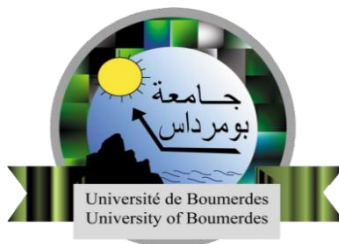


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté de Technologie
Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

Filière : Génie Mécanique
Spécialité : Fabrication mécanique et productique

THEME

Étude et conception d'un moule d'injection pour bouchon fileté
6 pans creux

Présenté par :

MOUHAMOU Chames Eddine

BOUYAHIAOUI Abdellah

Promoteur :

MANSER Belkacem

Promotion 2019 - 2020

Résumé

L'objectif principal de ce travail consiste à la conception d'un moule d'injection à huit empreintes pour élaborer des bouchons filetés 6 pans creux, en matière plastique.

Dans cette étude, la conception de moule a été réalisée à l'aide du logiciel de conception SolidWorks® et la simulation du comportement de la matière plastique lors du remplissage a été estimé par le logiciel de simulation SolidWorks Plastics. Les principaux éléments, paramètres, fonctions, types et caractéristiques des moules d'injection et des matières plastiques intervenants dans la modélisation ont définis et introduits. Les résultats obtenus ont été présentés, discutés et vérifiés.

Mots-clés : Injection plastique ; moule ; empreinte ; bouchon fileté 6 pans creux ; SolidWorks Plastics.

Abstract

The main objective of this work is the design of an eight-cavity injection mold to produce hexagonal threaded plastic plugs.

In this study, the mold was designed using SolidWorks® software and the simulation of the plastic's behavior during the filling process was computed by SolidWorks Plastics simulation software. The main elements, parameters, functions, types and characteristics of the injection molds and plastics involved in the modeling were defined and introduced. The results obtained were presented, discussed and verified.

Keywords: Plastic injection; mold; cavity; Hexagon socket threaded plug; SolidWorks Plastics.

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تصميم قالب حقن ذي ثمانية تجاويف لإنتاج سدادات بلاستيكية سداسية الشكل.

في هذه الدراسة ، تم تصميم القالب باستخدام برنامج SolidWorks® وتم حساب محاكاة سلوك البلاستيك أثناء عملية التعبئة بواسطة برنامج محاكاة SolidWorks Plastics. تم تحديد وإدخال العناصر الرئيسية والمتغيرات والوظائف وأنواع وخصائص قوالب الحقن والبلاستيك المتضمن في النمذجة. تم عرض النتائج التي تم الحصول عليها ومناقشتها والتحقق منها.

الكلمات المفتاحية : حقن بلاستيك ؛ قالب ؛ تجويف؛ سدادات بلاستيكية سداسية الشكل SolidWorks Plastics.

Remerciements

Nous remercions en premier lieu « **ALLAH** » de tout puissant de m'avoir donné la santé et le pouvoir d'accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à remercier nos parents pour leur soutien moral et financier.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements et notre gratitude à notre promoteur M. MANSER Belkacem pour ses conseils, ses orientations ainsi que sa disponibilité tout au long de notre travail.

Nous adressons mes sincères remerciements à tous les enseignants, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de nous rencontrer et de répondre à nos questions durant nos recherches.

Nous remercions également toute l'équipe de l'entreprise SARL FMPI pour nous avoir dirigé et orienté pendant toute la durée de notre stage.

En fin, aux honorables membres du Jury qui nous font l'honneur d'examiner notre modeste travail.

