et optimisation électrique et automatique. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou Mémoire d'ingénieur

Références bibliographiques

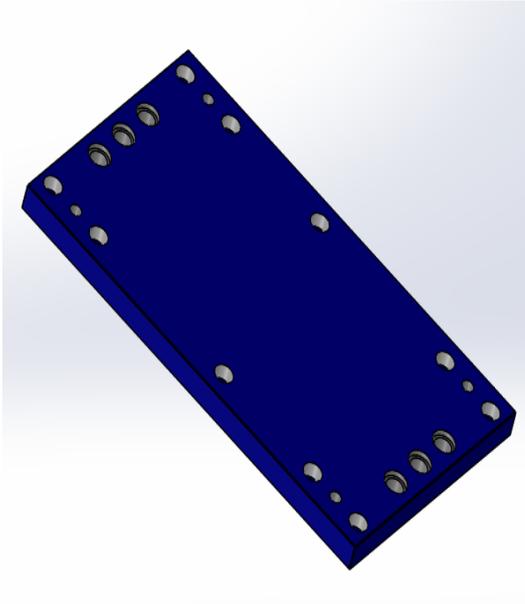
- [19] G. paquet. Guide de l'usinage, DELAGRAVE(2000).
- [20] F.Agassant. La mise en forme des matières plastiques.
- [21] injection des thermoplastiques ; les moules, technique de l'ingénieur A 3680.
- [22] A.DESSARTHE, H. GUYOT .M. CARAYOL technique de fabrication des pièces en plastique" CETIM 1994.
- [23] Jean-François Pichon / Christophe Guichou Aide-mémoire. INJECTION DES MATIÈRES PLASTIQUES, 4 e édition, Dunod, Paris, 2001, 2005, 2011, 2015
- [24] <https://www.avenao.com/solutions-solidworks/calculs-simulation/>
- [25] Livre : cours de formation opérateur pour le Hype 4.0
- [26] <https://conceptec.net/fr/techniques-de-base/techniques-de-fabrication/plastiques-et-caoutchoucs/calcul-des-parametre-de-reglage-le-la-presse-injection-force-de-verrouillage-volume-injectable-course-de-dosage-et-temps-de-refroidissement>
- [27] Livre des paramètres de la presse 225 T d'injection plastique, Ingénieur d'atelier d'injection Société AQUA SIM Rue attabla (Blida).
- [28] Mémoire fin d'étude : Etude et conception d'un moule à injection plastique de la pièce de fixation de la soupape de décharge. Mémoire d'ingénieur. Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, Promotion 2013 / 2014.

Annexes

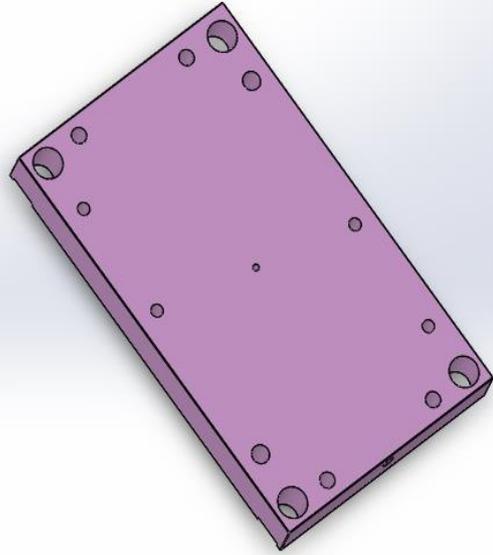
Dessins de conception



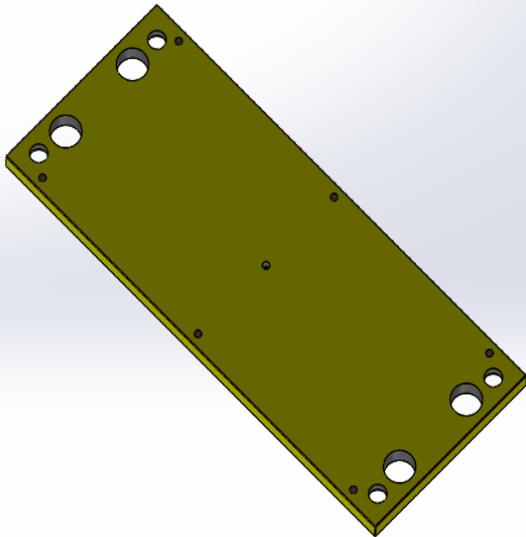
La pièce moulée (préforme pet)



