



UNIVERSITE MOULOU MAMMERI DE TIZI-OUZOU

Faculté du Génie de la Construction
Département de Génie Mécanique



Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme Master en Génie Mécanique
Option: Fabrication mécanique et productique

Thème

**Etude et conception d'un moule d'injection
plastique d'un cache d'une boîte de dérivation.**

Promoteur :

Mr. BELAID. K

Co-promoteur:

M^{me} SADOUDI. T

Réalisé par :

MASSAID Mouloud

YALALI Mohand Ouidir

Promotion 2018/2019

REMERCIEMENTS

Avant toute chose, je remercie le bon Dieu miséricordieux pour ce qu'il m'a donné, et pour tous les choix qu'il m'a permis de prendre tout au long de ma vie et qui ont fait de moi ce que je suis.

Je remercie, qui ont toujours été là pour m'aimer et me soutenir quel que soit le chemin que j'ai pu choisir.

*L'occasion m'est donnée également de remercier mes enseignants de la graduation qui nous ont guidé et orienté durant toutes ces années. Je souhaite également remercier **mon promoteur Pr. K. BELAID** et **mon Co-Promoteur M. T. SADOUDI** pour ces conseils considérables, ses orientations et sa disponibilité.*

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail A 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 garde.

A mes très chères frères: Moh et Rochdi.

A mes très chères sœurs: Hamida Samira et Selma et leurs maris Samir et Sofiane.

A toute ma famille.

A tous mes amis (es) Yacine, Ahmed, Bosso, Achour, Kouseila, Omar, Nabil, Fayçal, Rezki, Salim, Brahim, Yacine, Belaid et tous ceux que j'aime.

Mouloud

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A 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 garde

A mes très chers frères: M'HAND et ALI et AGHILAS et sa femme;

A mes très chères sœurs: FETOUMA et KAHINA et leurs maris;

A ma nièce : ALICIA;

A mon neveu : SGHIR [pourtouche];

A ma grande mère : ZAHRA;

A mon grand-père : DJAFER;

A toute ma famille ;

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

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

Mohand Ouidir

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur la matière plastique	
I- Historique	6
I-1. Matières plastiques	6
I-1-1. Définition.....	6
I-1-2. Chimie et Composition générale	6
I-2. Les origines des matières plastiques	7
I-2-1. Origine animale	7
I-2-2. Origine végétale.....	7
I-2-3. Origine naturelle	8
I-2-4. Atomes composant les matières plastiques	9
I-3. Familles de plastique et leurs usages	9
I-3-1. Les thermoplastiques	9
I-3-2. Les thermodurcissables	11
I-3-3. Les élastomères	12
I-3-4. Le matériau ABS	13
I-4. Propriétés des matières plastiques	17
I-4-1. Propriétés mécaniques	17
I-4-2. Propriétés chimiques	17
I-4-3. Propriétés thermique et physique	18
I-5 Les polymères	18
I-5-1. Définition.....	18
I-5-2. Généralités	18
I-5-3. Polymérisation.....	19
I-5-4. Copolymérisation	22
I-6. Les techniques d'identification des matières plastiques	23
I-6-1. Matériel et produits.....	23
I-6-2. Principe	24
I-6-3. Les tests d'identification	25

Chapitre II : Mise en forme des matières plastiques

II. Introduction.....	28
II.1. Moulage par injection	29
II.2 Description d'une presse a injection.....	30
II.3. Différentes parties d'une presse à injection	34
II.3.a. Unité d'injection	34
II.3.b. Unité de serrage	34
II.3.c. Outillage.....	35
II.3.d. Le moule	36
II.3.e. Canaux de refroidissement.....	37
II.4. Le cycle de moulage par injection	37
II.5. Les vises d'injection	40
II.5.1. Etude d'une vis standard d'injection plastique.....	40
II.5.2. Composant d'une vis de transport	40
II.5.3. Caractéristique d'une vis plastification.....	41
II.5.4. Rôle d'une vis d'injection plastique	41
II.5.5. Types de vis d'injection.....	42
II.5.6.Procède de fabrication de la vis	43
II.5.7. Le groupe d'entraînement de la vis.....	43
II.6. Les défauts d'injection tels que déformation géométrique, baveur, et remèdes.....	43
II.6.1. les défauts géométriques	43
II.6.2. Bavure.....	44
II.6.3. Remèdes.....	45
Conclusion.....	46

Chapitre III : Conception générale des moules

III.1. Introduction	47
III.2. Description de l'empreinte	48
III.2.Constitution de la carcasse	50
III.2.1. Généralités	50
III.2.2. Éléments constitutifs de la carcasse	50
III.4. Alimentation de l'empreinte.....	55
III.4.1. Alimentation à canaux froids.....	55
III.4.2. Alimentation à canaux chauds.....	56

III.4.3. Comparaison des deux types d'alimentation	56
III.5. Structure de l'empreinte	57
III.5.1. Différents types	57
III-5-2- Éléments mobiles de l'empreinte	59
III.5.3.Dépouilles.....	60
III.5.4. Plan de joint de l'empreinte.....	61
III.5.5. Évacuation de l'air de l'empreinte	62
III.5.6. Déformation de l'empreinte	63
III.5.7. Mécanismes liés à l'empreinte	64
III.6. Matériaux constitutifs de l'empreinte.....	64
III.6.1.Généralités	64
III.6.2.Aciers.....	65
III.6.3.Aciers à surface améliorée.....	66
III.6.4. Aciers trempés à cœur. Electroérosion	66
III.6.5. Aciers anticorrosion.....	66
Conclusion.....	67
3.2.3 Matériaux non ferreux	67
3.2.3.1 Alliages de cuivre	67
3.2.3.2 Alliages d'aluminium	67
3.2.3.3 Alliages de zinc	68
3.2.3.4 Alliages à bas point de fusion.....	68
3.2.3.5 Matières composites. Résines chargées.....	69

Chapitre IV : Calcul et conception du moule

IV. Introduction	70
IV-1. La CAO (conception assistée par ordinateur)	70
IV-1-1. Définition de la CAO.....	70
IV-1-2. Domaines de la CAO	70
IV-1-3.Avantages de la CAO	70
IV-1-4.Application	71
IV-1. Le choix de la machine	71
IV-1-1. La capacité d'injection.....	71
IV-1-2. La force de fermeture de la machine	73
IV-1-3. La Puissance de plastification (C)	74

IV-1-4. La distance entre colonnes.....	75
IV-1-5. Epaisseur minimale du moule.....	75
IV-1-6. Caractéristiques techniques de la Presse 220 T (i9)	76
IV-2. Le bilan thermique	77
IV-2-1. Principe de refroidissement	77
IV-2-2. Temps de refroidissement.....	77
IV-2-3. Temps de cycle	78
IV-2-4. Calcul de la quantité de chaleur évacuée.....	80
IV-2-5. Détermination de la consommation horaire de liquide.....	80
IV-2-6. Détermination de la longueur totale de refroidissement.....	81
a- La température du film	81
a .1- La viscosité dynamique (μ)	82
a .2- La chaleur spécifique ou la capacité calorifique de l'eau (C_p)	82
a .3- La masse volumique (ρ)	82
a .4- La conductivité thermique (λ).....	82
a .5- La viscosité cinématique (ν).....	82
a .6- Le nombre de Reynolds (Re).....	83
a .7- Le nombre de Prandtl (Pr).....	84
a .8- Le coefficient d'échange convectif(h).....	84
IV-3. Résistance des matériaux	84
IV-3-1. Les pièces constituant le moule	84
IV-3-2. Résistance des éléments constituant le moule au matage dû à la force de fermeture du moule.....	85
IV-3-3. Résistance des colonnes de guidage au cisaillement	87
IV-3-4. Vérification des colonnes de rappel de la batterie d'éjection au cisaillement.....	88
IV-3-5. Résistance des 8 vis CHC au cisaillement dû au poids de l'empreinte fixe et porte empreinte fixe.....	88
IV-3-6. Calcul du diamètre des vis CHc des tasseaux et porte empreinte mobile	89
IV-3-7. Résistance des goupilles de centrage au cisaillement.....	90
IV-3-8. Vérification des vis de fixation utilisées sur chacune des semelles du moule	91
IV-4. Conclusion	91
Conclusion générale.....	92

Bibliographie

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur la matière plastique

Figure I.1 : Organigramme de l'unité froide	4
Figure I-2: Origine animale des plastiques	7
Figure I-3 : Origine végétale des plastiques.....	8
Figure I-4 : Transformation du Pétrole en Matières Plastiques	8
Figure I-5: Origine naturelle des plastiques	8
Figure I-6 : Produits pétrochimiques à base des matières plastiques	9
Figure I-7 : Acrylonitrile butadiène styrène.....	14
Figure I-8 : La carrosserie en ABS de la Méhari	15
Figure I-9 : ABS (Acrylonitrile-butadiène -styrène).....	16
Figure I-10 : Processus de polymérisation	19
Figure I-11 : Unité répétitive du polychlorure de vinyle	19
Figure I.12 : Polymérisation du polyéthylène	19
Figure I.13 : Degré polymérisation	20
Figure I.14: courbe de répartition des chaînes moléculaires dans un échantillon de polymère ..	20
Figure I.15 : Différent type de chaîne	20
Figure I.16 : Polymérisation radicalaire par ouverture de double liaison	21
Figure I.17 : Polymérisation par ouverture de cycle	21
Figure I.18: Polymérisation par ouverture de cycle polyamide 6 différents des autres polyamides	21
Figure I.19 : Les trois formes de la chaîne de polystyrène	21
Figure I. 20 : Synthèse des polyamides.....	22
Figure I.21 : Homopolymères	22
Figure I.22 : Deux monomères distincts	22
Figure I.23 : La combinaison peut se faire en bloc	22
Figure I.24 : La combinaison peut prendre une forme aléatoire	22
Figure I.25 : La combinaison peut prendre une forme alternée	22

Figure I.26 : Formule du polystyrène butadiène styrène (SBS).....	22
Figure I.27 : Organigramme des essais pour l'identification des plastiques	24

Chapitre II : Mise en forme des matières plastiques

Figure II.1 : Système d'injection.....	30
Figure II.2 : Cylindre de plastification et moule.....	31
Figure II.3 : Schéma d'une presse à injecter électrique à vis de plastification	32
Figure II.4 : Mécanisme de l'avancement et reculement du moule	33
Figure II.5 : Exemples de différents systèmes de plastification de presse à injecter.....	33
Figure II.6 : Présentation machine u moulage par injection	34
Figure II.7 : Machine de moulage par injection – Unité de serrage	35
Figure II.8 : Présentation du moule.....	36
Figure II.9 : Base du moule.....	36
Figure II.10 : Les canaux du moule	37
Figure II.11 : Etapes du procédé d'injection-moulage des thermoplastiques.....	38
Figure II.12 : Cycle d'injection plastique	39
Figure II.13 : Schéma d'un groupe de plastification.....	40
Figure II.14 : Profil d'une vis de plastification	41
Figure II.15 : Profil d'une vis barrière de type "Maillefer	42
Figure II.16 : Schéma de principe de la vis avec de système de dégazage	42
Figure II.17 : Vis à énergie de transfert, d'après C. Chung, "A novel energy efficient screw design», SPÉ Antec 168, page 168-169, Mai 1983	43

Chapitre III : Conception générale des moules

Figure III-1: Différentes configurations des moules d'injection selon la direction d'injection par rapport à leurs plan de joint	48
Figure III-2 : Éléments constitutifs d'un moule	49
Figure III-3 : Différents usinages des bords de plaques : fraises dans le plan de joint, facilitant le démontage des plaques	50
Figure III-4 : Exemple de carcasse coulée en alliage d'aluminium (d'après document Lugand).....	51
Figure III-5 : Assemblages et centrages des plaques.....	52
Figure III-6 : Différents types de fixation des moules.....	52

Figure III-7 : Exemples de fixations de colonnes et de douilles de guidage, avec quelques tolérances dimensionnelles.....	53
Figure III-8 : Goujon de centrage conique	53
Figure III-9 : Centrage à l'aide d'un anneau conique.....	54
Figure III-10 : Exemples d'entraînement de plaques flottantes.....	55
Figure III-11 : Blocage d'un plateau flottant.....	55
Figure III-12 : Différents types d'alimentation	57
Figure III-13 : Poinçons et matrices usinées directement dans les blocs des moules.....	58
Figure III-14 : Poinçons rapportés et immobilisés	58
Figure III-15 : Matrices rapportées avec deux exemples d'immobilisation	58
Figure III-16 : Poinçon composé de pièces rapportées.....	59
Figure III-17 : Moule à tiroir pour une pièce comportant des contre-dépouilles extérieures	59
Figure III-18 : Ouverture d'un moule à segments pour une pièce comportant des contre-dépouilles intérieures	60
Figure III-19 : Moule à coquilles pour une pièce comportant des contre-dépouilles extérieures	60
Figure III-20 : Différents plans de joints de moule	62
Figure III-21 : Évacuation de l'air dans le plan de joint de l'empreinte.....	62
Figure III-22 : Évacuation de l'air dans le plan de joint et dans les canaux d'alimentation de pièces d'optique en PMMA	63
Figure III-23 : Mécanismes d'entraînement des éléments moulant définissant un filetage extérieur.....	64
Figure III-24 : Empreinte en polyester revêtue d'une couche d'alliage pulvérisé	68

Chapitre IV : Calcul et conception

Figure IV-1 : Caché de la boîte de dérivation	72
Figure IV-2 : La carotte.....	73
Figure IV-3 : Schémas d'un plateau d'une presse 220 T	75
Figure IV-4 : Caractéristiques dimensionnelles de la presse 220 T	76
Figure IV-5 : Variation de la pression /temps	79
Figure IV-6: La distribution des différentes températures dans le tube à l'intérieur du moule ..	81
Figure IV-7 : Colonnes de guidage	87
Figure IV-8 : Schéma semelle mobile, tasseau et porte empreinte mobile	90

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralités sur la matière plastique

Tableau 1 : Différents thermoplastiques	11
Tableau 2 : Différents thermodurcissables.....	12
Tableau 3 : Différents élastomères.....	13

Chapitre III : Conception générale des moules

Tableau 1 : Influence de la rugosité sur la dépouille pour trois polymères	61
Tableau 2 : Composition d'aciers utilisés pour la construction d'empreintes	65

Chapitre IV : Calcul et conception

Tableau IV-1 : Capacité d'injection.....	72
Tableau IV-2: La pression d'injection (Tonnes/cm ²).....	74
Tableau IV-3 : Caractéristique technique de la presse 220T i9	76
Tableau IV-4 : Les températures réglées	77
Tableau IV-5 : Grandeurs thermiques de quelques matières de pièces injectées	78
Tableau IV-6: Conditions de moulage par injection plastique	79
Tableau IV-7 : Le tableau de la distribution des températures	82
Tableau IV-8 : Quelques groupements sans dimensions	83
Tableau IV-9: Pièces constituant le moule	85

Liste des symboles

ENIEM : Entreprise Nationale de l'Industrie de l'Electroménager

CAO : conception assistée par ordinateur

SONELEC : société nationale de fabrication et de montage et de commercialisation des produits électroménagers

CAM : complexe d'Appareils Ménagers

ABS : Acrylonitrile butadiène styrène

PS : Polystyrène

PE : Polyéthylène

PP : Polypropylène

PVC : Polychlorure de vinyle

PC : Polycarbonate

POM : Polyacétals ou polyoxyméthylène

PA : Polyamides

PMMA : Polyméthacrylate de méthyle

PETE : polyéthylène téréphtalate

PEHD : polyéthylène haute densité

PEHD : polyéthylène haute densité

e : épaisseur

L : Longueur

Lc : Longueur totale des canaux

P : Pression dans la cavité

S : Surface

K : Coefficient de sécurité

N : Effort normal

F : Force de fermeture de moule

σ : Contrainte

C : puissance de plastification

[τ]_{cis} : Contrainte de cisaillement admissible

S : Coefficient de sécurité
Spj : surface de plan de joint
Re: Limite élastique du matériau
 σ_e : Limite de fatigue
tr : temps de refroidissement
ti: temps d'injection
tm: temps de maintien
te : temps d'éjection
to: temps d'ouverture
tf : temps de fermeture
D : diffusivité thermique du plastique
Tm : température de la matière à l'injection
Te: température de la matière à l'éjection
Q : quantité de chaleur à évacuer
Mc : la masse de la carotte
M : masse de la grappe moulée
Hi: enthalpie de la matière a la température d'injection
He : enthalpie de la matière a la température d'éjection
Dc : diamètre des canaux
 ρ : Masse volumique du fluide de refroidissement
Lc : Longueur totale des canaux
Tc : temps de cycle
Te: température de fluide au centre du canal
L : longueur de l'élément
D : diamètre
n : le nombre de section cisillées
 α : Coefficient de transmission /circuit de refroidissement
V : vitesse de circulation des fluides
 δ : Distance canaux de refroidissement empreint
 λ : Conductivité de l'eau
 $\Delta\theta$: Différence de température de l'empreinte par rapport au circuit de Refroidissement
Tf : température de film
K : Coefficient de transmission thermique
h : Coefficient de transfert thermique.
Pr: nombre de Prandtl
Re: nombre de Reynolds
Tee : température d'entrer d'eau
Ts : température de sortie d'eau
 μ : la viscosité dynamique
 ν : la viscosité cinématique
NU : Nombre de Nusselt.

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Les plastiques apparaissent aujourd'hui comme des matériaux de grandes utilités. L'essor constant de la production d'articles en plastique partout dans le monde tient directement aux qualités intrinsèques de tels objets.

Les plastiques concurrencent les autres matériaux traditionnels dans pas mal de domaines comme dans l'emballage, la construction, l'industrie automobile et dans autres branches de l'industrie.

Les matières plastiques courent une gamme très variée de matériaux polymère synthétique ou artificiels. Les critères gouvernant leur choix sont plus nombreux que ceux qui caractérisent les autres matériaux. Parmi ces critères, il est possible de citer

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

Durant ces dernières années, les entreprises nationales vivent une situation de concurrences, cela les mène à produire des biens et des services au plus bas coût possible et dans un temps réduit. Les concurrences entre les entreprises industrielles les obligent à produire des biens et des services de qualité et au plus bas coût possible et dans un temps assez acceptable.

Comme toutes les entreprises. L'entreprise ENIEM a décidé de s'inscrire dans son environnement. Pour cela le service de développement de cette importante société, a pris l'initiative de fabriquer certaines pièces dans ses ateliers pour éviter leur importation. L'objectif de notre projet est la conception, en utilisant un logiciel de conception (CAO) Solid Works, d'un moule d'injection plastique pour la fabrication du cache de la boîte de dérivation. Ainsi notre travail est articulé, après l'introduction générale, selon le plan suivant :

Chapitre I : généralités sur la matière plastique.

Chapitre II : mise en forme des matières plastiques.

Chapitre III : conception générale des moules.

Chapitre IV : Conception et calculs.

En fin, nous terminons avec une conclusion générale.

PRESENTATION D'ENTREPRISE

I- Historique :

L'entreprise Nationale des industries de l'électroménager (ENIEM) est issue de la Restructuration organique de la SONELEC (société nationale de fabrication et de montage et

De commercialisation des produits électroménagers) et disposait à sa création de :

- Complexe d'Appareils Ménagers (CAM) de TIZI OUZOU, entrée en production en juin 1977.
- Unité Lampes de Mohammedia (ULM), entrée en production en février 1979.

En 1989, l'entreprise ENIEM est devenue une société par actions au capital de 40.000.000DA.

Avec un capital social de 2.957.500.000 DA, détenu en totalité par la société de gestion de Participation «Industries Electrodomestique» (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 située également à la zone industrielle «Aissat Idir». Sa filiale lampes est implantée à Mohammedia.

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

Actuellement, l'entreprise ENIEM est constituée de :

- La direction générale (DG).
- L'unité froide (UF).
- L'unité cuisson (UCuis).
- L'unité climatisation (UCL).
- L'unité prestation technique (UPT).
- L'unité commerciale (UC).
- L'unité sanitaire (US).
- La filiale FILAMP.

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

L'entreprise ENIEM aujourd'hui a une importante gamme de production, ces produits sont :

- Les réfrigérateurs petit et grand modèle (RPM et RGM) ;
- Le combiné ;
- Le congélateur vertical ;
- Cuisinières à 4 et à 5 feux ;
- Climatiseurs type fenêtre et split-système.

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

II- Principales missions et activités de l'entreprise :

a) Direction générale:

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

b) Unité froid :

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

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

c) Unité cuisson:

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

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

d) Unité climatiseur:

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

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

e) Unité sanitaire :

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

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

f) Filiale Filamp :

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

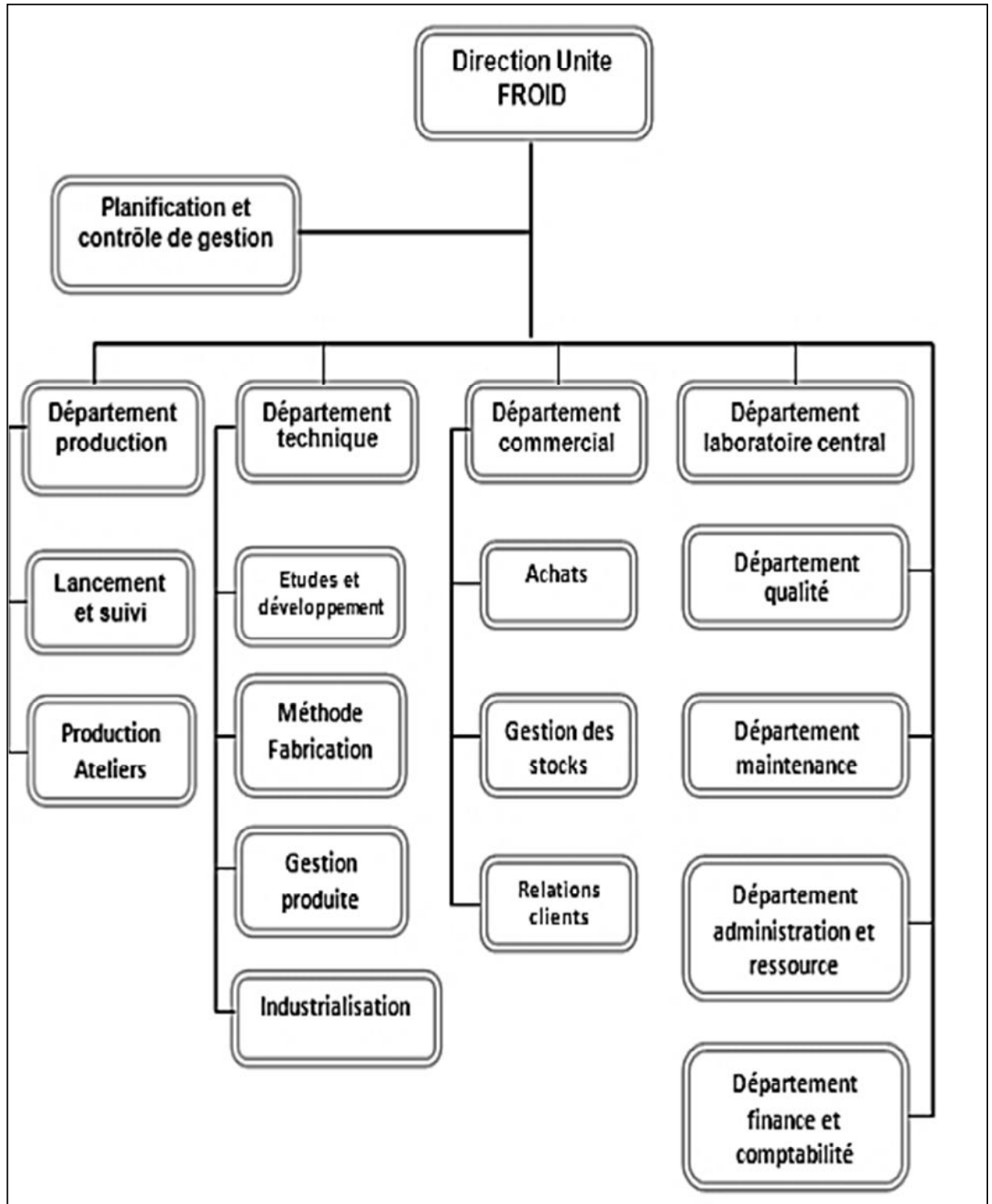


Figure I.1 : Organigramme de l'unité froid.

Présentation du sujet :

Sur le marché du plastique l'entreprise L'ENIEM en concurrence rude avec d'autres géants dans le secteur, de jour en jour les changements de design deviennent si fréquents que pour s'accaparer sa part du marché, elle est obligée d'améliorer et de concevoir de nouveaux produits.

L'entreprise se voit dans l'obligation de fabriquer certains nouveaux produits au sein de ses ateliers afin de satisfaire les demandes du marché qui augmente jour après jour.

Le cache d'une boîte de dérivation est l'un des produits visés par l'entreprise pour l'amélioration de ces produits.

Travail demandé :

Le travail consiste en l'étude et la conception d'un moule à injection plastique d'un cache de boîte de dérivation à 4 empreintes.

Notre travail se répartit en deux étapes,

1. Conception du moule sur logiciel solidworks :

Consiste à concevoir le cache de la boîte de dérivation et ces empreintes ainsi que toutes les composants du moule avec deux plaques électriques.

2. Calcul et vérification dimensionnel :

Ce sont des calculs qui nous permettent de choisir la machine adéquate et de vérifier la résistance des éléments constituant le moule aux efforts du moulage.

Chapitre I :

Généralités sur la matière plastique

I- Historique

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

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

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

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

I-1. Matières plastiques : [1]

Les plastiques inventés ont remplacé les matériaux traditionnels comme le bois ou le métal dans de nombreuses utilisations industrielles. Ces matériaux présentent de bonnes propriétés physiques, ils sont légers, hygiéniques, résistants et durables. C'est grâce à toutes leurs qualités qu'elles sont devenues irremplaçables et omniprésentes dans les objets de notre vie quotidienne.

I-1-1. Définition :

La matière plastique est un mélange contenant une matière de base, susceptible d'être moulée. La matière de base est en général un mélange de macromolécules, polymères organiques ou semi – organiques à caractère résineux, résultant le plus souvent d'une réaction naturelle ou artificielle de polycondensation ou de polymérisation (c'est-à-dire de l'union de plusieurs molécules d'un composé pour former une grosse molécule).

I-1-2. Chimie et Composition générale

La matière de base (la résine) est un mélange de molécules en longues chaînes appelées polymères.

En plus de la résine, les additifs et adjuvants sont là pour améliorer les propriétés chimiques et physiques du matériau, notamment la résistance aux chocs, la couleur, la plasticité, la résistance au vieillissement, etc.

- **La résine de base** : est composée essentiellement d'un matériau macromoléculaire
- **Les adjuvants** : il existe toute une gamme hétéroclite dont les principaux sont :
 - **Plastifiants** : en général liquides ou visqueux, permettent de rendre la résine souple et élastique. Lubrifiants : facilitent le moulage.
 - **Pigments** : donnent la couleur du plastique.
 - **Stabilisants** : retardent la dégradation du plastique, résistance aux ultraviolets (sels métalliques de plomb, étain, baryum, sodium, etc.).

Charges ou renforts : diminuent le coût, augmentent la résistance mécanique (marques kevlar et Téflon).

Charges minérales : carbonate de calcium, talc, amiante, graphite, silice, fibre de verre, mica, etc.

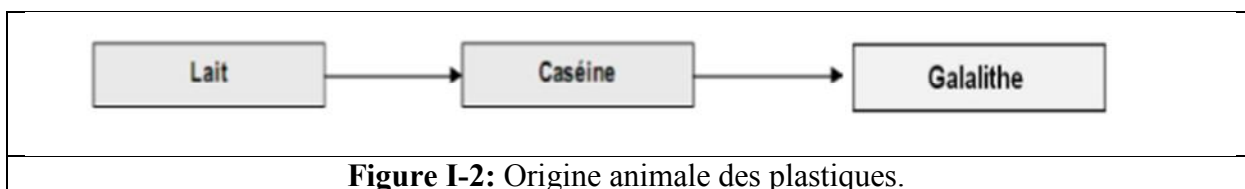
- **Charges organiques** : farine de bois, fibres naturelles ou synthétiques, etc.
- **Anti statique** : s'oppose aux dépôts de poussières en rendant le plastique conducteur en surface.
- **Fongicide** : résistant aux micro-organismes, asepsie.
- **Ignifugeant** : retardant la propagation des flammes.
- **Solvants** : pour peintures (enduction).

I-2. LES ORIGINES DES MATIERES PLASTIQUES : [2]

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

I-2-1. Origine animale :

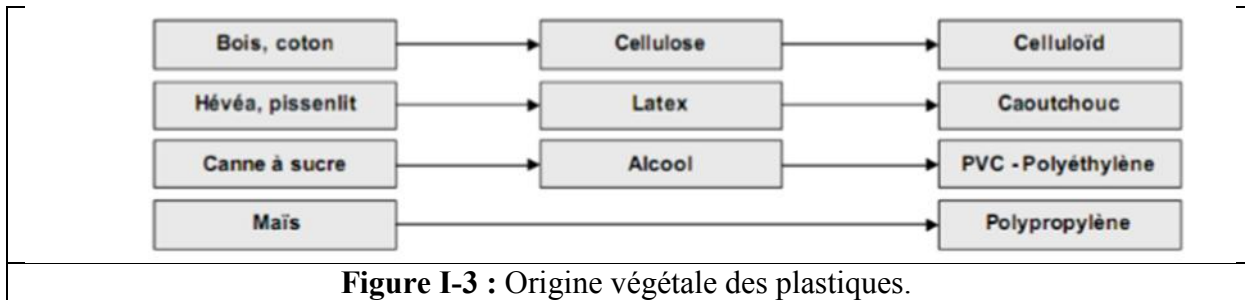
La figure I-2 représente les matières plastiques d'origine animale



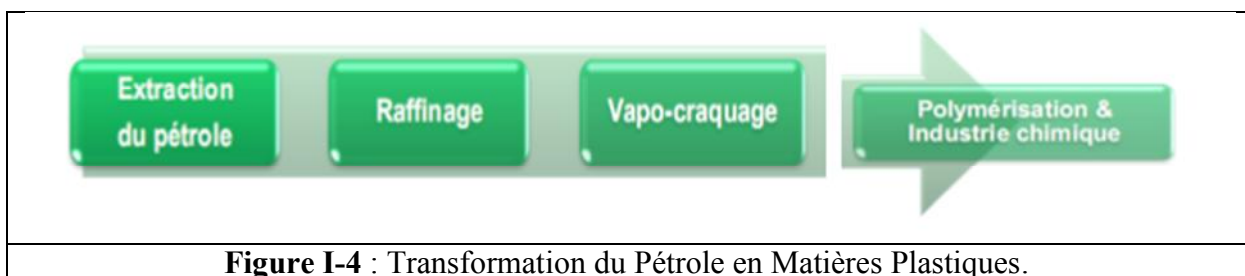
I-2-2. Origine végétale :

La figure I-3 représente les matières plastiques d'origine animale.

Chapitre I : Généralités sur la matière plastique

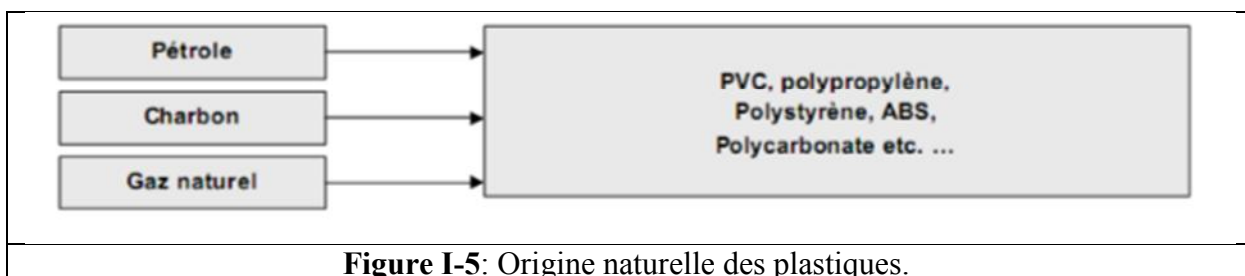


Aujourd'hui, la plupart des matières plastiques sont synthétisées à partir de produits pétrochimiques. La chimie organique permet de préparer tous les précurseurs des polymères à partir du pétrole, de façon abondante et bon marché.



I-2-3. Origine naturelle :

(Représentant 90% de la production des matières plastiques).



➤ Les trois origines essentielles des matières plastiques sont :

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

Par la pétrochimie, on obtient :

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

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

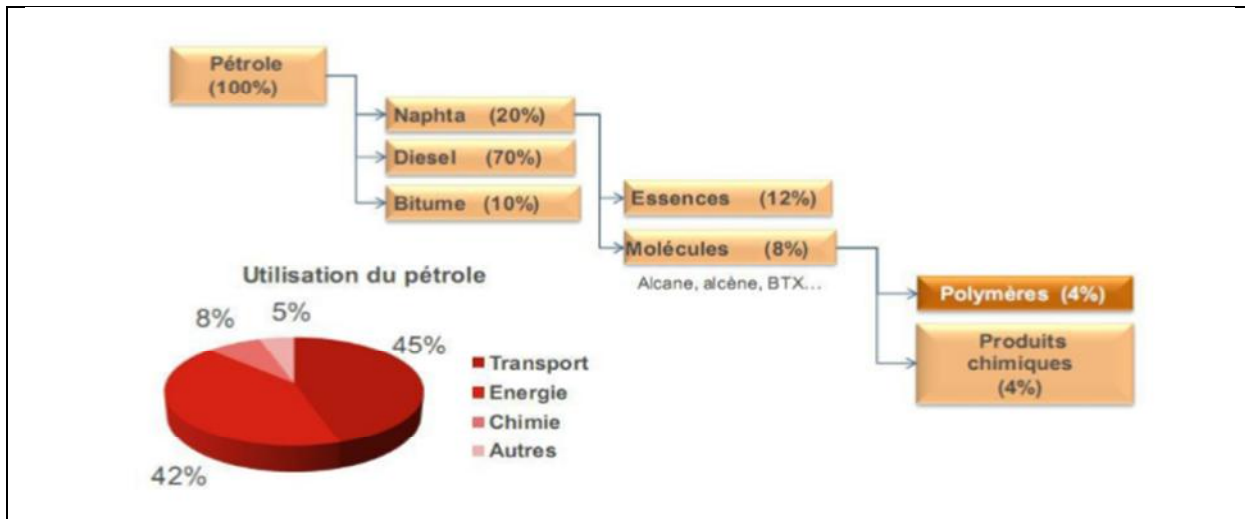


Figure I-6 : Produits pétrochimiques à base des matières plastiques.

I-2-4. Atomes composant les matières plastiques : [1]

Les atomes composant les matières plastiques sont : l'hydrogène, le Chlore, le Carbone, l'azote, le soufre et le fluor.

Dans les polymères comme dans toute matière organique, le carbone constitue la « colonne véritable » du produit. Et selon le matériau on ne trouve que des atomes d'hydrogène liés aux carbones (polyéthylène, polypropylène...) ou de l'hydrogène et du chlore (PVC...) ou encore seulement du fluor (PTFE...).

I-3. Familles de plastique et leurs usages :

Les plastiques sont des matériaux déformables : ils peuvent être moulés ou modelés facilement, en général à chaud et sous pression. Leur facilité de mise en forme, résistance aux chocs, aux variations de température, à l'humidité, aux détergents,... les rendent utiles dans tous les domaines : emballage, bâtiment, automobile, électricité, etc.

Il existe un grand nombre de plastiques aux propriétés différentes, on les classe en trois grandes catégories: les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères.

I-3-1. Les thermoplastiques :

Sous l'effet de la chaleur, les thermoplastiques ramollissent et deviennent souples. On peut alors leur donner une forme qu'ils garderont en refroidissant. La transformation est réversible et renouvelable un grand nombre de fois, les thermoplastiques sont ainsi facilement recyclables. Cependant ils ne sont pas biodégradables et ont une « durée de vie » de plusieurs centaines d'années. Ce sont les matières plastiques les plus utilisées (notamment PE et le PVC).

Chapitre I : Généralités sur la matière plastique

Le tableau 1 donne les caractéristiques et usage des thermoplastiques.

Nom ; abréviation	Caractéristiques	Usages
Polyéthylène (PE)	Translucide, inerte, facile à manier, résistant au froid. On distingue deux familles: -le PEBD (polyéthylène basse densité) bonne résistance chimique, olfactivement, gustativement et chimiquement neutre, facilement transformé et soudé. - le PEHD (polyéthylène haute densité)	Utilisé dans la moitié des emballages plastiques et dans les domaines les plus divers. PEBD : produits souples : sacs, films, sachets, bidons, récipients et bouteilles souples (sauces, shampoing, crèmes ...)* PEHD: objets rigides (bouteilles, flacons, bacs poubelles, tuyaux, jouets, ustensiles ménagers, boîtes de conservation, sacs plastiques**
Polypropylène (PP)	Très facile à colorer. N'absorbe pas l'eau. aspect brillant et résistant à la température (160°C). Difficile à recycler surtout s'il est imprimé	Pièces moulées d'équipements automobiles (parechocs, tableaux de bord, ...), mobilier de jardin, Film d'emballage, bouteilles rigides, boîtes alimentaires résistantes à la température du lavevaisselle. Fibres de tapis, moquettes, cordes, ficelles
Polystyrène (PS)	Dur et cassant. Trois types: - polystyrène "cristal" transparent - polystyrène "choc" (HIPS) ; acrylonitrile butadiène styrène (ABS) - polystyrène expansé (PSE), inflammable et combustible	Usages variés : mobilier, emballages, jouets, verres plastiques, pots de yaourt, ... -"cristal": nombreux types de boîtes, boîtiers CD... -ABS : produits rigides, légers et moulés (bacs à douche...) -PSE : emballage « anti chocs », isolant thermique
Polycarbonate (PC)	Excellentes propriétés mécaniques, bonne résistance thermique jusqu'à 120°C, très transparent, physiologiquement neutre Mauvaise résistance aux contacts prolongés avec l'eau, aux agents chimiques et aux rayons ultraviolets.	casques de moto, boucliers de police, CD et DVD, vitres pare-balle , phares, feux arrière et clignotants d'automobile, matériel médical et prothèses, biberons incassables, profilés de toiture, vitres de cabine téléphonique...
Polyacétals ou polyoxyméthylène (POM)	Solides et avec des qualités de métaux. Résistant à la plupart des agents chimiques, faible coefficient de frottement. Densité élevée. Assez faible résistance thermique.	pièces à fortes exigences mécaniques : engrenages, poulies. La recherche vise à augmenter leur résistance au choc pour permettre la réalisation de plus grosses pièces.
Polychlorure de vinyle (PCV)	Rigide ou souple selon les ingrédients qu'on lui incorpore. PVC rigide : aspect lisse et dur	Dans l'industrie de l'ameublement, bâtiment, le génie civil et dans l'alimentaire : pots de margarine, blisters, bouteilles d'eau, emballage alimentaire ... PVC rigide : utilisé pour les tuyaux de canalisation. PVC souple: recouvre certains manches de pinces...

Polyamides (PA)	Différents types de PA (selon la longueur des chaînes) distingués par des chiffres. Bon compromis entre qualités mécaniques, thermiques et chimiques. Hydrophiles.	Pièces moulées dans l'appareillage ménager et automobile, tapis et moquettes, pièces de robinetterie, de serrurerie, engrenages, ... Textiles (lingerie et voilages)...
Polyméthacrylate de méthyle (PMMA)	Transparent, même avec une très grande épaisseur (jusqu'à 33 cm d'épaisseur); à la différence du verre L'ajout de PMMA dissout permet aux huiles lubrifiantes et fluides hydrauliques de conserver leur liquidité au froid (jusqu'à - 100°C !	Nom commercial Plexiglas, Lucite, Altuglas, ... Utilisé pour remplacer le verre pour des vitres incassables, les surfaces des baignoires et des éviers, pour les vitres de grands aquariums résistantes à la pression de l'eau... feux arrière et clignotants, hublots d'avion, fibres optiques, enseignes lumineuses...
Tableau 1 : Différents thermoplastiques.		

*La température de «ramollissement» étant moins élevée que celle du verre, les thermoplastiques ne peuvent pas être utilisés avec des produits chauds (comme par exemple la confiture qui, encore très chaude, sera mise dans des pots de verre).

**Les sacs plastiques en PEHD se froissent facilement sous la main, avec un bruit craquant et reviennent spontanément à sa forme d'origine, les sacs en PEBD se froissent sans bruit et se percent facilement et ont un toucher plus « soyeux ».

I-3-2. Les thermodurcissables :

Ces plastiques prennent une forme définitive au premier refroidissement : ils deviennent durs et ne se ramollissent plus une fois moulés. La technique de fabrication est difficile à mettre en œuvre mais elle produit des matériaux très solides et très résistants aux agressions chimiques et à la chaleur. Les aminoplastes sont les plastiques thermodurcissables les plus utilisés. Le tableau 2 donne les caractéristiques et usage des thermodurcissables.

Nom, abréviation	Caractéristiques	Usages
Polyuréthanes (PUR)	Grande diversité de dureté et textures en fonction des associations chimiques de différents monomères	Mousses souples ou rigides grâce à des agents d'expansion, colles, fibres (Licra) Matelas, sièges de voiture, tableaux de bord, roues de patins à roulettes, chaussures de ski...
Polyesters insaturés	Prix peu élevé, durcissement assez rapide sans élimination de produits secondaires. Imprégnation facile des fibres de verre.	Pièces plastiques renforcées par coulée: pales d'éoliennes, coques et cabines de bateaux, piscines, carrosseries d'automobiles,... Textiles (Dacron, Tergal, Térylène...)
Phénoplastes (PF)	Bonne résistance aux produits chimiques et à la chaleur et électriquement isolantes. Transformable	domaines scientifiques et réalisation d'objets: téléphones, postes de radio, pour fabriquer les poignées de casserole, de fer à repasser et des

	par moulage et par compression. Souvent colorés en brun foncé	plaques de revêtement.
Aminoplastes (MF)	deux types principaux : urée-formaldéhyde (UF) et mélamine-formaldéhyde (MF) dont le plus connu est le formica. Dureté et rigidité exceptionnelles, peu sensibles à l'hydrolyse et à la lumière, résistance à l'abrasion, bonne tenue aux solvants, difficilement inflammables. Peuvent être produits en teintes claires	Usages variés : mobilier de cuisine, plans de travail, liants (adhésifs) dans les contreplaqués, bois agglomérés, mélaminés, etc.), moulage en stratifiés décoratifs de revêtements, pièces moulées d'ustensiles de cuisine (plateaux...), matériel électrique (interrupteurs, prises de courant...), vernis de parquets (vitrification), apprêts pour rendre les tissus indéfroissables ou plastifiés, peintures, etc.
Tableau 2 : Différents thermodurcissables		

I-3-3. Les élastomères :

Les élastomères sont élastiques : ils se déforment et tendent à reprendre leur forme initiale et supportent de très grandes déformations avant rupture. Ce ne sont pas réellement des « plastiques ». Issu du latex d'Hévéas (arbre d'Amazonie), le caoutchouc naturel est resté longtemps le seul élastomère connu mais les méthodes modernes de fabrication ont permis d'obtenir une grande diversité de matériaux en ajoutant des additifs, accélérateurs, agents protecteurs (anti UV, anti oxygène,...) et en les combinant à d'autres matériaux (métaux, textiles, autres plastiques...). On distingue trois grandes catégories qui présentent chacune de nombreux produits aux propriétés variées :

Catégories	Matériaux	Caractéristiques
Caoutchoucs	- caoutchouc naturel, cis-1,4polyisoprène (NR) ; - copolymère styrène-butadiène (SBR) ; - polybutadiène (BR) ; - polyisoprène synthétique (IR)	Chauffés au-dessus de 65 °C, ils commencent à vieillir et deviennent poisseux. Faible résistance à l'huile et à l'ozone. Propriétés d'amortissement et grande extensibilité (jusqu'à 750 % avant rupture). Excellente résistance au déchirement.
Elastomères spéciaux	- co- ou terpolymères d'éthylène propylène et diène (EPM et EPDM) - copolymères d'isobutylène isoprène, chlorés ou bromés (IIR, BIIR, CIIR) - copolymères de butadiène acrylonitrile (NBR) - polychloroprènes (CR)	Température maximum d'utilisation : 150 °C. Selon les matériaux : résistance aux produits pétroliers, aux solvants ; à l'oxydation (O ₂ et O ₃), aux intempéries, aux produits chimiques corrosifs et au vieillissement... Certains sont ininflammables et ont une grande imperméabilité aux gaz. Parfois sensible à la lumière et à l'ozone et au stockage (tendance à la cristallisation)

Elastomères très spéciaux	- caoutchoucs de silicone (VMQ, FVMQ) - élastomères fluorés (FKM) - polyéthylènes chlorés et chlorosulfonés (CM, CSM) - polyacrylates (ACM)	Très variables en fonction des matériaux :
	- copolymères éthylène acétate de vinyle (EVM) - éthylène acrylate de méthyle (AEM) - caoutchoucs nitrile hydrogénés (HNBR) - épichlorhydrines (CO, ECO, GECO) - polyuréthanes malaxables (AU, EU)	- hautes performances chimiques : résistance aux carburants, à l'ozone, aux huiles, imperméabilité aux gaz et aux produits chimiques agressifs - température de service continu allant de -80°C à 250 °C - Résistance au vieillissement, stabilité de couleur - Propriétés adhésives (colles thermofusibles)
Tableau 3 : Différents élastomères.		

Les élastomères présentent des caractéristiques bien spécifiques : grande élasticité, bonne étanchéité, fort pouvoir amortissant...Employés essentiellement en tant que pneumatiques, on les utilise également sous la forme de joints, de tubes et tuyaux, de membranes, de dispositifs antivibratoires,...dans de nombreux domaines d'activités : automobile, industrie, aéronautique, médecine

I-3-4. Le matériau ABS

Est biphasé (structure complexe), fabriqué en mélangeant un copolymère styrène-acrylonitrile (SAN, issu de styrène et d'acrylonitrile) avec un matériau élastomère à base de polybutadiène (du polystyrène où du SAN a été greffé sur le tronc de polybutadiène). Les nodules (phase en îlots) de la structure élastomère sont noyés dans la matrice. La phase élastomère apporte de la résistance aux chocs et de la souplesse.

Se recycle facilement par étuvage et peut se combiner avec les autres composés styréniques (PS, SB, SAN). Pour améliorer sa tenue thermique, un 4^e comonomère (l' α -méthylstyrène) peut être incorporé. On parle alors d'« ABS Chaleur ».

Acrylonitrile butadiène styrène	
$\text{N}\equiv\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2$ Acrylonitrile	$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ 1,3-Butadiène
$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}=\text{CH}_2$ Styrene	
Comonomères de l'ABS.	
Identification	
No CAS	9003-56-9
No ECHA	100.127.708
No CE	618-371-8
Propriétés physiques	
T° transition vitreuse	105 à 115 °C
Masse volumique	1,03-1,08 g cm ⁻³
Unités du SI et CNTP, sauf indication contraire.	
modifier ⓘ	

Figure I.7 : Acrylonitrile butadiène styrène.

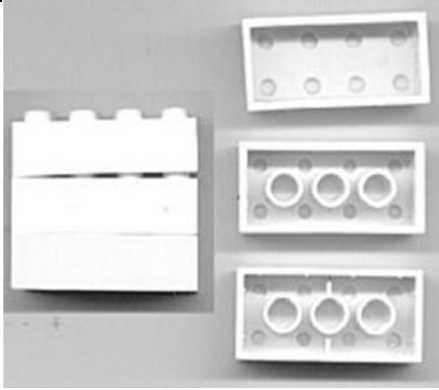
Ce terpolymère montre une bonne résistance aux chocs jusqu'à -40 °C, meilleure que celle du SAN. Il est opaque du fait de l'influence du butadiène. La résistance chimique est semblable à celle d'un SAN ou d'un VSR.

En raison de ses bonnes qualités d'aspect de surface, de sa stabilité dimensionnelle et de son aptitude à la décoration (il est facile de le colorer), l'ABS est beaucoup utilisé pour des applications de capotage dans des secteurs tels que l'électroménager, la téléphonie, le matériel informatique et le jouet.

Il existe un grade spécial : l'ABS métallisable

La métallisation par galvanisation est répandue. Il faut d'abord rendre la pièce conductrice par dépôt, à partir d'une solution colloïdale, d'une couche métallique. L'ABS est préalablement traité dans un bain d'acide chromique.

Il existe un mélange ABS/PC. Utilisations.



Briques de base Lego. La première, datant d'avant 1958, est en acétate de cellulose, les deux autres en ABS.

La carrosserie en ABS de la Méhari.

Figure I.8 : La carrosserie en ABS de la Méhari.

C'est surtout le matériau privilégié pour les appareils électroménagers. Les carter d'aspirateurs et les corps de cafetières sont souvent en ABS. Dans ce cas, il s'agit le plus souvent de pièces injectées.

Sous forme de fil, il est utilisé dans les imprimantes 3D.

Le fabricant de jouets danois Lego l'utilise pour fabriquer ses briques de construction. C'est une des particularités qui leur confèrent d'ailleurs leur qualité.

L'ABS est également utilisé dans les industries nautiques pour la fabrication de petites embarcations légères de type annexes en raison de sa légèreté, rapidité de construction et par collage de deux feuilles thermoformées garnies de mousse au milieu, ce qui permet de réaliser une embarcation totalement insubmersible (exemple des célèbres Sportyak 1 et 2 présents dans les ports de plaisance).

L'ABS, en raison de ses propriétés antichocs et de son aspect brut, est la base de nombreuses répliques d'armes : fabrication de corps ou de crosses des diverses répliques d'air soft.

Dans le domaine de l'automobile, la carrosserie de la Citroën Méhari, une voiture dérivée de la Dyane, est réalisée en ABS teinté dans la masse, et obtenue par thermoformage, un procédé similaire à l'emboutissage des tôles. Elle nécessite un entretien particulier pour résister au temps. Altéré par le soleil d'été, le matériau devient cassant en hiver. Encore de nos jours, le plastique en ABS est utilisé pour faire des carrosseries entières (voitures sans permis), et des habillages et carénages de motos ou caravanes (coffres et pare-chocs).

L'ABS est également utilisé pour la construction des calottes externes de casques de moto. Avec un prix plancher et une bonne résistance aux chocs, c'est le matériau privilégié pour l'entrée de gamme. En revanche, c'est un matériau plutôt lourd qui est remplacé par des plastiques armés pour des casques haut de gamme.

Jaunissement des plastiques ABS

Chapitre I : Généralités sur la matière plastique

Exposés aux rayons ultraviolets, certains plastiques ABS contenant des agents ignifuges bromés ont tendance à jaunir, comme ceux utilisés pour les Super Nintendo ou les micro-ordinateurs Apple II. Une équipe a développé une formule (le Retr0bright, à base d'eau oxygénée à 10 % et de TAED (contenu dans des détergents à l'« oxygène actif »), permettant de redonner à l'ABS jauni une nouvelle jeunesse, en utilisant une réaction d'oxydoréduction¹

Points forts :

- Bonne résistance à la rayure ;
- Bel aspect brillant ou satiné ;
- Bonne rigidité et résistance aux chocs ;
- Facilité de marquage ;
- Bonne résistance à la température.

Points faibles :

- Opaque ;
- Mauvaise résistance chimique ;
- Électrostatique ;
- Mauvaise tenue aux UV.

	Résistance mécanique	Résistance aux chocs	Aspect	Usage extérieur	Transparence possible	Retrait	Densité	Température d'utilisation
ABS	**	**	***	**	OUI	0,5%	1,05	-40 à +80C°
PA 6	***	***	**	**	NON	1,8%	1,15	-60 à +100C°
PA 6 30% FV	***	***	*	**	NON	0,5 à 1,0%	1,37	-60 à +120C°
PEBD	*	***	**	**	NON	1,5 à 3,5%	0,92	-60 à +60C°
PEHD	*	**	**	**	NON	1,3 à 3,0%	0,95	-20 à +95C°
PP	**	**	**	**	NON	0,7 à 2,5%	0,90	-20 à +95C°
PS	*	*	***	*	OUI	0,4 à 0,7%	1,04	-40 à +70C°
PMMA	**	*	***	***	OUI	0,3 à 0,5%	1,18	-40 à +70C°
POM	***	***	**	*	NON	2,3%	1,41	-40 à +85C°
PC	***	***	***	***	OUI	0,6%	1,20	-80 à +125C°
SEBS	*	***	**	**	NON	0,5 à 1,5%	0,96 à 1,15	-20 à +60C°

Figure I.9 : ABS (Acrylonitrile-butadiène -styrène).

Avantage:

- Même aspect que le PC mais moins cher
- Facile à usiner
- Facile à colorer par pigmentation dans la masse
- Légèreté
- Bonne résistance aux agressions chimiques
- Excellentes propriétés d'isolation

Inconvénients:

- Résistance aux chocs plus faible que le PC
- Gamme de températures d'utilisation plus restreinte que le PC
- Utilisation à l'extérieur non recommandée
- N'existe pas en version transparente
- Aucune protection CEM

I-4. Propriétés des matières plastiques : [3]

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

I-4-1. Propriétés mécaniques :

a. Résistance à la traction :

Généralement pour les plastiques à l'état compact, la résistance varie entre 10 et 80 Mpa, alors que pour les plastiques renforcés elle se situe entre 200 et 800 Mpa.

b. Résistance à la compression :

Le comportement des plastiques à la compression, présente une résistance beaucoup plus élevée qu'à la traction (50 à 100% de plus).

c. Élasticité :

La résistance élastique (module) des plastiques voisine de 3000Mpa, ce qui situe ces matériaux entre les bois et les caoutchoucs. Certaines charges peuvent amener quelques thermoplastiques à 160Gpa

d. Allongement :

Voisin de 150% en général, il peut atteindre 400 à 800% avant rupture pour certains produits comme les fils ou les fibres synthétiques.

I-4-2. Propriétés chimiques :

a. Humidité

Certains plastiques absorbent naturellement de l'eau. D'une façon générale, le taux d'humidité fait varier les caractéristiques mécaniques et dimensionnelles des plastiques.*

b. Toxicité :

Tous les plastiques n'ont pas le label alimentaire ; il existe une législation assez contraignante à ce sujet. Certains plastiques peuvent provoquer chez des sujets sensibles certains trouble : allergies, inflammations, asthme, etc...

c. Sensibilité aux agents extérieurs :

Les matières plastiques offrent en général une bonne résistance aux produits chimiques (acides, bases, solvants). L'eau peut les dégrader à la longue.

Les plastiques sont insensibles aux bactéries, champignons et parasites.

I-4-3. Propriétés thermique et physique :

a. Inflammabilité :

C'est le point faible des plastiques, ils se détruisent en température élevée et se cassant à basses température.

b. Résistance thermique :

La chaleur fait perdre aux matières plastiques leurs caractéristiques mécaniques jusqu'à les décomposer, par contre, le froid leur fait perdre souplesse

c. Isolation thermique :

Les matières plastiques ont un coefficient de transmission de chaleur les plus bas.

d. Légèreté :

La densité de la plupart des matières plastique est comprise entre 0.9 (plus léger que l'eau) à 1.8 (plus lourd que l'eau). Le plus souvent 1 (aussi lourde que l'eau).

e. Transparence :

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

I-5 Les polymères :

I-5-1. Définition :

Un polymère est une molécule à chaîne longue, composée de nombreuses molécules plus petites, appelées des monomères liées entre elles. Ils ont une masse molaire très importante. Différentes combinaisons de monomères donnent des résines qui sont utilisées dans les produits en plastique. Un monomère est le nom donné à la petite molécule à partir de laquelle est formée la macromolécule. C'est une molécule composée principalement de carbone et d'hydrogène. Le terme macromolécule désigne simplement des grandes molécules. Ce terme est souvent utilisé pour désigner un enchaînement de monomères.