Table des matières

Table des matières	i
Table des figures	vii
Liste des tableaux	x
Nomenclature	xi
Introduction générale	1
Présentation de l'entreprise SARL FMPI	3
Chapitre I : Mise en œuvre des matières plastiques	
Introduction	4
1. Définition et origines des matières plastiques	4
1.1. Définition de la matière plastique	4
1.2. Obtention de la matière plastique	5
1.2.1 Origine de la matière plastique	5
1.2.2 Composants de la matière plastique	5
a) Les polymères	6
b) Les additifs	7
c) Les adjuvants	8
2. Familles des matières plastiques	8
2.1. Thermoplastiques	8
2.2. Thermodurcissables	9
2.3. Elastomères	10
3. Caractéristiques des matières plastiques	10
3.1. Propriétés mécaniques	10
3.1.1. Résistance à la traction	10
3.1.2. Résistance à la compression	10
3.1.3. Elasticité	10
3.1.4. Allongement	10

3.2.	Propriétés chimiques	11
3.2.1.	Sensibilité aux agents extérieurs	11
3.2.2.	Toxicité	11
3.2.3.	Humidité	11
3.3.	Propriétés thermique et physique	11
3.3.1.	Inflammabilité	11
3.3.2.	Résistance au feu	11
3.3.3.	Résistance thermique	11
4.	Guide de sélection des matières plastiques	11
4.1.	Critères de choix des matières plastiques	12
4.1.1.	Coût	12
4.1.2.	Propriétés D'usage	12
4.1.3.	Normes et Réglementations	12
4.2.	Démarche de choix	13
4.3.	Critères retenus pour les plastiques	13
5.	Formes commerciales des matières plastiques	14
6.	Procédés de mise en forme des matières plastiques	14
6.1.	Le calandrage	14
6.2.	Le thermoformage	14
6.3.	Le filage	15
6.4.	Le moulage	15
6.4.1.	Moulage par compression	15
6.4.2.	Moulage par transfert	16
6.4.3.	Moulage par injection	16
6.4.4.	L'injection soufflage	17
6.4.5.	Extrusion	17
6.4.6.	L'extrusion soufflage	17
6.4.7.	Le roto moulage	17
7.	Procédé de moulage par injection	17
7.2.	Phases d'un cycle d'injection	18
7.2.1.	Phase de plastification	18
7.2.2.	Phase de remplissage	19
7.2.3.	Phase de compactage (commutation) et maintien	19

7.2.4.	Phase d'éjection	20
7.3.	Presses à injection plastique	20
7.3.1.	Définition de la presse d'injection	21
7.3.2.	Structure de la presse d'injection	21
7.3.3.	Fonctionnement de la presse d'injection	23
7.3.4.	Différentes unités d'une presse d'injection	23
	a) Unité d'injection	24
	b) Unité de fermeture et verrouillage	24
	c) Moule ou outillage	25
7.3.5.	Désignation EUROMAP d'une presse d'injection	26
7.3.6.	Principales caractéristiques techniques des presses	27
Conclusion		27

Chapitre II : Éléments et caractéristiques d'un moule d'injection

Introduction :		28
1.	Éléments constitutifs d'un moule	28
2.	Fonctions d'un moule d'injection	30
2.1.	Fonction d'alimentation	30
2.1.1.	Nombre et disposition des empreintes dans un moule	30
2.1.2.	Canaux d'alimentation	31
2.1.3.	Le point d'injection	32
2.1.4.	Buse d'injection	33
2.1.5.	Forme de la section des plans des canaux	34
2.2.	Fonction refroidissement	35
2.2.1.	Circuit de refroidissement	35
2.2.2.	Refroidissement du moule	35
2.2.3.	Le temps de cycle	36
2.2.4.	Temps de refroidissement	36
2.3.	Fonction mise en forme	36
2.3.1.	Forme de la pièce injectée	36
2.4.	Fonction éjection	37

2.4.1. Types d'éjecteur	37
a) Ejecteurs cylindriques	37
b) Ejecteurs tubulaires.....	37
c) Ejecteur plaque.....	38
d) Ejecteur latéral.....	38
e) Ejecteur à lame	39
3. Types des moules	39
3.1. Moule à deux plaques (moule classique)	39
3.2. Moule à trois plaques	40
3.3. Moules à Tiroirs	40
3.4. Moule à coquille	41
3.5. Moules à canaux chauds	41
4. Caractéristiques d'un moule	42
4.1. Ligne de joint	42
4.1.1. Ligne de joint extérieure ou externe	42
4.1.2. Ligne de joint intérieure ou interne	42
4.1.3. Ligne de joint auxiliaire	42
4.2. Plan de joint	42
4.3. Dépouilles et contre dépouilles	43
4.4. Les événements	44
4.5. Retrait de la matière injectée	44
5. Fixation d'un moule	45
5.1. Fixation par vis	45
5.2. Bridage	45
6. Lignes de soudure	46
Conclusion.....	46