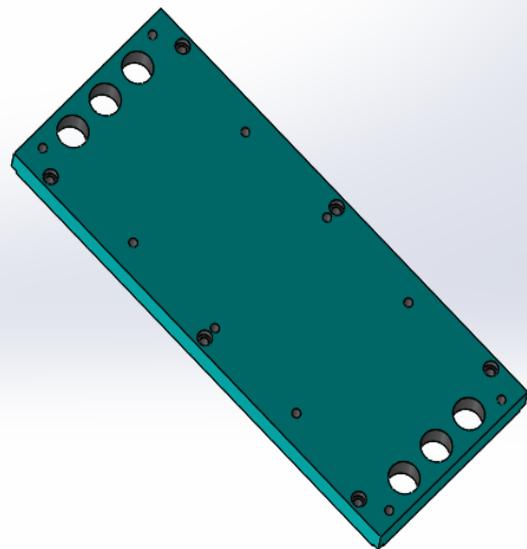
Plaque arrière coté éjection



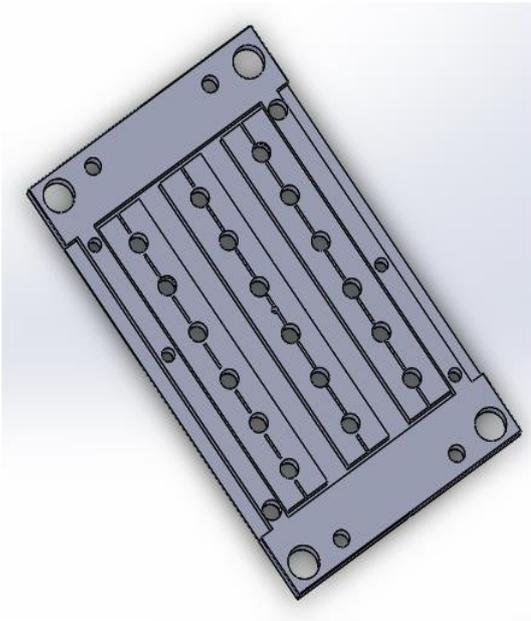
Plaque porte empreinte mobile



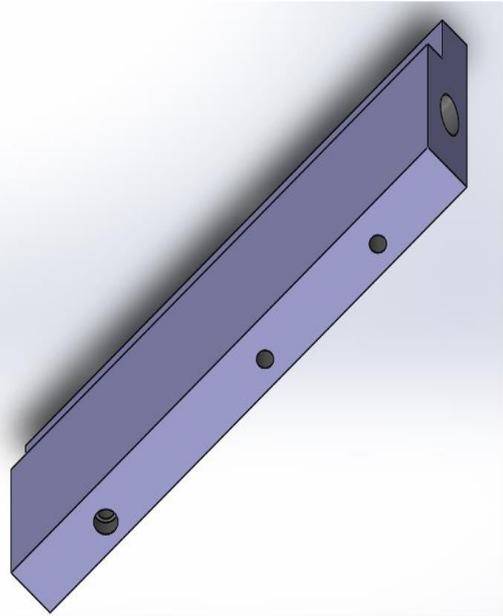
Porte éjecteurs



Contre plaque d'éjection



Plaque empreinte



Tasseau



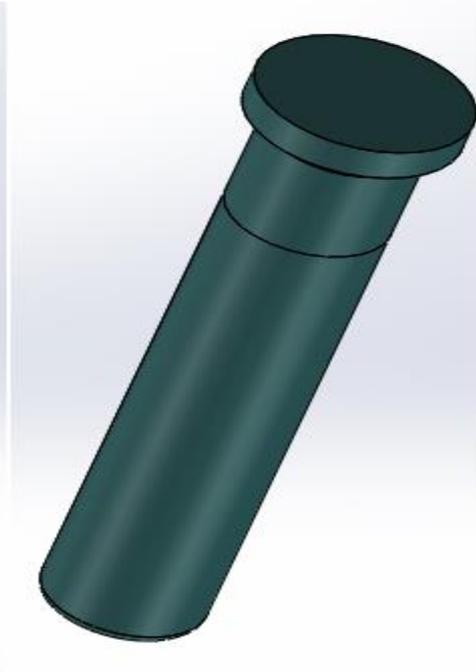
Colonnes de guidage



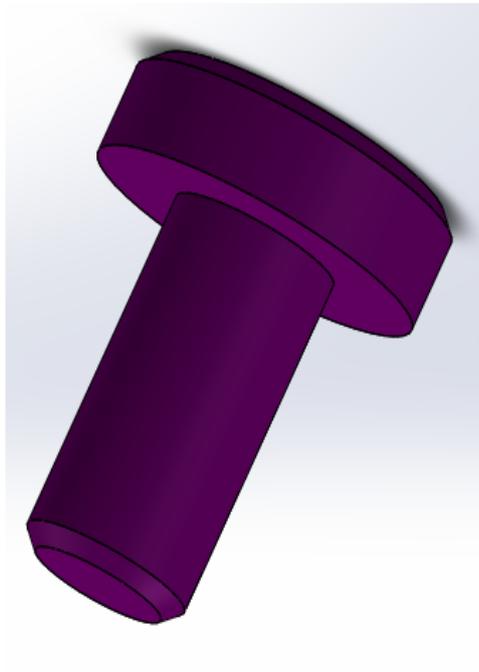
Douille d'éjection guidée



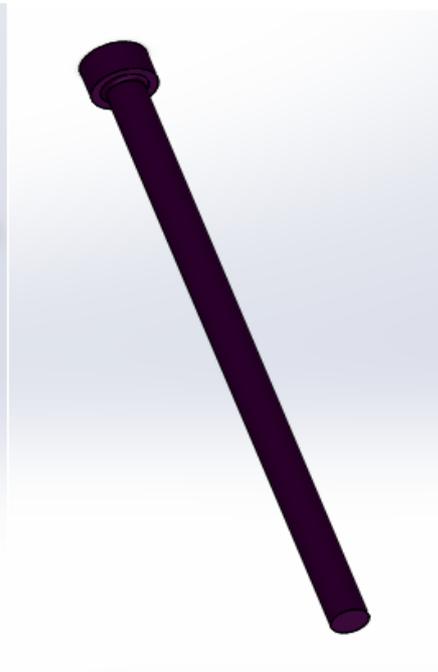
Ejecteur de rappel



Éjecteur guidé



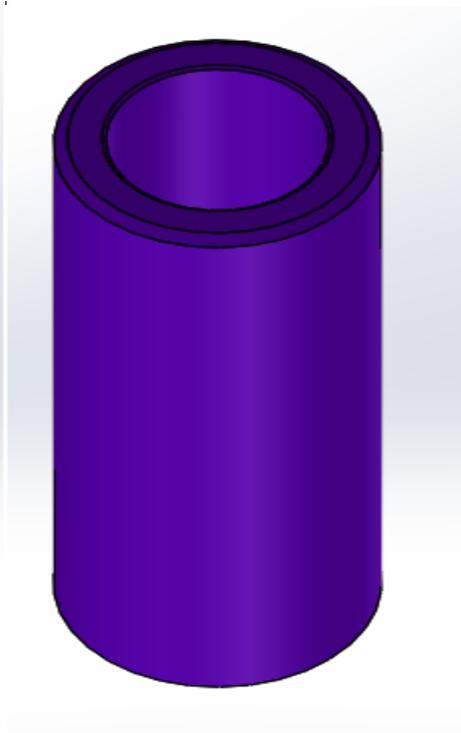
Goupille d'arrêt



