

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**  
**Faculté du Génie de la Construction**  
**Département de Génie Mécanique**



# **Memoire de fin d'études**

**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER ACADÉMIQUE EN GÉNIE  
MÉCANIQUE**

**OPTION : Fabrication Mécanique et Productive**

## **Thème**

***Etude et conception d'un moule injection  
plastique pour Bouchon de mousse pour la porte  
CF 1301 et CF 1686***

**Réalisé par :**

**KACER Ali**

**promoteur :**

**Mr : ASMA.F**

**Co- promoteur :**

**Mm : Saadoudi . T**

**PROMOTION 2021/2022**

# ***REMERCIEMENTS***

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance à l'égard de tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail, particulièrement à mon promoteur Mr F. ASMA pour sa disponibilité, ses conseils et suggestions.

Mes remerciements vont également aux Ingénieurs et techniciens de l'entreprise ENIEM (Unité de prestation technique) qui m'ont aidé énormément dans la réalisation de mon projet, ainsi qu'à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

En fin, aux membres du jury qui m'ont font l'honneur d'examiner mon modeste travail.

# ***DEDICACE***

Je dédie ce travail à : Mes très chers parents qui m'ont toujours soutenu tout au long de ma vie, qui m'ont orienté dans le bon chemin et qui ont tout fait pour que je réussisse, que Dieu vous bénisse et vous garde.

A mes très chers frères et sœurs .

A tous mes amis(es) et tous ceux que j'aime.

A toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Kacer Ali

## Liste des figures

<b>Figure (I. 1)</b>	Domaines d'application des plastiques.....	08
<b>Figure (I. 2)</b>	Répartition de la production mondiale de plastique .....	09
<b>Figure (I. 3)</b>	La constitution d'un polymère .....	11
<b>Figure (I. 4)</b>	Structures des chaînes moléculaires .....	12
<b>Figure (I. 5)</b>	Morphologie des thermoplastiques.....	14
<b>Figure (I. 6)</b>	Morphologie des thermodurcissables .....	15
<b>Figure (I. 7)</b>	États des polymères .....	16
<b>Figure (II. 1)</b>	Thermoplastiques : exemple de procédés .....	24
<b>Figure (II. 2)</b>	Thermodurcissable : exemple de procédés .....	24
<b>Figure (II. 3)</b>	Procédés de soufflage .....	26
<b>Figure (II. 4)</b>	Injection soufflage avec biorientation .....	26
<b>Figure (II. 5)</b>	Principe d'extrusion .....	28
<b>Figure (II. 6)</b>	Schéma d'une machine à extrusion.....	28
<b>Figure (II. 7)</b>	Procédé de fabrication par extrusion soufflage .....	29
<b>Figure (II. 8)</b>	Procédé extrusion gonflage .....	30
<b>Figure (II. 9)</b>	Procédé thermoformage .....	31
<b>Figure (II. 10)</b>	Procédé de thermoformage .....	32
<b>Figure (II. 11)</b>	Machines thermoformage .....	33
<b>Figure (II. 12)</b>	Procédé de calandrage.....	34
<b>Figure (II. 13)</b>	Procédé de routomolage .....	35
<b>Figure (II. 14)</b>	Bille de polystyrène expansée .....	37
<b>Figure (II. 15)</b>	Expansion moulage .....	38
<b>Figure (II. 16)</b>	Schéma d'une presse injection plastique .....	38
<b>Figure (II. 17)</b>	Position d'un moule dans une presse injection .....	39

<b>Figure (II. 18)</b>	Cycle injection .....	40
<b>Figure (II. 19)</b>	Schéma présentatif de cycle d'injection.....	42
<b>Figure (II. 20)</b>	Quelques pièces plastiques injectées.....	42
<b>Figure (II. 21)</b>	Cycle d'une presse injection .....	43
<b>Figure (II. 22)</b>	Schéma d'une presse à injecter .....	44
<b>Figure (II. 23)</b>	Ejection mécanique poussée .....	47
<b>Figure (II. 24)</b>	Attelage à travers le vérin d'éjection .....	47
<b>Figure (II. 25)</b>	Attelage rapide .....	48
<b>Figure (II. 26)</b>	Système d'éjection mécanique par asservissement.....	48
<b>Figure (III .1)</b>	Les parties de moule .....	51
<b>Figure (III. 2)</b>	Composantes d'un moule injection plastique.....	53
<b>Figure (III. 3)</b>	présentation d'un moule injection .....	56
<b>Figure (III. 4)</b>	Centrage par un plan de joint incliné.....	57
<b>Figure (III. 5)</b>	Centrage par élément conique .....	57
<b>Figure (III. 6)</b>	Position de centrage .....	58
<b>Figure (III. 7)</b>	Montage des éléments de guidage sur moule .....	59
<b>Figure (III. 8)</b>	Eléments standards de guidage.....	59
<b>Figure (III. 9)</b>	canaux alimentation.....	60
<b>Figure (III. 10)</b>	image des empreintes .....	64
<b>Figure (III. 11)</b>	Les systèmes des canaux .....	64
<b>Figure (III. 12)</b>	les formes des canaux .....	65
<b>Figure (III. 13)</b>	accessoires pour circuits de refroidissement .....	66
<b>Figure (III. 14)</b>	différentes types de circuits de refroidissement .....	67
<b>Figure (III.15)</b>	Moule à éjection cylindrique .....	70
<b>Figure (III.16)</b>	Moule à éjection tubulaire .....	70
<b>Figure (III. 17)</b>	Ejection par plaque dévétisseu .....	71

<b>Figure (III. 18)</b>	Anneau de levage des mules.....	73
<b>Figure (III. 19)</b>	Bride forgée courte avec assise de serrage .....	76
<b>Figure (III. 20)</b>	Bride à fourche simple.....	77
<b>Figure (III. 21)</b>	Bride droites avec vis d'appui réglable .....	77
<b>Figure (III. 22)</b>	Ecrou hydraulique freiné .....	78
<b>Figure (III. 23)</b>	Mors de serrage hydraulique .....	78
<b>Figure (III. 24)</b>	Les efforts exercés sur le presse et le moule.....	80
<b>Figure (III. 25)</b>	Représentation schématique du $R_m$ , $P_r$ et $R_t$ .....	82
<b>Figure (III. 26)</b>	Cycle de fabrication d'une pièce .....	83
<b>Figure (III. 27)</b>	La partie fixe de notre moule.....	85
<b>Figure (III. 28)</b>	La partie mobile de notre moule.....	86
<b>Figure (IV. 1)</b>	Masse de bouchon de mousse donner par SW .....	90
<b>Figure (IV. 2)</b>	Masse de carotte donner par SW .....	91
<b>Figure (IV. 3)</b>	Masse de moulée donner par SW.....	92
<b>Figure (IV. 4)</b>	Surface projeter donner par SW.....	94
<b>Figure (IV. 5)</b>	Caractéristique dimensionnelles de la presse 25T .....	97
<b>Figure (IV. 6)</b>	Surface de porte empreinte fixe soumise au Matage .....	98
<b>Figure (IV. 7)</b>	Surface de la semelle fixe soumise au Matage .....	99
<b>Figure (IV. 8)</b>	Surface des tasseaux soumise au Matage.....	100
<b>Figure (IV. 9)</b>	Position des colonnes de guidage .....	101
<b>Figure (IV. 10)</b>	Le poids de la partie fixe.....	102

## Liste des tableaux

<b>Tab (I.1)</b>	Date de commercialisation des principaux plastiques et exemples d'applications.....	09
<b>Tab (I.2)</b>	Représentation et dénomination des quatre polymères synthétiques les plus utilisés.....	11
<b>Tab (I.3)</b>	Avantages et Inconvénients des thermoplastiques .....	14
<b>Tab (I.4)</b>	Avantages et Inconvénients des thermodurcissables.....	15
<b>Tab (I.5)</b>	Appellation et Symboles des matières plastiques.....	17
<b>Tab (I.6)</b>	Propriétés mécaniques et thermiques du PP .....	18
<b>Tab (I.7)</b>	Propriétés mécaniques et thermiques du PE bd.....	19
<b>Tab (I.8)</b>	Caractéristiques mécaniques.....	20
<b>Tab (II.1)</b>	transitions pour chaque étapes du cycle.....	45
<b>Tab (II.2)</b>	transitions pour chaque étapes du cycle (suite).....	45
<b>Tab (III.1)</b>	Angle de dépouille.....	55
<b>Tab (III.2)</b>	les types de seuil.....	62
<b>Tab (III.3)</b>	Avantages et inconvénients des canaux .....	65
<b>Tab (III.4)</b>	Température des matériaux utilisés dans l'injection .....	69
<b>Tab (III.5)</b>	Classification et des métaux pour la construction des moules .....	74
<b>Tab (III.6)</b>	Liste des aciers utilisés. ....	86
<b>Tab (IV.1)</b>	Choix de la presse en fonction de la moulée .....	92
<b>Tab (IV.2)</b>	Pression d'injection .....	93
<b>Tab (IV.3)</b>	Caractéristiques de la presse de 25T.....	96

## Table des matières

<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
I) Historique (ENIEM) .....	3
II) Principales missions et activités de l'entreprise .....	4
A) Direction générale .....	4
B) Unité froid .....	4
C) unité cuisson .....	5
D) unité climatiseurs.....	5
E) unité sanitaire .....	5
F) filiale filampes .....	6

### Chapitre I : Généralités sur les plastiques

1. Introduction .....	8
I.2. Les Plastiques.....	10
I.3. Les polymères .....	10
I.3.1. Définition d'un polymère .....	10
I.3.2. Classification .....	11
I.3.3. Structures .....	12
I.3.4. Thermoplastiques.....	12
I.3.4.1. Polymères amorphes .....	13
I.3.4.2. Polymères cristallins .....	13
I.3.4.3. Polymères semi-cristallins .....	13
I.3.4.4. Avantages et désavantages des thermoplastiques .....	14
I.3.5. Thermodurcissables .....	15
I.3.5.1. Avantages et désavantages des thermodurcissables.....	15
I.3.6. Les élastomères.....	16
I.3.7. Les différents états des polymères.....	16
I.4. Appellation et Symboles .....	17
I.5. Les caractéristiques des polymères synthétiques les plus utilisés.....	18
I.5.1. Le Polypropylène (PP).....	18
I.5.2. Le Polyéthylène (PE bd).....	19
I.6. Coloration des matières plastiques.....	19
I.6.1. Colorant à sec .....	20

I.6.2. Colorants dans la masse.....	20
I.7. Recyclage.....	20
I.8. Propriétés mécaniques.....	20
I.9. Conclusion .....	21

## **Chapitre II : Techniques de mise en forme de la matière plastique**

I-Introduction .....	22
II. Les principaux procédés de mise en forme .....	25
II.1. Le procédé injection soufflage .....	25
II.2. Le procédé extrusion.....	26
II.3. Le procédé extrusion soufflage.....	28
II.4. Le procédé extrusion gonflage.....	29
II.5. Le procédé thermoformage.....	30
II.6. Le procédé calandrage .....	33
II.7. Le procédé Rotomoulage.....	34
II.8. Le procédé expansion moulage .....	36
II.9. Le procédé injection .....	37
II.10. Conclusion.....	49

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

III- Introduction.....	50
III.1. Définition du moule à injection.....	50
III.2. Nomenclature de moule.....	53
III.3. Les fonctions d'un moule d'injection.....	54
III.3.1. Fonction mise en forme ou empreinte.....	54
III.3.2. Fonction centrage guidage et positionnement.....	56
III.3.3. Fonction alimentation.....	60
III.3.4. Disposition des empreintes dans un moule d'injection.....	63
III.3.5. Forme et dimensions .....	65
III.3.6. Fonction régulation et contrôle de température.....	65
III.3.7. Fonction éjection .....	69
III.3.8. Fonctions manutention, stockage, sécurité et liaison machine.....	72
III.4. Les métaux des moules .....	73
III.5. Fixation du moule.....	76

III.6. Calcul du nombre d’empreinte dans un moule.....	79
III.7. Dimensionnement.....	80
III.8. Bien maitriser le phénomène de RETRAIT .....	81
III.9. Calcul du temps de cycle de moulage par injection .....	82
III.10. Détermination du cout de la pièce injectée .....	84
III.11. Description de notre moule .....	84
III.12. Fonctionnement.....	87
III.13. Conclusion.....	87

## **Chapitre IV : Vérification des calcules**

I- Introduction .....	88
I-1 Le choix de la machine .....	88
I-2 Fiche technique de produit.....	89
I-3 Fiche technique de PE .....	89
II- Capacité d’injection.....	90
II.1. Le poids de la pièce .....	90
II.2.La masse de la carotte.....	91
II.3.Le masse de la moulée (M).....	91
III- La force de fermeture de la machine .....	93
IV- La puissance de plastification (C) .....	94
V- Distance entre colonne .....	96
VI- Epaisseur minimale du moule .....	96
VII- Résistance des matériaux .....	97
VII.1. Résistance des éléments constituant le moule au matage dû à la force de fermeture du moule .....	97
VII.2. Vérifications des éléments de guidage et de fixation aux efforts de cisaillement .....	101
VIII. Conclusion.....	105
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>106</b>

## **Bibliographie**



# **Introduction générale**

## Présentation du sujet

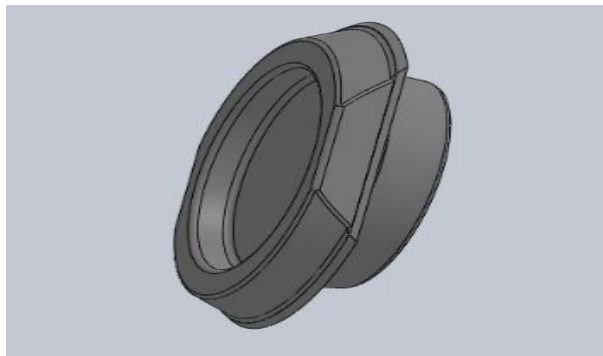
L'entreprise nationale des industries de l'électroménagère (ENIEM) possède des grands moyens matériels et humains, elle est dotée d'une grande compétence et expérience dans le domaine de la conception et la fabrication Mécanique, en plus de sa production locale d'appareils électroménagers, l'entreprise **ENIEM** travaille en sous-traitances avec d'autres entreprises privées et/ou publics, qui sont de plus en plus nombreux à venir pour concevoir, fabriquer et rectifier des pièces et/ou outils mécanique.

L'entreprise ma demander de faire une conception et de réalisation d'un moule a injection plastique pour **BOUCHON DE MOUSSE POUR LA PORTE CF1301 ET CF 1686**

Afin de réaliser mon projet de fin d'étude le bureau d'étude du département de fabrication mécanique, unité de prestation technique, ma proposé ce moule comme sujet.

Le but du sujet est de concevoir et réaliser ce moule a injection plastique à travers une pièce qui a états réaliser, ainsi que son traitement sur le logiciel de conception et de fabrication (CFAO)

Le bouchon de mousse est fait en **polyéthylène PE** et contient **une pièce** comme L'indique la figure ci-dessous



Durant les soixante dernières années, les matériaux polymères ont beaucoup évolué avec une expansion de production mondiale qui atteint les 140 million tonne par an, désormais on les trouve dans divers domaines a savoir l'emballage, le bâtiment, les équipements électriques et électroniques

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'entreprise ENIEM ma confié dans le cadre de l'exécution de mon mémoire de fin d'étude, l'étude et conception d'un moule a injection plastique pour BOUCHON DE

MOUSSE POUR LA PORTE CF1301 ET CF 1686

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, et le moule en utilisant un logiciel de conception CAO (SOLIDWORKS)

J'ai organisé mon travail en quatre chapitres afin de bien le mener. Après une Introduction générale sur le sujet, vient le chapitre I qui présente les généralités sur le polymère utilisé (polypropylène), puis les procédés de mise en œuvre du plastique en général et l'injection plastique en particulier sont présentés dans le deuxième chapitre.

Ensuite, la conception du moule réparti en trois parties

Une partie théorique notée chapitre III, dans laquelle j'ai traité les équipements

et les méthodes nécessaires à la conception, ensuite nous aborderons la partie calcul au chapitre V.

Enfin, nous terminerons par les dessins de définitions et le dessin d'ensemble qui seront Présentés après conclusion générale.

## Présentation de l'entreprise

### I ) Historique (ENIEM)

- L'entreprise nationale des industries de l'électroménager (ENIEM) est issue de la restriction organique de la SONELEC (société national de fabrication et de montage et de commercialisation des produits électroménagères) et disposer à sa création de :
  - Complexe d'appareils ménager (CAM) de Tizi Ouzou, entrée en production en 1977.
  - Unité lampes Mohammedia (ULM), entrée en production en février 1979.

En 1989, L'entreprise ENIEM est devenue une société par action au capital de 40,000,000 da

Avec un capital social de 2,957, 500,000 da détenue en totalité par la société de gestion de participation « industrie électrodomestique » (INDELEC), son siège social est à Tizi Ouzou, ses unités de production issues de l'ex CAM sont implantées au niveau de la zone industrielle « Aissat Idir », son unité commerciale est situé également a ma zone industriel Aissat Idir , sa filiale lampes est implantée à Mohammedia .

Le camp d'activités de l'entreprise ENIEM consiste en conception, la fabrication et la commercialisation des produits électroménagers, ainsi que la prise en charge de la fonction service après-vente.

Actuellement l'entreprise est constituée de :

- La direction général ( DG )
- Unité froid ( UF)
- Unité de prestation technique ( UPT )
- Unité cuisson ( U Cuis)
- Unité climatisation ( U CL )
- Unité commerciale ( U C )

- Unité sanitaire ( US )
- Filiale FILAMP

L'effectif de l'entreprise ( hors FILAMP et unité sanitaire ) est de 2830 agent au 31 décembre 2003 .

L'entreprise ENIEM aujourd'hui à une importante gamme de production

Ces produits sont :

- ✓ Les réfrigérateurs petit et grand modèle ( RPM & RGM)
- ✓ Les congélateurs verticales
- ✓ Le combiné
- ✓ Cuisinières 4 et 5 feux
- ✓ Climatiseurs type fenêtre et split- système

Ces produits sont destiné au grand public , et la distribution se fait par des agents dont la liste se trouve au niveau de l'unité commerciale ( département vente )

## **II) principales missions et activités de l'entreprise**

### **A ) Direction générale :**

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

### **B ) unité froid**

La mission globale de l'unité froid est de produire et développer les produits froid domestique

Ses activités sont :

- ✓ Transformation des tôles
- ✓ Traitement et revêtement des surfaces (peintures, plastification)

- ✓ Injection plastique et polyptère
- ✓ Fabrication des pièces métalliques
- ✓ Isolation
- ✓ Thermoformage
- ✓ Assemblage

### **C) unité cuisson**

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

Ses activités sont :

- ✓ Transformation des tôles
- ✓ Traitement et revêtement des surfaces (zingage, chromage)
- ✓ Assemblage

### **D) unité climatiseurs**

La mission globale de l'unité froid est de produire et développer les produits climatiseurs

Ses activités sont :

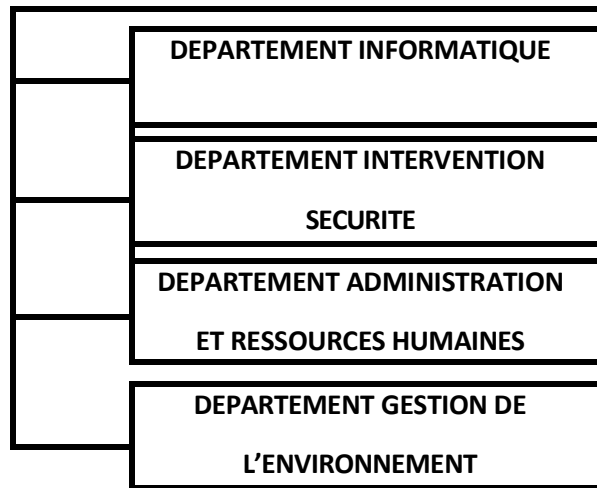
- ✓ Transformation
- ✓ Traitement et revêtement des surfaces (peinture)
- ✓ Assemblage

### **E) unité sanitaire**

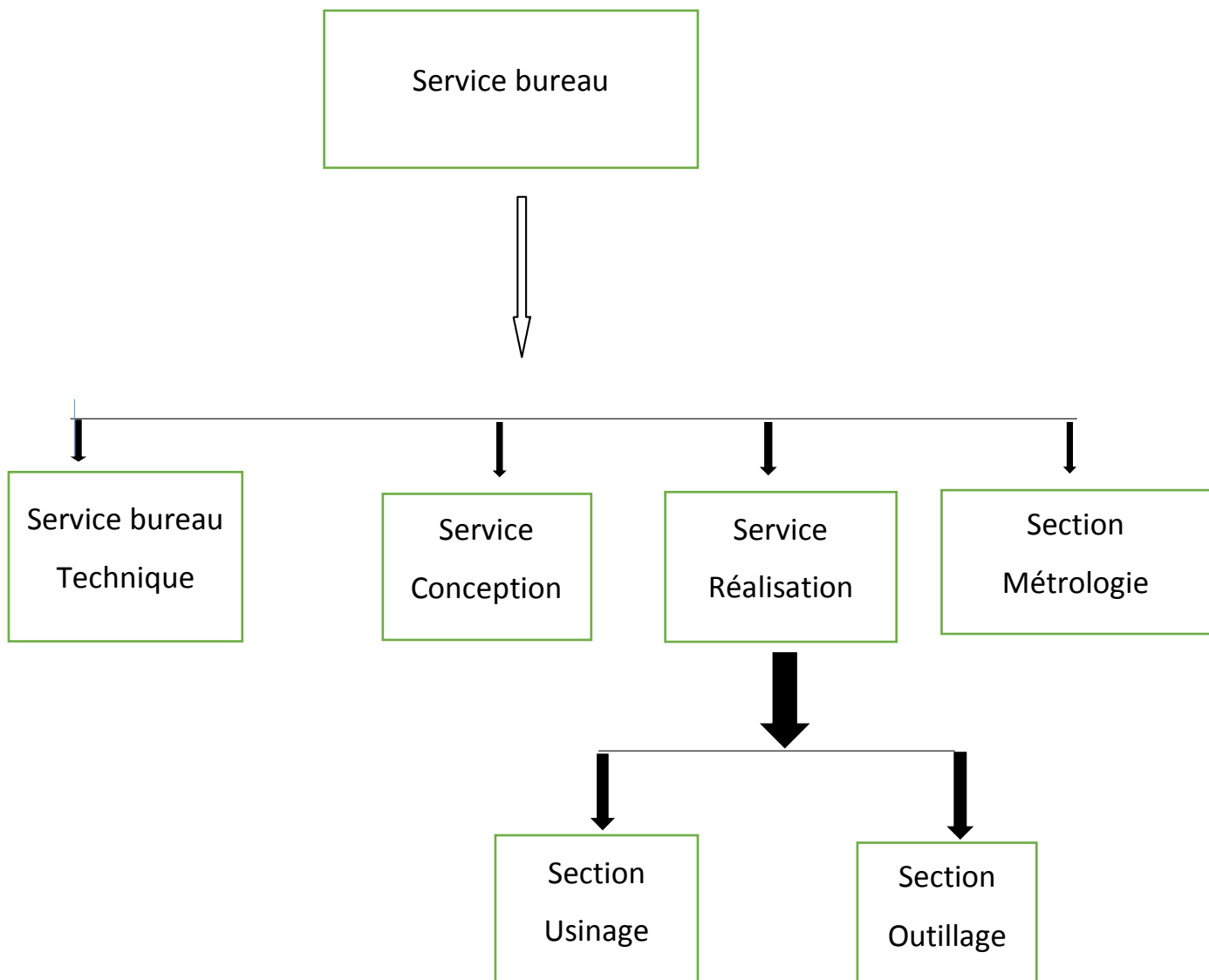
L'unité sanitaire de Miliana est acquise par l'entreprise ENIEM en l'an 2000, elle n'entre pas dans le champ de certification de l'entreprise.

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





### ORGANIGRAMME DU DEPARTEMENT DE FABRICATION MECANIQUE



**Chapitre 7 :**  
**Généralités sur les**  
**matériaux plastiques**

## 1. Introduction

Le qualificatif « plastique » peut s'appliquer à un grand nombre de matériaux, relativement à leur modelage et aux actions qui ont le pouvoir de donner la forme, souvent associées à des notions esthétiques, d'arts et de beauté.

Il est alors très vite associé systématiquement à la « matière plastique », dont les premières synthétisées à cette époque à partir de polymères d'origine végétale, puis par polymérisation de syntones pour devenir le « plastique » de notre vocabulaire courant : « Matière synthétique constituée de macromolécules obtenues par polymérisation et qui peut être moulée ou modelée » (mais qui est souvent rigide après fabrication).

Ainsi, depuis sa première utilisation par Baekeland vers 1909, le terme plastique sert dans le langage courant à désigner cette nouvelle classe de matériaux organiques qui se caractérisent par leurs excellents rapports propriété/poids et propriétés/prix.

Avec le développement des connaissances en synthèse organique et de son industrie, en particulier de la pétrochimie, de très nombreux plastiques ont été commercialisés au cours du vingtième siècle (Tableau I.1). Leurs multiples applications (Fig. I.1) les ont rendus omniprésents et indispensables aux sociétés industrialisées, au point que leur production est devenue un indice économique de développement (Fig. I.2) et que la demande croissante des pays émergents pose la question des ressources à l'échelle mondiale. Toujours en croissance quant à ses applications en ce début de vingt-et-unièmes siècles, et ayant donné lieu au développement de nouvelles technologies très élaborées à travers la plasturgie, aucun autre matériau n'a connu une telle expansion dans un laps de temps aussi court (moins de 100 ans).

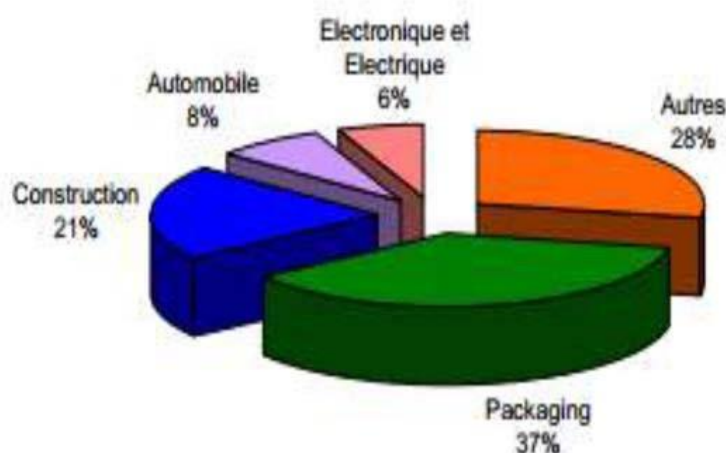


Fig. (I.1) : Domaines d'application des plastiques { 1 }

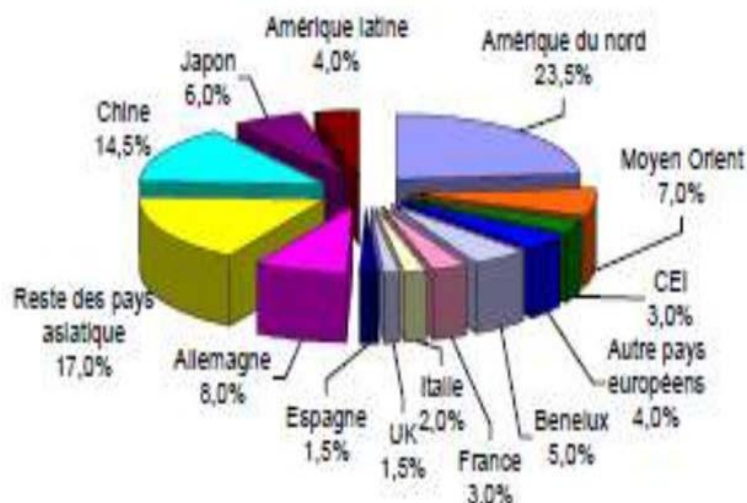


Fig. (I.2) : Répartition de la production mondiale de plastique.

Polymères	Date de première production	Applications
<b>PS</b>	1933 : mise en production en Allemagne par le docteur Wolff	Isolant pour poste TSF, stylos, capsules pour tubes, éléments de masques à gaz...
<b>PE</b>	1939 : première usine en Allemagne, production de quelques centaines de tonnes par an.	Isolation des câbles à haute fréquence des radars. En 1944 première tube pour canalisation d'eau en Grande Bretagne.
<b>PVC</b>	1935 : première production à Ludwigshafen (Allemagne)	Isolation des câbles aux Etats-Unis
<b>PP</b>	1956 : Hoechst met en service le premier pilote de production du PP en Allemagne	En 1962 il est utilisé comme ficelle et film agricole en France. En 1963 production des premières pièces injectées (bouchons, peignés,...)
<b>PUR</b>	1940 : mise en production en Allemagne.	Isolation des sous-marins et avions de combats.

Tab. (I.1) : Date de commercialisation des principaux plastiques et exemples d'applications.

## I.2. Les Plastiques:

En réalité, un plastique est un mélange assez complexe pouvant contenir jusqu'à plus d'une dizaine de constituants. Le plus important d'entre eux est le polymère qui donne au plastique ses propriétés physicochimiques et son appellation. La formulation d'un polymère est l'action de lui ajouter des additifs, en quantité plus ou moins grande, pour de multiples raisons telles que :

- ✓ Protéger le polymère lors de sa mise en œuvre (par exemple avec un antioxydant),
- ✓ Aider à sa mise en œuvre par modification des caractéristiques rhéologiques du mélange à l'état visqueux (par exemple avec un plastifiant, ou un lubrifiant),
- ✓ Conférer au produit fini certaines propriétés spécifiques (par exemple avec un principe actif, un agent de conduction, etc.).

## I.3. Les polymères:

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

### I.3.1. Définition d'un polymère

Un polymère est une *macromolécule*, organique ou inorganique, constituée de l'enchaînement répété d'un même motif, le monomère (du grec môns: un seul ou une seule, et mérôus : partie), reliés les uns aux autres par des liaisons covalentes.

Dans la macromolécule suivante  $\dots A-A-A-A-A-A \dots = [-A-]$  l'unité constitutive est A; elle est formée d'un groupe d'atomes qui se répètent. A l'échelle moléculaire, quelques centaines de nm, la plupart des macromolécules se présentent sous forme de « fils longs et souples ». Les réactions chimiques permettant de passer d'un monomère A à la macromolécule  $[-A-]$  s'appellent polymérisation. Ainsi, l'éthylène  $CH_2=CH_2$  (monomère) conduit par polymérisation par ouverture de la double liaison au polyéthylène (polymère).  $[-CH_2-CH_2-]$  5.

La macromolécule peut comporter jusqu'à 50 000 atomes de carbone, et pour de nombreux polymères commerciaux la masse molaire peut atteindre 1 000 000 g.mol. Certaines macromolécules deviennent ainsi visibles à l'œil nu (matériaux réticules par exemple). La

synthèse d'un polymère peut être assimilée à un jeu de construction dans lequel on dispose de pièces élémentaires mono, di fonctionnelles ou de fonctionnalité strictement supérieure à 2. On appelle fonctionnalité le nombre de liaisons que la pièce est capable d'établir avec une autre pièce. Quand les motifs associés sont identiques, on parle d'homopolymère. Sinon, ce sont des copolymères : bi polymères, ter-polymères sont les plus communs.

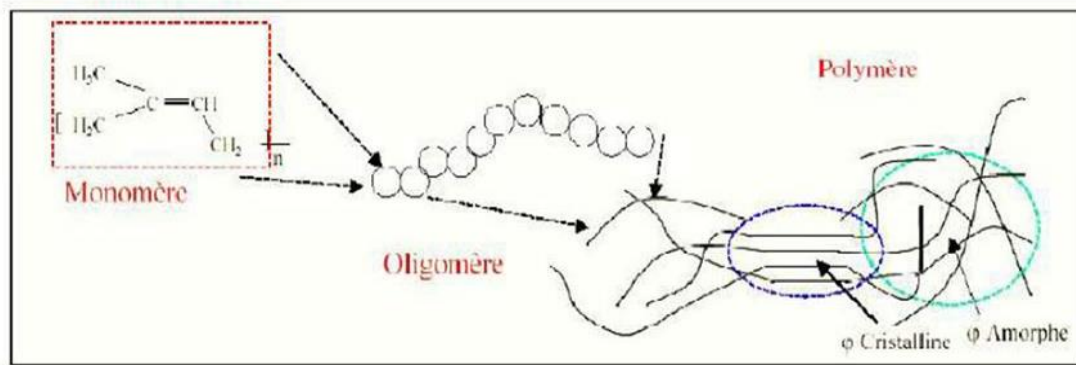


Fig. (I.3) : La constitution d'un polymère [3]

Monomère	Polymère	Nom IUPAC	Nom courant	Abréviation
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$	$\text{-(CH}_2\text{-CH}_2\text{)}_n\text{-}$	polyméthylène	polyéthylène	PE
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_3$	$\text{-(CH}_2\text{-CH(CH}_3\text{))}_n\text{-}$	poly(1-méthyléthylène)	polypropylène	PP
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{Cl}$	$\text{-(CH}_2\text{-CH(Cl))}_n\text{-}$	polychloroéthylène	Polychlorure de vinyle	PVC
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5$	$\text{-(CH}_2\text{-CH(C}_6\text{H}_5\text{))}_n\text{-}$	poly(1-phényléthylène)	polystyrène	PS

Tab. (I.2) : Représentation et dénomination des quatre polymères synthétiques les plus utilisés.

### I.3.2. Classification:

Les polymères sont constitués de la répétition d'un grand nombre de motifs élémentaires : les unités monomères. Dans le cas où les macromolécules ne contiennent qu'un type de monomères, il s'agit d'un homopolymère. Si les unités constitutives sont nombreuses, on parle alors de copolymère.

- Il existe plusieurs types de copolymères :
- les copolymères alternés (chaîne A-B-A-B-A-....)

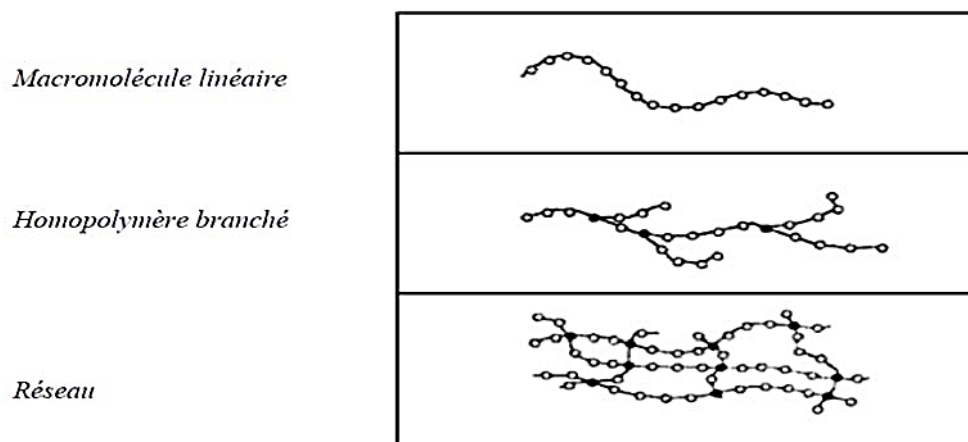
- les copolymères séquencés (chaîne A-A-A-B-B-B-....)
- les copolymères statistiques (chaîne A-B-B-A-B-A-B-A-A-....).

### I.3.3. Structures

La structure du polymère représente la façon dont les longues chaînes moléculaires de base sont reliées entre elles pour former le matériau. La disposition des chaînes entre elles ainsi que la densité des points de liaison vont modifier profondément les caractéristiques macroscopiques du polymère.

Un polymère peut adopter trois structures moléculaires, présentées dans la (fig. I.4)

- 1- linéaire :** La macromolécule se présente sous la forme d'une longue chaîne ;
- 2- branchée :** Une longue chaîne sur laquelle viennent s'embrancher des chaînes de longueur variable, en général plus petites ;
- 3- en réseau :** Les chaînes sont reliées entre elles en plusieurs points formant un réseau



**Fig. (I. 4) :** Structures des chaînes moléculaires.

Ces différentes structures vont permettre de classer les polymères en deux grandes catégories : Les thermoplastiques et les thermodurcissables.

### I.3.4. Thermoplastiques

Les thermoplastiques sont des solides généralement souples, formés de chaînes distinctes bien compactées et plus ou moins linéaires.

Ils présentent la particularité de s'écouler à la chaleur, ce qui facilite leur mise en forme. Ils sont repartis en trois grandes familles : les *amorphes*, *cristallins* et les *semi-cristallins*. Cette *morphologie* (fig. I.5) a une influence importante sur les propriétés des polymères thermoplastiques

#### **I.3.4.1. Polymères amorphes**

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

#### **I.3.4.2. Polymères cristallins**

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

#### **I.3.4.3. Polymères semi-cristallins**

Les semi-cristallins présentent à la fois une partie amorphe où les chaînes moléculaires sont désordonnées et une partie cristalline ordonnée (fig. I.5). Ils présentent donc à la fois une température de transition vitreuse (correspondant à la mobilité de la phase amorphe) et une température de fusion (pour laquelle la phase cristalline se liquéfie). On a donc toujours  $T_g < T_f$ .

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

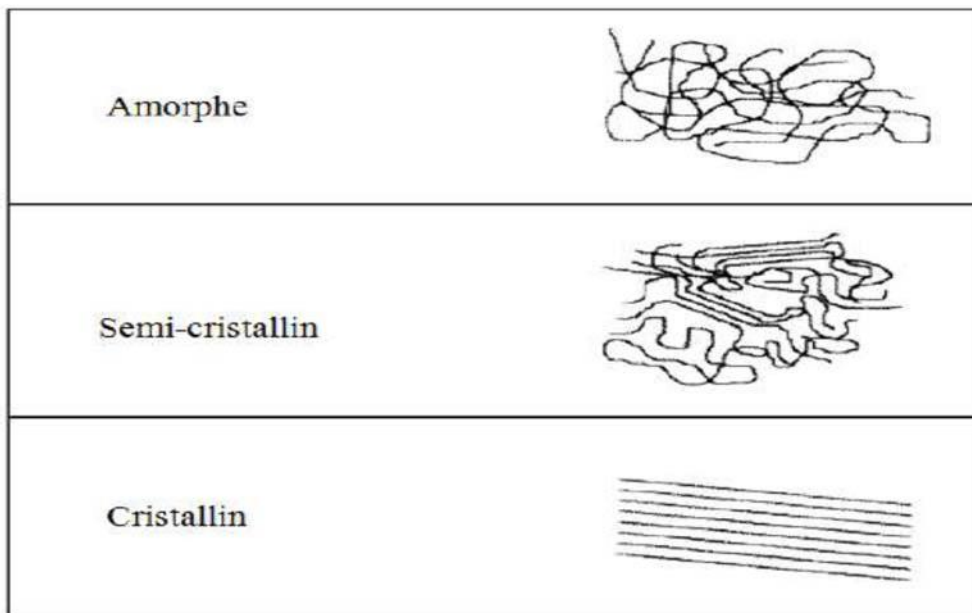


Fig. (I.5) : Morphologie des thermoplastiques.