Chapitre III : Étude et conception du moule

Introduction	47
1. Modèle de la pièce à réaliser	47
1.1. Fonctions et emplacement	48

1.2.	Caractéristiques et dimensions	48
1.2.1	Type de filetage	48
1.2.2	Dimensions	49
1.2.3	Matériau et caractéristiques mécanique	49
2.	Présentation du logiciel SolidWorks ®	50
2.1.	SolidWorks Plastics :.....	50
2.2.	Fonctionnalités de SolidWorks Plastics	51
2.3.	Pourquoi choisir SolidWorks Plastics ?.....	51
3.	Modèle de la pièce moulée	52
3.1.	Exigences de la pièce moulée	52
3.2	Matière plastique utilisée pour l'injection	52
3.2.1.	Analyser de besoin	53
3.2.2.	Choisir la matière à injecter	53
3.2.3.	PA 6 – Polyamide 6	55
4.	Conception du moule d'injection	57
4.1.	Systèmes de commande des tiroirs	57
4.1.1.	Première système	57
4.1.2.	Deuxième système	58
4.1.3.	Troisième système	59
4.2.	Présentation du moule	59
4.3.	Nomenclature de moule	60
5.	Simulation de l'injection plastique	62
5.1.	Caractéristiques techniques de la presse à injecter	63
5.2.	Modèle 3D maillage	63
5.3.	Résultats de simulation	64
5.3.1.	Qualité de remplissage	66
5.3.2.	Temps de remplissage	66
5.3.3.	Pression d'injection en fin de remplissage	67
5.3.4.	Retrait volumique en fin de remplissage	68
5.3.5.	Contraintes de cisaillements en fin de remplissage :.....	68
5.3.6.	Concentration de retassures :.....	69
5.3.7.	Température pondérée en fin de remplissage :.....	70
5.3.8.	Bulles d'air :.....	70

5.3.9. Lignes de soudure :	71
6. Calcul et vérification :	72
6.1. Calcul du temps de cycle :	72
6.2. Vérification du temps de refroidissement :	72
Conclusion :	73
Conclusion générale	74
Références Bibliographie	75
Annexe	77

Table des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Composants des matières plastiques	5
Figure I.2 : Moulage par compression	15
Figure I.3 : Moulage par transfert	16
Figure I.4 : Moulage par injection	16
Figure I.5 : Phase de plastification.....	18
Figure I.6 : Phase de remplissage	19
Figure I.7 : Phase de compactage	20
Figure I.8 : Phase d'éjection	20
Figure I.9 : Presse à injection plastique	21
Figure I.10 : Structure d'une presse d'injection horizontale	22
Figure I.11 : Schématisation d'une presse d'injection.....	23
Figure I.12 : Différentes unités d'une presse d'injection.....	24
Figure I.13 : Structure d'un moule d'injection plastique	26

Chapitre II

Figure II.1 : Moule d'injection plastique	29
Figure II.2 : Systèmes des canaux équilibrés	31
Figure II.3 : Systèmes des canaux non équilibrés	32
Figure II.4 : Différents modes d'alimentation	33
Figure II.5 : Contact courbé entre buse de la presse et buse d'injection	34
Figure II.6 : Contact courbé entre buse de presse et buse d'injection	34
Figure II.7 : Les différents types de canaux d'alimentation	35