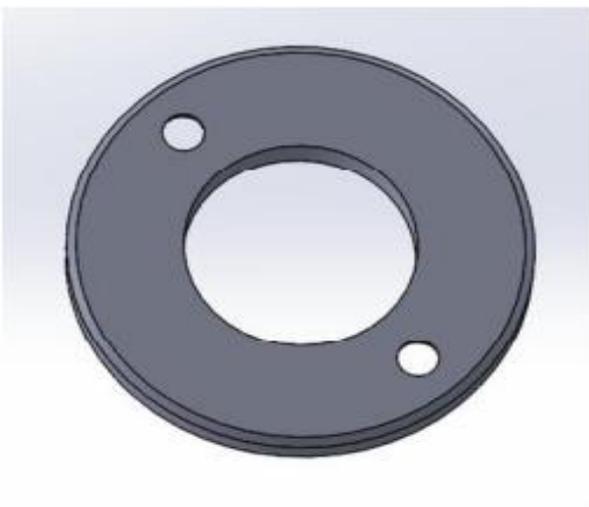
goupille d'extraction de carotte



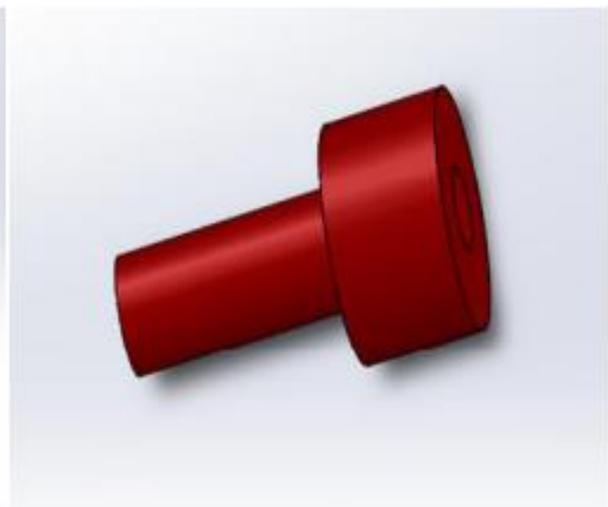
Goupille



cheville tubulaire



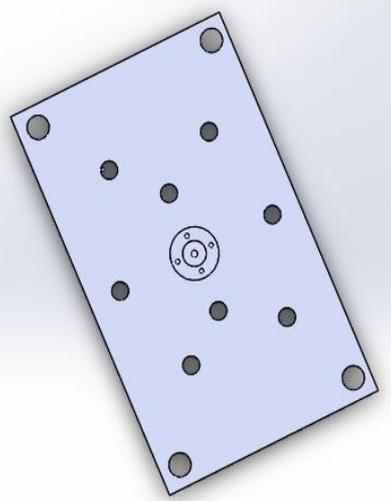
Rondelle de centrage



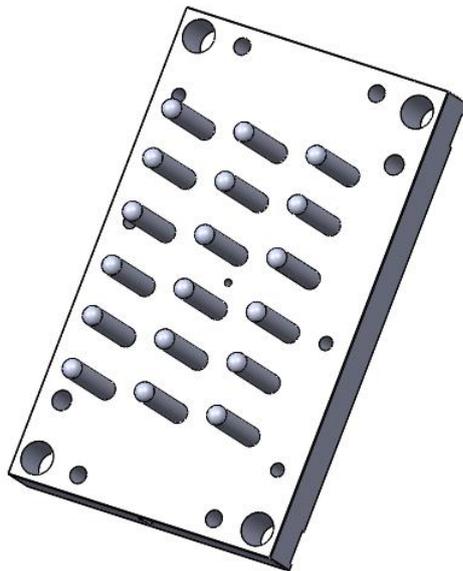
Buse d'injection



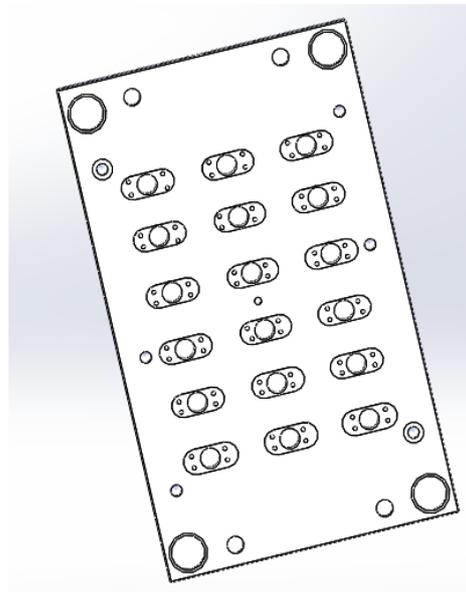
Support



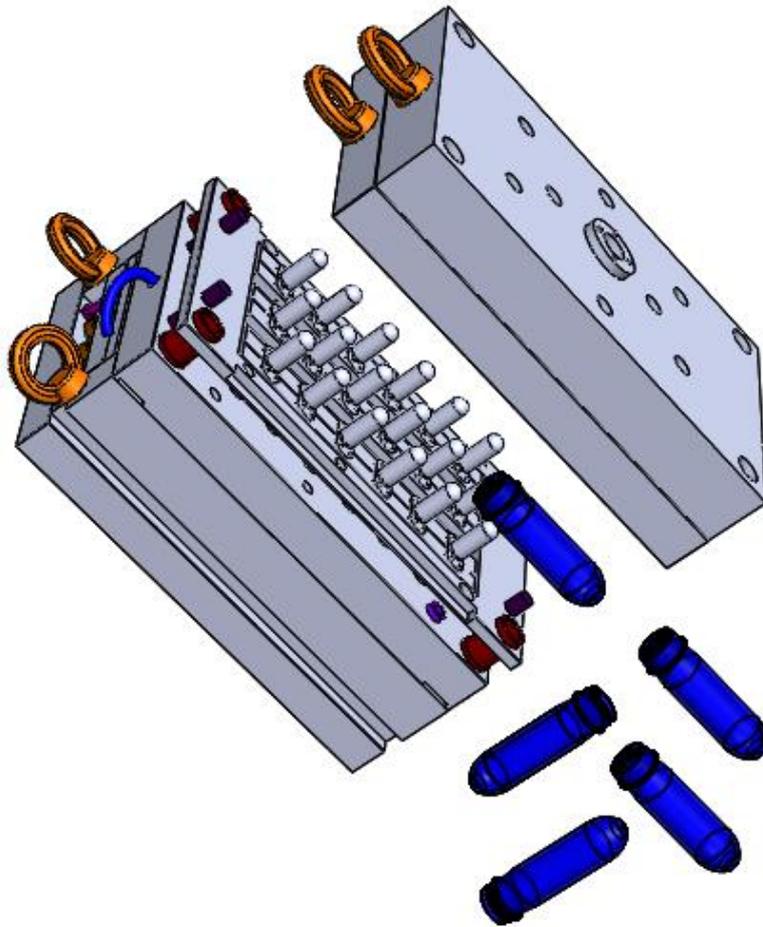
Plaque de Fixation
Arrière coté injection



Empreinte mobile

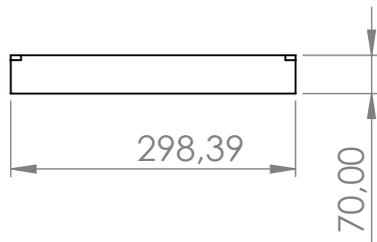
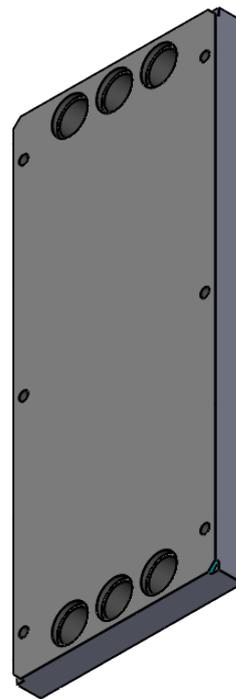
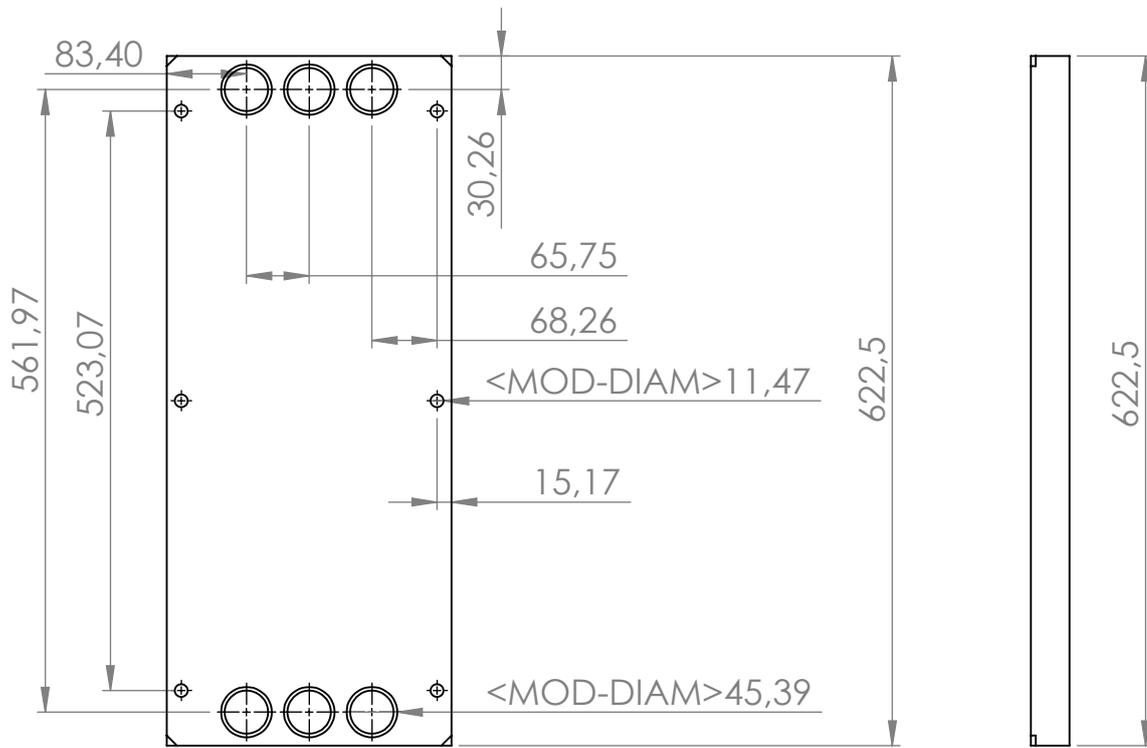