I-5-2. Généralités :

Les polymères industriels peuvent être fabriqués à partir d'un seul type de monomère (on parle alors d'homopolymère, comme par exemple le polystyrène); ou bien à partir de plusieurs types de monomères (on parle alors de copolymères, comme par exemple l'acrylonitrile butadiène styrène).

On distingue deux grandes catégories de réactions chimiques permettant la préparation des polymères : la polymérisation en chaîne ou polyaddition (pour produire par exemple le polyéthylène, le polystyrène, le polypropylène...) et la polymérisation par étapes ou polycondensation (pour produire par exemple le PET ou (polyéthylène téréphtalate)).

I.5.3. Polymérisation : [4]

A. Synthèse des matières thermoplastiques :

Une matière thermoplastique désigne une matière qui se ramollit (pour certaines matières la fusion est plus franche dans le cas des matériaux semi-cristallin) d'une façon réversible lorsqu'elle est chauffée au-dessus d'une température caractéristique du matériau, et qui durcit de nouveau en refroidissant. Cette caractéristique permet au matériau d'être recyclable (en respectant certaines précautions et surtout si le matériau n'a pas subi des dommages importants lors de sa mise en œuvre).

Pour obtenir un matériau organique présentant des caractéristiques mécaniques, utilisable dans l'industrie, il faut constituer des chaînes moléculaires très longues. Ces macromolécules devront contenir au moins

10 000 atomes liés les uns aux autres pour donner une cohésion satisfaisante. Les chaînes moléculaires devront être composées d'un ou plusieurs motifs simples répétés un très grand nombre de fois.

On part d'un ou plusieurs types de molécules élémentaires appelées **monomères** qu'on rattache les unes aux autres par création de liaisons chimiques. Cette opération s'appelle la *polymérisation*, illustrée par les figures I.10 à I.12. La molécule obtenue est nommée polymère.

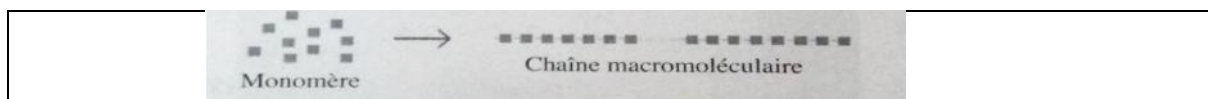


Figure I.10 : Processus de polymérisation.

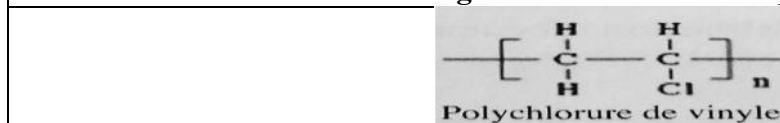


Figure I.11 : Unité répétitive du polychlorure de vinyle.

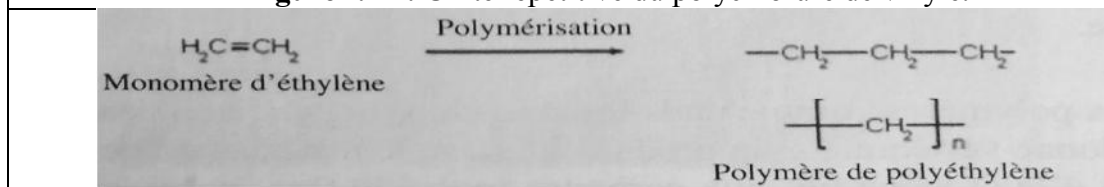


Figure I.12 : Polymérisation du polyéthylène.

L'unité répétitive d'un polymère est le groupe d'atomes caractéristique qui se répète tout au long de la chaîne. La composition chimique de l'unité répétitive est le principal facteur qui détermine les propriétés du polymère. D'autres facteurs sont importants, par exemple la longueur des chaînes et les ramifications.

Le contrôle du processus de polymérisation permet d'obtenir des polymères possédant des chaînes de monomères de diverses longueurs. Le degré de polymérisation (DP) et la masse moléculaire (MW) sont utilisés pour caractériser la longueur des chaînes (figures I.13 et I.14).

Par ailleurs, dans un lot de matière, les chaînes ne possèdent pas toutes le même nombre d'atomes de carbone, elles n'ont donc pas toutes le même degré de polymérisation.

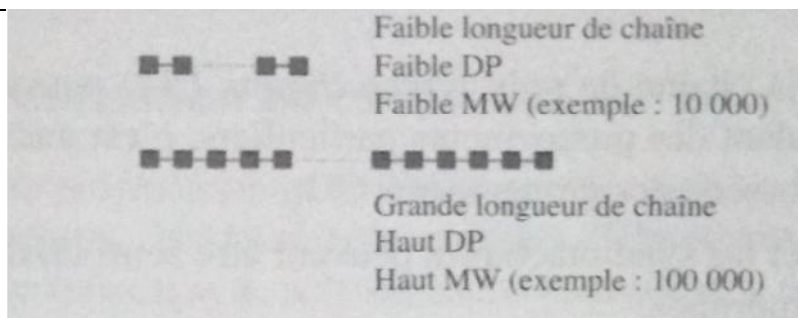


Figure I.13 : Degré polymérisation.

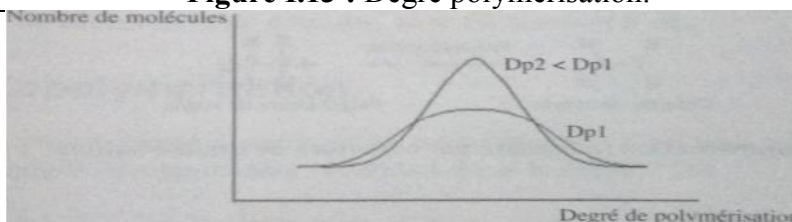


Figure I.14: courbe de répartition des chaînes moléculaires dans un échantillon de polymère.

Les chaînes de monomères ne sont pas toujours linéaires. La polymérisation peut engendrer des chaînes comportant des ramifications qui peuvent influencer les propriétés ou la mise en forme du polymère. Tantôt les ramifications peuvent être nombreuses et courtes (ramifications courtes), tantôt les ramifications peuvent être longues et éparées (ramifications longues) ; ces phénomènes sont illustrés par la *figure I.15*

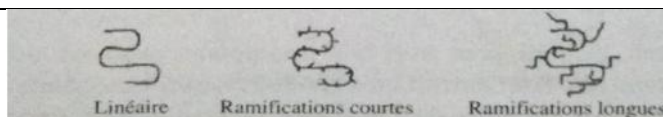


Figure I.15 : Différent type de chaîne

Les ramifications courtes peuvent réduire la cristallinité d'un polymère en empêchant l'arrangement régulier des chaînes. Les ramifications longues peuvent augmenter la viscosité du polymère à cause des enchevêtrements qu'elles provoquent.

B. Polymérisation d'addition :

Cette polymérisation consiste à associer plusieurs molécules identiques, par l'ouverture de la double liaison carbone-carbone du produit de départ (monomère) sous l'influence de la chaleur, de la pression et en présence de catalyseur. Les *figures I.16, I.17 et I.18* illustrent différentes polymérisations d'addition. Concernant les monomères cycliques, c'est par l'ouverture du cycle que se fera la polymérisation.

Trois formes de la chaîne de polystyrène (*figure I.19*) peuvent exister pour des matériaux possédant des groupements particuliers, c'est aussi le cas pour le polypropylène qui possède des groupements CH_3 .

Les iso tactiques et les syndiotactiques peuvent être semi-cristallins alors que les tactiques sont amorphes.

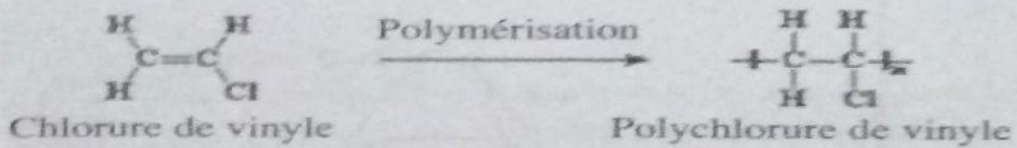


Figure I.16 : Polymérisation radicalaire par ouverture de double liaison.

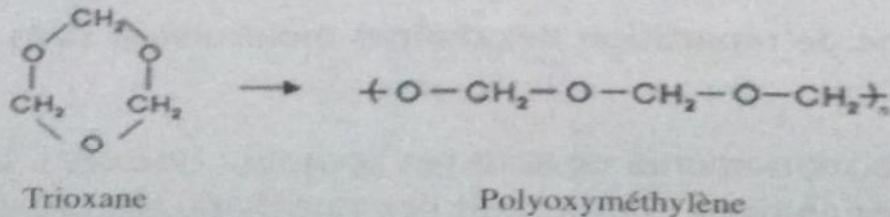


Figure I.17 : Polymérisation par ouverture de cycle.

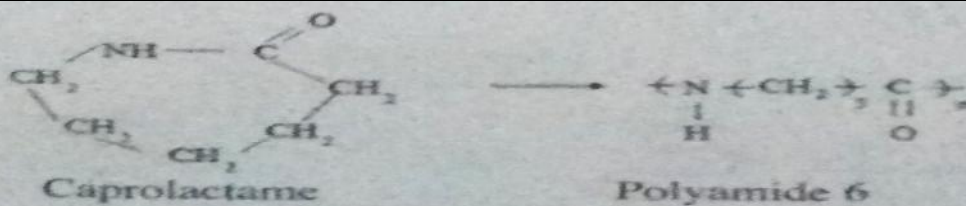


Figure I.18: polymérisation par ouverture de cycle polyamide 6 différents des autres polyamides.

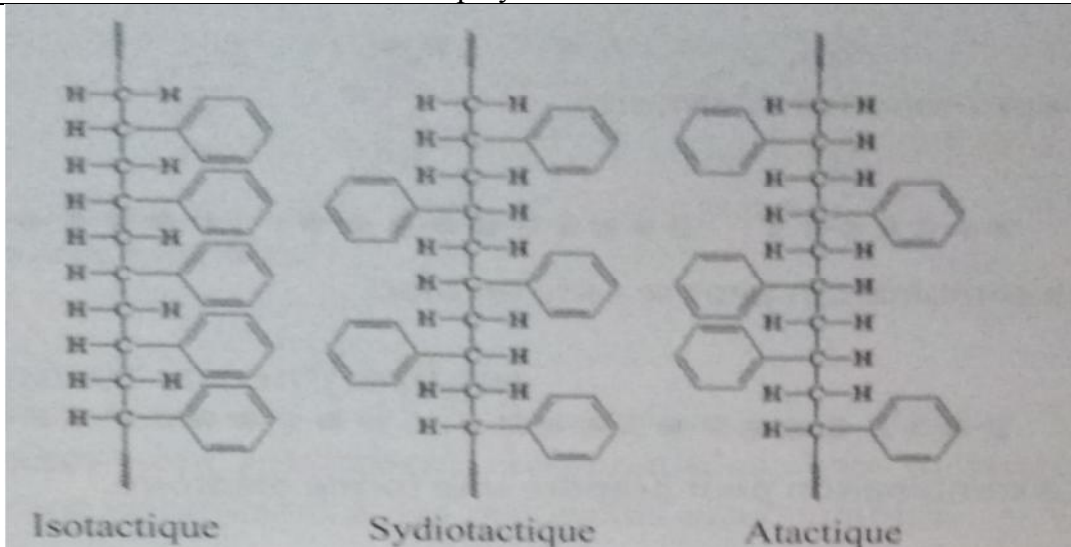


Figure I.19 : Les trois formes de la chaîne de polystyrène.

C. Polymérisation de condensation :

Dans ce cas de polymérisation, les liaisons créées entre molécules de départ sont obtenues par réactions chimiques accompagnées d'élimination de molécules d'eau comme le montre la réaction de polymérisation du polyamide 6-10 (*figure I.20*).

Les molécules de départ devront posséder au moins deux fonctions réactives afin que la réaction puisse se propager. Pour obtenir les différents polyamides, on partira de diamines et de diacides, avec élimination d'eau.

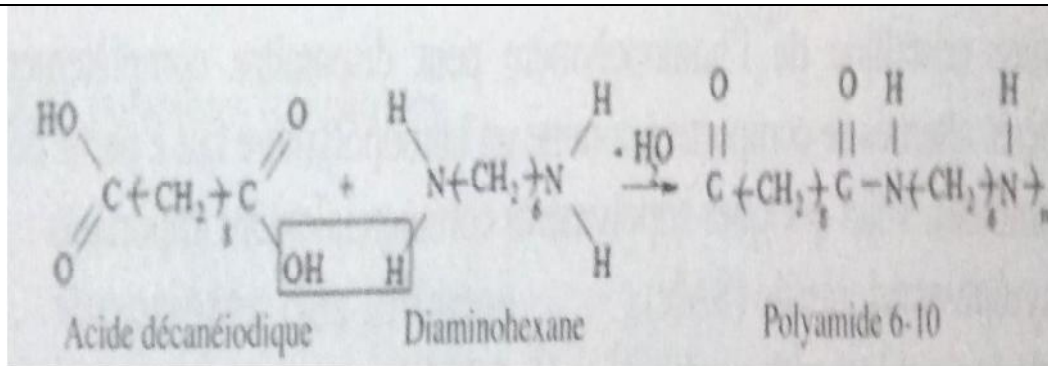


Figure I. 20 : Synthèse des polyamides.

I-5-4. Copolymérisation

Un polymère formé à partir de la polymérisation d'un seul type de monomère est appelé *homopolymère* (schématisé par la *figure I.21*).

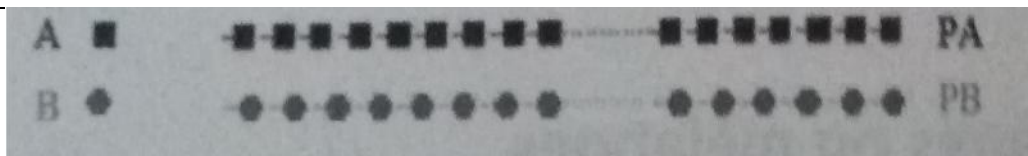


Figure I.21 : Homopolymères.

A partir des deux monomères A et B de *figure 2.2*, deux homopolymères PA (polyamide) et PB (polybutène) sont formés, pouvant donner naissance à des copolymères selon diverses configurations comme représenté en *figures I.23, I.24 et I.25*. La *figure I.26* décrit un exemple de copolymère.



Figure I.22 : Deux monomères distincts.



Figure I.23 : La combinaison peut se faire en bloc

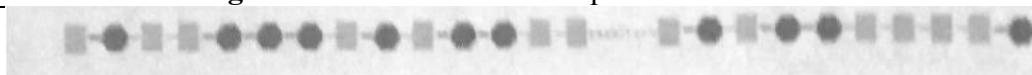


Figure I.24 : La combinaison peut prendre une forme aléatoire

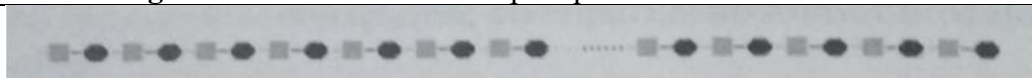


Figure I.25 : La combinaison peut prendre une forme alternée.

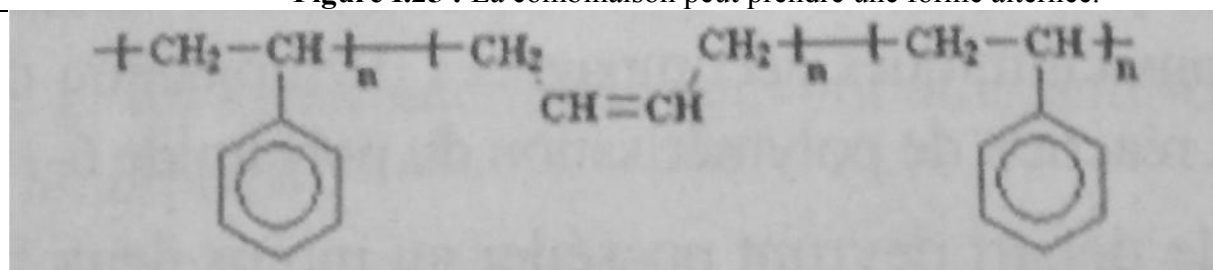


Figure I.26 : Formule du polystyrène butadiène styrène (SBS).

Quand deux monomères distincts A et B sont considérés, il est possible de créer un copolymère en combinant les monomères A et B dans la même chaîne de monomères. Les copolymères blocs possèdent habituellement les caractéristiques des deux homopolymères correspondants comme c'est le cas pour les alliages ou les mélanges de polymères. Les copolymères aléatoires peuvent avoir des caractéristiques complètement différentes de celles des homopolymères correspondants. Dans certains cas, la structure cristalline de l'homopolymère peut disparaître complètement. Les copolymères alternés se comportent comme un homopolymère fait à partir de monomères combinés. Voici quelques copolymères commercialement importants :

- styrène-acrylonitrile (SAN) ;
- éthylène-chlorotrifluoroéthylène (E-CTFE) ;
- caoutchouc styrène-butadiène (SBR) ;
- caoutchouc éthylène-propylène (EPR).

I-6. Les techniques d'identification des matières plastiques.

Les familles correspondantes :

- 1 = PET ou PETE : polyéthylène téréphtalate
- 2 = HDPE ou PEHD : polyéthylène haute densité
- 3 = PVC ou V : polychlorure de vinyle
- 4 = LDPE ou PELD : polyéthylène basse densité
- 5 = PP : polypropylène
- 6 = PS : polystyrène
- 7 = OTHER ou O : autre polymère, ou mélange de polymères, résines...

Le but de cette manipulation est d'identifier les différentes sortes de plastiques et polymères présents dans notre environnement, grâce à quelques tests physico-chimiques simples.

Ces tests peuvent être utiles pour identifier un objet ne portant aucune indication, ou pour vérifier que l'indication portée par l'objet correspond bien au plastique.

I-6-1. Matériel et produits

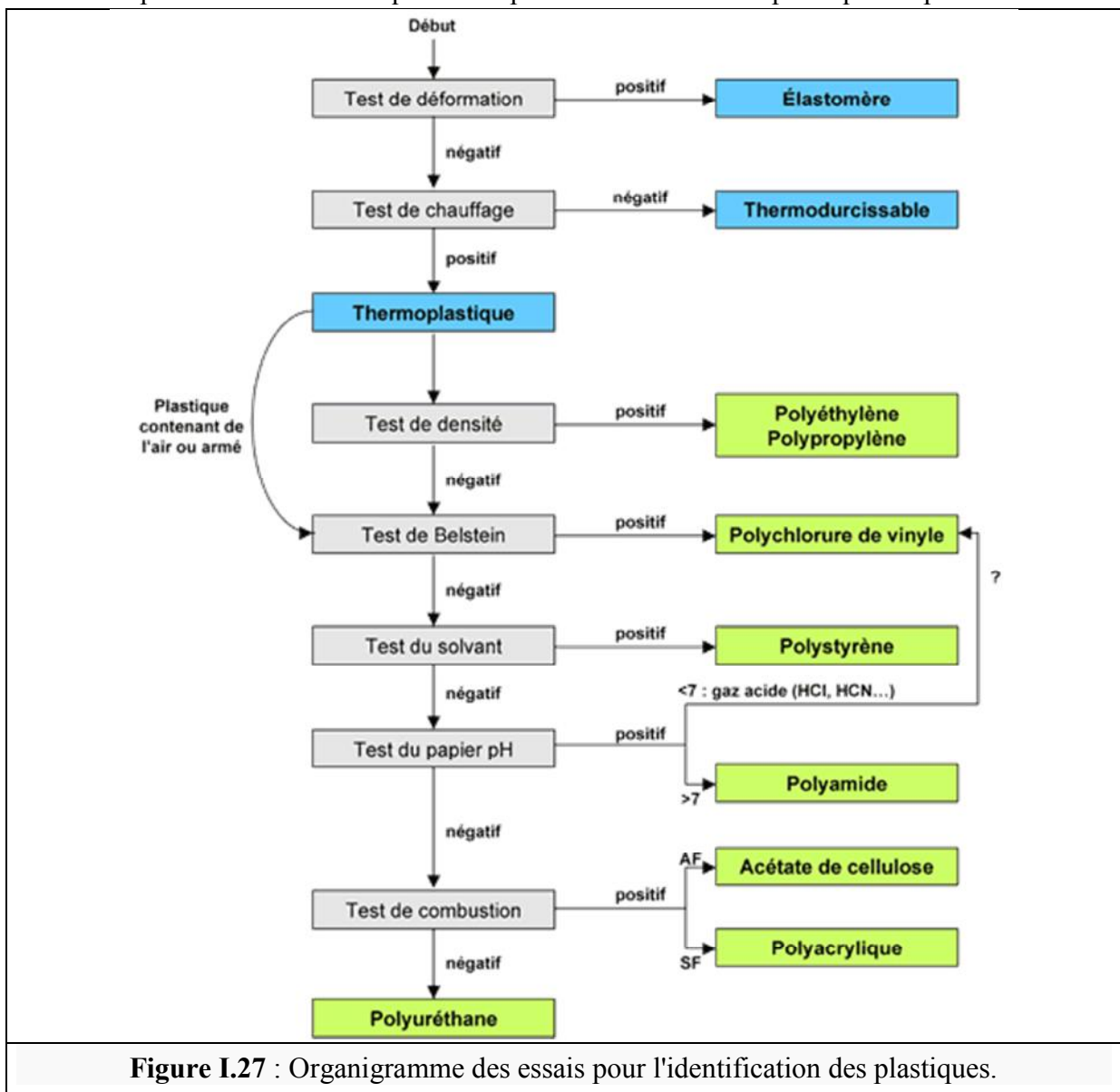
- Échantillons de matières plastiques
- 1 bécher de 250 mL
- 1 bec Bunsen ou chalumeau
- 4 béchers de 100mL
- 1 pince en bois
- 6 tubes à essais
- 1 pince métallique
- 1 agitateur en verre
- Eau distillée

- Acétone   + pipette 2 mL avec pipeteur
- 1 fil de cuivre
- 1 rouleau de papier pH

I-6-2. Principe

Nous réalisons les tests décrits ci-dessous en utilisant l'organigramme des essais et en respectant la chronologie des opérations et les consignes de sécurité.

- Les tests doivent être effectués sous la hotte aspirante ou en extérieur (éventualité de dégagements gazeux très toxiques) .
- On ne passe au test suivant que si la réponse sur la nature du plastique n'a pas été obtenue.



I-6-3. Les tests d'identification

Voici des tests simples qui permettent de caractériser certains matériaux polymères. De nombreux matériaux sont cependant constitués de plusieurs monomères en même temps (copolymères), ou de polymères contenant des armatures d'autres matériaux (autres polymères, fibres végétales, fibres de carbone, armatures en métal, etc.) : dans ce cas cette simple méthode ne permettra pas de trouver exactement la nature du matériaux, certains tests pouvant être faussés. Pour caractériser entièrement un matériau, il faut utiliser des méthodes analytiques plus fines (spectroscopie, microscopie, etc.).

a. Test de déformation

Les plastiques sont classés en trois catégories : thermoplastiques, thermodurcissables et élastomères. Les élastomères sont capables de s'étirer fortement et de revenir à leur forme d'origine après quelques secondes.

- Tirer avec les doigts sur l'échantillon.
- S'il revient à sa forme d'origine après étirement, alors le test est positif : c'est un élastomère.

b. Test de chauffage

Légèrement chauffés, les thermodurcissables restent rigides, et les thermoplastiques se ramollissent ou fondent.

- Chauffer l'agitateur en verre, tenu avec la pince en bois, dans la flamme du bec Bunsen et le poser sur l'échantillon.
- Si l'échantillon ramollit (ou garde une empreinte), alors le test est positif : c'est un thermoplastique. Sinon, c'est un thermodurcissable.

c. Test de densité

Nettement moins denses que les métaux, les plastiques ont des densités relatives à l'eau allant de 0,9 à 1,4. Ce test n'est pas valable pour les plastiques armés (contenant une armature) ou contenant de l'air (mousse, polystyrène expansé, fibre aérées).

- Plonger l'échantillon dans un bécher rempli d'eau et le maintenir immergé pendant une vingtaine de secondes, de façon à éliminer les bulles d'air accrochées en surface, puis le libérer.
- Si l'échantillon surnage, alors le test est positif (densité inférieure à 1).

d. Test de Belstein

Utilisé pour mettre en évidence la présence de l'élément chlore dans un plastique (utilisé aussi pour les solvants chlorés).

- Chauffer au rouge le fil de cuivre tenu à l'aide d'une pince en bois.

- Poser le fil sur l'échantillon et le tourner afin de l'enrober de matière plastique.
- Réintroduire le fil de cuivre au sommet de la flamme du bec Bunsen.
- Si la flamme prend une couleur verte, alors le test est positif (présence de chlore dans le plastique).
- Dans le cas d'un test positif les vapeurs émises sont également acides (confirmer avec le test du papier pH).
- Nettoyer le fil de cuivre en le maintenant dans la flamme jusqu'à disparition de la couleur verte et le décaper à l'aide du papier de verre avant de l'utiliser pour un nouveau test.

e. Test du solvant

Les plastiques sont généralement insolubles dans l'eau* ; certains plastiques peuvent être solubles dans certains solvants organiques, comme l'acétone  . Cette solubilisation se manifeste par une dégradation de l'état de surface du polymère, à la façon d'un acide qui attaquerait un métal, cependant la solubilisation ne change pas la structure des molécules du polymère. **À faire loin de toute flamme !**

- Placer l'échantillon dans un tube à essais.
- Prélever à l'aide la pipette environ 2 ml d'acétone   et verser le liquide dans le tube.
- Attendre 10 minutes et verser quelques gouttes d'eau distillée dans le tube à essais.
- Si un trouble (précipité) apparaît, alors le test est positif.
- A l'issue du test, récupérer le solvant dans le bécher prévu à cet effet.

(* Il existe des polymères ayant une bonne affinité avec l'eau, et donc soluble même lentement, par exemple l'amidon ou les polymères biodégradables. La solubilité dépend beaucoup de la longueur des chaînes du polymère.)

3.6 Test du papier pH et test de pyrolyse

La pyrolyse (décomposition thermique sans combustion) des plastiques produit du carbone et des dégagements gazeux qui peuvent être corrosifs , toxiques, voire mortels (chlorure d'hydrogène HCl  , fluorure d'hydrogène HF, dioxyde de soufre SO₂ , cyanure d'hydrogène HCN    , etc.). **À faire sous la hotte aspirante !**

- Placer l'échantillon dans un tube à essais
- Placer un morceau de papier pH humidifié à l'eau distillée à l'ouverture du tube.
- Chauffer doucement le tube jusqu'à obtention d'un dégagement gazeux.
- En comparant la couleur du papier pH à celle de l'échelle de couleurs, déterminer le pH des vapeurs obtenues :

- Si le pH est nettement basique, supérieur à 8, alors le test est positif, la vapeur contient probablement une amide ou une amine. Penser à un polymère de type polyamide.
- Si le pH est nettement acide, inférieur à 6, alors le test est négatif, la vapeur contient probablement HCl (à confirmer par le test de Belstein), HF, HCN ou SO₂. (Réaliser des tests complémentaires.)

f. Test de combustion

La combustion des plastiques produit toujours du dioxyde de carbone. Des gaz toxiques peuvent aussi être émis ; il est toujours déconseillé de brûler des plastiques inconnus. À faire sous la hotte aspirante !

- Placer l'échantillon, tenu à l'aide de la pince métallique, dans la flamme du bec Bunsen.
- Observer la combustion éventuelle de l'échantillon.
- Si la combustion est facile (avec ou sans fumées), alors le test est positif. Préciser :
 - avec fumées : AF
 - sans fumées : SF

Remarque : si, lors de la combustion, il y a une flamme vive et courte, avec production de fumées blanche de silice (SiO₂) et formation sur le plastique d'une croûte de silice, alors le polymère est assurément de la famille des polysiloxanes (silicone).

3.8 Tests complémentaires

Lors du test de pyrolyse, il est possible d'en savoir plus sur la nature du gaz dégagé :

- L'identification du dioxyde de soufre SO₂  est possible avec un papier filtre humide imbibé d'amidon et d'iode  , de couleur bleue (complexe amidon-diiodé) : la couleur bleue s'estompe. (Test cependant peu sensible.) Si le test est positif, penser à un polymère contenant du soufre (sous forme de sulfonate, sulfate...).
- L'identification du cyanure d'hydrogène HCN  peut se faire avec le papier de Schönbein. Si le test est positif, penser à un polymère de type polyuréthane, polyacrylonitrile, polyacrylamide, Nylon[®], Orlon[®]...
- L'identification du chlorure d'hydrogène HCl   peut être confirmée par le test de Belstein (décrit dans cette page) qui montrera la présence de chlore.
- L'identification du fluorure d'hydrogène HF   est possible en observant si les vapeurs dépolissent le verre. Si le test est positif, penser à un polymère fluoré (Téflon[®]...).

Chapitre II :

Mise en forme des matières plastiques

II. Introduction :

Depuis bien longtemps au niveau de l'industrie, on utilisait les matériaux organiques basés essentiellement sur la chimie du carbone, pour la construction des pièces dans plusieurs domaines.

Mais la mise en forme des polymères n'est pas comme les autres anciens matériaux (fer, cuivre, acier,.....), cette mise en forme du polymère a plusieurs méthodes et techniques. Parmi ces méthodes on cite:[3]

- **Extrusion des thermoplastiques** : est une technique de transformation des matières thermoplastiques qui permet d'obtenir des objets finis ou semi-ouvrés par un processus technologique continu (tubes).
- **Extrusion soufflage** : permet de fabriquer un corps creux dans un moule sans utiliser de noyaux pour faire une forme intérieure non démontable (bouteilles, réservoirs.....).
- **Calandrage** : est une technique de fabrication de feuilles, de plaques ou de films par laminage d'une matière thermoplastique entre plusieurs cylindres parallèles constituant la machine appelée Calandre.
- **Thermoformage** : la technique de thermoformage utilise les matériaux semi-ouvrés tels que les plaques ou feuilles rigides en matière thermoplastique pour les transformer en objets tridimensionnels avec une épaisseur de paroi proche de l'épaisseur du matériau de départ.
- **Compression-Transfert** : le moulage par compression représente la plus ancienne technique de transformation appliquée à partir des années 1920 aux poudres thermodurcissables phénoliques et aminoplastes. La méthode consiste à presser directement la matière dans l'empreinte d'un moule à chaud.
- **Injection des thermoplastiques** : est un procédé qui permet de réaliser directement des objets de formes complexes, irréalisable par extrusion ou par d'autres procédés.
- **Injection multipage des thermoplastiques** : on peut obtenir des pièces composées de différentes matières ou couleurs, ce que l'on définira comme plusieurs phases.
- **Injection des thermoplastiques allèges** : on introduit ou on génère, dans un thermoplastique fondu, des gaz, on solidifie le thermoplastique. Le résultat donne un produit allégé.
- **Injection-soufflage** : permet de réaliser des corps creux qui présentent de bonnes propriétés mécaniques. Cette technique est essentiellement réservée aux thermoplastiques.
- **Injection des thermodurcissables** : se caractérisent par leur réseau macromoléculaire tridimensionnel thermostable. Cela nécessite que la mise en forme (dans l'empreinte du moule) soit faite avec la réticulation, c'est à dire la création du réseau tridimensionnel

définitif. La mise en œuvre relève donc à la fois de la chimie (réticulation, dosage stœchiométrique des composants) et de la physique (écoulement des fluides, thermique).

- Moulage par rotation (roto moulage) : est conçu pour réaliser des corps creux de toutes dimensions. La méthode de fabrication est très simple. La matière thermoplastique est introduite dans un moule sous forme de poudre très fine, le moule est fermé puis chauffé ; pendant que la matière devient fluide, l'ensemble est mis en double rotation (ou rotation plus une oscillation) pour que la matière tapisse toutes les parois. Lorsque la matière est fondue et correctement répartie dans l'empreinte, le moule est introduit dans un système de refroidissement. [3]

II.1. Moulage par injection :

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

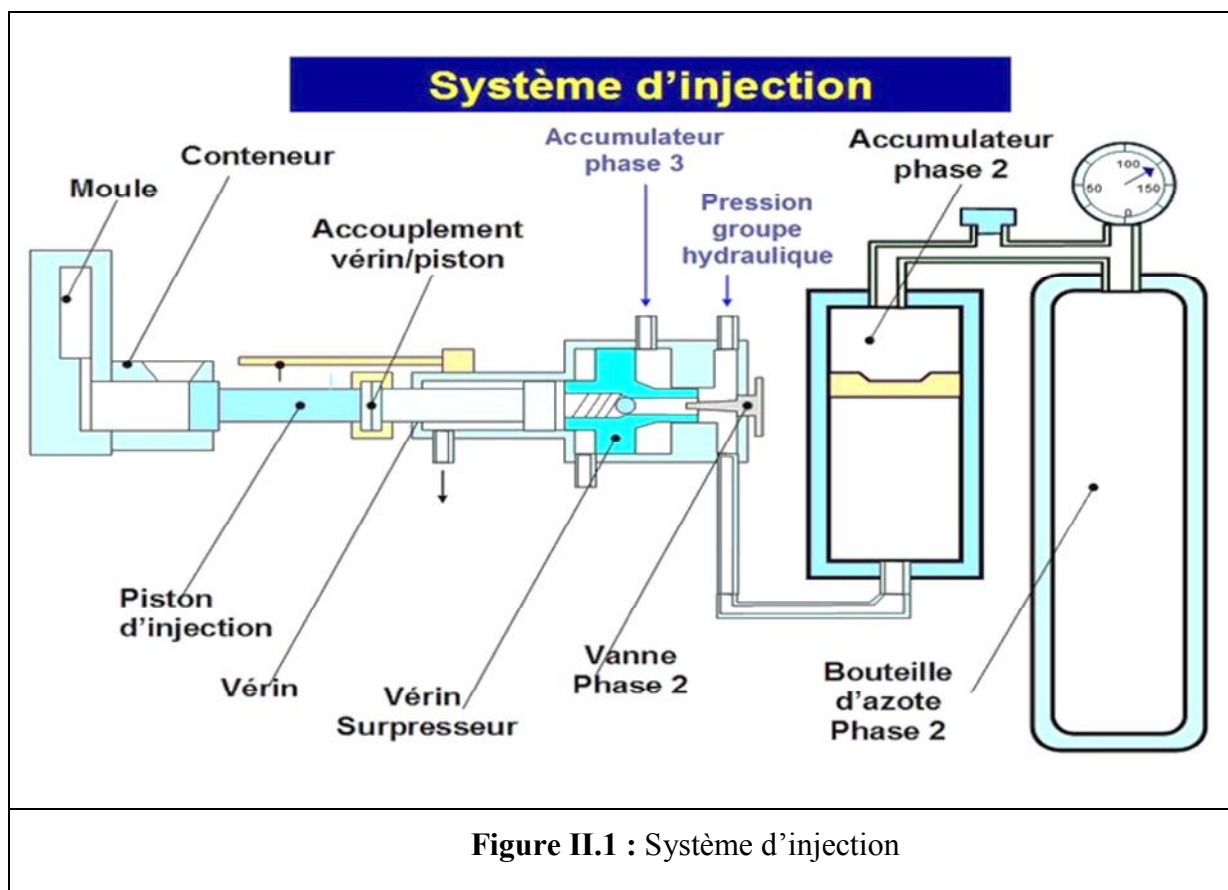
Mais aussi divers métaux et alliages à point de fusion relativement bas : alliages d'aluminium, de zinc (Zamak) ou encore laitons.

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

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

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

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



II.2 Description d'une presse à injection

Une presse à injecter, ou machine d'injection moulage, est constituée de deux unités principales : l'unité d'injection, ou de plastification, et l'unité de moulage (moule et système de fermeture) (Fig. II.2). Le plus souvent, les différences notables entre les types de machines concernent l'unité de plastification (Fig. II.3). Notons qu'il existe des presses verticales bien que les presses horizontales soient les plus fréquentes. Parmi ce type de machines, deux grands groupes se distinguent : les presses hydrauliques et les presses électriques. Elles présentent chacune des particularités plus ou moins intéressantes et adaptées à certaines fabrications.

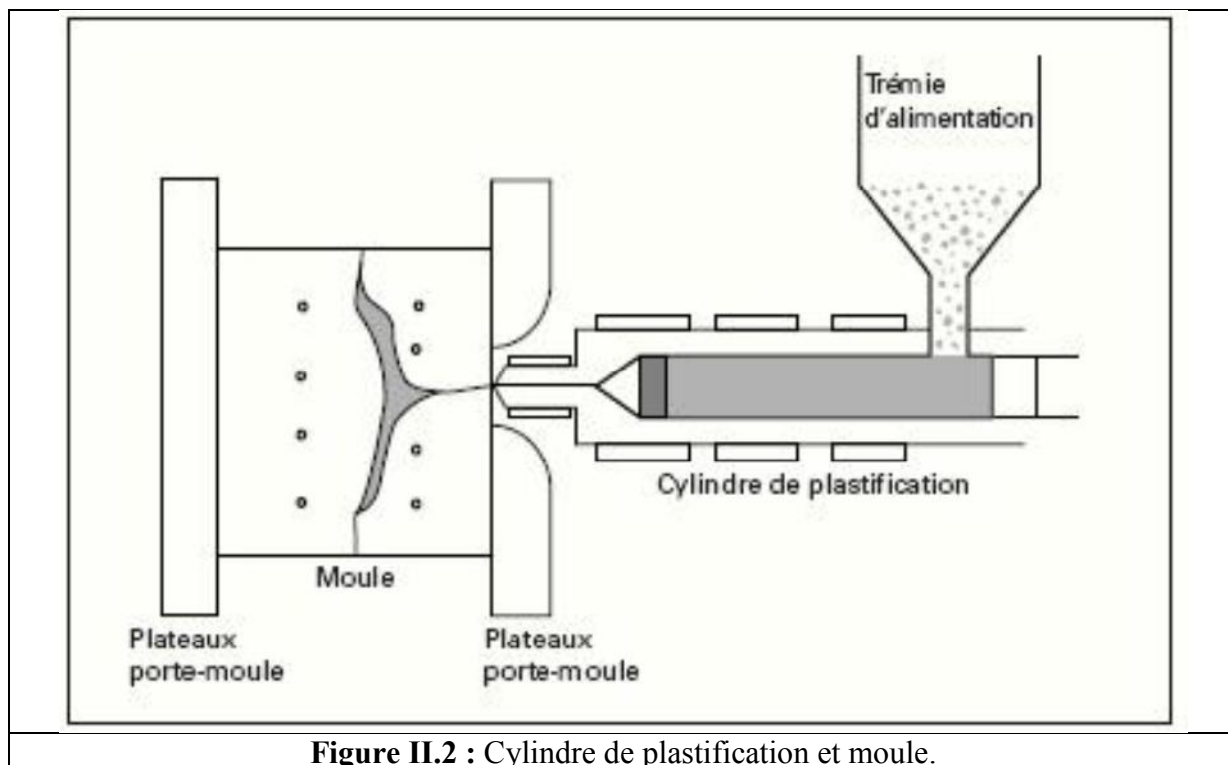


Figure II.2 : Cylindre de plastification et moule.

Les considérations essentielles à retenir dans le cas des thermoplastiques techniques sont les suivantes:

- Dessin approprié assurant la résistance nécessaire pour supporter les hautes pressions.
- Qualité correcte des matériaux de construction du moule, particulièrement dans le cas des résines renforcées.
- Dessin convenable des cheminements d'écoulement de la résine, pour son transfert vers la bonne localisation dans la pièce.
- Disposition suffisante d'évents, pour permettre l'évacuation de l'air en avant du front de matière pénétrant dans le moule.
- Transfert thermique soigneusement calculé pour contrôler le refroidissement et la solidification des pièces moulées.
- Ejection facile et uniforme des pièces moulées.

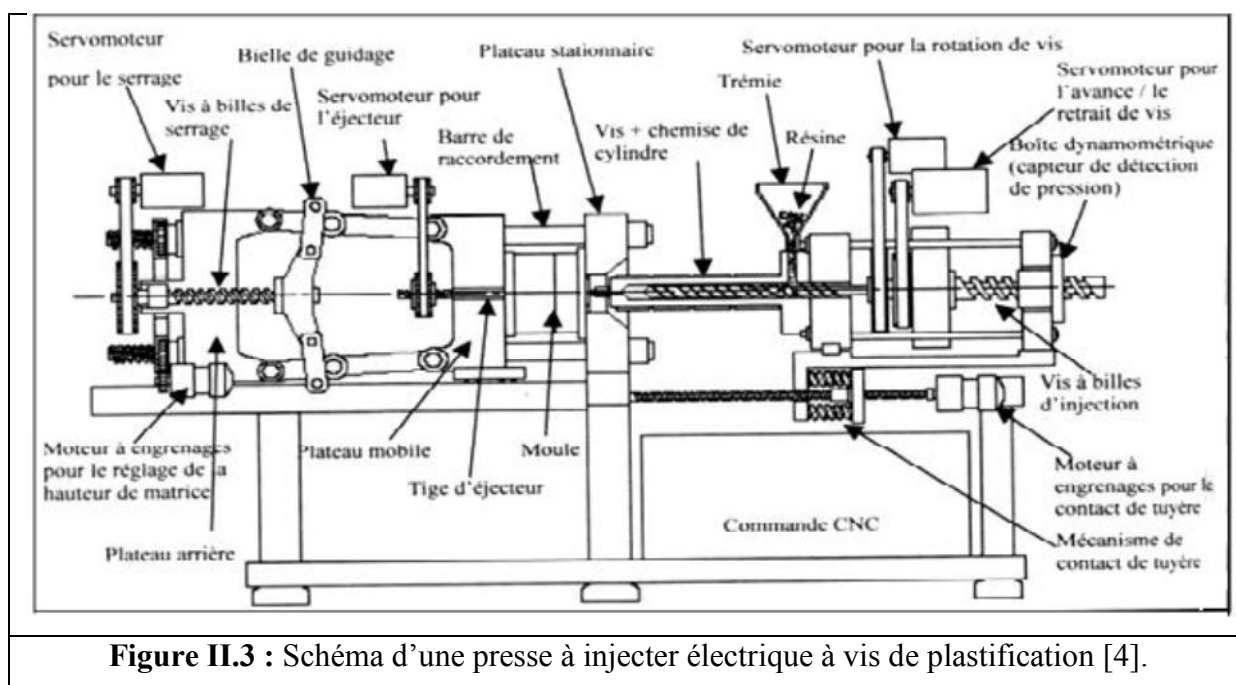
Une machine d'injection moulage se caractérise généralement par sa capacité maximum d'injection et sa force de fermeture. La première caractéristique peut être donnée en masse de polystyrène standard ou en volume (). La capacité d'injection réelle est comprise entre 30 et 70% de cette capacité maximale, ceci en fonction du comportement en phase fondue de la matière à transformer et des limites de sécurité machine (étape de compactage). La force de fermeture est généralement exprimée en tonne, et correspond à la force de fermeture maximum

du moule que peut maintenir la presse avant, pendant et après le remplissage du moule par la matière fondue. Toutefois, de nombreux autres critères peuvent être précisés pour définir au mieux une presse à injecter. Ils sont d'autant plus importants qu'ils seront nécessaires au choix d'une machine parfaitement adaptée à une gamme d'objets à fabriquer :

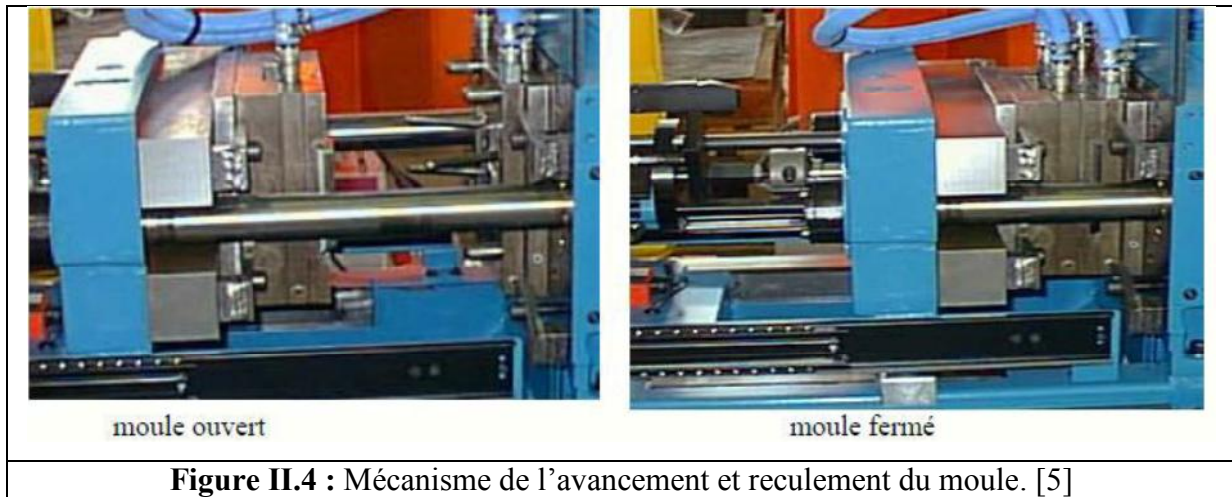
Par exemple les distances entre plateaux et entre colonnes doivent être de dimensions compatibles avec celles du moule.

La Figure II.7 montre les éléments essentiels d'une machine d'injection moulage. Parmi ces éléments, l'unité de plastification nous intéresse tout particulièrement dans le cas des bio-polymères.

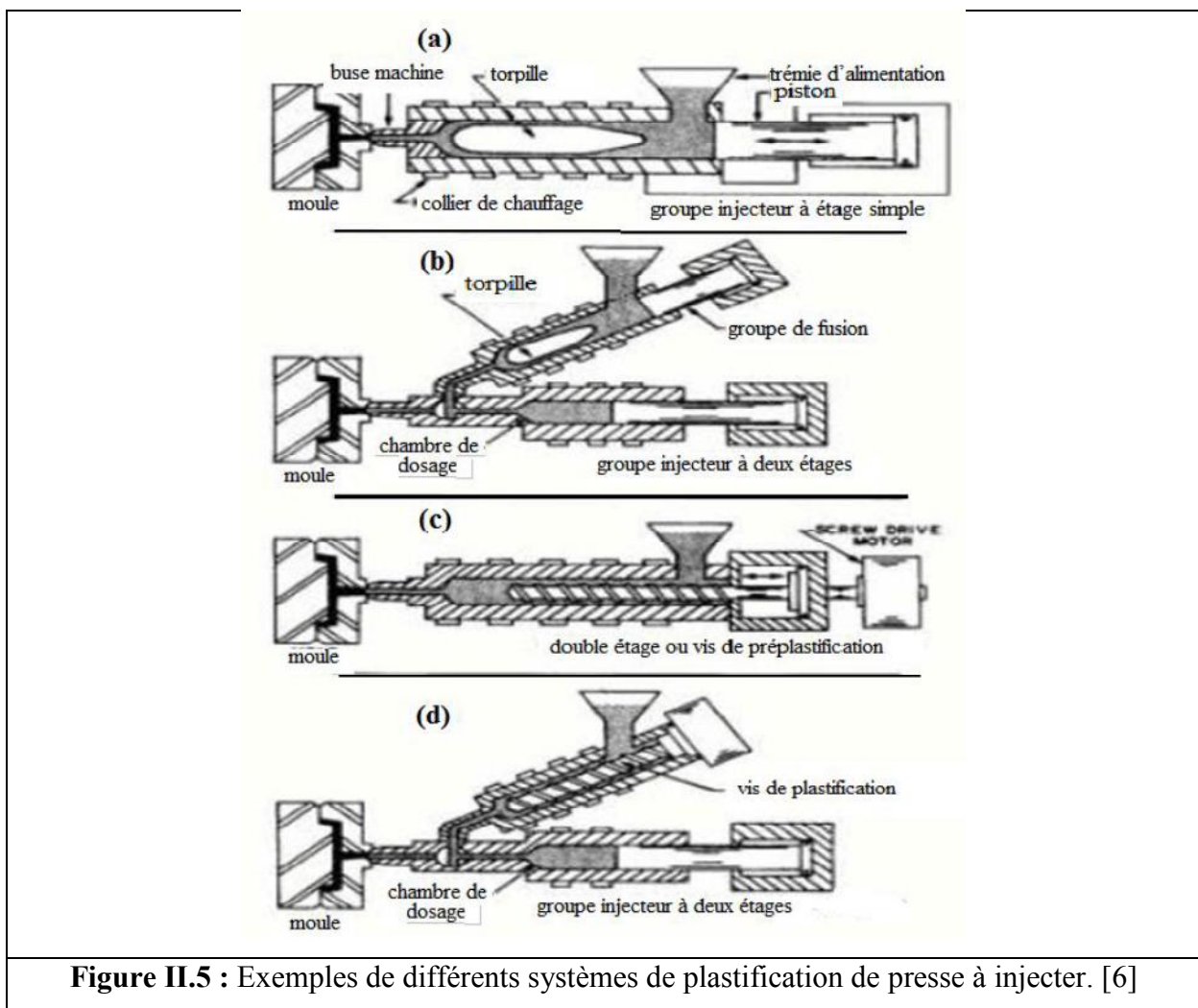
En effet, le rapport longueur / diamètre de la vis de plastification, la régulation thermique du fourreau et de la base de la trémie, la longueur et la géométrie de la buse d'injection sont autant de caractéristiques à prendre en compte pour la fusion de la matière sans dégradation de celle-ci.



La durée totale du cycle de moulage peut varier de deux secondes à plusieurs minutes, et concerner un nombre de pièces allant de l'unité à plusieurs dizaines, éjectées à chaque ouverture du moule. La rapidité du cycle de moulage peut se trouver restreinte par la capacité de transfert thermique du moule, sauf lorsque le temps d'ouverture – fermeture – éjection ou la capacité de plastification de la machine sont limités. Au départ le moule est fermé, la vis est reculée. Une certaine quantité de polymère fondu est accumulée en bout de vis (fig.II.4) Le vérin fait avancer la vis qui pousse le polymère dans le moule et remplit la cavité moulante.



Il existe plusieurs types de machines du moulage par injection (*Fig. II.5*) : presse à injecter à piston, à vis de plastification, à injection multiple (à piston, à vis, à piston et à vis), etc.



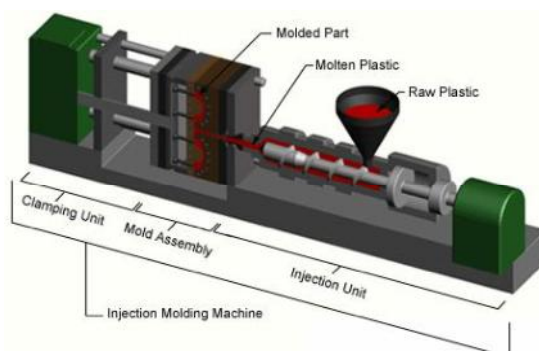


Figure II.6 : Présentation machine u moulage par injection. [3]

II.3. Différentes parties d'une presse à injection :

II.3.a. Unité d'injection :

L'unité d'injection est responsable de l'échauffement et de l'injection de la matière du polymère dans un moule. La première partie de cette unité est appelée trémie, elle est construite de façon à contenir une grande quantité de granulés du polymère. Pour le fonctionnement de la trémie, on entame un premier processus de l'opération et qui consiste à alimenter la machine en matière première. Une fois le mécanisme de ce système enclenché, on chauffe la matière jusqu'à liquéfaction du polymère. On assure ensuite l'injection du polymère « liquéfié ». La poussée de la matière est réalisée par un arbre filtré appelé vis avec des gradations de diamètre pour chaque longueur importante, ce dernier aide l'augmentation de la force de poussée de la matière jusqu'au seuil d'injection.

Le refroidissement de cette partie du moule se fait souvent par l'eau, la vis de la machine se déplaçant alternativement selon deux modes : rotation et avancement (ou translation axial) pour réaliser l'augmentation de la poussée de matière plastique avec une grande pression, le tout étant alimenté par un circuit hydraulique, la matière arrive jusqu'au seuil d'injection du moule à l'état fondu. Sous l'effet du frottement se crée une autre forme d'énergie appelée « source de dissipation ».

II.3.b. Unité de serrage :

Avant l'injection du polymère fondu dans le moule, il y a deux éléments de serrage intégré à la machine qu'il faut prendre en compte afin de réaliser la fermeture du moule, l'un est fixe à l'injecteur, et l'autre mobile, et ce afin d'assurer une meilleure fermeture.

Les deux plateaux qui portent le modèle de la forme désirée sont supportés par quatre barres pour assurer le glissement du plateau moule.

Le serrage hydraulique est actionné par un moteur qui pousse le plateau mobile vers le plateau fixe, et il exerce suffisamment de force pour maintenir le moule fermé. Tout le matériel est ensuite injecté et refroidi.

Après refroidissement, le moule est ensuite ouvert par le moteur de serrage. Le système d'éjection, revient vers l'arrière, arrivé vers le milieu de plateau, il est actionné par la barre d'éjection et pousse la partie solidifiée à la sortie de la cavité ouverte. [3]

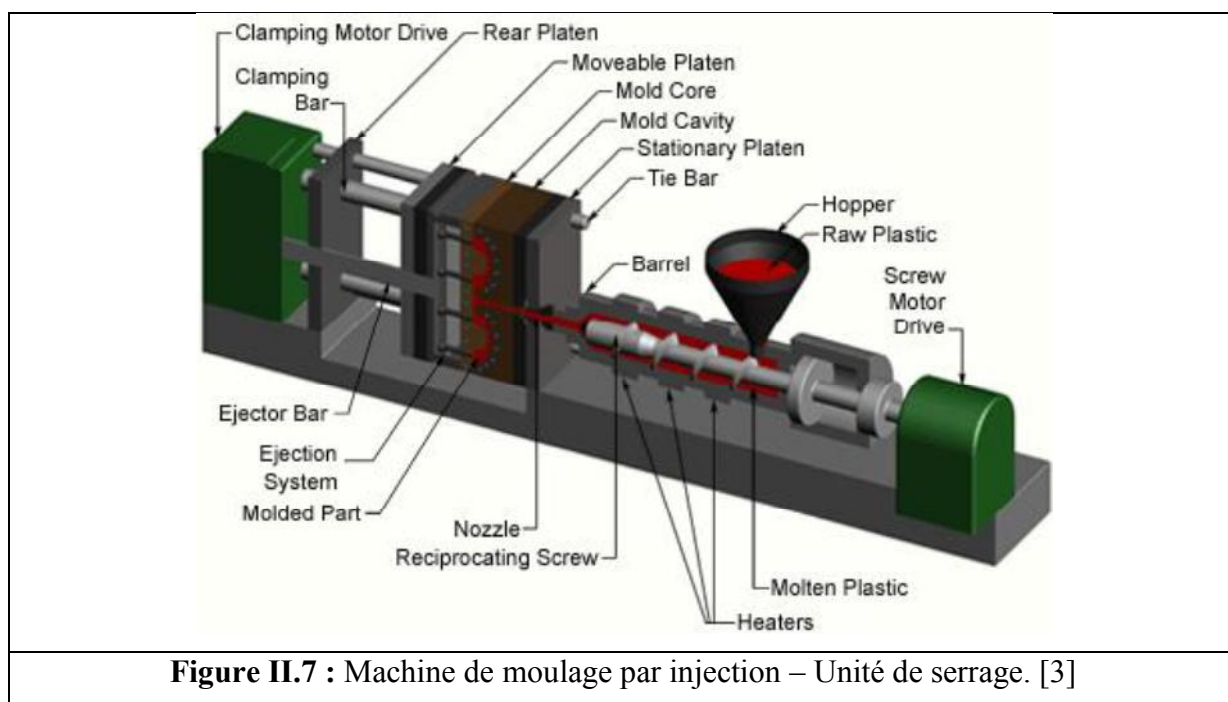


Figure II.7 : Machine de moulage par injection – Unité de serrage. [3]

II.3.c. Outillage :

Le moulage par injection se fait grâce à une machine en acier ou en aluminium et à plusieurs composantes, on y trouve deux parties essentielles : le cylindre de plastification, et le moule. Le cylindre transforme le polymère sous forme de granulés à l'état liquide sous un chauffage à haute température « résistance » jusqu'au seuil d'injection. Le moule subit les opérations suivantes.