### I.3.4.4. Avantages et désavantages des thermoplastiques

Le tableau (I.3) montre les avantages et les inconvénients des thermoplastiques

Avantages		Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stabilité dans le temps (pas de polymérisation au cours du temps)</li> <li>- Recyclable (on peut les liquéfier à nouveau)</li> <li>- Facile à réparer (par soudure ou collage)</li> <li>- Post-formable</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forte viscosité du fondu</li> <li>- Fluage</li> </ul>
Amorphe	Cristallin	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bonne résistance aux impacts</li> <li>- Module plus élevé</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moindre retrait au refroidissement</li> <li>- Plus grande dureté</li> </ul>	

Tab. (I.3) : Avantages et Inconvénients des thermoplastiques.

### I.3.5 Thermodurcissables

Les thermodurcissables ou thermodurcis ont une structure en réseau tridimensionnel, ce qui rend leur fusion impossible. La rigidité ainsi que la stabilité thermique du polymère est liée au taux de réticulation, c'est à dire à la densité de points de liaison entre les chaînes macromoléculaires.

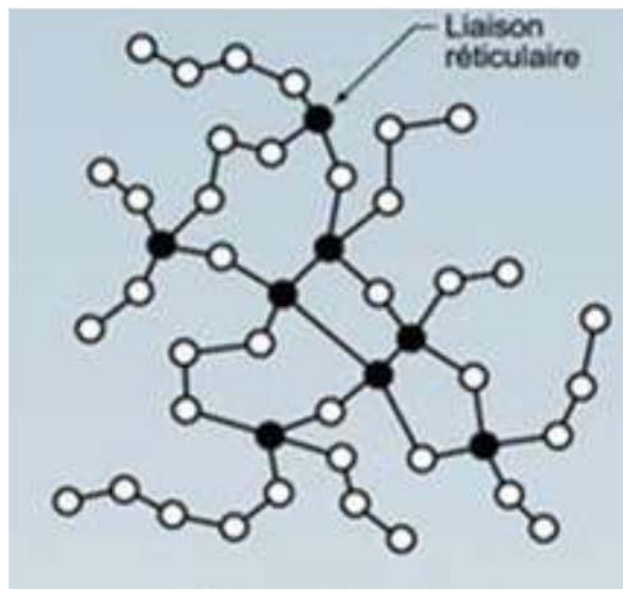


Fig. (I.6) : Morphologie des thermodurcissables

#### I.3.5.1. Avantages et désavantages des thermodurcissables

Le tableau (I.4) montre les avantages et les inconvénients des thermodurcissables

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faibles viscosité de la résine</li> <li>- Bon mouillage des fibres</li> <li>- Bon stabilité thermique après polymérisation</li> <li>- Résistance aux agressions chimiques</li> <li>- Peu sensible au fluage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cassant</li> <li>- Non recyclable par techniques standard</li> <li>- Non pas formable</li> </ul>

Tab. (I. 4) : Avantages et Inconvénients des thermodurcissables.

### I.3.6 Les élastomères

Les élastomères sont des solides souples et gonflables formés de chaînes peu compactées et (à température ambiante) très mobiles (matériau caoutchouteux)

### I.3.7 Les différents états des polymères

En fonction de la température, un polymère peut se présenter dans trois états différents qui correspondent à un accroissement des volumes libres intermoléculaires avec la température et une diminution des forces de liaisons.

On peut repérer ces états en suivant le graphe de la masse volumique ou du module d'élasticité  $E$  en fonction de la température. La température ambiante pouvant se trouver dans l'une des trois zones selon le polymère considéré

➤ **L'état vitreux (A)**

Les verres organiques n'admettent que de très faibles déformations.

➤ **L'état de transition (B)**

On rencontre les polymères linéaires thermoplastiques et les polymères réticulés dont la décomposition chimique se produit avant la fusion.

➤ **L'état caoutchouteux (C)**

Les élastomères sont formés de très longues molécules reliées entre elles par des points de jonction relativement rares.

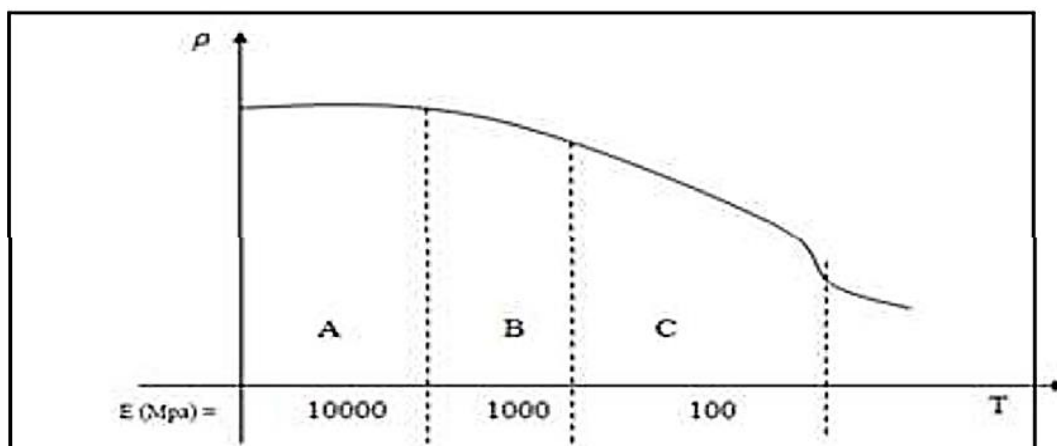


Fig. (I.7) : États des polymères [5]

### I.4. Appellation et Symboles

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

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

Symboles	Appellation	Symboles	Appellation
<b>ABS APV</b>	Acrylonitrile butadiène	<b>PP PPE</b>	Poly Propylène
<b>BMC CA</b>	styrèneAlcool Polyvinylique		Copolymère de
<b>CAB CFE</b>	Bull Mol ding Compound		polypropylène d'éthylène
<b>DAC DAP</b>	Acétate de Cellulose	<b>PPOPPS</b>	
<b>EP EPF</b>	Acétobutyrate de Cellulose	<b>PRCPS</b>	Poly oxyde de phényle
<b>EPDM</b>	Chlorofluoréthylène Diallèle	<b>PSCPSF</b>	Polysulfure de phénylePE
	Carbonate Diallèle phtalate	<b>PU PVB</b>	hd réticule Polystyrène
<b>EPMPA</b>	Epoxyde	<b>PVCRIMSI</b>	Polystyrène choc
<b>PANPBT</b>		<b>TD TEPTP</b>	Polysulfone Polyuréthane
<b>PEE PES</b>	Polyéthylène propylène		Butyral de polyvinyle
<b>PET PF</b>	fluoréEthylène propylène		Polychlorure de vinyle
<b>PFE PI</b>	diane Monomère		Réaction injection molding
	Ethylène propylène		Silicone
	monomèrePolyamide		Thermodurcissable
	Polyacry lontrille		Textile enduit plastique
	Poly butylène téréphtalate		Thermoplastique
	Polyéthylène Exposé Poly		
	ethersulfone		
	Polyéthylène lènetéréphtate		
	Phénol – Formol		
	Poly fluoré éthylènePoly		
	imide		

**Tab. (I.5) :** Appellation et Symboles des matières plastiques.

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

### I.5.1. Le Polypropylène (PP)

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

**Tab. (I. 6) :** Propriétés mécaniques et thermiques du PP.

### I.5.2. Le Polyéthylène (PE bd)

Exemple de caractéristique de deux matières plastiques (PE bd)		
POLYETHYLENE (PE bd)	<p><b>Origine :</b> Ethylène</p> <p><b>Structure :</b> Cristalline</p> <p><b>Retrait :</b> 1.3 à 2.8 %</p> <p><b>Densité :</b> 0.92</p> <p><b>Mise en œuvre :</b> injection</p> <p>Extrusion, roto moulage, thermoformage.</p> <p><b>Températures :</b></p> <p>-de moulage : 160 à 300 °C</p> <p>-du moule : 20 à 60 °C</p> <p>-de Fusion : 135 C°</p> <p>-d'utilisation : -80 à 110 °C</p>	<p><b>Avantage :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- meilleurs caractéristiques que PE bd.</li> <li>- Rigidité surfaces brillantes</li> <li>- Résistance à la température et à l'eau bouillante</li> </ul> <p><b>Inconvénients :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Retrait non homogène</li> <li>- Densité plus élevée que polyéthylène basse densité.</li> <li>- Prix plus élevé.</li> <li>- Decoration difficile</li> </ul>

**Tab. (I.7) :** Propriétés mécaniques et thermiques du PE bd.

## II.6. Coloration des matières plastiques

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

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

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

### I.6.1. Colorant à sec

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

### I.6.2. Colorants dans la masse

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

## I.7. Recyclage

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

## I.8. Propriétés mécaniques

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

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

**Tab. (I. 8) :** Caractéristiques mécaniques.

**I.9. Conclusion**

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

**Chapitre 11 :**  
**Techniques de mise**  
**en forme de la**  
**matière plastique**

### **I- Introduction**

Les techniques de mise en forme des matériaux ont pour objectif de donner une forme déterminée au matériau tout en lui imposant une certaine microstructure, afin d'obtenir un objet ayant les propriétés souhaitées. C'est un travail qui nécessite de maîtriser parfaitement les paramètres expérimentaux (composition du matériau, température, pression, vitesse de refroidissement, etc.). Les techniques diffèrent selon les matériaux (leur solidité, l'usage, etc.).

Pour les thermoplastiques (polyéthylène haute densité (PEHD), polyéthylène basse densité (PEBD), polypropylène (PP), polystyrène (PS), polyéthylène téréphtalate (PET), polychlorure de vinyle (PVC)), on part de poudres, de granulés ou de produits semi-finis sous forme de plaques ou de films. En chauffant la matière on la fait passer d'un état solide à un état plastique. Elle peut alors être mise en forme dans un moule ou par un autre procédé.

Pour les thermodurcissables (mélamine-formaldéhyde (MF), urée-formaldéhyde (UF), phénol-formaldéhyde (PF), exemples : colles époxydes, polyester insaturés (UP), polyuréthane (PUR)), les produits de base sont livrés à l'état de polymérisation partielle. Cette dernière va s'achever dans le moule sous l'action de catalyseurs, d'accélérateurs voire de chaleur. Le démoulage arrive quand la polymérisation est déjà assez avancée pour que l'objet conserve les propriétés souhaitées.

Le but de la transformation est, dans des conditions techniques, économiques et écologiques satisfaisantes, de :

- Donner la forme et l'aspect voulus au polymère pour obtenir la pièce ou le demi-produit à fabriquer ;
- Conserver formes et aspects jusqu'à la mise en service (et après) ;
- Amener les propriétés physiques, mécaniques, sensorielles au stade voulu. Les polymères de départ peuvent avoir :
- Des formes physiques très variées, depuis des liquides fluides jusqu'à des solides de grandes dimensions
- Des états chimiques différents : monomères, oligomères, polymères thermoplastiques ou thermodurcissables. Dans ce dernier cas le durcissement ou la réticulation constitue une étape supplémentaire intervenant obligatoirement lorsque la mise en forme est effective. Certains

## **Chapitre II : Techniques de mise en forme de la matière plastique**

---

polymères utilisés couramment à l'état thermoplastique peuvent être éventuellement réticulés, comme le polyéthylène, ce qui améliore ses propriétés mécaniques et chimiques.

D'autres familles de polymères telles que les polyuréthanes existent sous des formes thermodurcissables, la plus courante dans ce cas, et sous la forme thermoplastique, TPU. Les procédés de transformation et les caractéristiques finales sont alors différents. La transformation peut également incorporer des matériaux étrangers :

- autre matière plastique : Co-moulage, surmoulage ;
- inserts, feuilles de contre collage ;
- renforts et mousses pour les composites.

Le procédé doit alors respecter des matériaux d'apport aussi divers que :

- d'autres plastiques et élastomères ;
- des métaux ; – des papiers et cartons ;
- des textiles ;
- du verre ;
- des matériaux naturels comme le bois ou le cuir...

Suivant les cas, on sera amené à choisir entre un certain nombre de procédés, toutes les méthodes ne pouvant pas s'appliquer à un cas déterminé. Les figures 1.1 et 1.2 présentent un certain nombre de solutions sans prétention d'exhaustivité.

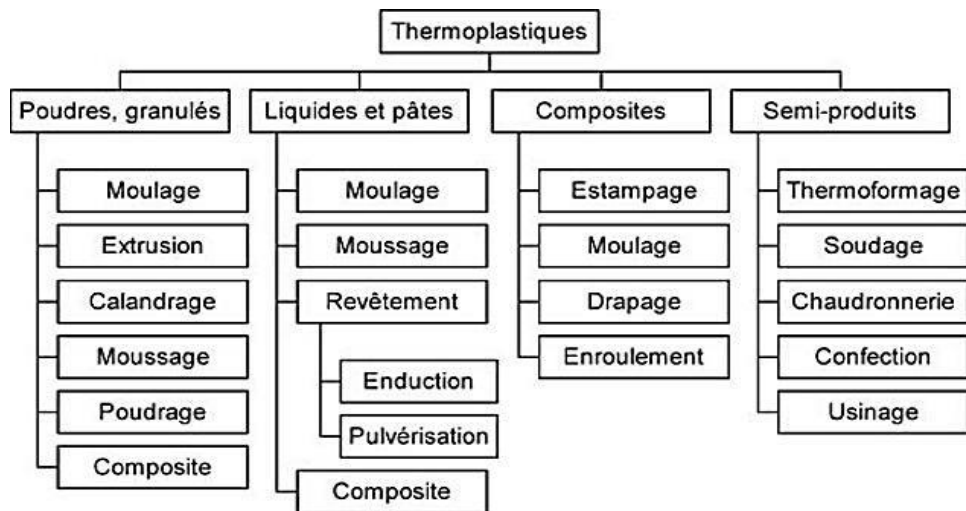


Fig. (II. 1) : Thermoplastiques : exemple de procédés.

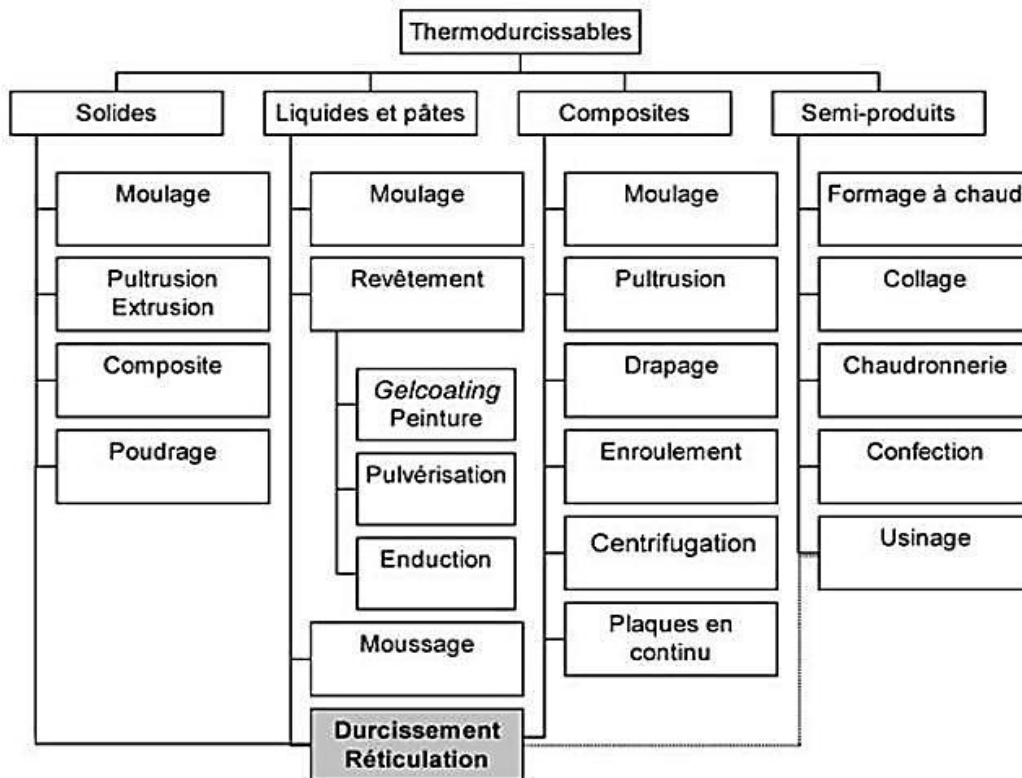


Fig. (II. 2) : Thermodurcissable : exemple de procédés.

### **II. Les principaux procédés de mise en forme**

Plus que tout autre matériau, les matières plastiques offrent un large choix de techniques de transformation. Les produits initiaux [formulations complètes (nommées aussi matériaux polymères), compounds] se présentent sous forme de granulé, poudre, pastille, pâte ou liquide. Les matières hygroscopiques (PA, ABS, PBT, PMMA, etc.) subissent un pré séchage avant la mise en œuvre afin d'éviter tout défaut lié à l'humidité sur les pièces plastiques. Les états plastique ou visqueux sont nécessaires pour mettre en œuvre les techniques de mise en forme des matériaux polymères. Les transformateurs réalisent les objets finis destinés aux utilisateurs à l'aide de matériels et de matières fournies par les producteurs de polymères ou les compoundeurs.

#### **II.1: Le procédé injection soufflage**

Le procédé d'Injection-Soufflage permet de réaliser des corps creux qui présentent de bonnes propriétés mécaniques. Il se décompose en 2 phases distinctes :

- Une première phase d'injection. Cette phase consiste à injecter une préforme (éprouvette) dans un moule d'injection.
- Une deuxième phase de soufflage. Cette phase consiste à souffler la préforme dans un moule. Cette technique est essentiellement réservée aux thermoplastiques. Le cycle de fabrication se compose de 5 étapes.

#### **Les différentes étapes :**

- Injection de la préforme. Celui-ci est définitivement réalisé à ce stade de fabrication de l'objet.
- La préforme encore chaude (120°C-200°C) est transférée dans un moule de soufflage.
- Soufflage. L'air comprimé est introduit au travers du noyau portant la préforme.
- La pièce est démoulée, puis transférée à l'aide du noyau sur le poste d'éjection.
- Ejection.

### Injection soufflage

#### Procédé :

- On fabrique une préforme par injection.
- On chauffe cette préforme et on y envoie un jet d'air comprimé qui la pousse contre les parois du moule.

#### Exemples d'utilisation :

- Bouteilles, flacons, réservoirs de carburants, contenants divers

#### Indice :

- Point d'injection au fond du contenant

Vidéo du procédé : [injection soufflage](#)

Sources des images: <http://www.vatorplast.com>



Fig. (II. 3) : Procédés de soufflage.



Fig. (II. 4) : Injection soufflage avec biorientation.

## II.2. Le procédé extrusion

Le procédé d'extrusion des matières plastiques est couramment utilisé dans de nombreuses industries.

Nous vous proposons aujourd'hui un article pour bien comprendre le principe de ce procédé.

Le procédé d'extrusion plastique commence avec ce qu'on appelle des résines thermoplastiques. Les résines thermoplastiques sont un type de plastique qui peut être fondu, traité, puis refondu afin d'être réutilisé. Ces résines sont généralement livrées dans sous forme de granulés ou de billes pour être utilisé dans des machines d'extrusion de plastique.

Les granulés ou les billes peut se présenter sous différentes formes. Il y a par exemple des perles de résine plastique. Ce sont des perles qui n'ont jamais été traitées auparavant et qui sont généralement fournies avec des certificats de pureté.

## Chapitre II : Techniques de mise en forme de la matière plastique

Les déchets plastiques issus du procédé d'extrusion peuvent être retransformés en perles qui peuvent être utilisés à nouveau, ce qui réduit le gaspillage global généré dans le processus.

Les machines d'extrusion peuvent être compliquées à utiliser, mais l'ensemble du processus est relativement simple. Le cœur de la machine est la vis. La vis est actionnée par une boîte de vitesses, qui est actionnée par un moteur.

Les granulés thermoplastiques sont insérés dans la machine à travers une trémie. La trémie est située à l'arrière de l'ensemble tube/vis, les granulés tombent dans la machine depuis cette trémie. Lorsque la vis tourne, elle entraîne lentement les granulés thermoplastiques vers l'avant. La chaleur dégagée par le frottement de la vis qui tourne à l'intérieur du tube—en plus d'une unité de chauffage externe—fait fondre la matière plastique. Le plastique fondu est alors envoyé vers l'avant de la machine pour la suite du processus.

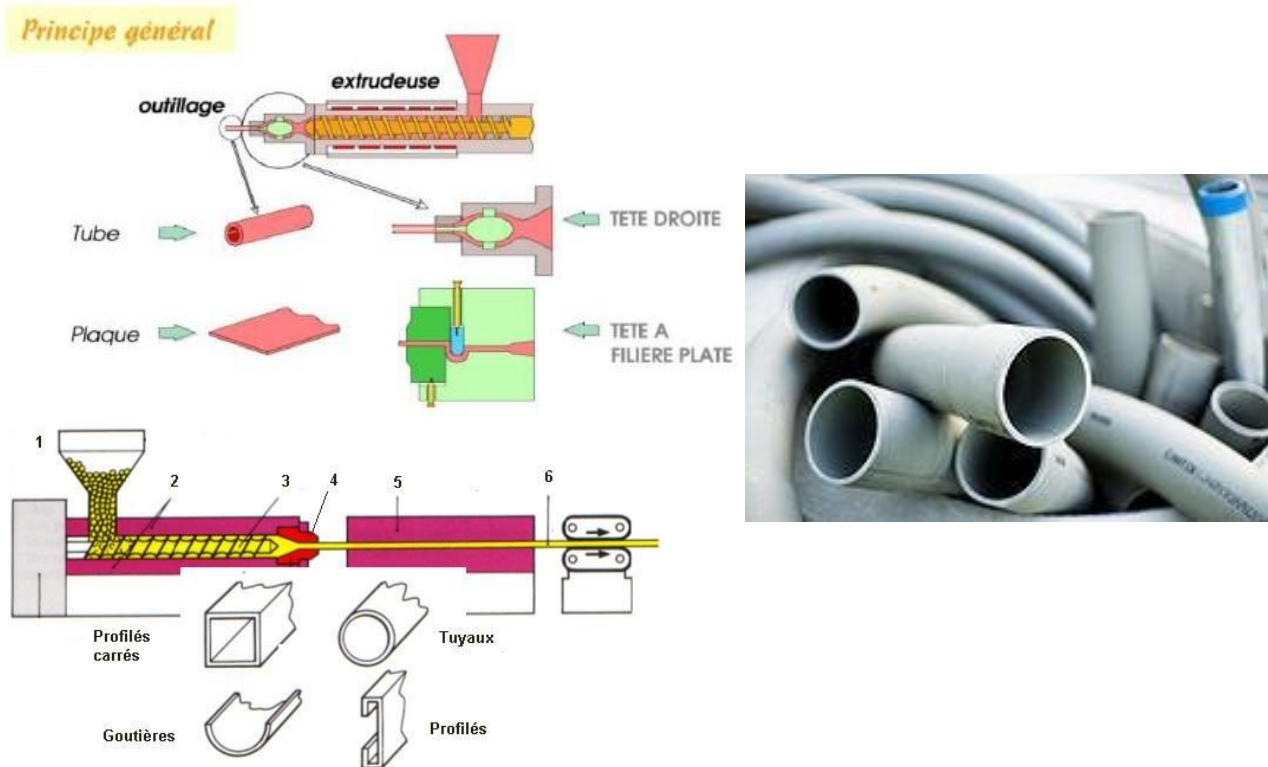


Fig. (II. 5) : Principe d'extrusion.

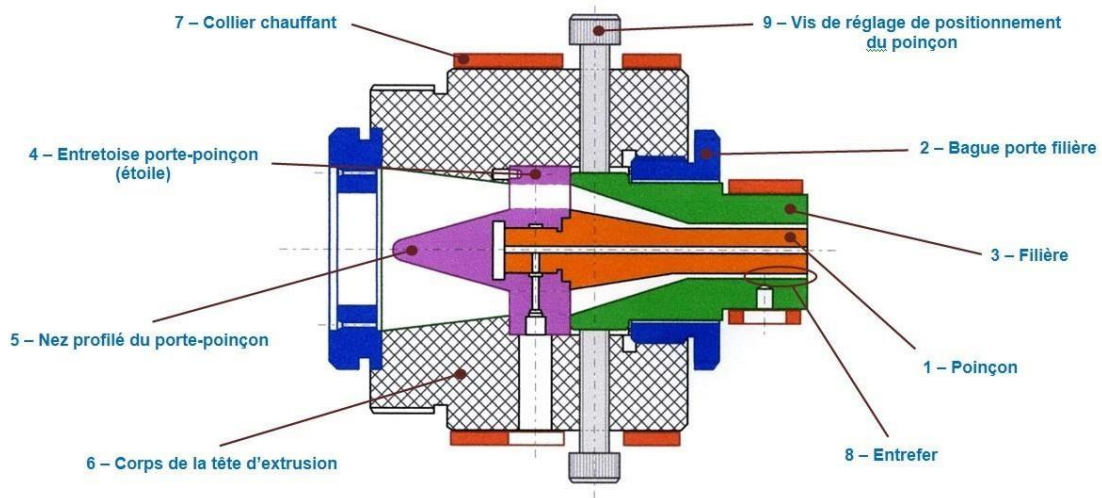


Fig. (II. 6) : Schéma d'une machine à extrusion.

### II.3. Le procédé extrusion soufflage

Ce procédé consiste à combiner la technique de l'extrusion avec celle du soufflage. Le tube extrudé (paraison) est enfermé dans un moule de soufflage (2 demi-coquilles ayant la forme désirée). La paraison présente un orifice à son extrémité, qui est pincée (là où sera l'ouverture finale du récipient). De l'air sous pression est ensuite insufflée dans la cavité par l'orifice afin de plaquer le tube déformable contre l'empreinte refroidie et figer la pièce dans sa forme finale.

#### Procédé

On fabrique un tube par extrusion. On enferme ce tube chaud à l'intérieur d'un moule et on y envoie un jet d'air comprimé qui le pousse contre les parois du moule. Exemples d'utilisation : Bouteille, flacons, réservoirs, contenants divers. Indice : Ligne de soudure au fond.

**Extrusion soufflage**

**Procédé :**

- On fabrique un tube par extrusion.
- On enferme ce tube chaud à l'intérieur d'un moule et on y envoie un jet d'air comprimé qui le pousse contre les parois du moule.

**Exemples d'utilisation :**

- Bouteille, flacons, réservoirs, contenants divers

**Indice :**

- Ligne de soudure au fond du contenant

Vidéo du procédé : [Extrusion soufflage](#)

Sources des images: <http://www.valorplast.com>

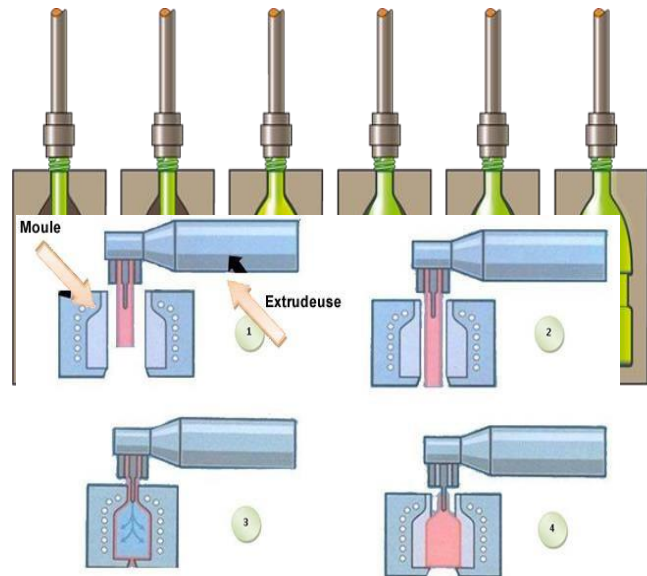


Fig. (II. 7) : Procédé de fabrication par extrusion soufflage.

**II.4. Le procédé extrusion gonflage**

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

**Procédé :** Variante de l'extrusion où, à la sortie de la filière, on gonfle d'air le tube produit. Il devient ainsi une longue bulle de pellicule plastique. Après avoir refroidi, on l'aplatit et on l'enroule sur des bobines. Exemples d'utilisation : Sacs poubelles, sacs de congélation.

**Extrusion gonflage**

**Procédé :**

- Variante de l'extrusion où, à la sortie de la filière, on gonfle d'air le tube produit.
- Il devient ainsi une longue bulle de pellicule plastique.
- Après avoir refroidi, on l'aplatit et on l'enroule sur des bobines.



**Exemples d'utilisation :**

- Sacs poubelles, sacs de congélation, ...

Vidéo du procédé : [Extrusion gonflage](#)

Sources des images: <http://www.valorplast.com>



Fig. (II. 8) : Procédé extrusion gonflage.

## II.5. Le procédé thermoformage

Derrière ce terme compliqué se cache le procédé de fabrication qui permet de réaliser toutes sortes d'objets aux formes creuses. Concrètement, pour les emballages, le thermoformage permet de créer des barquettes, des gobelets ou encore des pots de yaourt. Mais au fait, comment ça marche ?

### Principe

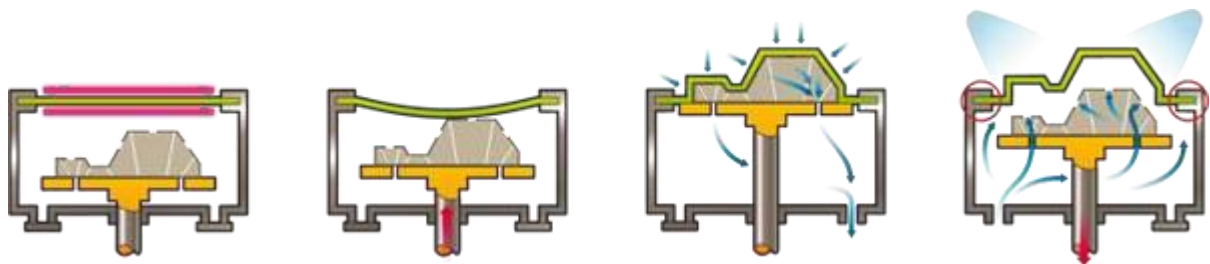


Figure (II. 9) : Procédé thermoformage.

Le thermoformage est une technique de moulage.

- 1- Mise en place de la feuille et chauffage par un plateau chauffant supérieur et inférieur.

## **Chapitre II : Techniques de mise en forme de la matière plastique**

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

### **Applications**

- Jouets (bac à sable, toboggans...);
- Pots de yaourt;
- Blister;
- Gobelets et barquettes.



**Fig. (II.10) : Procédé de thermoformage.**

### **Machine de thermoformage et Outillages**

Les machines pour thermoformage, autrement appelées thermoformeuses sont utilisées dans la transformation des matières plastiques. Elles s'utilisent en effet dans un bon nombre d'applications. On les trouve par exemple dans le secteur médical, l'éducation, le secteur automobile, etc... Trois principaux types de thermoformage existent, dont le thermoformage par le vide, le thermoformage sous pression, et le thermoformage double coque. Le thermoformage

## Chapitre II : Techniques de mise en forme de la matière plastique

présente de nombreux avantages considérables pour ses utilisateurs. Il offre par exemple l'avantage d'être d'une conception simple, ce qui lui vaut d'être peu coûteux par rapport aux autres types de machines. Sa compétitivité lui permet également de réaliser les petites, moyennes et grandes séries. Le moule de la machine pour formage est dans la plupart du temps conçue en aluminium ; cependant, on la trouve également dans d'autres matières, telles que la résine époxyde, notamment pour les petites séries, et le bois qui s'utilise le plus souvent pour la fabrication d'échantillons. Deux principaux types de moules existent, dont les moules positifs et les moules négatifs. Vous trouverez ici plusieurs fournisseurs et des sociétés spécialisées dans la conception et la réalisation de machines pour thermoformage. Ils proposent par exemple des préchauffeurs pour thermoformage, des thermoformeuses-stratificateurs, des thermoformeuses pour film de plastique, des modèles pour plaque de plastique, ou pour bloc de plastique, etc...



Fig. (II. 11) : Machines thermoformage.

### II.6. Le procédé calandrage

L'extrusion Calandrage est un processus qui permet la fabrication et l'assemblage d'une feuille thermoplastique sur un support en une seule étape. Il est possible de grainer la feuille au cours de cette seule étape.

Elle permet de travailler différentes matières : PVC, TPU (thermoplastiques polyuréthane), polyamide, mais également TPO (thermoplastiques polyoléfine).

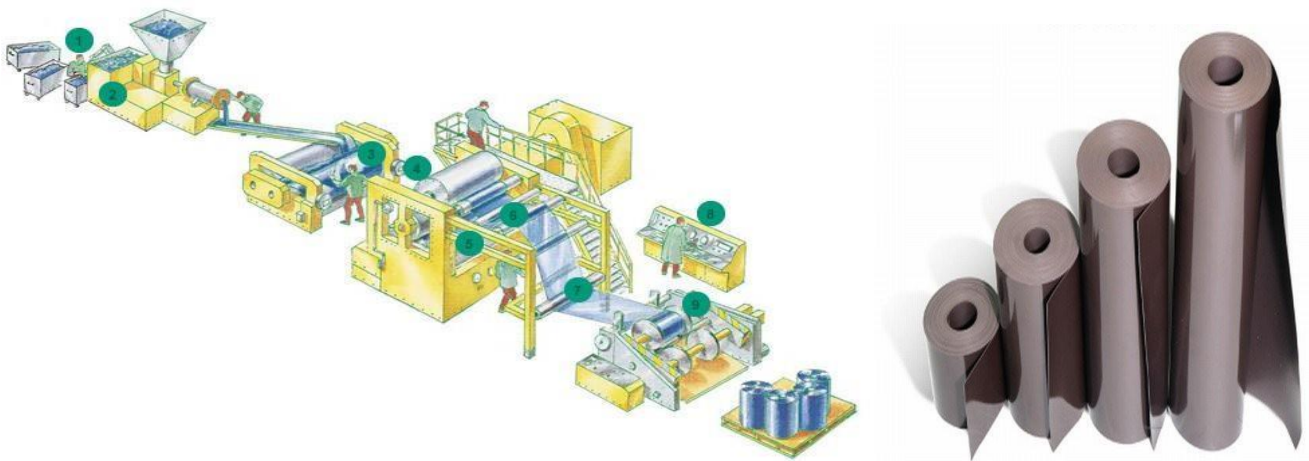


Fig. (II.12) : Procédé de calandrage.

Ces derniers ont de nombreux avantages :

- Recyclage de produit ;
- Gain de poids : par leur faible densité ;
- Stabilité dans le temps (absence de plastifiant) ;

- Tenue chimique ;
- Capacité de transformation ;
- Par thermoformage ;
- Thermocompression ;
- Thermo gainage...

### II.7. Le procédé Rotomoulage

Le rotomoulage est un procédé de transformation des matières plastiques qui permet principalement la réalisation de pièces creuses de grandes dimensions, sans reprise, ni lignes de soudure. Ce procédé est connu depuis une cinquantaine d'années, mais son utilisation est restreinte à des pièces peu ou pas techniques : silos, balises, jouets. Les entreprises de rotomoulage sont généralement de petites sociétés, utilisant un savoir-faire empirique, et qui sont peu génératrices d'innovations. Les inconvénients majeurs du rotomoulage sont aujourd'hui le temps de cycle et la non maîtrise du procédé. Or de nouveaux marchés, notamment l'automobile, ayant des exigences de productivité, de rendement et de qualité se profilent. Afin de saisir l'opportunité offerte par ces nouveaux marchés, il est nécessaire d'améliorer l'adéquation entre le procédé de rotomoulage et le matériau.

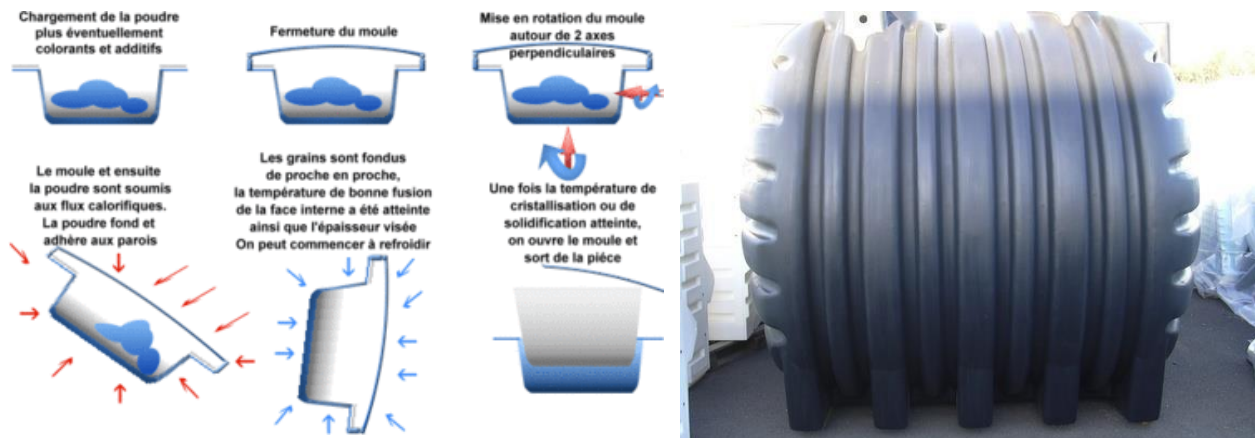


Fig. (II.13) : Procédé de rotomoulage.

### La machine de rotomoulage



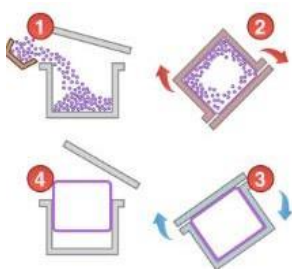
Machine de rotomoulage



Moule de rotomoulage

Le **rotomoulage** est un procédé de mise en forme des matières plastiques très utilisé pour fabriquer des articles de sports nautiques.

La matière première est du plastique (en général du polyéthylène) sous forme de poudre. Elle est chargée dans un moule afin de reproduire la forme intérieure de ce moule.