Empreinte fixe

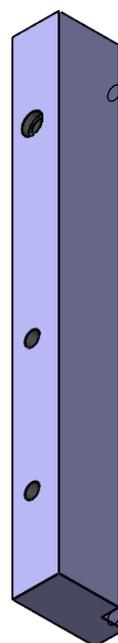
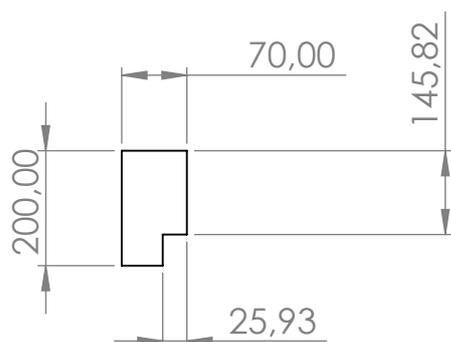
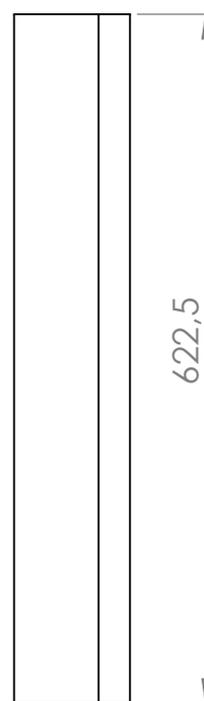
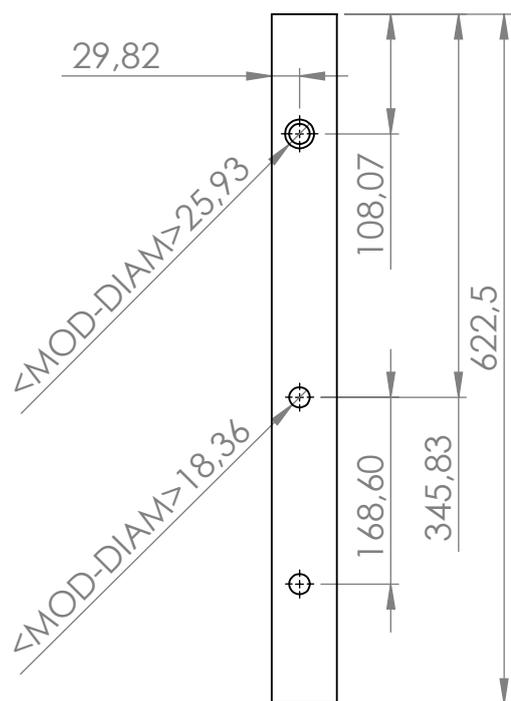


Élément du moule	Matière
Tasseaux	XC38
douille du guidage	Z200C12
contre plaque d'éjection	XC48
plaque d'éjection	XC38
porte empreinte fixe	XC38
Semelle mobile	Z200X38
semelle fixe	XC38
porte empreinte mobile	XC38

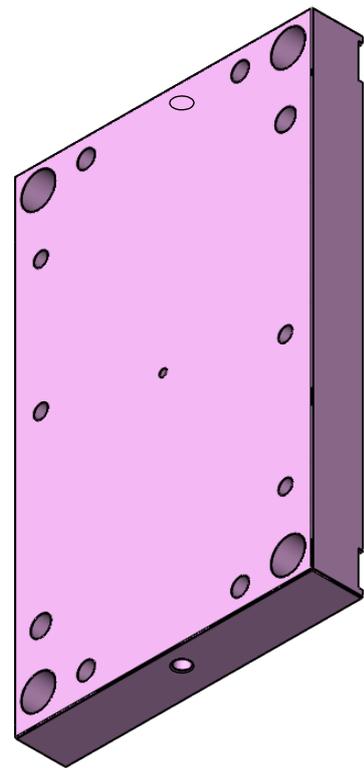
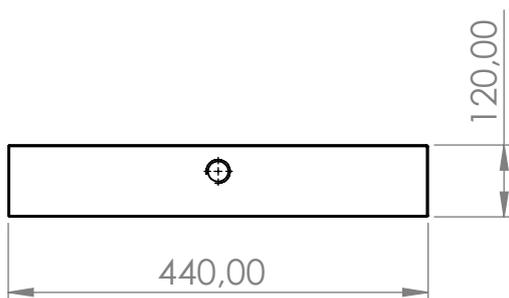
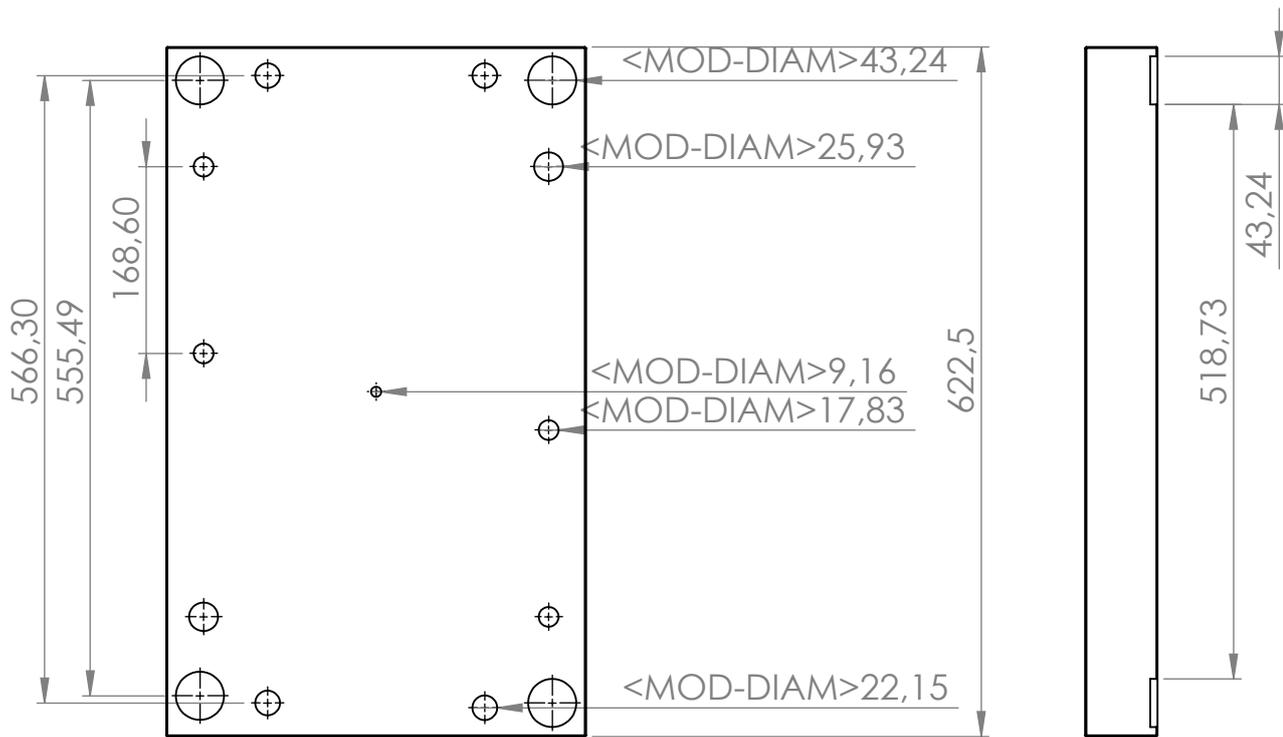
Les aciers du moule