Figure II.8 : L'emplacement des canaux de refroidissement	36
Figure II.9 : Ejecteurs cylindriques	37
Figure II.10 : Ejecteurs tubulaires	38
Figure II.11 : Ejecteur plaque	38
Figure II.12 : Ejecteur à lame	39
Figure II.13 : moule à deux plaques	39
Figure II.14 : Moule à trois plaques	40
Figure II.15 : Moules à Tiroirs	40
Figure II.16 : Moule à coquille.....	41
Figure II.17 : Moules à canaux chauds	41
Figure II.18 : Forme non dépouillée	43
Figure II.19 : Forme dépouillée	43
Figure II.20 : Formes-en contre dépouille.	43
Figure II.21 : un évent	44
Figure II.22 : Procédé de bridage	45
Figure II.23 : Lignes de soudure	46

Chapitre III

Figure III.1 : Bouchon fileté 6 pans creux utilisé par SARL FMPI	47
Figure III. 2: Utilisation du bouchon fileté 6 pans creux dans le circuit de refroidissement .	48
Figure III. 3 : Filetage de type profile à gaz	48
Figure III.4 : Dimensions du bouchon.....	49
Figure III.5 : Bouchon fileté 6 pans creux dessiné par SolidWorks®.....	52
Figure III.6 : Temps de refroidissement de PA 6 en fonction de l'épaisseur de la matière ..	56
Figure III.7 : Système de commande de mouvement des tiroirs avec implantation du doigt	58
Figure III.8 : Système de commande des tiroirs par doigts inclinés extérieurs.....	59
Figure III.9 : Dimension du moule fermé.....	60

Figure III.10 : Vue éclatée du moule.....	60
Figure III.11 : Modèle de maillage 3D.....	64
Figure III.12 : Forme des empreintes	65
Figure III.13 : Résultats de remplissage des empreintes	66
Figure III.14 : Temps de remplissage.....	67
Figure III.15 : Pression en fin de remplissage	67
Figure III.16 : Retrait volumique en fin de remplissage	68
Figure III.17 : Contrainte de cisaillement en fin de remplissage	69
Figure III.18 : Concentration des retassures	69
Figure III.19 : Température pondérée en fin de remplissage	70
Figure III.20 : Bulles d'air.....	71
Figure III.21 : Lignes de soudure	71

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : Formule développée des monomères	6
Tableau I.2 : Avantages et inconvénients des plastiques thermoplastiques	9
Tableau I.3 : Avantages et inconvénients des plastiques thermodurcissables	9

Chapitre II

Tableau II.1 : Dépouilles et contre dépouilles.....	43
Tableau II.2 : Avantages et inconvénients de la fixation par vis.....	45

Chapitre III

Tableau III. 1 : Filetage de tuyauterie profil à gaz	49
Tableau III.2 : Dimensions du bouchon	49
Tableau III.3 : Fiche technique de la pièce	49
Tableau III.4: Exigences de la pièce moulée.....	52
Tableau III. 5 : Tableau récapitulatif des principales matières plastique utilisées.....	54
Tableau III. 6 : Caractéristiques mécaniques de polyamide 6.....	55
Tableau III.7 : Caractéristiques thermiques de polyamide 6.....	56
Tableau III.8: Avantages et inconvénients de PA 6.	57
Tableau III.9: Système de commande des tiroirs par doigt incliné	58
Tableau III.10 : Désignation des éléments du moule	61
Tableau III.11 : Fiche technique de la presse à injecter	63
Tableau III.12: Résultats de la simulation.....	65

Nomenclature

CAO	Conception assistée par ordinateur
FAO	Fabrication assistée par ordinateur
PE	Polyéthylène
PS	Polystyrène
PA	Polyamide
PVC	Polychlorure de vinyle
T_f	Point de fusion (°C)
PP	Polypropylène
ABS	Acrylonitrile Butadiène Styrène
e	Epaisseur (mm)
F	Effort normal (N)
σ	Contrainte (MPa)
K	Coefficient de sécurité (pas d'unité)
t_r	Temps de refroidissement (s)
t_i	Temps d'injection (s)
t_m	Temps de maintien (s)
t_e	Temps d'éjection (s)
t_o	Temps d'ouverture (s)
t_f	Temps de fermeture (s)
T_i	Température de la matière à l'injection (°C)
T_m	Température moyenne du moule au cours du cycle (°C)
T_e	Température de la matière à l'éjection (°C)
M	Masse de la grappe moulée (g)
d	Diamètre (mm)