- Fermeture du moule après réception du polymère fondu.
- Remplissage du moule en polymère fondu.
- Le refroidissement de la matière dans le moule se fait de façon régulière et progressive afin d'assurer une production en série du modèle désiré.
- Ejection du modèle fini.

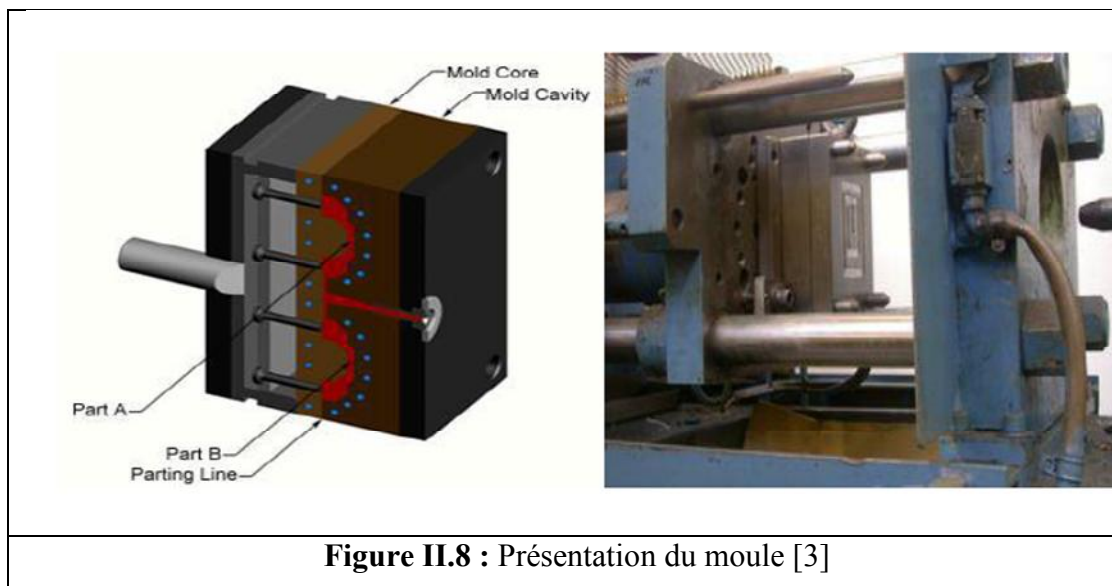


Figure II.8 : Présentation du moule [3]

II. d. Le moule :

La conception du moule influence de manière décisive la qualité et l'économie de la pièce Injectée, L'aspect de la pièce, sa résistance mécanique, sa ténacité, ses cotes, sa forme et son coût dépendent de la qualité du moule.

Le Corps du moule et la cavité du moule sont chacun montés et partagés sur deux parties du moule mobile et fixe ce n'est pas clair.

A la fin de l'injection du polymère fondu dans la cavité du moule, on obtient la pièce sous sa forme complète. Pour l'éjecter, on doit actionner l'arbre d'éjection (Fig. II.5), qui porte le plateau, cette dernière porte la pièce vers l'arrière en retrouvant sa position initiale.

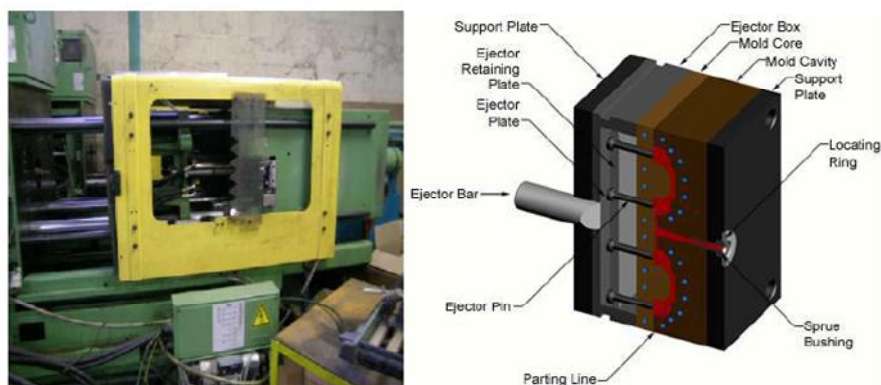


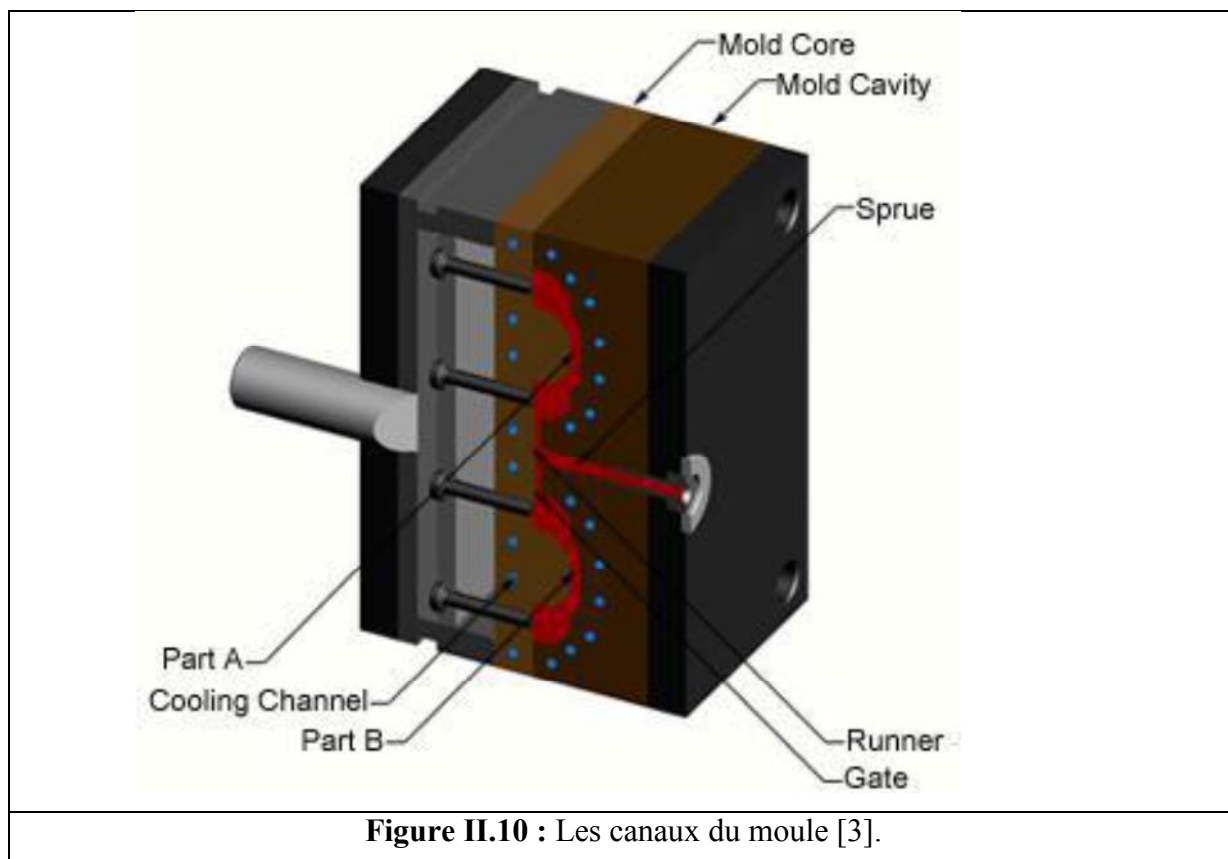
Figure II.9 : Base du moule [5]

II.3.e. Canaux de refroidissement :

Le polymère fondu coule dans une cavité du moule, l'opération est réalisée à partir du seuil d'injection qui dirige le fluide vers le moule. Pour assurer le refroidissement plusieurs canaux sont utilisés ; ceux-ci entourent le moule. À la fin du remplissage, le polymère fondu entre dans la cavité du moule par l'intermédiaire d'un portail qui dirige le flux de chaleur.

Le polymère fondu est solidifié grâce aux canaux de refroidissement, la pièce moulée doit être évacuée par l'éjecteur.

Les canaux chauds utilisés de façon à réaliser la transformation de la matière de l'état solide à l'état liquide.



II.4. Le cycle de moulage par injection :

- **Etape 1: la phase de dosage :** Les granulés de polymère tombent depuis une trémie dans un ensemble vis-fourreau. Ils sont ensuite fondus progressivement par action conjuguée des colliers chauffant le fourreau, et du cisaillement de la matière provoqué par la rotation de la vis et la friction des granulés (entre eux et contre les outillages). La matière fondue est alors convoyée en avant de la vis (via un clapet anti retour), dans l'espace créé par le recul progressif de cette dernière lors de sa rotation (**Figure II.11.a**).

- **Etape 2: la phase d'injection** : Grâce à un mouvement de translation de la vis, actionnée par un vérin, et au clapet anti-retour qui dans cette phase empêche la matière de rebrousser chemin, le polymère fondu est transféré du réservoir à un moule via des canaux. (**Figure II.11.b**).
- **Etape 3: la phase de compactage** : Le moule, composé de deux parties, une fixe et une mobile, est à ce moment tenu sous pression pour rester fermé, pendant que de son côté la matière est compactée par la vis, jusqu'à atteindre une pression uniforme dans la cavité du moule (également appelée empreinte), dans laquelle le polymère fondu continue à être injecté pour compenser le rétrécissement, ou retrait, de la matière qui refroidit (**Figure II.11.c**).
- **Etape 4: la phase de refroidissement** : Lorsque le polymère est entièrement figé au niveau du ou des seuils d'injection, il n'est plus nécessaire d'appliquer une pression de maintien, et la pièce continue de se refroidir jusqu'à ce qu'elle soit complètement solidifiée. La vis peut alors reprendre son cycle de rotation à l'étape 1 (**Figure II.11.d**).
- **Etape 5: la phase d'éjection** : Le moule s'ouvre, et la pièce formée est éjectée du moule.

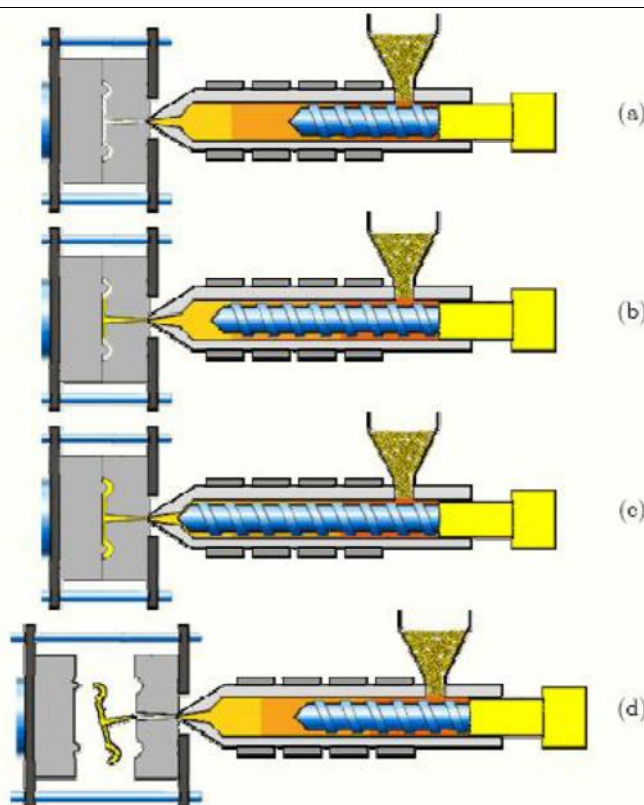


Figure II.11 : Etapes du procédé d'injection-moulage des thermoplastiques [7].

En ce qui concerne les thermoplastiques, la plupart d'entre eux, amorphes ou semi cristallins, peuvent être injectés, moyennant bien sûr des différences dans le procédé, en fonction du type de polymère, des dimensions et de la qualité recherchée des pièces (**Figure II.11.d**).

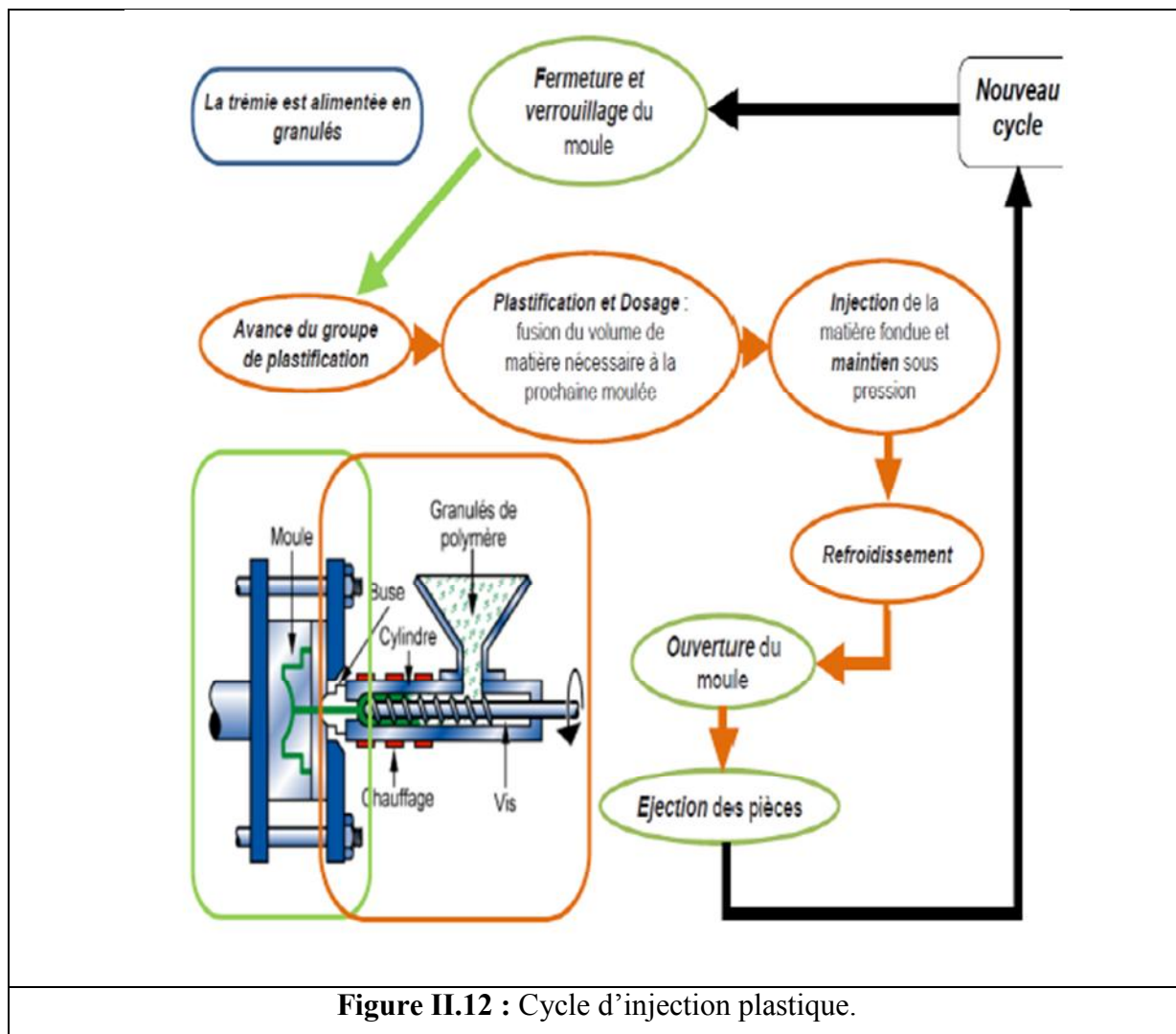


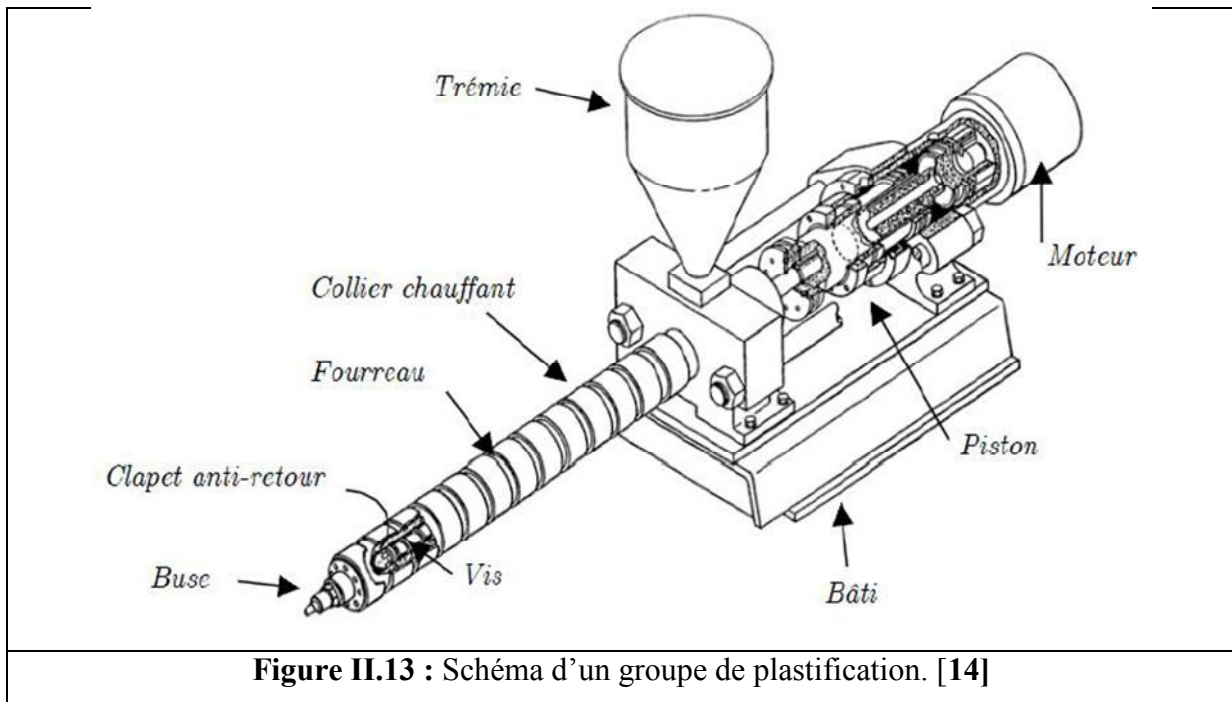
Figure II.12 : Cycle d'injection plastique.

La matière plastique (exemple : PP, PE, ABS, ...) se présente sous forme de granulés dans la trémie. Celle-ci doit subir une première transformation, elle est chauffée à l'intérieur du fourreau puis malaxée par une vis. Cette première étape s'appelle la plastification.

A la suite de cette opération la matière visqueuse est poussée dans le moule par un piston. C'est l'injection. Pour que la matière puisse se solidifier, il est ensuite nécessaire de thermo réguler le moule. La pièce moulée peut alors être éjectée après ouverture du moule grâce à un système d'éjection.[4]

II.5. Les vises d'injection :

En extrusion comme en injection, la matière est transformée, grâce au système vis/fourreau présente Dans le groupe de plastification, qui permet de faire fondre la matière plastique, la géométrie de la vis a un impact direct sur la qualité de plastification de la matière plastique. La connaître permet de mieux comprendre la procédure d'injection.



II.5.1. Etude d'une vis standard d'injection plastique :

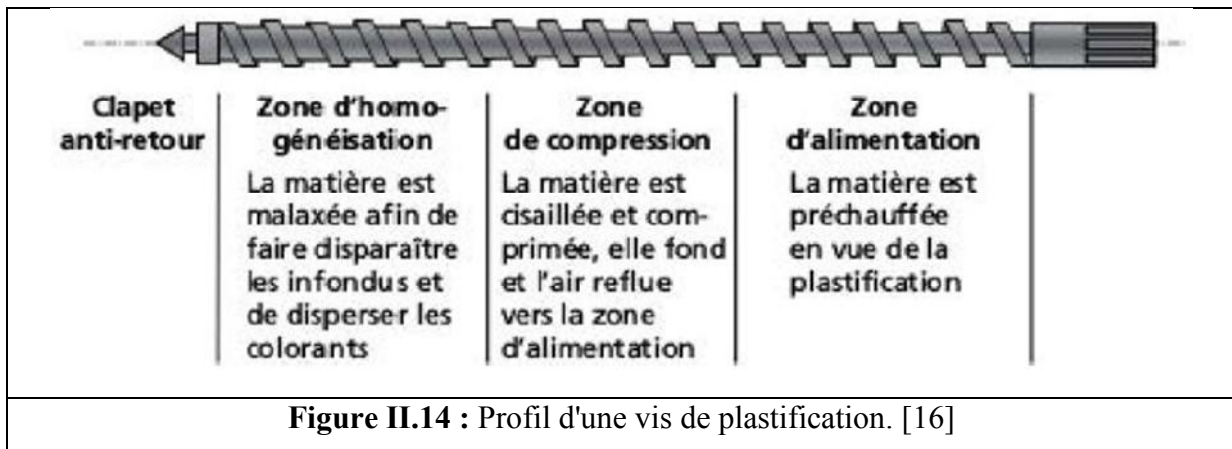
C'est l'élément le plus important de la presse à injecter. Le but étant de plastifier une matière sans lui faire perdre de ses caractéristiques au moment du passage en fusion. [19]

II.5.2. Composant d'une vis de transport :

Une mono vis standard d'injection comprend en général trois zones

- **Zone d'alimentation** : dans laquelle les granulés de polymère sont convoyés et compactés dans le chenal de la vis. C'est ici que la profondeur du chenal est la plus grande, et elle reste constante.
- **Zone de compression** : de forme tronconique, le granulés vont y être progressivement fondus par action conjuguée des colis chauffants et du et du cisaillement de la matière. La profondeur du chenal diminue progressivement pour atteindre sa valeur minimale en zone de pompage.
- **Zone de pompage (homogénéisation)**: dans cette dernière partie la profondeur demeure constant, le Polymère est mis en pression et s'homogénéise.

Les deux premières zones d'une vis permettent de plastifier la matière. [20]



II.5.3. Caractéristique d'une vis plastification :

- **La longueur de la vis** : une vis est généralement définie par le rapport entre sa longueur fixée (L) et son diamètre nominal (D). En général ce rapport oscille autour de $20L/D$. Les vis d'injection sont plus courtes qu'en extrusion ($30/35D$).
- **La profondeur du chenal** : une vis relativement profonde permet d'avoir une capacité de convoyage importante et réduit le cisaillement dans la matière, géométrie souhaitée pour les polymères sensibles à ce paramètre. Cependant, la vis serait plus sensible à la contre-pression.
- **Le taux de compression** : c'est le rapport entre la profondeur du chenal dans la zone d'alimentation et celle de la zone de pompage. Il varie entre 2 et 4 pour la majorité des vis industrielles. Une vis avec un faible taux de compression convient aux matières dont la plastification est aisée, comme les matières visqueuses, et inversement.
- **Pas de la vis** : la plupart des vis d'injection utilisent un pas « carré », ce qui signifie que le pas de l'hélice est égal au diamètre de la vis. Ce pas est proche de l'optimum pour le convoyage solide, mais peut être plus grand pour la partie fondue. [20]

II.5.4. Rôle d'une vis d'injection plastique :

- Convoyer et compacter le polymère solide.
- Plastifier le polymère.
- Convoyer et homogénéiser le polymère fondu.
- Transport et plastification de la matière.
- Injection sous pression de la masse fondue dans le moule. [21]

II.5.5. Types de vis d'injection:

a-Vis barrière :

Une vis à hautes performances dont les propriétés sont personnalisables pour s'adapter aux traitements des résines cristallines et amorphes. Elle est conçue pour offrir un meilleur contrôle de la force de cisaillement et de la température de fusion de la résine, ainsi que des vitesses de fonte et des performances de pompage de la matière fondue extrêmement efficaces.

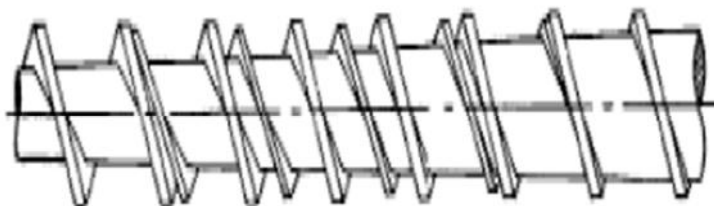


Figure II.15 : Profil d'une vis barrière de type "Maillefer. [22]

b-La vis de dégazage :

La vis de dégazage est constituée de deux vis à 3 zones. Elle est utilisée pour le traitement des thermoplastiques encore humides, [22]

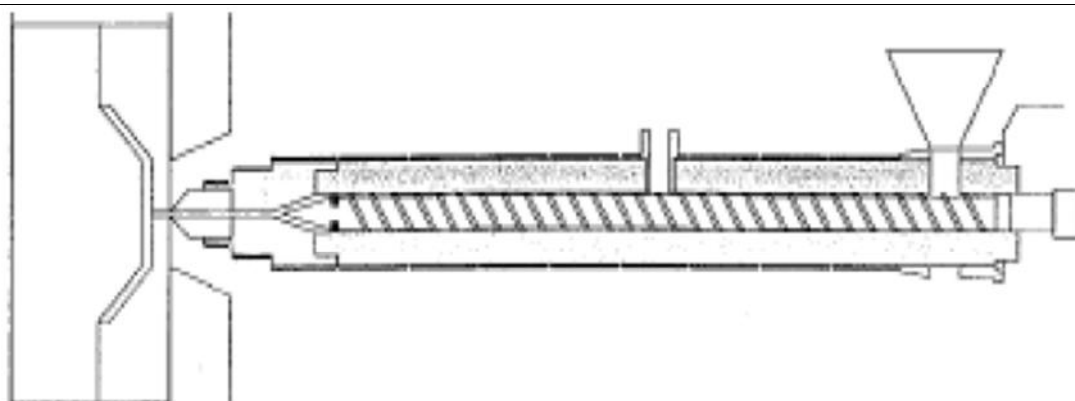


Figure II.16 : Schéma de principe de la vis avec système de dégazage [23]

c-Vis à énergie de transfert :

Ce profil de vis est développé tout d'abord par R. Barr pour le procédé d'extrusion, pour accroître la capacité de plastification et la qualité du polymère fondu. D'un point de vue énergétique, ce profil de vis est très économique, car son principal intérêt est de casser le lit solide en petites parties, de mélanger avec le polymère chaud par le mouvement de rotation de la vis en utilisant le moins d'énergie possible : la surface de contact entre le lit solide et le polymère fondu est beaucoup plus importante et la conduction thermique augmente.

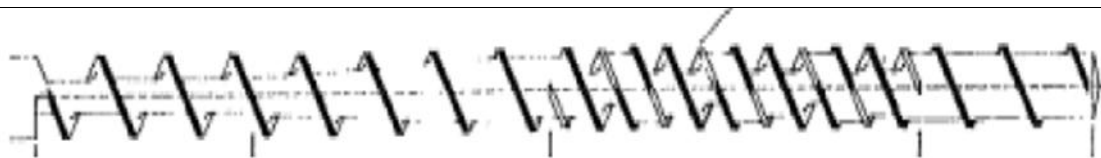


Figure II.17 : Vis à énergie de transfert, d'après C. Chung, "A novel energy efficient screw design», SPÉ Antec 168, page 168-169, Mai 1983 . [25]

II.5.6.Procède de fabrication de la vis :

Les vis subissent plusieurs opérations d'usinage depuis le barreau de matériau brut. La première opération consiste en un tournage de la barre afin d'obtenir une barre de dimension légèrement supérieure (1 mm) au diamètre final de la vis.

En deuxième opération, cette barre est ensuite mise sur une fraiseuse pour usiner les canaux de la vis. Cette fraiseuse peut être une fraiseuse en bout ou une fraiseuse trois tailles. La troisième opération est le perçage de la vis, si celui-ci est nécessaire pour la régulation thermique. La quatrième opération consiste en un polissage de la vis. Son but est de supprimer les facettes obtenues lors de l'usinage. Ceci est fait en général de façon manuelle. Puis la vis est redressée (cinquième opération). Ensuite, la sixième opération consiste en un durcissement superficiel, en général effectué par un processus de nitruration gazeuse. La septième opération consiste à redresser la vis une nouvelle fois pour contrebalancer les dernières contraintes résiduelles dues aux diverses opérations d'usinage. Enfin, la huitième opération est la rectification des filets extérieurs et des filets de passage. [26]

II.5.7. Le groupe d'entraînement de la vis :

- Moteur électrique.
- Réducteur de vitesse.

II.6. Les défauts d'injection tels que déformation géométrique, baveur, et remèdes :

II.6.1. les défauts géométriques :

L'injection plastique permet de réaliser des pièces en polymère très simplement, en remplissant de plastique un moule ayant la forme désirée un problème provient du fait que lorsque les pièces se solidifient et qu'on ouvre le moule, des défauts peuvent être constatés origine des défauts.

Les défauts géométriques apparaissent généralement pendant le refroidissement des pièces en plastique : les pièces se contractent, occupant un volume inférieur à celui du moule, ce qui est tout à fait normal. Ce qui l'est moins, c'est ce que l'on appelle le retrait différentiel, qui apparaît quand le refroidissement est déséquilibré. Quand deux faces opposées d'une

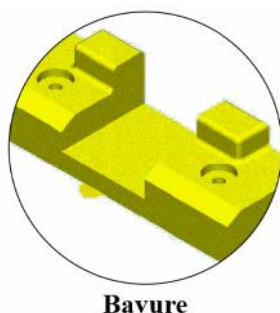
pièce sont soumises à des températures différentes par exemple, la partie la plus chaude se contracte plus rapidement que la plus froide. Il en résulte un gauchissement, c'est à dire une incurvation anormale de la surface de la pièce. Les retassures sont quant à elles dues aux surépaisseurs, que l'on peut par exemple trouver dans les profilés en T : certaines parties de la pièce se refroidissent plus lentement et se contractent davantage, et des cavités apparaissent. Comment limiter les défauts géométriques.

L'essentiel est d'éviter les points chauds afin d'assurer un refroidissement homogène après l'injection plastique. Dans certains cas, c'est la forme même du moule qui pose problème. Il faut donc assurer une meilleure régulation thermique, en augmentant par exemple la température sur une paroi du moule pour que toutes les faces de la pièce soient exposées à la même température. Les parois trop épaisses étant problématiques, mieux vaut adopter des parois plus minces et uniformes pour éviter les retassures et diminuer les surépaisseurs dans les angles, qui peuvent également provoquer des points chauds.

III.6.2. Bavure:

Examinez de près un joint torique en caoutchouc, et vous pourrez constater qu'il comporte une fine ligne de matière sur sa partie périphérique extérieure. Il s'agit du plan de joint, c'est-à-dire la ligne où se rejoignent les deux moitiés du moule. Avec des matières présentant un écoulement fluide telles que le Santoprene ou le nylon non chargé, une petite quantité de bavure peut parfois suinter dans le plan et nécessite souvent un ébavurage une fois la pièce refroidie. Sur une forme arrondie telle que celle-ci, le choix concernant l'emplacement du plan de joint est très limité, mais nombre de pièces orthogonales comportent des angles vifs, ce qui permet d'obtenir un joint bien net au niveau duquel le moule peut se séparer. Qu'une bavure

Soit ou non présente, un plan de joint est à prévoir sur la plupart des produits moulés. Néanmoins, nous identifierons son emplacement sur votre devis ProtoQuote et pourrons vous suggérer des méthodes permettant de modifier la géométrie de la présence d'une bavure.



II.6.3. Remèdes:

La première chose dont un gestionnaire de sourcing se soucie est, sans aucun doute, la qualité aujourd'hui, suivons easylockware vérifier top 10 des récipients alimentaires en plastique défauts d'injection un gestionnaire de sourcing doit éviter: Le moulage par injection est un processus courant pour fabriquer des composants faits de plastique, de verre, de polymère et de métal.

Les matériaux sont fondus et injectés dans un moule avec une certaine pression, un bon moule peut augmenter la capacité de production d'une entreprise, Cependant une petite erreur peut aussi entraîner des coûts élevés pour un fabricant.

a. Courts plans:

La situation où le plastique fondu n'occupe pas complètement le moule et conduit à un manque de plastique dans une partie s'appelle un tir court.



b. Des vides:

Des vides ou des bulles de vide sont emprisonnés à l'intérieur ou à proximité de la surface du moule d'injection, il est facilement cassé.



c. Marques de brûlure :

Les marques de brûlure peuvent être identifiées comme une décoloration noire ou rouge foncé lorsque le plastique brûle pendant l'injection il se produit habituellement au dernier endroit dans les cavités de moule.

La cause des marques de brûlure est que l'air à l'intérieur du moule est comprimé par du plastique moulé et brûle.

La couleur noire est le résidu de carbone du plastique coulant brûlé.

Conclusion :

Les procédés de mise en forme des matières plastiques cités précédemment nous ont permis l'obtention de produits finis ou semi finis avec une cadence journalière importante et comme nous venons de le voir, le polymère est un matériau très important d'un point de vue fonctionnel sur tous dans le domaine biomécanique, et on a vu des généralités des procédés d'injection plastique, on a essayé de bien comprendre les détails des différents types de machines à presses d'injection après une description fonctionnelle, et la matière utilisée dans le procédé de transformation thermoplastique.

Chapitre III :

Conception générale des moules

III.1. Introduction

Un premier cassement des moules (figure III-1) peut être établi en fonction de la presse utilisée :

Horizontale ou bien verticale et par la direction de l'injection par rapport au plan de joint du moule, Perpendiculaire ou bien dans le plan.

Bien que le premier type comprenne la majorité des presses utilisées dans l'industrie de la transformation, les autres configurations peuvent être imposées par les particularités de la production, par exemple : la mise en place de prisonniers, l'injection-soufflage, la fabrication de formes ou de dimensions hors gabarits.

D'autres classifications pourraient être fondées sur le nombre de plans de joint, sur le nombre d'empreintes ou sur leur disposition.

Une classification beaucoup plus pertinente, développée dans le paragraphe 4, peut être établie à partir du système d'alimentation.

Signalons également que le démoulage imposant l'incorporation de mécanismes qui changent profondément l'architecture du moule, on peut, à partir de là, proposer la classification suivante :

- moules à démoulage simple à l'aide du dispositif d'éjection ;
- moules pour la fabrication de pièces comportant des contre- dépouilles extérieures ou intérieures et nécessitant des dispositifs spéciaux ;
- moules possédant des mécanismes de dévissage.

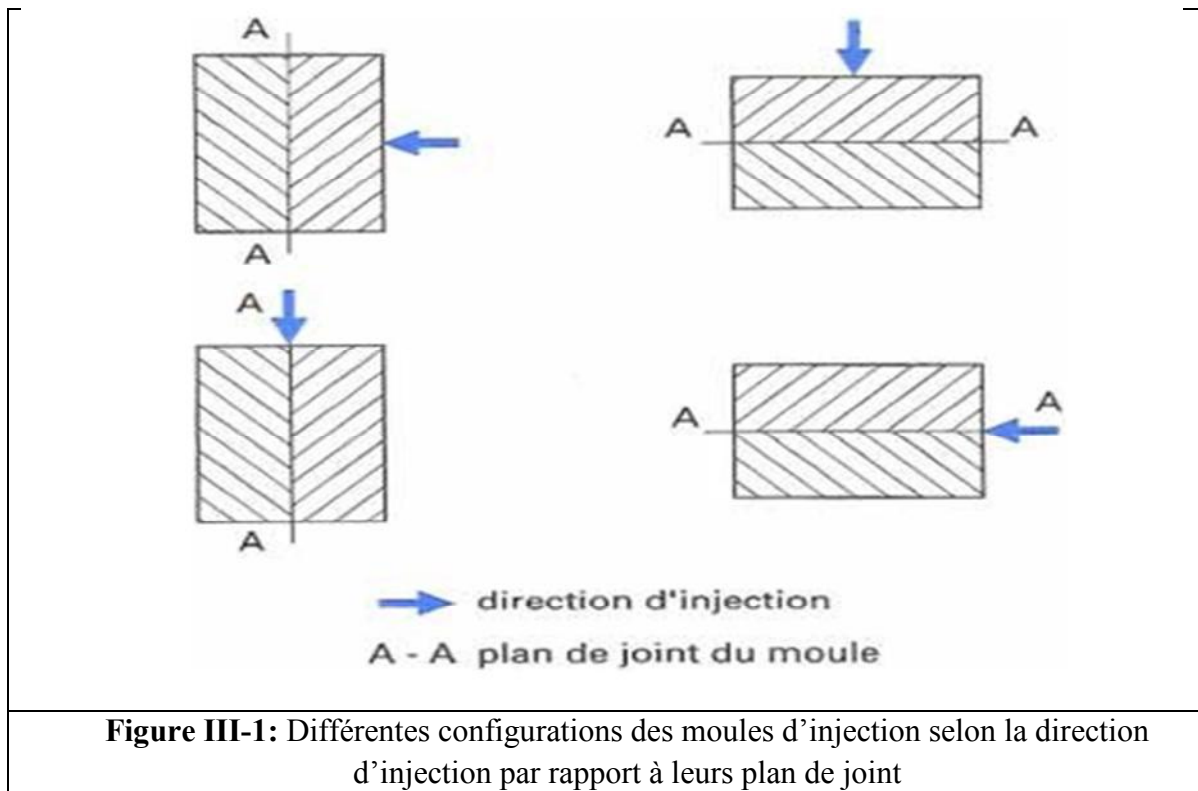
On peut élargir cette classification en tenant compte des particularités de construction ou de la destination des outillages :

- outil de démoulage simple ;
- outils comportant des dispositifs de démoulage mécaniques, hydrauliques ou pneumatiques ;
- moule modulaires ;
- moules à cadence rapide ;
- moules à étages ;
- moules à calibrage ;
- moules spéciaux de surmoulage, de moulage bi matière ou sur prisonniers.

Chaque moule, quel que soit son type, se compose ou fait appel à un certain nombre de sous-ensembles fonctionnels :

- les éléments moulants : empreints (poinçon et matrice) ;
- les éléments fonctionnels : carcasse, alimentation, mécanisme de libération et de démoulage des pièces injectées, dispositifs de régulation en température du moule ;

- les éléments auxiliaires : fixation et dispositif de manipulation, systèmes de centrage, robots de mise en place des prisonniers et d'extraction des pièces moulées, dispositifs de sécurité et de contrôle du démoulage.



III.2. Description de l'empreinte

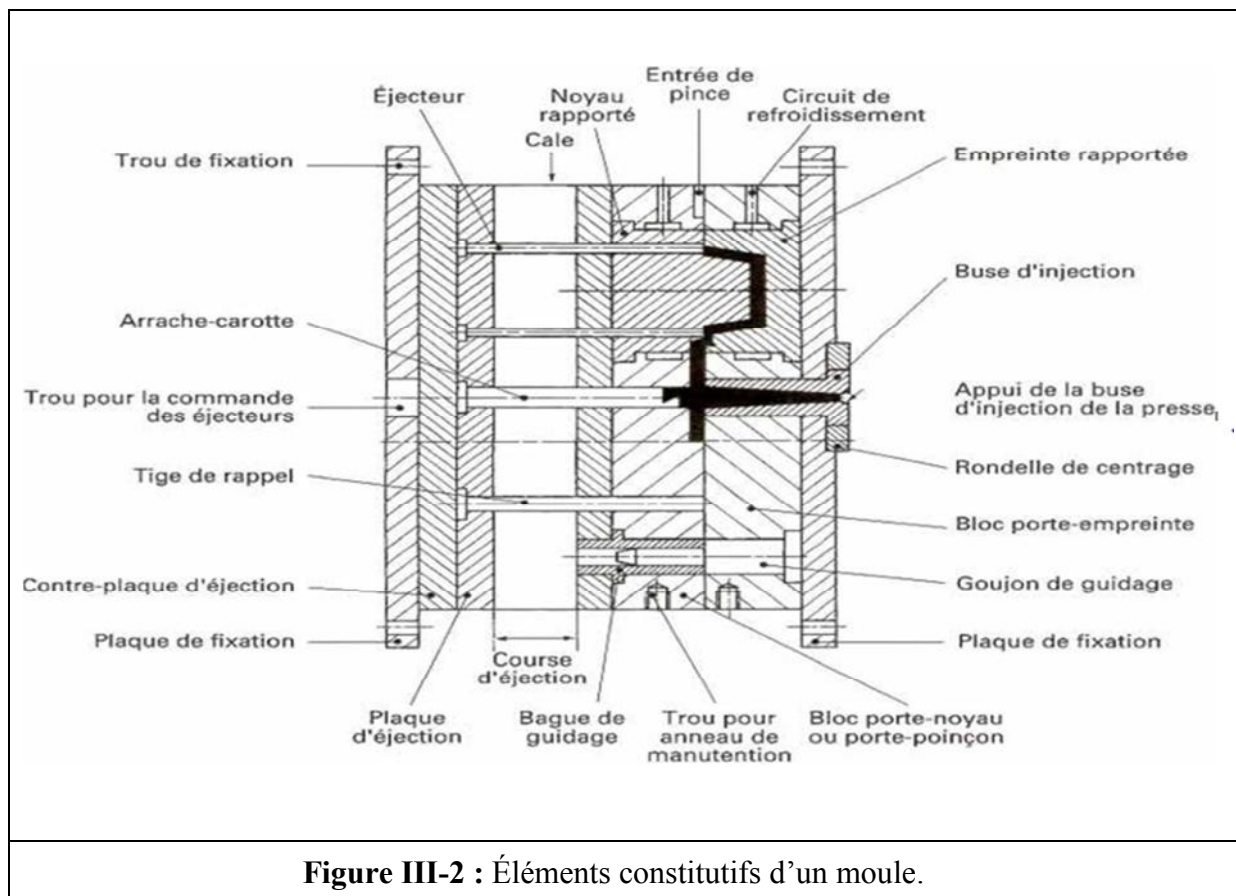
La cavité de l'empreinte représentant le négatif tridimensionnel de l'objet (toutes corrections de cotes comprises) est limitée par le poinçon et la matrice.

Le moule se ferme avant l'injection et la surface de contact de ses deux parties forme le plan de joint. Ce dernier n'est pas toujours plan: la surface peut être gauche, en créneau ou complexe comme, par exemple, dans les moules à coquilles.

La force de fermeture du moule se répartit sur la surface du plan de joint et doit assurer l'étanchéité de l'empreinte au moment de son remplissage sous pression.

L'ensemble du moule qui contient la ou les empreintes s'appelle bloc du moule, ou carcasse, constitué du bloc porte-matrice(s) et du bloc porte-poinçon(s).

Directement dans ces deux blocs, mais on utilise le plus souvent des éléments rapportés incorporés dans les deux blocs du moule (figure III-2).



Si l'objet présente des contre-dépouilles et n'est pas démoulable simplement par la poussée des éjecteurs, la matrice ou le poinçon (ou les deux) doit être composé d'éléments mobiles (coquilles qui s'écartent, noyaux et anneaux tournants ou autres mécanismes) incorporés dans le bloc fixe ou mobile du moule.

Ces mécanismes et leur fonctionnement modifient l'architecture du moule de façon importante.

La température du moule doit être contrôlée pendant la solidification du polymère, ce qui amène à prévoir des canaux de circulation de fluide caloporteur, percés dans l'épaisseur des blocs.

Par ailleurs, l'alimentation à canaux chauds, présentée dans le paragraphe 4.2, nécessite le chauffage de la buse ou du distributeur et une bonne isolation thermique d'une partie du bloc.

Les interventions nécessaires : perçage, connexions... doivent être prévues sur le bloc du moule (ou carcasse).

III.2. Constitution de la carcasse

III.2.1. Généralités

La carcasse regroupe tous les éléments du moule énumérés plus loin. Elle permet l'incorporation de mécanismes de démoulage autres que les éjecteurs et l'installation du système de régulation de la température (canaux, cartouches chauffantes, sondes thermo- métriques).

Les plaques peuvent être carrées, rectangulaires ou circulaires, mais, pour les moules spéciaux équipés de dispositifs de démoulage, leur forme doit tenir compte de la géométrie de la pièce injectée et des plateaux de la presse.

La configuration de la carcasse est également influencée par le choix du système d'injection, ses dimensions doivent tenir compte des dimensions des plateaux de la presse en assurant une judicieuse répartition des empreintes, des canaux d'alimentation ou des blocs de distribution, des canaux de circulation des fluides caloporteurs et des mécanismes auxiliaires.

III.2.2. Éléments constitutifs de la carcasse

- Les éléments fixes se divisent :
 - en blocs-matrices (pour les petits moules) ;
 - en plaque ou bloc porte-matrices ou porte-empreintes ;
 - en bloc porte-poinçons ;
 - en contre-plaques ;
 - en plaques de fixation.
- Les plaques mobiles sont :
- La plaque d'éjection et la contre-plaque d'éjection (ces deux plaques contiennent les pieds des éjecteurs et de la tige de rappel) ;
- Les plaques de dévêtissage et les plaques flottantes qui possèdent généralement un guidage à billes.

Les plaques fixes ou mobiles, empilées, doivent avoir leurs bords chanfreinés et des fraises dans leur plan de joint pour faciliter si nécessaire leur séparation (figure III-3).

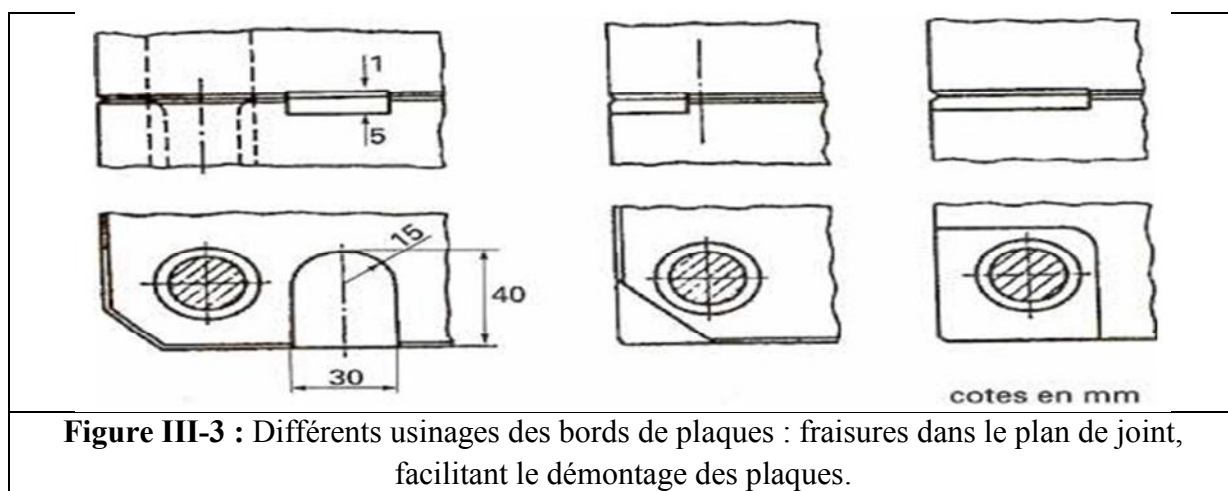


Figure III-3 : Différents usinages des bords de plaques : fraises dans le plan de joint, facilitant le démontage des plaques.

Les contre-plaques doivent apporter une rigidité suffisante pour s'opposer à la déformation des parties moulantes sous l'action de la pression d'injection et empêcher la formation de bavures.

Ces contre-plaques doivent être soigneusement calculées.

- Des entretoises ou cales sont utilisées dans les moules pour ménager la place des plaques et des contre-plaques d'éjection, ou pour augmenter la hauteur des moules de pièces plates de façon à tenir compte de la course minimale du plateau mobile de la presse. Certains sous-traitants proposent des plaques de fixation coulées comportant des entretoises.

Pour les petits moules construits pour de petites séries, on trouve, sur le marché, des carcasses en alliage d'aluminium, de zinc ou de cuivre (figure III-4), qui possèdent à la fois une bonne résistance mécanique, une dureté satisfaisante et une excellente usinabilité.

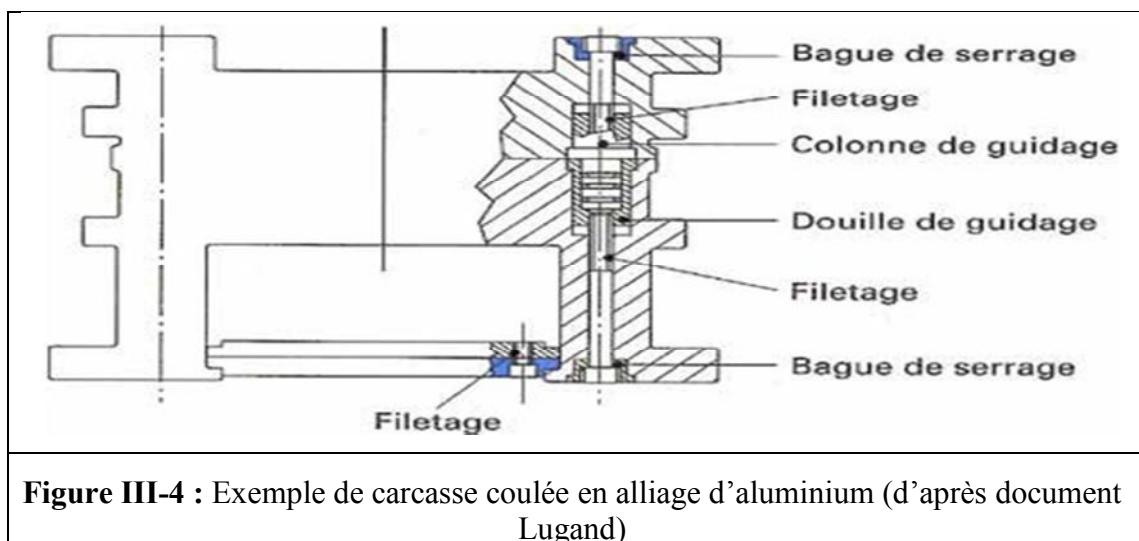


Figure III-4 : Exemple de carcasse coulée en alliage d'aluminium (d'après document Lugand)

La présence de cales sous la contre-plaque de la partie mobile du moule diminue efficacement la flèche sous pression, mais complique la mise en place des éjecteurs.

- Les éléments de centrage et de fixation permettent de fixer le moule sur les plateaux de la presse, d'aligner le nez de la machine avec la buse du moule et d'accoupler les dispositifs d'éjection de la presse et de l'outillage.

Le centrage peut être obtenu grâce à un orifice ménagé sur le plateau de la presse situé du côté du plastificateur et dans lequel on introduit la rondelle de centrage du moule. Les presses comportent souvent un orifice de centrage sur chaque plateau.

L'assemblage et le centrage des plaques et des entretoises de la carcasse sont obtenus à l'aide de plusieurs solutions techniques conduisant toutes à l'alignement des éléments de la carcasse (figure III-5).

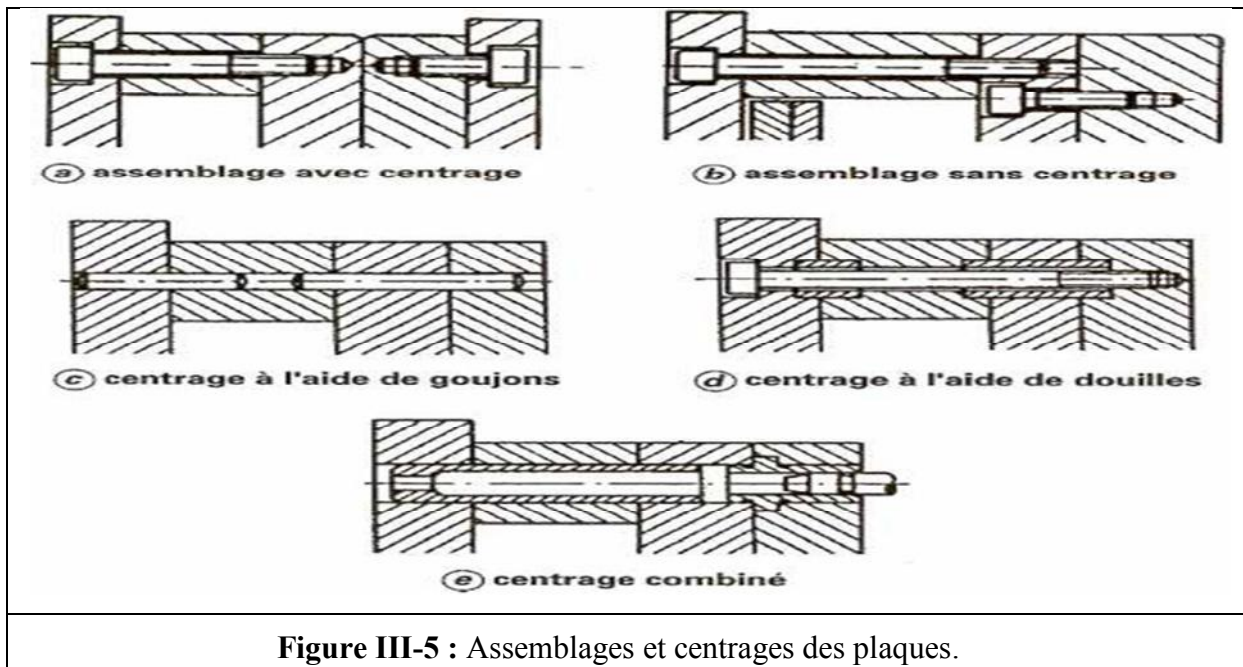


Figure III-5 : Assemblages et centrages des plaques.

La fixation proprement dite du moule sur les plateaux de la presse doit être précise et solide. Dans le cas le plus courant, celui des presses horizontales, les plateaux sont verticaux et la fixation du moule doit interdire tout déplacement de l'outillage sous son propre poids ou sous l'action des vibrations de la presse. Des rondelles de centrage sur les deux plateaux s'opposent à un déplacement latéral, mais l'ensemble du moule doit être fixé aux plateaux par l'intermédiaire de vis.

Les plateaux de presse possèdent des orifices filetés ou non ou des rainures en T. Ces dernières sont de moins en moins souvent utilisées, car tout le plateau doit être changé dans le cas de la rupture d'un bord d'une des rainures.

Les plaques de fixation des moules sont directement fixées sur les plateaux (figure III-6).