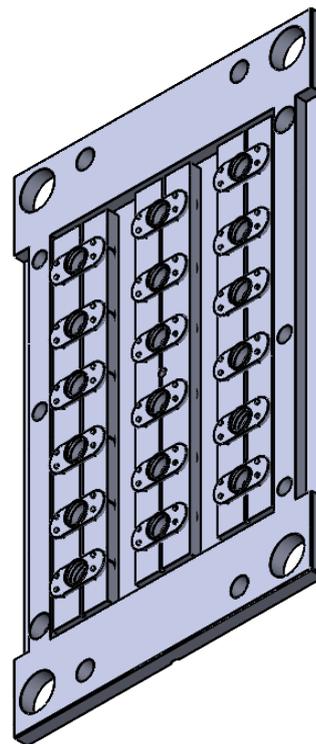
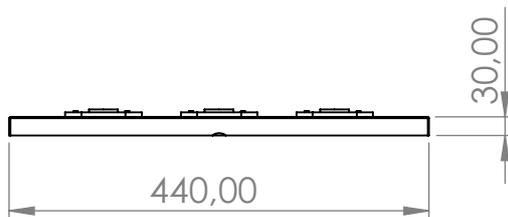
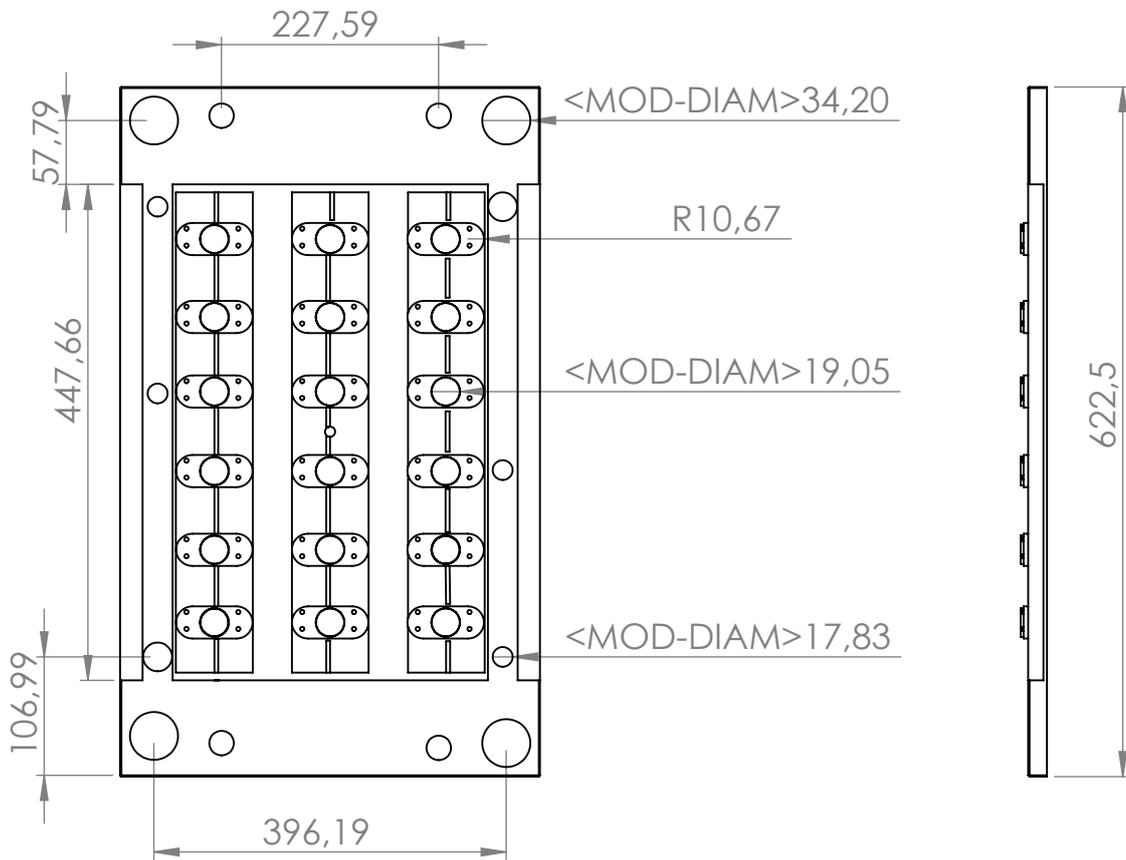
<p>Echelle : 1:5</p>	<p>Contre plaque d'éjection</p>	<p>Missoumi riadh Tati abdelmalek</p>
		<p>Pro : 2022</p>
<p>A4</p>	<p>USDB 1 - FMP</p>	<p>2021/ 2022</p>