Le rotomoulage



Moule de rotomoulage



Matière première: PVC  
liquide



Four à rotomoulage

La mise en œuvre du rotomoulage comporte **6 phases** :

1. Le chargement de la matière plastique dans le moule
2. La fermeture du moule
3. La mise en rotation du moule autour de 2 axes perpendiculaires
4. Le chauffage dans un four

5. Le refroidissement

6. Le démoulage.

Grâce au rotomoulage, on peut ainsi fabriquer des kayaks, des canoës, des barques, des planches de stand.

Cette technique a commencé à être mise en œuvre de manière industrielle dans les années 70.

Elle a permis à de nombreuses marques de développer et mettre sur le marché de nombreux produits en vente.

### **II.8. Le procédé expansion moulage**

#### **Principe**

Au contact de la vapeur d'eau, la matière plastique (petites graines) se ramollit, alors que le gaz qu'elle contient se dilate : les graines gonflent, comme le pop-corn grâce à l'air qu'il contient. Cette première expansion est réalisée en usine dans des grandes cuves en inox et permet d'obtenir jusqu'à 30 fois le volume initial des billes de polystyrène.



**Fig. (II. 14) : Bille de polystyrène expansée.**

Après séchage des billes pré-expansées, stockées dans un silo, cette matière est introduite dans un moule fermé et est soumise à une nouvelle injection de vapeur d'eau.

Le polystyrène est un polymère qui se présente avant transformation sous forme de petites billes non expansées. Elles renferment des micro-inclusions à l'état liquide qui se

## **Chapitre II : Techniques de mise en forme de la matière plastique**

transforment en gaz lors de l'expansion. Dans une chaudière, en présence de vapeur d'eau, la matière se ramollit et le gaz qu'elle contient se dilate. Les petites billes gonflent, comme du pop-corn, en gardant une forme sphérique régulière. Cette première expansion est réalisée dans de grandes cuves en inox et permet d'obtenir jusqu'à 30 fois le volume initial du polystyrène non expansé.

Dans un deuxième temps, après séchage, les billes pré-expansées sont introduites dans un moule fermé et sont soumises à une nouvelle expansion grâce à l'injection de vapeur d'eau. Les billes augmentent de volume et collent les unes aux autres dans le volume intérieur du moule. Cette technique est utilisée pour fabriquer toutes sortes d'emballages en polystyrène expansé : emballages de protection pour appareils fragiles, caisses à poissons, barquettes alimentaires ...

Cette technique est surtout utilisée pour fabriquer toutes sortes d'emballages en polystyrène expansé : caisses à poissons, barquettes...



**Fig. (II. 15) :** Expansion moulage.

### **II.9. Le procédé injection**

Le moulage par injection, aussi appelé injection plastique, est un procédé de mise en œuvre des thermoplastiques. La plupart des pièces en thermoplastique sont fabriquées avec des presses d'injection plastique : la matière plastique est ramollie puis injectée dans un moule, et ensuite refroidie. 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.

## Structure de la presse d'injection

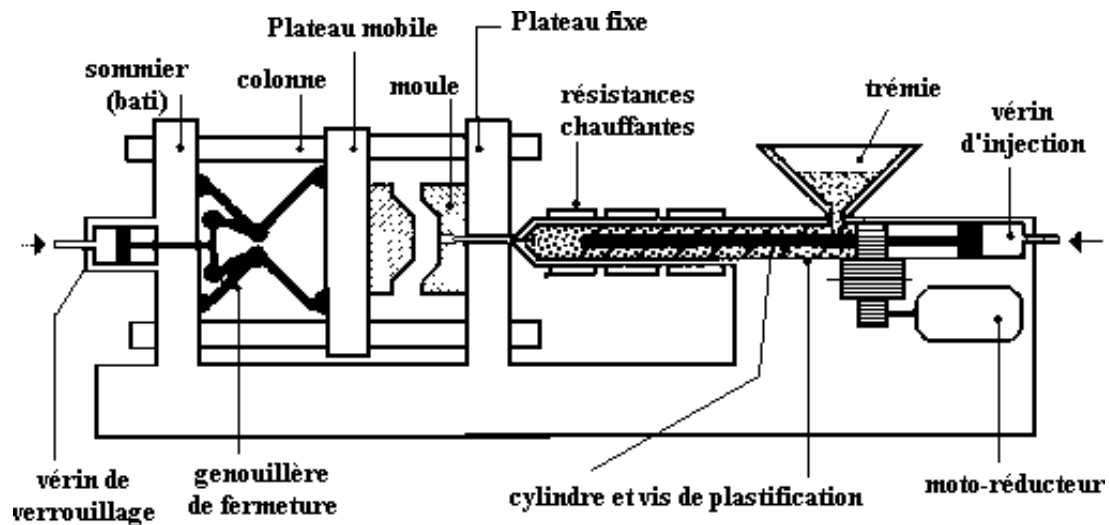


Fig. (II. 16) : Schéma d'une presse injection plastique.

On rencontre des composants moulés par injection dans de très nombreux produits manufacturés : automobile, électroménager, matériel informatique, mobilier... Pour les pièces métalliques, les dimensions sont relativement limitées (les carters de boîtes de vitesses en aluminium sont coulés par injection) mais pour les plastiques elles vont de quelques millimètres à plusieurs mètres (éléments de carrosseries automobiles, tables de jardin, par exemple). Les moules, installés sur une machine spéciale (presse), sont constitués le plus souvent de deux coquilles (partie fixe et partie mobile) qui sont fortement pressées l'une contre l'autre au moment du moulage puis écartées pour permettre l'éjection de la pièce moulée. Outre ces coquilles, le moule peut comporter un ou plusieurs noyaux destinés à former les parties creuses de la pièce et des poinçons permettant de réserver des ouvertures dans ses parois. Il arrive fréquemment que l'on place dans le moule des « inserts » qui se retrouveront par la suite inclus dans la pièce : il s'agit le plus souvent d'éléments filetés qui pallient localement la résistance insuffisante du matériau constituant le corps de la pièce.

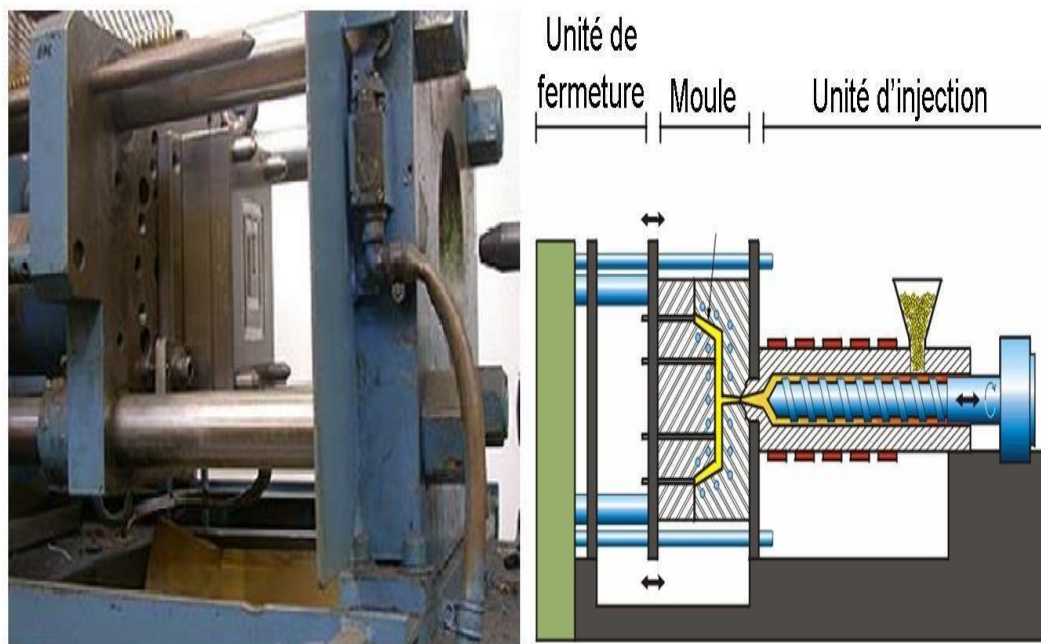


Fig. (II. 17) : Position d'un moule dans une presse injection.

### Procédé

La matière plastique avant transformation se présente sous forme de petit granulé dépassant rarement le quelques millimètre. Ces granulés servent à alimenter la vis de plastification (type vis sans fin).

- Celle-ci est chauffée et régulée en température via le fourreau de plastification. La rotation de la vis de plastification (entraînée par un moteur hydraulique) et l'action conjuguée de la température du fourreau permet de ramollir les granulés de matière plastique les amenant jusqu'à un état de visqueux.
- Cette matière est acheminée à l'avant de la vis de plastification donnant ainsi une réserve de matière prête à être injectée (c'est ce que l'on appelle la phase de dosage).
- Viens ensuite la phase d'injection dynamique ou la matière présente à l'avant de la vis de plastification, est injectée sous forte pression à l'intérieur d'un moule (ou cavité) présentant la forme de la pièce souhaitée. Le moule est régulé à une température inférieure à la température de transformation (allant de 15 °C à 130 °C dans certains cas).
- La 3<sup>e</sup> étape est la phase de maintien, où l'on applique une pression constante durant un

## **Chapitre II : Techniques de mise en forme de la matière plastique**

---

temps déterminé afin de continuer à alimenter les empreintes malgré que celle-ci soit remplie. Ceci afin de palier au retrait de la matière durant est refroidissement. La pièce est refroidie durant quelques secondes puis éjectée.

- Un nouveau cycle peut commencer Paramètres et réglages : Les temporisations principales à régler sont :
  - Le dosage, l'injection, l'ouverture, la fermeture, l'éjection, la post pression.

### **Autres paramètres**

- Température du fourreau, température de la matière, température du moule injection
- Pressions durant l'injection et durant le maintien, la contrepression, la vitesse de rotation de la vis, la course de dosage
- Courses d'ouvertures et d'éjections etc.

### **Le cycle d'injection**

- Déroulement du cycle d'injection.
- Le cycle d'injection minimal est décrit sur la figure 1.

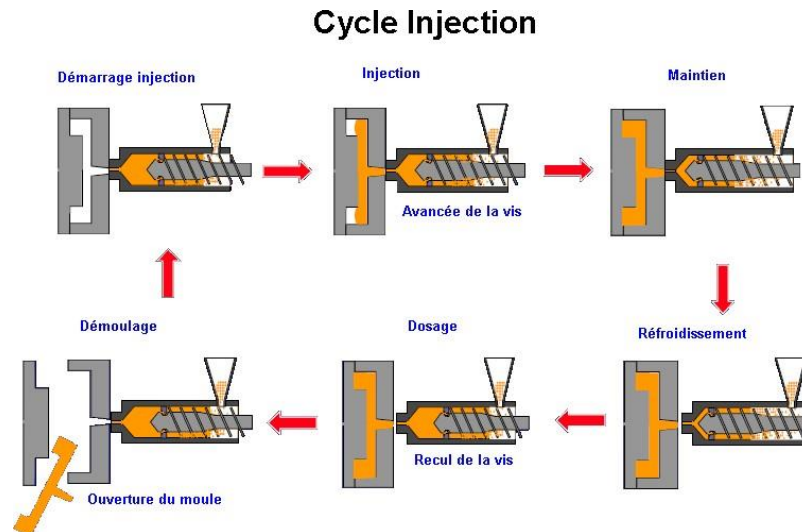
Pour réaliser ce cycle, les principales fonctions d'une presse à injecter sont donc :

- Ouvrir et fermer le moule ;
- Verrouiller le moule ;
- Injecter la matière fondue dans le moule ;
- Maintenir la matière fondue sous pression dans les empreintes ;
- Ejecter les pièces après refroidissement ;
- Fondre la matière.

En partant de la matière plastique sous forme de granulés pour aboutir aux pièces injectées disponibles hors du moule, le cycle de transformation de la matière plastique Pour réaliser ce cycle, les fonctions suivantes sont nécessaires :

- Alimenter la presse en granulés ;

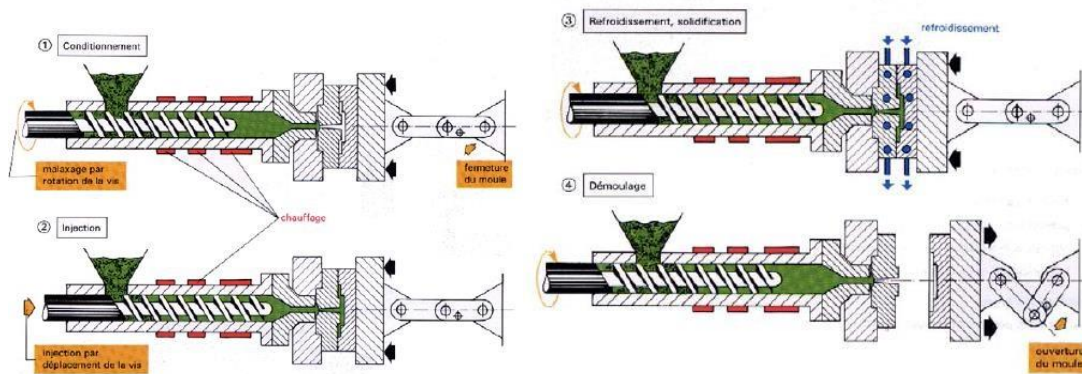
- Faire fondre les granulés ;
- Doser le volume de matière fondue qui va être introduit dans le moule ;
- Introduire la matière fondue dans le moule...



**Fig. (II. 18) :** Cycle injection.

On rencontre des composants moulés par injection dans de très nombreux produits manufacturés : lunettes, automobiles, électroménagers, matériel informatique, mobiliers... Pour les pièces métalliques, les dimensions sont relativement limitées (les carters de boîtes de vitesses en aluminium sont coulés par injection) mais pour les plastiques elles vont de quelques millimètres à plusieurs mètres (éléments de carrosseries automobiles, tables de jardin, par exemple).

Les moules, installés sur une machine spéciale (presse), sont constitués le plus souvent de deux coquilles (partie fixe et partie mobile) qui sont fortement pressées l'une contre l'autre au moment du moulage puis écartées pour permettre l'éjection de la pièce moulée.



**Fig. (II. 19) :** Schéma présentatif de cycle d'injection.

### Quelques pièces plastiques injectées :

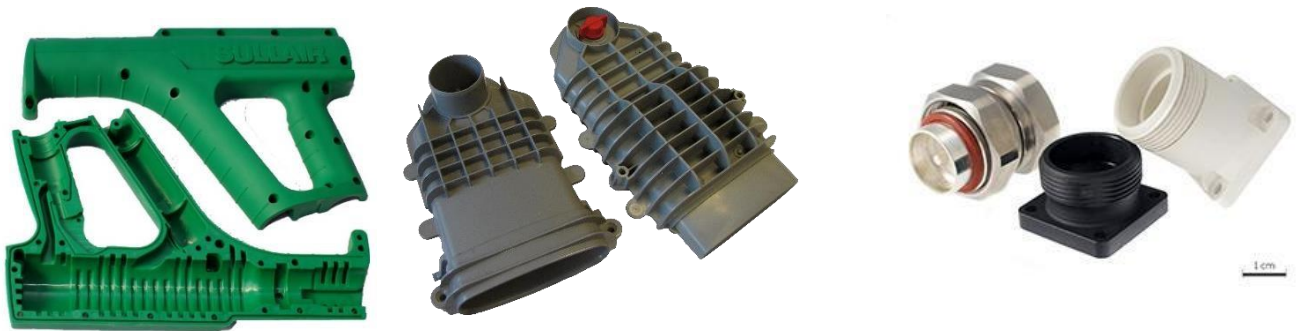


Fig. (II. 20) : Quelques pièces plastiques injectées.

### Presse à injecter

#### Présentation

#### A• Cycle de fonctionnement

La figure 4.1 présente le cycle de la presse sous ses deux aspects, d'une part en ① le cycle technologique de la presse à injecter, d'autre part en ② le cycle physique de transformation de la matière plastique. Pour simplifier la représentation. La stagnation de la matière n'est représentée que durant un seul cycle.

#### B• Détail du cycle

Le cycle automatique de la presse peut être décrit par un Grafcet, l'enchaînement des étapes est lié au franchissement des transitions (réceptivités). Pour analyser une défaillance du fonctionnement automatique, on vérifie l'état de la réceptivité associée à la fin de l'étape défaillance. Chaque constructeur, chaque modèle de presse utilise des séries de réceptivités présentant de notables différences. De nombreuses machines permettent de choisir quelles réceptivités sont associées à certaines étapes. Le cycle présenté dans ces pages, est simplifié par rapport au Grafcet décrivant la totalité de l'automatisme l'une presse moderne.

#### C• Analyse des réceptivités

## Chapitre II : Techniques de mise en forme de la matière plastique

La figure (II. 20) indique les termes les plus couramment utilisés pour désigner les principaux éléments d'une presse. Le tableau II.1 définit quelles transitions sont utilisées pour commencer chaque étape.

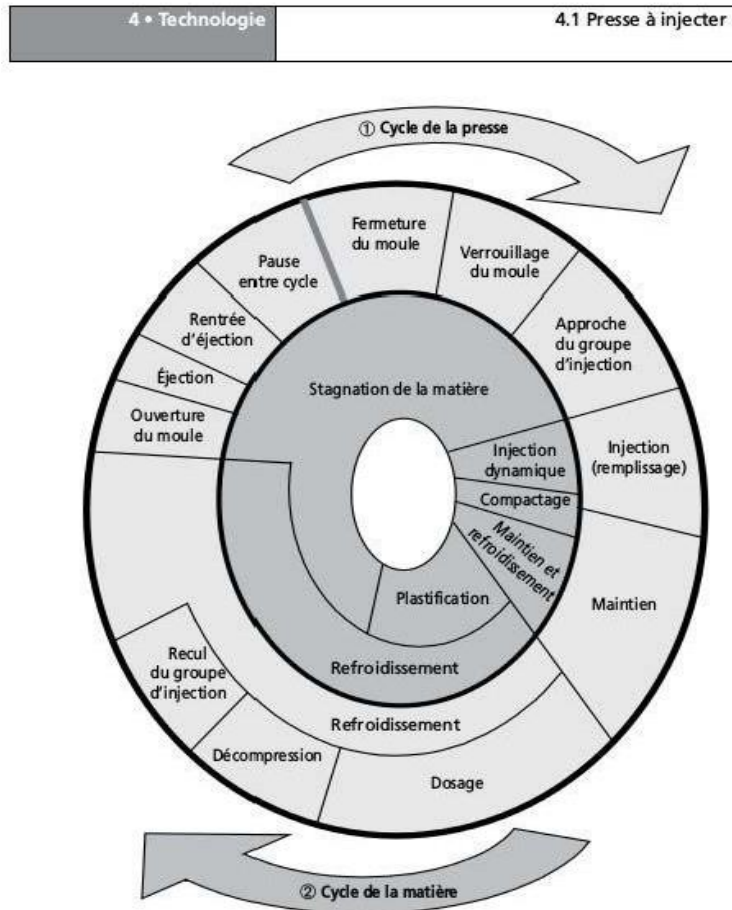
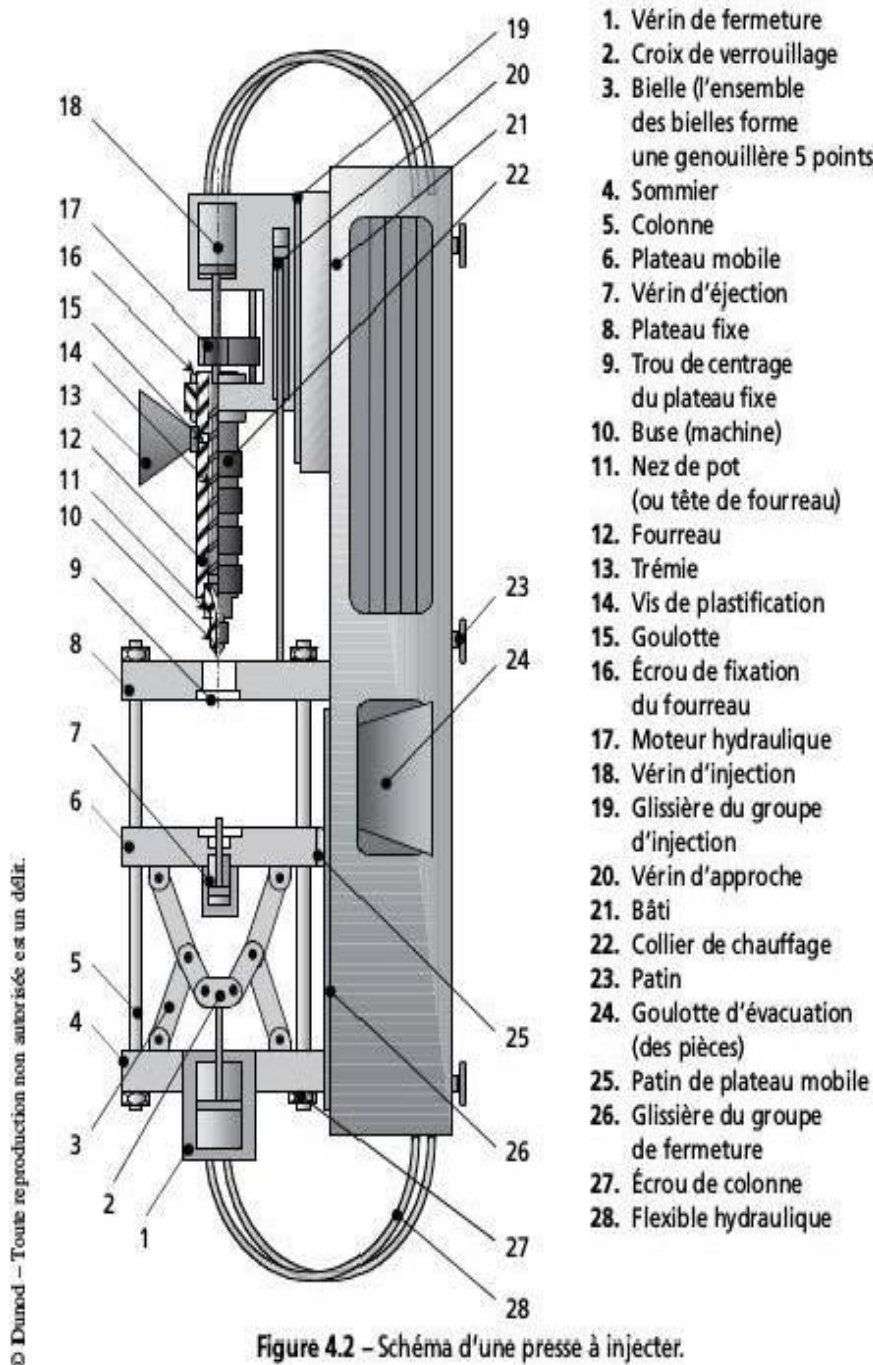


Figure 4.1 – Cycle d'une presse à injecter.

104

Fig. (II. 21) : Cycle d'une presse injection.

4 • Technologie 4.1 Presse à injecter



© Dunod – Toute reproduction non autorisée est un délit.

Figure 4.2 – Schéma d'une presse à injecter.

**B**  
L'INSTALLATION DE PRODUCTION

Fig. (II. 22) : Schéma d'une presse à injecter.

Tableau 4.1 – Transitions pour chaque étape du cycle.

Type de transition	Course	Temps	Pression	Autres
Nature de l'étape				
Fermeture du moule				Conditions de départ et cycle automatique
Verrouillage du moule	Passage en haute pression			
Approche du groupe d'injection	Position 0 du moule	Délai de verrouillage	Pression de verrouillage	
Injection (remplissage)	Contact buse	Délai d'approche	Pression dans les vérins d'approche	
Maintien	Position de commutation	Temps de remplissage	Pression de commutation	
Dosage		Temps de maintien		
Décompression	Course de dosage			
Recul du groupe d'injection	Course de décompression			
Refroidissement		Temps de maintien		

106

Tab. (II. 1) : Transitions pour chaque étape du cycle.

Tableau 4.1 – Transitions pour chaque étape du cycle. (Suite)

	Course de dégagement ET Temps de refroidissement		
Ouverture du moule			
Éjection	Course de commande d'éjection		
Retour à l'éjection		Ejection sortie ET Durée d'éjection	
Pause entre cycles	Ejection rentrée		

**Remarque**

La partie gauche du schéma, comportant les colonnes et les plateaux, est appelée « groupe de fermeture ». Le fourreau et les éléments hydrauliques qui lui sont associés sont dénommés « groupe d'injection ».

**4.1.2 Maintenance préventive des presses**

**■ Maintenance hydraulique**

L'état de colmatage des filtres doit donner lieu à un contrôle périodique. Selon les modèles de presses, les indicateurs de colmatage sont soit des témoins lumineux, soit des indicateurs mécaniques placés de part et d'autre du porte-filtre. Sur des matériels anciens, un bruit de pompe anormalement fort est le seul indicateur de colmatage des filtres. Le changement des filtres est une opération simple, mais des consignes de sécurité et de propreté doivent être respectées (se reporter à la documentation du constructeur).

On distingue trois principaux types de filtres à huile :

- les filtres d'aspiration (ou crépines) qui sont installés en amont des pompes. Leur colmatage génère un fort bruit de pompe par effet de cavitation ;
- les filtres de refoulement (filtres de haute pression) situés en aval de la pompe. Leur colmatage provoque une baisse de la pression dans le circuit hydraulique. Un fort colmatage de ces filtres peut conduire à leur éclatement ;
- les filtres spéciaux placés en amont d'éléments hydrauliques sensibles aux impuretés (servovalves) ; leur fonction est de protéger l'élément hydraulique en cas de passage d'une impureté, et non de filtrer l'huile.

© Dunod - Toute réimpression est interdite sans autorisation.

INSTALLATION DE PRODUCTION

107

Tabl. (II. 2) : Transitions pour chaque étape du cycle (suite).

### **D. L'éjection**

L'éjection a pour fonction d'extraire la moulée de l'outillage une fois qu'elle est suffisamment solidifiée. En effet, pour la grande majorité des moules, les pièces restent accrochées sur les empreintes pendant l'ouverture et l'effet de la gravité ne suffit pas à les faire chuter.

#### **1• Différents modes d'éjection**

L'éjection peut être:

- **Mécanique**, grâce à des éléments mobiles comme les éjecteurs cylindriques ou de forme, les plaques dévétisseuses, les cales montantes ;
- **Pneumatique**, grâce à une alimentation en air comprimé qui vient ouvrir des soupapes dans les empreintes afin de souffler sous les pièces pour les chasser.

Les deux systèmes peuvent être couplés : le mécanique pour vaincre des efforts importants de démoulage, et le pneumatique pour éviter l'effet ventouse et faire tomber plus rapidement les pièces.

Dans le cas de l'éjection mécanique, c'est en général le vérin d'éjection de la presse qui, par l'intermédiaire de la queue d'éjection et de la batterie d'éjection du moule, réalise les mouvements. On peut avoir **une éjection poussée** (figure II.22), pour laquelle il n'y a pas de liaison mécanique entre la queue et la batterie. Le retrait des éjecteurs est alors effectué :

- soit par un système de ressorts incorporé à l'outillage,
- soit par les rappels d'éjection pendant la fermeture de l'outillage.

Ces derniers servent, à l'origine, de sécurité pour les empreintes. S'ils viennent au contact du plan de joint de la partie fixe du moule, ils repoussent la batterie d'éjection et évitent ainsi que les éjecteurs puissent être sortis lorsque le moule est fermé. Cette solution de remise à zéro de la batterie à chaque fermeture est si possible à éviter car, d'une part, on finit par abîmer les zones qui viennent en contact (matage des rappels d'éjection, enfoncement du plan de joint partie fixe), d'autre part et par conséquent, elle ne permet pas des vitesses de fermetures importantes et impacte donc le temps de cycle.

- L'éjection attelée, quant à elle, permet de maîtriser les déplacements de la batterie d'éjection tant en sortie qu'en rentrée puisque la queue d'éjection est fixée à la batterie et transmet donc tous les mouvements du vérin.

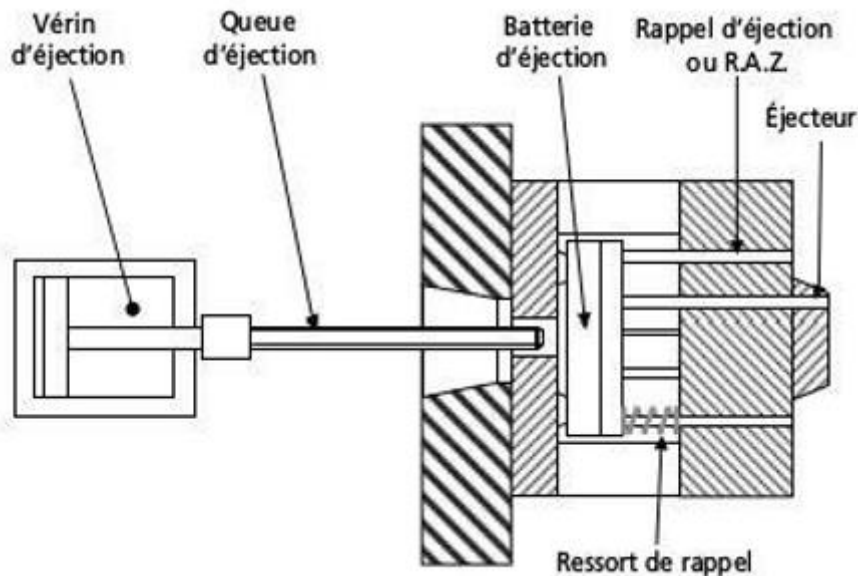


Fig. (II. 23) : Ejection mécanique poussée.

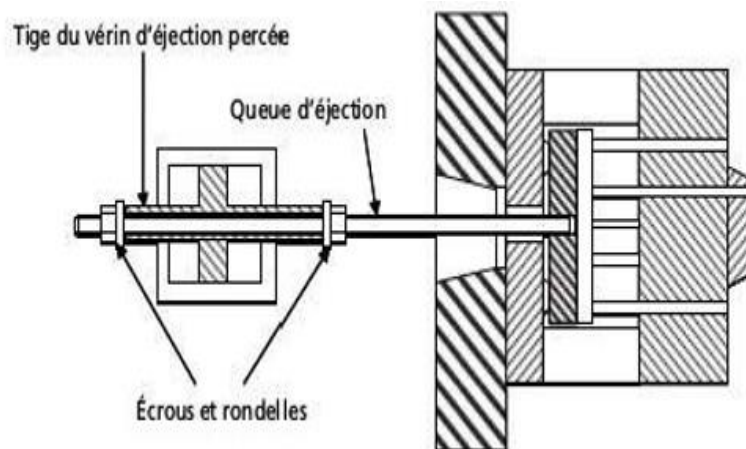


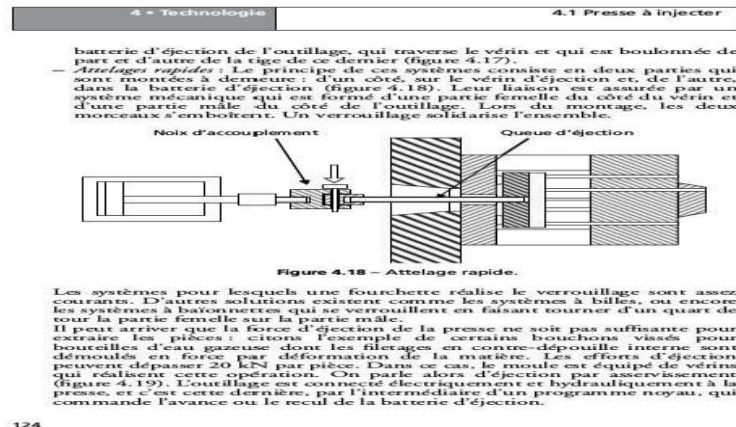
Fig. (II. 24) : Attelage à travers le vérin d'éjection.

Nombre de solutions mécaniques plus ou moins rapides à monter existent. On peut citer les plus courantes comme :

- Attelage à travers le vérin d'éjection : Pour ce montage, la presse doit être équipée d'un vérin donc la tige est percée de part en part. La queue d'éjection est une tige filetée qui est vissée dans le taraudage de la plaque arrière de la batterie d'éjection de l'outillage, qui traverse le vérin et qui est boulonnée de part et d'autre de la tige de ce dernier (figure II.23).

## Chapitre II : Techniques de mise en forme de la matière plastique

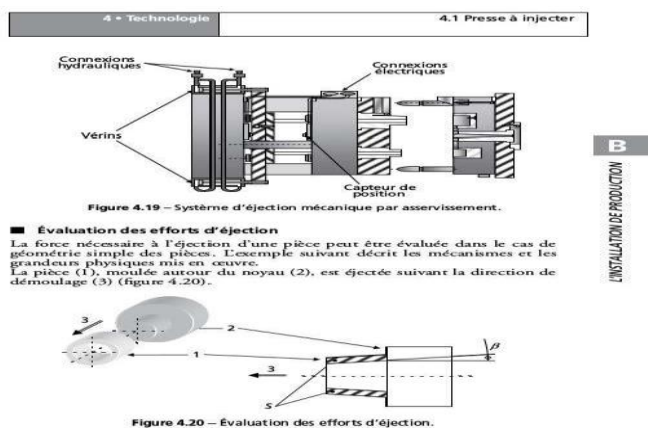
- Attelages rapides : Le principe de ces systèmes consiste en deux parties qui sont montées à demeure : d'un côté, sur le vérin d'éjection et, de l'autre, dans la batterie d'éjection (figure II. 24). Leur liaison est assurée par un système mécanique qui est formé d'une partie femelle du côté du vérin et d'une partie mâle du côté de l' outillage. Lors du montage, les deux morceaux s'emboîtent. Un verrouillage solidarise l'ensemble.



124

Fig. (II. 25) : Attelage rapide.

Les systèmes pour lesquels une fourchette réalise le verrouillage sont assez courants. D'autres solutions existent comme les systèmes à billes, ou encore les systèmes à baïonnettes qui se verrouillent en faisant tourner d'un quart de tour la partie femelle sur la partie mâle. Il peut arriver que la force d'éjection de la presse ne soit pas suffisante pour extraire les pièces : citons l'exemple de certains bouchons vissés pour bouteilles d'eau gazeuse dont les filetages en contre-dépouille interne sont démoulés en force par déformation de la matière. Les efforts d'éjection peuvent dépasser 20 kN par pièce. Dans ce cas, le moule est équipé de vérins qui réalisent cette opération. On parle alors d'éjection par asservissement (figure II.25). L' outillage est connecté électriquement et hydrauliquement à la presse, et c'est cette dernière, par l'intermédiaire d'un programme noyau, qui commande l'avance ou le recul de la batterie d'éjection.



© Dunod - Tous droits réservés

125

Fig. (II. 26) : Système d'éjection mécanique par asservissement.

### **II.10. Conclusion**

La production des polymères augmente de plus en plus et cela grâce à la grande demande mondiale en cette matière ; pour satisfaire cette large demande, des entreprises utilisent des procédés très compliqués, ce que montre ce chapitre.

L'industrie des polymères dans nos jours utilise souvent le procédé d'injection car il permet la production en série des pièces avec une grande précision, d'ailleurs c'est le procédé qu'on a utilisé pour réaliser notre pièce.

**Chapitre ٧٧٧ :  
Conception d'un  
moule injection  
plastique**

**III- Introduction :**

Pour obtenir une pièce par injection plusieurs ressources sont utilisées, outre le personnel qualifié pour des opérations de réglages, contrôle et suivi, on trouve les presses d'injection plastique, qui peuvent être horizontale, verticale, bi-vis ou des presses spéciales, enfin le moule qui constitue le composant de base puisqu'il offre à la matière la forme de la pièce voulue.

Dans ce qui suit on tente de développer les techniques de conception des moules d'injections des thermoplastique, cette conception doit intégrer toutes les fonctions dans sa réalisation par le choix de l'alimentation, du bloc empreinte, de l'éjection, du refroidissement, de la cinématique, de l'adaptation à la machine et des fonctions sécurité et maintenance et de manutention. Cette étude doit fournir le dessin d'ensemble, la nomenclature des éléments constitutifs avec les aciers et les traitements.

Selon la nature du polymère à former et son comportement aux conditions de mise en forme, des moules spéciaux sont réalisés afin d'obtenir un produit répondant aux exigences voulues. La nature du polymère nous conduit à mettre en évidence la particularité du moyen de sa mise en forme

:

- Moules à injection
- Moules à thermosets
- Moules à élastomères (caoutchoucs)
- Moules à mousses ou Expandeurs

Dans cette présente étude, nous allons concentrer notre intérêt sur les moules à injection.

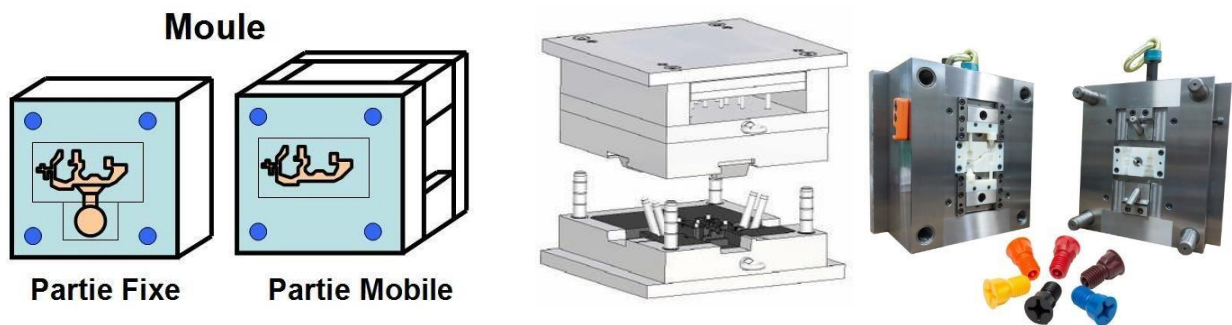
**III.1- Définition du moule à injection :**

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

Le moule est un ensemble mécanique de très grande précision qui permet de fabriquer des milliers de pièces en injectant de la matière plastique ou du métal en fusion dans des empreintes prévues à cet effet. Il est utilisé sur une machine appelée presse à injecter.

Un moule est constitué de 2 parties principales, une partie fixe pour l'injection de la matière et une partie mobile pour la fermeture du moule

quand le moule est fermé, la surface de contact entre ses 2 parties est appelée plan de joint. C'est au niveau de ce plan de joint que la pièce devra se démouler. La difficulté est de définir physiquement sa position. Pour ne pas laisser de traces sur la pièce moulée, les deux parties doivent s'emboîter parfaitement pour établir l'étanchéité lorsque le moule fermé est sous pression. Il n'est pas toujours plan et il peut avoir des formes complexes.