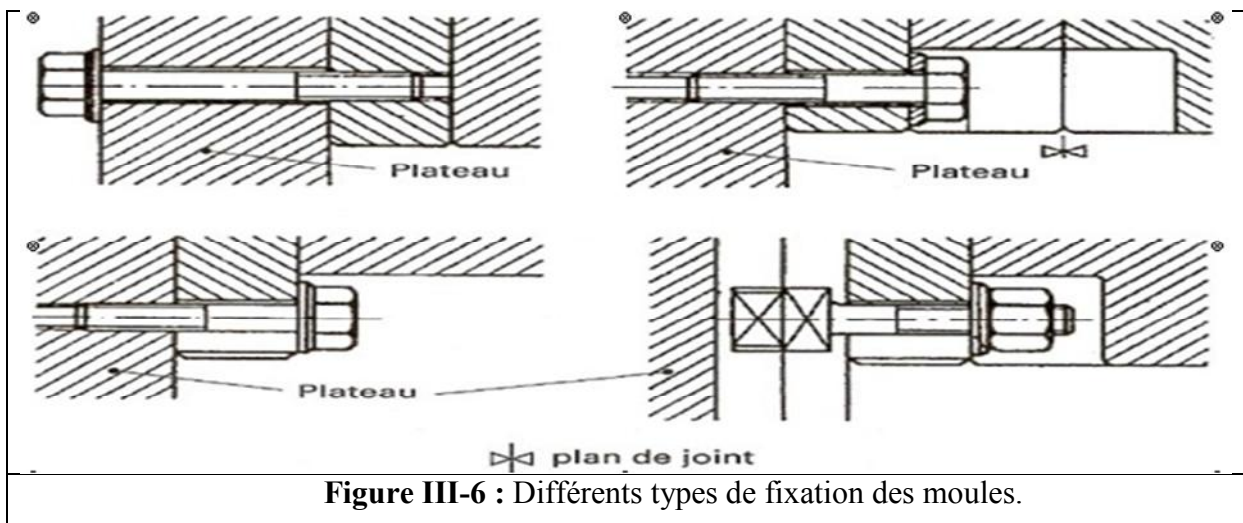


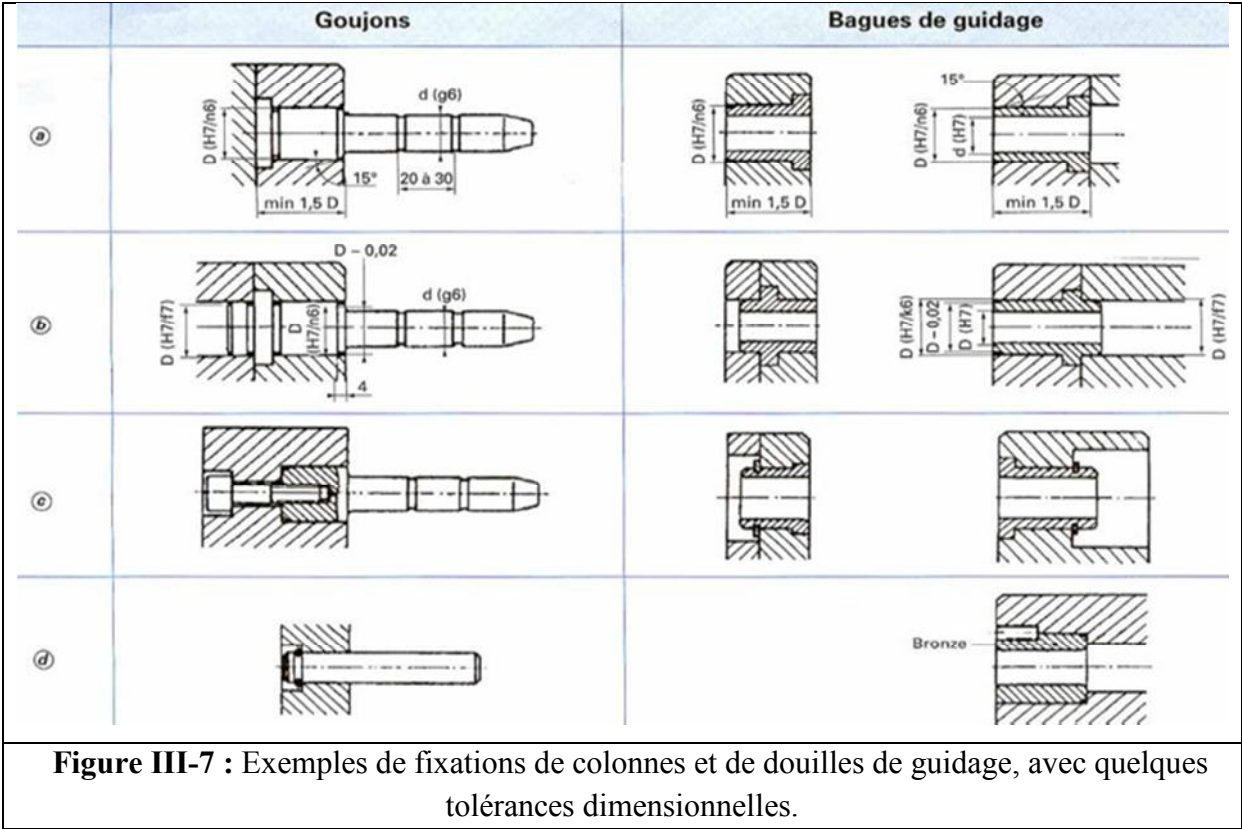
Figure III-6 : Différents types de fixation des moules.

Chapitre III : Conception générale des moules

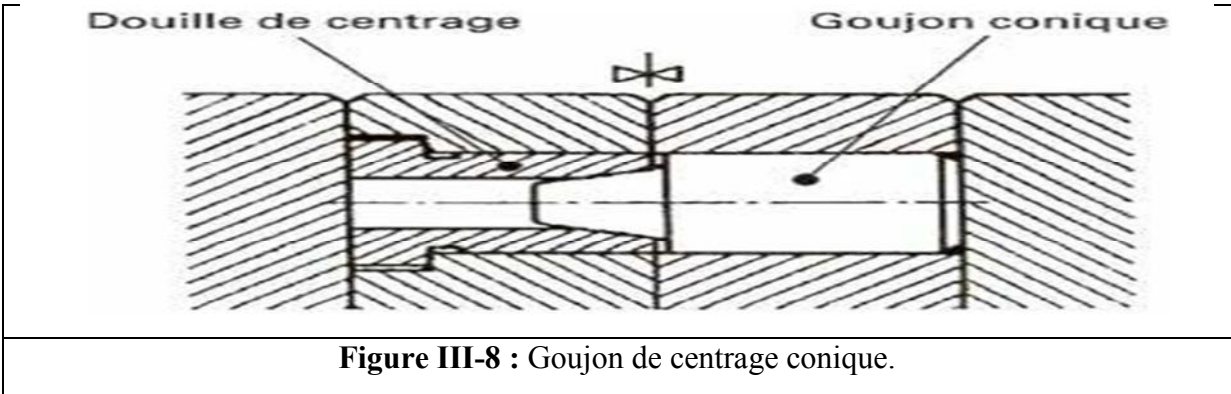
Presque tous les constructeurs de machines ou de moules proposent des systèmes de changement rapide des moules destinés à réduire et à optimiser les démarrages. Ces dispositifs sont propres aux fabricants et n'ont pas encore donné lieu à une normalisation.

- Les éléments de guidage sont indispensables pour que le moule s'ouvre et se ferme avec précision. Ce résultat est obtenu grâce à des goujons et des bagues de guidage dissymétriques par rapport à l'axe du moule dans leurs positions ou leurs diamètres pour éviter toute erreur au montage du moule.

La (figure III-7) présente quelques exemples de fixation des éléments de guidage.



On utilise quelquefois des goujons coniques (figure III-8).



Dans le cas de pièces circulaires, le centrage est avantageusement réalisé à l'aide de deux anneaux coniques placés respectivement autour du poinçon et de la matrice (figure III-9). Cette solution est plus précise que celle qui fait appel à des colonnes et résiste mieux aux forces de déplacement latérales.

Pour les centrages de précision, on est souvent amené à utiliser des solutions mixtes comportant d'une part des goujons et d'autre part des anneaux coniques ou des barrettes prismatiques de section trapézoïdale.

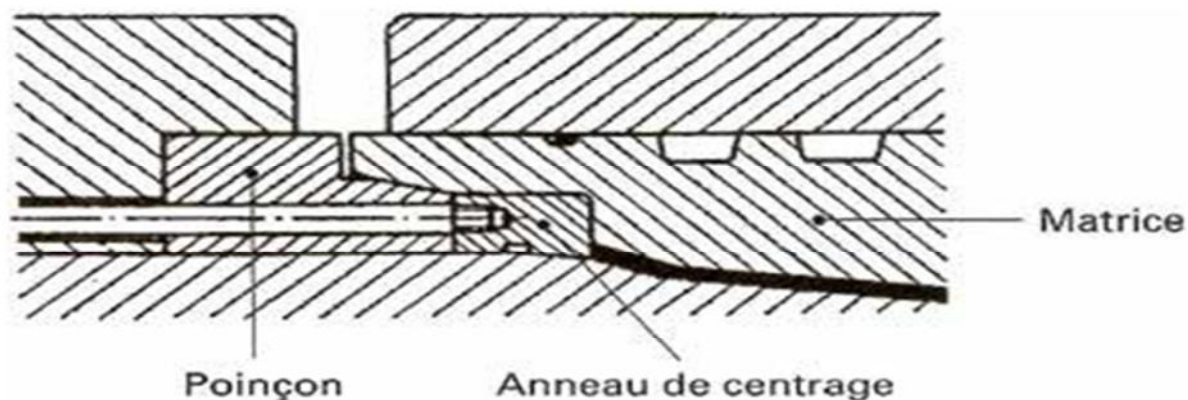


Figure III-9 : Centrage à l'aide d'un anneau conique.

- Les éléments de démoulage interviennent quand tous les obstacles à l'extraction de l'objet, c'est-à-dire contre-dépouilles intérieures ou extérieures, filetages ou orifices latéraux, ont été surmontés et qu'il ne reste que les forces de serrage provenant du retrait. On utilise alors les éjecteurs (actuellement normalisés) qui sont placés d'habitude dans la partie mobile du moule, entre le bloc et le plateau de fixation.
- La présence des obstacles au démoulage cités ci-avant rend nécessaire l'incorporation de mécanismes dans la carcasse du moule, qui doit, de ce fait, être quelquefois profondément modifiée (voir Éléments auxiliaires).
- Éléments auxiliaire :
 - Le maintien du moule à température constante conduit à usiner, dans l'épaisseur des plaques et des éléments de la carcasse, un réseau de canaux qui soulèvent des problèmes techniques de circulation, d'étanchéité et de liaison avec l'appareil assurant la régulation de la température du fluide caloporteur.
 - Le chauffage et la régulation électriques nécessitent également d'autres forages permettant l'introduction de cartouches et de sondes normalisées.

L'obturation hydraulique ou pneumatique des seuils d'alimentation nécessite la fixation de leviers et de vérins sur la carcasse.

Les moules à deux plans de joint doivent être équipés de butées et de dispositifs de blocage (figures III-10 et III-11).

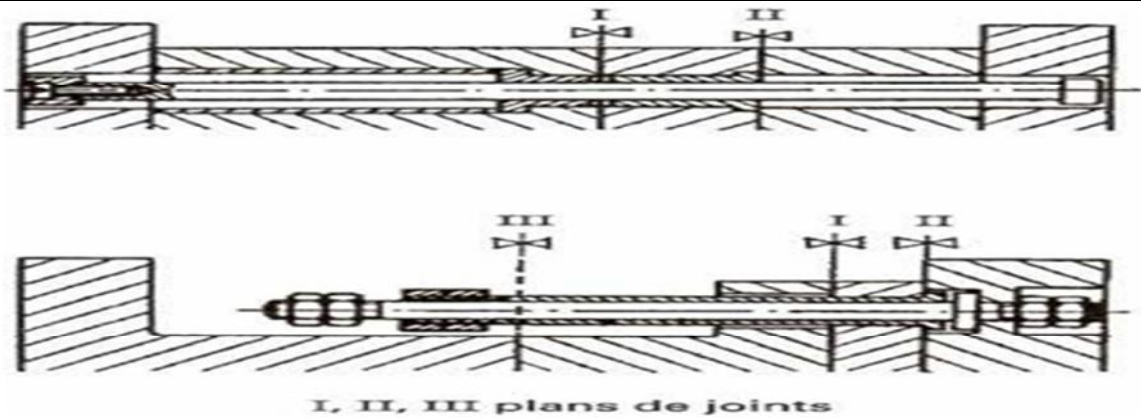


Figure III-10 : Exemples d'entraînement de plaques flottantes.

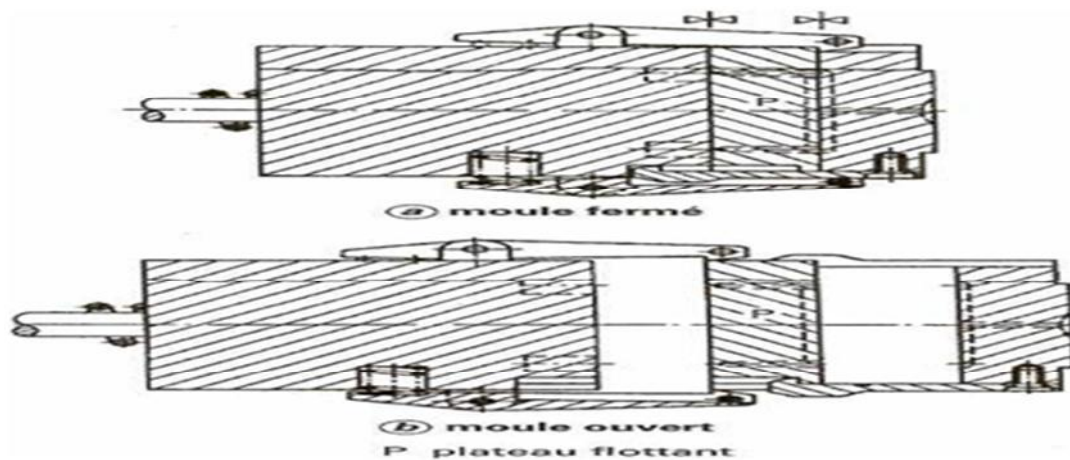


Figure III-11 : Blocage d'un plateau flottant.

Le transport et la manutention, en particulier le montage sur la presse de moules de plusieurs centaines de kilogrammes, voire de plusieurs tonnes, exige l'incorporation à la carcasse de dispositifs d'accrochage au palan et aux autres appareils de levage.

III.4. Alimentation de l'empreinte :

Le mode d'alimentation d'une empreinte exerce une influence décisive sur la qualité et le prix des pièces injectées. La technique actuelle permet d'obtenir des pièces unitaires complètement finies ou des grappes constituées de la matière solidifiée dans les canaux d'alimentation et des objets, qu'il faut séparer après l'éjection. L'empreinte peut être alimentée avec des canaux froids ou des canaux chauds.

III.4.1. Alimentation à canaux froids :

Un moule mono-empreinte est alimenté par une *carotte*. Un moule multi-empreinte produit plusieurs objets qui forment une grappe avec ses canaux et sa carotte d'alimentation, la conception du moule dépend du décarottage. Il existe l'alternative ci-après.

- La pièce ou la grappe est éjectée pour subir ensuite un décarottage manuel ou mécanique et le contenu des canaux est en général broyé pour être ensuite réutilisé en mélange avec des granulés vierges. Pour les petits objets, la masse de matière dans le réseau d'alimentation peut représenter 80 % et plus de celle des pièces moulées, de sorte que le procédé est peu économique, en particulier pour les pièces à usage médical pour lesquelles la moindre impureté est interdite, ce qui exclut le recyclage de matière rebroyée.
- Le ou les objets sont séparés automatiquement de la carotte ou de la grappe d'alimentation au moment du démoulage. Cette méthode exige des modifications dans la construction du moule, telles que l'aménagement d'une alimentation par *tunnel* ou des outillages à *deux plans de joint*. L'avantage de la suppression du décarottage après éjection est compensé par l'obligation d'usiner le moule avec une plus grande précision. Le broyage du contenu des canaux d'alimentation, solidifié et éjecté à part à chaque ouverture du moule, s'effectue comme dans le cas précédent.

III.4.2. Alimentation à canaux chauds :

Le ou les objets sont injectés à travers la *préchambre de transfert* ou le réseau de canaux chauds. Ils sont démoulés prêts à être emballés et ne nécessitent aucune opération supplémentaire. La matière qui reste dans les canaux à l'état fondu est injectée dans l'empreinte pendant le cycle suivant.

Ce type d'alimentation exige une bonne connaissance des propriétés thermo rhéologiques des polymères injectés et du matériel fourni par les fabricants spécialisés.

L'investissement est plus important, mais les avantages sont nombreux et particulièrement appréciables pour la production d'articles médicaux, de pièces techniques dont les tolérances dimensionnelles sont très serrées, ainsi que pour la fabrication d'objets destinés à l'emballage et à la publicité pour lesquels on recherche une économie de matière associée à la qualité d'aspect.

III.4.3. Comparaison des deux types d'alimentation :

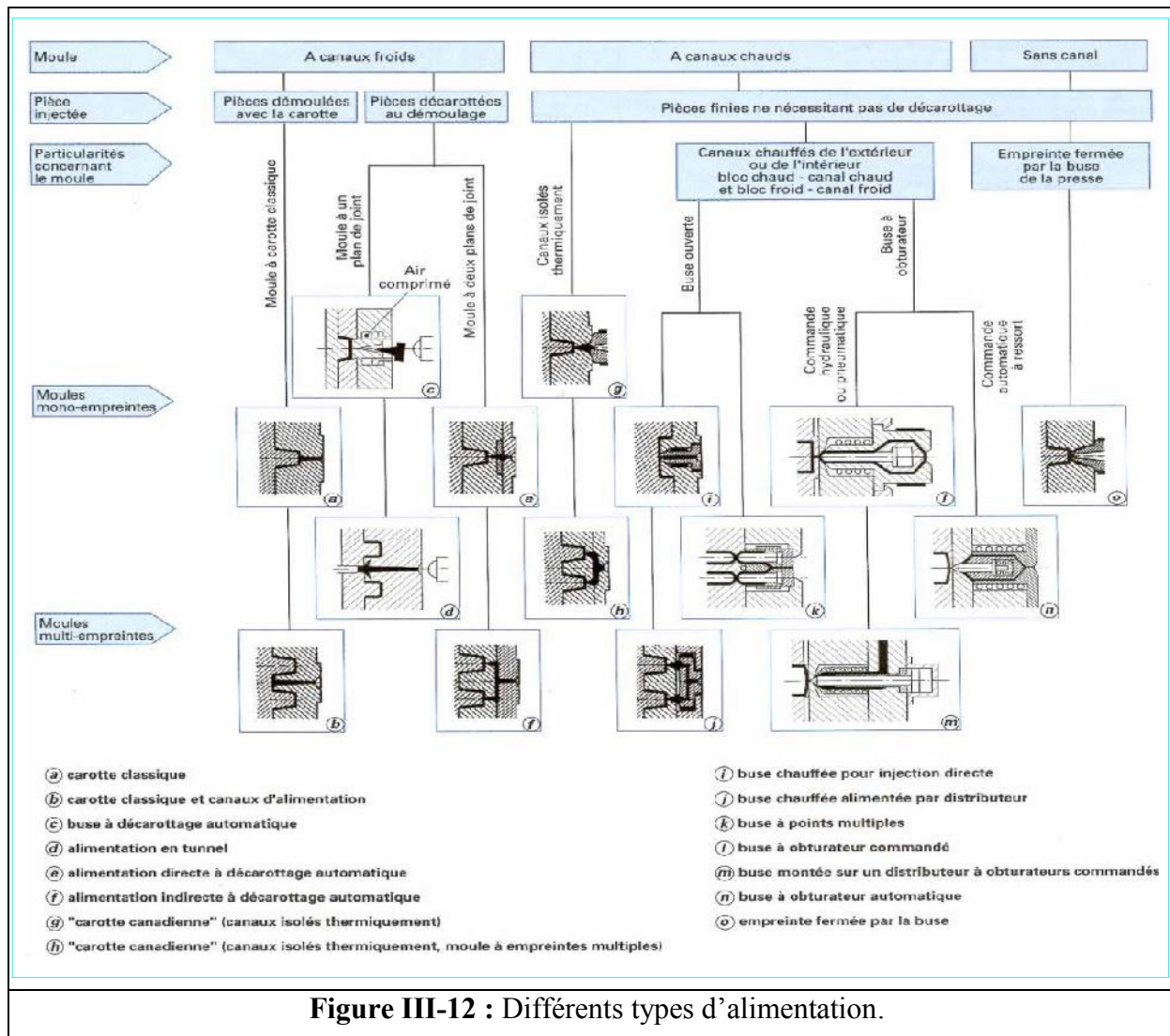
Dans les deux premiers systèmes utilisant des canaux froids, le polymère fondu se refroidit, comme nous l'avons vu, au contact des parois de la carotte et des canaux de distribution, de sorte que la section de passage diminue et fait chuter la pression dans la ou les empreintes. Le passage par le seuil d'écoulement s'accompagne en contrepartie d'une augmentation locale de la température par cisaillement, ce qui diminue la viscosité également affectée par le gradient de vitesse d'écoulement. Le phénomène de remplissage est complexe ; il relève de la rhéologie des polymères fondus et a été modélisé.

Dans le troisième système à canaux chauds, la matière fondue est introduite à l'intérieur de l'empreinte par l'intermédiaire d'une préchambre ou d'un distributeur à canaux chauds situé dans une zone thermiquement isolée. La matière remplit l'empreinte et s'y solidifie mais reste à l'état fondu dans les canaux chauds. Le seuil d'écoulement doit être

ouvert pendant le remplissage et le refroidissement du polymère dans l'empreinte, mais il se ferme obligatoirement avant le démoulage.

Que le moule soit muni de canaux chauds ou froids, l'empreinte se remplit de façon similaire.

Nous avons tenté de résumer les différentes solutions techniques dans la (figure III-12) en y ajoutant l'injection sans canal qui a les mêmes conséquences que l'injection à canaux chauds, la matière fondue passant sans se refroidir de la buse d'injection à l'empreinte.



III.5. Structure de l'empreinte :

III.5.1. Différents types :

L'empreinte peut être exécutée, en fonction de sa forme, directement dans le bloc du moule (figure III-13) (dans la partie fixe et dans la partie mobile) ou dans des éléments rapportés (figure III-14). Chacune des deux moitiés peut être constituée d'un seul bloc de métal (cas rare) ou composée de pièces rapportées et immobilisées. L'empreinte peut être

réalisée à partir d'éléments mobiles dont une partie constitue la surface moulante. La présence de ces éléments est imposée par la forme de l'objet moulé et le mécanisme de démoulage.



Figure III-13 : Poinçons et matrices usinés directement dans les blocs des moules.

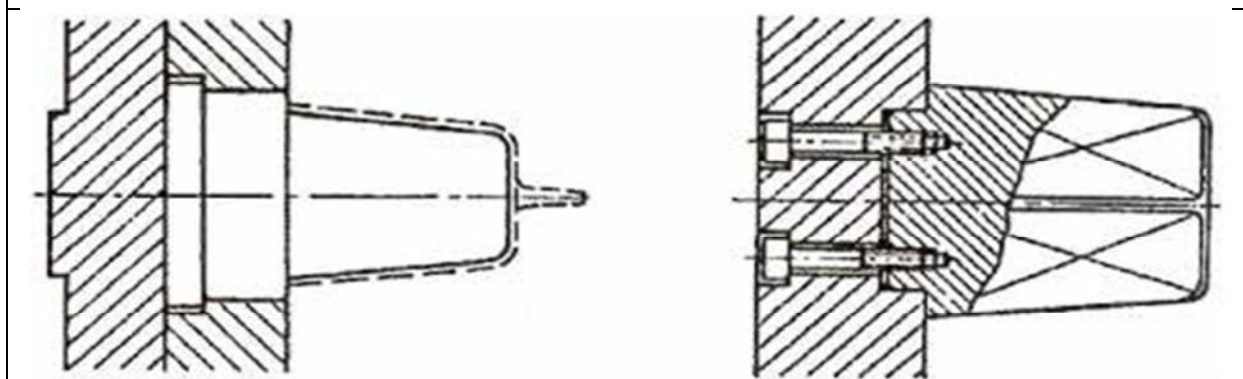


Figure III-14 : Poinçons rapportés et immobilisés.

Les méthodes d'immobilisation des éléments rapportés sont nombreuses ; la (figure III-15) en présente deux dont le rôle principal est d'assurer la rigidité de l'ensemble.

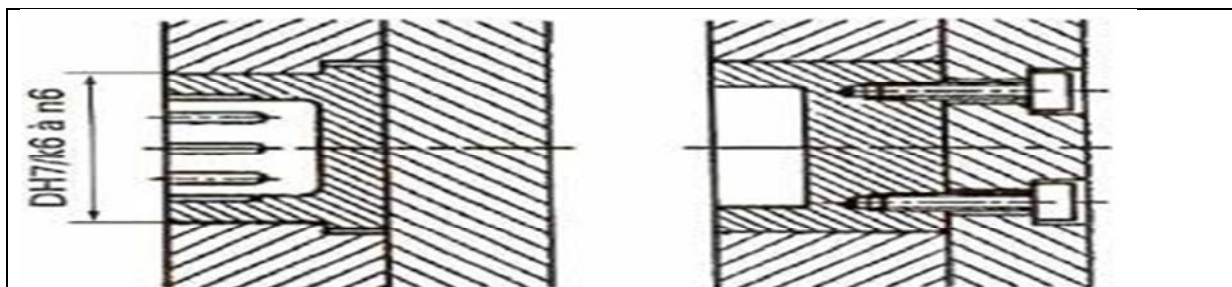
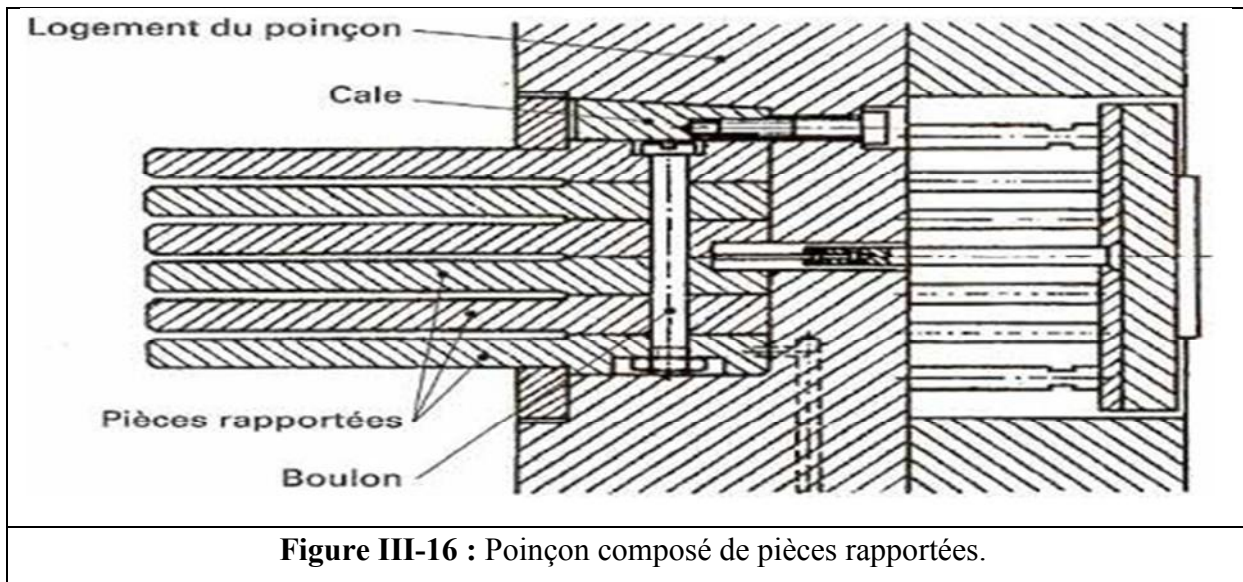


Figure III -15 : Matrices rapportées avec deux exemples d'immobilisation.

L'utilisation d'éléments rapportés s'impose souvent quand la forme de la cavité de l'empreinte est complexe et son usinage impossible ou difficile. (Impose des contraintes techniques et c'est une solution coûteuse).

Les conditions de travail de l'empreinte exigent l'utilisation d'aciers spéciaux, traités thermiquement et polis; dans ce cas, le morcellement de l'ensemble facilite son exécution.

La (figure III-16) présente un poinçon composé de pièces rapportées et immobilisées.



III-5-2- Éléments mobiles de l'empreinte :

Une pièce injectée subit pendant sa solidification des modifications dimensionnelles qui provoquent le serrage sur le ou les noyaux. Ce phénomène provient non seulement du retrait mais aussi de la compressibilité du polymère. Si la pression de maintien est trop élevée, la pièce injectée peut être complètement bloquée dans l'empreinte.

Les objets sans contre-dépouille sont démoulés à l'aide d'éjecteurs ou de plaques de dévêtissage. En revanche, la présence d'orifices latéraux, de filetages, de contre-dépouilles ou d'une dépouille insuffisante des surfaces latérales grainées impose des techniques de démoulage beaucoup plus compliquées, ce qui modifie l'architecture de l'empreinte et du moule. Les principes des mécanismes servant à la libération et à l'éjection de ce type de pièces sont présentés dans le paragraphe 6.

Pour surmonter ces difficultés, l'empreinte est composée d'éléments mobiles dont la commande, le guidage, la fixation et le fonctionnement exigent l'adaptation de l'ensemble du moule.

À titre d'exemple, (la figure III-17) montre un moule à tiroir fonctionnant avec une contre-dépouille extérieure.

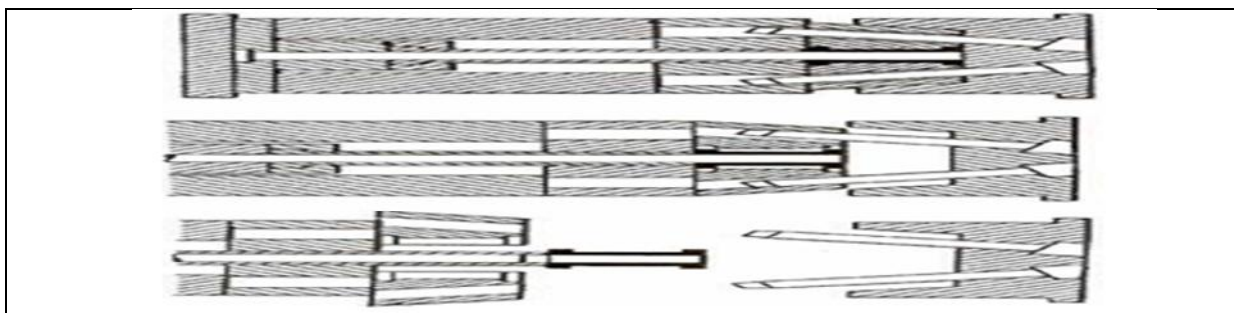


Figure III-17 : Moule à tiroir pour une pièce comportant des contre-dépouilles extérieures.

Sur (la figure III-18), on voit un moule à colonnes obliques qui accepte des contre-dépouilles intérieures.

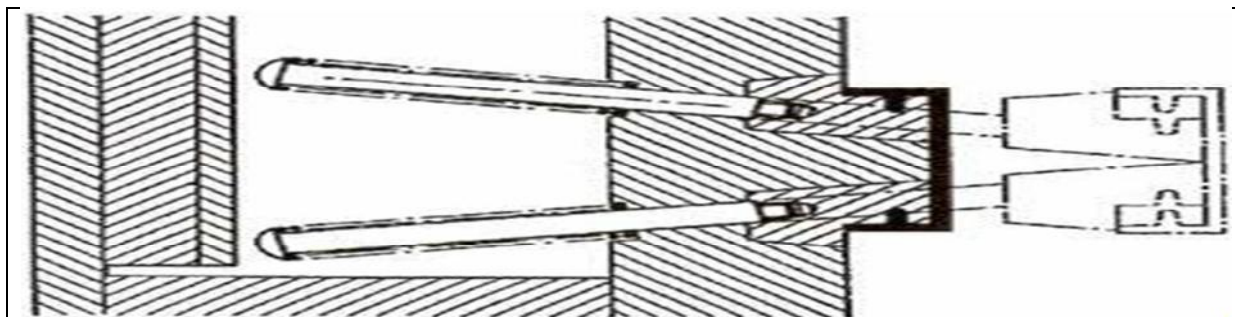


Figure III-18 : Ouverture d'un moule à segments pour une pièce comportant des contre-dépouilles intérieures .

La (figure III-19) présente un moule à coquilles. Ces dernières sont écartées par les éjecteurs, libérant les contre-dépouilles extérieures.

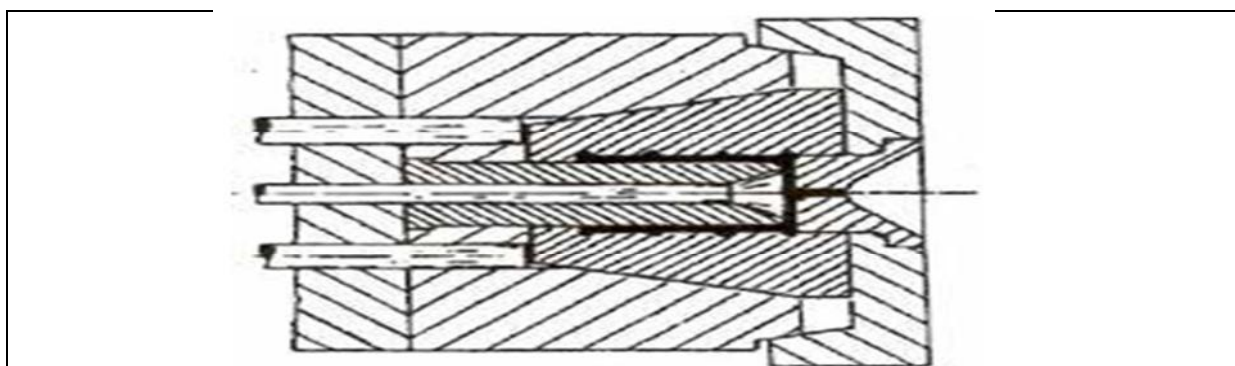


Figure III-19 : Moule à coquilles pour une pièce comportant des contre-dépouilles extérieures.

III.5.3. Dépouilles

Le démoulage par extraction de pièces dont les parois latérales sont perpendiculaires au plan de joint de l'empreinte risque de laisser des traces à la surface de l'objet moulé. Pour éviter cet inconvénient, il faut prévoir des dépouilles dans le sens de l'ouverture de l'empreinte.

Si l'angle de dépouille est faible, le démoulage exige une force importante qui dépend de la matière injectée, de la température de démoulage, de la géométrie de l'objet et de l'épaisseur de la paroi. Pour les pièces longues, l'angle de dépouille doit être plus grand que pour les pièces courtes. Il varie de $0^{\circ}10'$, pour les pièces très courtes à 5° pour les longues.

Les dépouilles dépendent aussi de l'état de surface des différentes parties de l'objet moulé. Aux dépouilles normales dépendant de la forme de la pièce moulée et de sa matière, il faut ajouter des dépouilles concernant le grain et sa profondeur. Ces dernières doivent être de l'ordre de 1° par 0,01 mm de profondeur de grain ; une pièce nécessitera que ses dépouilles

macro géométriques soient augmentées d'environ 2° pour les parties mates et jusqu'à 5° pour les surfaces grainées.

En pratique, on facilite l'extraction en pulvérisant périodiquement dans le moule des aérosols de silicones ou du PTFE en poudre, ou bien en incorporant un lubrifiant interne dans le polymère. L'addition d'une charge renforçant, en particulier des fibres de verre ou de carbone dans le plastique, en modifiant la rigidité et la dureté superficielle de la pièce, imposent des dépouilles plus grandes qui dépendent de la rugosité de la surface. Le tableau 1 donne les angles de dépouilles relatifs à trois polymères courants chargés de fibres de verre en fonction de leurs indices de rugosité [30].

Tableau 1 – Influence de la rugosité sur la dépouille pour trois polymères (1)				
Indices de rugosité (μm)		Angle de dépouille (°)		
<i>Ra</i>	<i>Rz</i>	PA	PC	ABS
0,40	1,5	0,5	1,0	0,5
0,56	2,4	0,5	1,0	0,5
0,80	3,3	0,5	1,0	0,5
1,12	4,7	0,5	1,0	0,5
1,60	6,5	0,5	1,5	1,0
2,24	10,5	1,0	2,0	1,5
3,15	12,5	1,5	2,0	2,0
4,50	17,5	2,0	3,0	2,5
6,30	24,0	2,5	4,0	3,0
9,00	34,0	3,0	5,0	4,0
12,50	48,0	4,0	6,0	5,0
18,00	69,0	5,0	7,0	6,0
(1) D'après [30].				

III.5.4. Plan de joint de l'empreinte :

Le tracé du plan de joint résulte de la morphologie de la pièce moulée, de ses tolérances, des exigences esthétiques, du choix du système d'extraction et de la presse à injection utilisée.

La surface de contact des deux parties de l'empreinte peut être plane ou non ; elle doit assurer l'étanchéité du moule, être résistante à la force de fermeture et à l'abrasion. Une surface du type de celle représentée sur la figure 20 *a* est déconseillée car elle provoque en général une usure prématurée de l'outillage ; en revanche, les solutions *b* et *c* peuvent être choisies.

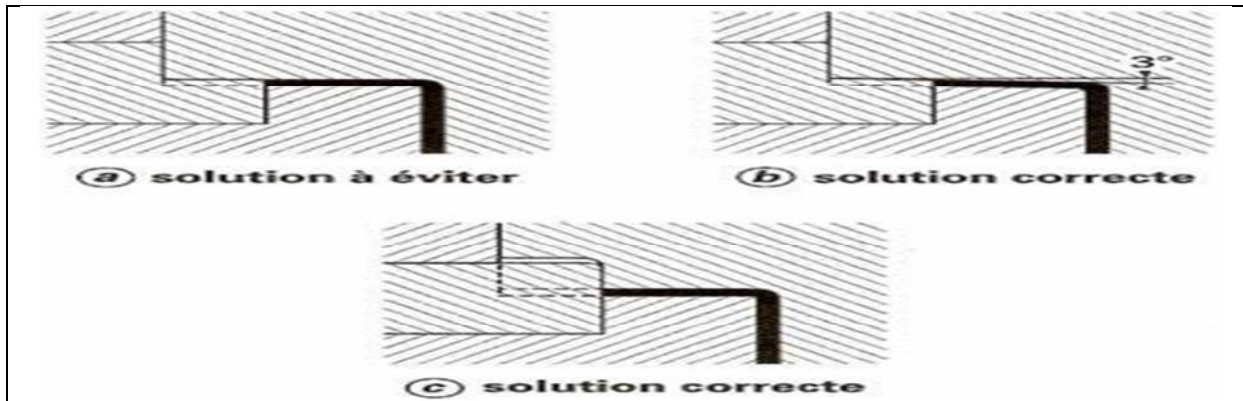


Figure III-20 : Différents plans de joints de moule.

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

III.5.5. Évacuation de l'air de l'empreinte :

L'air contenu dans l'empreinte, non évacué et comprimé, provoque des brûlures sur les pièces moulées ou d'autres défauts tels que rem- plissages incomplets, soufflures, bulles ou soudures visibles et cassantes. Ce risque d'emprisonnement d'air dans la cavité est diminué lorsque l'empreinte est composée de plusieurs éléments. On peut dans tous les cas usiner de petits canaux dans le plan de joint (figure III-21).

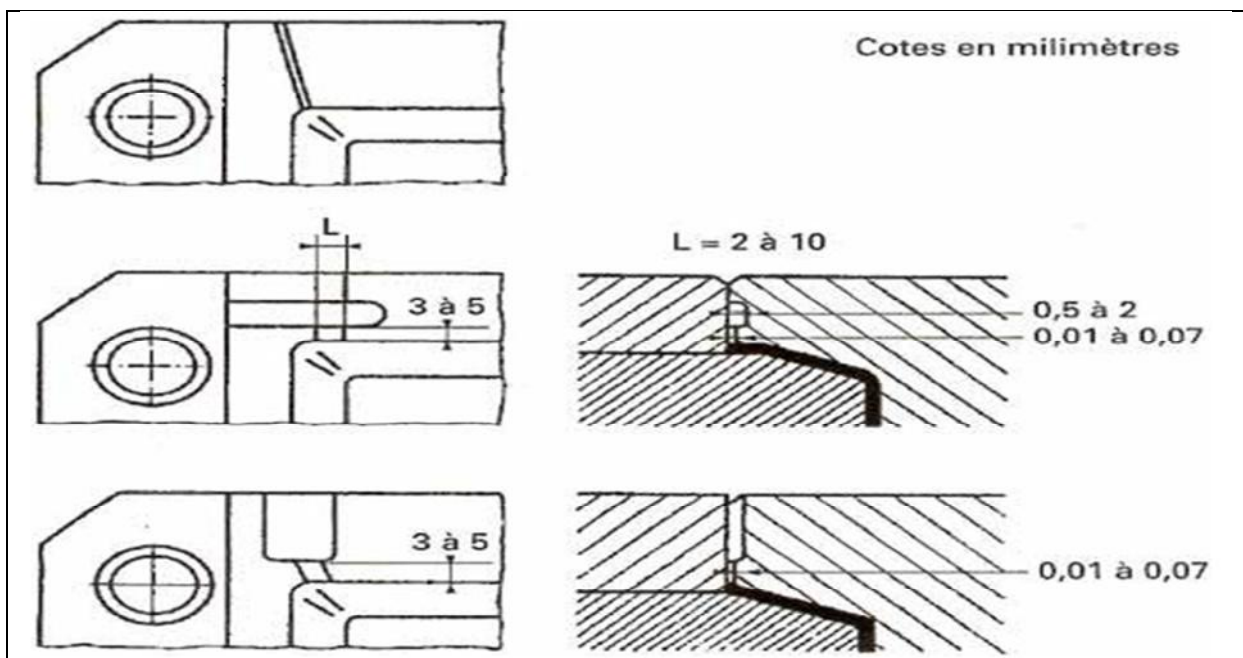


Figure III-21 : Évacuation de l'air dans le plan de joint de l'empreinte.

Dans le cas de pièces optiques en matière transparente, ces canaux ne sont pas prévus seulement dans le plan de joint, mais aussi le long des canaux d'alimentation (figure III-22).

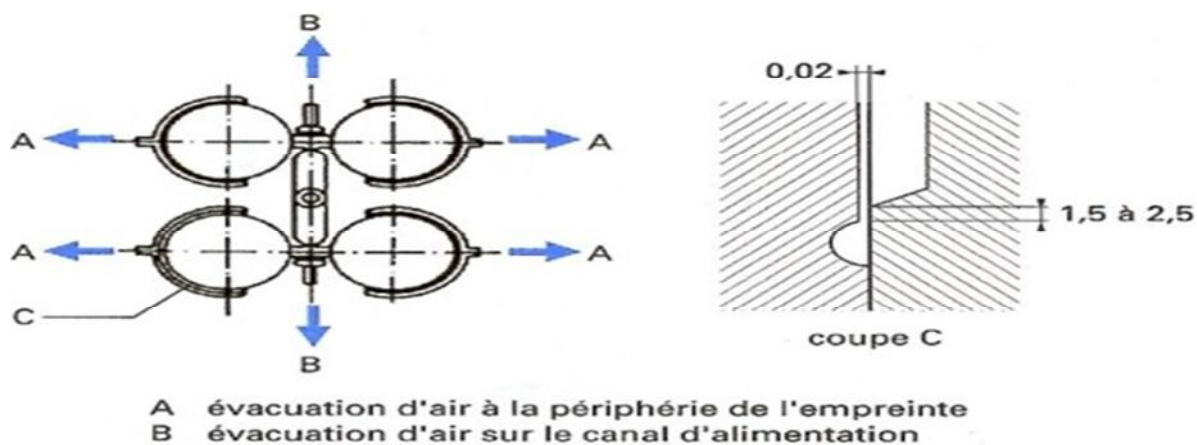


Figure III-22 : Évacuation de l'air dans le plan de joint et dans les canaux d'alimentation de pièces d'optique en PMMA

Si la cavité forme un cul-de-sac ne donnant aucune possibilité d'évacuation d'air, on ménage une fuite dans le fond de l'empreinte.

Pour la réaliser, on perce un orifice qui est fermé par une broche sur laquelle on a usiné un méplat.

Ces événements ont tendance à s'obturer et, de plus, si l'on change de matière, les conditions rhéothermiques du remplissage sont modifiées, ce qui peut inciter à déplacer les événements.

Pour remédier à ces inconvénients, on place des pastilles poreuses qui laissent passer l'air au moment de l'injection, ou bien on aspire l'air avant, lorsque le moule est fermé. Ces solutions augmentent le prix du moule et sont techniquement compliquées.

Aujourd'hui, la simulation de l'écoulement dans l'empreintes, permet de prévoir où peuvent se former les poches d'air et donc de placer les événements nécessaires.

III.5.6. Déformation de l'empreinte

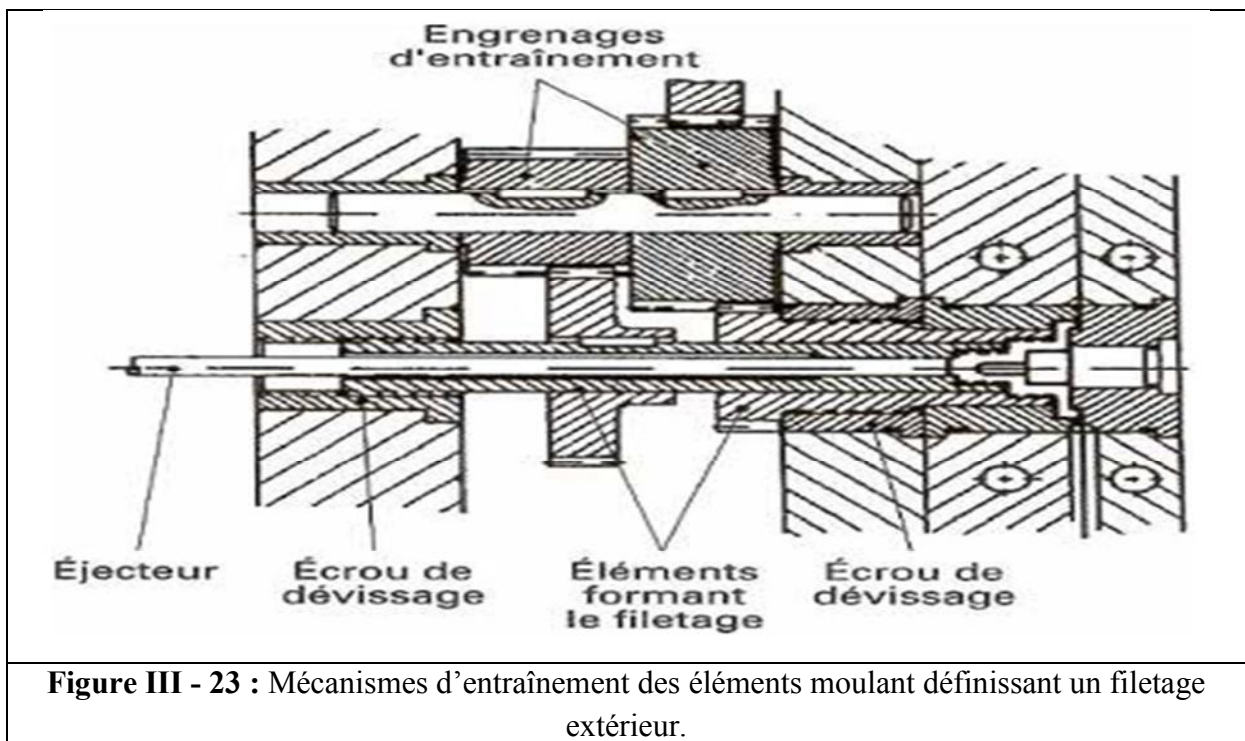
Pendant le remplissage de l'empreinte et le maintien, la pression varie entre 20 et 150 MPa, ce qui n'entraîne aucun risque pour l'acier traité d'un moule correctement dimensionné. Par contre, la déformation élastique de l'outillage sous l'action de la pression interne peut causer des difficultés si elle n'est pas compensée par le retrait thermique de la matière.

Il se peut alors qu'au moment du démoulage la pièce injectée soit bloquée dans l'empreinte. Ce risque existe avec les moules destinés à la fabrication de pièces de grandes dimensions à parois minces telles que pots, seaux, verres, boîtes... Le mouliste doit analyser cette éventualité, ce qui devient très compliqué pour les moules à empreintes multiples ou ceux composés de pièces rapportées.

Un autre risque de déformation gênante concerne les noyaux longs placés dans des empreintes se présentant sous forme d'un trou borgne. Si l'alimentation d'une telle empreinte n'est pas annulaire et si le front de matière fondue progresse de façon dissymétrique autour de la broche dont une extrémité est libre, le noyau encastré à l'autre extrémité peut subir une déformation par flexion, qui entraîne une variation radiale de l'épaisseur de la pièce. Cette difficulté peut être évitée par l'utilisation d'une pièce mobile qui soutient la broche et recule sous l'action de la pression en fermant son logement en bout de course.

III.5.7. Mécanismes liés à l'empreinte :

Ces mécanismes sont en général soit associés dans leur fonctionnement au système d'éjection, soit entraînés de l'extérieur. Ils doivent fonctionner avec une usure minimale sans lubrifiant aux températures et cadences du moulage prévues. Ils augmentent les risques de déformation de l'empreinte. Illustrée par la (figure III-23).



III.6. Matériaux constitutifs de l'empreinte:

III.6.1. Généralités:

Le choix des matériaux de l'empreinte dépend de la destination du moule. Pour les moules de grandes séries, les critères de longévité sont pris en compte en priorité avant ceux des coûts de la matière première et de son usinage. Les moules expérimentaux ou ceux destinés à la fabrication de très petites séries peuvent, par contre, être réalisés avec des matériaux moins résistants, si les conditions de fonctionnement des moules (surtout lorsqu'il s'agit d'essais) sont sensiblement identiques à celles du moule de production.

Ces matériaux doivent avoir :

Une bonne résistance à l'abrasion causée par le frottement des charges contenues dans la matière injectée et le mouvement des éléments mobiles de l'empreinte ; une bonne usinabilité et une bonne aptitude au polissage, indispensables pour faciliter le respect du cahier des charges concernant l'état de surface des éléments moulants et la réalisation de formes complexes.

Une précision et une stabilité dimensionnelles correctes après les traitements thermiques dont il faut connaître les effets, compte tenu des dimensions et des tolérances de l'outillage dont dépend l'un des éléments de calcul du retrait de la pièce injectée; une résistance à la corrosion chimique indispensable à cause des produits dégagés par l'injection de certaines matières plastiques (PVC, acétate de cellulose, PTFE...) ;une bonne conductivité thermique : cas des métaux, contrairement aux résines chargées avec lesquelles on observe des cycles d'injection très longs malgré l'incorporation de circuits de refroidissement.

III.6.2.Aciers:

Ce sont les matériaux le plus souvent utilisés pour la construction des empreintes. Par un choix et un traitement thermochimique judicieux, on obtient des éléments résistant à la fatigue et aux contraintes mécaniques, ainsi que des surfaces polies et dures s'opposant très bien à l'abrasion.

Le mode de fabrication de l'empreinte amène les moulistes à choisir des aciers faciles à usiner et à polir, en tenant compte, pour le choix et l'usinage, des traitements thermiques envisagés (tableau 2).

Tableau 2 – Composition d'aciers utilisés pour la construction d'empreintes							
Type d'acier	Teneur en éléments (% en masse)						
	C	Mn	Cr	Mo	Ni	V	Divers
Aciers de cémentation	0,13 à 0,19	0,40 à 1,30	0,8 à 1,3				
Aciers nitrurés	0,3 à 0,33	0,6 à 0,75	1,4 à 2,4	0 à 0,20	0 à 4,0	0 à 0,15	Al : 0 à 1,0
Aciers durs trempés dans la masse	0,6 à 1,95	0,3 à 1,1	0,6 à 12,0	≈ 0,20		0 à 0,45	W : 0,5 à 1,15
Aciers <i>maraging</i> indéformables (1)	0,03	0,1		5 à 10	13 à 18	Ti : 0,2 à 1,5	Co : 9 à 15,5 Ti : 0,2 à 1,5
Aciers anticorrosion	0,35 à 0,40	0,3 à 0,9	13 à 17	0 à 1,2	0 à 0,1		
(1) Aciers industriels de type Fe-18 Ni-Co à basse teneur en carbone, dont la résistance est augmentée à l'aide d'une fine dispersion de composés intermétalliques à base de Mo ou Ti et Al, obtenue par un traitement de revenu [31].							

III.6.3. Aciers à surface améliorée: Tapez une équation ici.

La grande dureté de l'acier ne garantit pas sa résistance à l'abrasion. Elle est nettement améliorée pour les aciers à teneur en chrome voisine de 12 % et ayant subi un traitement thermochimique adéquat. De très bons résultats sont obtenus par chromage par diffusion qui augmente de 2 à 3 fois la résistance à l'abrasion, à condition que la teneur en carbone de l'acier soit suffisante. On obtient alors une dureté Vickers de la couche superficielle (25 μm) comprise entre 1 000 et 1 200 HV.

Une grande dureté et une bonne résistance à l'abrasion, pour un acier à faible teneur en carbone, résultent d'un chromage électro- lytique [28] qui produit une couche de 20 à 40 μm d'épaisseur et de 1 100 HV de dureté. Ce procédé, moins coûteux que le chromage par diffusion, est conseillé pour la fabrication des moules d'injection de polymères chargés (mica, fibres de verre ou de carbone...).

De très bons résultats sont également obtenus avec des aciers de nitruration, qui, après trempe et revenu, présentent une bonne stabilité. On choisit pour cela des aciers alliés au chrome et au molybdène qui ont encore une dureté Rockwell de 58 à 64 HRC après revenu.

La méthode moderne la plus efficace est fondée sur la nitruration ionique dans des fours, sous vide.

Les aciers *maraging* [31] présentent un intérêt particulier pour la construction d'empreintes. Leurs composants dissous dans la masse de l'alliage à température élevée (température de saturation : environ 890 °C) se dégagent à température plus basse (500 °C), ce qui permet d'augmenter la dureté de 20 à 25 HRC sans contraction. Ces aciers se prêtent parfaitement à la nitruration et sont utilisés à la construction des empreintes de géométrie compliquée et précise.

III.6.4. Aciers trempés à cœur. Electroérosion :

La mise au point de cette technique [35] a permis de résoudre des problèmes d'usinage jusqu'alors insolubles : formes compliquées pour lesquelles la fabrication d'empreintes par impression à froid était impossible.

L'électroérosion permet la finition de l'empreinte après trempe et ne provoque aucune déformation. La surface usinée se compose d'une multitude de cratères microscopiques dont la finesse est supérieure à celle d'une surface de rectification.

III.6.5. Aciers anticorrosion :

Les empreintes de moules résistant à la corrosion sont réalisées en aciers chromés par électrolyse ou en acier inoxydable à forte teneur en chrome (17 %) avec 2 % de nickel et 0,5 % de molybdène ; leur dureté ne dépasse pas 50 HRC, mais s'ils sont nitrurés en pro- fondeur (0,2 mm), on mesure en surface 1 100 HV. Les éléments nitrurés ne sont jamais chromés.

Les éjecteurs dont l'extrémité forme une partie moulante sont en général exécutés en aciers de nitruration (nuance AFNOR 32 CDV 13), de dureté 900 à 1 000 HV.

Conclusion:

On peut dire que le traitement thermique constitue le problème principal pour la réalisation d'une empreinte en acier. Actuellement, on procède le plus souvent :

- soit par usinage d'un acier prétraité et, après retouche, par nitruration ou le dépôt d'une couche de nitrure de titane ;
- soit par usinage par électroérosion d'ébauches en acier trempé à cœur.

3.2.3 Matériaux non ferreux

3.2.3.1 Alliages de cuivre

L'utilisation de ces matériaux est préconisée dans les cas suivants :

- Pour la fabrication par coulée de plusieurs empreintes identiques qu'il serait relativement onéreux d'usiner par fraisage (par exemple les reliefs ornementaux : personnages, etc.) ;
- Lorsqu'il est nécessaire d'obtenir un refroidissement plus rapide des pièces : on peut alors employer un alliage cuivre-béryllium qui a une conductivité thermique 4 à 6 fois plus grande que celle de l'acier ;
- S'il est indispensable que les empreintes aient une très grande résistance à la corrosion.

Ces matériaux sont caractérisés par une dureté Brinell moyenne

- mais généralement suffisante – de 200 à 380 HB, une résistance à la traction de 6 à 11 MPa. Leur coefficient de frottement est plus faible que celui de l'acier et ils sont utilisables jusqu'à 350 °C. Ils peuvent être usinés (y compris par électroérosion) ou coulés, et facilement polis.

On déconseille les alliages contenant du béryllium pour la production de pièces qui doivent être mises au contact avec des produits alimentaires.

Pour les propriétés des différents alliages et leurs compositions, se reporter aux références [36] [37].