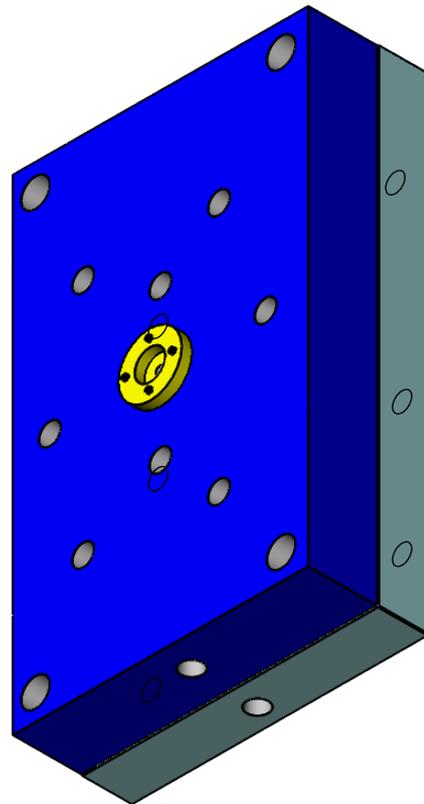
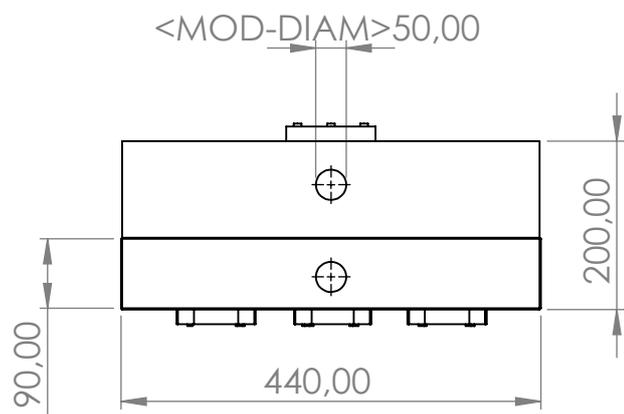
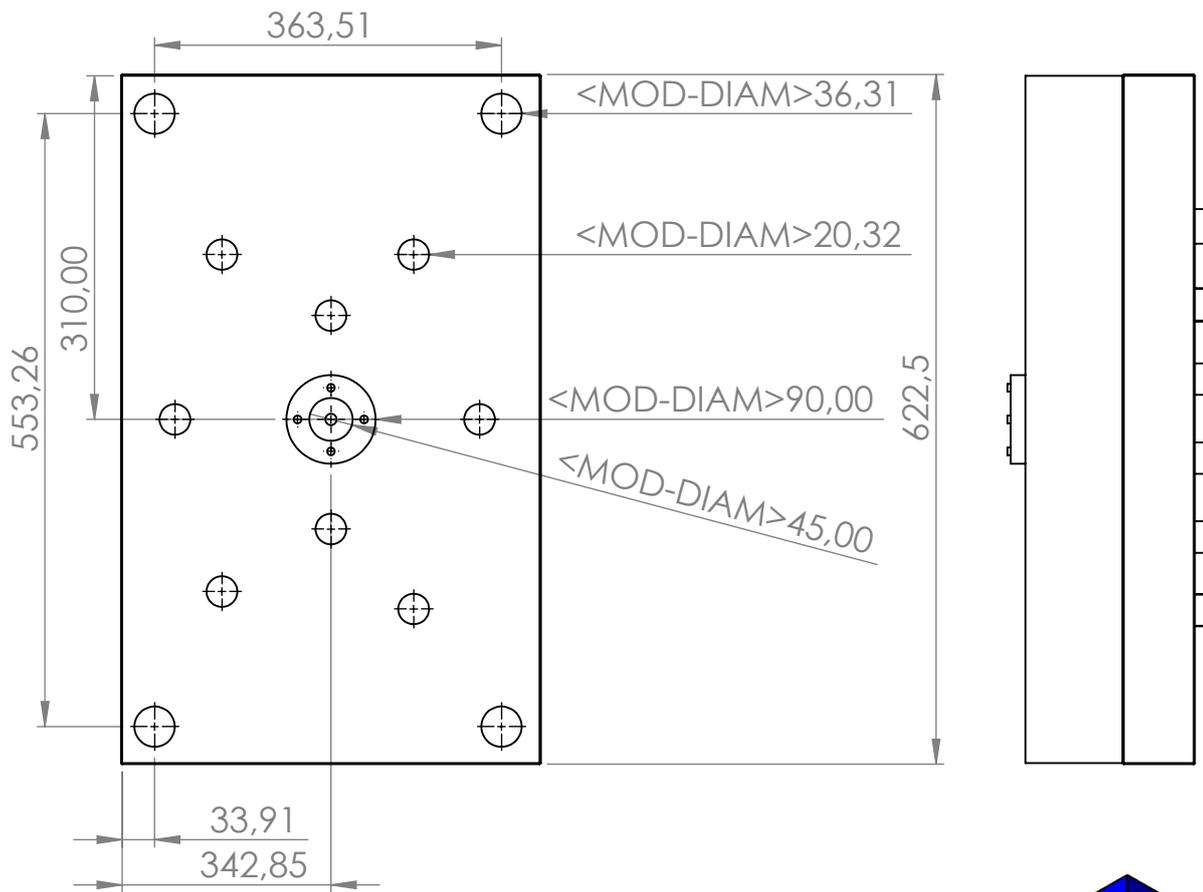
<p>Echelle : 1:5</p>	<p>Tasseau</p>	<p>Missoumi riadh Tati abdelmalek</p>
		<p>Pro : 2022</p>
<p>A4</p>	<p>USDB 1 - FMP</p>	<p>2021/ 2022</p>



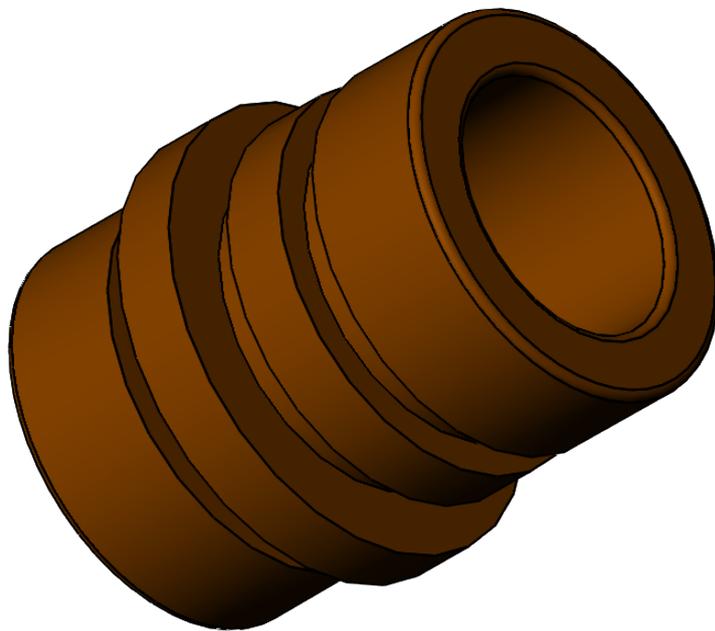
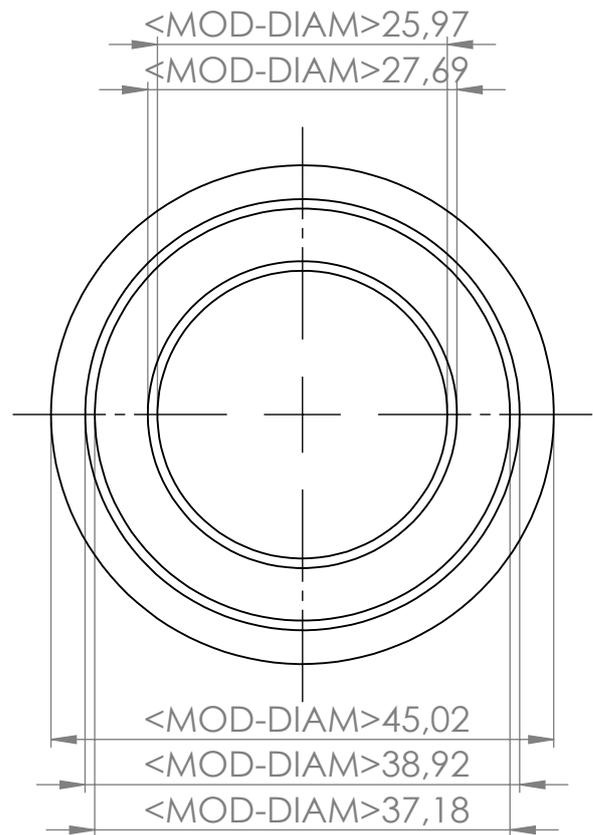
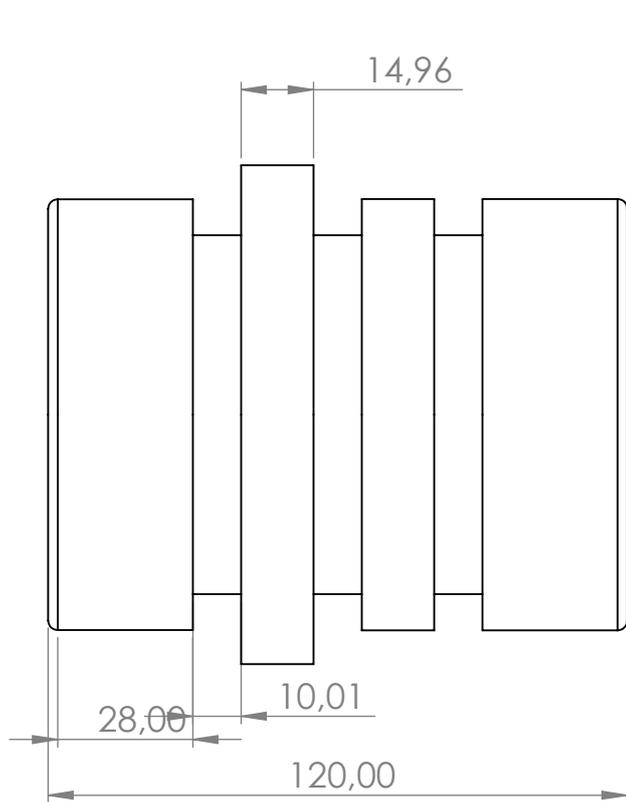
<p>Echelle : 1:5</p>	<p>Plaque porte empreinte mobile</p>	<p>Missoumi riadh Tati abdelmalek</p>
		<p>Pro : 2022</p>
<p>A4</p>	<p>USDB 1 - FMP</p>	<p>2021/ 2022</p>