**Figure ( III. 1 ) : les parties de moule**

Une pièce ne pourra se démouler que si ses faces possèdent un angle de dépouille, plus ou moins important selon la matière utilisée. Pour compliquer le processus, certaines parties des pièces peuvent être en contre-dépouille (angle inverse à l'angle de dépouille) et rendre la pièce non démoulable directement. Dans ces cas, on place des parties mobiles à l'intérieur des moules qui vont aider le démoulage (des tiroirs ou coulisseaux et des rampes ou cales montantes).

**Structure d'un moule deux plaques Un moule standard est constitué de 2 parties :**

- Une partie s'adaptant sur le plateau fixe des presses : c'est le côté INJECTION, « partie fixe »
- Une partie fixée sur le plateau mobile : c'est le côté ÉJECTION, « partie mobile ».

Le côté injection du moule possède généralement une partie des empreintes ainsi qu'une partie du système d'alimentation. Cette alimentation standard est constituée de la carotte, d'un canal principal, éventuellement avec des canaux secondaires et un (ou plusieurs) seuil(s) d'injection.

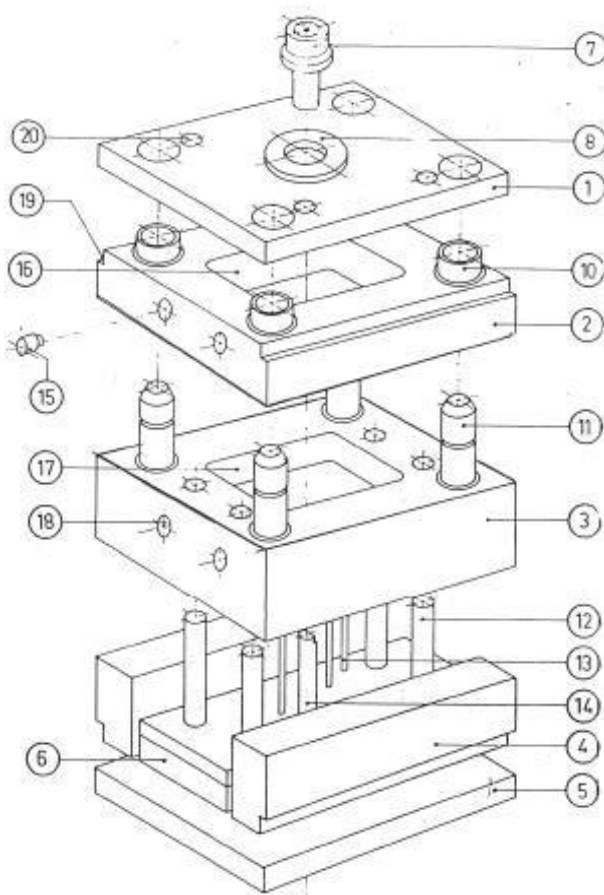
Ces divers éléments forment la grappe d'alimentation, matière perdue, ou déchet, qui dans la plupart des cas sont recyclée. La buse assure la liaison temporaire d'alimentation entre le moule et l'unité d'injection des presses. Le côté éjection, constituant la partie mobile du moule, porte les noyaux, l'empreinte et le système d'éjection. Les 2 côtés du moule sont alignés en position entre

eux par des colonnes. A l'ouverture, les pièces sont poussées hors de l'empreinte et des noyaux par des tiges nommées éjecteurs. Les éjecteurs sont animés par des plaques mobiles en translation. Cet ensemble, nommé batterie d'éjection. La batterie est généralement équipée d'éjecteurs ou de broches, nommés « rappels de batterie ». Ils assurent le retour mécanique « forcé » et la remise en position précise de tous les éléments mobiles liés à la batterie d'éjection, au moment de la fermeture du moule (montage conseillé pour la sécurité des noyaux)

Le dimensionnement de l'outillage sera fonction de :

- La forme de la pièce ;
- Les dimensions de la pièce ;
- La matière de la pièce ;
- Les tolérances de la pièce ;
- Des capacités de la machine ;
- Des cadences de production ;
- Du budget ;

III.2-Nomenclature de moule



Terminologie des éléments constituant l'outillage

19	Rainure de bridage
18	Circuit de régulation thermique
17	Logement empreinte côté éjection
16	Logement empreinte côté injection
15	Raccord rapide de circuit d'eau
14	Arrache-carotte
13	Ejecteur
12	Ejecteur de rappel
11	Colonne de guidage
10	Bague de guidage
9	Plaque porte éjecteurs
8	Rondelle de centrage
7	Buse moule
6	Contre plaque d'éjection
5	Plaque arrière côté éjection
4	Tasseau
3	Plaque porte empreinte côté éjection
2	Plaque porte empreinte côté injection
1	Plaque arrière côté injection
Repère	Désignation



Figure (III.2) : composantes d'un moule injection plastique

**La buse moule** : permet le passage de la matière du fourreau vers l'empreinte

**La rondelle de centrage** : Permet le centrage du moule sur les plateaux de la machine(presse), dans le but de centrer la buse moule à la buse machine.

**Plaque arrière côté injection** : Permet de fixé la rondelle de centrage, la buse moule et les bagues de guidage, ainsi que le bridage.

**Bague de guidage** : Permet le guidage des colonnes de guidages

**Plaque porte empreinte côté injection** : Permet la fixation de la bague de guidage, contientle circuit de régulation de température.

**Colonnes de guidage** : Permet de guider la partie mobile PM sur la partie fixe PF pour aligner parfaitement l'empreinte

**Plaque porte empreinte côté éjection** : Permet la fixation des colonnes de guidage,contient le circuit de régulation

**Ejecteur de rappel** : Permet la remise à zéro de la batterie d'éjection, dans le cas d'une éjection non attelé.

**Ejecteurs** : Permet d'éjecter la pièce quand le moule est ouvert

**Extracteur de carotte** (arrache-carotte) : Permet l'extraction de la carotte, ainsi lors de l'ouverture, la moulée ne reste pas bloqué dans la PF.

**Tasseaux d'éjection** : Permet d'obtenir une course optimum de la batterie d'éjection. **Plaque**

**arrière côté éjection** : Permet le blocage en translation de la batterie d'éjection, permet le bridage du moule sur le plateau mobile, permet également la fixation des tasseaux.

**Batterie d'éjection** : Permet la translation des arraches carottes, remise à zéro et éjecteurs. Est composé de la plaque porte éjecteurs et de la contre plaque d'éjection.

**Vis de fixations** : Permet de fixer la plaque arrière côté injection sur la plaque porte empreinte côté injection

**Rainures de bridage** : Permet le passage de la bride

**Raccord rapide du circuit d'eau** : Permet un raccord rapide du circuit d'eau

**Circuit de régulation thermique** : permet de réguler le moule avec de l'eau.

### **III.3- Les fonctions d'un moule d'injection**

Les fonctions d'un moule injection plastique se résume à :

- Fonction manutention
- Fonction mise en forme
- Fonction ejection
- Fonction alimentation
- Fonction liaison machine

Pour aboutir à la fonction principale qui est de produire des pièces conformes au cahier des charges

#### **III.3.1.Fonction mise en forme ou empreinte**

Dans un moule d'injection le nombre d'empreintes est généralement un nombre pair (en dehors des moules mono empreinte) ceci est fait pour des raisons d'équilibrage de remplissage. Le choix du nombre dépend essentiellement de la quantité à produire à fin de vie du moule. La forme de la pièce se fait par l'empreinte qui se répartit entre les deux parties (fixe et mobile) du moule et d'autres éléments auxiliaires tel que (tiroirs - cales montantes - noyaux) dans le but de faire des formes en contre dépouilles

Cette fonction définit les formes de l'empreinte pour obtenir une pièce conforme au cahier de charges fonctionnelles mais surtout une pièce qui soit démoulable sans problème.

**Notion de dépouilles et contre-dépouille**

➤ **Forme non dépouillée :**

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

➤ **Forme dépouillée**

Mettre des angles de dépouilles facilite le démoulage de l'empreinte. En général les angles de dépouille intérieure sont plus importants que les angles de dépouilles extérieures (retrait)

$\alpha$  : angle de dépouille extérieure

$\beta$  : angle de dépouille intérieure

	Dépouilles peu profondes (moins de 25 mm de prof.)	Dépouilles profondes (plus de 25 mm de prof.)
CRASTIN® PBT	0 – ¼°	½°
DELRIN®	0 – ¼°	½°
ZYTEL®	0 – ⅛°	¼° – ½°
Polyamides renforcés	¼° – ½°	½° – 1°
Résines PBT renforcés	½°	½° – 1°
RYNITE® PET	½°	½° – 1°

\* Pour les finitions satinées des surfaces texturées, ajouter 1° d'angle de dépouille par 0,025 mm de profondeur de texture.

**tableau (III.1) : angle de dépouille**

➤ **Forme en contre-dépouille**

C'est une surface formant empêchant un démoulage dans une direction perpendiculaire au plan de joint. Lors de la conception d'une pièce on évitera au maximum les surfaces en contre-dépouille car elles entraînent un moule plus couteux et plus complexes

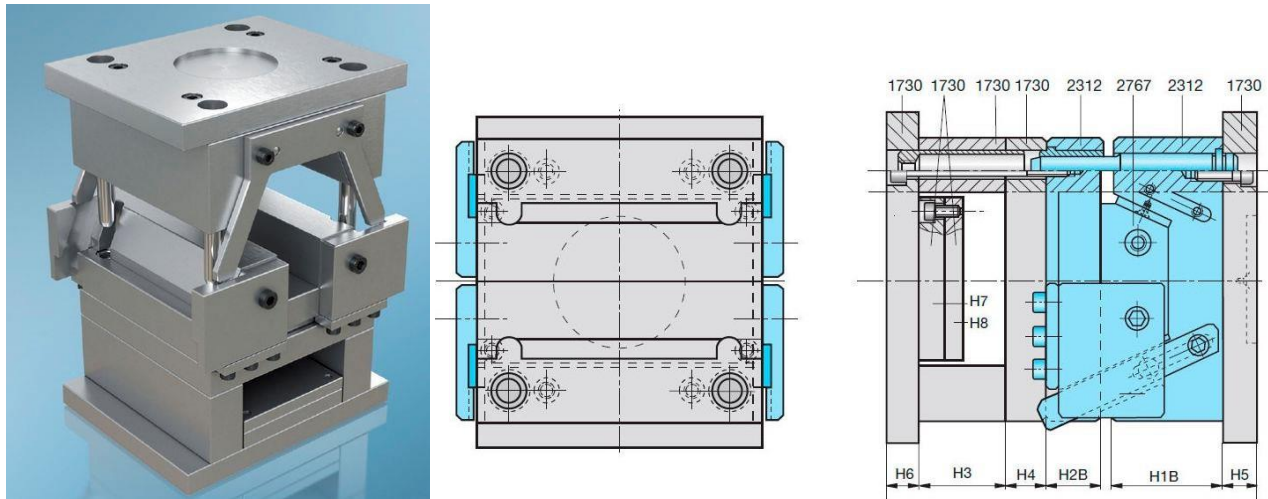


Figure ( III . 3 ) : présentation d'un moule

### III.3.2. Fonction centrage guidage et positionnement

Fonction guidage / positionnement : Le moule étant composé de plusieurs parties séparées par le plan de joint, à la fermeture du moule celui-ci doit être guidé et recentrer pour que les parties moulantes de la pièce soit en correspondance entre les différentes parties du moule.

Pour éviter une excentration des deux parties du moule, on procède à un recentrage soit par un "cône" soit par des faces inclinées. Ce recentrage peut être dans le 1er cas en protection du plan de joint et dans le second

Les parties du moule peuvent s'excentrées sous l'effet de la pression matière. Le remplissage peut être favorisé dans une partie du moule ce qui amplifie le défaut.

La pression dans l'empreinte peut entraîner un glissement entre la partie fixe et la partie mobile. Le centrage évite le glissement entre les deux parties du moule. Les formes de l'empreinte dans le moule peuvent faire s'excentrées la partie mobile de la partie fixe sous l'effet de la pression matière. Figure 20. Centrage par le plan de joint incliné du moule Pour éviter une excentration des deux parties du moule, on procède à un recentrage :

- Soit par un "cône"
- Soit par des faces inclinées.
- Soit par des centreurs coniques ou droits.

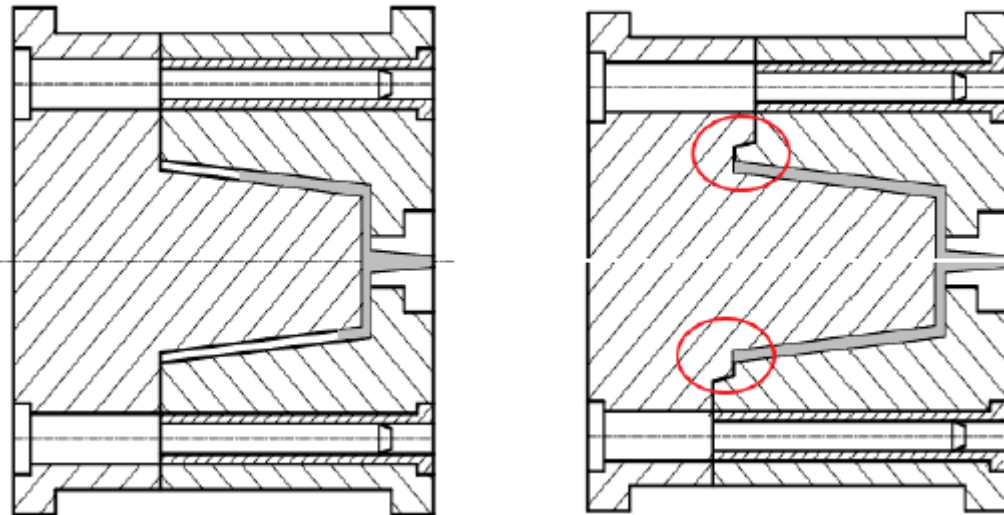


Figure (III.4) : Centrage par plan de joint incliné

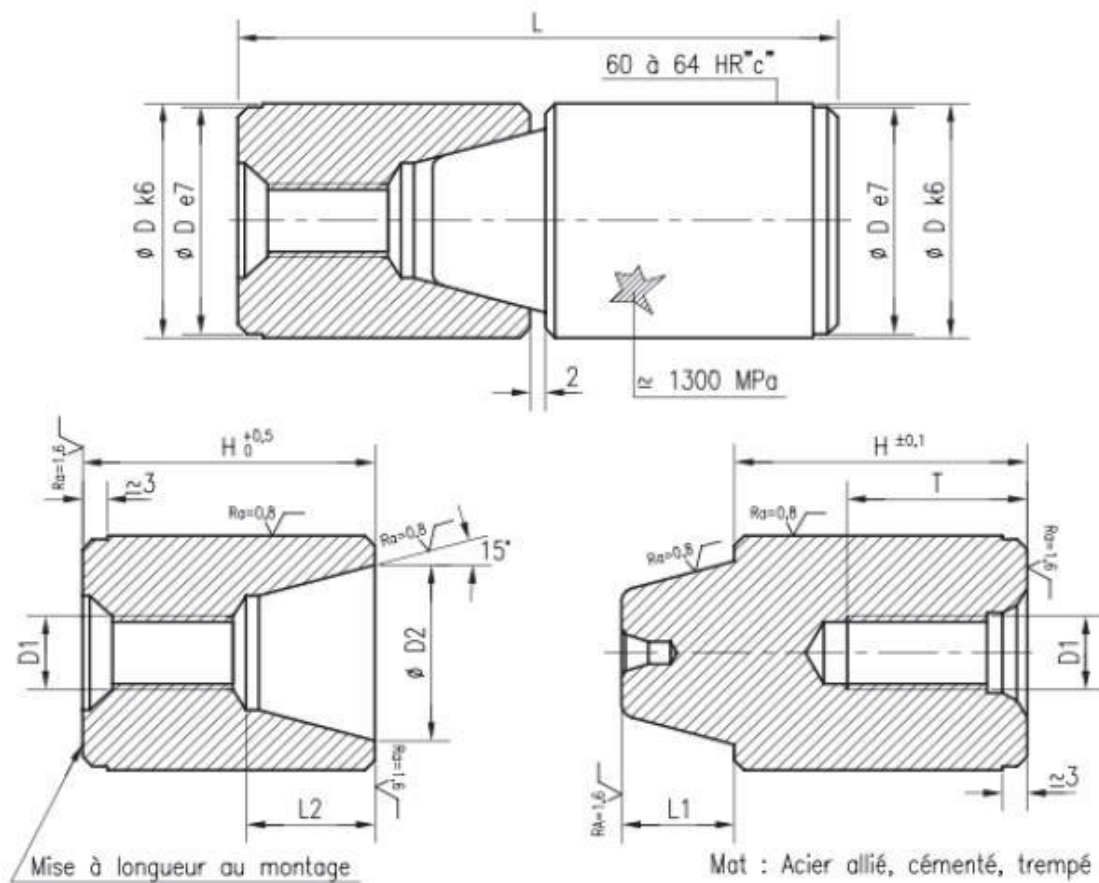
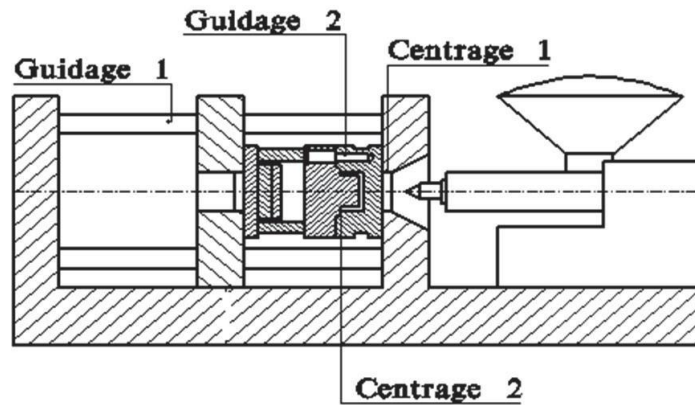


Figure (III.5) : Centrage par éléments coniques

Le moule étant composé de plusieurs parties séparées par le plan de joint, à la fermeture du moule celui-ci doit être guidé et recentrer pour que les parties moulantes de la pièce soit en correspondance entre les différentes parties du moule. Cette fonction assure le guidage et le positionnement de la partie mobile de l'outillage par rapport à la partie fixe



**Figure (III.6) : position de centrage**

**Bilan des centrages et des guidages :**

- Guidage 1 : Mouvement linéaire du plateau mobile sur les colonnes presse
- Guidage 2 : Mouvement de la Partie Mobile (PM) avec la Partie Fixe (PF) de l'outillage
- Centrage 1 : Mise à l'axe de l'Axe Outillage sur l'Axe Presse
- Centrage 2 : Mise à l'axe de l'Axe de la Partie Mobile (PM) avec l'Axe de la Partie Fixe(PF) de l'outillage

**Le guidage des parties fixe et mobile du moule**

Le guidage et le positionnement seront obtenus suivant les tolérances imposées à la pièce et aux parties rentrantes fragiles ou non, par différents systèmes :

- Soit un ensemble de colonnes et douilles de guidage permettent d'assurer la fonction complète,
- Soit un ajout de centreurs coniques ou droit seront nécessaires afin d'assurer cette fonction avec plus de précision.

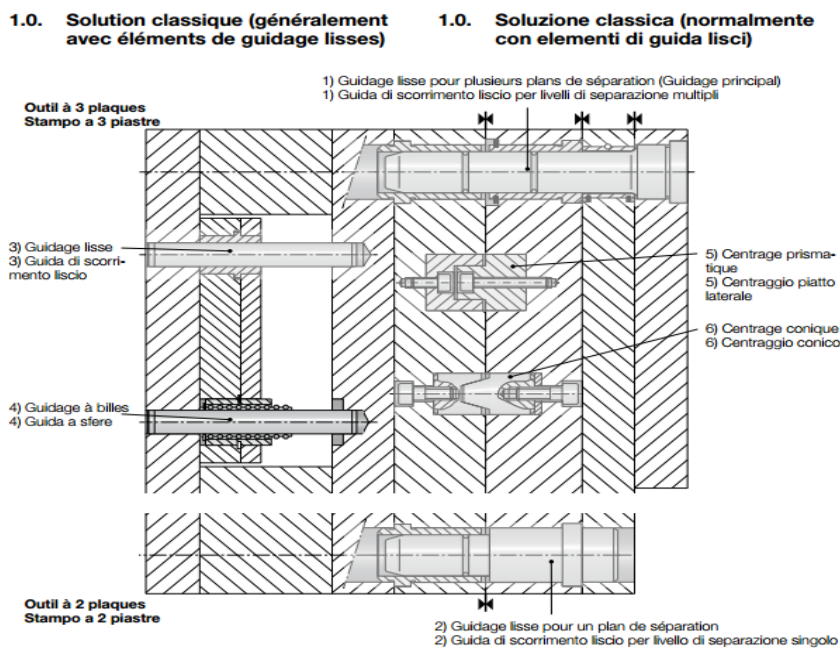


Figure ( III.7 ) : Montage des éléments de guidage sur moule

Répertoire illustré, en groupes

Elenco per immagini, raggruppato

Unités de guidage

Unità di guida

Unité de guidage à rouleaux pour outils à étages

Unità di guida a rulli per stampi a 2 piani



Unité de guidage à billes pour plaque d'éjecteur

Unità di guida per piastre d'espulsione



Dispositif de centrage

Sistemi di centraggio



Figure ( III. 8 ) : Eléments standards de guidage

### III.3.3. Fonction alimentation

La fonction alimentation a pour but de transférer la matière plastifiée du fourreau de la presse, vers l'empreinte du moule. Au cours de ce cheminement, la matière est soumise à différentes contraintes en passant par :

- La buse d'injection,
- Le reçu de buse du moule
- Les canaux d'alimentations
- Les points d'injection
- Les formes de la pièce

Les différents canaux d'alimentation, il existe deux grands types de canaux d'alimentation :

- Les canaux d'alimentations standards : Ils sont placés directement dans la plaque du moule et doivent être démoulés comme la pièce après chaque injection. La matière utilisée pour les canaux à chaque injection est perdue.
- Alimentation sans déchets ou canaux chauds : Ils doivent conduire la matière moulée dans l'empreinte sans déperdition de chaleur. Ils sont chauffés séparément de l'outillage (entre 180 °C et 300 °C suivant la matière injectée). Techniquement il faut donc isoler le canal du reste de l'outillage dont la température est nettement inférieure. La matière du canal n'est pas perdue.

Elle est composée de :

- \_ La carotte, la buse
- \_ Le canal principal
- \_ Les canaux secondaires
- \_ Les seuils

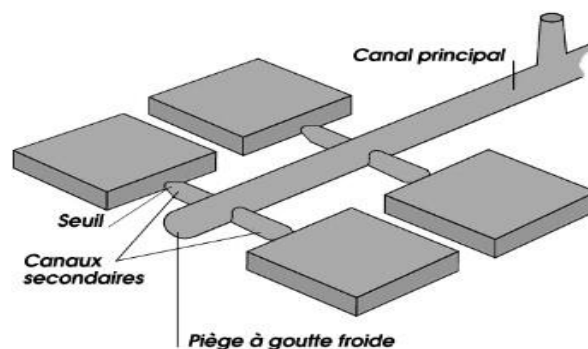


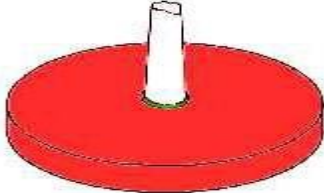
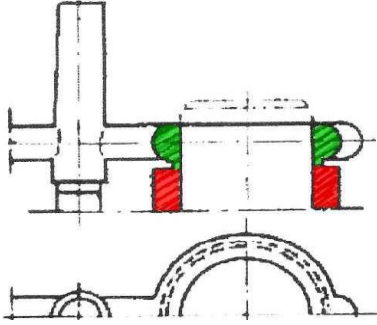
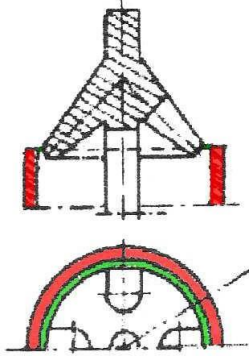
Figure ( III. 9) : canaux alimentation

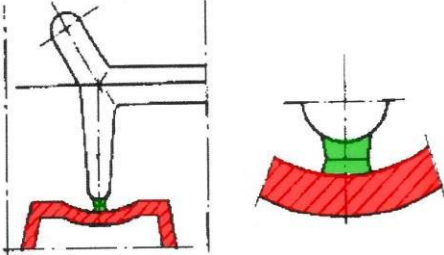
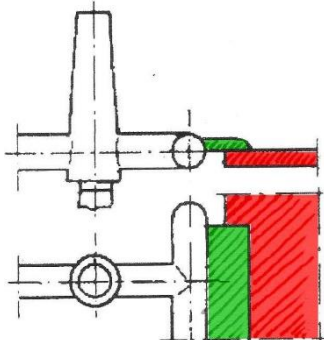
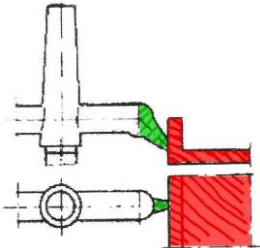
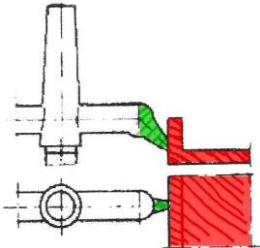
Pour définir correctement l'alimentation d'une empreinte, nous devons, pour Chacun des éléments composant la fonctionnalimentation tenir compte de :

- Matière : Caractéristiques (retrait, viscosité...), paramètres de transformation
- Canaux : Nombres de canaux, Longueur d'écoulement, Formes et sections
- Buse : Type de moulage retenu (avec ou sans déchets) Type de buse, dimensionnement (conicité, longueur, O d'entrée...)
- Seuils : Nombres et emplacement, Forme et section Empreinte : Volume de matière à injecter Tps de refroidissement Caractéristiques de la pièce

**Les types de seuil d'injection**

**Définition :** Le seuil d'injection est le point où la matière pénètre dans l'empreinte du moule.

Type de seuil d'injection	Représentation schématique	Avantage et inconvénient
<p><b>1. Seuil en masse ou direct</b> Utilisé pour les matières visqueuses</p>		<p>Avantages : très bon remplissage , bonne stabilité dimensionnelle de la pièce</p> <p>Inconvénients : - Opération de reprise pour enlever la carotte, - trace non esthétique sur la pièce</p>
<p><b>2. Seuil annulaire</b> utiliser pour la réalisation des pièces cylindrique ayant des noyaux</p>		<p>Avantages : Remplissage uniforme de l'empreinte</p> <p>Inconvénients : Opération de reprise pour enlever la carotte déchets importants</p>
<p><b>3 .Seuil conique ou en éventail</b> Utilise pour les pièces de révolution symétrique avec noyau</p>		<p>Avantage : -Permet un écoulement équilibré de la matière autour du noyau</p> <p>-Peut permettre un dégrappage automatique</p> <p>Inconvénient : déchets opération de reprise</p>

<p><b>4 . seuil capillaire :</b> Utilise avec un moule canaux chauds ( sans carotte) ou un moule a 3 plaques</p>		<p>A : Démoulage automatique et faible trace sur la pièce . I : uniquement pour les matière fluide , cout du moule élevé</p>
<p><b>5. seuil en nappe</b> Utilise pour des pièces plates de grande dimension devant présenter un faible voilage</p>		<p>A : bonne qualité dimensionnelle I : opération de reprise , Esthétique</p>
<p><b>6. seuil sous-marin</b> Utilise pour les petites pièces et dans le but de dégrappage automatique</p>		<p>A : dégappage automatique I : uniquement pour les pièces simples car grosse perte pression</p>
<p><b>7 . seuil à tunnel courbe</b> Utilise pour les pièces minces d'aspect</p>		<p>A : dégrappage automatique I : usinage couteux , ne conviens pas à toutes les matière</p>

**Tableau (III . 2) : les types de seuil**

**Recommandations pour un positionnement optimum du seuil**

- Toujours chercher à positionner le point d'injection dans la zone présentant la plus grande épaisseur de paroi.
- Ne jamais positionner le seuil près de zones soumises à de fortes contraintes.
- Pour les pièces longues, le seuil sera si possible positionne longitudinalement, de préférence a une position transversale ou centrale, notamment dans le cas de résines renforcées.
- Si le moule possède deux cavités ou plus, les pièces et leurs points d'injection seront disposés de façon symétrique par rapport à la carotte.
- Pour les pièces comportant des charnières intégrées, le seuil sera positionne de telle sorte que la

ligne de soudure soit éloignée de la charnière. Les interruptions d'écoulement près des charnières doivent être évitées à tout prix.

- Pour des pièces tubulaires, le fondu devra d'abord remplir la circonférence annulaire à une extrémité, puis la longueur du tube proprement dit. Cette procédure permettra d'éviter l'asymétrie du profil de l'écoulement frontal.
- Les surfaces apparentes ne devant présenter aucun défaut visuel (comme par exemple des marques de référence) pourront être moulées à partir d'un point d'injection situé sur leur face inférieure, en utilisant une alimentation par seuil sous-marins.
- Positionner le point d'injection de façon à éviter autant que possible les interruptions de l'écoulement frontal (pièces complexes, moules à empreintes multiples de formes

### **III.3.4. Disposition des empreintes dans un moule d'injection**

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

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

Un système d'alimentation équilibré permet d'éviter :

- Des contraintes internes excessives
- Un retrait irrégulier
- Des écarts de tolérance importants
- Un démoulage difficile
- Une déformation du produit

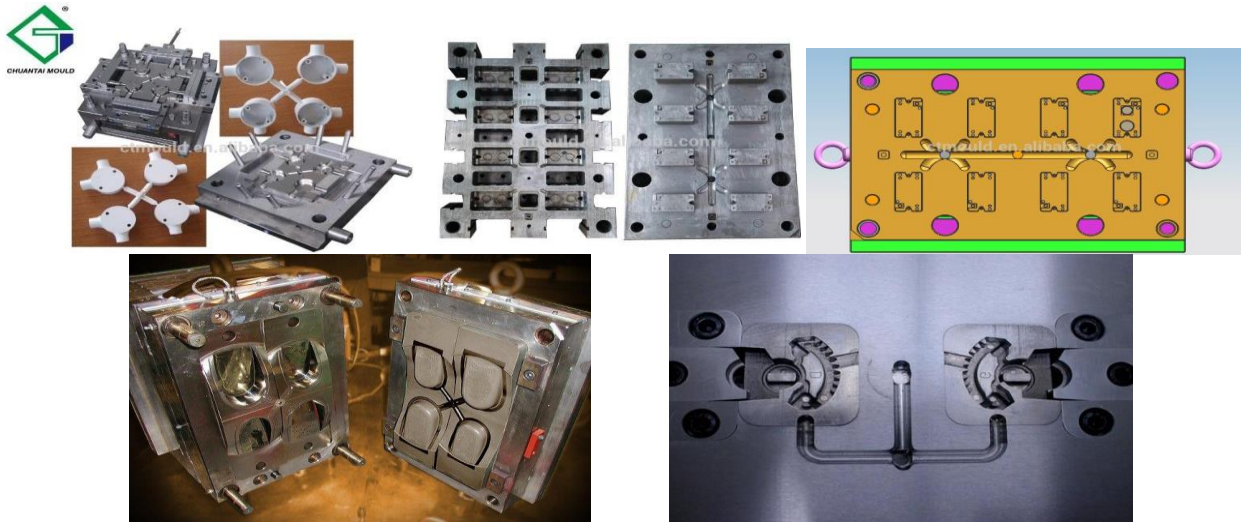


Figure (III.10) : image des empreintes

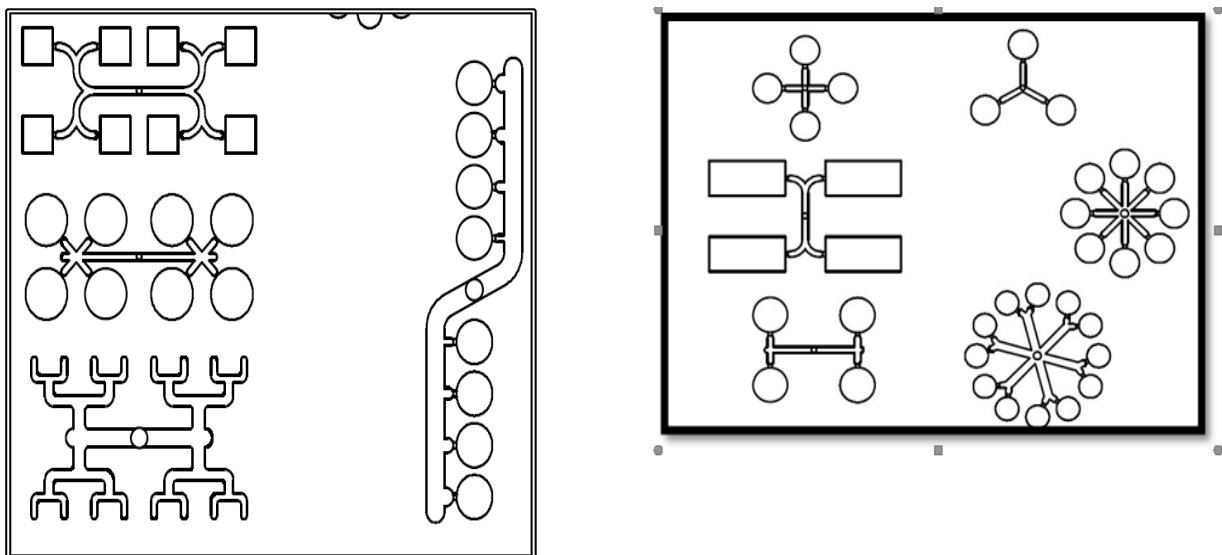
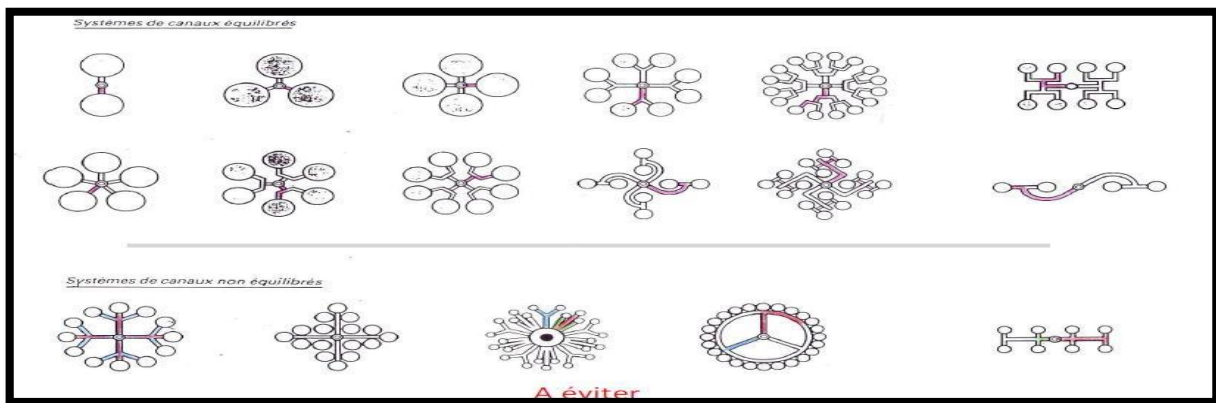


Figure (III.11) : système de canaux

III.3.5. Forme et dimensions

Le refroidissement dans les canaux est directement proportionnel à au périmètre de la section du canal.

Afin de remplir dans les meilleures conditions le moule, il est nécessaire que la matière plastique se refroidisse le moins possible avant d'atteindre l'empreinte.

- La section circulaire est donc la géométrie optimale à privilégier.
- Difficile à usiner, on lui préférera parfois les sections parabolique et trapézoïdale.
- Les sections semi circulaire et carré sont à proscrire.

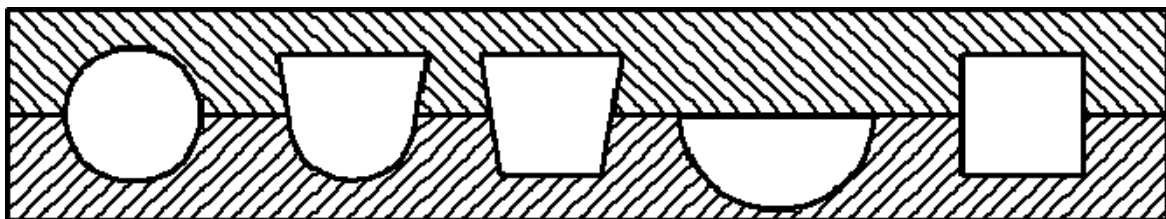


Figure (III.12) : les formes des canaux

	Avantages	Inconvénients
<b>Canal cylindrique</b>	C'est le canal le plus performant, car il offre une section d'écoulement maximale pour un périmètre minimal.	Usinage sur 2 plaques du moule. Cependant avec les machines à commande numérique cet inconvénient disparaît. Utilisation difficile avec les moules 3 plaques.
<b>Canal cylindrique plus dépouille pour déporter le plan de joint</b>	Usinage sur une seule plaque Utilisation avec les moules 3 plaques.	-Difficulté pour la réalisation de l'outil spécial : affutage délicat. -Perte de matière par rapport au canal rond
<b>Canal trapézoïdal</b>	Usinage sur une seule plaque Utilisation avec les moules 3 plaques. Outil spécial plus facile à affuter	-Perte de matière par rapport au canal rond
<b>Canal 1/2 cylindrique</b>		Mauvais écoulement
<b>Canal rectangulaire</b>	Facilité d'exécution	Mauvais démoulage Mauvais écoulement

Tableau (III.3) : avantages et inconvénients des canaux

III.3.6. Fonction régulation et contrôle de température

Dans les procédés d'injection de pièces en thermoplastique, la qualité des pièces mises en

forme ainsi que le temps de cycle du procédé sont fortement conditionnés par la phase de solidification du polymère dans la cavité moulante. L'analyse des transferts de chaleur pendant cette phase, conduit à investiguer le positionnement optimal des sources froides ainsi que leurs intensités. Notre approche est basée sur un positionnement du type « conformal cooling » des canaux de refroidissement, puis sur une méthode de contrôle optimal pour déterminer les flux de chaleur à évacuer en régime périodique établi.

On refroidit les moules par rapport à la température d'injection du polymère. Bien souvent la température des moules est comprise entre 40°C et 100°C. La plupart du temps on perce des trous pour faire circuler un liquide de refroidissement



**Figure ( III. 13) :** Accessoires pour circuit de refroidissement

La régulation de la température de l'outillage se fait à travers un liquide caloporteur qui peut être:

- l'eau pour des températures faibles (eau à 15 °C)
- l'huile pour des températures allant à 130 °C

Ce liquide est envoyé à travers des canaux percés dans la carcasse de l'outillage et les empreintes en utilisant un thermorégulateur.