3.2.3.2 Alliages d'aluminium

On les utilise pour les **moules prototypes**. Leur composition est la suivante :

Zn : 4 à 6 % ; Mg : 2 à 2,5 % ; Cu : 0,8 à 1,6 % ; Cr : 0,1 à 0,25 % la teneur en aluminium correspond au complément à 100 %.

Leur dureté est voisine de 150 HB. Leur usinage est facile et particulièrement rapide par électroérosion, leur polissage est de très grande qualité et leur masse est seulement le tiers de celle du même moule en acier.

Les empreintes prototypes peuvent être remplacées par d'autres en alliages plus résistants, dans des carcasses qui pourront alors être employées pour un moulage en série.

3.2.3.3 Alliages de zinc

Ils contiennent en plus de l'aluminium, du cuivre et du magnésium.

Ils sont employés pour la fabrication, par des techniques de fonderie, des empreintes de formes complexes ou des moules de préséries.

La résistance à la compression des alliages de zinc est voisine de 800 MPa, la température d'injection est limitée à 300°C et le refroidissement par circulation de fluide caloporteur à 100°C environ.

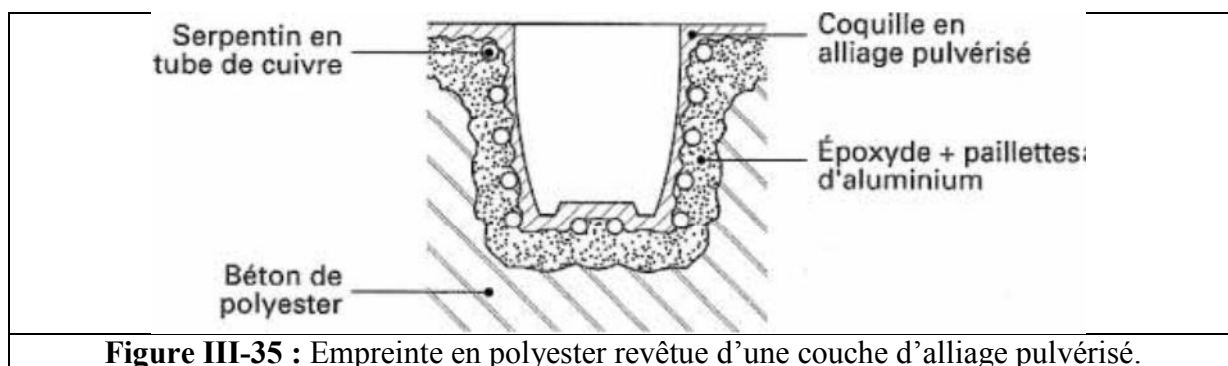
La coulée s'effectue à 400°C, à l'air libre sur un modèle en sable ou en plâtre séché à l'air et soigneusement étuvé. Sur un modèle métallique, on peut couler une série d'empreintes identiques.

Le chromage de telles empreintes ne présente aucun intérêt, compte tenu de la différence entre les coefficients de dilatation des deux métaux.

3.2.3.4 Alliages à bas point de fusion

Les alliages de plomb, d'étain, de cadmium et de bismuth fondent à des températures voisines de 150 °C. La présence de bismuth qui se dilate de 3,3 % lors de sa solidification permet d'annuler le retrait de ces alliages.

Ceux-ci peuvent servir à la fabrication d'empreintes prototypes par projection à la surface du modèle, à une température inférieure à leur température de coulée, à l'aide d'un pistolet spécial. Le modèle peut être en métal, en plâtre ou en résine. On obtient par projection une coquille de 1 à 3 mm d'épaisseur. Celle-ci est calée dans une boîte qui va définir la géométrie du bloc-empreinte, puis une résine époxyde chargée de grenaille est coulée entre les parois internes de la boîte et le dos de la coquille sur lequel on a préalablement placé des tuyaux de refroidissement par circulation d'eau (figure 35).



Les propriétés mécaniques de ces alliages sont médiocres (dureté maximale : 22 HB, résistance en traction : 50 MPa), ce qui limite leur emploi aux réalisations précisées ci-avant et à la fabrication de quelques dizaines au plus de pièces injectées, à relativement basses températures (PVC plastifié, PS, PS-choc, PP, etc.).

3.2.3.5 Matières composites. Résines chargées

Elles sont employées seulement pour la réalisation rapide et peu onéreuse d'outillages prototypes pour vérifier, sur un petit nombre de pièces, la validité du choix des formes et de la matière.

Le prix de revient d'une empreinte en résine est seulement 20 % de celui d'un outillage classique en acier trempé [17].

Les inconvénients majeurs de cette technique découlent de la mauvaise conductivité thermique de la résine (30 fois plus faible que celle de l'acier) et de la faible résistance à la rayure des matières plastiques.

Des résultats encourageants sont obtenus avec des empreintes mixtes dont la matrice était fabriquée en résine époxyde (EP) chargée de poudre d'aluminium et le poinçon en alliage de zinc (*Kayem*). La matrice polymérisée à froid à partir des deux composants est ensuite soumise à un post-traitement thermique.

Bien que le refroidissement se fasse surtout par le poinçon métallique, il est recommandé de prévoir là aussi un circuit de refroidissement au voisinage de la surface moulante de la matrice en EP.

Les points d'usure (parois opposées aux points d'injection, sorties d'éjecteurs) doivent être protégés par des pastilles métalliques insérées dans la résine.

Les empreintes de ce type sont réalisées surtout pour la fabrication d'objets de grandes dimensions pour laquelle on veut étudier le fonctionnement du moule et optimiser le choix de la matière avant de passer à une grande série.

Elles sont, dans une certaine mesure, en compétition avec les logiciels de remplissage, mais présentent l'avantage supplémentaire de fournir des pièces prototypes utilisables pour d'autres validations (essais mécaniques, aérodynamiques ou présentation). L'empreinte mixte en résine époxyde-zinc ne sert qu'au moulage en moyennes séries (par exemple 200 à 400 pièces destinées à l'industrie automobile).

Chapitre IV :

Calcul et conception

IV. Introduction :

Ce chapitre est consacré à la conception de la pièce (cache de la boîte de dérivation), déduire les éléments du moule, par la suite, la détermination des différents facteurs du choix de la presse, le calcul de résistance des différents composants du moule au matage dû à la force de fermeture de la machine et aussi la vérification des colonnes de guidage et les vis CHC au cisaillement.

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

IV-1-1. Définition de la CAO :

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

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

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

IV-1-2. Domaines de la CAO :

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

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

IV-1-3. Avantages de la CAO :

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

- Gain de temps et productivité pour les équipes de conception avec l'utilisation de la modélisation solide.

- Amélioration considérable de la qualité des produits du fait que la CAO permet de contrôler leurs qualités avant même leurs productions.
- Diversification de la production, par la possibilité de conception des formes complexes.
- Importance des échanges entre concepteurs et réalisateurs, du fait d'une définition beaucoup plus complète en CAO.

IV-1-4.Application :

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

Premièrement, nous avons conçu les quatre caches avec les modifications appropriées, puis en utilisant la commande « noyau-empreinte » on a déduit les empreintes (fixe et mobile). Mais nous avons remarqué que l'utilisation de deux empreintes ne nous permet pas le démoulage des caches de la boîte de dérivation, alors ont été obligé d'utiliser des surfaces d'arrêtes, en plus nous avons découpé les empreintes de manière à faciliter l'usinage. Et pour permettre l'éjection automatique des pièces moulées, on a prévu des plaques d'éjection (inserts) dans l'empreinte mobile et l'empreinte fixe. Et comme le matériau utilisé pour les empreintes est un matériau précieux, on doit minimiser au maximum ces dimensions, afin d'éviter l'endommagement de ces derniers et augmenter leurs résistances, on a utilisé des portes empreintes avec des aciers résistants et moins chères.

Deuxièmement, nous avons conçu le reste des pièces constituant le moule en trois dimensions (3D) de manière à assurer les fonctions objectives avec les normes de construction. Ensuite, l'utilisation de la commande assemblages nous a permis d'effectuer le montage de toutes les pièces en formant un moule complet et la détection des interférences qui peuvent exister entre les pièces assemblées.

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

IV-1. Le choix de la machine:[14]

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.

IV-1-1. La capacité d'injection :

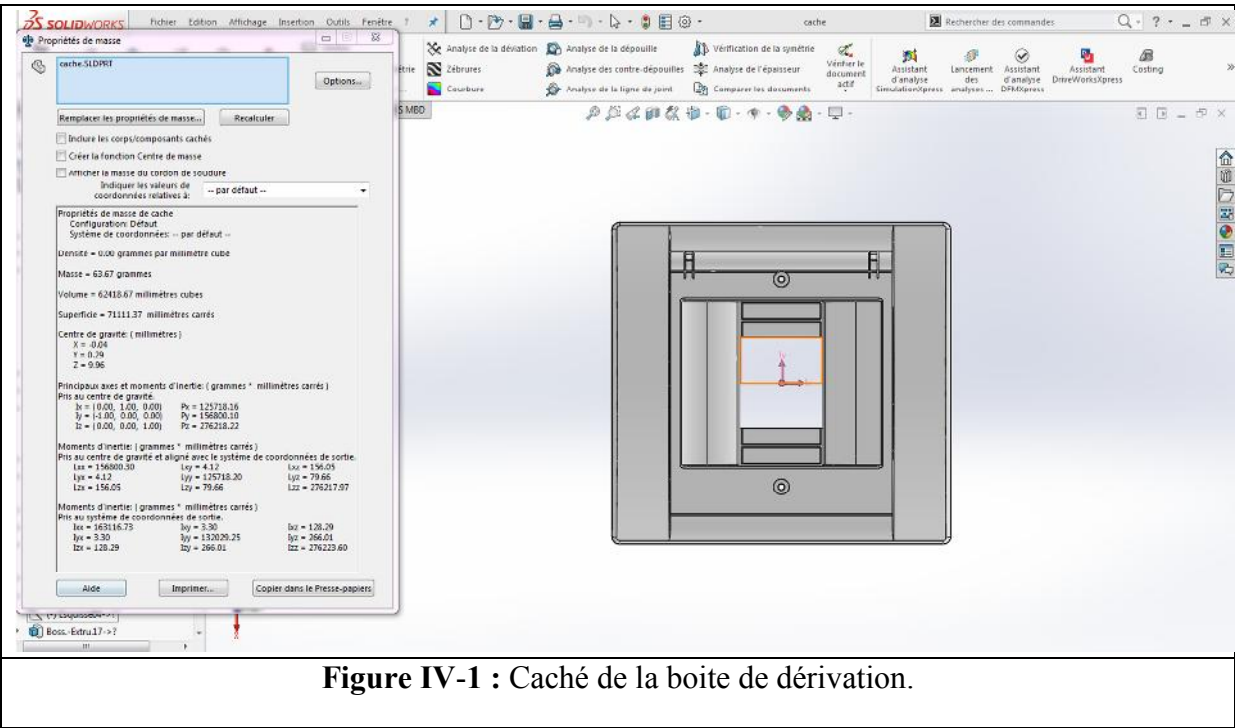
Chaque machine a une capacité d'injection (voir le tableau ci-dessous) ; donc on choisit la machine en fonction du poids des pièces et de la carotte.

Presses	Capacité d'injection (g)	
	Pour ABS (même chose que PS)	Pour le PE
150T	230	180
220T	450	350
350T	850	680
550T	1360	1080
Tableau IV-1 : Capacité d'injection [15].		

a- La masse de la pièce :

La masse de notre pièce dépouillée est donnée directement dans les propriétés de la masse, du logiciel Solid Works, après déclaration bien sûr du matériau (ABS),

M_p = 63.67 g



b- La masse de la carotte :

Le poids de cette carotte est de : **Mc = 9.43 g**

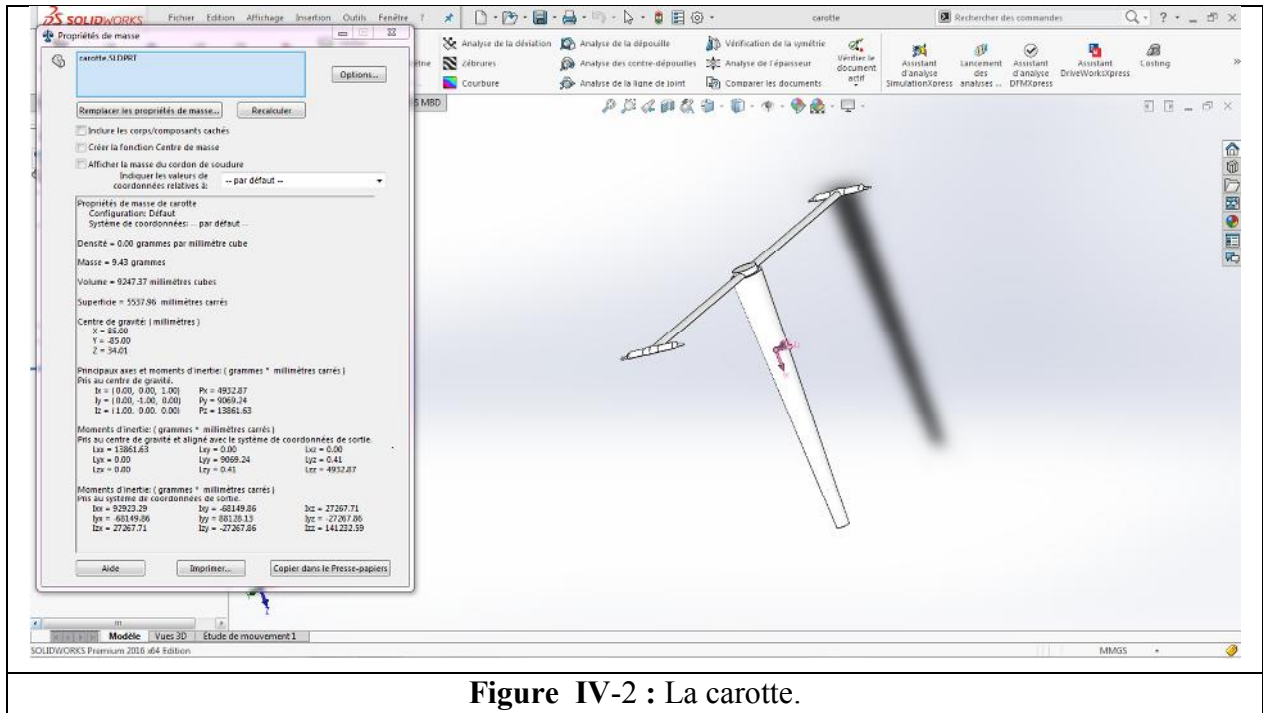


Figure IV-2 : La carotte.

c- La masse de la moulée (M) :

Puisque notre moule produit dans chaque cycle quatre(04) pièces et une carotte, donc la machine doit pouvoir injecter une quantité suffisante (M). Pour répondre aux conditions de service :

$$M = 4 * M_p + M_c$$

AN :

$$M = 4 * 63.67 + 9.43 = 264.11 \text{ g}$$

La masse de la moulée est : **264.11 g**

D'après le tableau (IV-5), on constate que les presses qui peuvent assurer l'injection de cette quantité de matière sont : 220T , 350T, 550T.....

Bien que le poids de la moulée est l'un des paramètres essentiel pour déterminer la presse adéquate, d'autres seront calculés à la suite de ce chapitre.

IV-1-2. La force de fermeture de la machine [15] :

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.

a- La force de verrouillage : (tonnes /cm²)

$$F_v = P \cdot S$$

Avec:

F_v: la force de verrouillage (tonnes).

P : la pression moyenne d'injection ; P=0,5 (tonnes /cm²) [voir le tableau suivant].

S : la surface projeté (cm²) ; S= 20.18 cm²

$$AN : F_v = P \cdot S = 0.5 \times 20.18 = 10.09T$$

$$F_v = 10.09 T$$

Matière	Pression intérieure moyenne (tonne/cm²) (dans la normalité)	Grand parcours de fluctuation (forme compliquée)
PE, PP	0.3 à 0.4	0.4 à 0.5
HIS, PA6	0.35 à 0.45	0.45 à 0.55
PS, AS, ABS	0.4 à 0.5	0.5 à 0.6

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

b- La force de fermeture: F= F_v. K

Avec

F : Force de fermeture du moule (T)

F_v: force de verrouillage

K: coefficient de sécurité; 1 ≤ K ≤ 2

AN :

$$F = 10.09 \times 1.5 = 15.135 \text{ tonnes}$$

D'après les résultats obtenus de la capacité d'injection et la force de fermeture, notre choix se portera sur la presse de 220 T.

IV-1-3. La Puissance de plastification (C)

Même si la machine 220T peut injecter 263.93 g de ABS on doit vérifier sa capacité de plastification (la quantité de matière plastifiée par heure) qui est en fonction du poids de la grappe et du temps de cycle. Le temps de cycle est égal à 36 s.

AN :

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

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

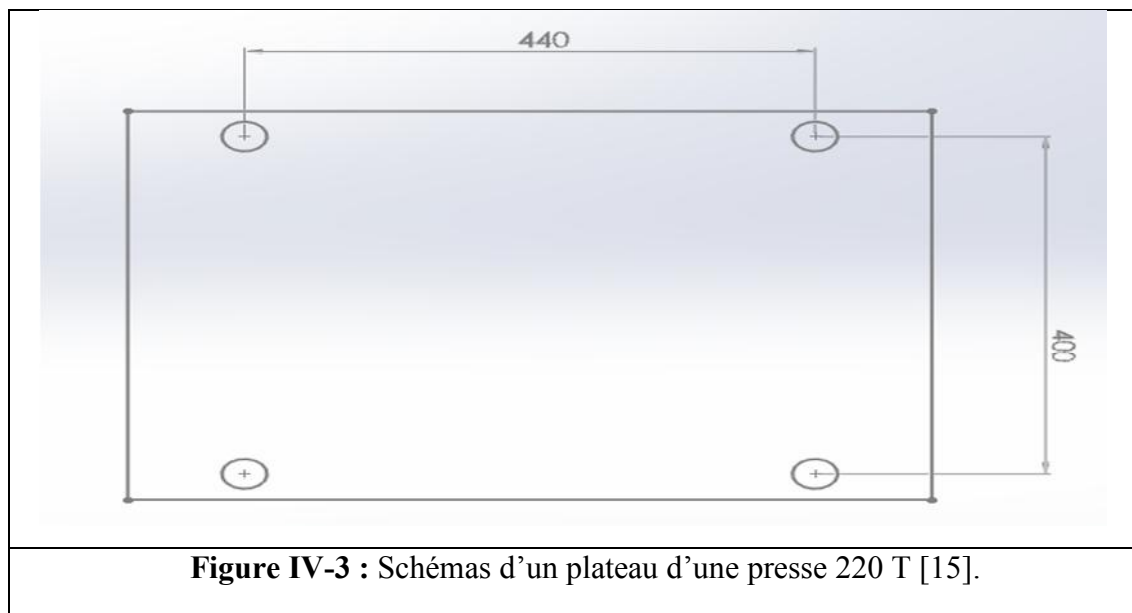
$$C = \frac{264.11 \times 3600}{36} = 26411g/h$$

C=26.41 kg/h

Cette condition est vérifiée puisque notre machine plastifie 50 kg/h (voir les caractéristiques de la presse dans tableau IV-3)

IV-1-4. La distance entre colonnes [15] :

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 suivante.



Les dimensions de notre moule sont :

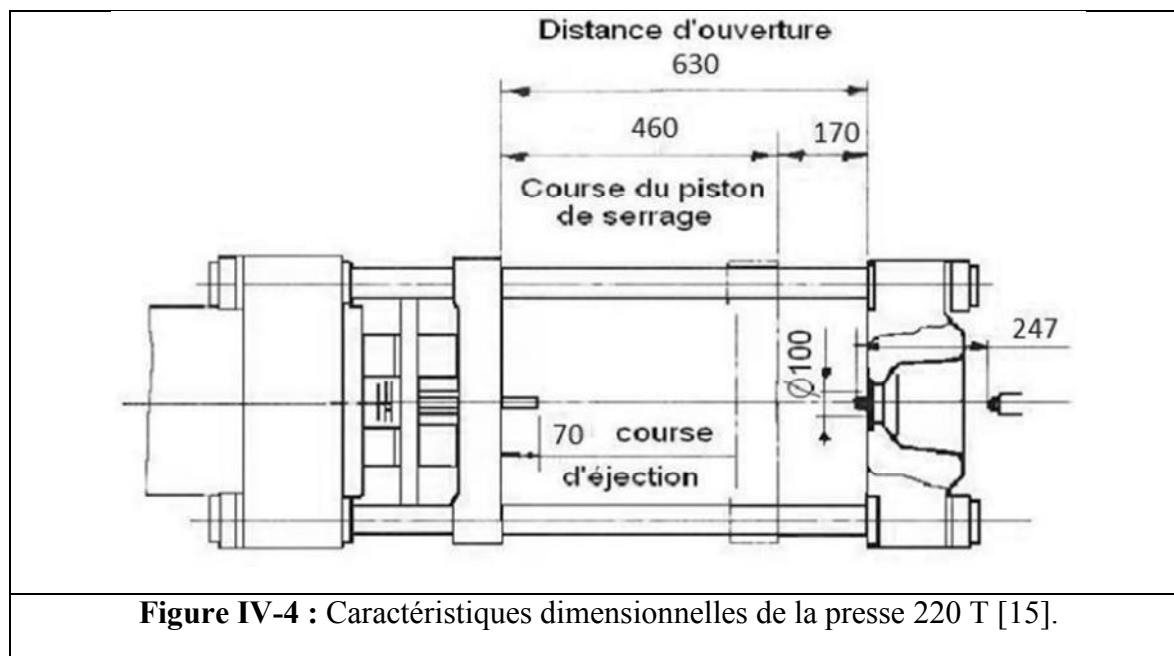
- Longueur : 620 mm
- Largeur : 460 mm
- Hauteur : 375 mm

IV-1-5. Epaisseur minimale du moule :

Les caractéristiques dimensionnelles de la presse 220T (i9) sont :

- La distance entre plateaux de la presse 630 mm ;
- La course maximale du piston de serrage 460 mm ;

A partir de là, on voit que l'épaisseur minimale du moule doit être supérieure à 170mm (Notre moule a une épaisseur de 286mm).



IV-1-6. Caractéristiques techniques de la Presse 220 T (i9) :

Symbole d'injection	i 9
Symbole du cylindre	A
Pression d'injection	1890 Kg/cm ²
Taux d'injection	215Cm ² /sec
Quantité d'injection	PS 450g PE 355g
Diamètre de la vis	50mm
Puissance de plastification(PS)	150Kg /h
Puissance de serrage	220Tonnes
Puissance d'ouverture	14.3 Tonnes
Vitesse Maxe de rotation de la vis	255 tr. min
Intervalle des tirants	560x560 mm
Dimensions de la plaque matrice	810x810 mm
Course de serrage	760 mm
Epaisseur mini du moule	240 mm
Ouverture	1000 mm
Puissance de foulage(Hydraulique)	6.1 Tonnes
Course de foulage	100 mm
Quantité d'huile d'usage	820 litres
Moteur destiné à la pompe	37 KW
Capacité du réchauffeur	11.9 KW
Dimension de la machine(L.I.H)	6,3x1,5x2,3 m
Poids de la presse	10.2Tonnes
Tableau IV-3 : Caractéristique technique de la presse220T i9.	

IV-2. Le bilan thermique :

Tous les résultats sont donnés avec l'hypothèse que la pièce moulée est une plaque de longueur infinie. C'est-à-dire que les dimensions transversales sont très grandes devant l'épaisseur, l'évacuation de la chaleur se fait perpendiculairement à celle-ci, c'est pour cela qu'on va négliger le transfert de chaleur par conduction et par rayonnement.

Dans cette présente étude on supposera que le fluide caloporteur doit à lui seul évacuer toute l'énergie fournie par le polymère.

- **Remarque :**

Puisque la quantité de chaleur dégagée par l'ABS est automatiquement portée par le fluide caloporteur qui est l'eau dans notre cas, d'où il suffira de calculer juste la quantité de chaleur dégagée par l'ABS

IV-2-1. Principe de refroidissement :

Les réfrigérants tel que l'eau, l'huile et l'air circulent dans des circuits refroidissements.

Le refroidissement par air est assez lent, c'est pour cette raison qu'on choisit l'eau. Et puisque la température du moule est toujours en fonction de la matière plastique moulée, voici le tableau qui illustre ces différentes températures.

Matières	Température du moule (°c)
Polystyrène normal	50 à 80
Polystyrène choc	60 à 70
Styrène	60 à 90
Polyéthylène	50 à 80
Polychlorure de vinyle	70
Polyamides rilsan	40

Tableau IV-4 : Les températures régulées.

IV-2-2. Temps de refroidissement:

Le temps de refroidissement est déterminé par la relation ci-dessous [10] :

$$tr = \frac{e^2}{\pi^2 D} \ln \left[\frac{8}{\pi^2} \left(\frac{T_i - T_m}{T_e - T_m} \right) \right]$$

Avec:

e: épaisseur moyenne de la pièce; e=2 mm

D: la diffusivité thermique de PS; $D=8,3.10^{-8} m^2/s$

Ti: température d'injection; Ti=200°

Te: température d'éjection; Te=70°C

T_m : température du moule; $T_m=60^\circ\text{C}$

Grandeurs thermiques permettant le calcul du temps de refroidissement des pièces injectées

T_d température moyenne d'extraction

λ conductivité thermique

a coefficient de diffusion thermique (ou diffusivité)

Matière injectée		T_d ($^\circ\text{C}$)	λ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	a ($10^{-8} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
Cellulosiques	CA.....	80 à 105	0,22	
	CAB	80 à 105	0,21	
	CP	80 à 105	0,22	
Polystyréniques	PS	75	0,16	8,3
	SB	75	0,17	8,3
	SAN	90	0,16	8,3
	ABS	100 à 120	0,16	8,3

Tableau IV-5 : Grandeurs thermiques de quelques matières de pièces injectées.

AN :

$$tr = \frac{2^2 \times 10^{-6}}{3.14^2 \times 8.3 \times 10^{-8}} \ln \left[\frac{8}{3.14^2} \left(\frac{200-70}{70-60} \right) \right] = 11.49\text{s}$$

$$tr \approx 12\text{s}$$

IV-2-3. Temps de cycle :

Le temps de cycle (t_c) d'une presse d'injection ne se résume pas uniquement au temps de refroidissement de la pièce moulée, mais il est composé de :

- t_r : temps de refroidissement (12s)
- t_i : temps d'injection (3s)
- t_m : temps de maintien (5s)
- t_e : temps d'éjection (6s)
- t_o : temps d'ouverture (5s)
- t_f : temps de fermeture (5s)

Chapitre IV : Calcul et conception

Le temps d'ouverture est entre 30% à 50% du temps de refroidissement et dans certains ouvrages il est lié aux caractéristiques de la presse d'injection.

Le temps d'ouverture et de fermeture sont égaux dans le cycle, ce qui nous donne :

Le temps d'ouverture $t_o = 5s$.

Le temps de fermeture $t_f = 5s$.

Le temps de maintien en pression est le temps pendant lequel la pression d'injection continue d'être appliquée après le remplissage des empreintes.

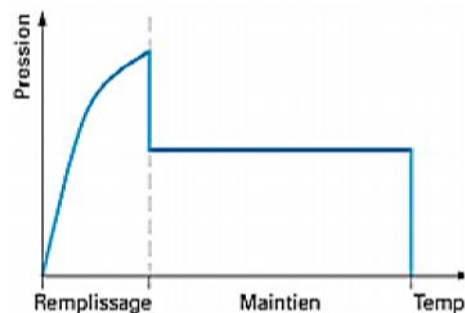


Figure IV-5 : Variation de la pression /temps.

Conditions de moulage par injection	
Pression de maintien	30 à 60 % de la pression d'injection
Temps de maintien en pression (s)	1 à 5
Retard de plastification	réglé de façon que la plastification se termine simultanément avec l'ouverture du moule
Conditions moyennes qui doivent être adaptées en fonction de la pièce, du moule et de la presse ; d'autres conditions peuvent également être conseillées par le producteur de matière, en fonction de la formulation.	

Tableau IV-6: Conditions de moulage par injection plastique [14].

Pour optimiser la compensation du retrait on prend le temps de maintien $t_m = 5s$.

$$t_c = \sum t_r + t_i + t_m + t_e + t_o + t_f$$

AN :

$$t_c = 12 + 5 + 3 + 6 + 5 + 5 = 36s$$

$$t_c = 36s$$

IV-2-4. Calcul de la quantité de chaleur évacuée [13] :

$$Q = M.N (H_i - H_e)$$

Avec :

N : nombre de cycles de refroidissement horaire ; = 3600 *tc*

M : poids de la moulée en Kg

H_i et **H_e** : enthalpie correspondant aux températures de moulage et de démoulage.

$$T_i = 200^\circ\text{C} \longrightarrow H_i = 88 \text{ Kcal/Kg}$$

$$T_e = 70^\circ\text{C} \longrightarrow H_e = 28 \text{ Kcal/Kg}$$

$$Q = \frac{3600}{36} \times 264,11 \cdot 10^{-3} (88 - 28) = 1584 \text{ Kcal/h}$$

$$Q = 1584 \text{ Kcal/h}$$

Cette quantité de chaleur (Q) doit être absorbée par le caloporteur

IV-2-5. Détermination de la consommation horaire de liquide :

$$GH = \frac{QH}{CF(T_s + T_{ee})}$$

Avec :

GH: consommation horaire de liquide en Kg/h.

QH : quantité de chaleur à évacuer en Kcal/h.

CF : capacité calorifique du fluide de refroidissement en Kcal/Kg.

T_{ee} : Température d'entrée d'eau ; T_{ee} = 5°C

T_s : Température de sortie d'eau ; T_s = 5.88°C

T_s – T_{ee} : l'échauffement admissible du fluide de refroidissement en °C généralement cet écart doit être inférieur à 5°C.

AN :

$$GH = \frac{1585}{1(5.88 - 5)} = 1800 \text{ Kg/h}$$

IV-2-6. Détermination de la longueur totale de refroidissement [16] :

a- La température du film :

C'est la température pour laquelle on fera évaluer tous les paramètres suivants ; C_p , ρ , μ , ν , Re , Pr à cette température (T_f) sachant que :

C_p : chaleur spécifique ou capacité calorifique de l'eau à pression constante.

ρ : Masse Volumique.

μ : viscosité dynamique de l'eau.

ν : viscosité cinématique de l'eau.

λ : la conductivité thermique de l'eau.

Re : nombre de Reynolds, Pr : nombre de Prandtl, Nu : nombre de Nusselt.

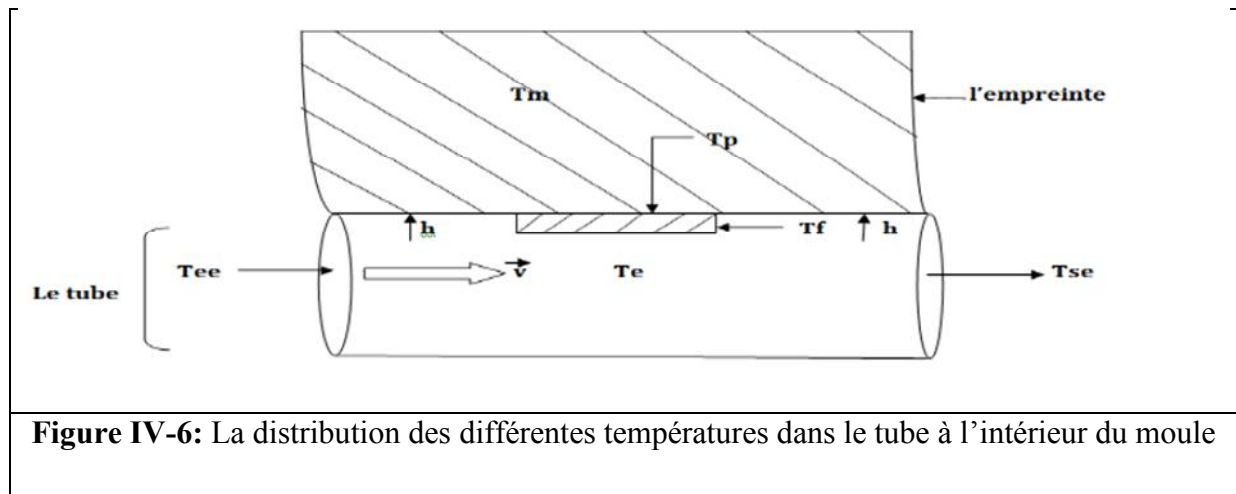


Figure IV-6: La distribution des différentes températures dans le tube à l'intérieur du moule

T_i : la température d'injection du polystyrène, sachant que $T_i = 200$.

T_e : température d'éjection du polystyrène, sachant que la $T_e = 70$.

$$T_m = \frac{70 + 200}{2} = 135^\circ C$$

T_{ee} : la température d'entrée d'eau, ou $T_{ee} = 5^\circ C$

T_{se} : la température de sortie d'eau, ou $T_{se} = 5.88^\circ C$

$T_e = \Delta T_e + T_{ee}$

ΔT_e : L'échauffement admissible du fluide de refroidissement en $^\circ C$; généralement cet écart doit être inférieur à $5^\circ C$, d'où la température d'eau sera :

$$T_e = \frac{5.88 + 5}{2} = 5.44^\circ C$$

Finalement la température du film sera donc : $T_f = \frac{T_m + T_e}{2} = \frac{137 + 5.44}{2} = 71.22^\circ C$

Maintenant on a la température du film T_f , alors on pourra déterminer les paramètres cités au-dessus (C_p , ρ , μ , ν , λ , Re , Pr) à cette température.

T °C	ρ Kg /M ³	μ Kg /ms. (10 ⁻³)	ν m ² /s (10 ⁻⁵)	Cp J/kg.k	λ w /m.k	A m ² /s (10 ⁻⁸)	Pr	B l/kelvin (10 ⁻⁴)
0	1002	1.78	0.19	4218	0.552	13.1	13.6	0.66
10	1001	1.30	0.130	4192	0.586	13.7	9.30	0.88
20	1001	1.00	0.101	4182	0.597	14.3	7.02	2.06
60	985.4	0.469	0.0477	4184	0.651	15.5	3.02	5.15
80	974.1	0.354	0.0364	4196	0.688	16.4	2.22	6.55
100	960.6	0.281	0.02	4216	0.680	16.8	1.74	7.49

Tableau IV-7 : Le tableau de la distribution des températures.

a .1- La viscosité dynamique (μ):

Du tableau et par interpolation :

$$\frac{0.469 \times 10^{-3} - 0.354 \times 10^{-3}}{80 - 60} = \frac{0.469 \times 10^{-3} - y}{71 - 60}$$

$$\mu (Tf)=0.405.10^{-3} \text{ kg /ms}$$

a .2- La chaleur spécifique ou la capacité calorifique de l'eau (Cp):

$$\frac{4196 - 4184}{80 - 60} = \frac{4196 - y}{80 - 71} = 4190.6 \frac{j}{kg} . k$$

$$Cp (Tf)= 4190.6 \text{ J/kg. K}$$

a .3- La masse volumique (ρ) :

$$\frac{985.4 - 974.1}{80 - 60} = \frac{985.4 - y}{71 - 60} = 979.18 kg/m^3$$

$$P(Tf)=979.18 kg/m^3$$

a .4- La conductivité thermique (λ) :

$$\frac{0.668 - 0.651}{80 - 60} = \frac{0.668 - y}{80 - 71} = 0.660 \frac{w}{m.k}$$

$$\lambda(Tf) = 0.660 \frac{w}{m.k}$$

a .5- La viscosité cinématique (ν) :

$$\frac{0.0477. 10^{-5} - 0.0364. 10^{-5}}{80 - 60} = \frac{0.0477. 10^{-5}}{71 - 60} = 0,0414 . 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

$$\nu(Tf) = 0,0414 . 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

Groupement	
$Re = \frac{\rho u D}{\mu}$	Nombre de Reynolds
$Pr = \frac{c_p \mu}{\lambda}$	Nombre de Prandtl
$Nu = \frac{h D}{\lambda}$	Nombre de Nusselt
$Pe = \frac{\rho u D c_p}{\lambda}$	Nombre de Peclet
$Ma = \frac{h}{\rho u c_p}$	Nombre de Margoulis
$Gr = \frac{\beta g \Delta T \rho^2 L^3}{\mu^2}$	Nombre de Grashof
$Ra = \frac{c_p \beta g \Delta T \rho^2 L^3}{\lambda \mu}$	Nombre de Rayleigh

Tableau IV-7 : Quelques groupements sans dimensions [17].

a .6- Le nombre de Reynolds (Re):

Il caractérise le régime de l'écoulement (laminaire ou turbulent) dans la canalisation, de plus c'est un nombre sans dimension, avec $Re = \frac{Vd}{\nu}$.

Avec :

d : le diamètre hydraulique

AN :

$$Re = \frac{Vd}{\nu} = \frac{1.5 \times 0.008}{0.0414 \times 10^{-5}} = 28985.5$$

$$Re = 2.9 \times 10^4$$

a .7- Le nombre de Prandtl (Pr)

Ce nombre est calculable pour un fluide donné indépendamment des conditions expérimentales (il ne dépend que de la température) et caractérise l'influence de la nature du fluide sur le transfert de chaleur par convection.

$$Pr = \frac{\mu C_p}{\lambda}$$

AN :

$$Pr = \frac{0,405 \cdot 10^{-3} \times 4190.6}{0,649} = 2.61$$

$$Pr = 2.61$$

a .8- Le coefficient d'échange convectif(h) [17] :

Le coefficient de transfert thermique h est en fonction du régime d'écoulement

$$h = 0.04 (Re \cdot Pr)^{0.75} \cdot \frac{\lambda}{d}$$

AN :

$$h = 0.04 (2,9 \cdot 10^4 \times 2,61)^{0.75} \cdot \frac{0.660}{0.007}$$

$$h = 17210,15 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Finalement La longueur totale de refroidissement :

$\Phi = h \cdot S \cdot L \cdot (T_p - T_\infty)$ Remarque : la température au loin dans notre cas représente la température de l'eau $T_e = 5.44^\circ C$

$S = \pi \cdot d_i \cdot L$: c'est la surface d'échange.

$Q = h \cdot \pi \cdot d \cdot L \cdot (T_p - T_e)$, d'où, $L = Q / h \cdot \pi \cdot d \cdot (T_p - T_e)$

AN :

$$L = \frac{1584}{17210.15 \times 3.14 \times 0.007 (415,125)}$$

$$L = 10.08 \text{ m}$$

IV-3. Résistance des matériaux :

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

IV-3-1. Les pièces constituant le moule :

Les pièces constituant le moule et leur matière sont donnés dans le tableau suivant :

Les pièces	Les matières
Plaque éjectrice	XC48
Contre plaque éjectrice	XC48
Semelle fixe	XC48
Porte empreinte fixe	XC48
Porte empreinte mobile	XC48
Empreinte mobile	Z200C12
Empreinte fixe	Z200C12
Les tasseaux	ST37
Tableau IV-9: Pièces constituant le moule.	

IV-3-2. Résistance des éléments constituant le moule au matage dû à la force de fermeture du moule :

La force de fermeture d'une presse 220 tonnes égales :

$$(220000 \text{ Kg} = 2200000 \text{ N})$$

$$1 \text{ Kg.f} \longrightarrow 10 \text{ N}$$

Donc la force de fermeture du moule est de $F = 2200000 \text{ N}$.

Condition de résistance au matage :

$$\sigma \leq [\sigma]$$

$$\frac{F}{S} \leq Rpe, \text{ avec } Rpe = \frac{Re}{S'}$$

$Re = 370 \text{ N/mm}^2$ (pour les aciers non alliés).

$S' = 2$ (coefficient de sécurité).

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

$$Rpe = 185 \text{ N/mm}^2$$

$S = e \cdot l$ (Surface matée).

e : épaisseur de l'élément.

l : longueur de l'élément

a- PARTIE MOBILE :

- **Porte empreinte mobile :**

$L = 500 \text{ mm}$; $e = 460 \text{ mm}$; $S = 230000 \text{ mm}^2$

$$\sigma = \frac{2200000}{230000} = 9.56 N/mm^2$$

$$\sigma = 9.56 N/mm^2 \leq Rpe$$

La condition est vérifiée.

- **Semelle mobile :**

$$L = 620 \text{ mm}, e = 460 \text{ mm}; S = 285200 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{2200000}{285200} = 7.71 N/mm^2$$

$$\sigma = 7.71 N/mm^2 \leq Rpe$$

La condition est vérifiée.

- **Les tasseaux :**

$$L = 460 \text{ mm}, e = 60 \text{ mm}, S = 27600 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{2200000}{27600} = 79.71 N/mm^2$$

$$\sigma = 79.71 \frac{N}{mm^2} \leq Rpe$$

La condition est vérifiée.

b-PARTIE FIXE :

- **Porte empreinte fixe :**

$$L = 500 \text{ mm}, e = 460 \text{ mm}, S = 230000 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{2200000}{230000} = 9.56 N/mm^2$$

$$\sigma = 9.56 N/mm^2 \leq Rpe$$

La condition est vérifiée.

- **Semelle fixe :**

$$L = 620 \text{ mm}, e = 460 \text{ mm}, S = 285200 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{2200000}{285200} = 7.71 N/mm^2$$

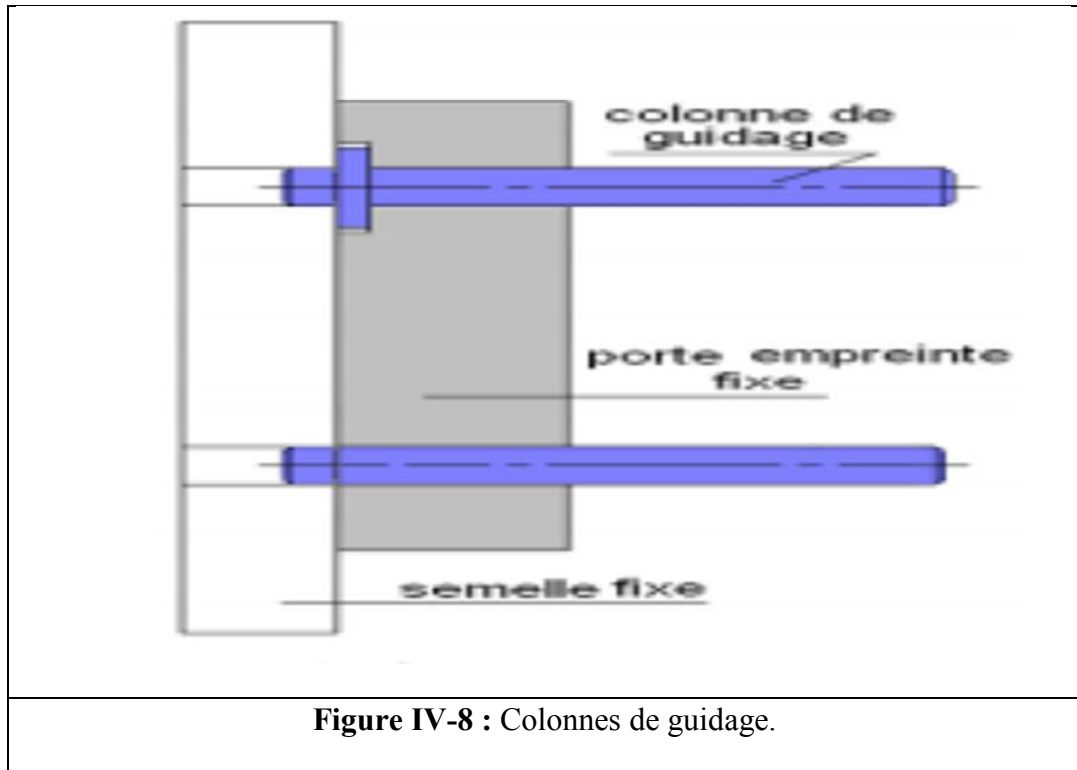
$$\sigma = 7.71 N/mm^2 \leq Rpe$$

La condition est vérifiée.

Tous les éléments constituant le moule résistent au matage dû à la force de fermeture du moule.

IV-3-3. Résistance des colonnes de guidage au cisaillement :

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



La condition de résistance s'écrit :

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

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

AN : $\tau = \frac{1330}{2} \times 0.8 = 520 \text{ N/mm}^2$

$$[\tau] = 520 \text{ N/mm}^2$$

Avec :

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

D : diamètre de la colonne de $\varnothing 35 \text{ mm}$;

n : Nombre de colonnes cisailées (n= 4)

σ_e : contrainte de la limite élastique ($\sigma_e=1300N/mm^2$)

K: coefficient de sécurité (K= 2).

F : poids de la partie mobile ; F=476.9N

$$S = \frac{3.14 \times 35^2}{4} = 961.625mm^2$$

AN :

$$\tau = \frac{301.47}{961.625 \times 4} = 0.08N/mm^2 \leq [\tau]_{Cis}$$

La condition est vérifiée.

IV-3-4. Vérification des colonnes de rappel de la batterie d'éjection au cisaillement :

Les colonnes de rappel des plaques éjectrice sont soumises au cisaillement causé par le poids P de la batterie d'éjection.

La condition de résistance :

$$\tau = \frac{F}{n.S} \leq [\tau]_{Cis}$$

Avec:

F : poids de la batterie éjectrice; F= 477.29 N

n : le nombre de sections cisailées ; n=4

d : diamètre de la colonne ; d=25mm

S : section cisailée.

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

$$[\tau]_{Cis} = \frac{\sigma_e}{k} \cdot 0.8 = \frac{335}{2} = 134N/mm^2$$

$$[\tau] = \frac{F}{n.S} = \frac{477.29}{4 \times (3.14 \times 25^2)} = 0.06N/mm^2$$

$$[\tau] = 0.06 \frac{N}{mm^2} \leq [\tau]_{Cis}$$

IV-3-5. Résistance des 8 vis CHC au cisaillement dû au poids de l'empreinte fixe et porte empreinte fixe :

- Condition de résistance au cisaillement

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

$$Rpg = \frac{Rge}{2S}$$

Avec :

Résistance élastique au cisaillement : $[Mpa]$

Résistance pratique au cisaillement : $Rpg [Mpa]$

Facteur de sécurité : S'

Section d'une vis : $Sv1$

$$\tau = \frac{P1}{Sv} \leq Rpg \quad , \text{ avec } \quad Rpg = \frac{Reg}{2S}$$

Avec : $S' = 2$

$Sv = 8 \times Sv1$ (section de 10 vis CHc)

$$Sv1 = \frac{\pi \times (dv)^2}{4}$$

$$\frac{4 \cdot P1}{8 \cdot \pi \cdot (dv)^2} \leq \frac{Reg}{2S}$$

On aura :

$$P1 \leq \frac{8 \times Reg \times \pi \times dv^2}{8 \cdot S}$$

AN :

$$P1 \leq \frac{8 \times 335 \times 3.14 \times 12^2}{16} = 57736.8N$$

$P1 = 57736.8 N = 5773.68 \text{ daN}$ (charge totale supportée par les 8 vis).

Les charges de porte empreinte fixe et l'empreinte fixe sont respectivement de 116.5N et 37.5N, $P = 116.5 + 37.5 = 154 N$.

Le poids P est très petit par rapport à $P1$ donc les 8 vis CHc de diamètre $d = 12 \text{ mm}$ résistent largement à la charge de poids P et cela sans prendre en considération la buse et les quatre colonnes de guidage. Donc le dimensionnement de ces dernières et la buse ne dépend que de notre choix en tenant compte de la normalisation.

IV-3-6. Calcul du diamètre des vis CHc M8 des tasseaux et porte empreinte mobile :

Les 6 vis de diamètre $d = 8 \text{ mm}$, sont soumises à la charge F du poids de l'ensemble des pièces suivantes : Tasseaux, porte empreinte mobile, empreinte mobile, la plaque et la contre plaque éjectrice.

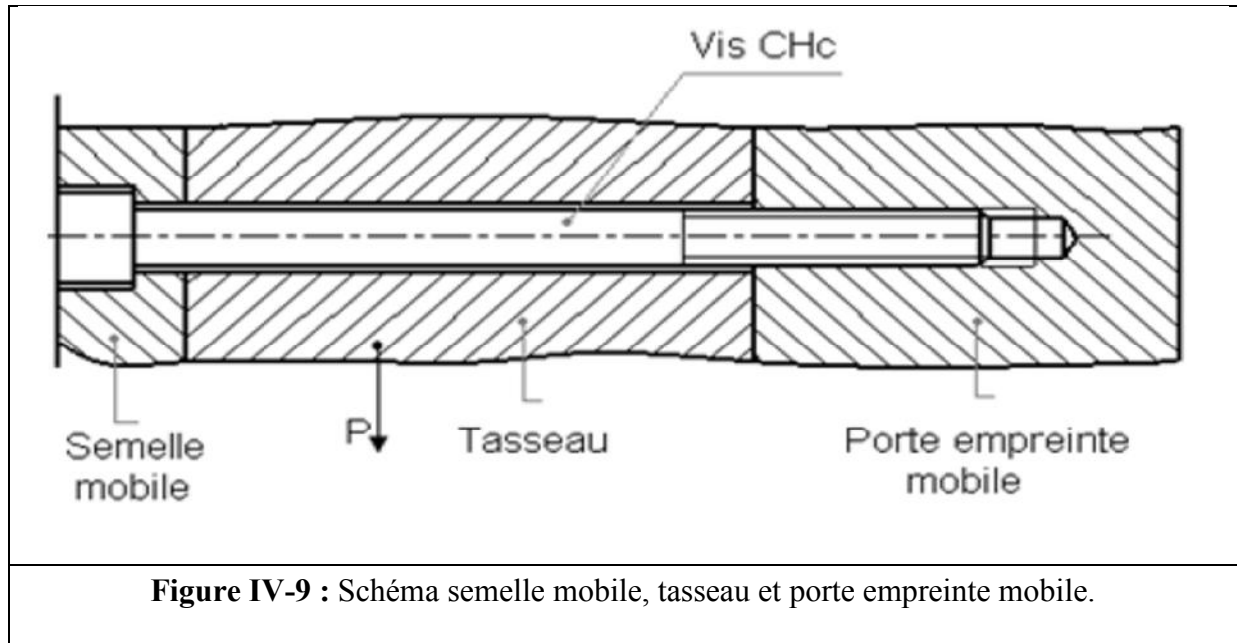


Figure IV-9 : Schéma semelle mobile, tasseau et porte empreinte mobile.

Condition de résistance au cisaillement des 6 vis :

$$\tau = \frac{F}{S} \leq Rpg \longrightarrow Rpg = \frac{Reg}{2.S}$$

Les 6 vis sont en acier non allié C35, $Re = 335 \text{ N/mm}^2$.

$$Rpg = \frac{Reg}{2S} = \frac{335}{2(2\pi 4^2)} = 1.66 \text{ N/mm}^2$$

Avec : $F = 3.29 + 3.29 + 11.38 + 5.27 + 3.33 + 3.41 = 29.99 \text{ daN} = 300 \text{ N}$

$$\tau = \frac{4 \times F}{6 \times \pi \times dv^2} = \frac{4 \times 300}{6 \times 3.14 \times (8)^2} = 1 \text{ N/mm}^2$$

$\tau < Rpg$; Donc les(06) vis résistent largement au cisaillement.

IV-3-7. Résistance des goupilles de centrage au cisaillement :

Condition de résistance : $\tau = \frac{P}{SNn} \leq Rpg$

$$Rpg = \frac{Re}{2S'} = \frac{1275}{4} = 318.75 \text{ N/mm}^2$$

n : nombre de sections cisillées = 1.

N : Nombre de goupilles = 4.

S : surface d'une goupille = $\frac{\pi.d^2}{4} = \frac{3.14 \times 10^2}{4} = 78.5 \text{ mm}^2$

P : poids de l'empreinte, porte empreinte, tasseaux

$$P=3.29 + 3.29 + 11.38 + 5.27 = 23.25 \text{ daN} = 232.5 \text{ N}$$

$$\tau = \frac{232.5}{4 \times 78.5 \times 1} \leq 318.75 \rightarrow 0.74 \leq 318.75$$

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

Les plateaux de la machine ont des trous taraudés (M16). Pour recevoir les éléments de fixation du moule dans le but d'établir de bonnes conditions de travail, il faut s'assurer que le moule est bien fixé sur les deux plateaux de la machine.

Pour ce faire, un calcul de résistance est recommandé.

Les vis utilisées ont un diamètre de 16 mm, en C35 de limite élastique $R_e = 335 \text{ N/mm}^2$

Condition de résistance :

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

n : nombre de vis ; (n=6).

d : diamètre de la vis; d=16mm

F : poids de la semelle

S : Section de la vis, $S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \leftrightarrow S = \frac{3.14 \times 16^2}{4} = 200.96 \text{ mm}^2$

- **Semelle fixe** : F=137.38 N

$$\tau = \frac{137.38}{6 \times 200.96} = 0.11 \text{ N/mm}^2$$

La condition est vérifiée.

- **Semelle mobile** : F=213 N

$$\tau = \frac{140.83}{6 \times 200.96} = 0.12 \text{ N/mm}^2$$

La condition est vérifiée.

IV-4. Conclusion :

Dans cette partie de travail, nous avons calculé et vérifié tous paramètres du moule, à savoir, son dimensionnement, le circuit de refroidissement la vérification de résistance des différentes pièces intervenant dans l'ouverture et la fermeture du moule. Les calculs trouvés ont permis aussi de choisir la presse à utiliser pour l'obtention du cache de la boîte de dérivation.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

La fabrication des pièces plastiques dans le domaine industriel par injection plastique, connu depuis longtemps, elle permet d'obtenir un produit en grande série et a des prix de revient abordable.

Le stage que nous avons effectué au niveau de l'ENIEM nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine de la plasturgie et de comprendre la raison pour laquelle les matières plastiques occupent une place importante dans les différents secteurs industriels.

L'industrie, de nos jours, 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 réalisation du moule à injection plastique qui a fait l'objet de notre étude est basé sur la conception que nous souhaitons la plus simple et la plus adéquate.

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

Le logicielle solid works nous a facilité la conception des pièces, l'obtention des empreintes et la conception de toutes les autres pièces du moule puis de faire le montage complet et une analyse des interfaces. Nous sommes arrivés à élaborer une animation en 3D qui rend notre conception claire malgré sa complexité.

Enfin ce projet nous a permet d'approché la réalité de monde du travail dans les grandes entreprises, et nous a donné l'occasion de toucher à des domaines assez vastes de la construction mécanique.

Bibliographie

Bibliographie :

Chapitre I

- [1]. Edition : Tec & Doc, Par : Jean BOST (I ET II).
- [2]. Dr Laurent Duranel / Les plastiques: défis et opportunités / 30 mars 2011.
- [3]. Claude CORBET : Mémotech matières plastiques, Edition CASTEILLA, 2001.
- [4]. Jean-luc charvolin / conception des pièces plastiques injectées.

Chapitre II

- [3]. Trotignon. P.J Et Dobraczynski.A – Piperaud.M. «Matières Plastiques: Structures-Propriétés, Mise en œuvre, Normalisation». Editions Nathan, Paris 1996.
- [4]. Céline Geneau, « Proc de d'élaboration d'agro-matériau composite naturel par extrusion bivio et injection moulage de tourteau De tournesol ». Thèse doctorat, Ecole Polytechnique de Toulouse, 2006.
- [5]. Université de Bretagne-Sud, cite web.univ-ubs.fr/base du moule, 2005.
- [6]. Rosato, D. V., Rosato, D. V., and Rosato, M. G., Injection Molding Handbook, 3 Edition, Kluwer Academic Publishers 2000.
- [7]. Michel.F Et Yves.G, « Chimie et Physico-chimie des Polymères ». 2eme et 3eme Cycles Ecole d'ingénieurs, université de Paris 2002.
- [20]. C. Rauwendaal, "*Polymer extrusion*", Munich, Hanser, 4th edition, 2001
- [21]. C.P.J.M. Verbraak, H.E.H. Meijer, "*Screw Design in Injection Moulding*", Polymer Eng. & Sc., 29(7), page 479-487, 1989
- [22]. C. Rauwendaal, "*Extruder screw with barrier sections*", Polymer Engineerin and Science, vol. 26, n° 18, p. 1245-1253, 1986
- [23]. H. Nakagawa, "*Improvevement of screw plasticizing in injection molding*", Japan Plastics, page 20-28, Octobre 1971.
- [24]. R. Barr, "*High performance screw is custom designed for molding engineering polymers*", Retec 87, pase 57-59, 1987.
- [25]. C. Chung, "*A novel energy efficient screw design*", SPE Antec 168, page 168-169, Mai 1983.
- [26]. extrait Techniques de l'ingénieur, plasturgie : procédés d'extrusion Techniques, réf internet 42150.
- [16]. Jean-François Pichon / Christophe Guichou Aide-mémoire. INJECTION DES MATIÈRES PLASTIQUES, 4^e édition, Dunod, Paris, 2001, 2005, 2011, 2015.