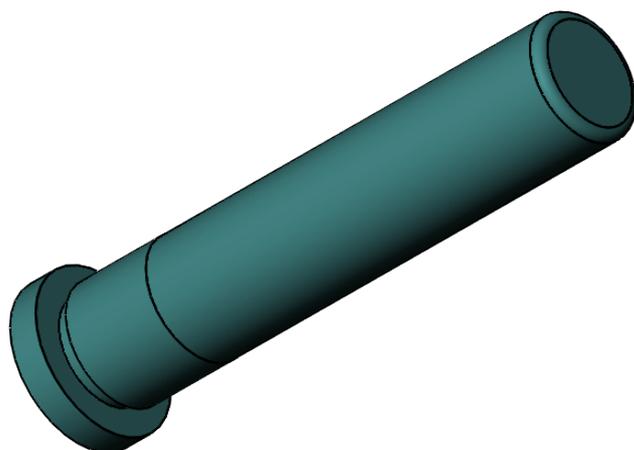
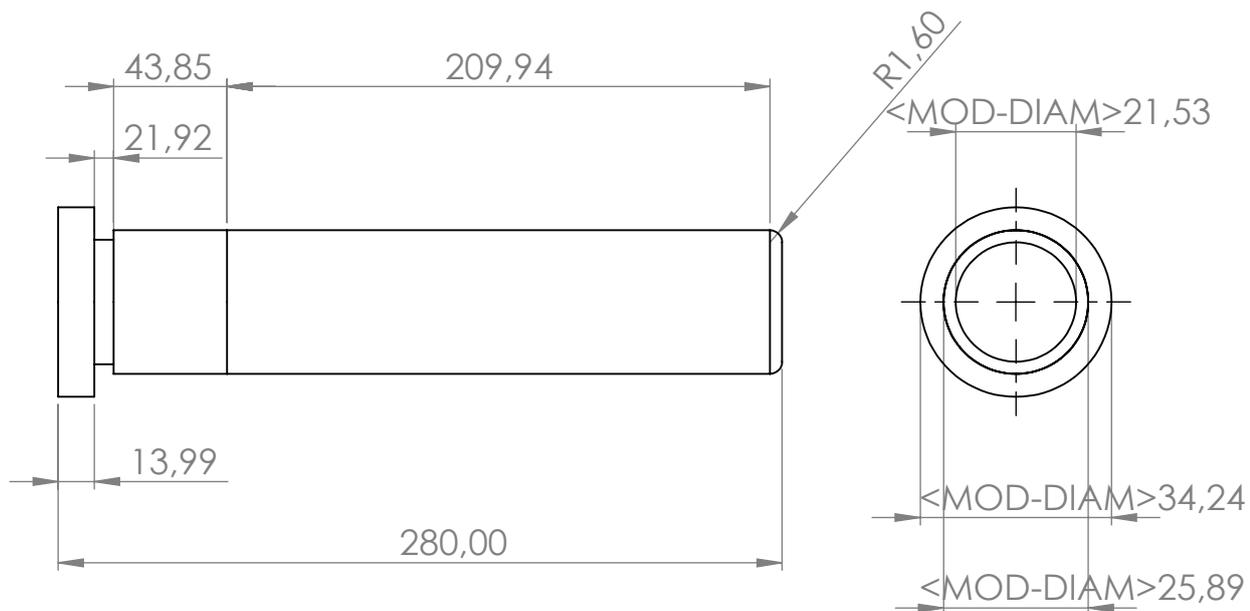
<p>Echelle : 1:5</p>	<p>Plaque empreinte</p>	<p>Missoumi riadh Tati abdelmalek</p>
		<p>Pro : 2022</p>
<p>A4</p>	<p>USDB 1 - FMP</p>	<p>2021/ 2022</p>



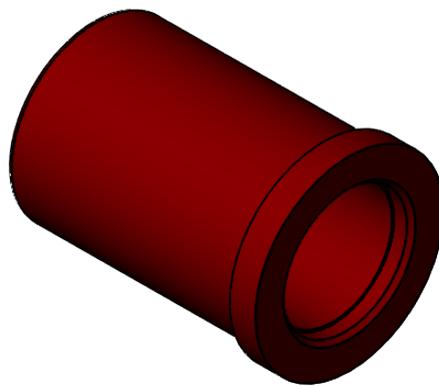
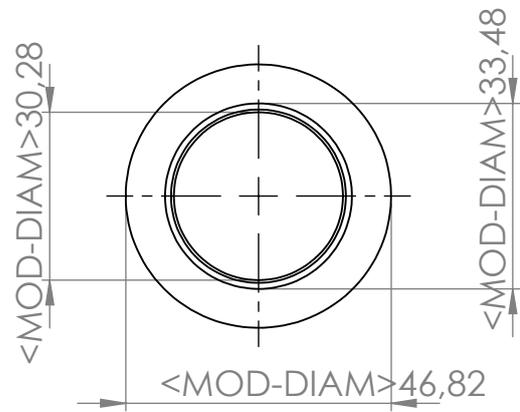
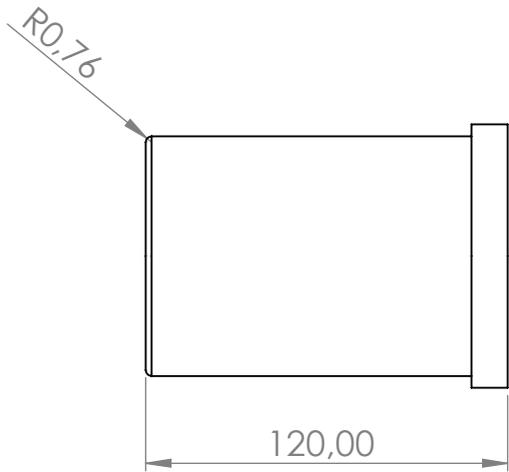
<p>Echelle : 1:5</p>	<p>partie fix du moule</p>	<p>Missoumi riadh Tati abdelmalek</p>
		<p>Pro : 2022</p>
<p>A4</p>	<p>USDB 1 - FMP</p>	<p>2021/ 2022</p>