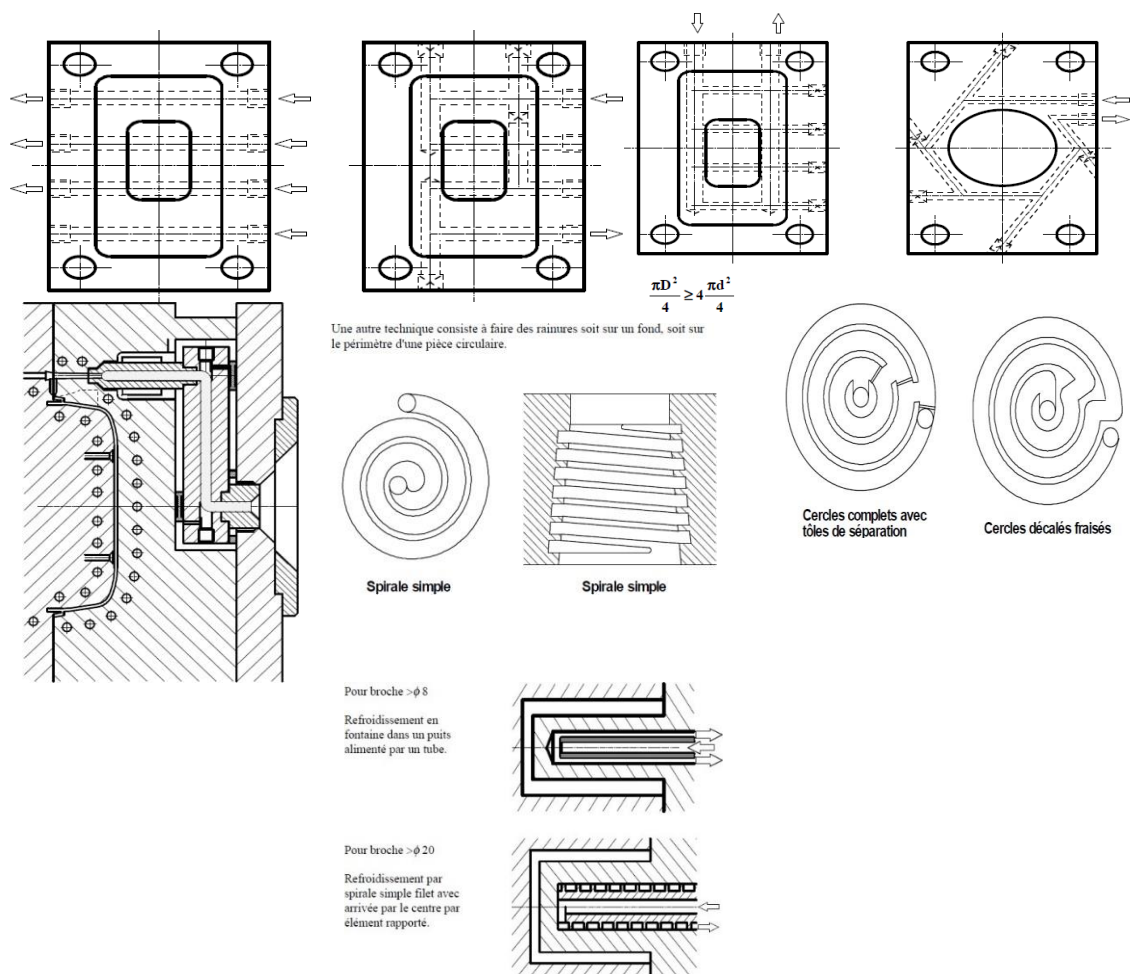


Figure ( III.14 ) : différents types de circuits de refroidissement

➤ Calcul du temps de refroidissement

La pièce sera éjectée lorsque elle atteint une température appelée température de démoulage, cette température peut être atteinte au centre de la pièce ou bien elle peut une température moyenne de la totalité de la pièce

1° cas : on injecte la pièce que si la température au centre de la pièce atteindra la température de démoulage, dans ce cas le temps de refroidissement est obtenue par la formule suivante :

$$t_{ref} = \frac{s^2}{\alpha \pi^2} \ln \left\{ \frac{4}{\pi} \frac{\theta_i - \theta_M}{\theta_{dém} - \theta_M} \right\}$$

2° cas : on injecte la pièce que si la température moyenne de la pièce atteindra la température de démoulage, dans ce cas le temps de refroidissement est obtenue par la formule suivante :

$$t_{ref} = \frac{s^2}{a\pi^2} \ln \left\{ \frac{8}{\pi^2} \frac{\theta_i - \theta_M}{\theta_{dém} - \theta_M} \right\}$$

Avec

S : épaisseur de la pièce (mm),

a : diffusivité thermique de la matière injectée (mm<sup>2</sup>/s)

θ<sub>i</sub> : température d'injection (°C) ;

θ<sub>M</sub> : température du moule (°C) ;

θ<sub>dém</sub> : température de démoulage (°C) ;

T<sub>ref</sub> : temps de refroidissement en (s)

### ➤ Notion de diffusivité thermique

La diffusivité thermique est une grandeur physique qui caractérise la capacité d'un matériau continu à transmettre un signal de température d'un point à un autre de ce matériau. Elle dépend de la capacité du matériau à conduire la chaleur (sa conductivité thermique) et de sa capacité à stocker la chaleur (Capacité thermique). La diffusivité thermique est souvent désignée par les lettres a, D ou la lettre grecque α. (en m<sup>2</sup>/s)

#### Évolution avec la température

La conductivité thermique évolue avec la température.

Pour les solides, elle répond à la loi suivante :

$$\lambda = \lambda_0(1 + a\theta)$$

où

- λ<sub>0</sub> est la conductivité thermique du matériau à 0°C
- a est un coefficient caractéristique de chaque matériau
- θ est la température en degré Celsius.

a est positif pour les isolants thermiques et négatif pour les conducteurs thermiques.

Quand la température augmente, un isolant perd de sa capacité d'isolation et inversement un conducteur perd de sa capacité de conduction.

$$D = \frac{\lambda}{\rho c}$$

$\lambda$  : est la **conductivité thermique** du matériau, en  $[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$

$\rho$  est la **masse volumique** du matériau, en  $[kg \cdot m^{-3}]$

$C$  est la **capacité thermique massique** du matériau, en  $[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$

Polymères	T° matière (°C)	T° moule (°C)	Pression injection (Bars)	Pression maintien (Bars)	Vitesse injection	Temps de maintien	Contre pression (Bars)	Etuvage
PEbd	160-260	20-70	500-1000	Minimum sans retassures				
PEhd	260-310	50-70	600	30-100% Pmax				
PP	250-270	40-100	600	50-100% Pinjec				
PS	180-230 <250	20-60 ; 45-60	1000		Maximum			Oui
PS choc	180-230 <250	20-60 ; 45-60	1000		Maximum			Oui
SAN	220-260	50-70	1000		Forte			Oui
ABS	220-280	60-80	800-1400					Oui
PA-6,6	250-290	80-90	700-1200	40-100% Pinjec	Forte			Oui
PA-6	240-290	80-90	800-1300	20-60% Pinjec	Forte			Oui
PA-11	230-300	30-90	400-700		Moyenne			Oui
POM	180-220	50-120	800-2000	Pinjection	Forte	Minimum		Oui
PC	270-320	80-120	800-2000	70% Pinjec	Forte	Minimum	Faible	Oui
PET	260-270	140	1200-1700		Forte			Oui
PET amorphe	270-290	40-50	1200-1700		Forte			Oui
PBT	260-270	70-80	1000-2000	60-100% Pinjec	Forte		10-20% Pinjec	Oui
PPO	260-300	80-110	1000-2000	60-80% Pinjec	Forte		Faible	Oui
PVC	170-190	50-60	1200-1400	50-80% Pinjec	Faible-moyenne		Maxi 150	Oui
PMMA	200-250	40-90	500-2000	Gradient décroissant		Minimum	100-200	Oui

Tableau ( III.4) : température des matériaux utiliser dans l'injection

**La diffusivité thermique est une grandeur intensive. Elle détermine l'inertie thermique d'un solide.**

### III.3.7. Fonction éjection

La plupart des pièces réalisées par injection plastique resteraient dans le moule après son ouverture et ne seraient pas évacuées sous l'effet de la gravité seule si aucun système d'éjection n'existait.

Plusieurs systèmes ont donc été conçus afin d'aider l'extraction de la pièce à l'ouverture du moule :

- Les éjecteurs sont des barres métalliques cylindriques pleines (parfois creuses) qui, lors de l'ouverture du moule, viennent pousser la pièce plastique pour l'extraire du moule. Il s'agit de la technique d'éjection la plus utilisée car elle peut s'appliquer à quasiment toutes les pièces plastiques. Les traces des éjecteurs sont souvent visibles sur la pièce et sont considérées comme

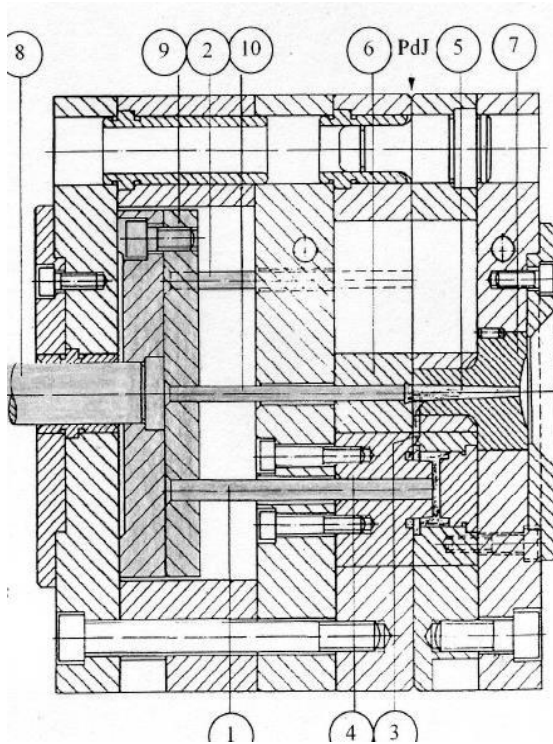
"inesthétiques". Les concepteurs de pièces injectées s'arrangent alors pour que ces traces d'éjecteurs se situent sur la partie cachée de la pièce plastique lors de son utilisation



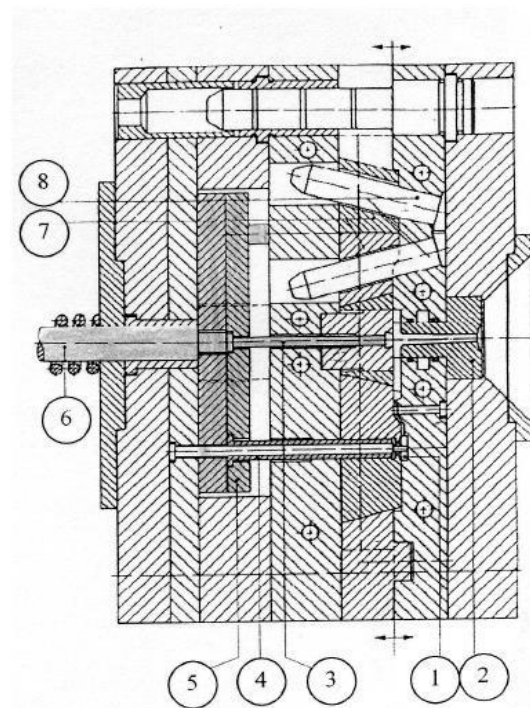
Ejecteur lame

Ejecteur tubulaire

Ejecteur cylindrique



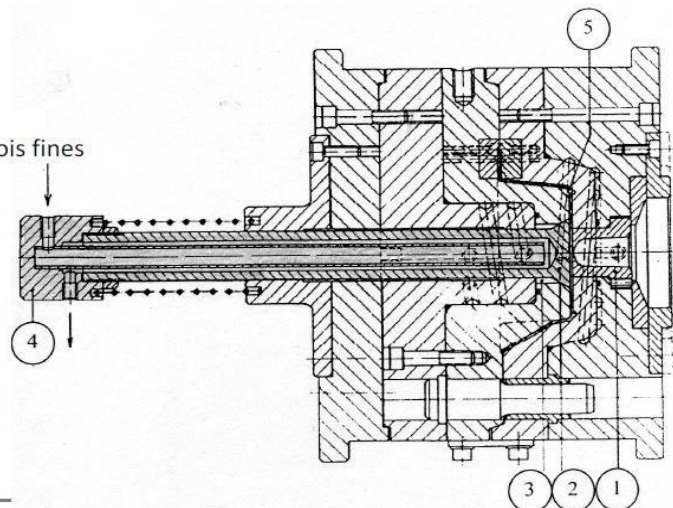
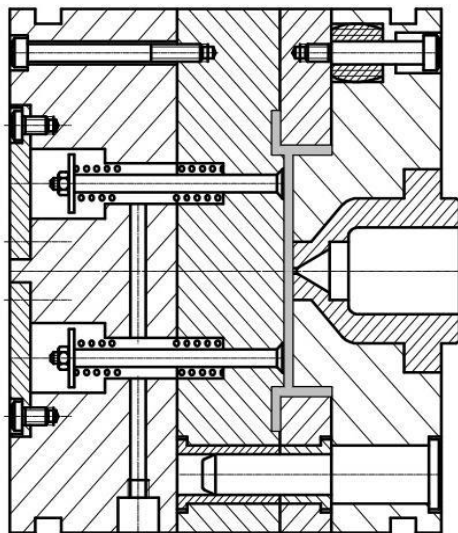
**Figure (III.15):** Moule à éjecteur cylindrique



**figure (III.16):** Moule à éjecteur tubulaire

Types de pièces obtenues :

- Pièce d'aspect
- Dépouilles faibles
- Pièces profondes à parois fines



• Les plaques dévétisseuses : La fonction de la plaque dévétisseuse est la même que celle des éjecteurs. Il s'agit d'une plaque qui va venir pousser sur les bords d'une pièce. Ces bords doivent donc se situer dans un même plan. L'avantage principal d'une plaque dévétisseuse est le fait qu'aucune marque n'est réellement visible sur la pièce finie.

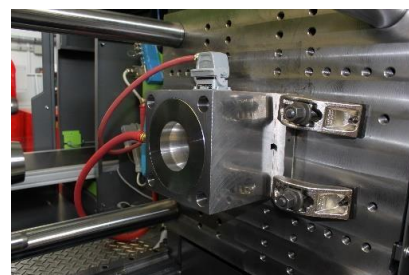
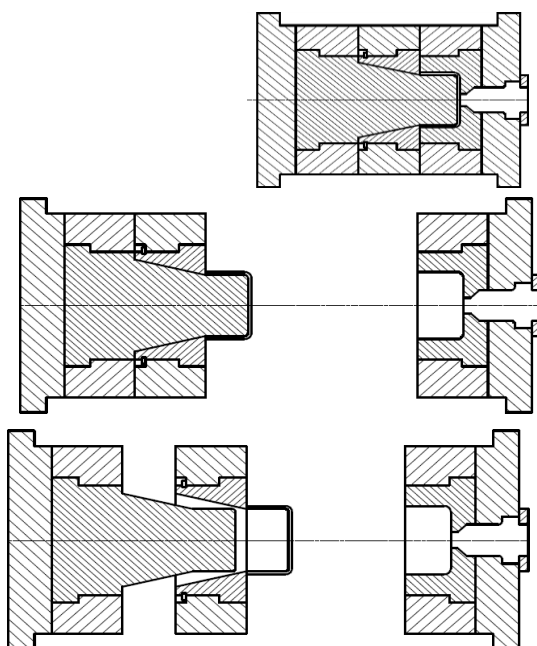


Figure (III.17) : Ejection par plaque dévétisseuse

**Choix du dispositif d'éjection :**

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

- Ejecteur cylindrique ou tubulaire
- Ejecteurs à lames
- Plaque dévétisseuse
- Soupape d'éjection
- Ejection combine (associe 2 ou 3 systèmes)
- Ejecteur annulaire

**III.3.8. Fonctions manutention, stockage, sécurité et liaison machine**

Afin d'éviter toute détérioration de l'outillage, il est impératif qu'à la fermeture du moule le dispositif d'éjection soit rentré. Les systèmes permettant le retour de la batterie d'éjectionsont :

- Les ressorts
- Les vérins
- Les éjecteurs de remise à zéro
- Les capteurs

En outre des solutions constructives sont mise en place pour assurer la manutention des Moules pour le stockage et les opérations de maintenances et de fin de série.



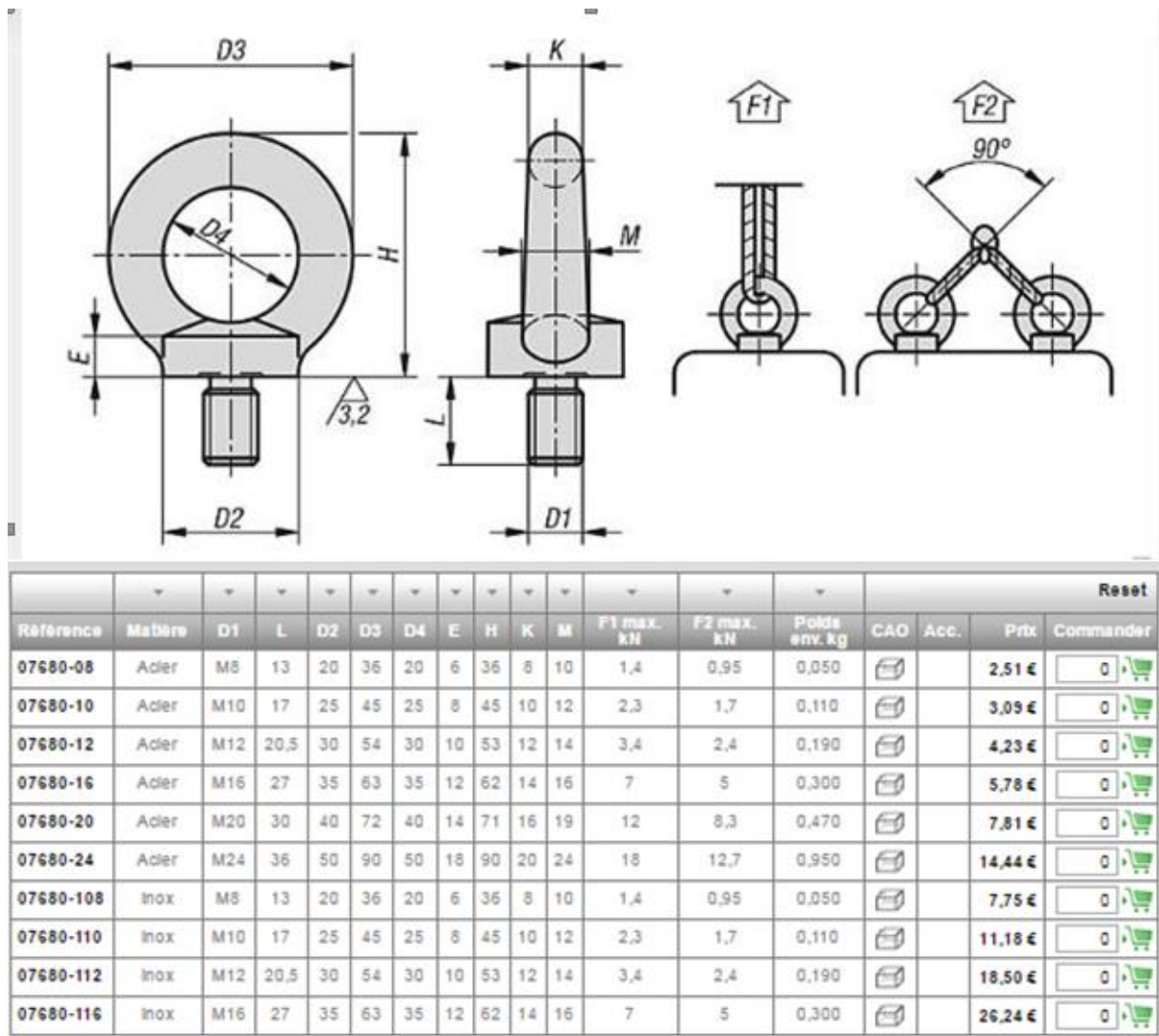


Figure (III.18): Anneau de levage des moules

### III.4. Les métaux des moules :

Les exigences de plus en plus sévères auxquelles doivent satisfaire les outils utilisés pour la transformation des matières plastiques nécessitent la mise au point spécifique d'aciers à outils présentant des caractéristiques d'utilisation déterminées en fonction des différentes applications.

Les outils employés pour la transformation des matières plastiques sont essentiellement sollicités par des pressions et une usure importante.

Certains types de matières plastiques peuvent également être à l'origine de sollicitations par corrosion. Les différentes matières plastiques et les différents procédés de transformation nécessitent que l'acier à outils présente certaines propriétés définies, par exemple :

<b>Matières</b>	<b>Propriétés requise</b>	<b>Acier préconisé</b>
Polypropylène PP Polystyrène PS	Production de masse a faible coût. Bonne aptitude au polissage aptitude au chromage, nickelage	<b>35CDM7</b> avec éventuellement 0.07% S <b>40CMD8</b>
Matière neutre, petite cavités	Bonne aptitude au polissage Réalisation de surfaces grenées	<b>55CND4 55CNDV6 55CNDV5</b>
Matière non corrosive à taux de charge croissant du haut vers le bas	Bonne résistance aux chocs Bonne aptitude à l'usinage Bonne résistance à l'usure Bonne aptitude au polissage	<b>45NCD16 Z38CDV85 Z160CVD12</b>
Résines neutres très chargées Très petit cavités (30 à 60% de fibre de verre). Très petites cavités	Très forte résistance à L'érosion et à l'abrasion. Bonne aptitude au polissage	<b>Acier rapide PM</b>
Matière technique PEEK, PPS PES, PEI	Bonne résistance à l'usure et à la chaleur (300°C à 500°C)	<b>Acier rapide PM HS652 HS654</b>
Matière corrosive PVC, ABS PBT	Bonne tenue à la corrosion Bonne aptitude au polissage Bonne à très bonne résistance à l'usure	<b>Z10 CD17-4 Z35 CD 17 Z40 à Z60C14 Z100 CD17</b>
Matière haute qualité (disques optique, applications alimentaires ou médicales.	Bonne aptitude a l'usinage et au polissage, bonne tenue a la corrosion	<b>45/46 HRC 45/50 HRC</b>

**Tableau (III.5) :** Classification et des métaux pour la construction des moules.

**III.5. Fixation du moule :**

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

**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:**

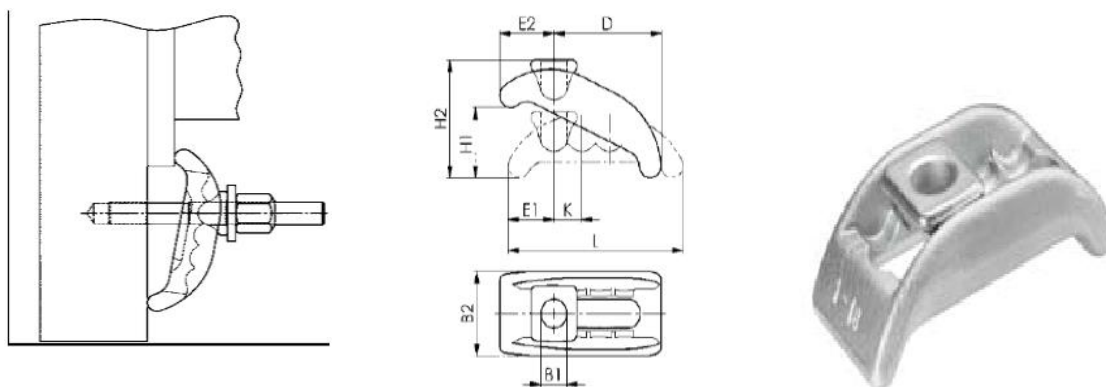
Les trous taraudés doivent avoir des entraxes identiques sur tous les plateaux de presses pour permettre l'interchangeabilité des moules.

**Fixation par Bridage :**

C'est aussi le procédé qui demande le plus de soin et d'attention lors du montage. On peut citer deux catégories de bridage :

**Bridage mécanique :**

➤ **Bride forgée courte avec assise de serrage :** réglable, traité, galvanisé et passivé en bleu.



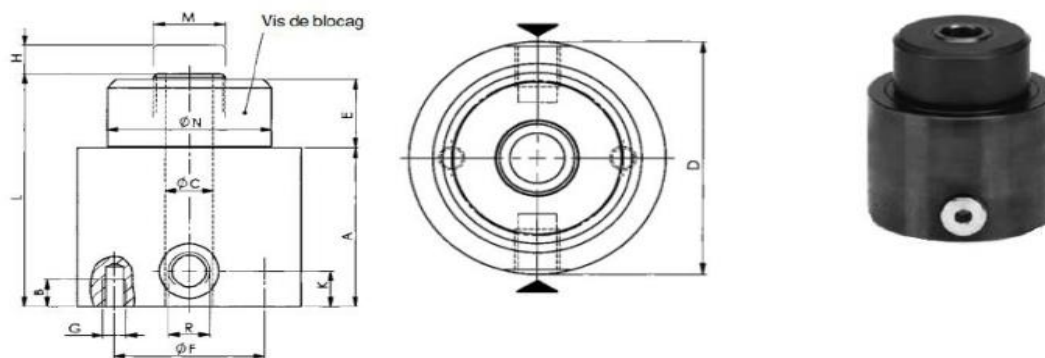
**Figure ( III.19):** Bride forgée courte avec assise de serrage

**Bride à fourche simple** ; acier de traitement, peint



**Figure (III. 20) :** Bride à fourche simple

**Brides droites avec vis d'appui réglable** : acier de traitement, peint



**Figure (III.21) :** Brides droites avec vis d'appui réglable

### **Bridage hydraulique**

- **Écrou hydraulique, freiné** : à simple effet, à rappel par ressort

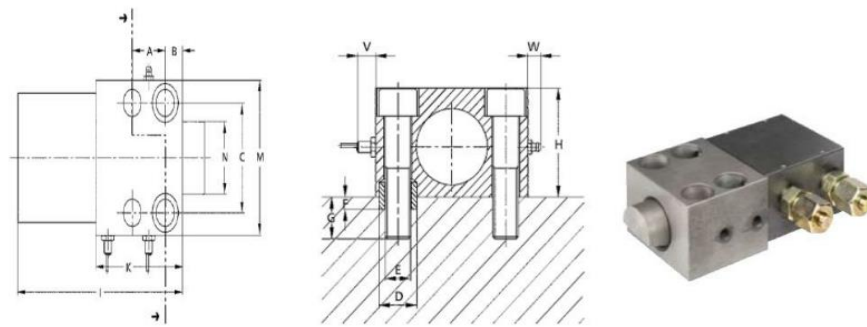


Figure ( III.22) : Écrou hydraulique, freiné

**Mors de serrage, hydraulique** : à double effet. Pression de service max. 350 bar (400 bar\*)

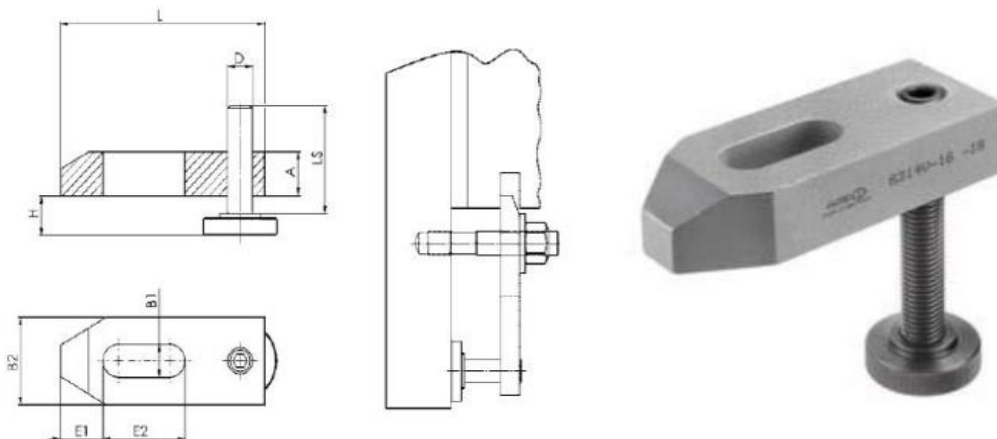


Figure (III.23) : Mors de serrage, hydraulique

### III.6. Calcul du nombre d'empreinte dans un moule

Le calcul est nécessaire chaque fois que l'on aura le choix du nombre d'empreintes à disposer dans un moule d'injection sans que celui-ci modifie notablement l'architecture générale du moule ou le choix de la presse. X – le prix du moule à 1 empreinte en Francs Y – le coût de l'empreinte additionnelle en Francs q – le coût horaire de la presse en Francs S – le coût horaire des salaires en Francs N – le nombre total de pièces à fabriquer t – la durée du cycle en minute

Soit n le nombre d'empreintes recherché

Coût du moule pour n empreintes :

$$C_n = X + Y(n-1) = (X - Y) + Yn$$

Coût du fonctionnement de la presse :

$$Q_u = \frac{Qt}{60n}$$

Coût du salaire par pièce :

$$S_u = \frac{St}{60n}$$

Coût du moule par pièce :

$$C_u = \frac{C_n}{N}$$

En remplaçant C<sub>n</sub> par sa valeur :

$$C_u = \frac{(X - Y) + Yn}{N}$$

Coût de moulage d'une pièce :

$$C_{um} = Q_u + S_u + C_u$$

En remplaçant Q<sub>u</sub>, S<sub>u</sub> et C<sub>u</sub> par leurs valeurs

$$C_{um} = \frac{Qt}{60n} + \frac{St}{60n} + \frac{X - Y}{N} + \frac{Yn}{N}$$

$$C_{um} = \frac{t}{60n}(Q + S) + \frac{X - Y}{N} + \frac{Yn}{N}$$

Si l'on trace la courbe des points représentant le coût de moulage fonction du nombre d'empreintes, on s'aperçoit que cette courbe passe par un minimum. Pour trouver la valeur de ce nombre d'empreintes nous donnant **le coût minimum**, nous procédons à la dérivée de la fonction, puis nous égalons à zéro pour trouver son minimum.

Dérivons donc par rapport à n

$$\frac{dC_{um}}{dn} = \frac{-t}{60n^2}(Q + S) + \frac{Y}{N}$$

Egalons à zéro

$$\frac{-t}{60n^2}(Q + S) + \frac{Y}{N} = 0$$

d'où

$$n^2 = \frac{(Q + S)}{60} t \frac{N}{Y}$$

$$n = \sqrt{\frac{(Q + S)}{60} t \frac{N}{Y}}$$

**Note :** Nous remarquons que x a disparu dans la dérivée.

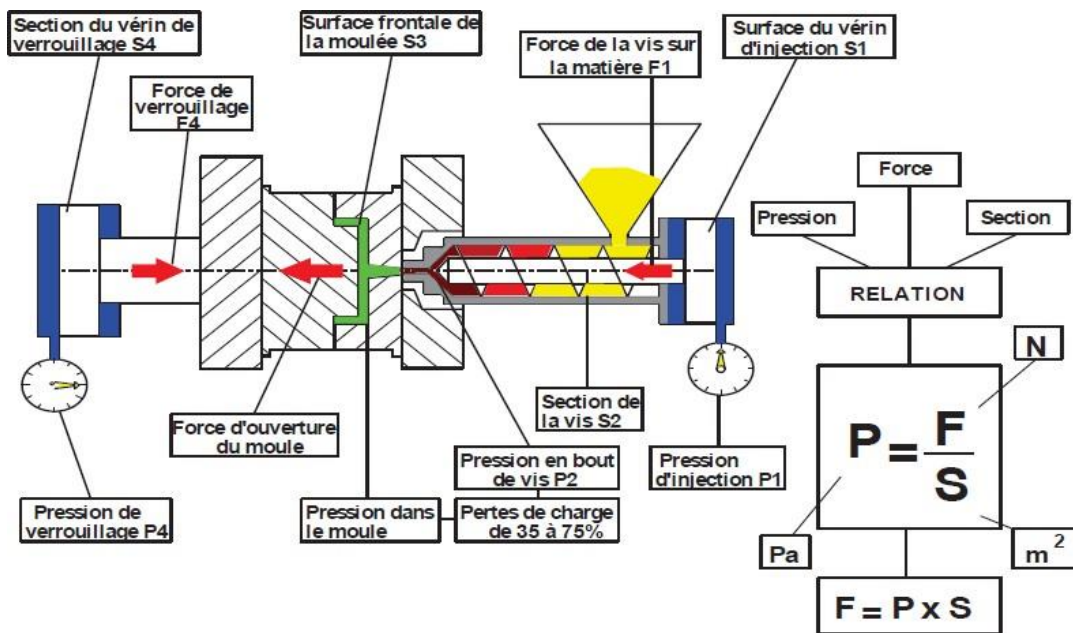
Ceci paraît normal puisque le calcul n'a d'intérêt qu'à partir de la deuxième empreinte.

### III.7.Dimensionnement

Lors de la conception d'un moule, il convient de passer par des opérations de calcul, pour déterminer les pressions à manipuler, ainsi que les efforts, la quantité de matière plastique injectable dans le but de choisir la presse. On détermine aussi le nombre des empreintes dans le moule et on choisit les autres paramètres pour bien concevoir le moule .

➤ **Les efforts sur une presse**

La force en Newton N ou en kN	La pression en Pascal Pa ou en Mpa
Force N : 1kN = 1000N, 10 kN =1Tonne, 1 daN = 10N	Pression : Pa, 1Pa=1N/m <sup>2</sup> , 1 MPa=1N/mm <sup>2</sup>
Section (m <sup>2</sup> ), m <sup>2</sup> =10 <sup>6</sup> mm <sup>2</sup>	1 MPa=10bar, 1bar=1 DaN/cm <sup>2</sup>
La section en mètre carré m <sup>2</sup> ou en mm <sup>2</sup>	



**Figure (III.24) :** les efforts exercer sur la presse et le moule

### III.8. Bien maîtriser le phénomène de RETRAIT

On entend par retrait les processus qui conduisent à la réduction des dimensions de la pièce par rapport à celles du moule froid.

Le retrait exerce une influence directe sur les dimensions d'une pièce moulée par injection.

Un retrait différentiel provoque des déformations (gauchissement ou voilage). Le blocage du retrait (maintien prolongé de la pièce dans le moule ou utilisation de conformateur) engendre des tensions internes qui d'une part altèrent la résistance globale de la pièce et d'autre part se libéreront dans le temps entraînant des déformations.

Le retrait commence à se produire pendant la transformation, lorsque la matière passe de l'état plastique à l'état solide (refroidissement) et que la masse fondue amorphe se transforme en une matière partiellement cristalline en se contractant. Ainsi, une pièce moulée par injection est plus petite que la cote du moule froid correspondant. Le retrait de moulage des matières partiellement cristallines est plus important que pour les matières amorphes.

On appelle retrait de moulage **Rm** la différence entre la cote du moule froid **Mf** et la cote **L** de la pièce moulée refroidie (24h après sa fabrication, DIN 16 901).

Le retrait de moulage est indiqué en %

$$R_m = \frac{M_f - L}{M_f} 100$$

La diminution de volume de la pièce moulée n'est pas encore terminée. Le retrait se poursuit dans le temps et tend vers une valeur "définitive" d'autant plus vite atteinte que la température de stockage est élevée. Ce phénomène, essentiellement dû à une post-cristallisation est appelé Post-retrait **Pr**. Selon la norme DIN 53464, on entend par post-retrait la différence calculée entre la cote **L** de la pièce moulée et la cote **L1** de cette même pièce après un traitement ultérieur à une température donnée.

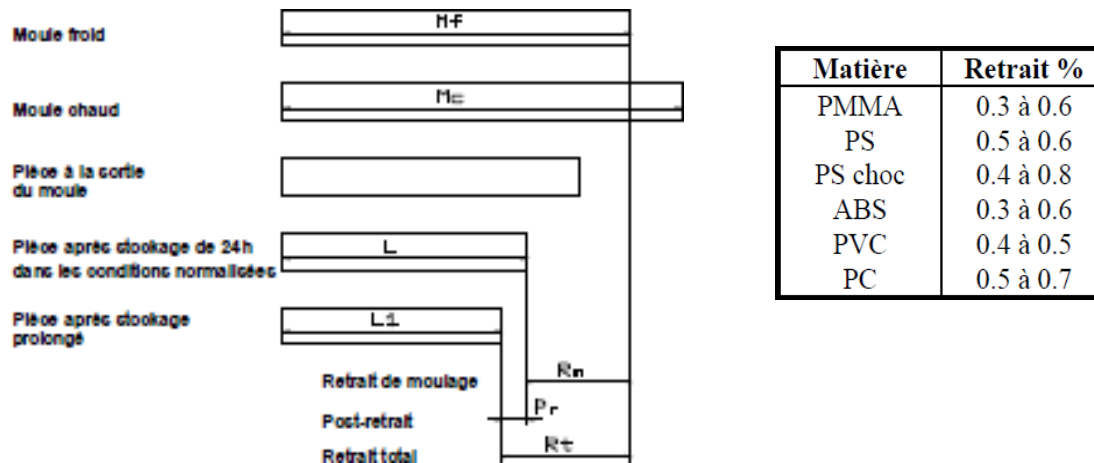
Le post-retrait est indiqué en %

$$P_r = \frac{L - L_1}{L} 100$$

Le post-retrait des matières plastiques partiellement cristallines est toujours inférieur au retrait de moulage. La somme du retrait de moulage et du post-retrait est appelé retrait total  $R_t$

$$R_t = R_m + P_r$$

Représentation schématique du retrait de moulage  $R_m$ , du post-retrait  $P_r$  et du retrait total  $R_t$



**Figure (III.25) :** représentation schématique du  $R_m$  ,  $P_r$  et  $R_t$

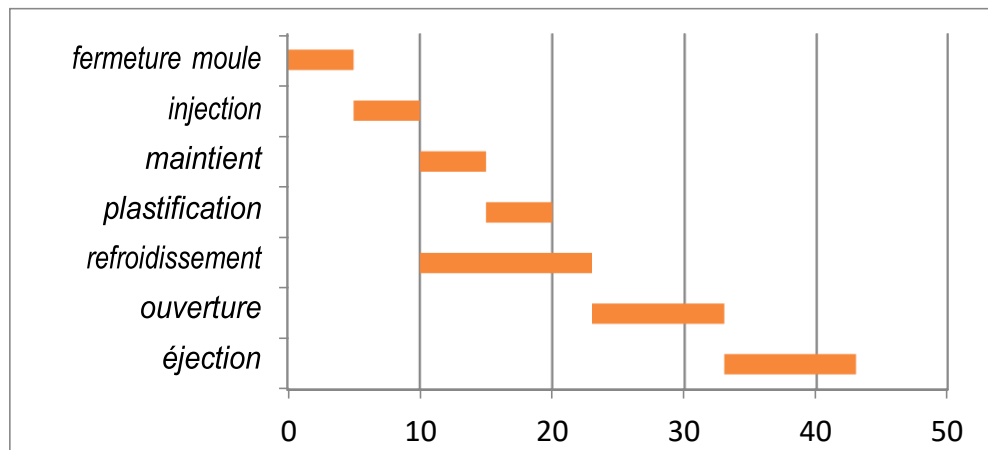
### III.9. Calcul du temps de cycle de moulage par injection

➤ **Cycle de moulage :**

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

1. Fermeture du moule rapide en début de course, puis lente à la fin, puis verrouillage du moule pendant laquelle une force importante en fonction des critères techniques (matière à injecter, forme des pièces,...) est appliquée pour maintenir les 2 surfaces des parties fixes et mobiles en contact.
2. 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.
3. Maintient en position de la vis d'injection pour empêcher le retour de la matière visqueuse vers la chambre de dosage jusqu'à la solidification des canaux.
4. Refroidissement rapide des empreintes pour solidifier la matière.
5. Ouverture lente du moule en début de course puis rapide en fin.