Introduction générale

La découverte des matières plastique a révolutionné le monde de la mécanique et l'industrie en générale. C'est bien qu'une nouvelle discipline a émergé "la plasturgie". C'est la technique de mise en forme des polymères par différents procédés (l'injection, extrusion, calandrage, etc.), qui sont largement répandues dans l'industrie, et qui vise à réaliser des composants de formes complexes et de nature très variée via des applications dans de nombreux secteurs : produit grand public, connectique, automobile, biomédical, etc. Et sur ces bases on peut retenir que les besoins de réalisation de composants de très petites tailles sont apparus avec le développement des micro-technologies et des microsystèmes.

Selon "Plasisem" (société spécialiste en l'injection plastique depuis plus de 60 ans) l'injection plastique a également des atouts techniques. Cette méthode de fabrication permet d'avoir de beaux états de surface sans retouche ainsi qu'un ratio poids/solidité très intéressant.

Tableau 1 : Tableau indicatif pour une série de 5 000 pièces

	Résistance	Cout série	Délai prod	Poids pièce
Injection plastique	★★	★★★★	★★★★	★★★★
Usinage plastique	★★	★	★★	★★
Usinage métal	★★★★	★	★	★
Impression 3D	★	★	★	★★★★

★ Peu intéressant ★★ Intéressant ★★★ Très intéressant

La plasturgie existe depuis l'Antiquité avec notamment la caséine, mais elle se développe surtout au cours du 19^{ème} siècle avec la mise au point de nouveaux plastiques comme le Chlorure de Vinyle, les Celluloïds ou la Galalithe (à base de lait). À ce stade, ces nouveaux matériaux permettent de fabriquer de petits objets et commencent à se substituer à des matériaux existants. Ils restent néanmoins souvent usinés et non moulés.

La première partie du 20^{ème} siècle voit les grandes découvertes de nouveaux polymères et des processus industriels. C'est notamment l'apparition de l'injection plastique. Sur cette période, on découvre la Bakélite, le Polychlorure de Vinyle - PVC, Polyméthacrylate de Méthyle - PMMA, le Polyéthylène Haute Densité - PEHD ou encore les Polyamides - PA. La demande pour ces nouveaux matériaux grandit notamment lors de la Seconde Guerre mondiale.

La deuxième partie du 20ème siècle verra l'essor de la plasturgie. Bien que les principaux matériaux aient déjà été découverts, ils vont devenir de plus en plus performants et leur transformation industrialisée, notamment via l'injection plastique. Ainsi, la production de polymères est passée de 1.5 million de tonnes en 1950 à 348 millions de tonnes en 2017.

L'entreprise SARL FMPI (Fabrication des Moule et Pièces Industrielles) a pris l'initiative de fabriquer une pièce afin d'éviter leur importation et améliorer sa gamme de produits. Le bureau d'étude de l'entreprise nous a confié l'étude et la conception d'un moule à injection plastique d'un bouchon fileté à six pans creux dans le cadre de l'exécution de notre projet de fin de cycle Master.

L'objectif de cette étude est de concevoir le moule d'injection plastique et de simuler le comportement de la matière plastique dans ce dernier.

Pour répondre assurément à l'objectif fixé dans le cadre de cette étude, nous nous proposons de structurer ce présent manuscrit en trois chapitres.

Dans un premier chapitre, nous présenterons d'abord des généralités sur la mise en œuvre des matières plastiques. A cet effet, nous rappellerons les définitions de base des matières plastiques, leurs origines, leurs composantes, leurs familles et leurs caractéristiques principales. Nous exposerons ensuite une synthèse sur les procédés de transformation des matières plastiques. Enfin, nous terminerons ce chapitre en détaillons le procédé de moulage par injection ainsi que le fonctionnement de la presse d'injection.