Chapitre III

[17] : *Les moules composites pour l'injection de pièces prototypes. Plastiques Flash 210*, p. 54, 55 et 58 (1988).

[28] : BADÉ (Y.). – *Chromage*. M 1 615, traité Matériaux métalliques, Techniques de l'Ingénieur, juin 1997.

[30] : SAYAG (H.). – *Approche de l'aspect de pièces d'habillage intérieur non peintes obtenues par injection de matières thermoplastiques*. Mémoire du diplôme d'ingénieur DPE ENSAM (1993).

[31] : THOMAS (B.) et HENRY (G.). – *Durcissement des aciers*. M 245, traité Matériaux métalliques, Techniques de l'Ingénieur, oct. 1990

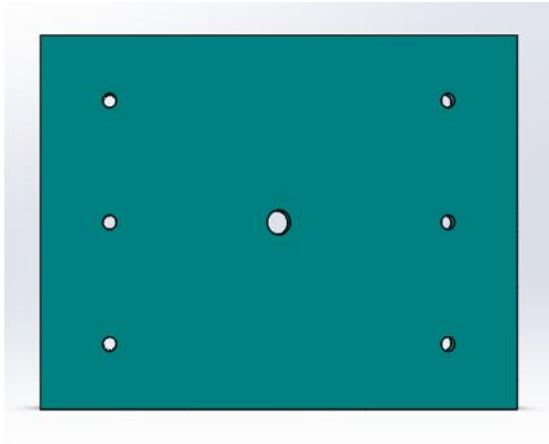
[35] : BIANCHI (L.) et RIGAL (É.). – *Usinage par électro-érosion*. B7310, traité Génie mécanique, Techniques de l'Ingénieur, mai 1987.

[36] : ARNAUD (D.) et BARBERY (J.). – *Propriétés du cuivre et de ses alliages*. M 430, traité Matériaux métalliques, Techniques de l'Ingénieur, avril 1985.

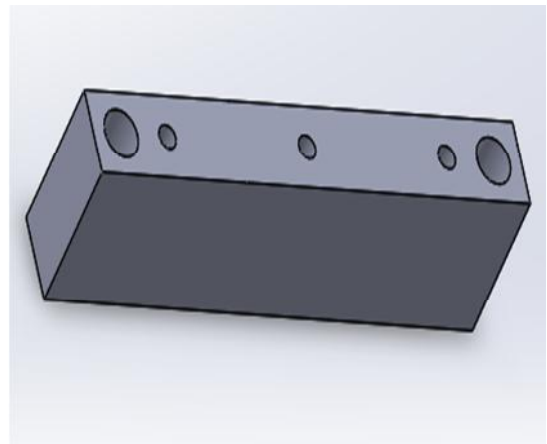
[37] : BARBERY (J.). – *Données numériques sur le cuivre et ses alliages – Cuivres et alliages industriels corroyés*. Form. M 433, traité Matériaux métalliques, Techniques de l'Ingénieur (1988).

Annexes

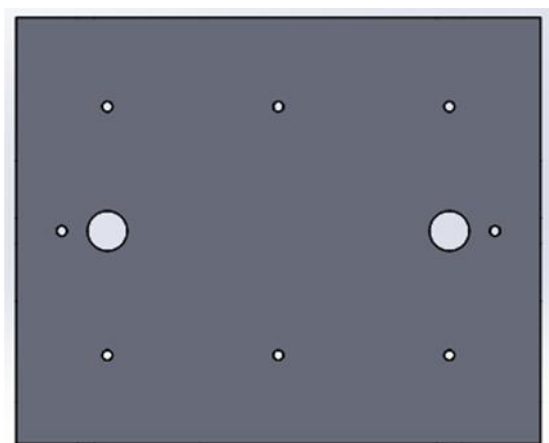
Dessins de conception



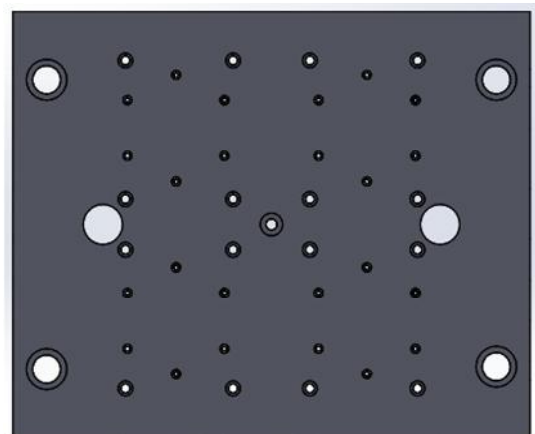
Semelle mobile



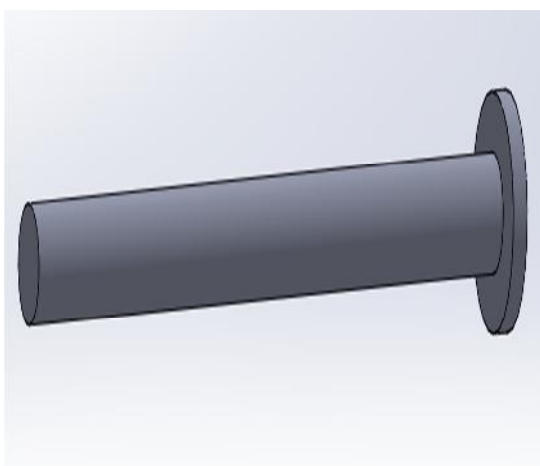
tasseaux



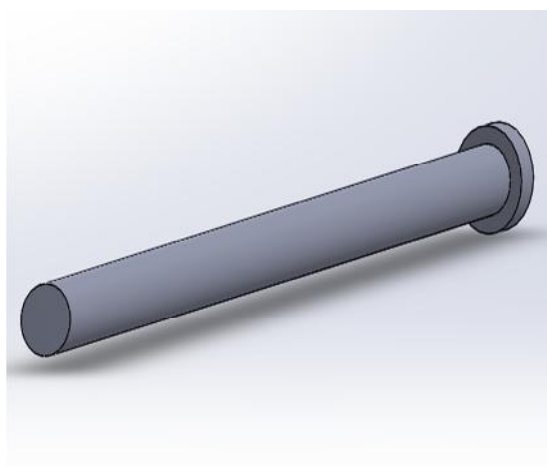
Contre plaque éjectrice



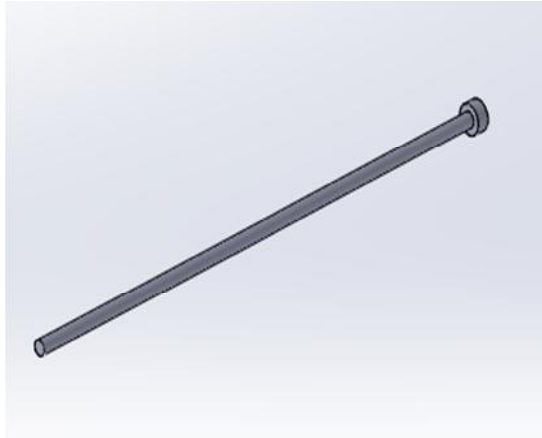
Plaque éjectrice



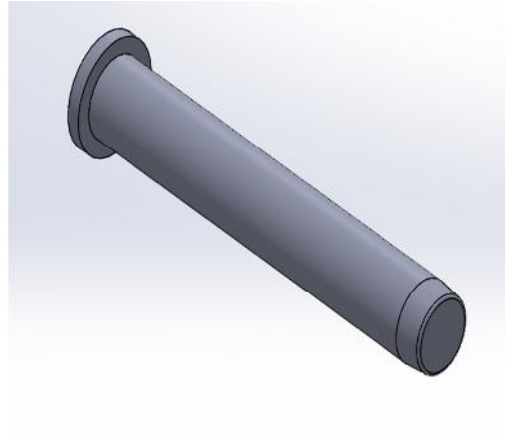
Ejecteur arrache carotte



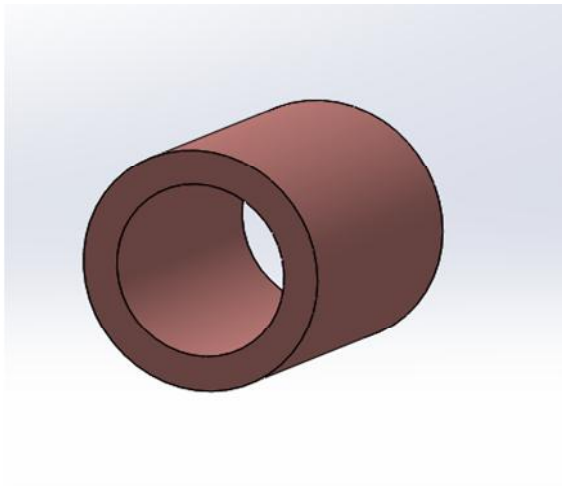
grand éjecteur



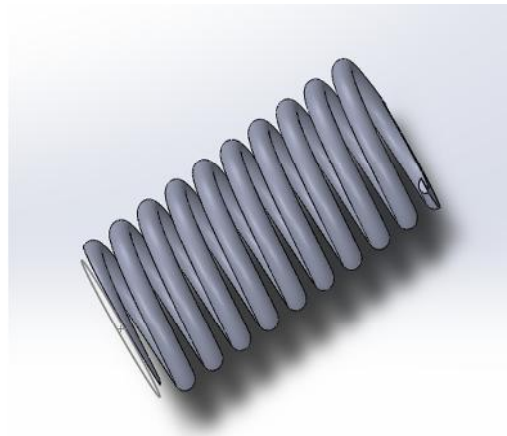
Petit éjecteur



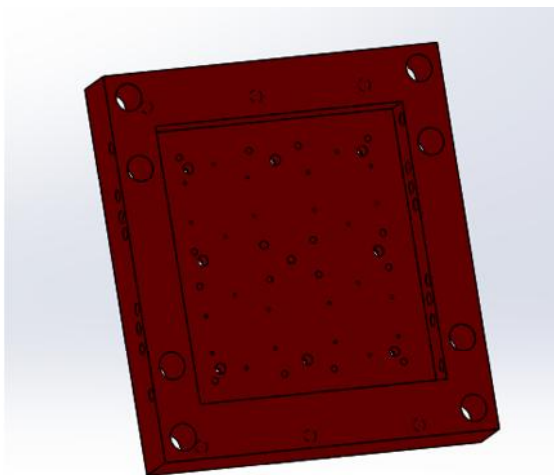
colonne de guidage éjectrice



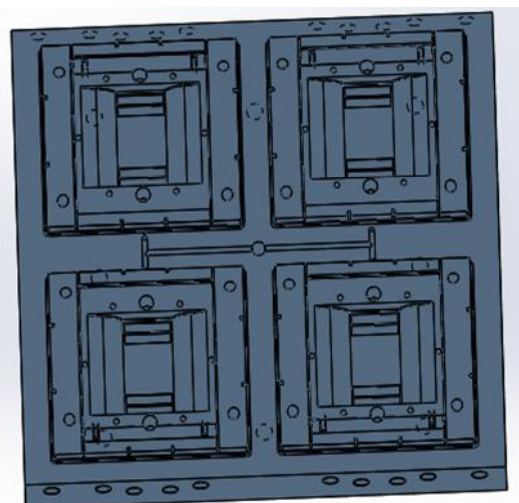
Douille d'éjection



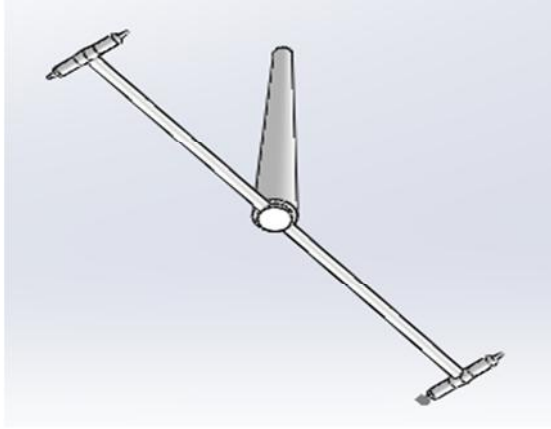
ressort



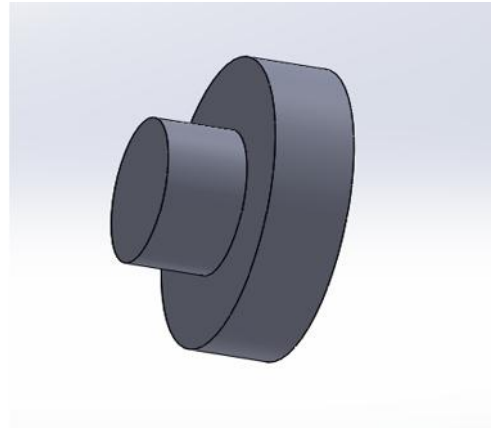
Porte empreinte mobile



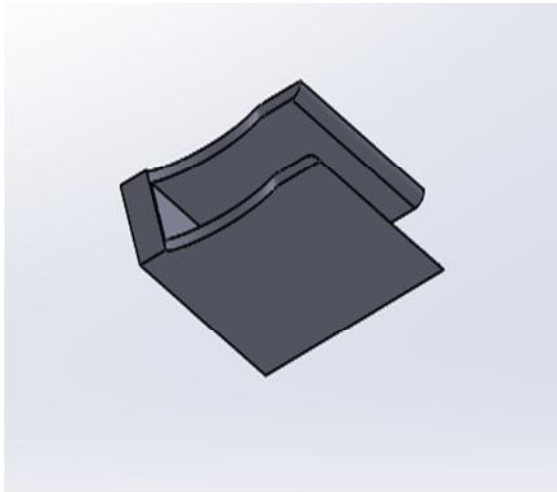
Empreinte mobile



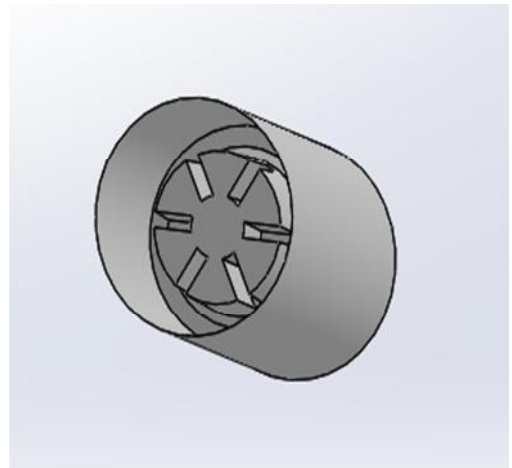
Carotte



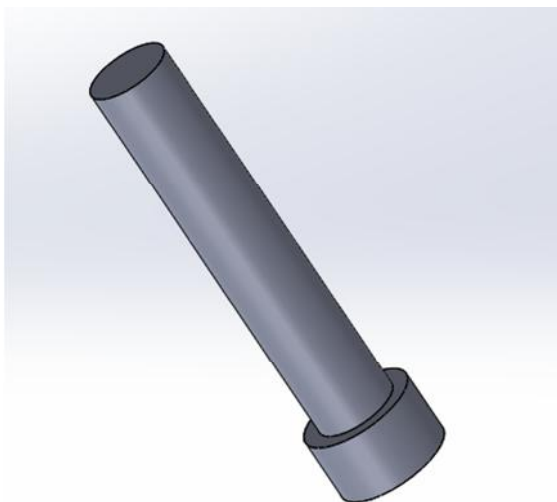
Buté



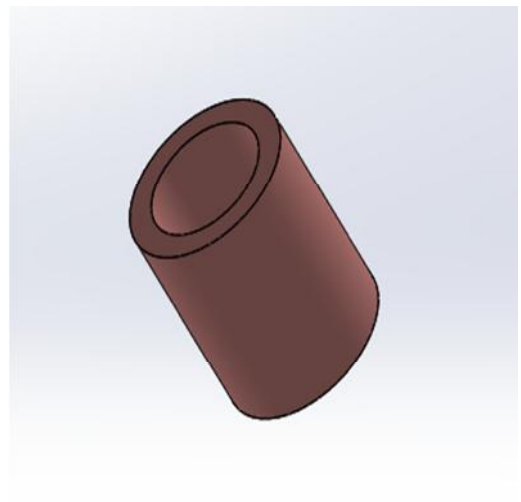
Insert 1



Insert 2

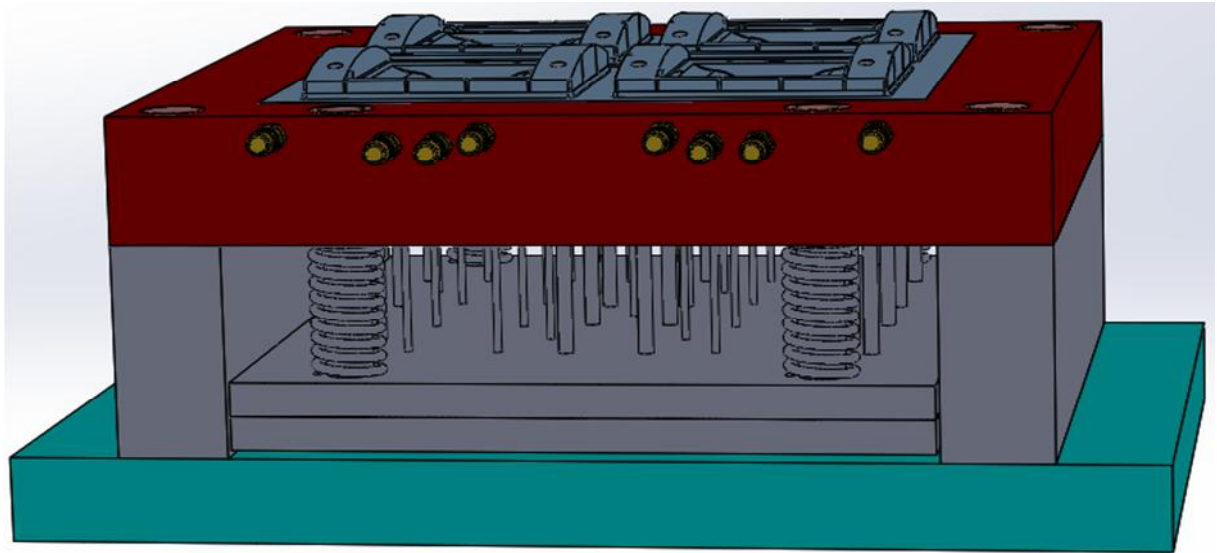


Tasseaux intermédiaire

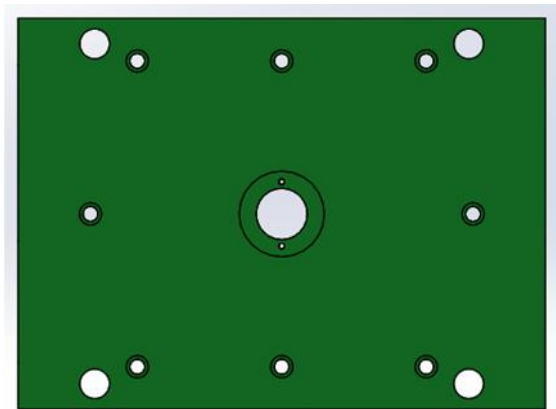


douille

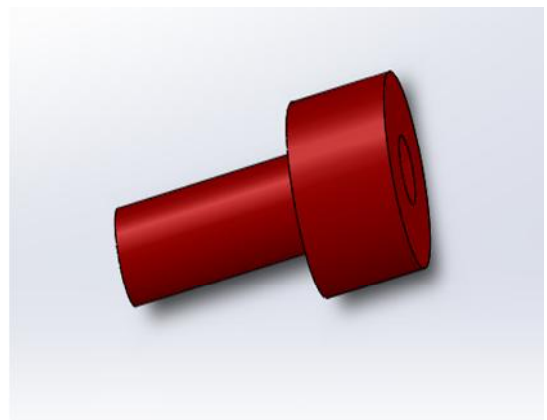
Annexes



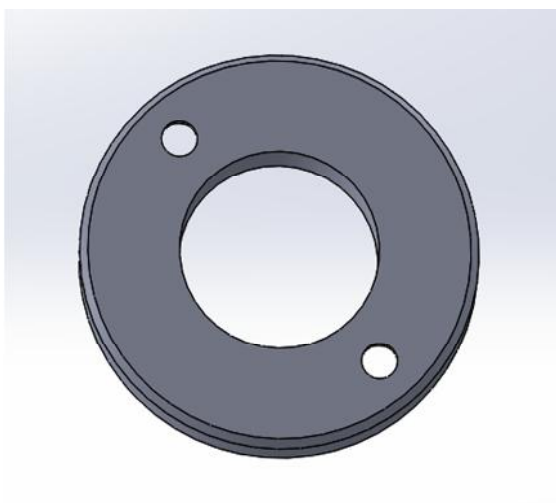
Partie mobile



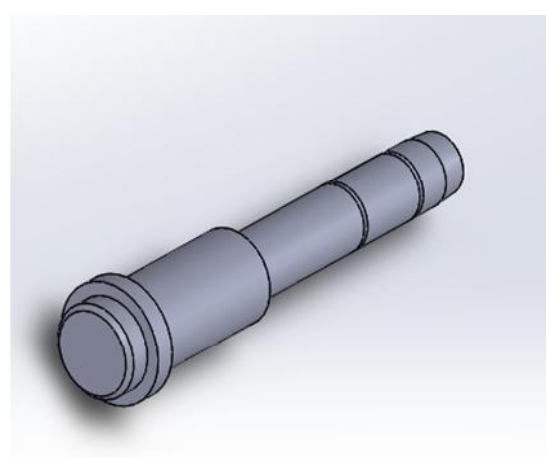
Semelle fixe



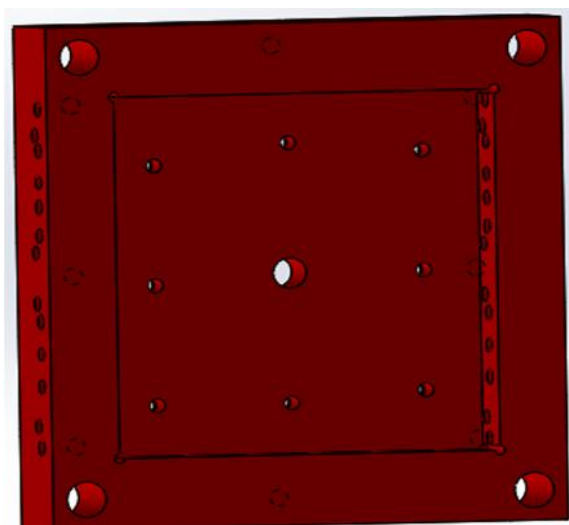
Buse d'injection



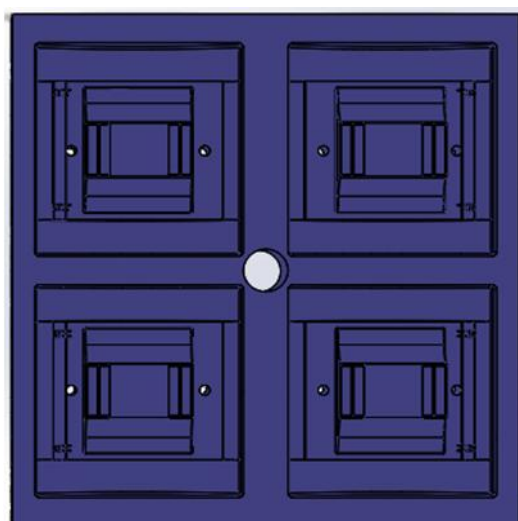
Bague de centrage



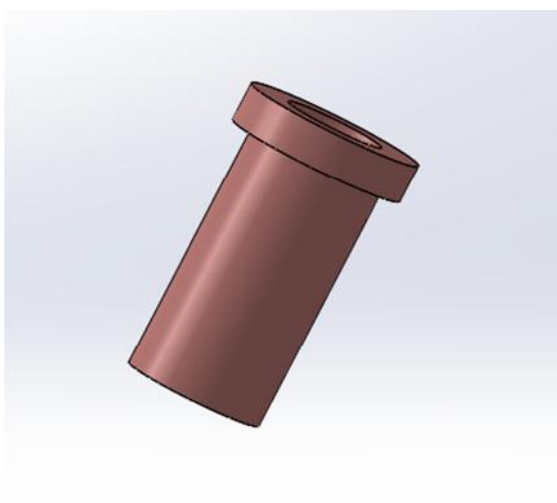
Colonne de guidage



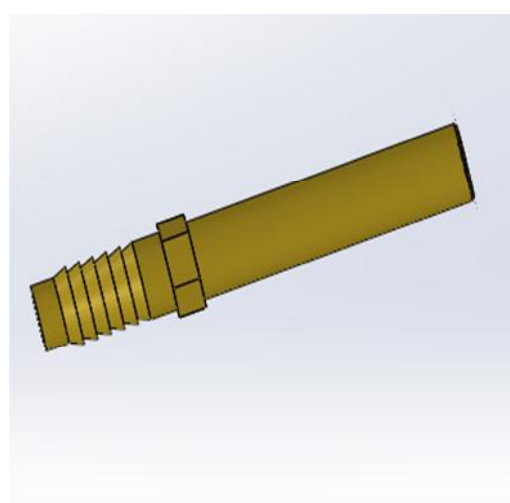
Porte empreinte fixe



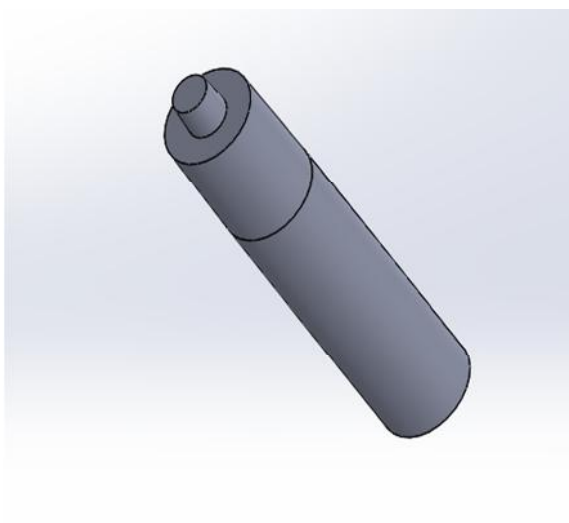
empreinte fixe



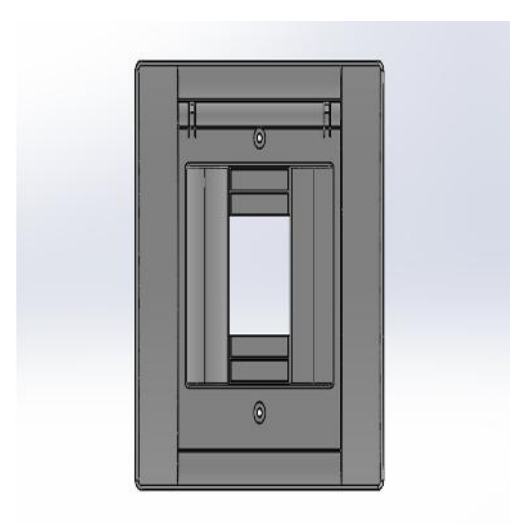
Douille de guidage



Tétine

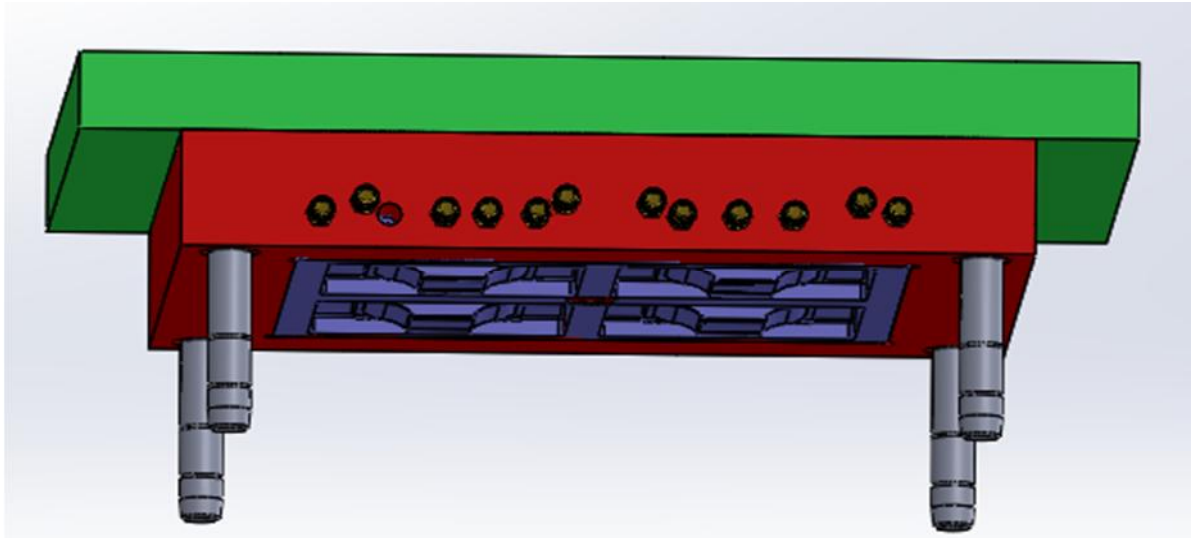


Insert 3

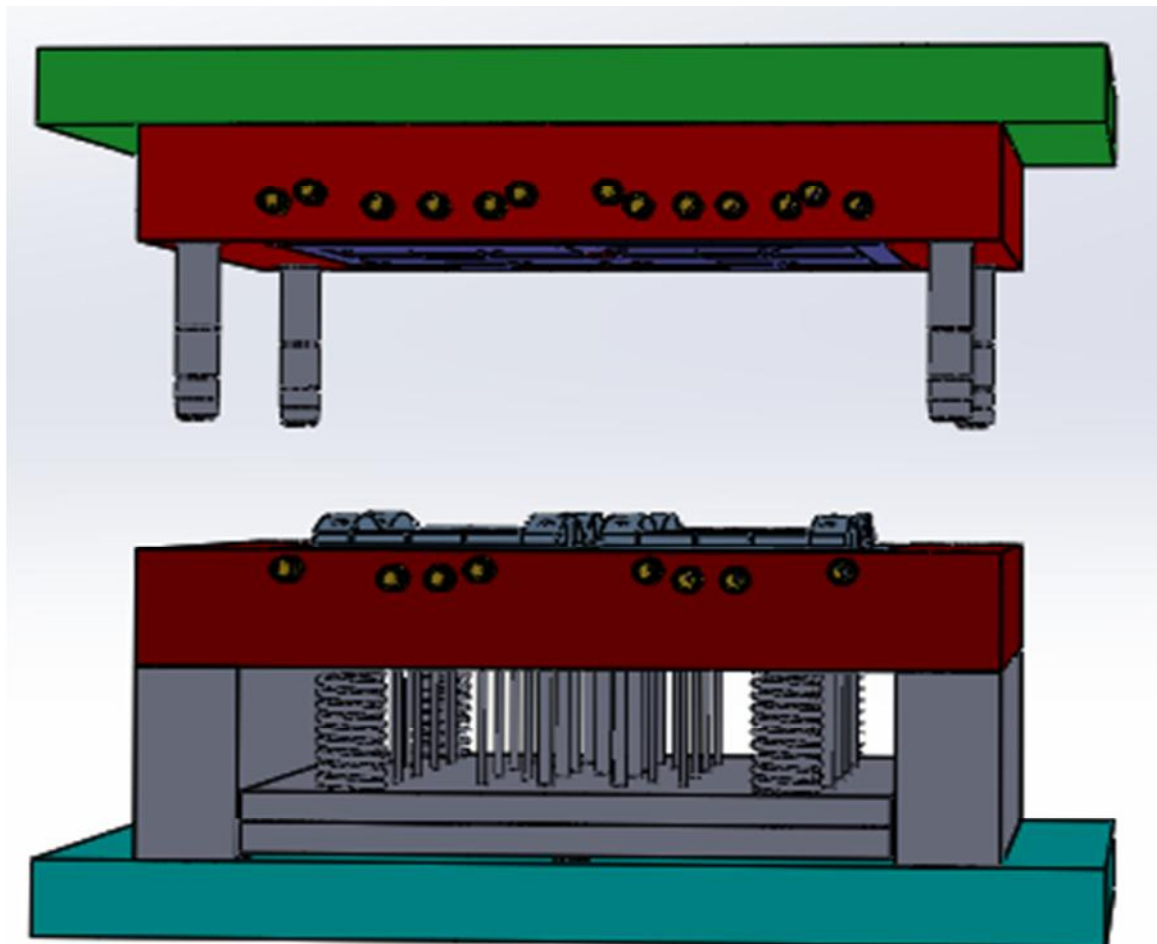


Cachet de la boîte de dérivation

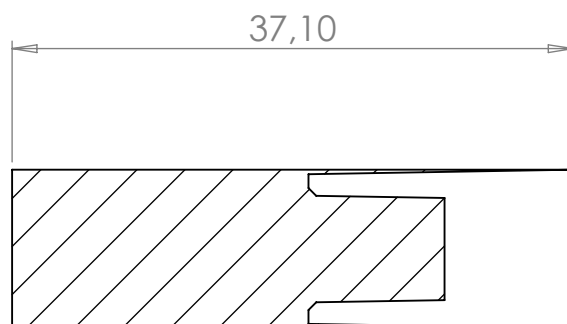
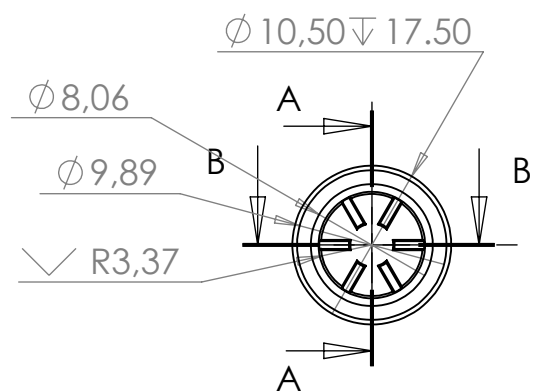
Annexes



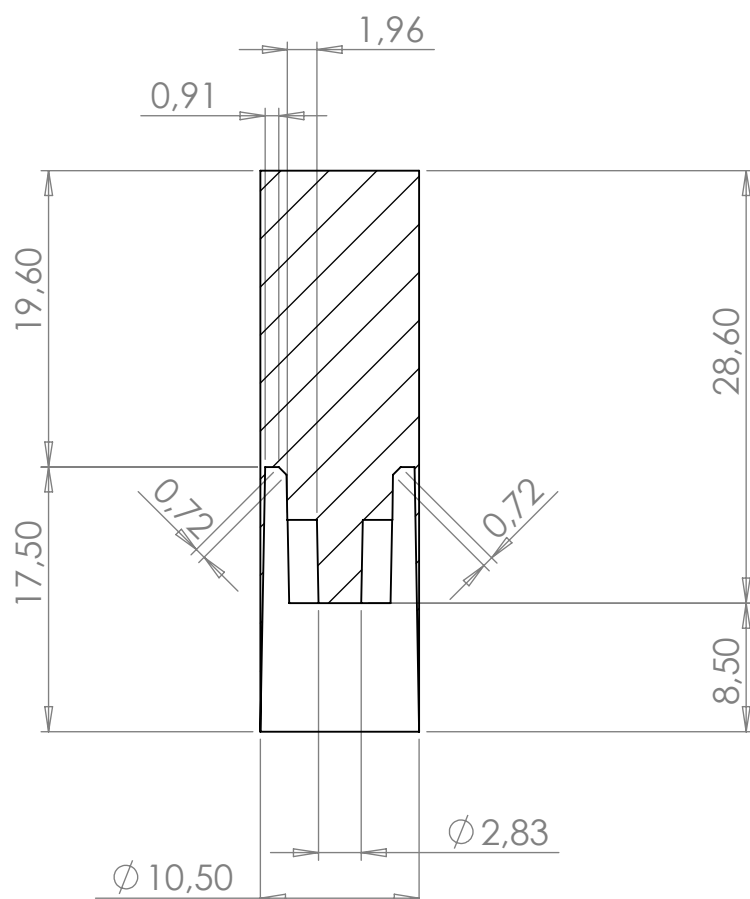
Partie fixe



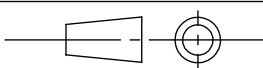
Le moule

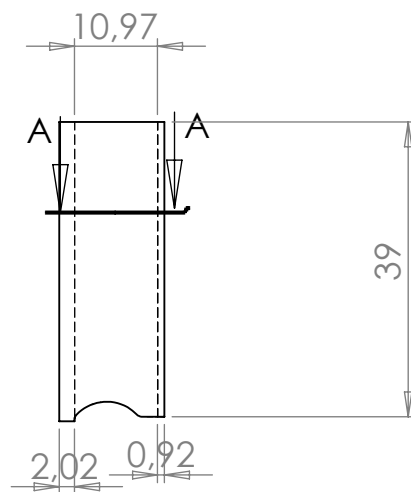


COUPE A-A
ECHELLE 2 : 1

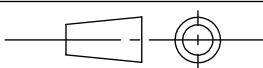


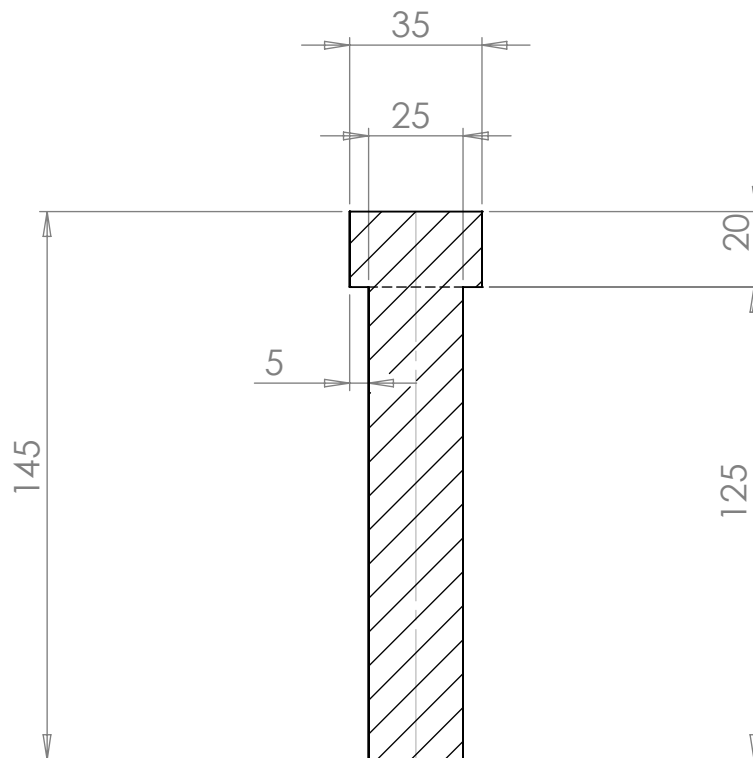
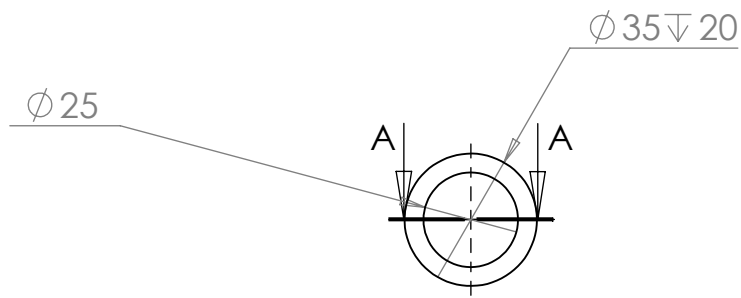
COUPE B-B
ECHELLE 2 : 1

01	01	insert du centre		Z200C12	
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echelle:2:1		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP			2019-10-31

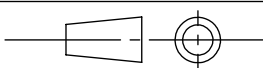


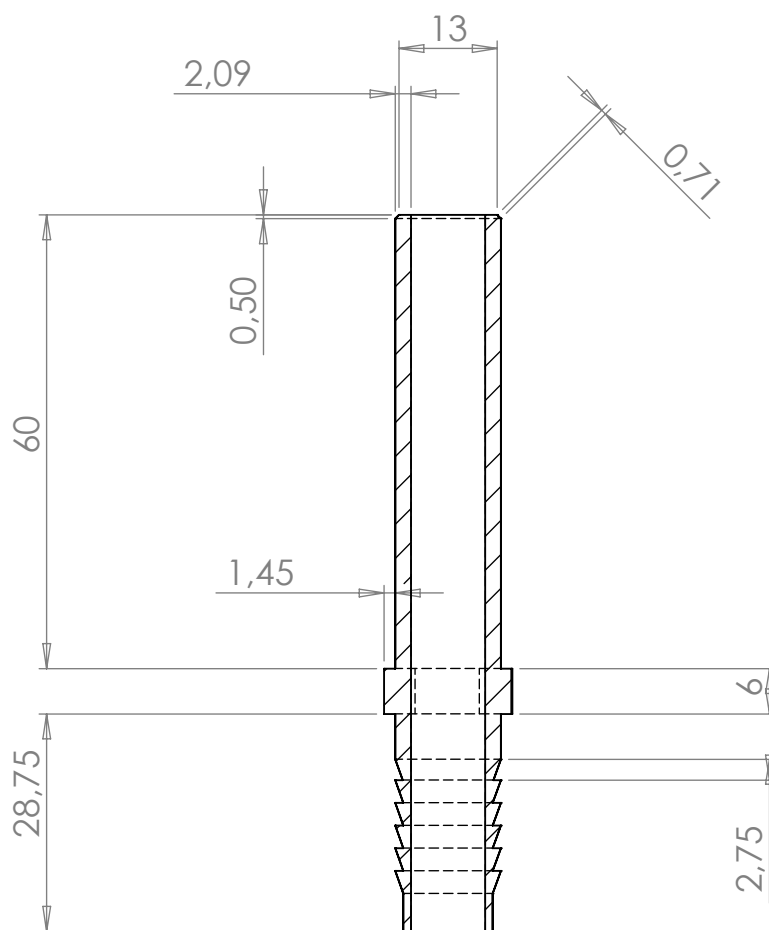
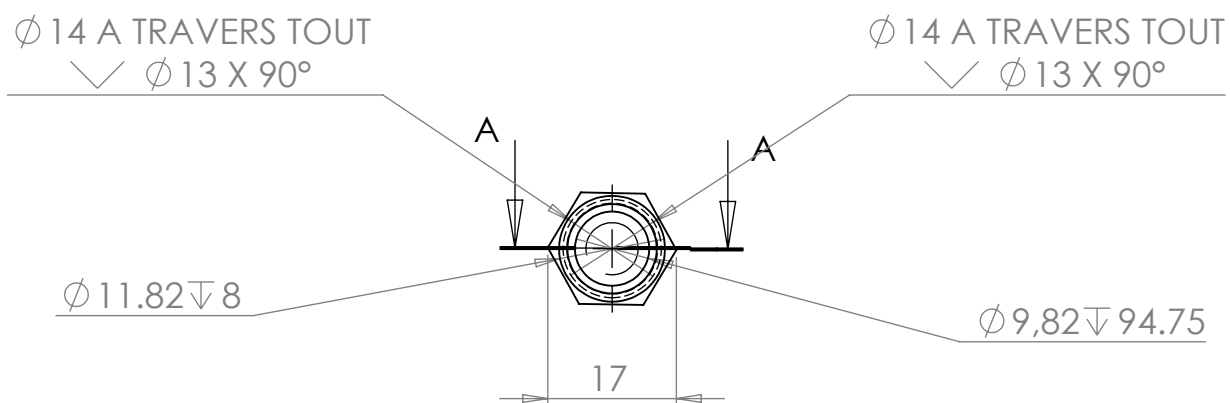
COUPE A-A

01	16	insert			
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echèlle:1:1		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud ILLALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP			2019-10-31

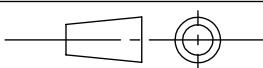


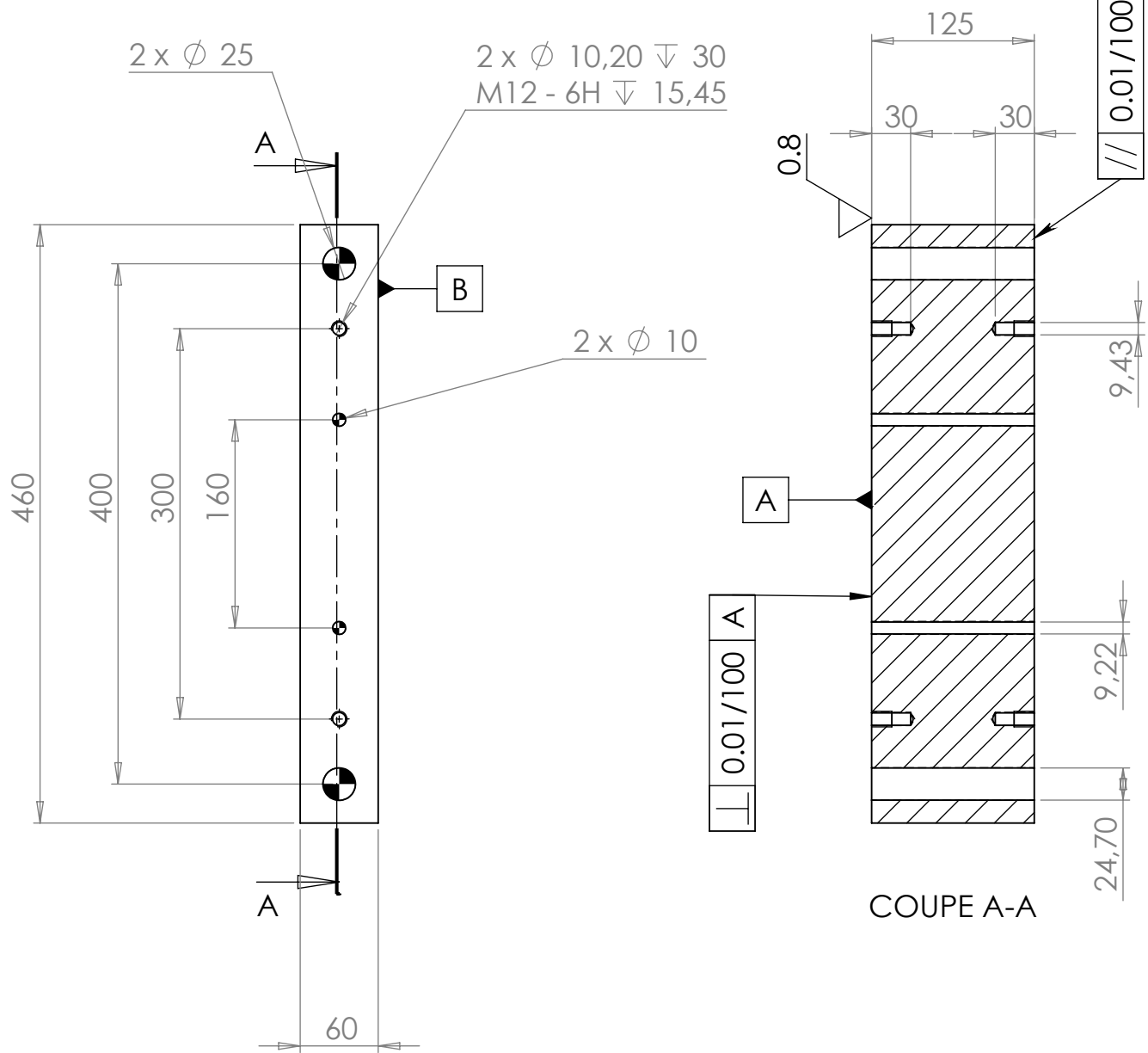
COUPE A-A

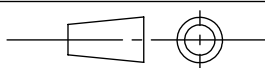
01	02	Taux de renforcement		XC38	
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echelle:1:5		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP			2019-10-31

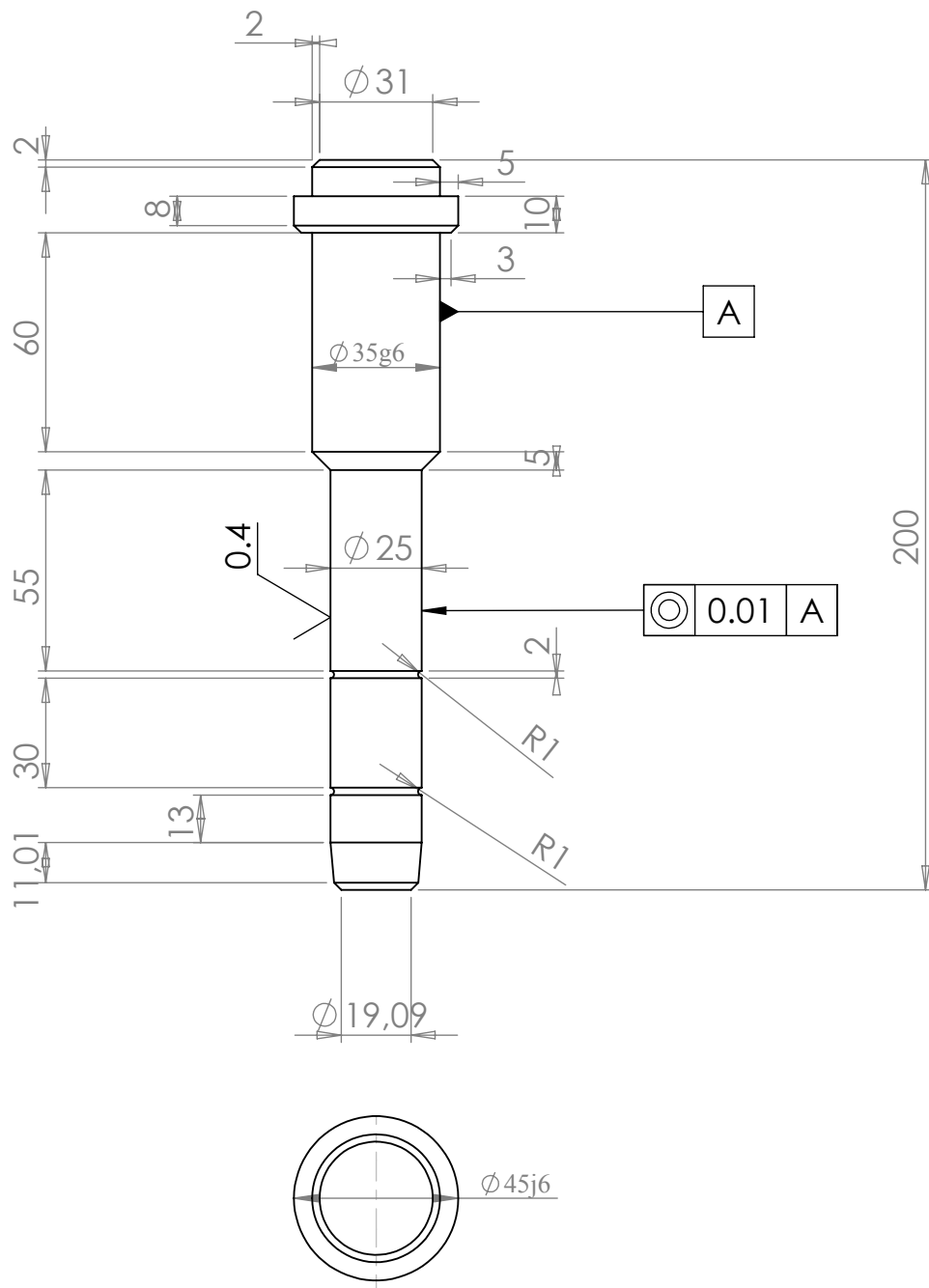


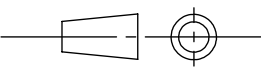
COUPE A-A

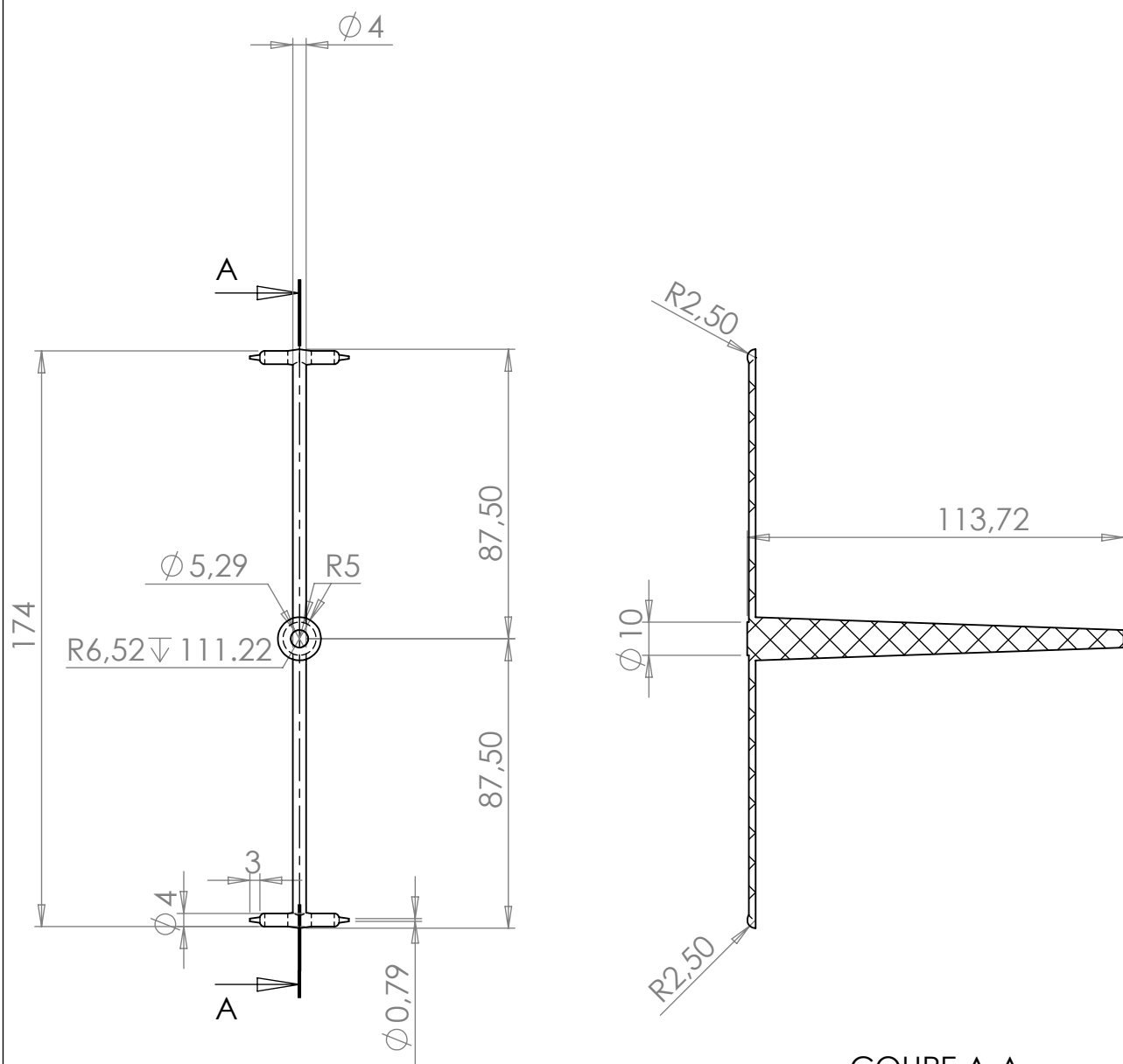
01	24	titine		bornze	
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echelle:1:1		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP			2019-10-31