6. Ejection de la pièce solidifiée.



**Figure (III.26) :** cycle de fabrication d'une pièce

Le cycle de moulage peut durer de quelques secondes à plusieurs minutes. L'injection est contrôlée en vitesse et en position. La pression et le temps doivent être bien régulés. Après la phase de compactage on passe à la pression de maintien quand le moule est presque totalement rempli, il y a un temps précis à respecter avec pression plus haute que durant l'injection. Ensuite le temps de refroidissement doit être précis pour permettre l'ouverture sans déformation de la pièce.

➤ **Paramètres et réglages**

Les temporisations principales à régler sont :

- le dosage- l'injection- l'ouverture- la fermeture- l'éjection- la post pression  
Autres paramètres :

- Température du fourreau- Température de la matière- Température du moule injection

Pressions durant l'injection- Pressions durant le maintien- La contrepression- La vitesse de rotation de la vis- La course de dosage , Courses d'ouvertures et d'éjections etc...

- Le temps du cycle est calculé à partir du temps du cycle à vide additionné avec le temps d'injection et le temps de refroidissement ; d'après le graphe on constate que le temps de maintien et ce de la plastification sont des temps morts.

$$T_{cv} = T_{fr} + T_{ov} + T_{ej}$$

: temps du cycle à vide

$$T_{cyc} = T_{cv} + T_{inj} + T_{ref}$$

Le temps d'injection est calculé à partir des caractéristiques de la presse tel que la vitesse d'injection, le volume injectable, le débit d'injection....

### III.10. Détermination du cout de la pièce injectée

Le coût d'une pièce injectée en matière plastique peut être décomposée comme suit:

- Coût outillage
- Frais de lancement de la série
- Coût machine
- Coût de la matière plastique

$$C_{pièce} = \left[ (I+E)/N + F_{la}/N_e + T_c \cdot T_h/3600 + C_m \right]$$

I : investissement outillage (en DT)

E : frais d'entretien du moule (en DT)

N : nombre de pièces de la série

F<sub>la</sub> : frais de lancement (en DT)

N<sub>e</sub> : nombre de pièces par lancement T<sub>c</sub> : temps de cycle (en s)

T<sub>h</sub> : taux horaire de la machine (en DT/h) C<sub>m</sub> : coût matière première par pièce (en DT)

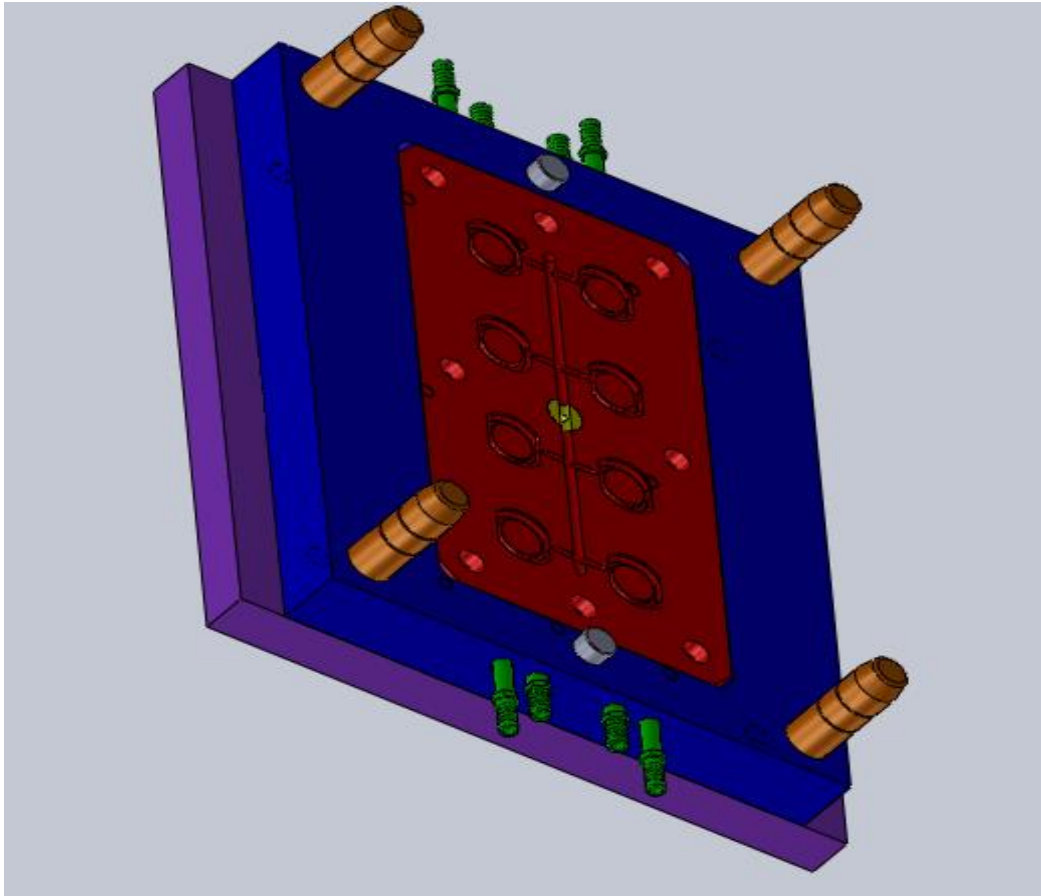
### III.11. Description de notre moule :

Le moule qu'on a conçu est constitué de deux parties, fixe et mobile :

#### Partie fixe :

- Semelle fixe
- Plaque porte empreinte
- Empreinte
- Buse d'injection

- Anneau de centrage
- Goupille
- Colonne de guidage partie fixe
- Tige d'attelage
- Tétine



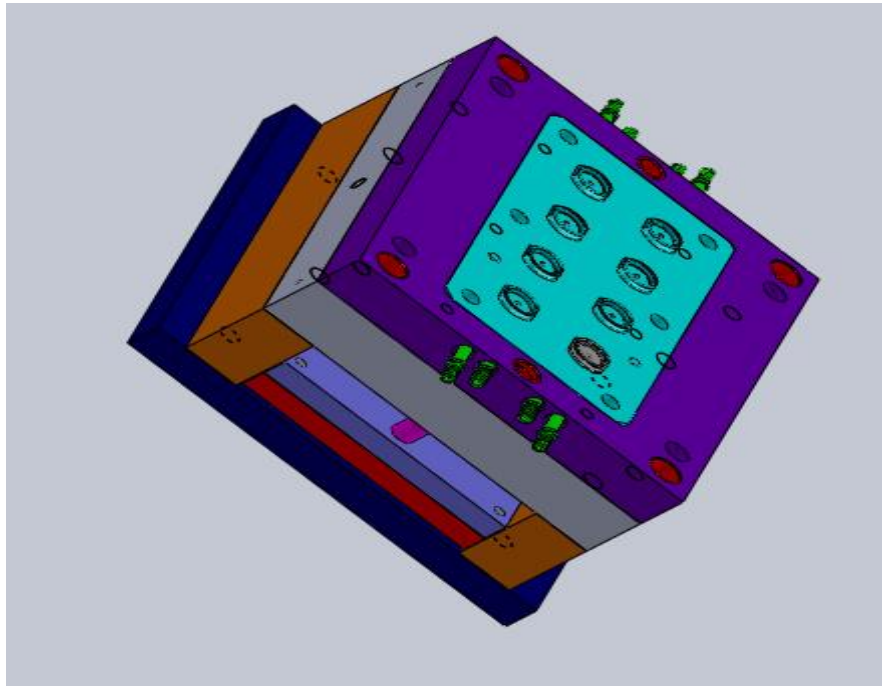
**Figure (III.27):** la partie fixe de notre moule

**Partie mobile :**

C'est l'ensemble de pièces comme :

- Semelle mobile
- Tasseaux
- Batterie ejectrice
- Contre plaque ejectrice
- Plaque support
- Colonne de batterie

- Tasseaux de renfort
- Goupilles
- Ejecteur cylindrique
- Bagues
- Butés



**Figure (III.28):** la partie mobile de notre moule

**Les aciers utilisés :**

Type d'acier	Pièces
<b>XC48</b>	Semelle fixe, semelle mobile, tasseaux, , plaque support, batterie ejectrice, plot d'appuis, butée,
<b>X38CrMoV5-1</b>	empreinte mobil, , plaque ejectrice, conduit d'alimentation, buse d'injection
<b>16NiCr4</b>	douille de guidage pour batterie ejectrice, et douille de guidage pour colonne de rappel
<b>16MnCr5</b>	Colonne de guidage, doigt de démoulage et colonne de guidage pour batterie ejectrice.
<b>34CrMo4</b>	Bague de centrage
<b>Bronze</b>	Plaque d'usure, pipette de raccordement, tuyauterie
<b>42CD4</b>	Glissières

**Tableau (III.6) :** liste des aciers utilises

**III.12. Fonctionnement :**

Lors de la fermeture du moule, sa partie mobile permet au noyau d'empouser la forme de l'empreinte se qui permis l'injection de la matiere plastqie et la realisation de la piece et la refoirdire

À la fin de cette dernière la partie mobile se retire , une fois l'ouverture est faite un vérin développe une force qui déplace les éjecteurs et la plaque éjectrice pour assurer l'éjection de la pièce.

**-Conclusion :**

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

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



# Chapitre $\mathcal{N}$ :

## Vérification des calculs

## **I- Introduction**

Dans le cas de ce présent mémoire, nous avons pour objectif la conception et réalisation d'un moule à injection plastique pour un Bouchon de mousse POUR LA PORTE CF1301 ET CF1686.

Afin d'obtenir une pièce de qualité requise, il est nécessaire de faire des calculs de vérifications sur le cycle de l'injection présenter dans le chapitre précédent.

### **I-1 Le choix de la machine**

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

- Capacité d'injection.
- Force de fermeture.
- Puissance de plastification.
- Distance entre colonnes.
- Épaisseur minimale du moule.

Afin de déterminer la presse nécessaire à la production de produit :

- ✓ La fiche technique de la pièce comportant le groupe dimensionnel de celle-ci (dimensions linéaires, volume, poids).
- ✓ Fiche technique du polymère PE
- ✓ Détermination du nombre de pièce par moulée.
- ✓ Le planning de répartition de la production.
- ✓ Cadence de production journalière (nombre de cycle par heure de la machine).
- ✓ La force nécessaire pour maintenir le moule fermé durant la phase de remplissage pour éviter le retour de matière et les flashes.
- ✓ Capacité de moulage de la presse et ce par la détermination du poids de la moulée.
- ✓ L'encombrement du moule.

**I-2 Fiche technique de produit**

Le groupe dimensionnel de la pièce pour laquelle nous allons concevoir et réaliser un moule comporte :

- Les dimensions linéaires et les épaisseurs en chaque point de sa paroi (voir le plan de la pièce).
- Son poids déterminé par la relation suivant  $m = \rho \times v$

**I-3 Fiche technique de PE**

- ❖ La masse volumique :  $\rho = 0,915 - 0,935 \text{ g/cm}^3$
- ❖ La conductivité thermique  $\lambda = 0.34 \text{ W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$
- ❖ Le facteur de retrait : 1,5 à 3.5%
- ❖ Densité :  $D = 0,92$
- ❖ Température d'utilisation (c°) : - 60° à +60°
- ❖ Température de fusion à l'équilibre thermodynamique (c°) : 110 – 120
- ❖ Transition vitreuse (C°) : -110
- ❖ Contrainte seuil d'écoulement traction (mpa) :
  - Film : 8 – 15,5
  - Plaquette : 7 – 10
- ❖ Résistance à la rupture (mpa) :
  - Film : 9 – 23
  - Plaquette : 8 – 10
- ❖ Allongement à la rupture % :
  - Film : 150 – 1100
  - Plaquette : 300 – 800

❖ Module d'élasticité en traction (mpa) :

- Film : 200 – 500
- Plaquette : 190 – 280

❖ Dureté shore D

- Film : 40 – 47
- Plaquette : 40 – 47

❖ Coefficient de poisson : 0,439 S I

## II- Capacité d'injection

### II.1. Le poids de la pièce

Le poids de notre pièce est donné par le logiciel de conception SolidWorks, en sachant que la masse volumique de PE est de  $0,915 \text{ g/cm}^3$ .

Son poids est de 1,50g

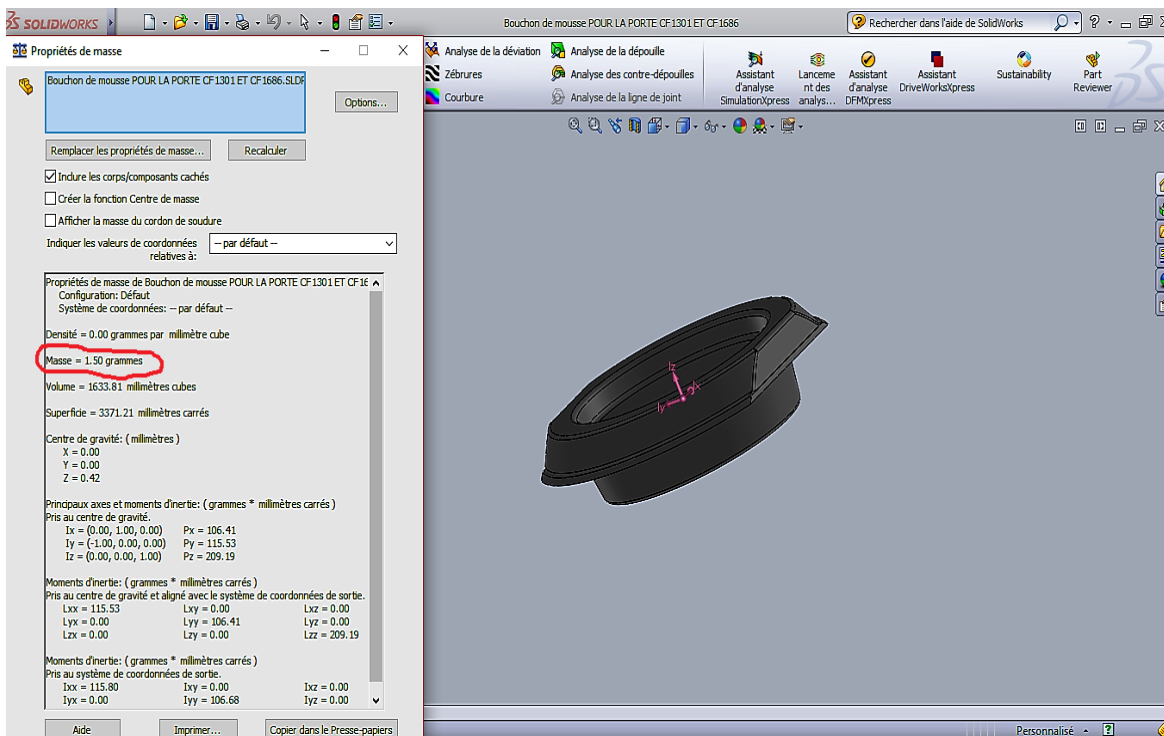


Figure (IV. 1) : Bouchon de mousse POUR LA PORTE CF1301 ET CF1686.

## II.2. La masse de la carotte

Le poids de cette carotte est de 7,97g

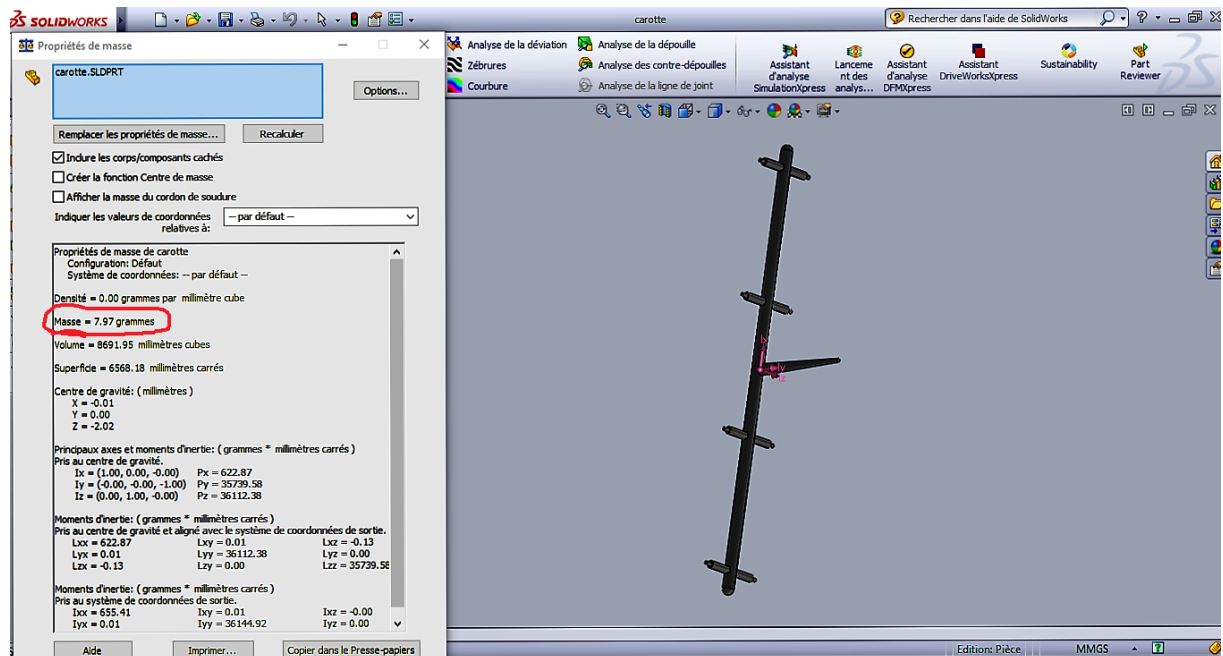


Figure (IV. 2) : Masse de la carotte.

## II.3. Le masse de la moulée (M)

Nous avons déterminé dans le chapitre III précédent, l'équation qui nous facilite le calcul du nombre de cavités (n) du moule qui fait projet de notre étude.  $n \geq C T * H * S \dots\dots\dots$

L'entreprise ENIEM souhaite réaliser un taux de production de 2150400 selon les exigences du cahier des charges :

- T = 320 JOURS/AN
- H = 7H/Jour
- S = 120 Cycles/ Heures
- C= 2150400 pièces / année

$$n \geq 2150400 / 320 \times 7 \times 120 \quad n \geq 8$$

Donc on peut fabriquer deux empreintes n=8

Implique la masse de la moulée est la somme de huit fois la masse de la pièce + la masse de la carotte.

✓  $M = 1,50 \times 8 + 7,97 = 19,97 \text{ g}$

➤ Vérification on utilise le logiciel solidworks

✓  $M = 19,96 \text{ g}$

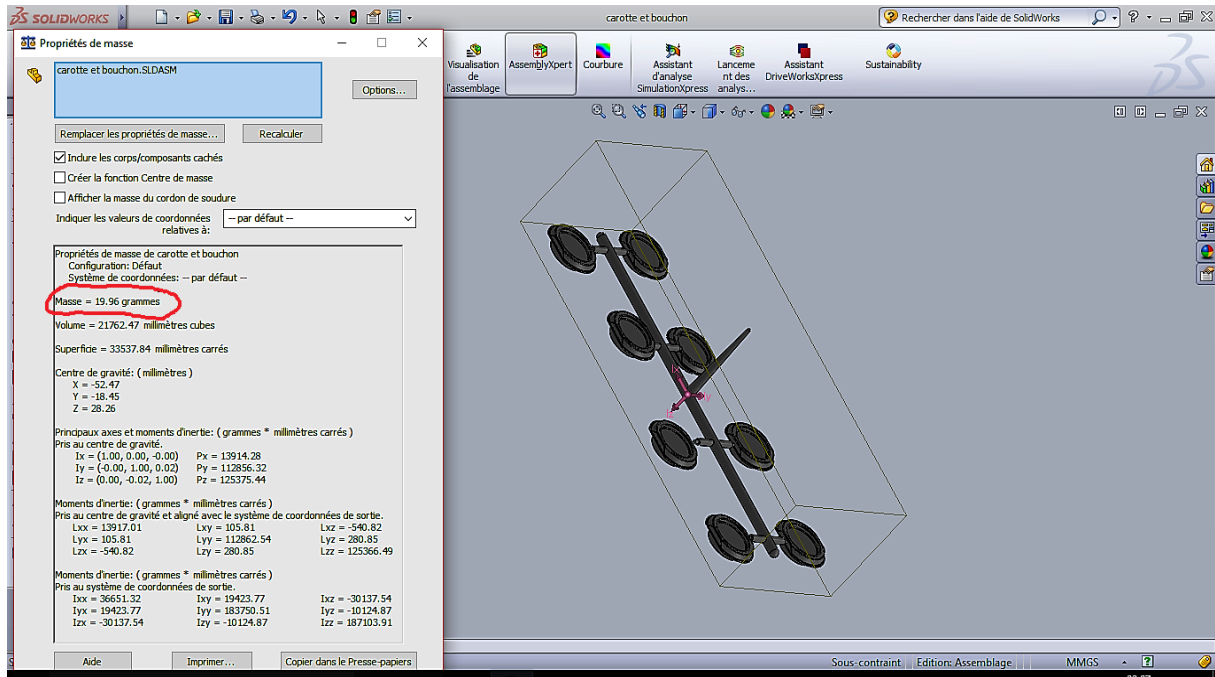


Figure (IV. 3) : La masse de la moulée.

Du tableau (num) on constate que les machines qui peuvent injecter cette quantité de matière sont : 25T, 75T, 150T et 350T.

Machine	PE (g)	PS (g)
350T	680	850
150T	180	230
75 T	83	100
25T	36	45

Tableau (IV.1) : Choix de la presse en fonction de la moulée.

**III- 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**       **$F = F_v \cdot K$**

Avec : F : la force de fermeture du moule (T)

K : coefficient de sécurité (1.5 à 2)

Fv : force de verrouillage (T) Dont  **$F_v = P \cdot S$**

Avec :

P : la pression moyenne d'injection  **$P = 0.4$**  tonne/cm<sup>2</sup> [4].

Matières	La pression intérieure	
	Moyenne (dans la normalité) (tonne / cm <sup>2</sup> )	Grand parcours de fluctuation (forme compliquée) (tonnes /cm <sup>2</sup> )
PE, PP	0,3 à 0,4	0,4 à 0,5

**Tableau (IV. 2) :** Pression d'injection.

S : la surface projetée cm<sup>2</sup>, donnée par le logiciel solidworks :

$$S = 29,2 \text{ cm}^2$$

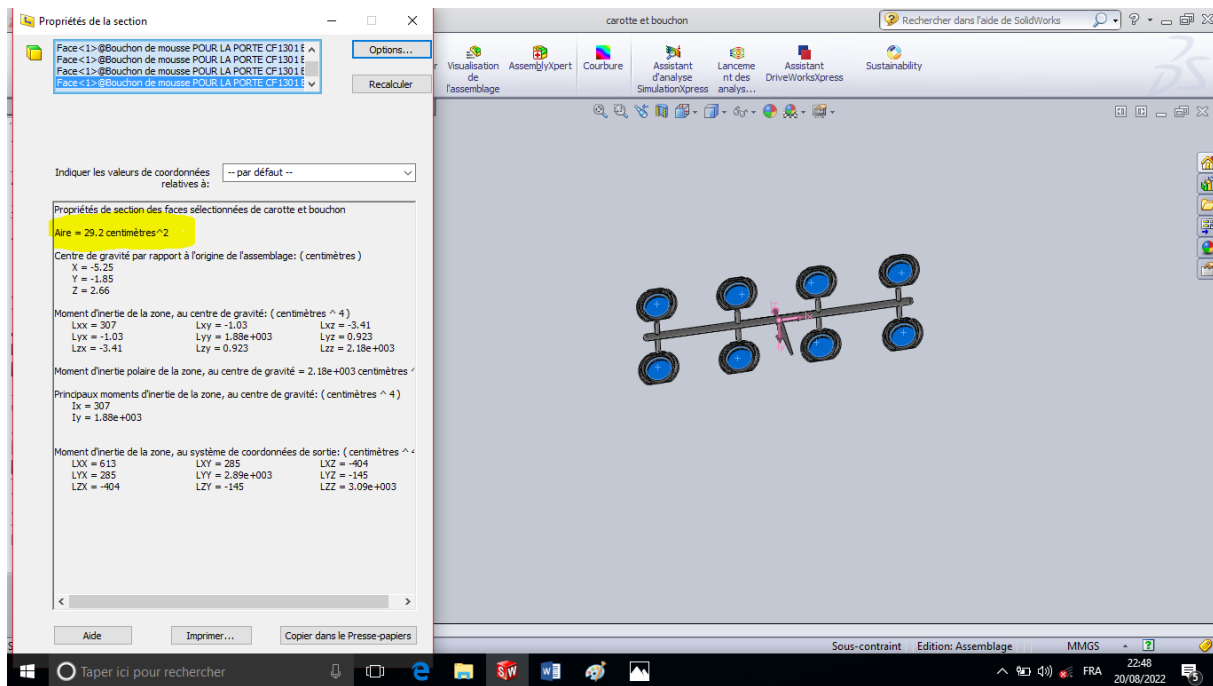


Figure (IV.4) : Surface projeter.

**Application numérique :**

$$F_v = 29,2 \times 0,4 = 11,68 \text{ T}$$

$$F = 11,68 \times 2 = 23,36\text{T}$$

D’après les résultats obtenus on a besoin d’une machine qui peut Injecter une masse de 19,97 g et une force de fermeture de 23,36T, il en résulte que la presse devant être de 25T.

**IV- La puissance de plastification (W)**

Même si la machine 25T peut injecter 19,97 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.

$$W = \frac{p \times n \ 3600}{tc}$$

W : puissance de plastification [Kg/H]

P : poids de la pièce moulée en [g]

Tc : temps de cycle en [sec]

Dont :

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

Avec :  $T_r$  : temps de refroidissement (26.25 sec)

$T_i$  : temps d'injection (remplissage) (2.63 sec)

$T_m$  : temps de maintien pression (4.44)

$T_e$  : temps d'éjection (1sec)

$T_o$  : temps d'ouverture de moule (5sec)

$T_f$  : temps de fermeture moule (5sec)

$$T_c = 26.25 + 2.63 + 4.44 + 1 + 5 + 5 = 44.32 \text{sec}$$

D'où :

Notre machine plastifier :

La condition est vérifiée puisque notre machine peut injecter 20kg/h.

Symbole d'injection	i1
Symbole du cylindre	A
Pression d'injection	2070 kg/cm <sup>2</sup>
Taux d'injection	52 cm <sup>2</sup> / sac
Quantité d'injection	PS 45 g
	PE 36 g
Diamètre de la vis	25 mm
Puissance de plastification (p s)	20 kg / h
Puissance de serrage	25 tonnes
Puissance d'ouverture	2,5 tonnes

Vitesse max de rotation de la vis	380 tpm
Intervalle des tirants	260 × 260 mm
Course de serrage	280 mm
Epaisseur mini du moule	150 mm
Ouverture	430 mm
Puissance de foulage (hydraulique)	1,7 tonnes
Course de foulage	50 mm
Quantité d'huile d'usage	105 litres
Moteur destiné à la pompe	7,5 kw
Capacité du réchauffeur	4,7 kw
Dimensions de la machine (L × l × H)	3,1 × 1,1 × 1,8 m
Poids de la machine	1,9 tonnes

**Tableau (IV.3) :** Caractéristiques de la presse de 25T

## V- Distance entre colonne

La presse possède quatre colonnes de guidages des plateaux sur lesquels le moule sera fixé. Pour ce faire, l'une des dimensions transversales du moule doit être inférieure à la distance entre colonnes. Comme illustré sur la figure.

Les dimensions de notre moule sont :

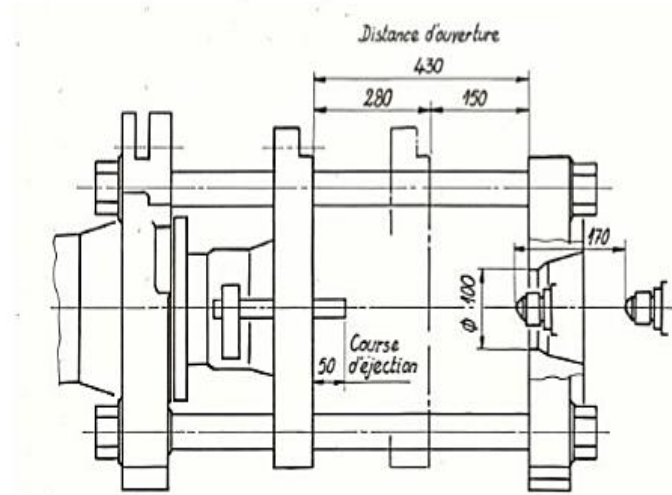
- Longueur : 396
- Largeur : 346

## VI- Epaisseur minimale du moule

Les caractéristiques dimensionnelles de la presse 25T sont :

- La distance entre plateaux de la presse 430 mm ;
- La course maximale du piston de serrage 280 mm ;

A partir de là, on voit que l'épaisseur minimale du moule doit être supérieure à 150 mm et inférieure à 340 mm (Notre moule a une épaisseur de 236 mm).



**Figure (IV.5) :** Caractéristiques dimensionnelles de la presse 25 T.

## VII- Résistance des matériaux

Cette partie concerne l'étude de la résistance des pièces sollicitées mécaniquement.

### VII.1. Résistance des éléments constituant le moule au matage dû à la force de fermeture du moule

La force de fermeture d'une presse 25 tonnes égales :

Nous avons :

- 25T=25000 Kg =250000 N
- 1Kg.f ⇒ 10N

Donc la force de fermeture du moule est de **F= 250000N.**

❖ Condition de résistance au matage :

$$\sigma_e = \frac{F}{S} \leq R_{pe} \quad R_{pe} = \frac{R_e}{S}$$

Avec :

- $R_e$  : résistance limite à la traction pour les aciers fortement alliée ( $R_e = 370 \text{ N/mm}^2$ ).
- $s$  : coefficient de sécurité ( $s = 2$ ).
- $S$  : surface soumise au matage.

$S = L \times E$  avec  $L$  et  $E$  sont respectivement la longueur et la largeur d'élément soumis décrivant la surface matée.

AN :

$$R_{pe} = \frac{370}{2} = 185 \text{ N/mm}^2$$

**A : partie fixe :**

► **Porte empreinte fixe :**

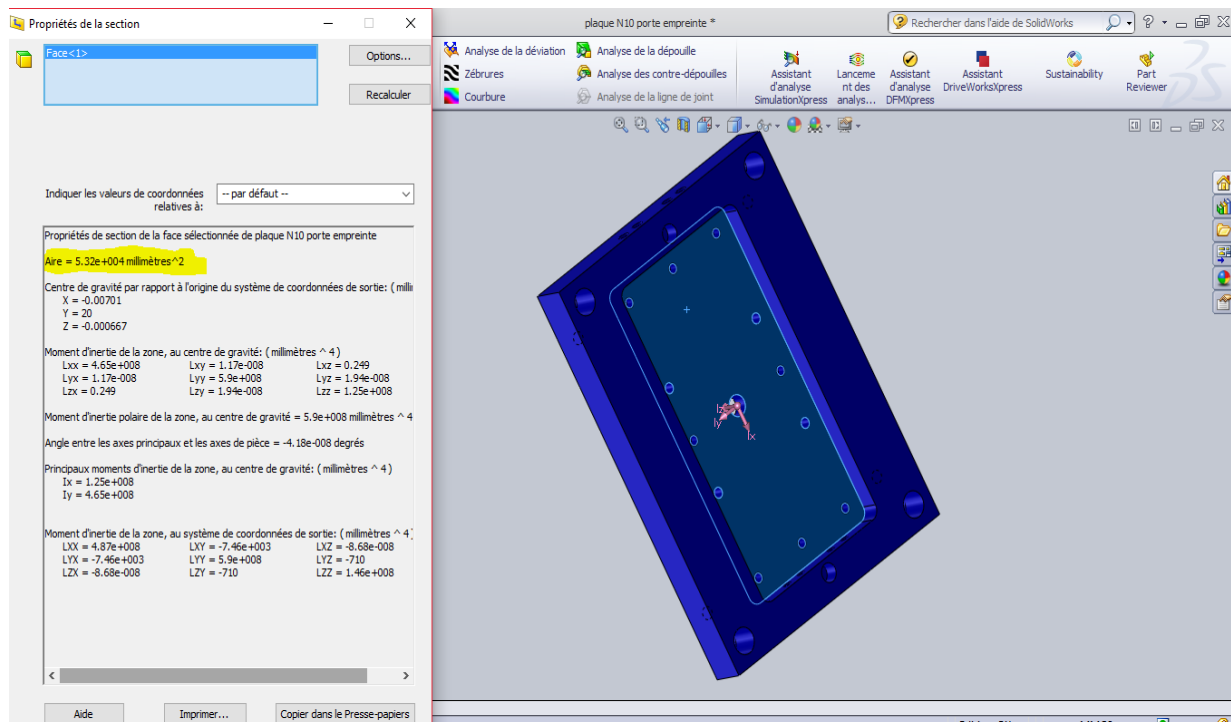


Figure (IV. 6) : Surface de la porte empreinte fixe soumise au Matage.

❖ **Surface soumise au matage**

$S = e \cdot l$  (Surface matée).

$$S^2 = 53200\text{mm}^2$$

$$\sigma_e = \frac{F}{S} = \frac{250000}{53200} = 4,69 \text{ N / mm}^2$$

$$\sigma_e = 4,69 \text{ N/mm}^2 < R_{pe}$$

✓ La condition est vérifiée la porte empreinte fixe résistera au matage.

➤ Résistance de la semelle fixe

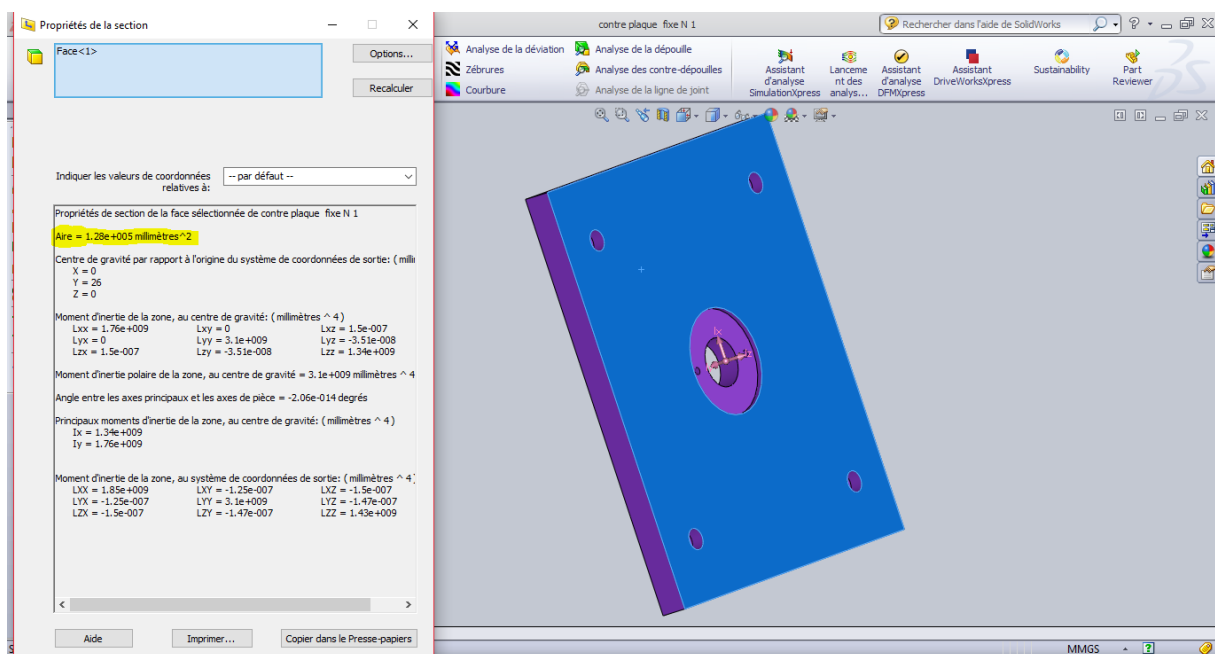


Figure (IV. 7) : Surface de la semelle fixe.