Le deuxième chapitre sera consacré aux différents éléments, fonctions, types et caractéristiques d'un moule d'injection plastique. L'objectif principal de ce chapitre est de mettre en exergue les outils nécessaires à la compréhension et à la simulation de la physique du comportement de la matière plastique dans un moule d'injection.

La conception et la simulation du moule ainsi l'analyse et la dissertation de résultats obtenus feront l'objet du troisième chapitre.

Une conclusion générale synthétisera l'étude réalisée et les résultats obtenus dans notre travail. Enfin, des perspectives de développement ultérieurs seront proposées et parachèveront ce manuscrit.

Présentation de l'entreprise SARL FMPI

Profil de SARL FMPI :

SARL FMPI est une entreprise spécialisée dans les opérations d'usinage et de tournage CNC. Implantée à Alger, la société se positionne comme un acteur majeur de la sous-traitance industrielle, dans les domaines de l'usinage et la fabrication de prototypage et empreinte.

L'atelier de l'entreprise FMPI est équipé des machines les plus connues dans le domaine numérique (figures 1 et 2), la conception et la réalisation des produits sont à l'aide des outils informatiques (**CAO** et **FAO**).



Figure 1: Centre d'usinage Vertical V40iT



Figure 2 : Centre de Tournage T-6SMY

Le savoir de la société permet de réaliser les opérations de sous-traitance en usinage, optimisant ainsi les coûts de production sans porter préjudice à la qualité des pièces usinées et/ou assemblées. Grâce à des équipes techniques hautement qualifiées.

Objectif de SARL FMPI :

L'objectif fondamental de la société est d'apporter à ses clients des solutions de qualité à moindre coût, la préoccupation majeure de la société porte sur :

- L'amélioration des techniques d'usinages et de fabrications en Algérie ;
- La recherche et le développement dans les technologies de pointes ;
- La rapidité d'exécution et de réalisation (facteur temps) ;
- La qualité du service ;
- Le respect des délais ;
- L'optimisation des coûts.

Chapitre I

Mise en œuvre des matières plastiques

Introduction :

A nos jours les pièces en matières plastiques peuplent notre vie quotidienne dans tous les domaines d'utilisation. La matière plastique remplace les autres matériaux à savoir, le métal, le carton, le bois, les verres, la céramique et autres matériaux. Qu'il s'agisse des châssis des fenêtres dans le bâtiment, des éléments de carrosserie et autres composants dans les domaines de l'automobile, de l'aéronautique et navale aussi les meubles, les appareils électroménagers, le matériel électrique, le matériel médical et les moyens de transport.

Partout l'utilisation des matériaux plastiques apportent des solutions de fabrications simples, de réalisations fiables et esthétiques suite à la diversité des procédés de mise en forme comme l'injection, l'extrusion et le thermoformage avec un prix de revient compétitifs, autant d'atouts qui concurrencent les autres matériaux tels que les métaux et le bois.

Dans ce chapitre, nous essayerons tout d'abord de faire le tour des définitions de base sur les matières plastiques, leurs origines, leurs composantes et leurs familles. Ensuite, nous présenterons les caractéristiques principales de ces matières, à savoir : mécaniques, physiques, chimiques et thermiques. Puis, nous exposerons une synthèse sur les procédés de transformation des matières plastiques. Enfin, nous terminerons ce chapitre en détaillons le procédé de moulage par injection ainsi que le fonctionnement de la presse d'injection.

1. Définition et origines des matières plastiques :

1.1. Définition de la matière plastique :

Un matériau est dit "plastique" s'il peut être déformé à une température relativement basse pour prendre une forme désirée. La plupart des matières plastiques sont ainsi malléables au-dessous de 200 °C, elles peuvent prendre presque toutes les formes possibles.