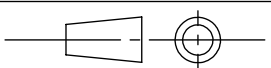
01	02	TASSAUX		XC38	
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echelle:1:5		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP			2019-10-31

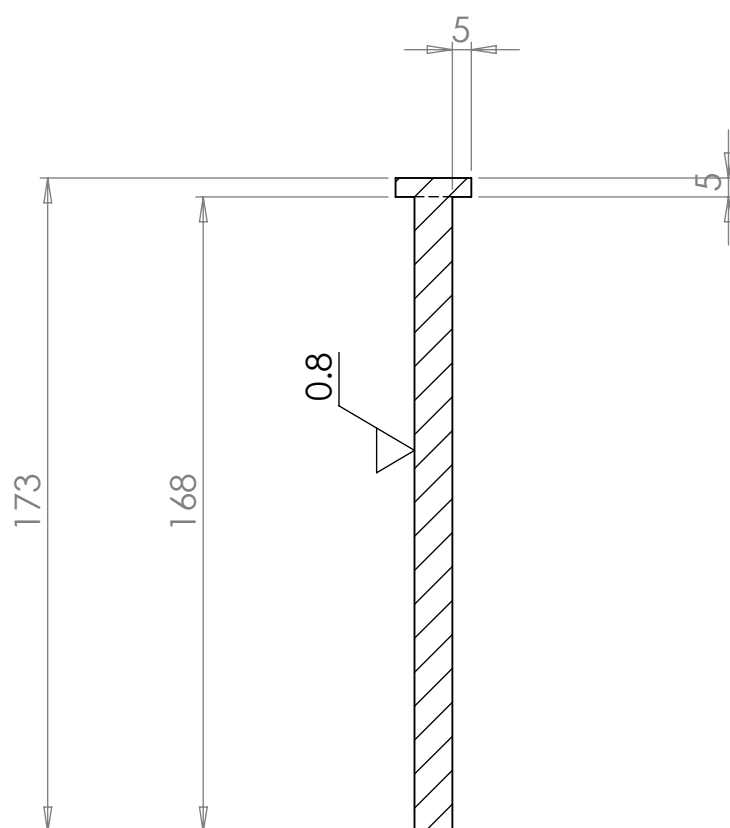
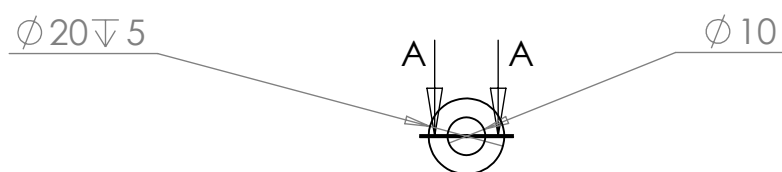


01	04	Colonne de guidage		Z200C12	
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echelle:1:2		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP			2019-10-31

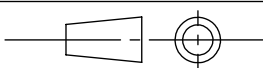


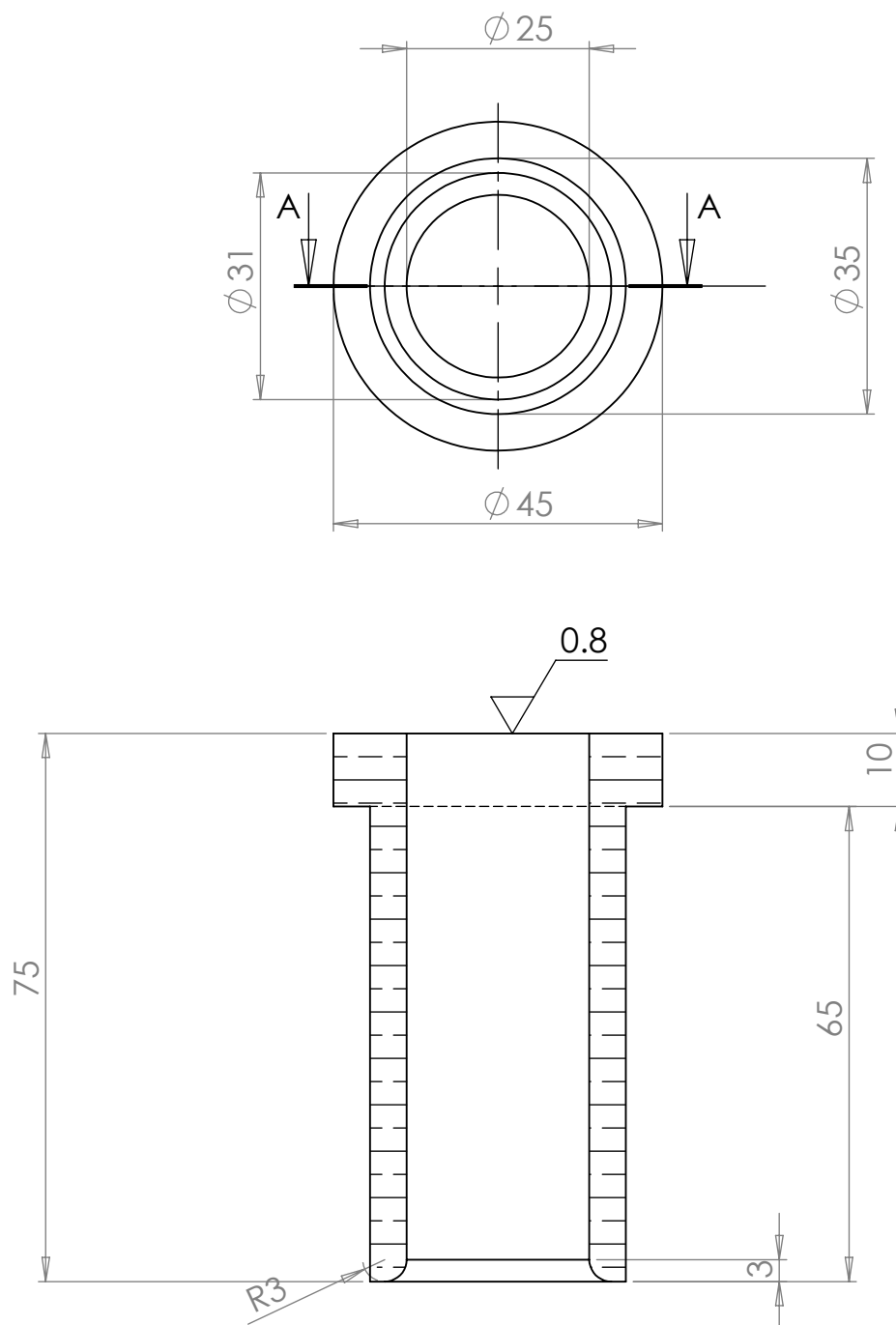
COUPE A-A

01	01	carotte		ABS	
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echelle:1:1		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP			2019-10-31

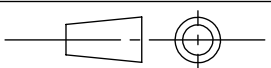


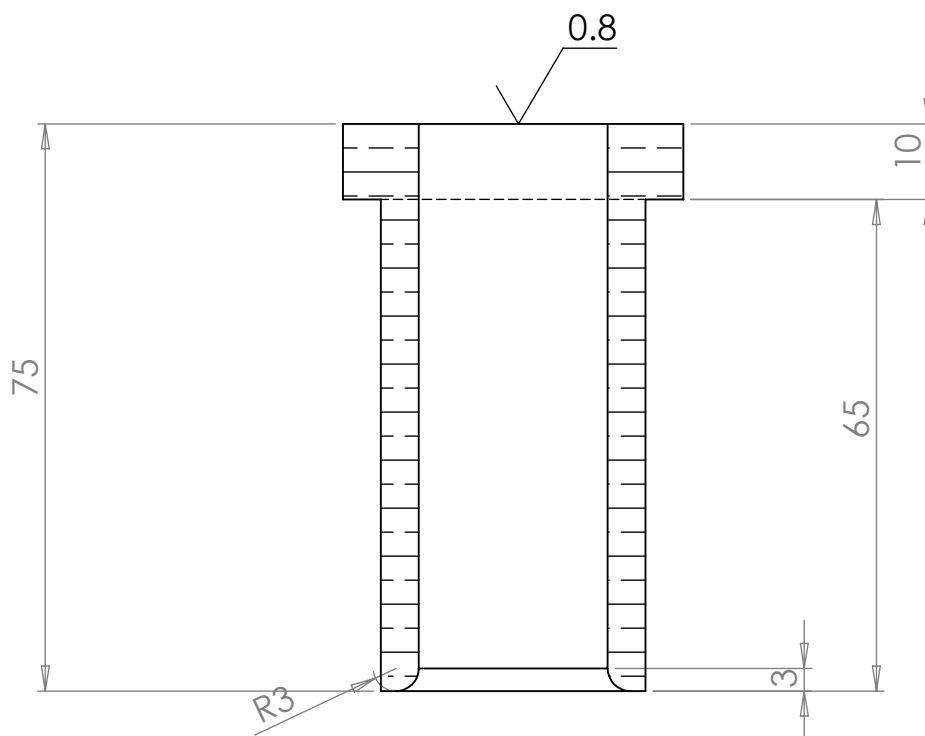
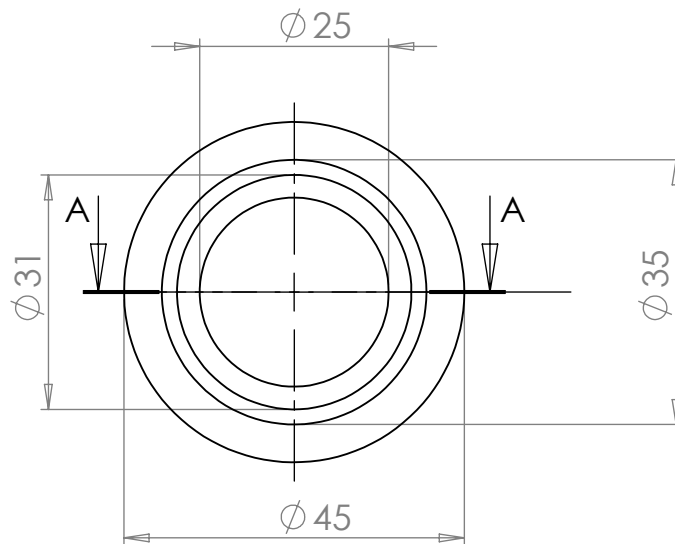
COUPE A-A

01	01	éjecteur arrache carotte		Z200C12		
Nbr	Rep	Désignation			Matière	Observation
Echelle:1:2		MOULE INJECTION PLASTIQUE				Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
						Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP				2019-10-31

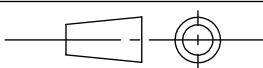


COUPE A-A
ECHELLE 1 : 1

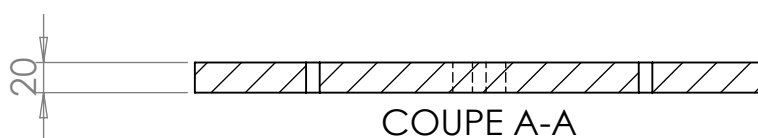
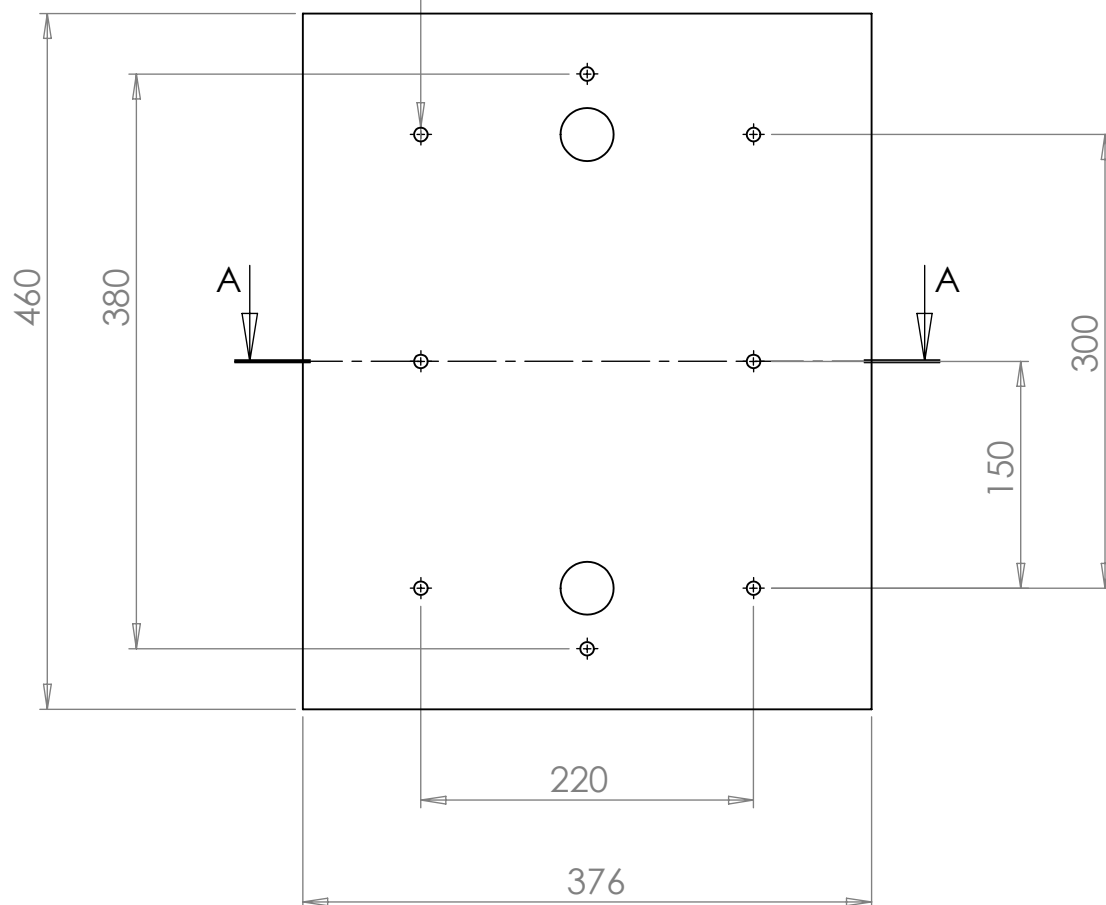
01	08	douille du guidage		Z200C12	
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echelle:1:1		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP			2019-10-31

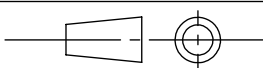


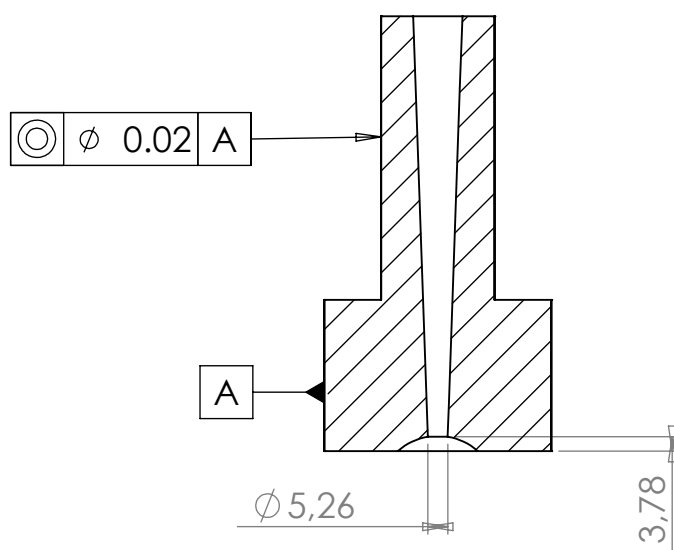
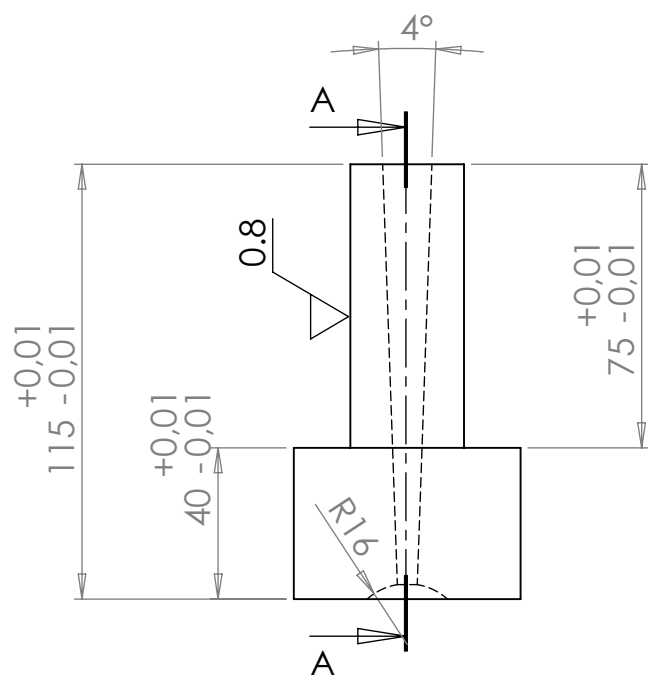
COUPE A-A
ECHELLE 1 : 1

01	08	douille du guidage		Z200C12	
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echelle:1:1		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP			2019-10-31

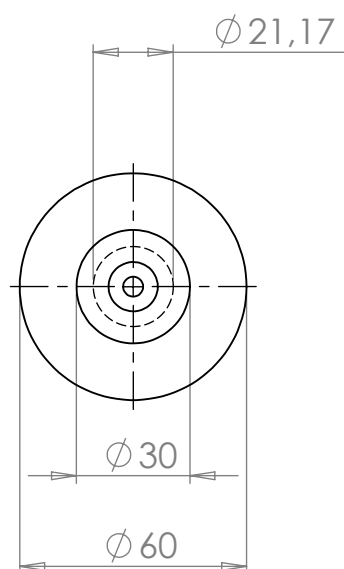
8 x Ø 9 A TRAVERS TOUT

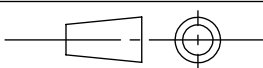


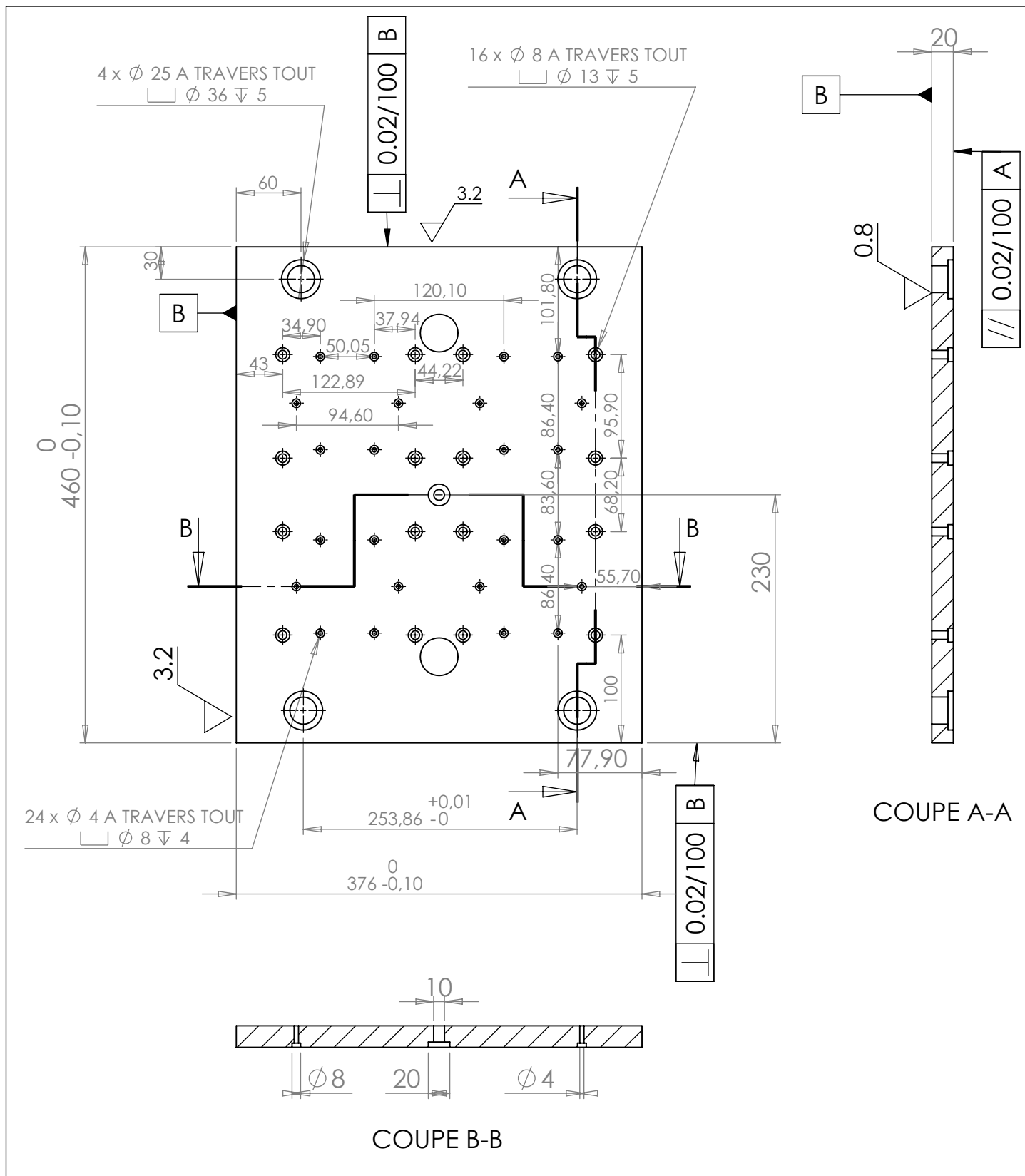
01	16	contre plaque éjectrice		XC48	
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echèlle:1:5		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP			2019-10-31

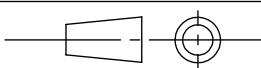


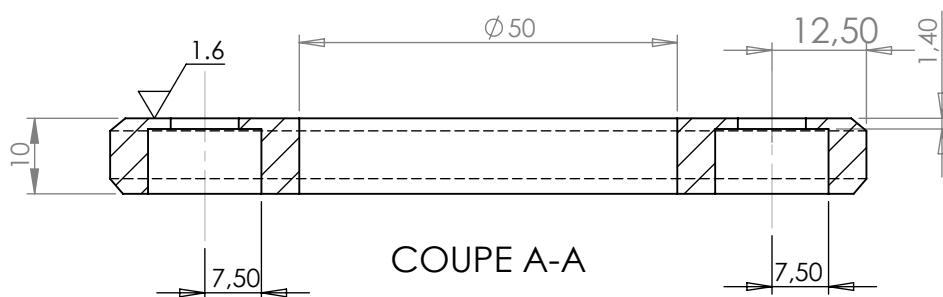
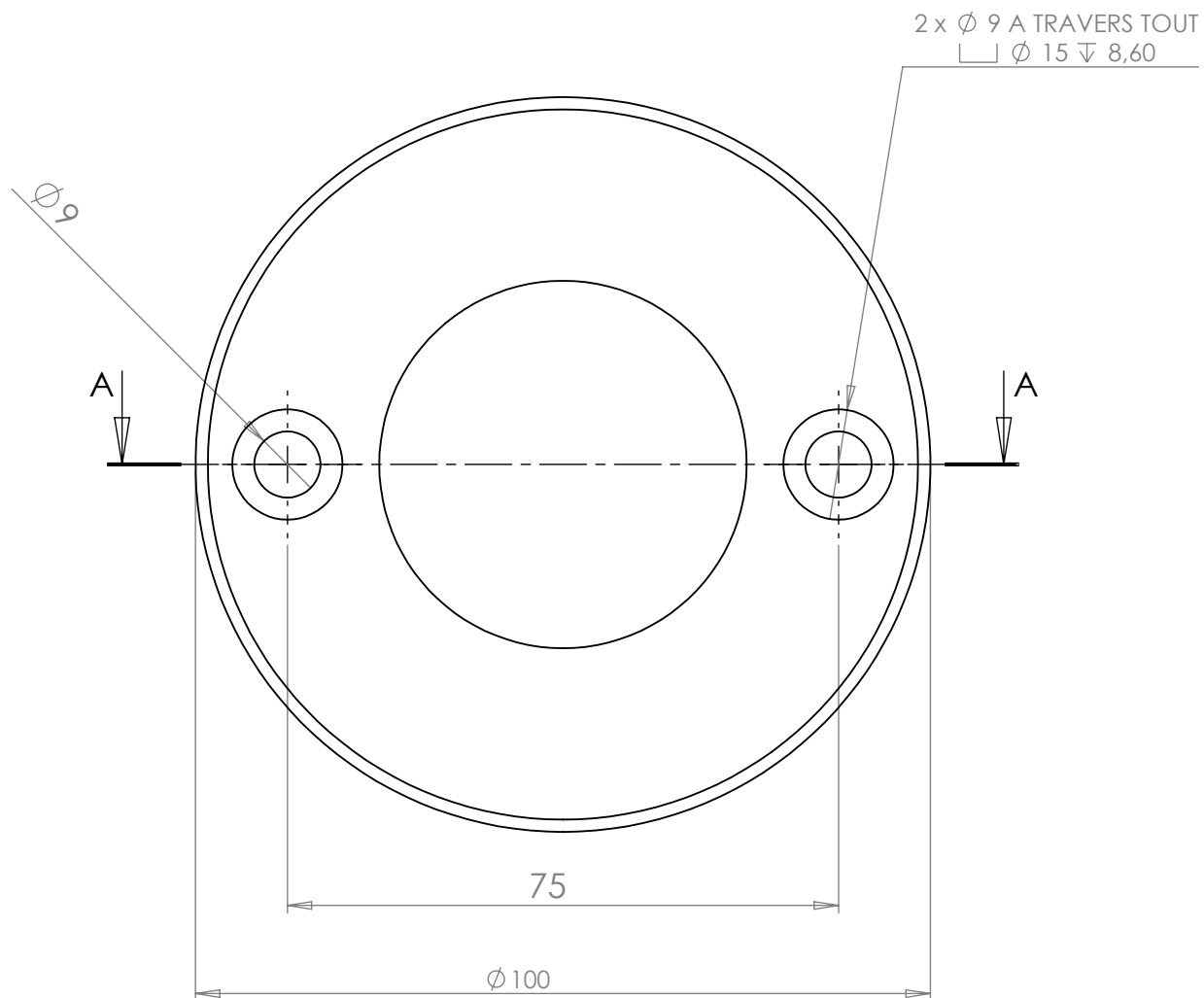
COUPE A-A

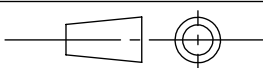


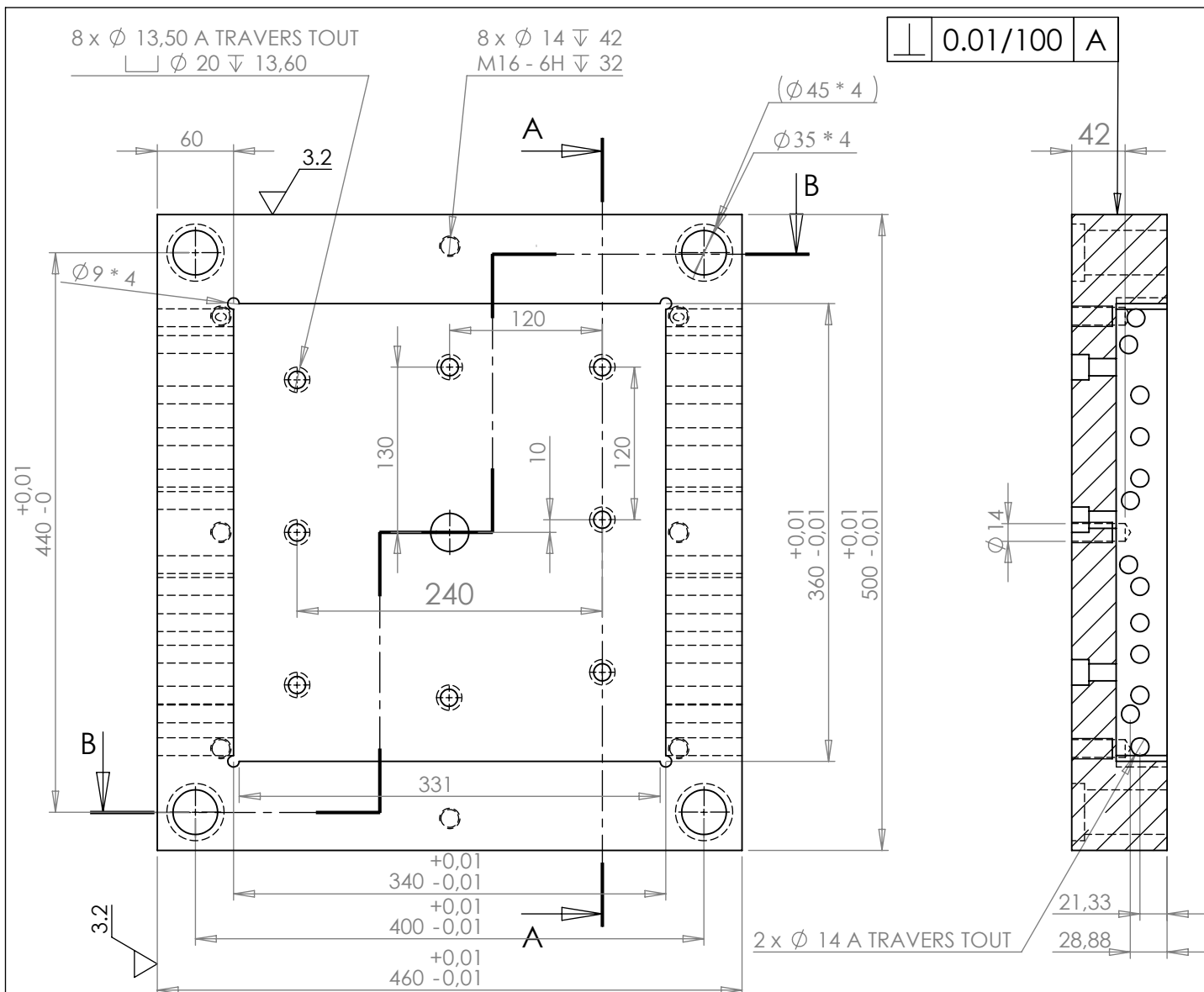
01	16	buse d'injection		Z200C12	
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echelle:1:1		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP			2019-10-31



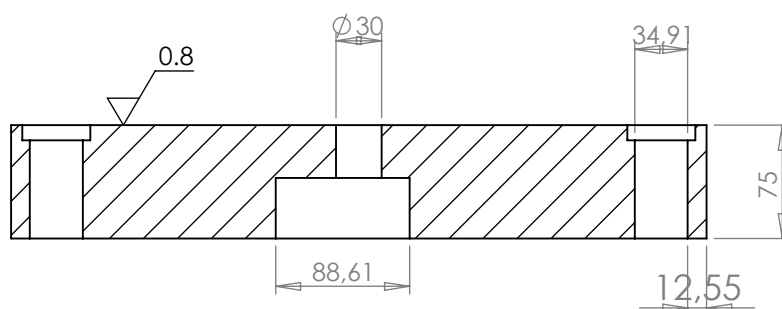
01	01	plaque ejectrice		XC38	
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echelle:1:5		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP			2019-10-31



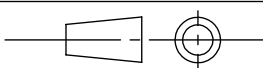
01	16	Bague de centrage		Z200C12	
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echelle:1:1		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud ILLALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP			2019-10-31

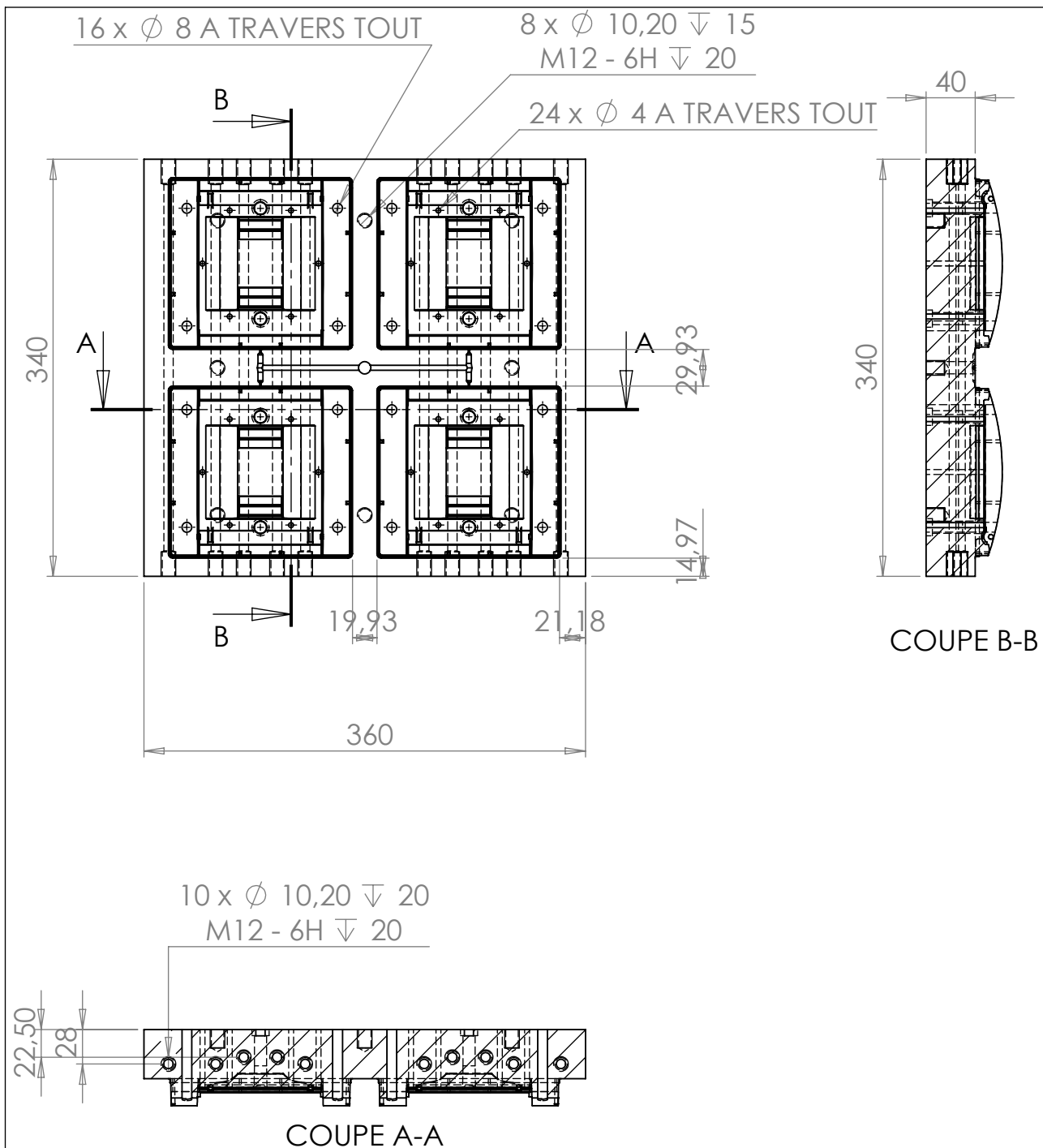


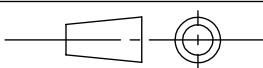
COUPE A-A

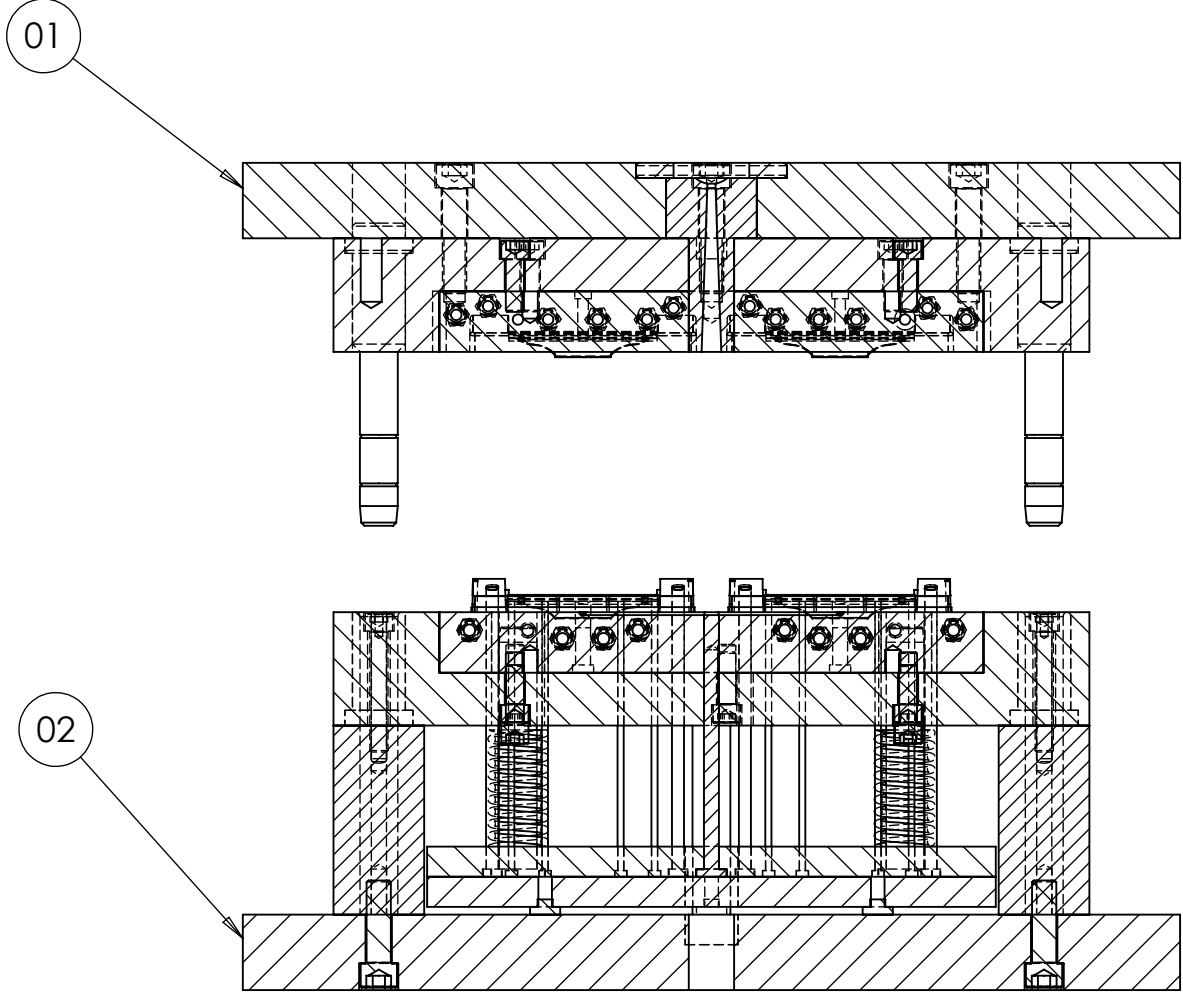


COUPE B-B

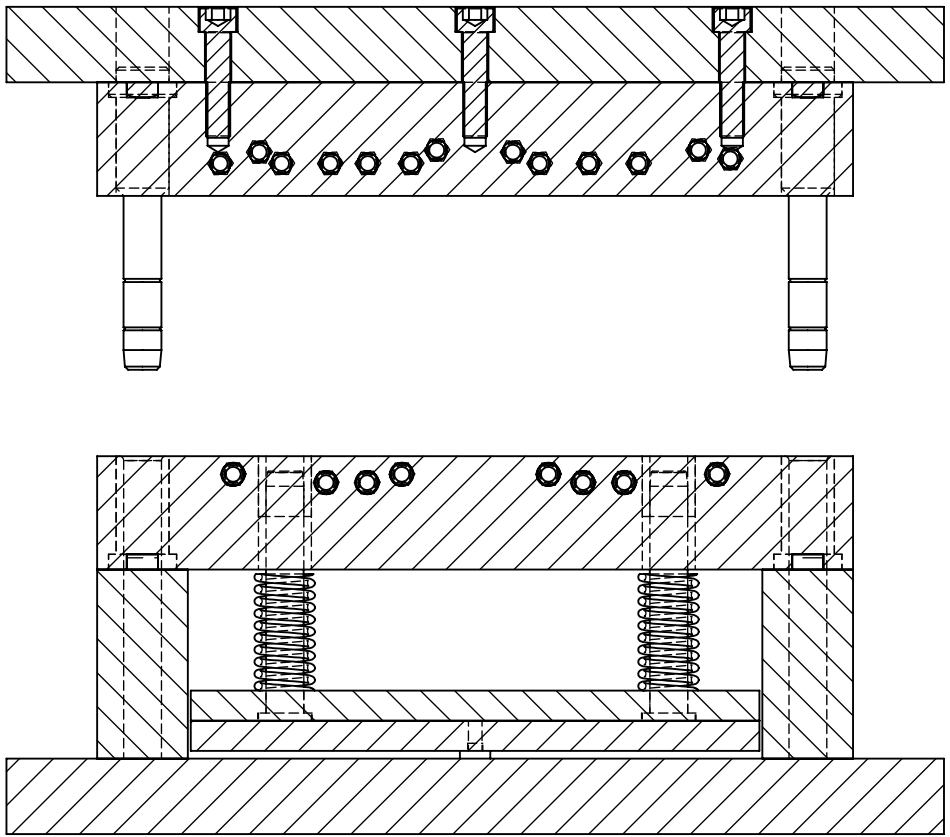
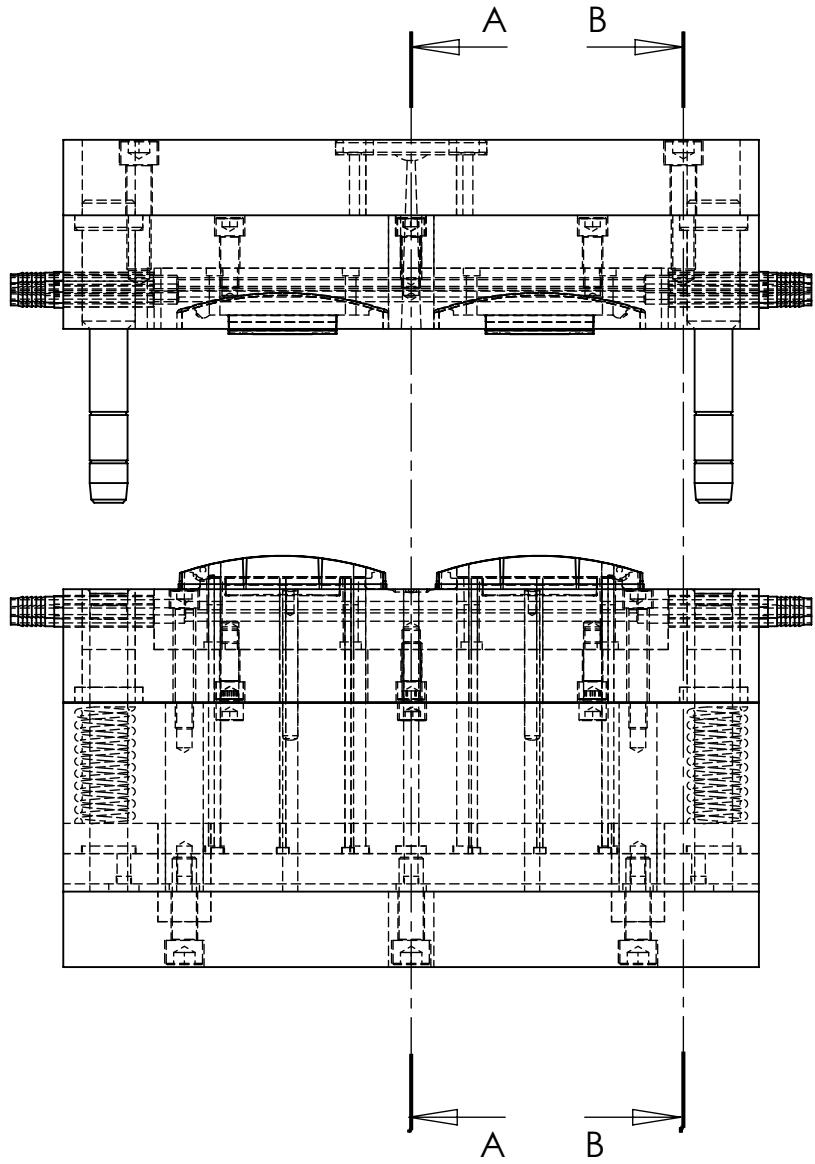
01	16	porte empreinte fixe		xc38		
Nbr	Rep	Désignation			Matière	Observation
Echelle:1:5		MOULE INJECTION PLASTIQUE				Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
						Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP				2019-10-31



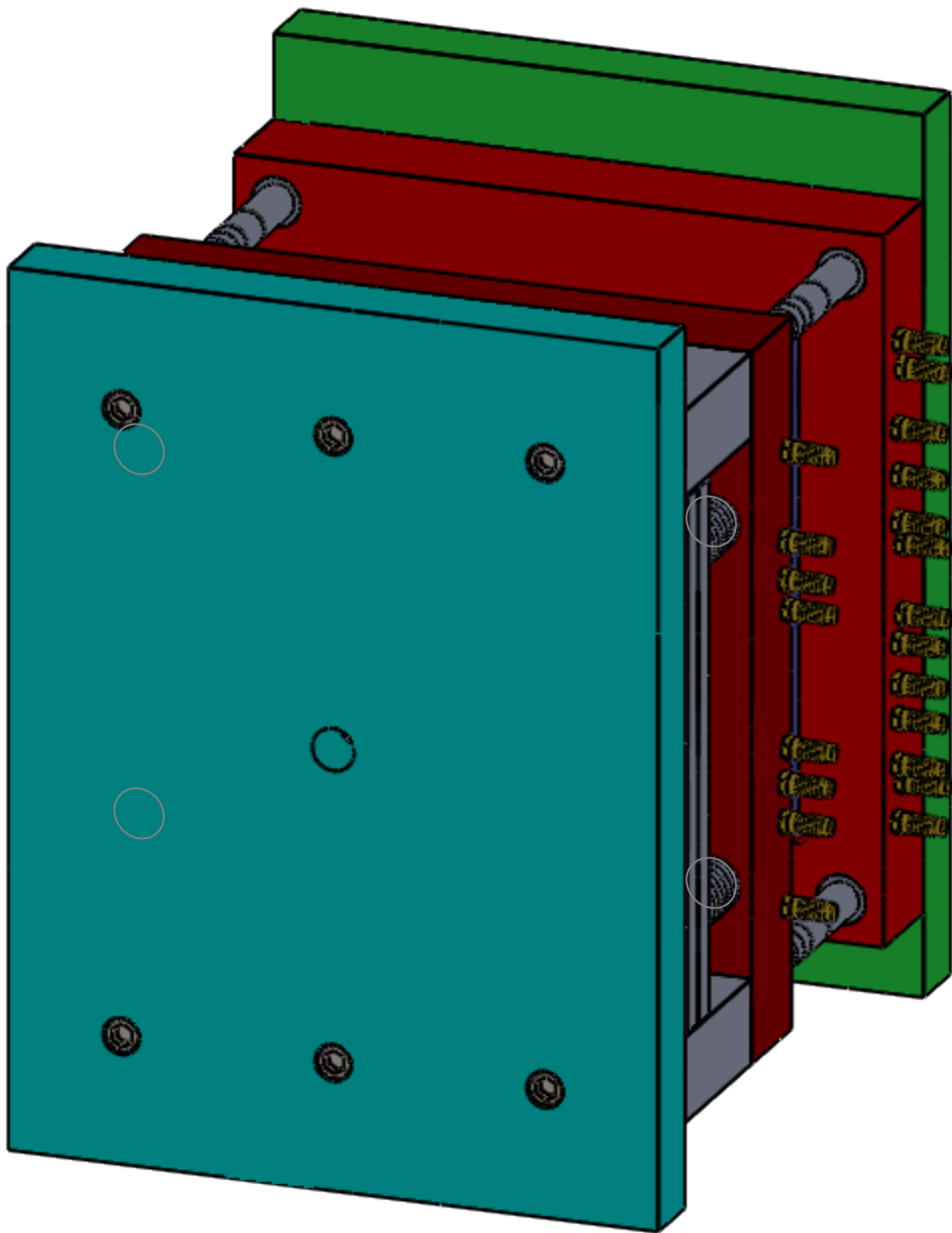
01	01	empreinte		Z200 C12	
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echelle:1:5		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP			2019-10-31



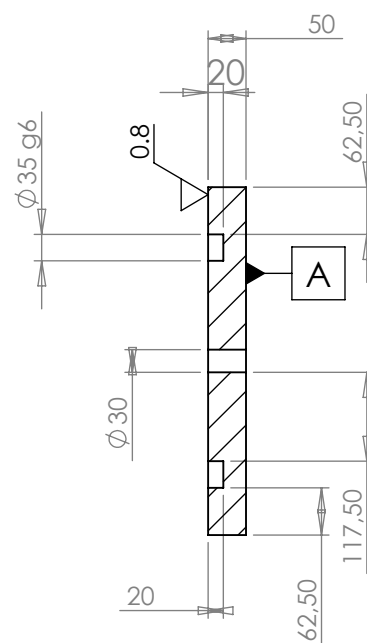
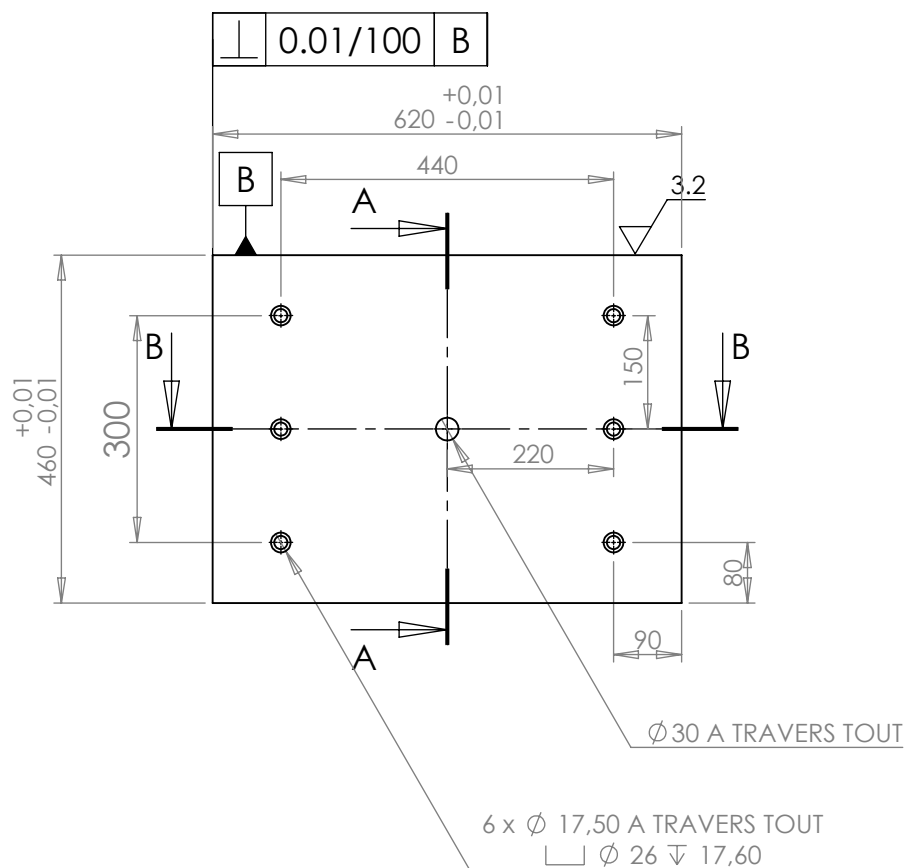
COUPE A-A
ECHELLE 1 : 5



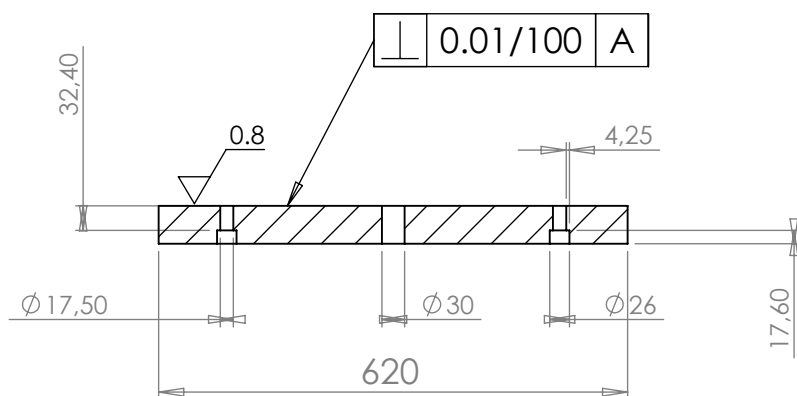
COUPE B-B
ECHELLE 1 : 5



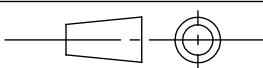
02	01	partie mobile		
01	01	Partie fixe		
Rep	Nbr	Désignation	Matier	Observation
MASSAID MOULOU YALALI MOHEND OU IDIR		MOULE INJECTION PLASTIQUE		
		universite mouloud mammri tizi ouzou		1:5