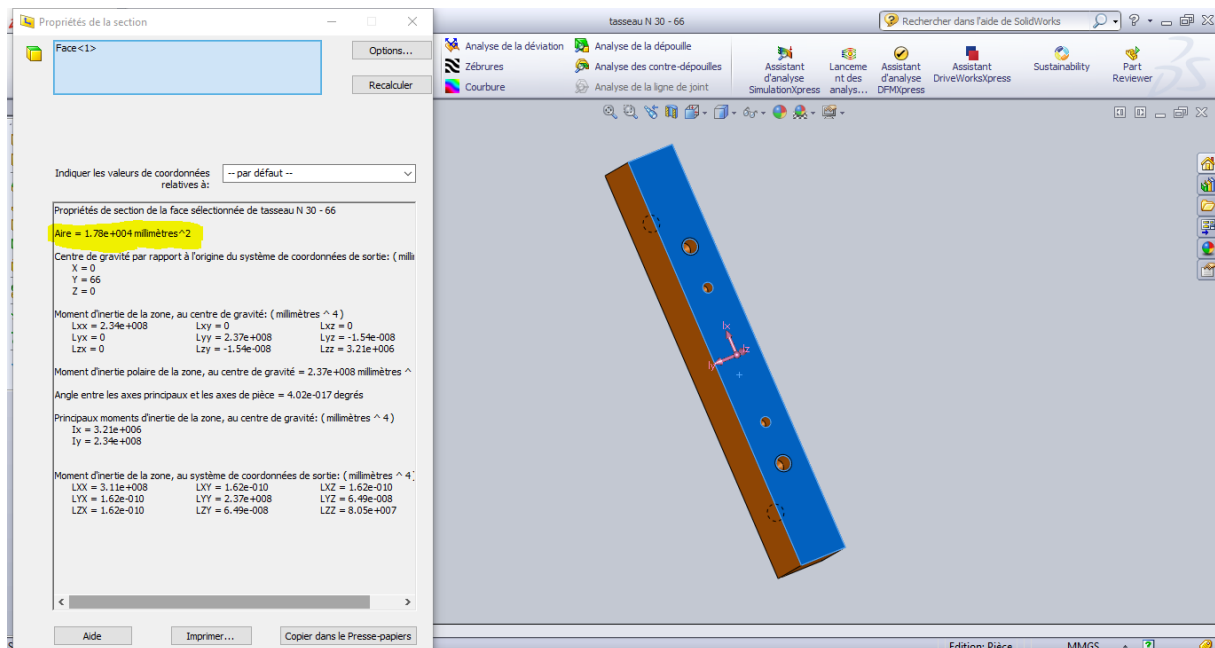
La surface :

$$S = 128000 \text{ mm}^2 \quad \text{AN : } \sigma_e = \frac{F}{S} = \frac{250000}{128000} = 1,95 \text{ N / mm}^2$$

✓ Puisque la condition est vérifiée la semelle fixe résistera au matage

**B : Partie mobile du moule**

➤ **Résistances des tasseaux**



**Figure (IV. 8) : Surface des tasseaux.**

$$S = 17800 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_e = \frac{F}{S} = \frac{250000}{17800} = 14,04 \text{ N / mm}^2$$

✓ La condition est vérifiée donc les tasseaux résisteront au matage

➤ **Résistance de la semelle mobile :**

Cet élément aussi présente les mêmes dimensions extérieures que la semelle fixe, la valeur de la contrainte exercée étant la même, cet élément résiste au matage.

➤ **Résistance de porte empreinte mobile :**

Même cet élément aussi présente les mêmes dimensions extérieures que le porte empreinte fixe, la valeur de la contrainte exercée étant la même, cet élément résiste au matage.

## VII.2. Vérifications des éléments de guidage et de fixation aux efforts de cisaillement

### ➤ Résistances des colonnes de guidage au cisaillement :

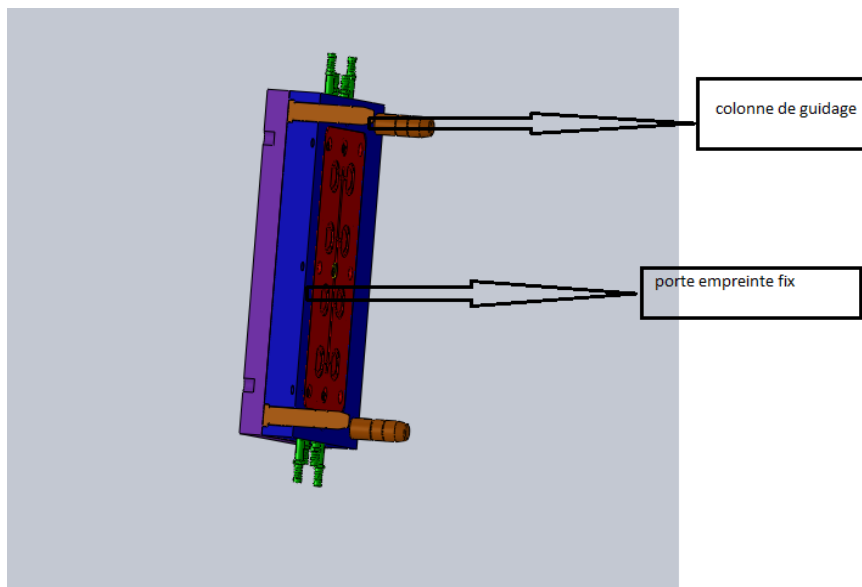


Figure (IV. 9) : Position de colonne de guidage.

### ❖ Condition de résistance

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

$$[\tau]_{\text{cis}} = \frac{\sigma_e}{k} \times 0,8$$

AN :  $[\tau]_{\text{cis}} = 1350 / 2 \times 0,8 = 540 \text{N/mm}^2$

Avec :

$\sigma_e$  : limite élastique du matériau ;  $\sigma_e = 1350 \text{N/mm}^2$

$k$  : coefficient de sécurité ; on prend  $k=2$

$F$  : effort normal (poids de la partie fixe),

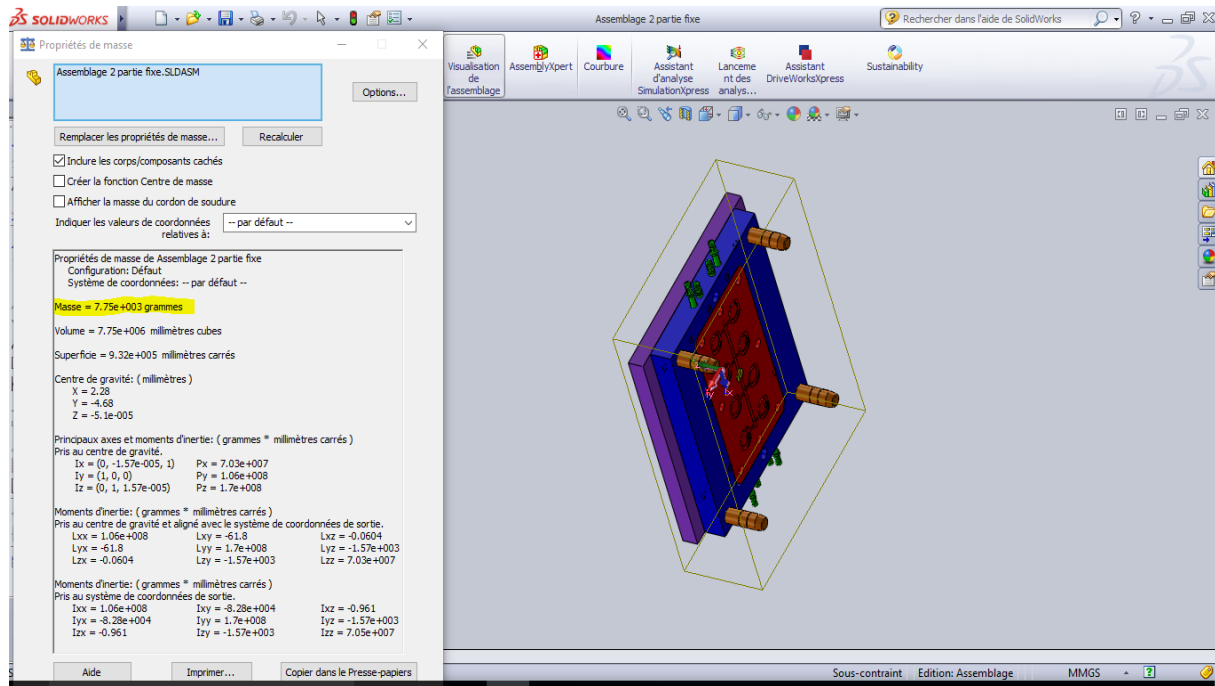


Figure (IV. 10) : Le poids de la partie fixe.

$$[7750 \text{ g} = 7750 \times 10^{-3} \text{ Kg} = 7,75 \times 10 \text{ N}]$$

$$\mathbf{F} = 77,5$$

**S** : section de la colonne

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

$$S = \frac{3.14 \times 576}{4} = 452,16 \text{ mm}^2$$

**n** : le nombre de sections cisailée (**n=2**)

**AN** :

$$\tau = \frac{\mathbf{F}}{\mathbf{n} \cdot \mathbf{S}} = \frac{77.5}{2 \times 4531.6}$$

$$\tau = 0,085 \text{ N/mm}^2 \leq [\tau_{cis}]$$

➤ **Résistance des 6 vis CHC M6 au cisaillement dû au poids de l’empreinte fixe et porte empreinte fixe**

❖ **Condition de résistance au cisaillement :**

$$[\tau] = [\tau] \text{ cis}$$

Avec :

- Reg : Résistance élastique au cisaillement [Mpa]
- Rpg : Résistance pratique au cisaillement [Mpa]
- S : Facteur de sécurité = 2
- Sv1 : Section d'une vis
- P1 : la charge totale supportée par les 4 vis
- Sv = 6 x Sv1 (section de 06 vis CHC)

$$Rpg = \frac{Reg}{2S} = \frac{335}{2 \times 2} = 83,75 [\text{Mpa}]$$

$$\tau = \frac{p1}{Sv} \leq Rpg$$

$$Sv1 = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

➤ Sv1 = 28,26mm<sup>2</sup>

$$P1 = 968 + 3000$$

$$P1 = 3968 \text{ N}$$

$$\tau = \frac{3968}{6 \times 28.26} = 23,40 \leq Rpg$$

✓  $\tau \leq Rpg$  : Donc les 06 vis résistent largement.

- **Résistance des vis M12 au cisaillement dû au poids de la contre plaque et porte empreinte mobile :**

Les 4 vis de diamètre  $d=12$  mm, sont soumises à la charge  $P_2$  du poids de l'ensemble des pièces suivantes : porte empreinte mobile, plaque support.

- $P_2 = 2900 + 5220$
- $P_2 = 8120$  N
- $S_{v2} = 113,04$  mm<sup>2</sup>
- $R_{pg} = 83,75$  [Mpa]

$$\tau = \frac{81200}{4 \times 113,04} = 17,95 \leq R_{pg}$$

$\tau \leq R_{pg}$  : Donc les 4 vis résistent largement.

- **Résistance des vis M12 au cisaillement dû au poids des tasseaux et la plaque support :**

Les 2 vis de diamètre  $d=12$  mm, sont soumises à la charge  $P_3$  du poids de l'ensemble des pièces suivantes : tasseau et plaque support.

$$P_3 = 1180 + 5220$$

$$P_3 = 6400$$
 N

$$\tau = \frac{P_3}{S_v} \leq R_{pg}$$

$$S_{v2} = \frac{\pi \times d^2}{4} = 113,04 \text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{6400}{2 \times 113,04} = 28,30 \leq R_{pg}$$

- ✓  $\tau \leq R_{pg}$  : Donc les 2 vis résistent largement.

- **Résistance des vis M12 au cisaillement dû au poids des tasseaux et la contre plaque :**

Les 02 vis de diamètre  $d=12$  mm, sont soumises à la charge P4 du poids de l'ensemble des pièces suivantes : tasseau et contre plaque.

$$P4 = 1180 + 3510$$

- $P4 = 4690$  N
- $\tau = \frac{p1}{Sv} \leq Rpg = 83,75 [Mpa]$
- $Sv2 = \frac{\pi \times d2}{4} = 113,04 \text{ mm}^2$
- $\tau = \frac{4690}{2 \times 113,04} = 20,74 \leq Rpg$

$\tau \leq Rpg$  : Donc les 2 vis résistent largement.

### **VIII. Conclusion**

Cette partie nous a permis de vérifier le calcul du dimensionnement du moule, et la résistance des différents éléments agissant lors de la fermeture du moule. Et passer avec assurance à la phase de réalisation des plans d'exécution à l'atelier d'usinage.

# **Conclusion générale**

## **Conclusion générale**

L'industrie de la plasturgie représente un secteur majeur, malgré une forte compétition. La présente étude nous a permis d'élargir nos connaissances dans ce domaine ainsi donner le plus d'information sur ces matériaux, leurs structures, leurs caractéristiques mécaniques et physiques .

On utilise souvent le procédé d'injection pour la transformation des polymères, car il permet la production en série des pièces avec une grande précision.

La partie essentielle de ce travail, est la conception d'un moule qui va servir, à la réalisation d'un Bouchon de mousse POUR LA PORTE CF1301 ET CF1686 .

Ce travail est réalisé en utilisant le logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO – Solidworks2013), qui a permis la détermination des caractéristiques dimensionnelles et géométriques des différents éléments du moule.

La solution que nous avons proposé pour cette conception devait répondre au cahier des charges, faciliter la réalisation du produit, en tenant compte de la qualité et de minimiser le coût.

Enfin nous espérons que ce modeste travail soit d'une utilité et de support pour les études qui suivent.

## Bibliographie

[1]: Documents E.N.I.E.M.

[2] : Aide mémoire matière plastiques 2em édition usine nouvelle DUNOD de Marc Carrega

[3] : Memotech matière plastique 2em edition de claude robert, 2001

[4] : RABOURDIN INDUSTRIE Composants standard pour moule et outillages.

[5] : HOCINE étude, conception et réalisation d'un moule d'injection plastique / mémoire d'ingénieur / université mouloud mammeri tizi ouzou , promotion 2009.

[7] <http://www.technologuepro.com> chapitre 2 : les techniques de mise en forme des matieres plastiques

[8] <http://www.technologuepro.com> chapitre 2 : conception de moule d'injection plastique

[9] <https://biblio.univ-annaba,dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2019/09/> OUACHOUACHE-ABD-EL-KRIM.

[10] : <https://fr.m.wikipedia.org>

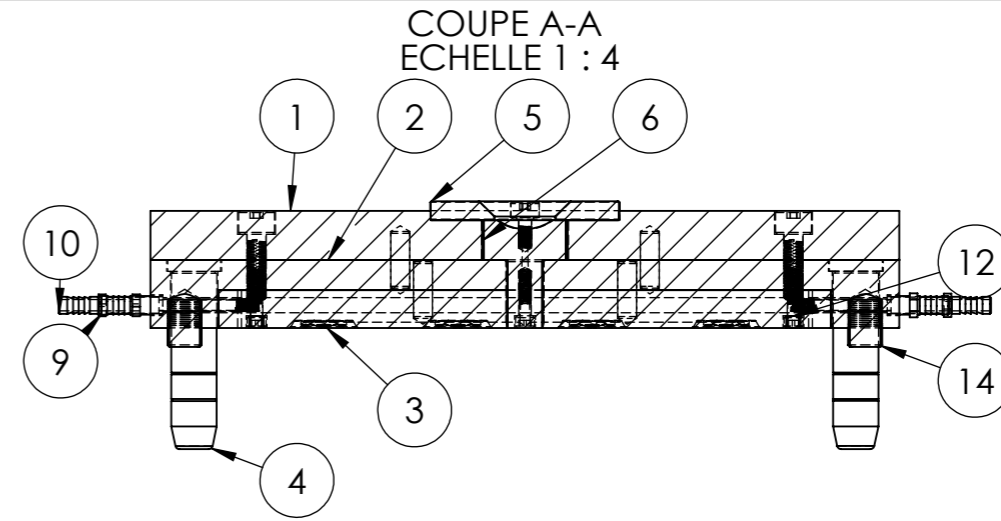
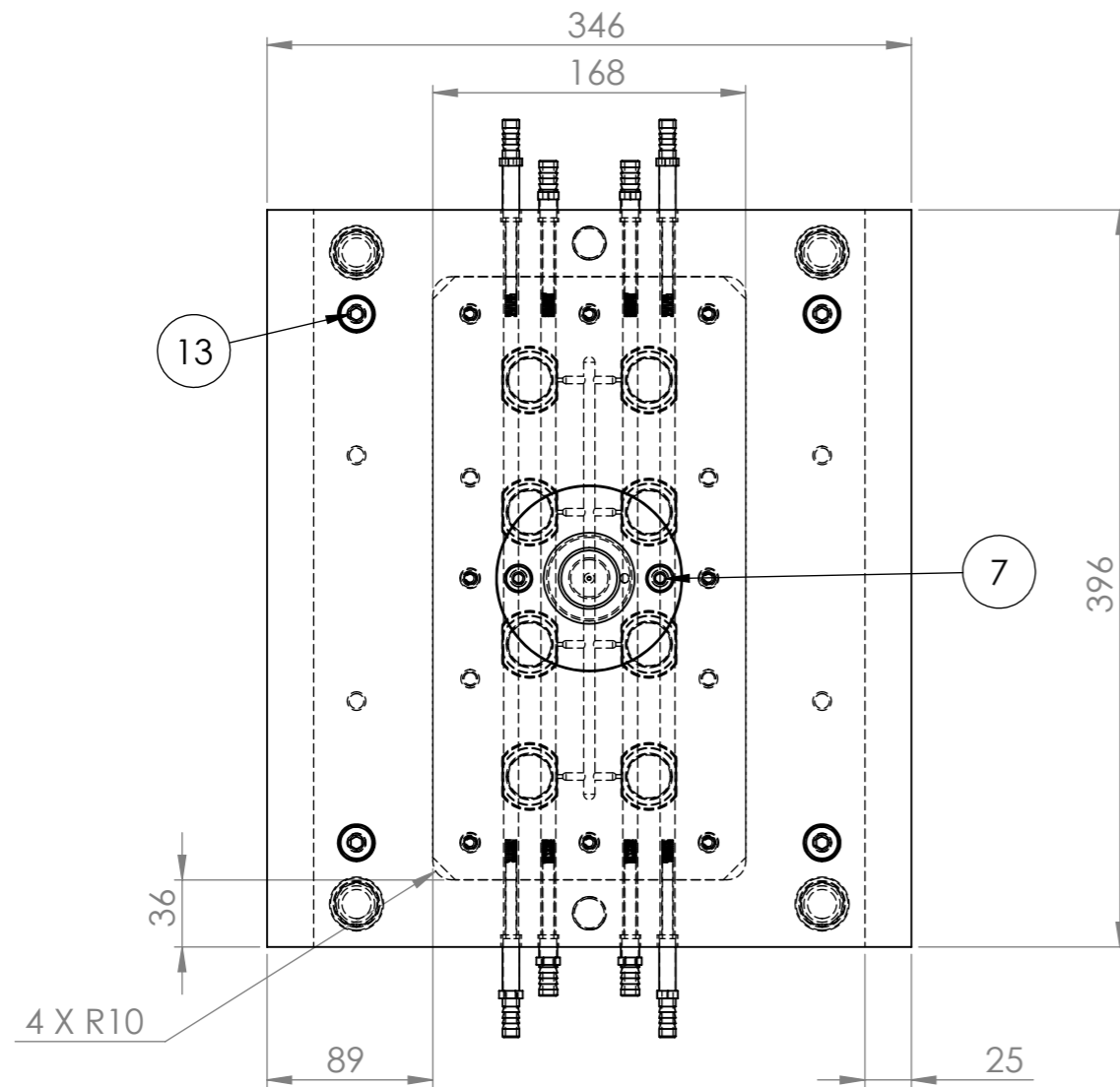
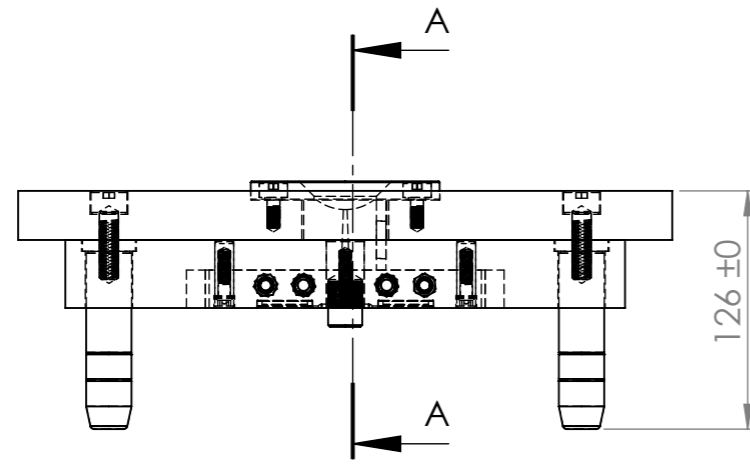
[11] : cour (et chaine You tube) d'injection plastique ,conception du moule .Professeur : ASMA Farid. Université Mouloud Mammeri. Tizi Ozou

[12] : Hamdaoui Sonia , Sebaroud Redouane : Etude, conception et réalisation d'un moule d'injection plastique / Mémoire D'ingénieur / Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, Promotion 2010.

[13] : Hamdaoui Sonia , Sebaroud Redouane : Etude, conception et réalisation d'un moule d'injection plastique / Mémoire D'ingénieur / Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, Promotion 2021.

[14] : kemkem Yougourthene , Ihamoutene Amar : Etude, conception et réalisation d'un moule d'injection plastique / Mémoire D'ingénieur / Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, Promotion 2017.

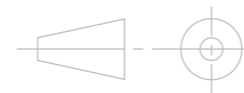




14	tige pour atlage		2
13	vis M12 33,56		4
12	vis M6		8
11	goupée	102Cr6	8
10	tétine 71	Bronze	4
9	tétine	Bronze	4
8	goupée pour la buse d'injection	102Cr6	1
7	vis pour coron		2
6	buse		1
5	coron de centrage	34CrMo4	1
4	colone de guidage partie fix		4
3	empreinte complet	C38CrMo5-1	1
2	plaque N10 porte empreinte	C38CrMo5-1	1
1	contre plaque fixe N 1	C48	1
No. ARTICLE	NUMERO DE PIECE	DESCRIPTION	QTE

ECHELLE : 1:4

dessin de definition partie fixe



MOULE INJECTION PLASTIQUE

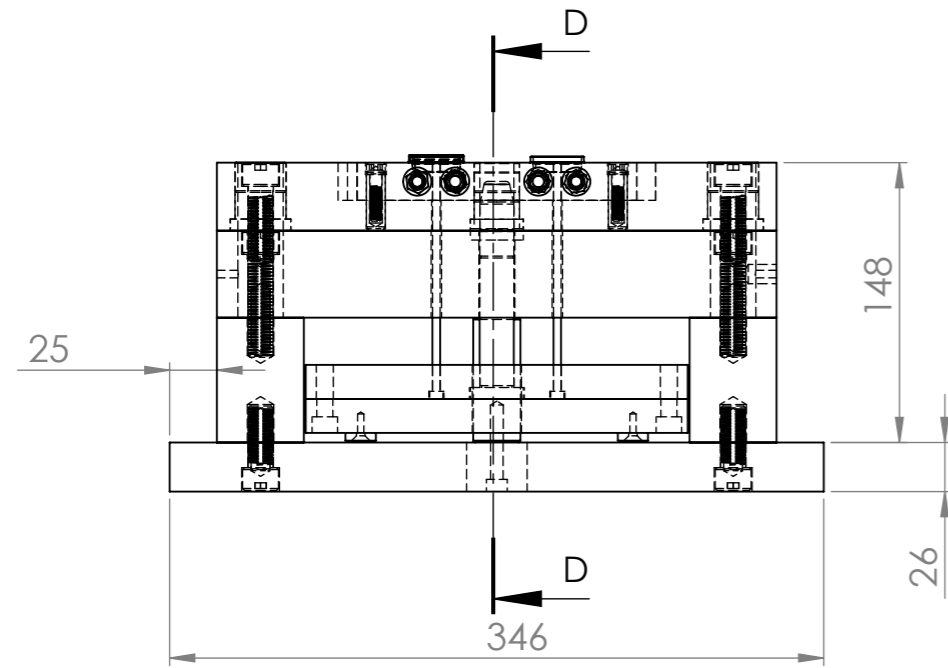
Kacer Ali

A3

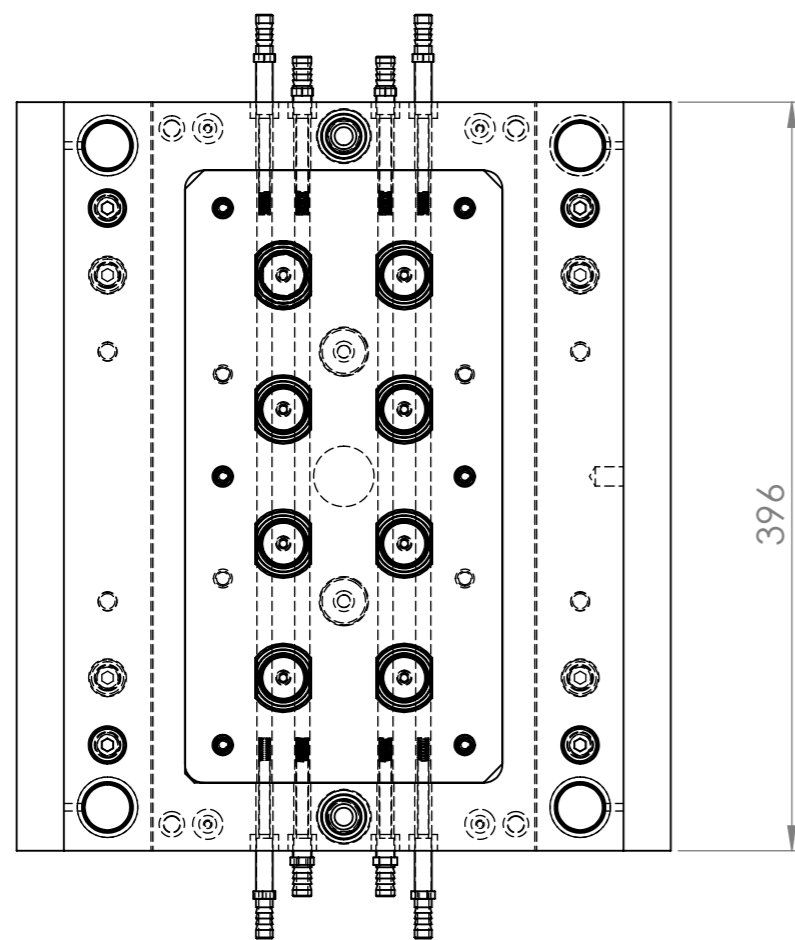
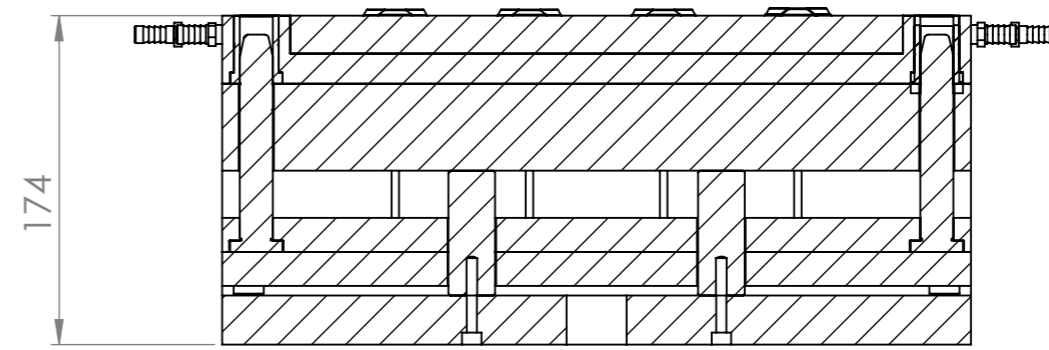
UMMTO

projet fin d'etude

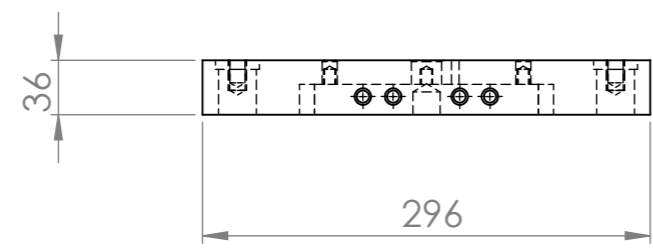
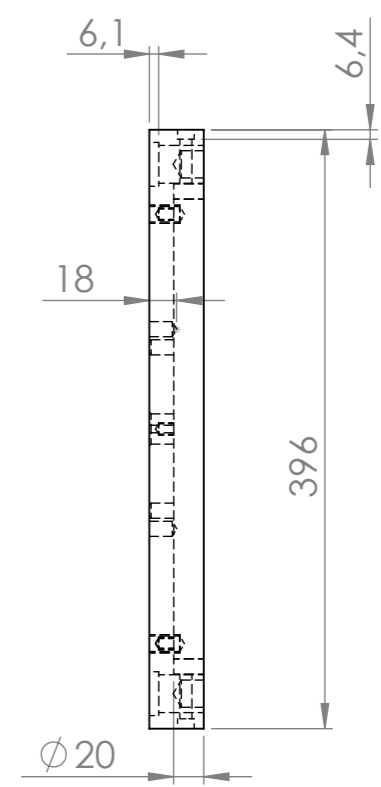
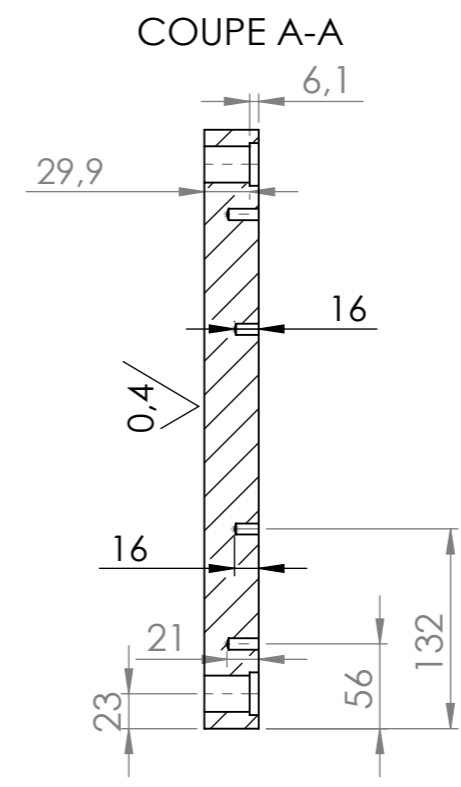
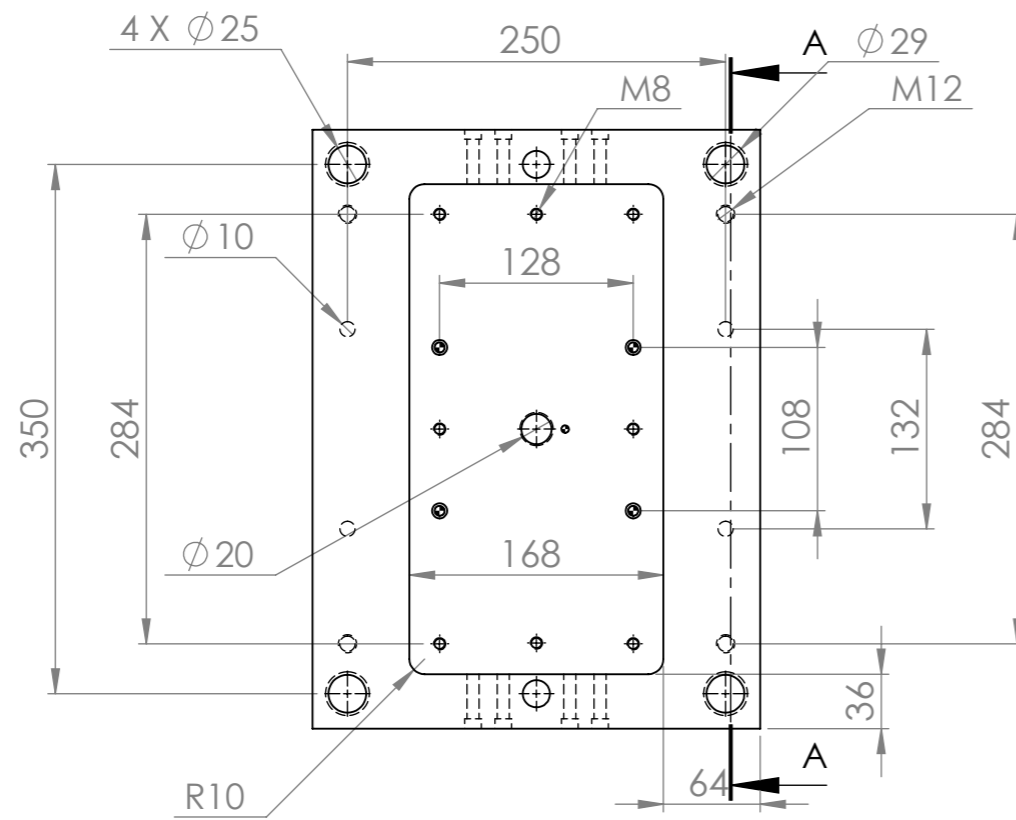
Master II FMP



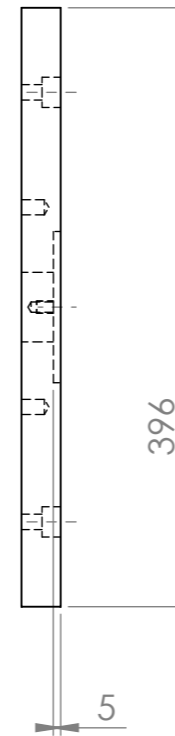
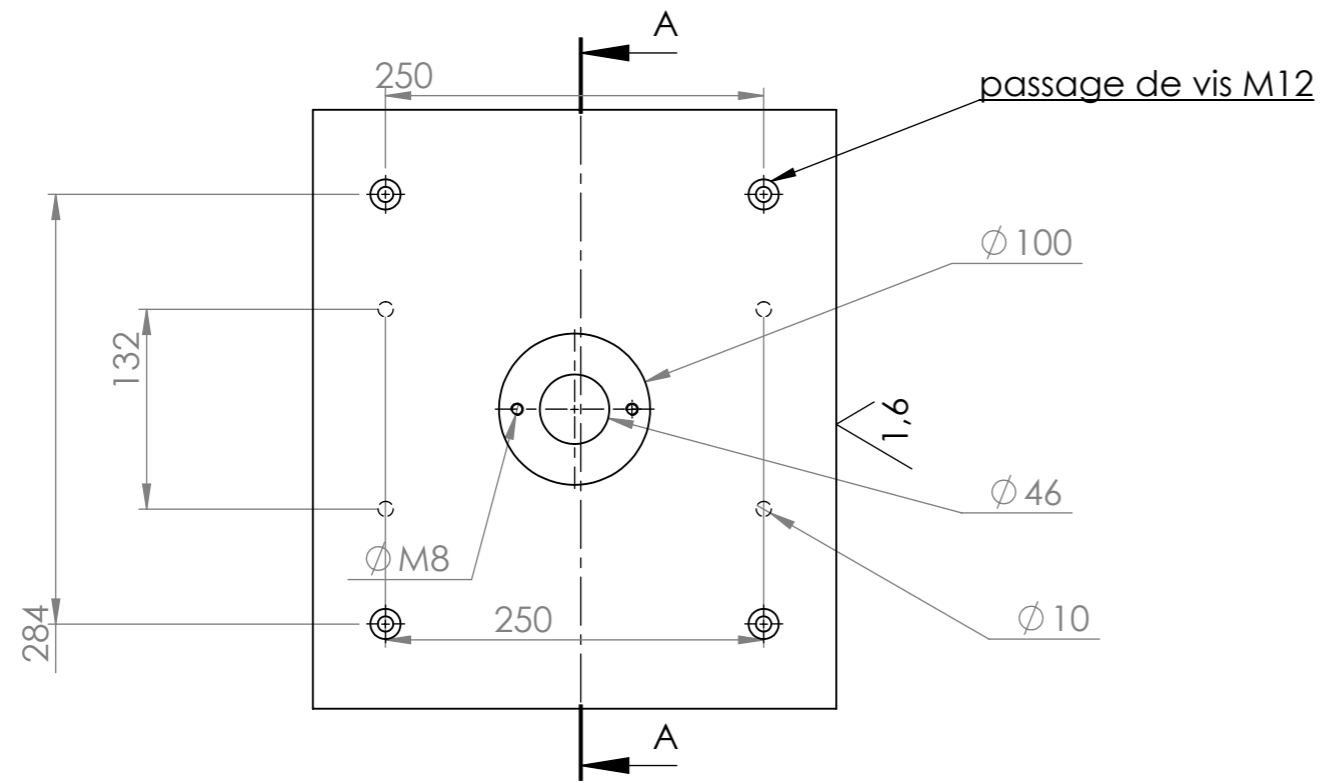
COUPE D-D  
ECHELLE 1 : 4



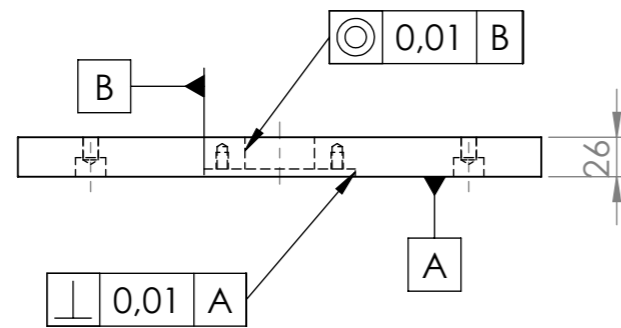
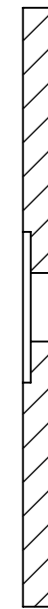
REP	Nbr	partie fixe Désignation	Matiere	Observation
ECHELLE : 1:4		MOULE INJECTION PLASTIQUE		Kacer Ali
A3		UMMTO		projet fin d'etude