Selon la norme **ISO 472** : les "plastiques" ou "matières plastiques" sont définis comme étant toute matière contenant, comme ingrédient essentiel, un "haut polymère". Une matière plastique ou en langage courant un plastique est un mélange contenant une matière de base (un polymère) qui est susceptible d'être moulé, façonné, en général à chaud et sous pression, afin de conduire à un semi-produit ou à un objet.

Quelques matières plastiques existent à l'état naturel, tel le caoutchouc ou la cellulose des plantes, mais le terme désigne surtout les produits de synthèse dérivés du pétrole. En ajoutant différentes substances, comme des colorants ou des molécules ignifugeantes [1].

1.2. Obtention de la matière plastique :

1.2.1 Origine de la matière plastique :

La matière plastique utilisée par les industrielles sous plusieurs nuances et noms elle est constituée principalement d'un polymère, un adjuvant et un additif.

Généralement, les polymères industriels ne sont pas utilisés à l'état "pur", mais mélangés à des substances miscibles ou non dans la matrice polymère. Structure typique d'une formule :

Matière plastique = polymère(s) brut(s) (résine(s) de base) + charges + plastifiant(s) + additifs.

Ces différents composés sont introduits dans le polymère de base pour améliorer les propriétés mécanique, physiques, chimiques et thermique (résistance aux chocs, résistance au courant électrique, résistance au vieillissement, résistance aux hydrocarbures).

Les dosages des différents composants doivent être précis. L'action de la chaleur assure la transformation vers la matière première définitive [2].

1.2.2 Composants de la matière plastique :

Une résine à mouler est composée en général d'un nombre important de produit : la matière de base (le polymère), les charges (0 à 60%), le colorant (1 à 5%), les adjuvants (0 à 3%), les stabilisants (1 à 2%), les plastifiants (0 à 50 %). Il est donc indispensable d'être très prudent sur les propriétés des plastiques qui peuvent variés dans des proportions importantes suivants le taux de résine pure. (Baisse des propriétés mécaniques, migrations des plastifiants, etc.) [3].

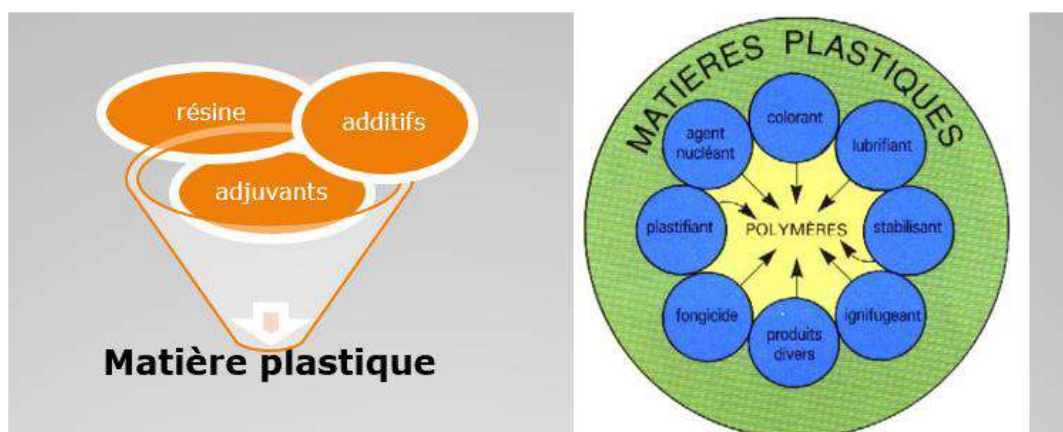


Figure I.1 : Composants des matières plastiques [3]

a. Les polymères :

Un polymère est une grande molécule, organique ou inorganique, constituée de l'enchaînement répété d'unités fondamentales appelées monomères (ou motifs monomères) reliées les unes aux autres par des liaisons covalentes.