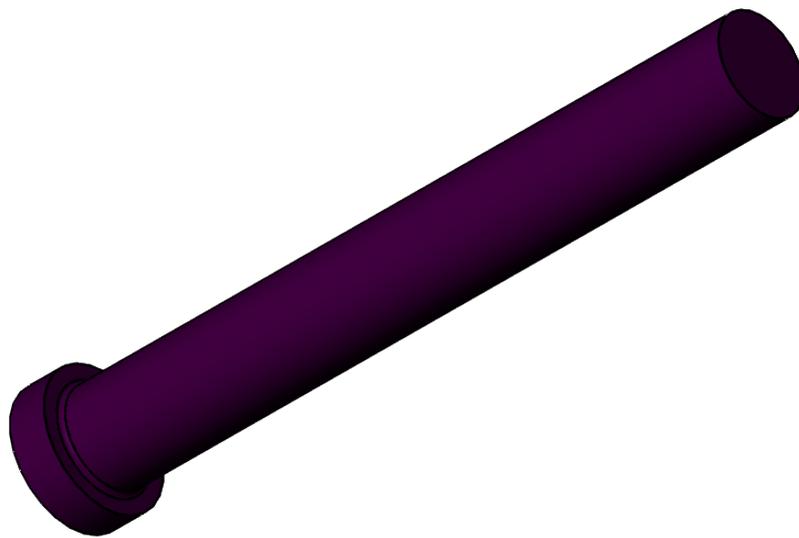
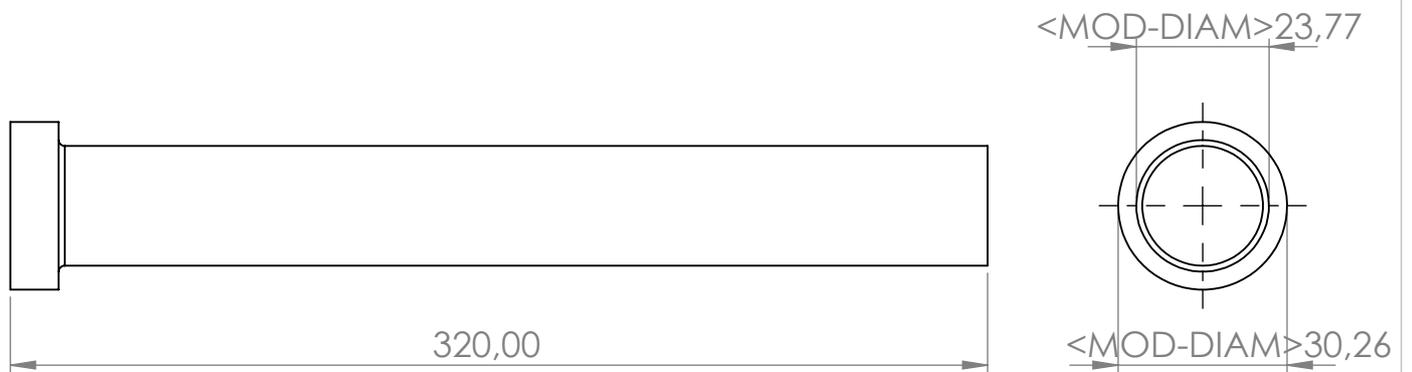
<p>Echelle : 2:1</p> 	<p align="center">Douille d'éjection guidée</p>	<p align="right">Missoumi riadh Tati abdelmalek</p>
<p align="center">A4</p>		<p align="right">Pro : 2022</p>
<p align="center">USDB 1 - FMP</p>		<p align="right">2021/ 2022</p>



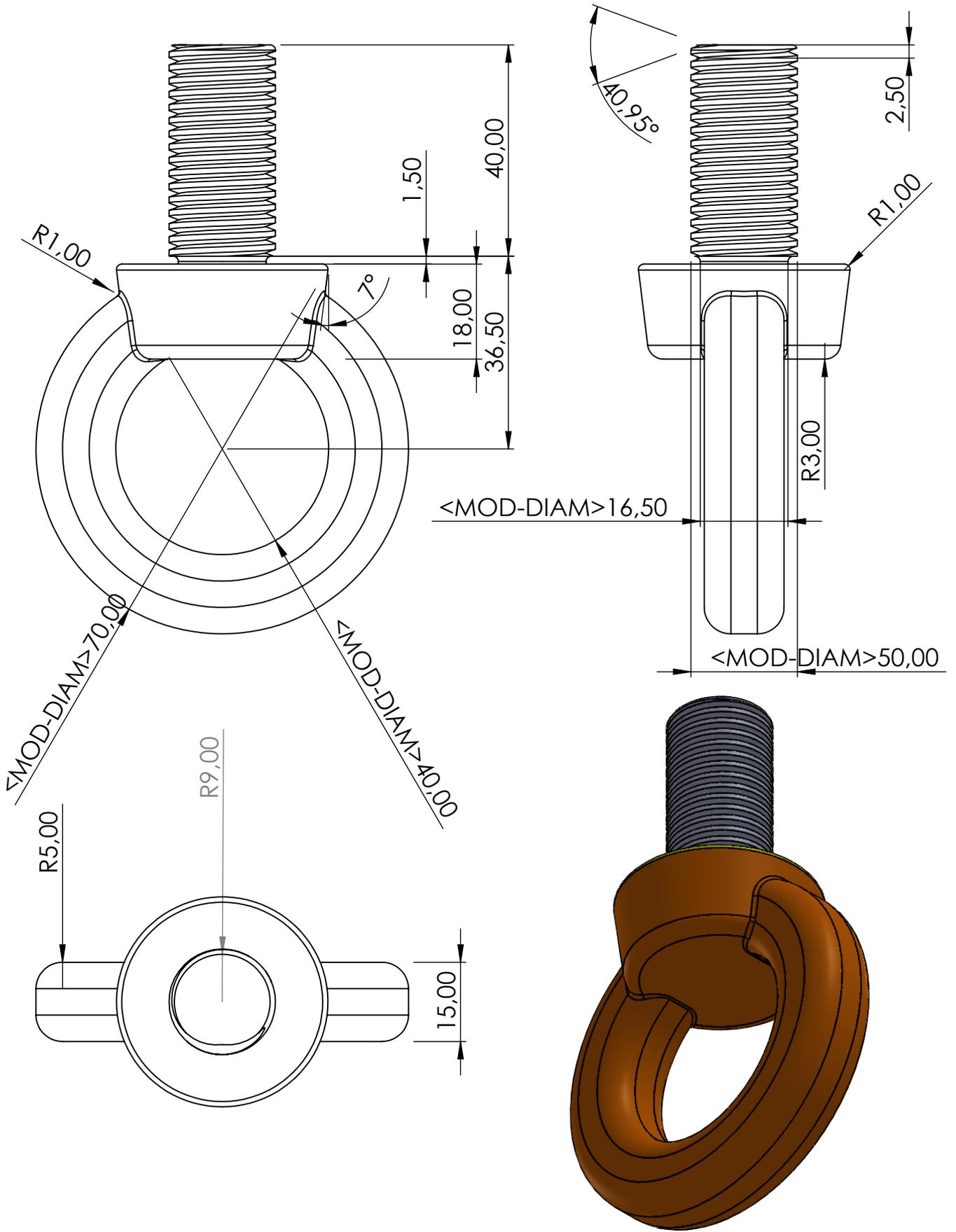
<p>Echelle : 1:1</p>	<p>Éjecteur guidé</p>	<p>Missoumi riadh Tati abdelmalek</p>
		<p>Pro : 2022</p>
<p>A4</p>	<p>USDB 1 - FMP</p>	<p>2021/ 2022</p>



<p>Echelle : 1:1</p>	<p>Colonnes de guidage</p>	<p>Missoumi riadh Tati abdelmalek</p>
		<p>Pro : 2022</p>
<p>A4</p>	<p>USDB 1 - FMP</p>	<p>2021/ 2022</p>



<p>Echelle : 1:1</p>	<p>Ejecteur de rappel</p>	<p>Missoumi riadh Tati abdelmalek</p>
		<p>Pro : 2022</p>
<p>A4</p>	<p>USDB 1 - FMP</p>	<p>2021/ 2022</p>



Echelle : 1:1

Support

Missoumi riadh
Tati abdelmalek



Pro : 2022

A4

USDB 1 - FMP

2021/ 2022