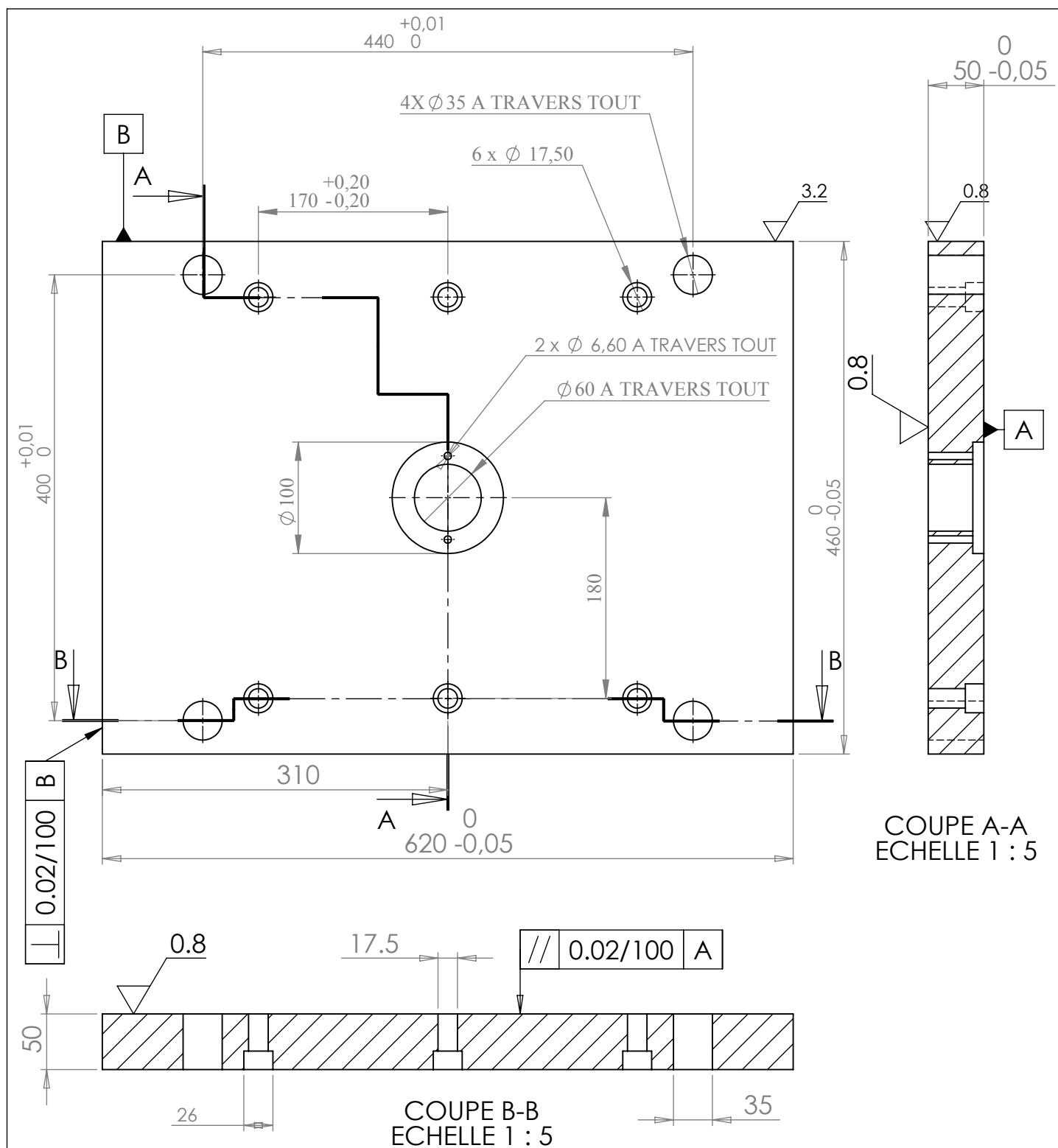


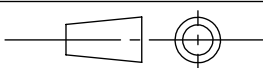
COUPE A-A
ECHELLE 1 : 10

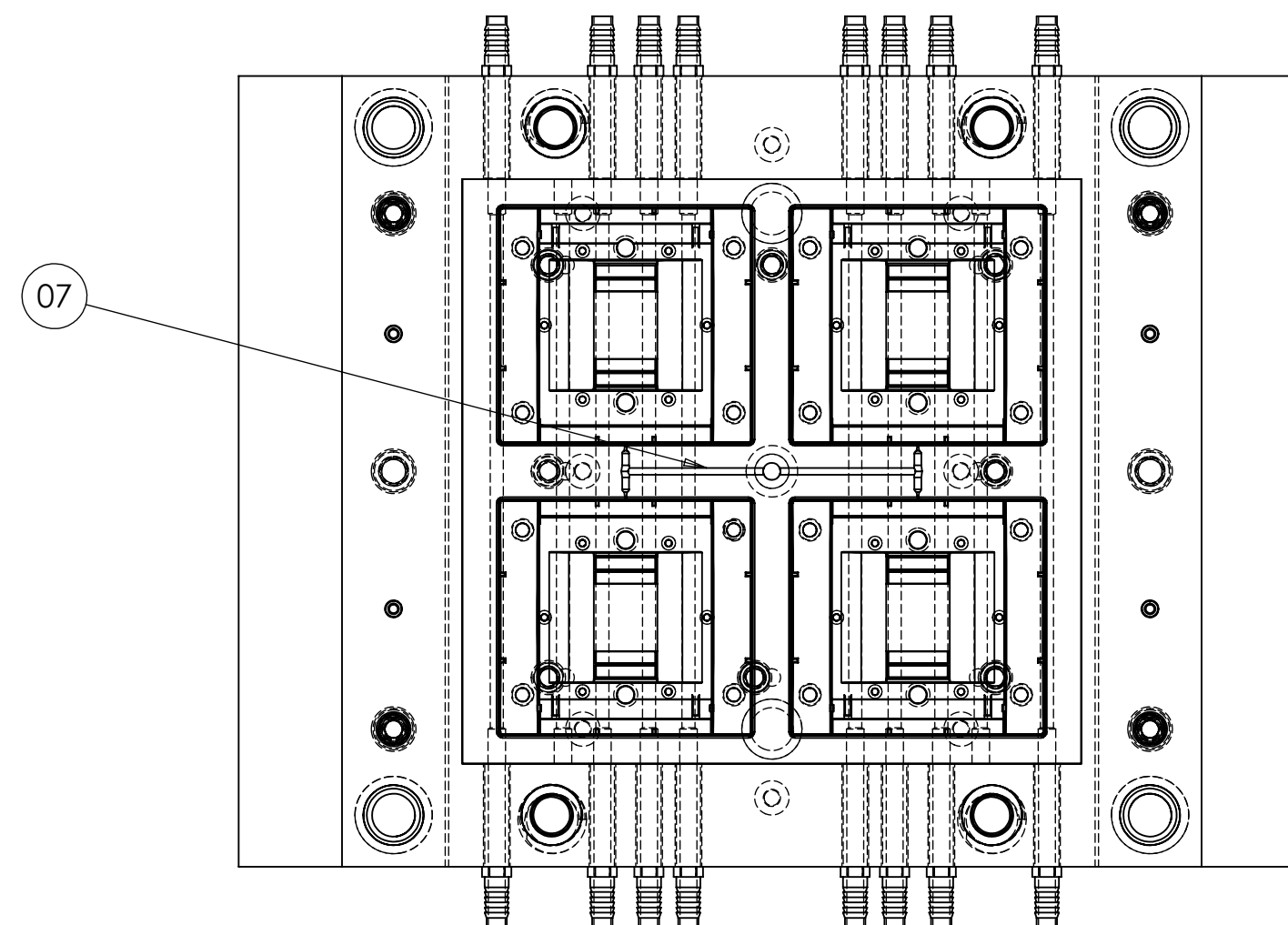
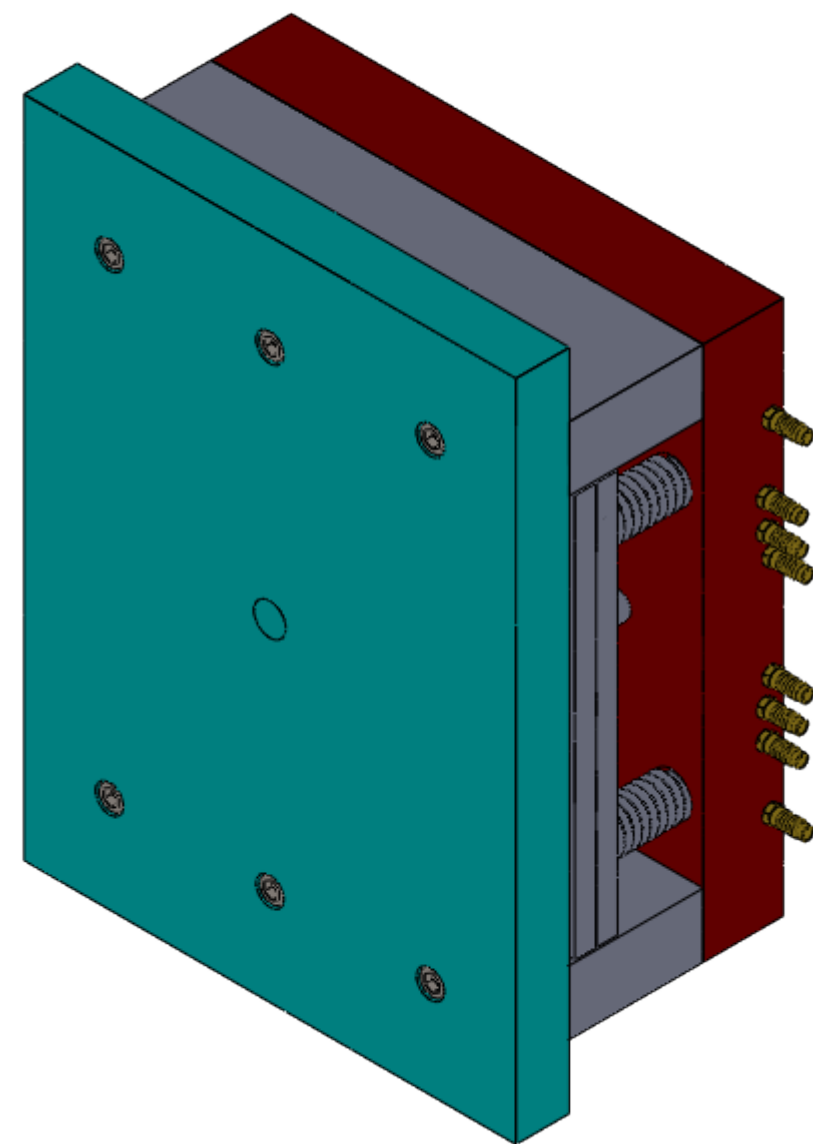
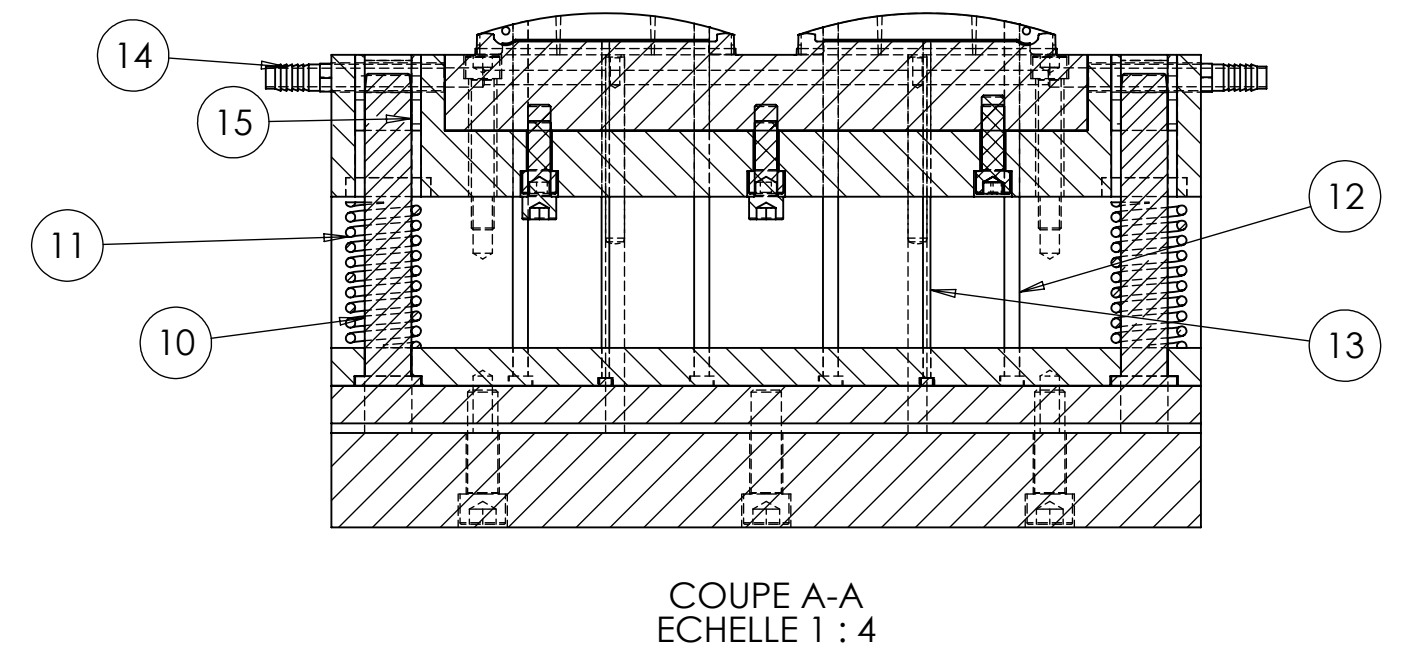
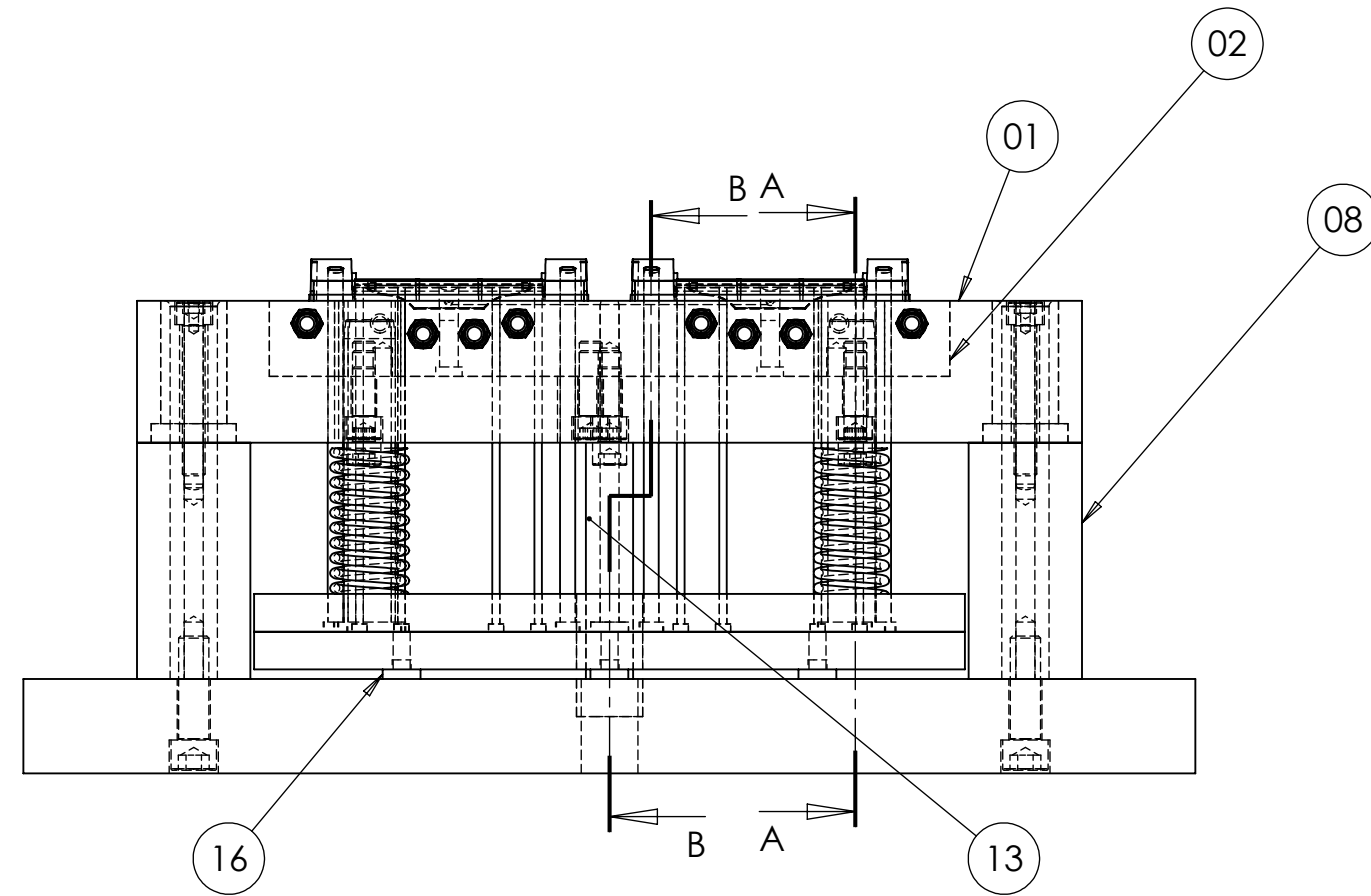
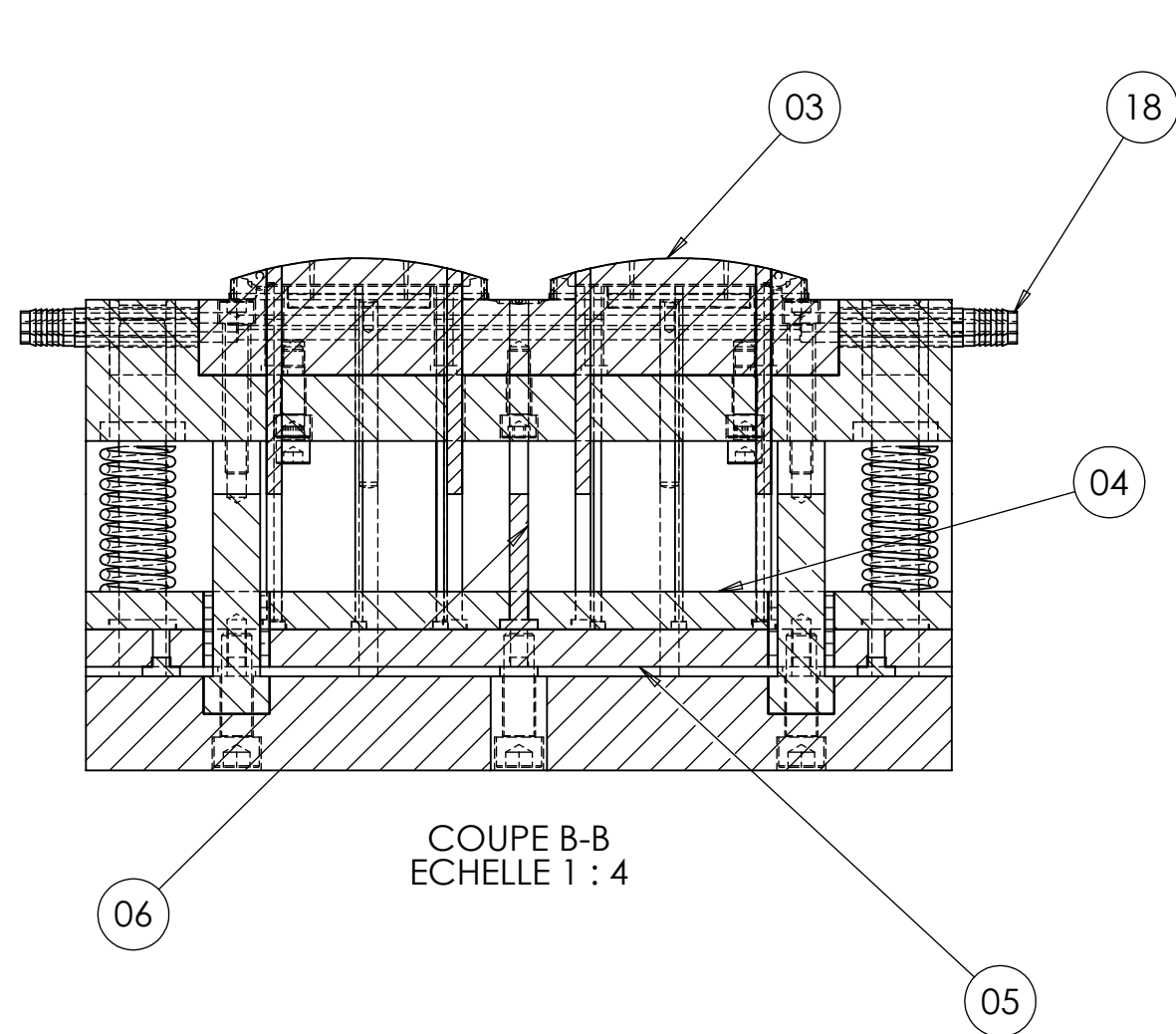


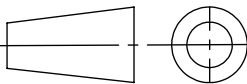
COUPE B-B
ECHELLE 1 : 10

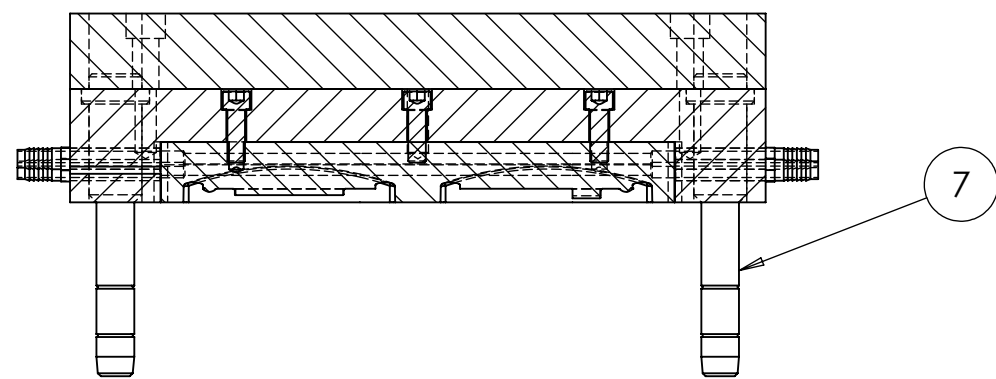
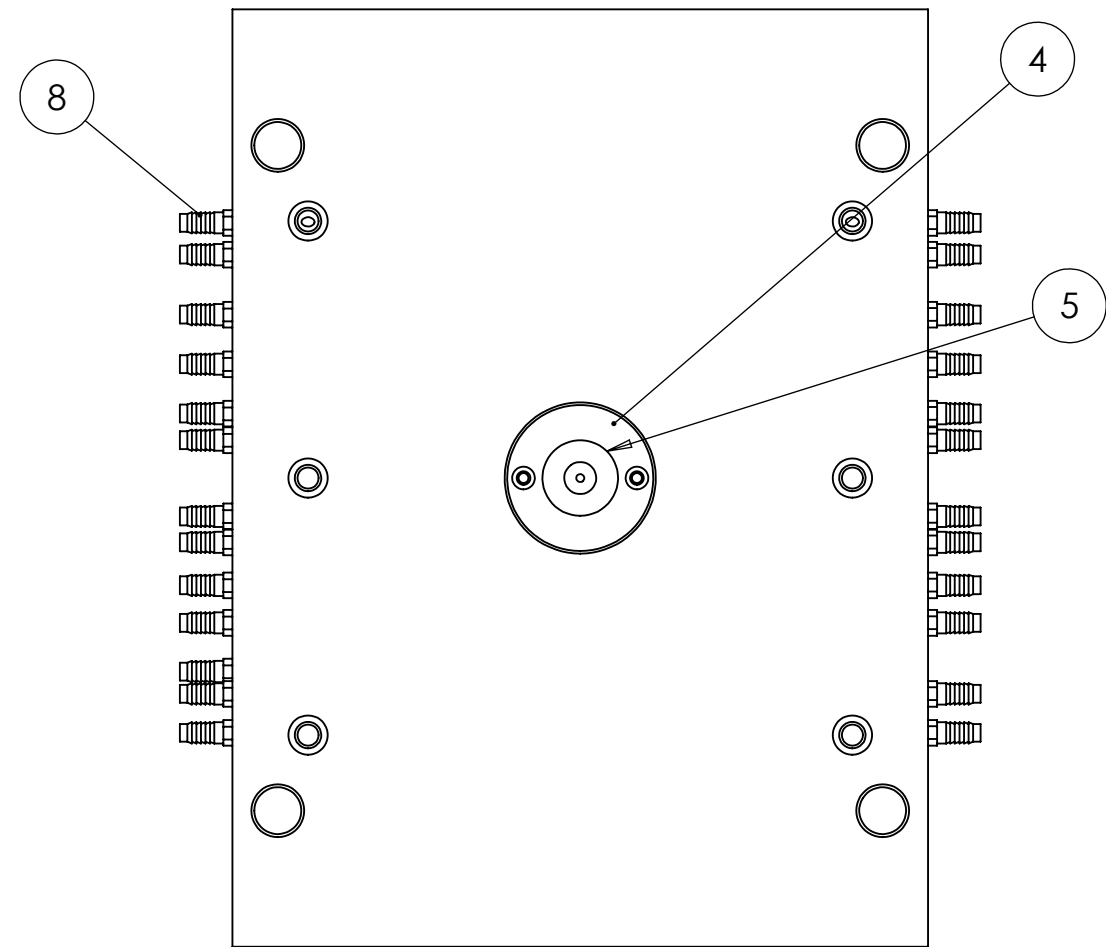
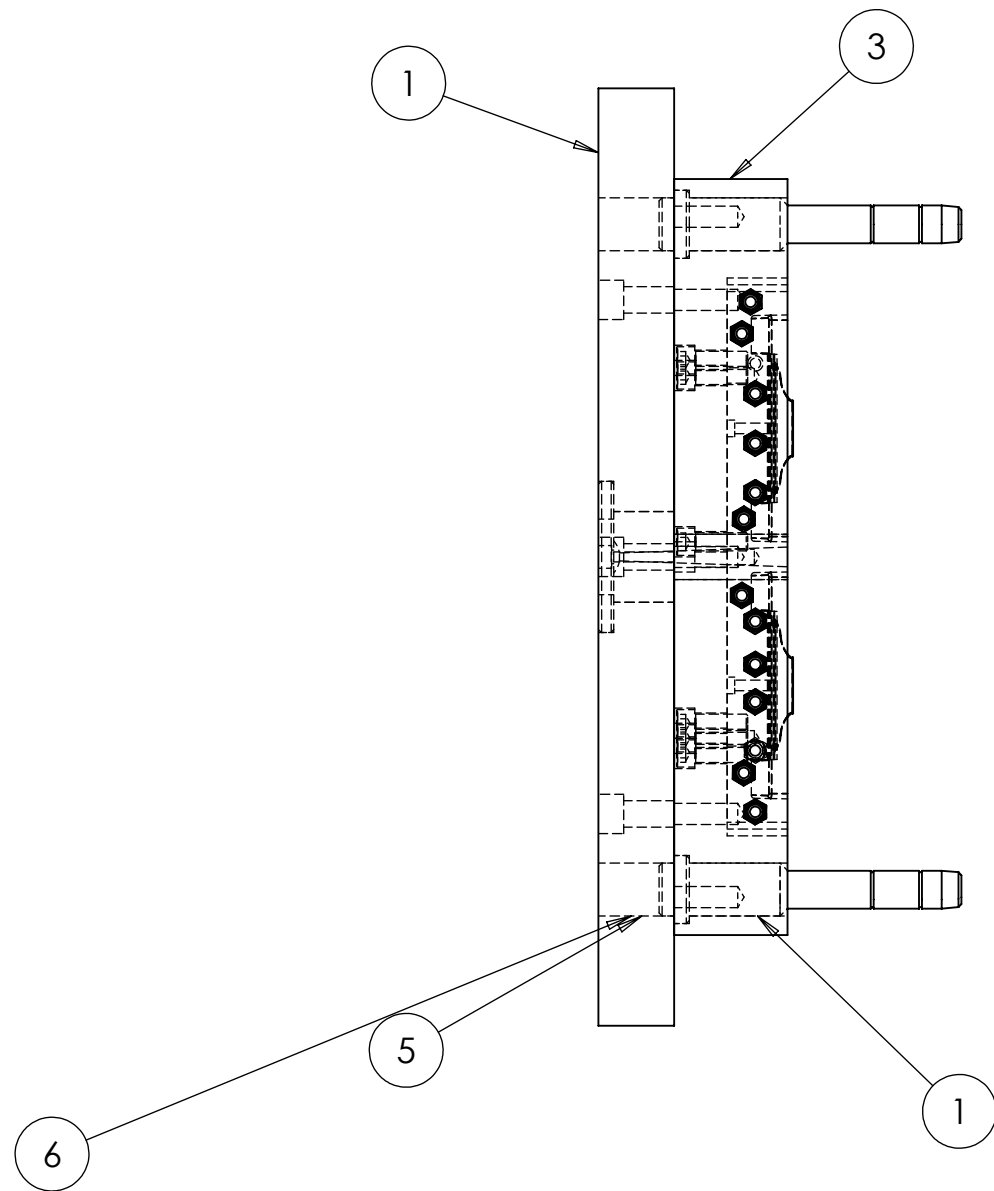
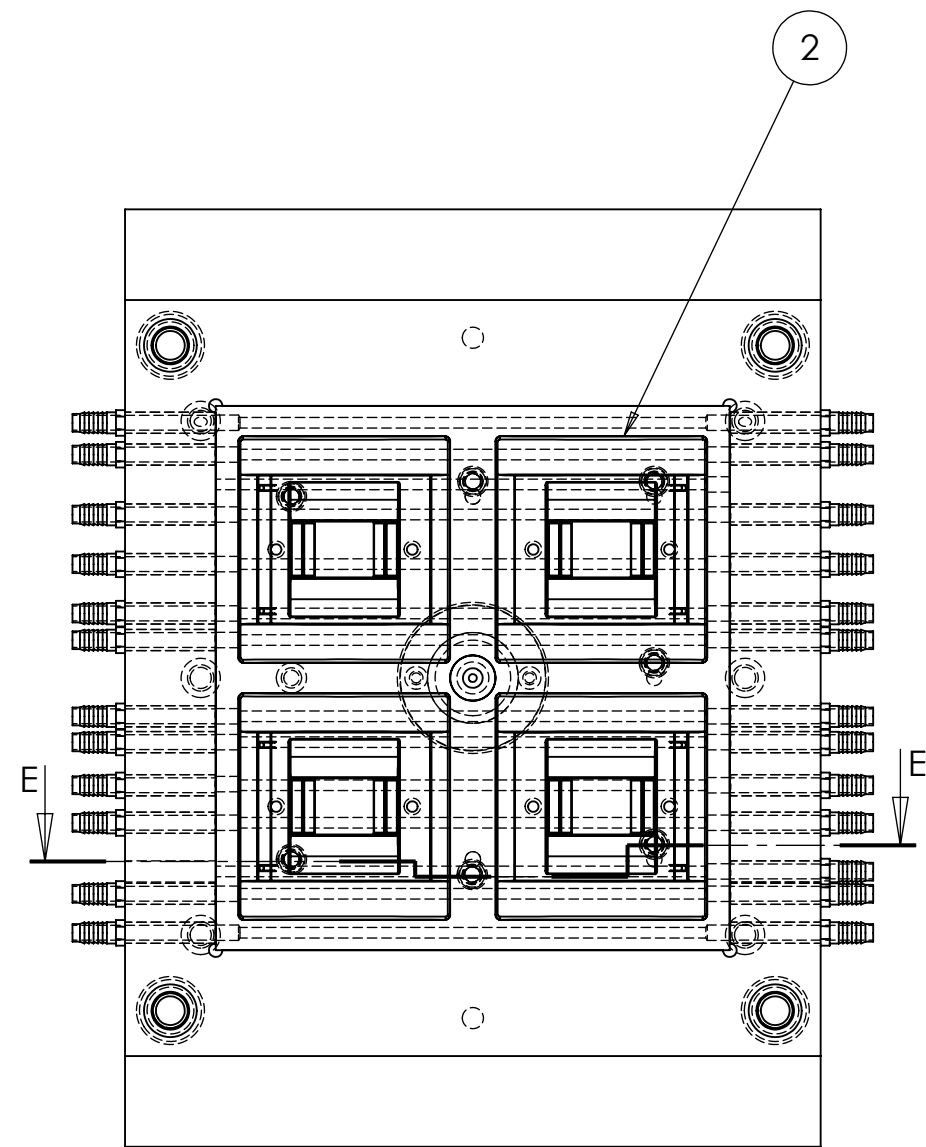
01	16	Semelle mobile		Z200X38	
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echèlle:1:10		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -GM-FMP			2019-10-31



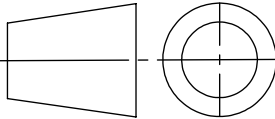
01	16	semelle fixe		XC38	
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echelle:1:5		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP			2019-10-31

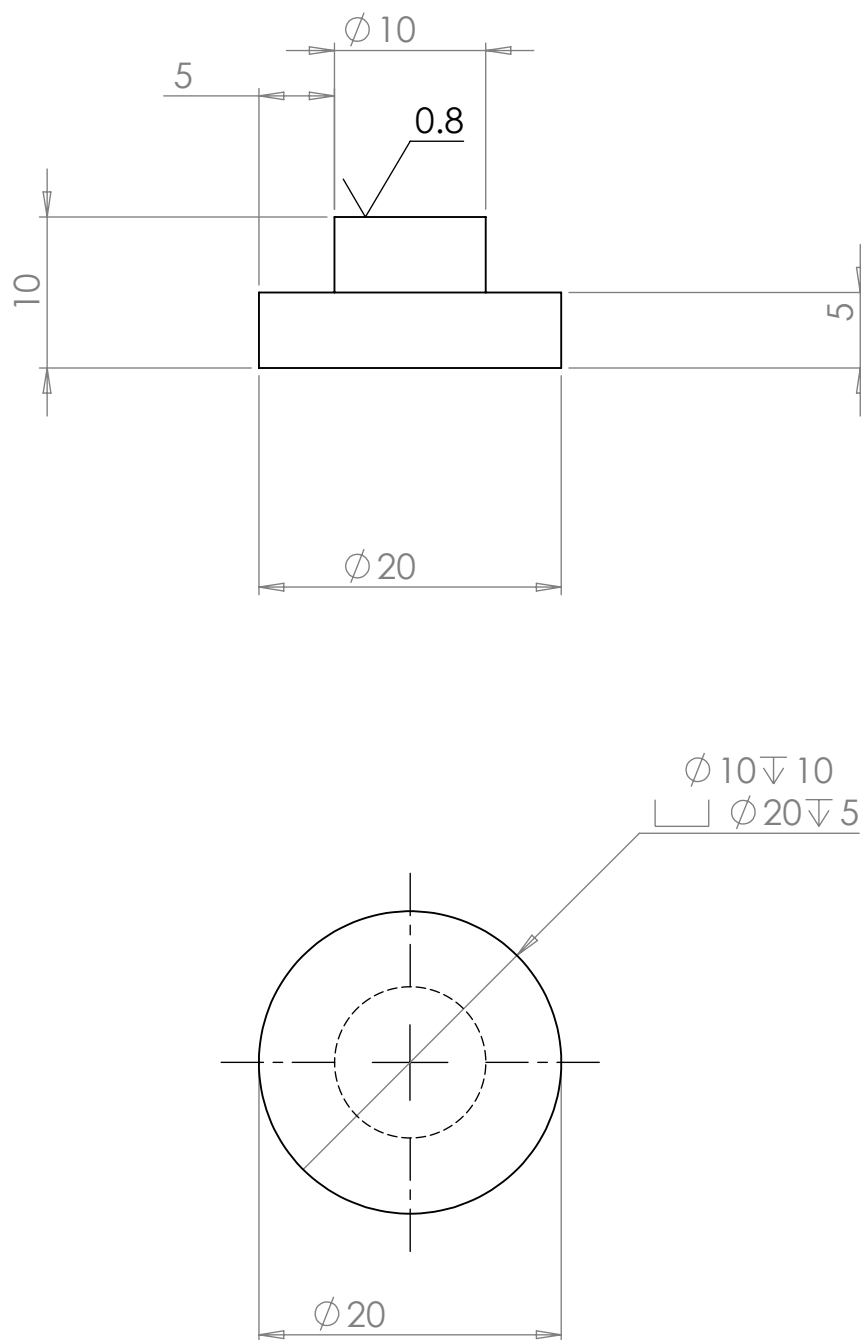


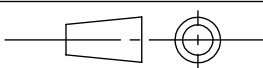
16	08	butés	ST37	
15	10	douilles de guidage	Z200C12	
14	16	tetines	BRONZE	
13	24	éjecteur D4	Z200C12	
12	16	éjecteur D8	Z200C12	
11	04	ressorts	51SI7	
10	04	colonne de gudage d'éjection	Z200C12	
09	02	tassaux de renforcement	ST37	
08	02	tassaux	ST37	
07	01	carotte	ABS	
06	01	éjecteure carotte	Z200C12	
05	01	contre plaque éjectrice	XC48	
04	01	plaque éjectrice	XC38	
03	01	empreinte mobile	Z200C12	
02	01	porte empreinte mobile	XC38	
01	01	semelle mobile	XC48	
Rep	Nbr	Désigniation	matier	Observation
Massaid mouloud yalali mouhend ou idir		partie mobile		
		universite mouloud mammeri tizi ouzou		
				1:4

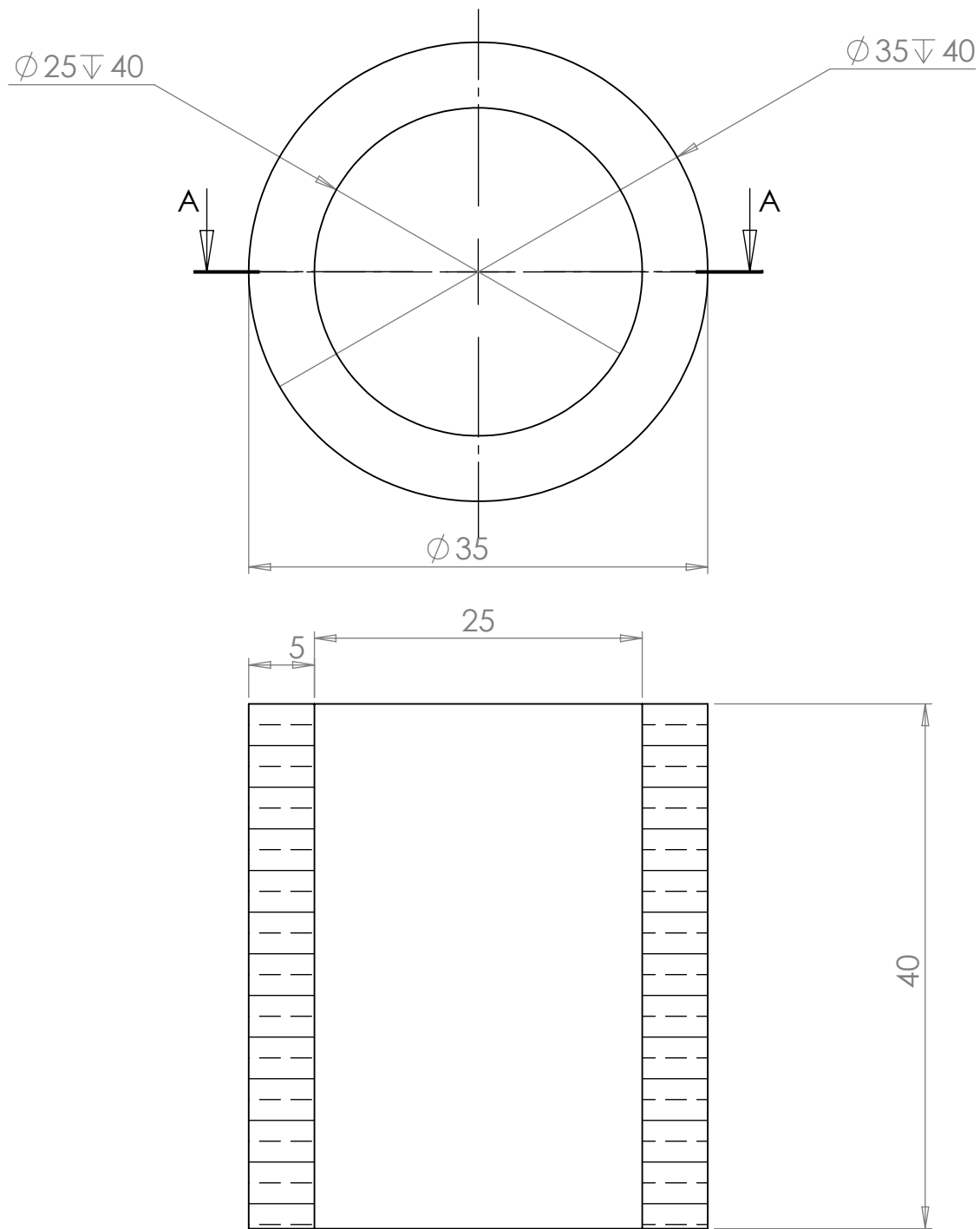


COUPE E-E

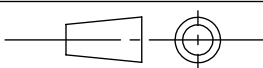
8	25	tetine	bronze	
7	4	colonne de guidage	Z200C12	
6	4	douille pour porte empreinte	Z200C12	
5	1	buse d'injection	Z200C12	
4	1	bague de centrage	Z200C12	
3	1	porte empreinte fixe	Z200C12	
2	1	empreinte fixe	XC38	
1	1	semelle fixe	XC38	
Rep	Nbr	Désigniation	Matier	Observation
MASSAID MOULOUD YALALI MOHEND OU IDIR		PARTIE FIXE		
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU				

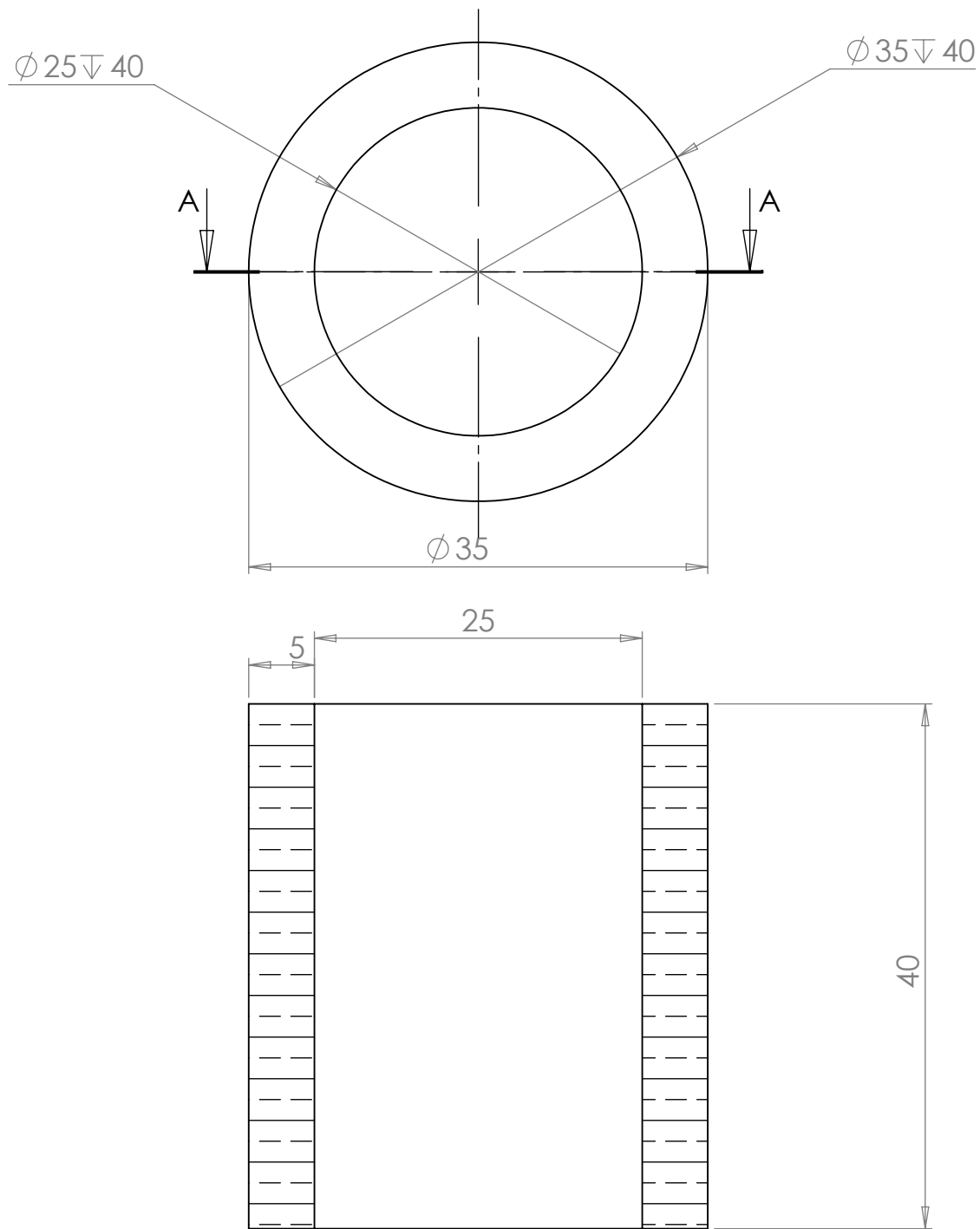


01	8	buté		ST37	
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echelle:2:1		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP			2019-10-31

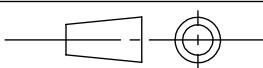


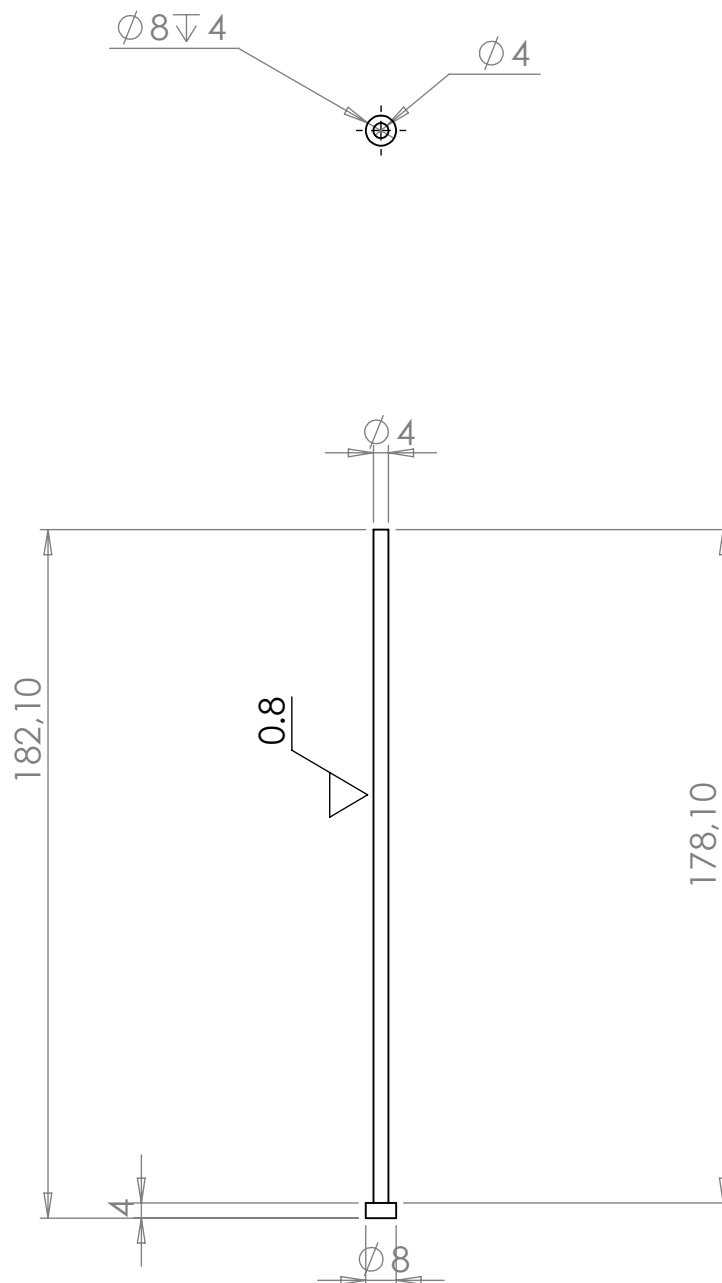
COUPE A-A
ECHELLE 2 : 1

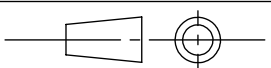
01	06	douille		Z200C12	
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echelle:2:1		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP			2019-10-31

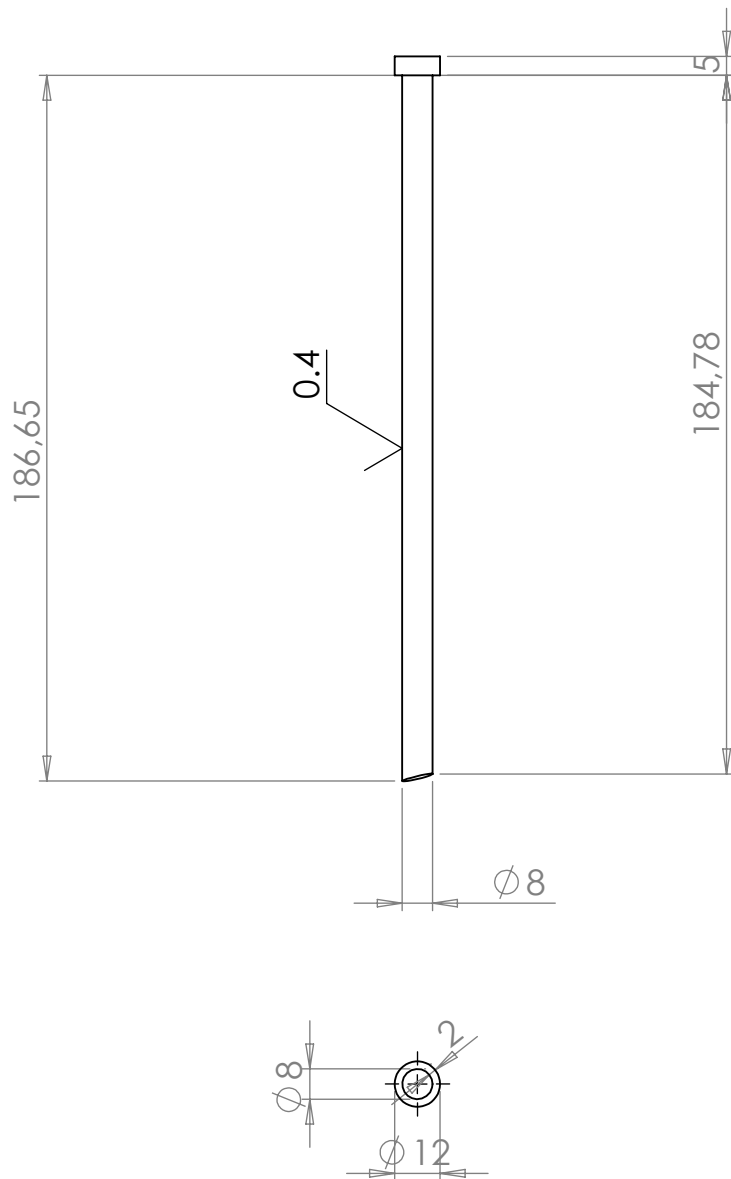


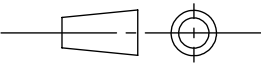
COUPE A-A
ECHELLE 2 : 1

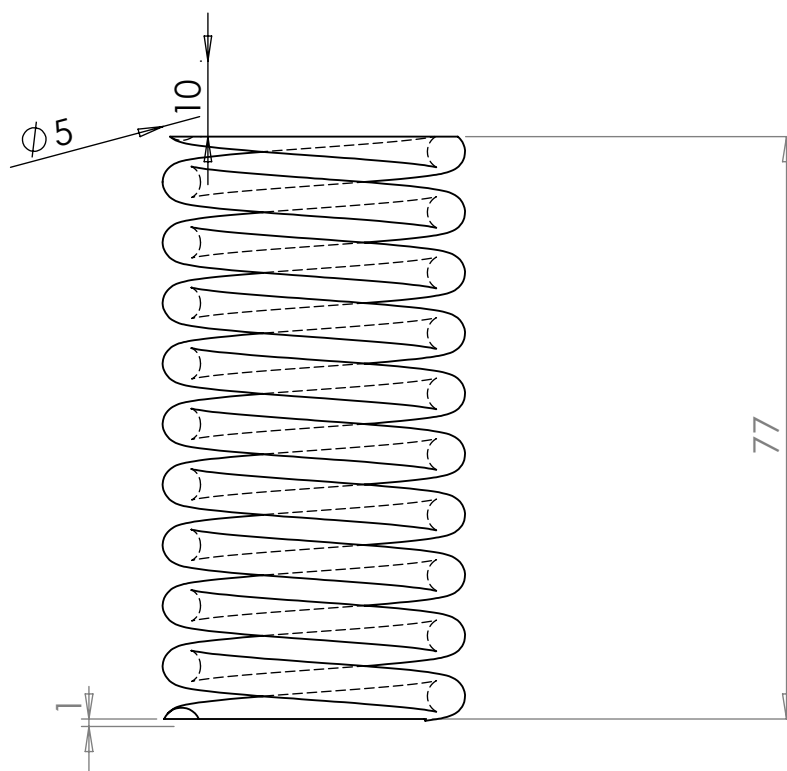
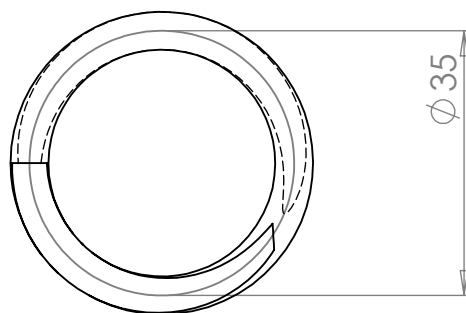
01	06	douille		Z200C12	
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echelle:2:1		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP			2019-10-31

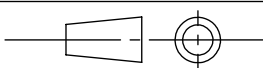


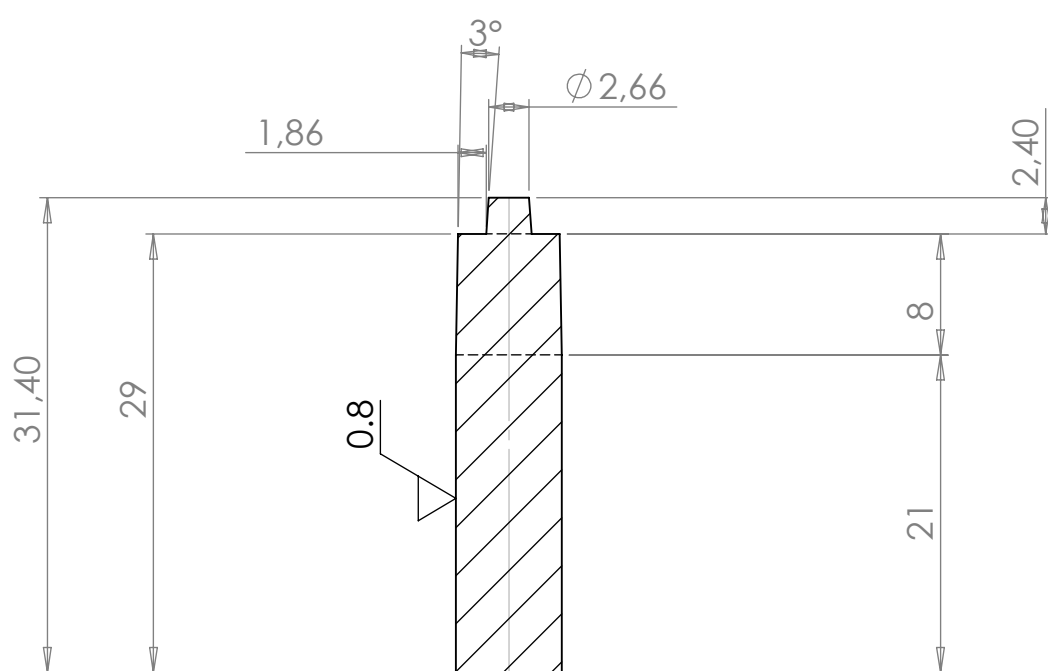
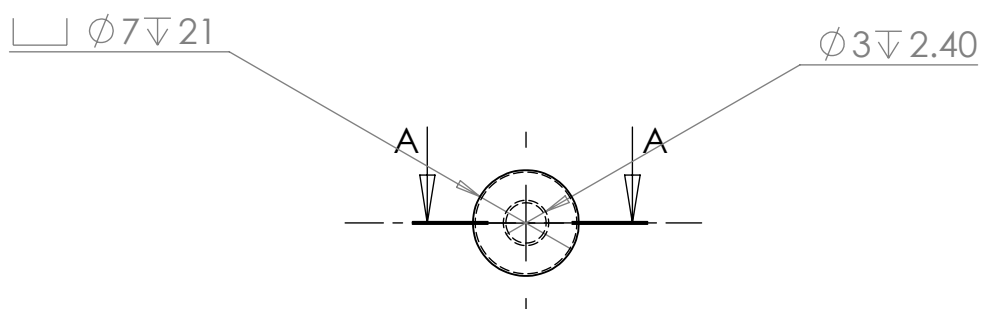
01	24	éjecteur D4		Z200C12	
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echelle:1:2		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP			2019-10-31



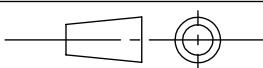
01	16	éjecteur D8		Z200C12	
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echelle:1:2		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP			2019-10-31



01	04	ressort		51SI7	
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echelle:1:1		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP			2019-10-31



COUPE A-A

01	01	insert partie fixe		Z200C12	
Nbr	Rep	Désignation		Matière	Observation
Echelle:1:1		MOULE INJECTION PLASTIQUE			Réalise par: MASSAID Mouloud YALALI Mohand ouidir
					Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP			2019-10-31