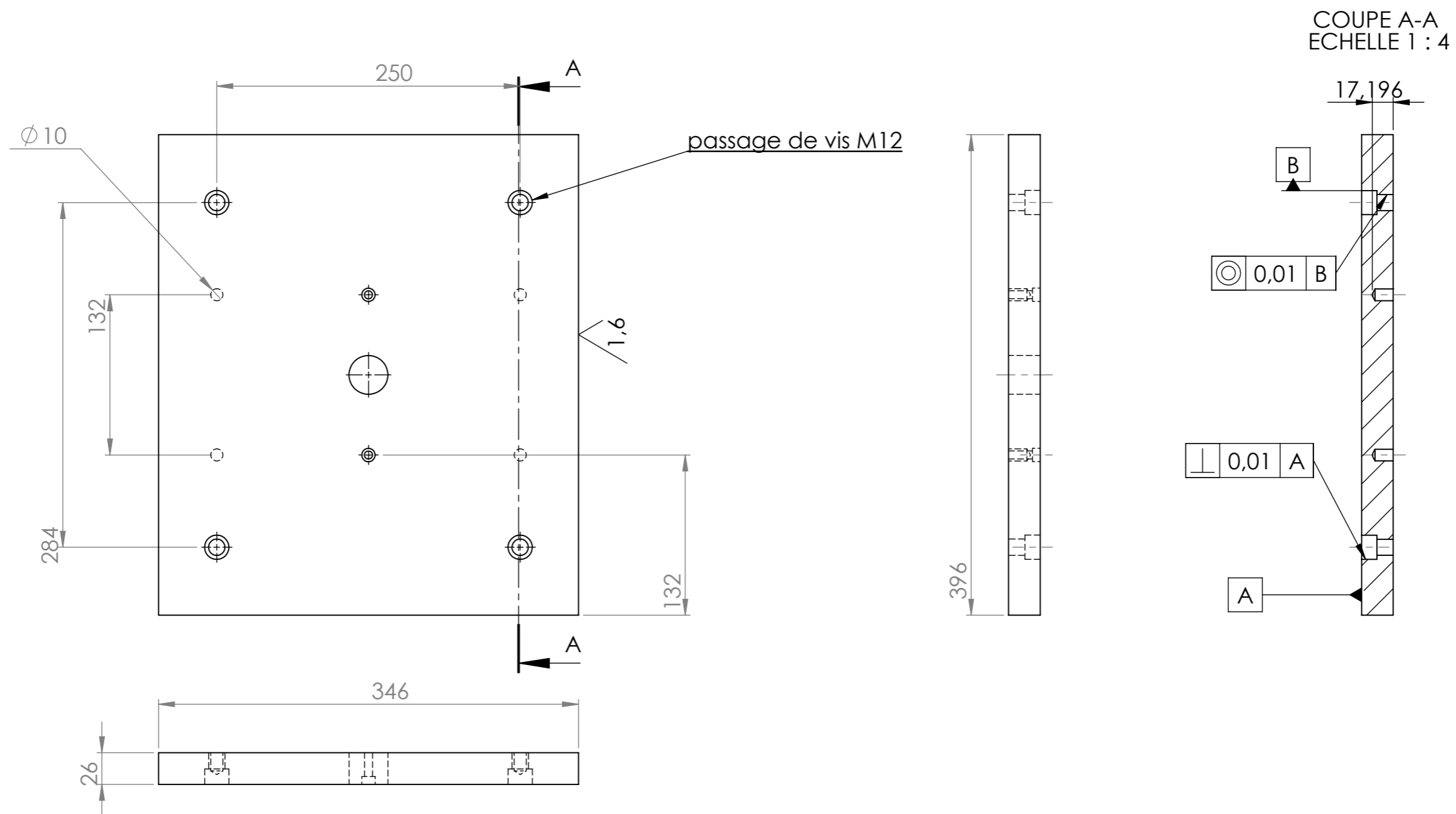
REP	Nbr	porte empreinte fixe Désignation	XC38cr5-1 Matiere	Observation
ECHELLE :		MOULE INJECTION PLASTIQUE		Kacer Ali
A3		UMMTO		projet fin d'etude
				Master II FMP

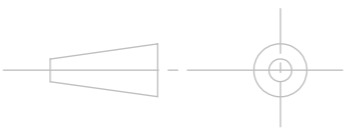


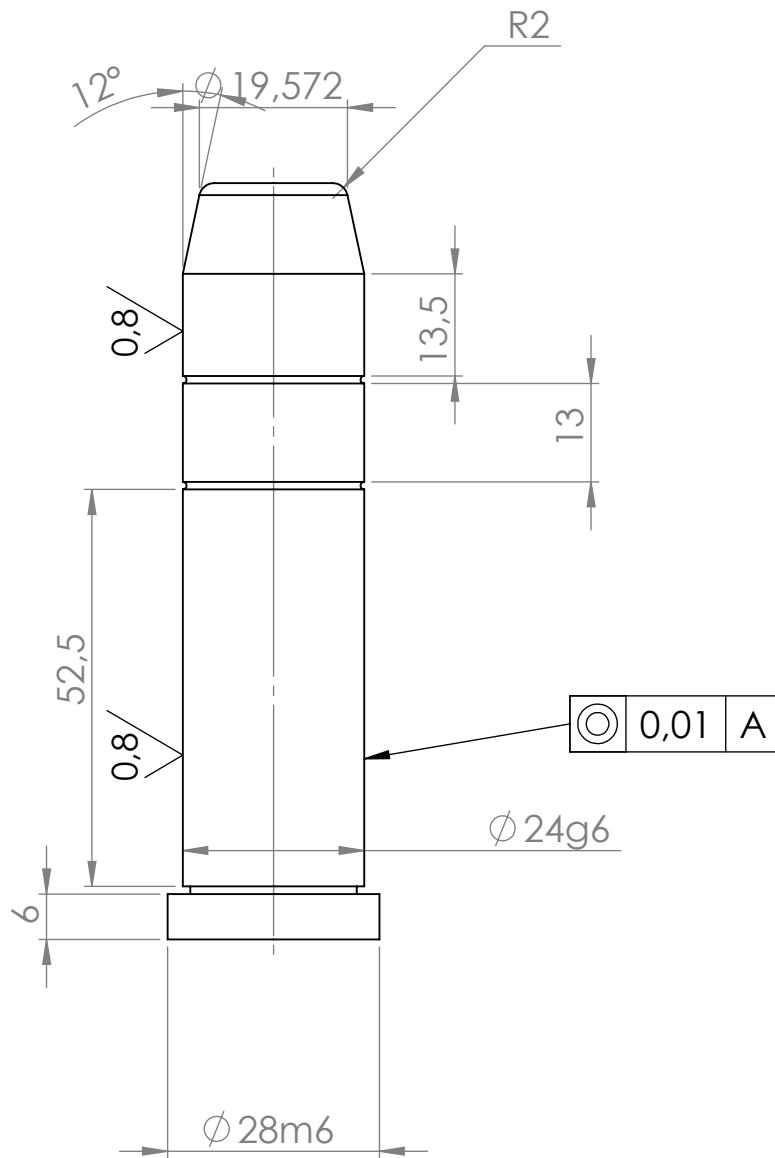
COUPE A-A



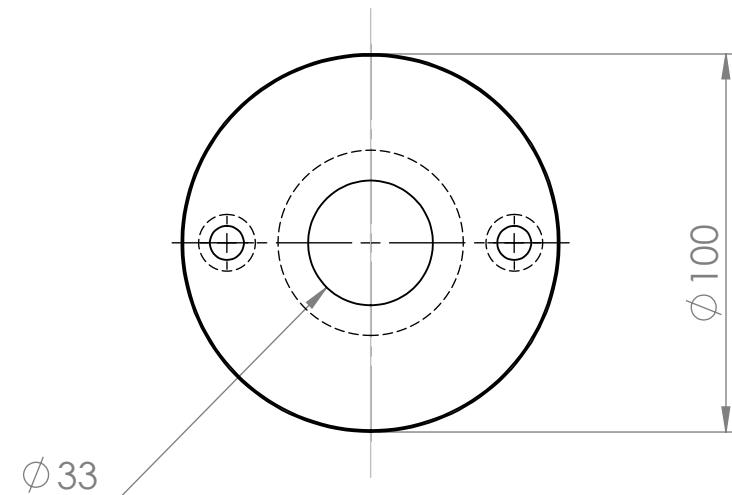
REP	Nbr	semelle fixe Désignation	XC48 Matiere	Observation
ECHELLE : 1 : 5		MOULE INJECTION PLASTIQUE		Kacer Ali
		UMMTO		projet fin d'etude
A3				Master II FMP



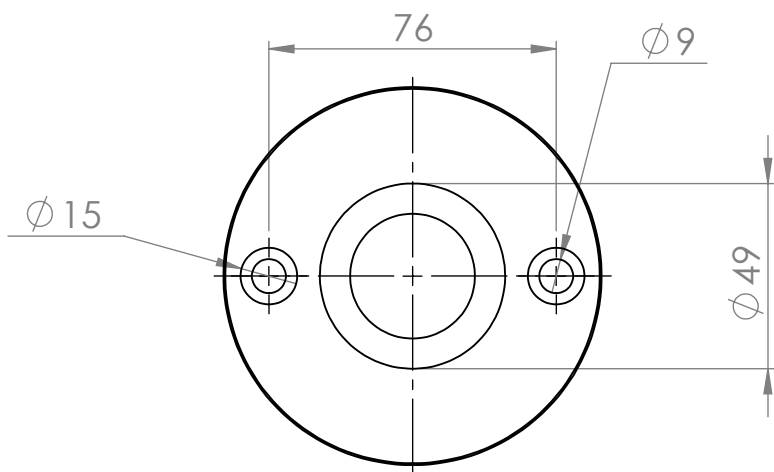
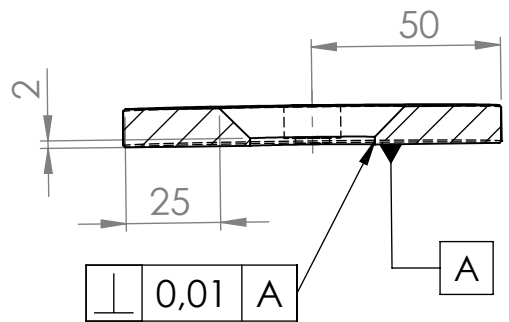
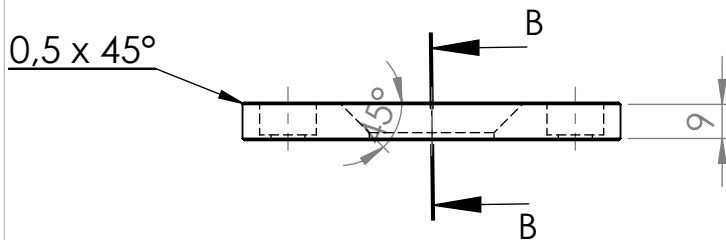
REP	Nbr	semelle mobile Désignation	XC48 Matiere	Observation
ECHELLE : 4:1		MOULE INJECTION PLASTIQUE		Kacer Ali
				
A3		UMMTO		projet fin d'etude Master II FMP




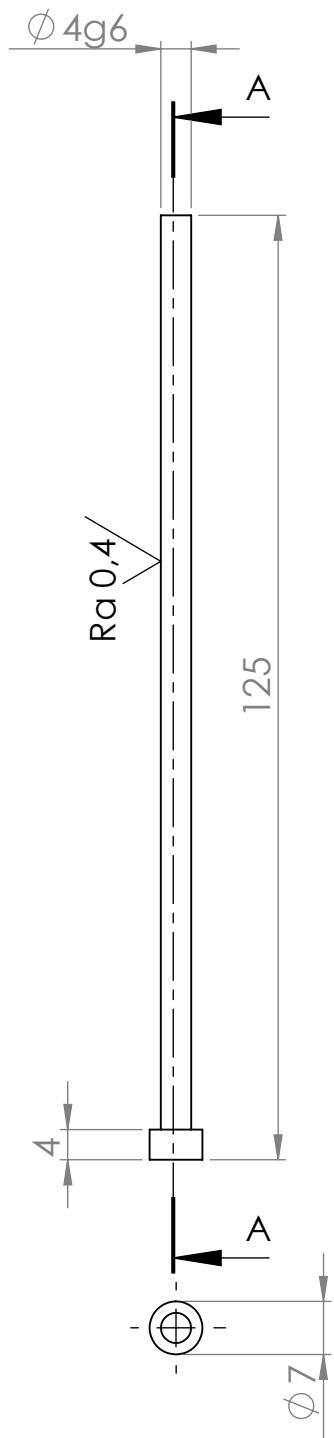
		colone de guidage	16MnCr5	
REP	Nbr	Désignation	Matiere	Obs
ECH : 1/ 1		 Moule injection plastique	Kacer Ali	Projet fin d'etude
A4	U M M T O			



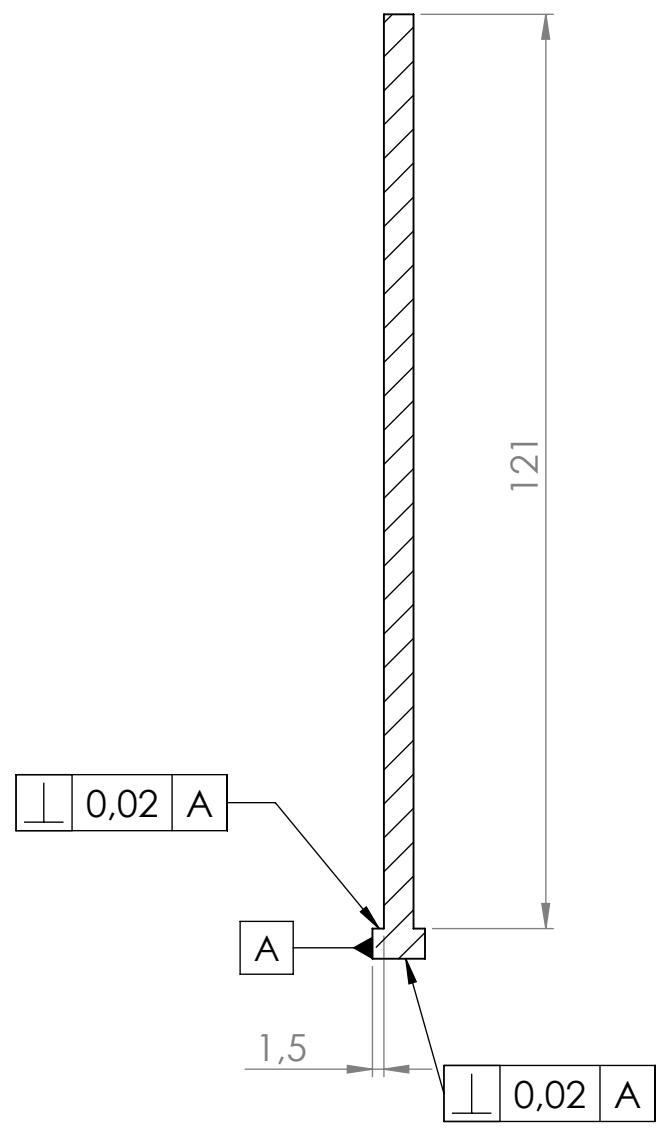
COUPE B-B



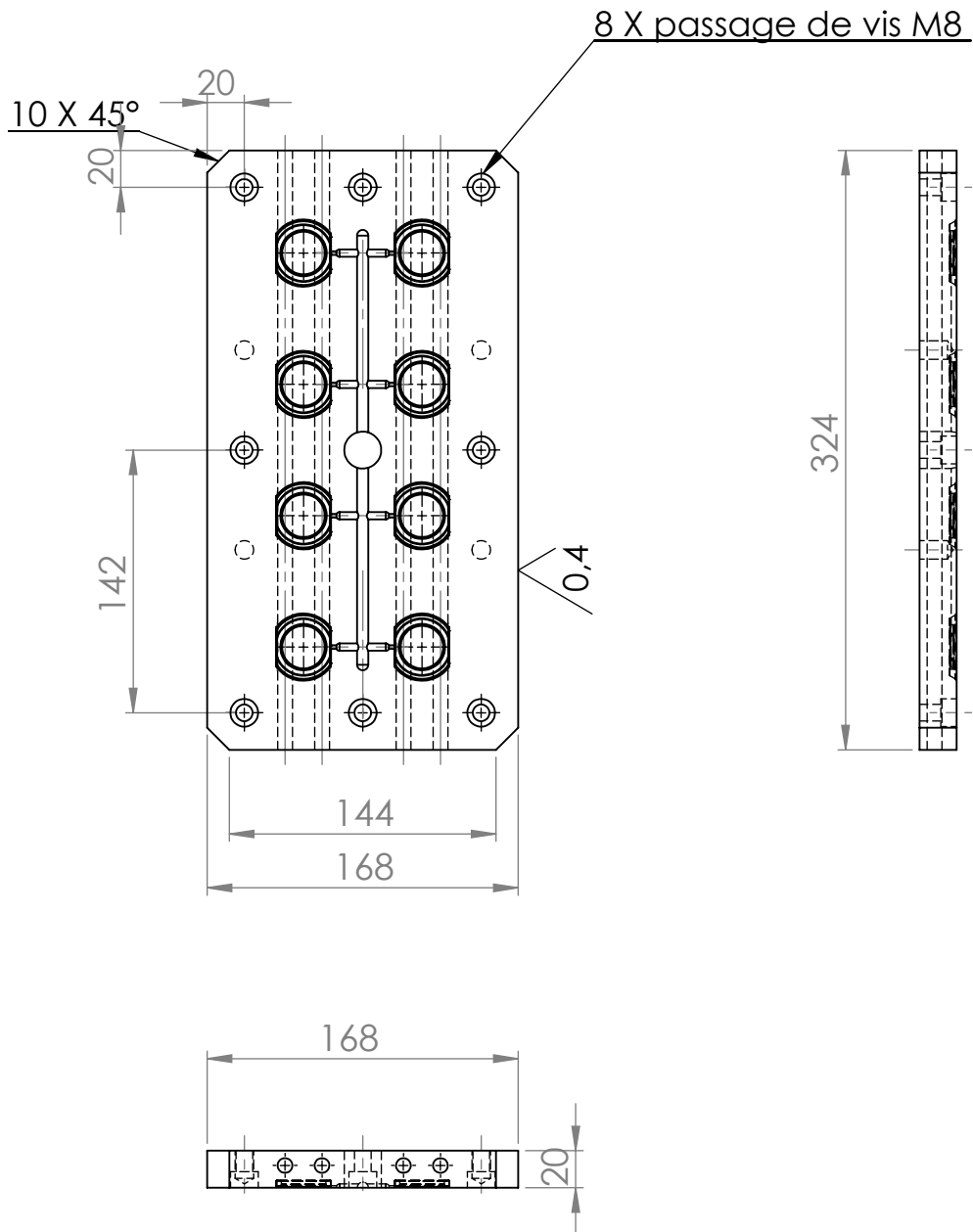
		coron de centrage	34crMo4	
REP	Nbr	Désignation	Matiere	Observation
ECH : 1/ 1		Moule injection plastique		Kacer Ali
				
A4		U M M T O		Projet fin d'etude Master II FMP

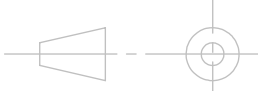


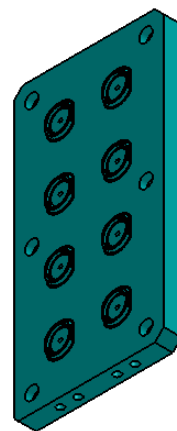
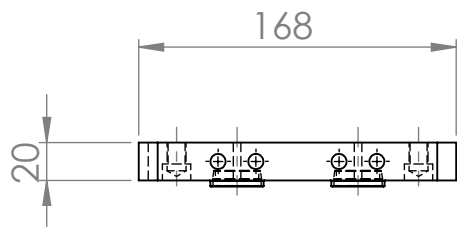
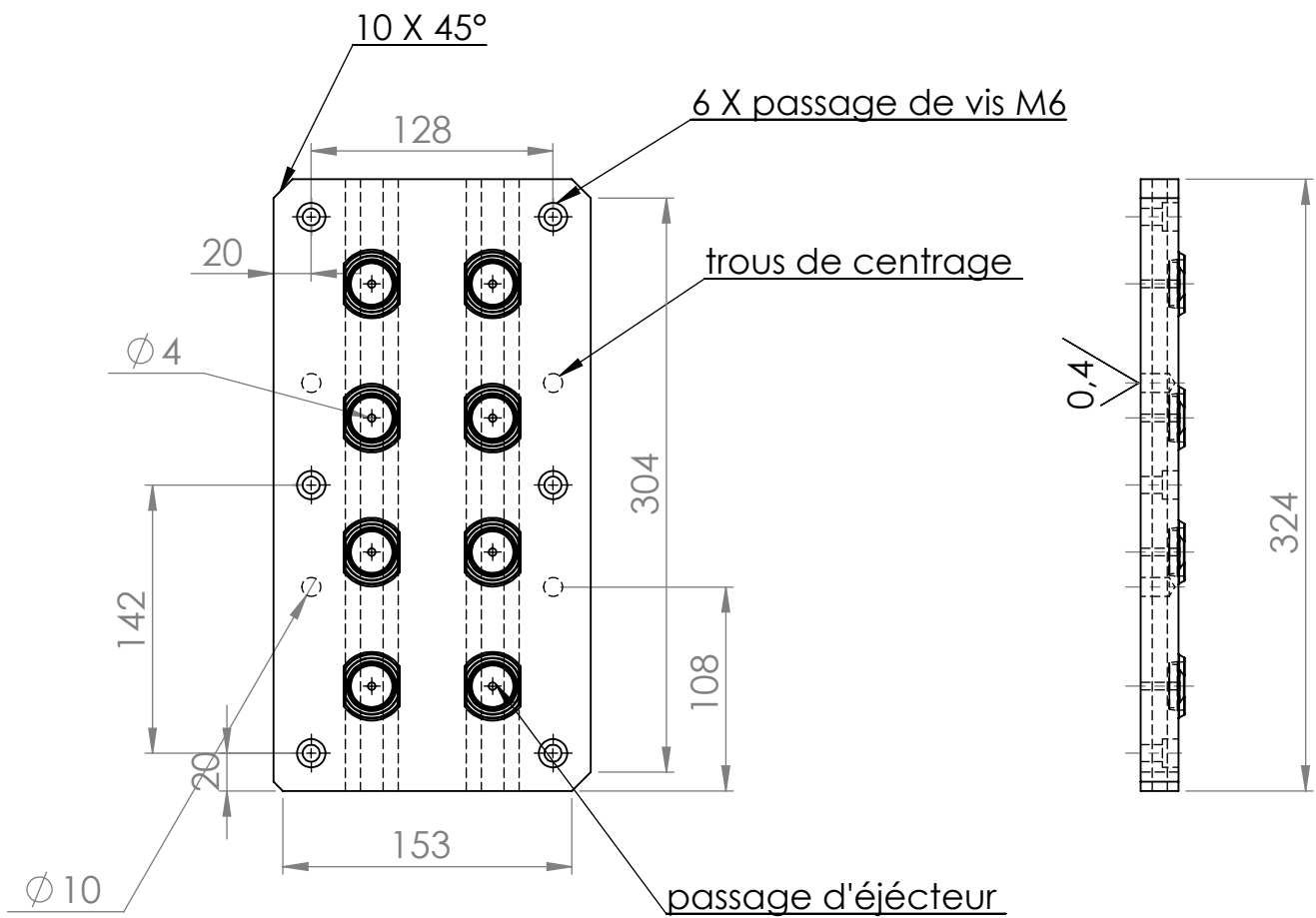
COUPE A-A



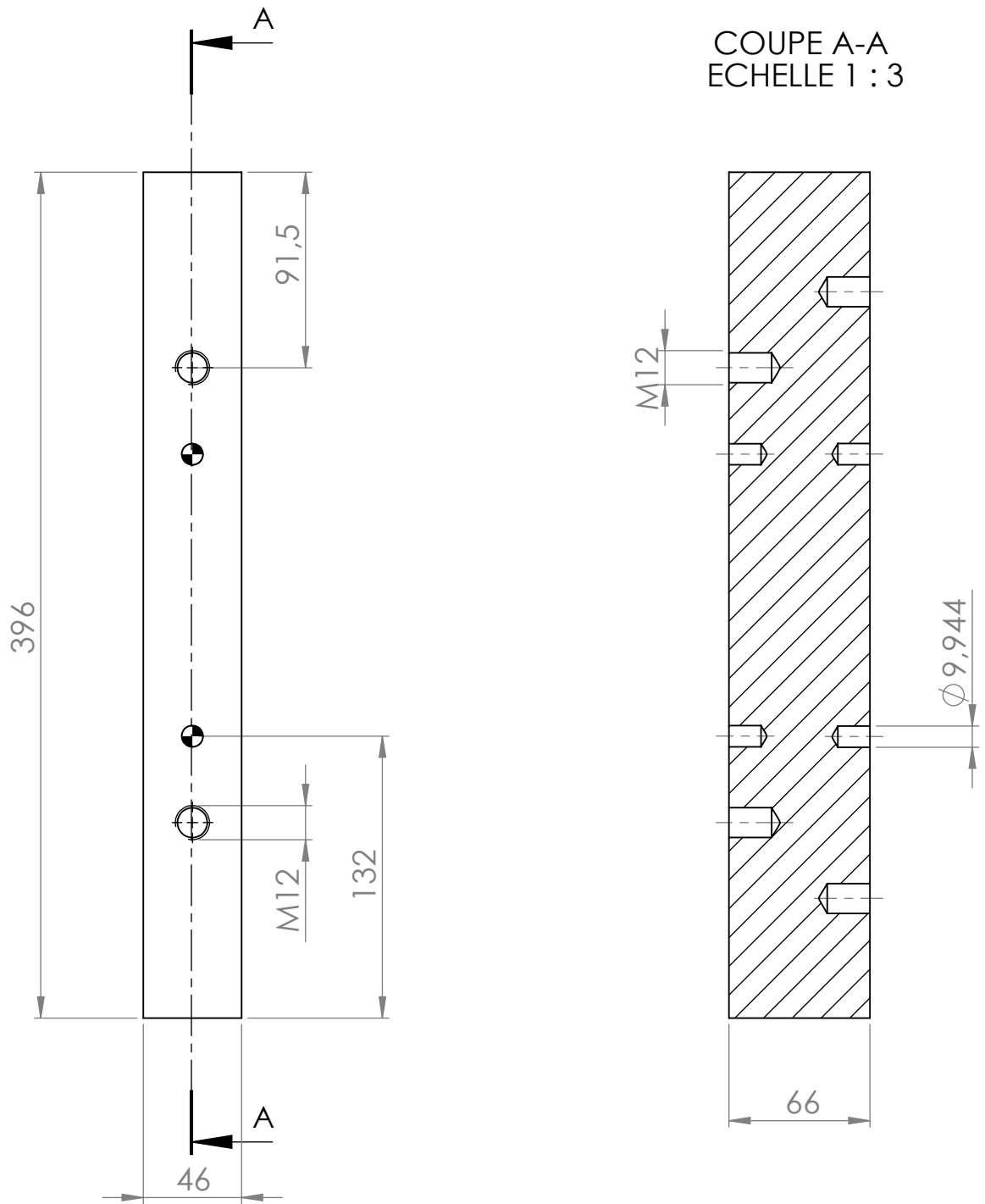
		ejecteur	acier nitruré	trempe
REP	Nbr	Désignation	Matiere	Observation
ECH: 1/ 1		Moule injection plastique		Kacer Ali
A4		U M M T O		Projet fin d'etude
				Master II FMP



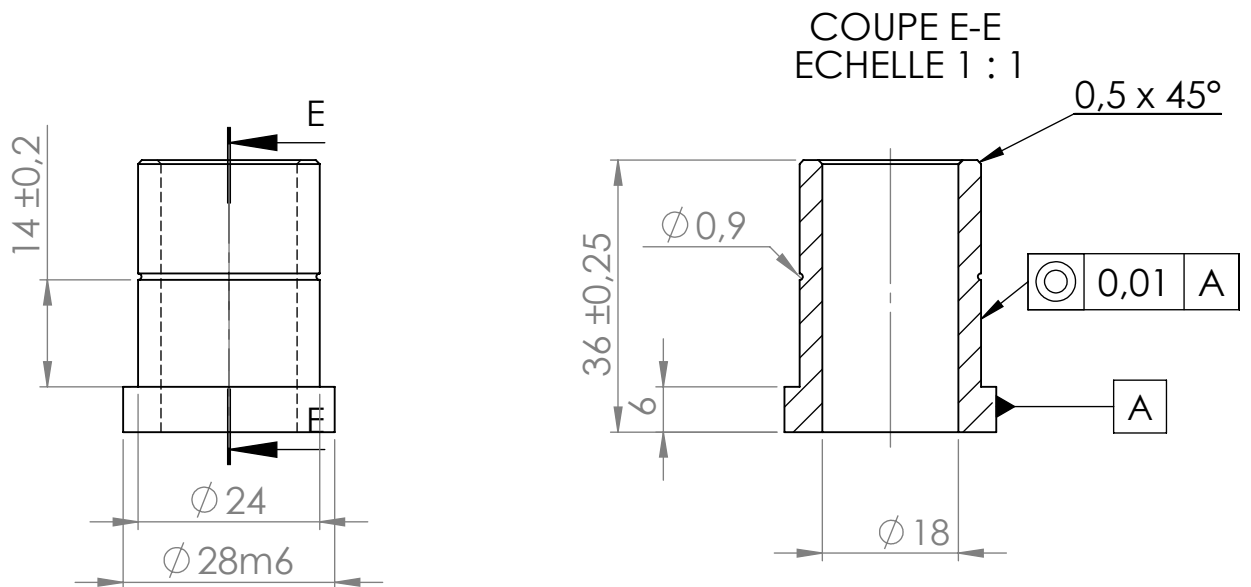
		empreinte complet		
REP	Nbr	Désignation	Matiere	Observation
ECHELLE :1:4			Moule injection plastique	Kacer Ali
A4	UMMTO		Projet fin d'etude	Master II FMP



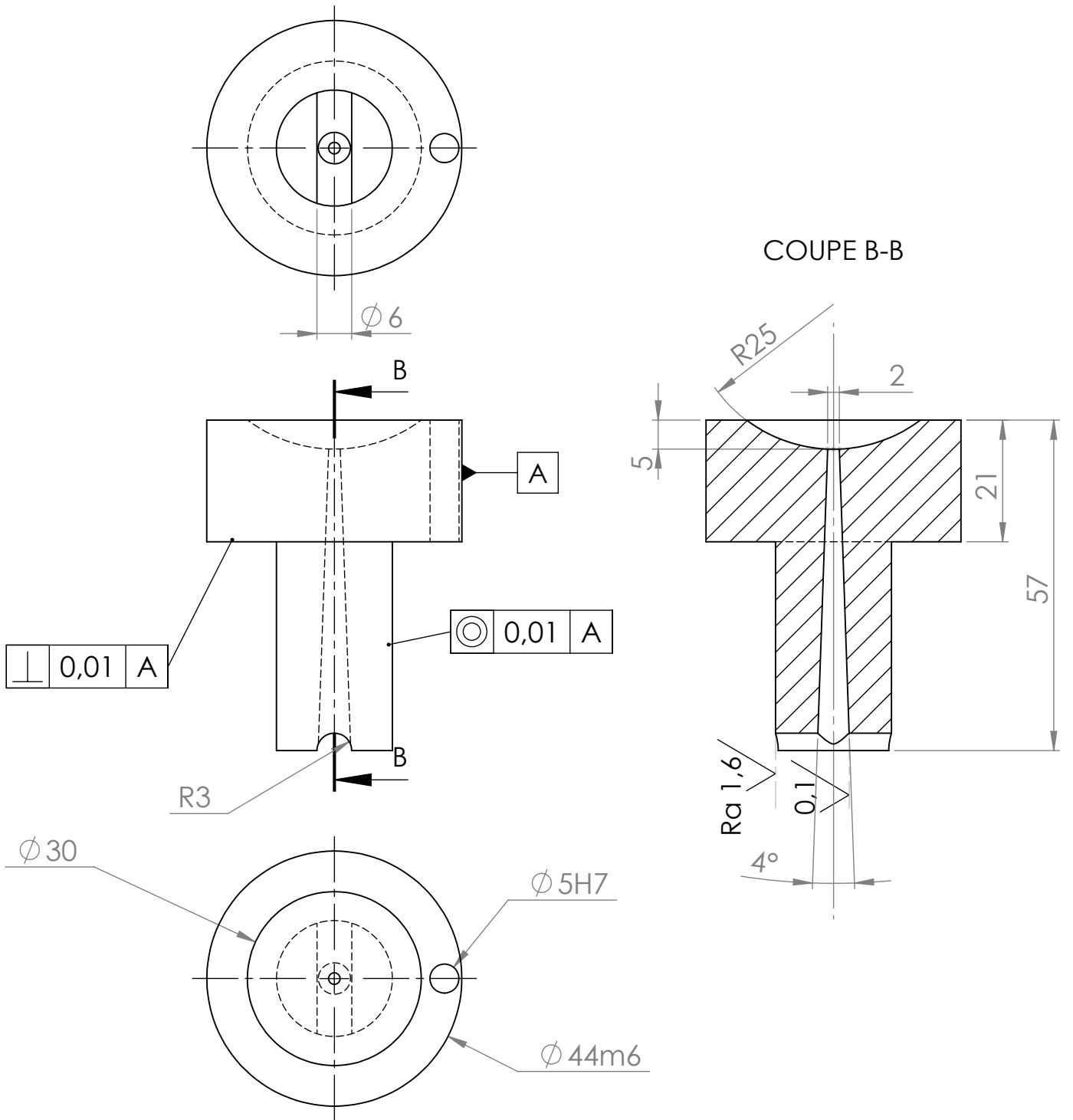
REP	Nbr	Désignation	Matiere	Observation
ECHELLE : 1:4		Moule injection plastique		Kacer Ali
A4		UMMTO		Projet fin d'etude
				Master II FMP

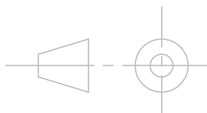


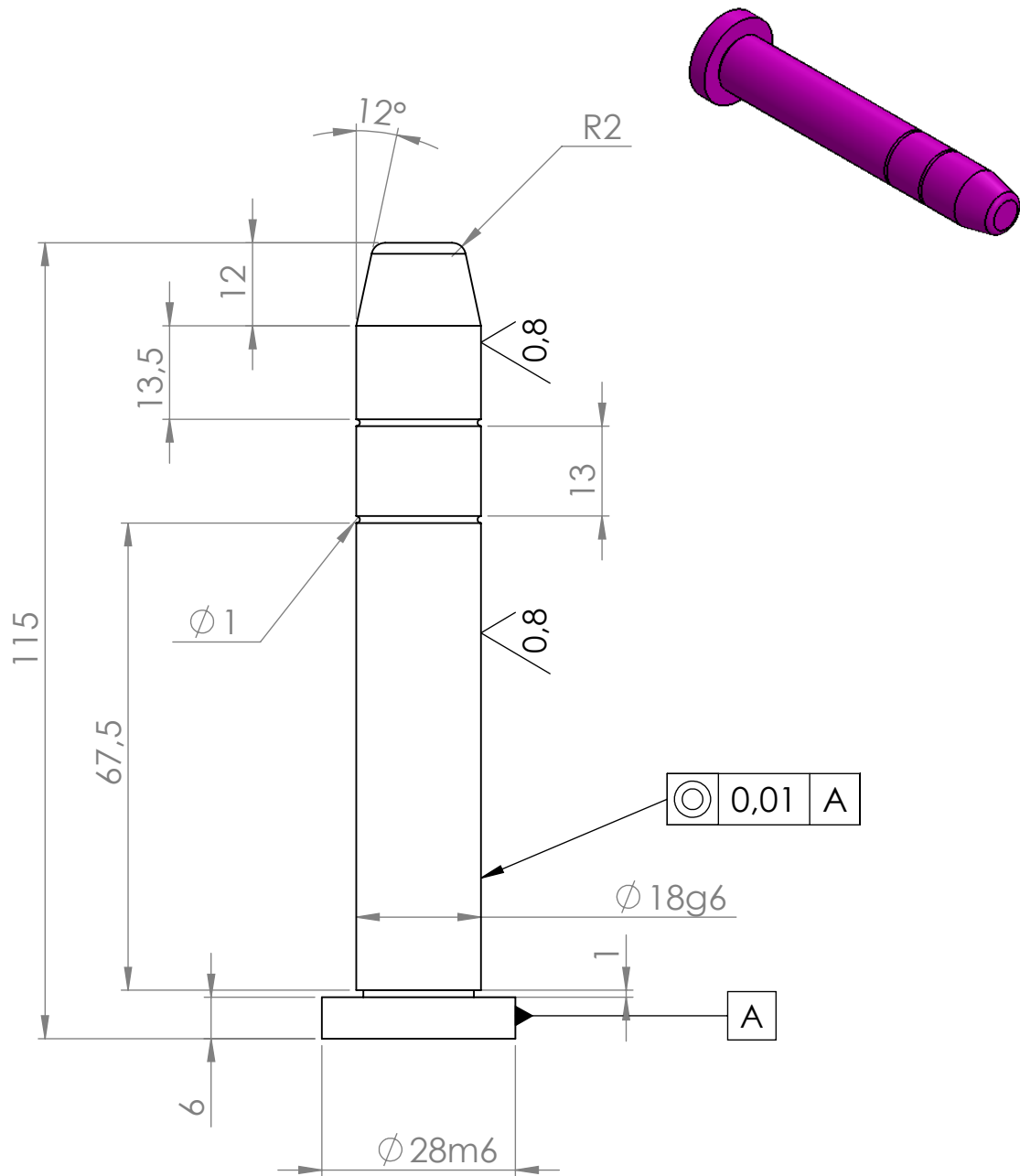
REP	Nbr	Désignation	Matiere	Observation
		tasseau	C45	
ECHELLE : 2:1		Moule injection plastique		Kacer Ali
A4		UMMTO		Projet fin d'etude
				Master II FMP

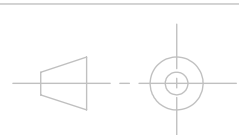


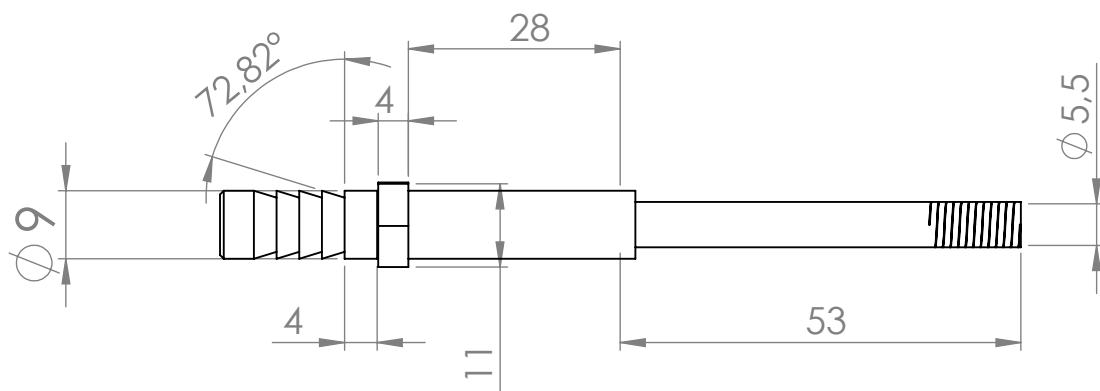
REP	Nbr	Désignation	Matiere	Obs
ECH : 1:1		Moule injection plastique	U M M T O	Kacer Ali
				
A4				Projet fin d'etude
				Master II FMP



		buse d'injection	X38CrMo5	trempé
REP	Nbr	Désignation	Matiere	Obs
ECH : 1:1				Kacer Ali
A4				
				Master II FMP



		colone de batterie	16MnCr5	trempé
REP	Nbr	Désignation	Matiere	Obs
ECH: 1:1				Kacer Ali
A4		UMMTO		Projet fin d'etude
				Master II FMP



REP	Nbr	Tétine	Bronze	Observation
		Désignation	Matiere	
ECHELLE : 1:1		Moule injection plastique		Kacer Ali
A4		U M M T O		Projet fin d'etude
				Master II FMP