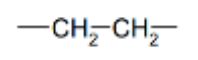
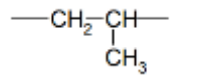
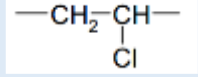
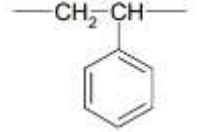
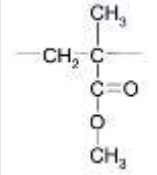
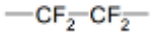
Un monomère est un composé constitué de molécules simples pouvant réagir avec d'autres monomères pour donner un polymère. Dans le cas où les macromolécules ne contiennent qu'un type de monomères, il s'agit d'un homopolymère. Si les unités constitutives sont nombreuses, on parle alors de copolymère.

Il existe plusieurs types de copolymères :

- Les copolymères alternés (chaîne A-B-A-B-A-...),
- Les copolymères séquencés (chaîne A-A-A-B-B-B-...),
- Les copolymères statistiques (chaîne A-B-B-A-B-A-B-A-A-...).

Le tableau ci-dessous (**Tableau I.1**) représente quelques polymères avec leurs appellations courantes et la formule développée du motif monomère correspondante :

Tableau I.1 : Formule développée des monomères [3]

Formule développée du motif monomère	Appellation courante et Abréviation normalisée
	Polyéthylène (PE)
	Polypropylène (PP)
	Polychlorure de vinyle (PVC)
	Polystyrène (PS)
	Polyméthacrylate de méthyle (PMMA)
	Polytétrafluoroéthylène (PTFE)

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

Un polymère peut adopter trois structures moléculaires :

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

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

b. Les additifs :

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

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

Les additifs entrent pour plus de 10 % dans la composition du produit fini pour :

- Faciliter la mise en œuvre ;
- Modifier la cristallisation ;
- Changer le coefficient de frottement ;
- Colorer le matériau dans la masse ;
- Être plus conducteurs de l'électricité ;
- Résister à la photolyse par les rayons ultraviolets ;
- Mieux résister à la chaleur ;
- Résister à l'oxydation ;
- Brûler moins facilement.

Parmi les additifs on peut citer à titre d'exemple : les charges, les renforts, les plastifiants, les agents gonflants (structure allégée).

1. **Plastifiants** : Un plastifiant est un solvant lourd qui détruit partiellement les interactions entre chaînes responsables de la cohésion mécanique de la matière et transforme un matériau initialement rigide en matériau souple (flexible).
2. **Charges et renforts** : les charges et renforts sont utilisés en grande quantité dans le polymère pour diminuer son coût et augmenter la résistance mécanique du produit fini. Exemple : fibre de verre.
3. **Agents gonflants** : les agents gonflants sont utilisés pour conférer une structure cellulaire Allégée au matériau après sa mise en forme. La transformation est réalisée sous l'action de la chaleur ou par réaction chimique.

c. Les adjuvants :

Les adjuvants entrent pour moins de 10 % dans la composition du produit fini, parfois moins de 1 %. Citons, à titre d'exemple, les colorants ou pigments, l'anti-ultraviolet (anti UV), les ignifugeants (évite la combustion), l'anti oxydant, les lubrifiants, les antistatiques, les agents gonflants (anti retassure), les fongicides (évite la formation de bactéries).

1. **Colorants et pigments :** Les colorants sont des substances organiques solubles dans la matrice polymère. Du fait de leur solubilité, on a une mauvaise résistance au solvant organique. De plus, ils sont sensibles aux températures élevées de transformation, ce qui peut entraîner un changement de couleur. Grâce à leurs solubilités, on peut réaliser des produits colorés transparents.
Les pigments sont des composés minéraux ou organiques sous forme polyvalent insoluble dans la matrice polymère. Ils sont caractérisés par une bonne stabilité à long terme et une bonne tenue aux températures de transformation dans le cas de pigments minéraux.
2. **Lubrifiants :** Deux types de lubrifiants peuvent être incorporés aux polymères : les lubrifiants internes ou externes. Les plus utilisés sont internes. Ils améliorent l'écoulement du polymère et peuvent améliorer le démoulage des pièces. Ils sont utilisés entre 1 à 2 % de la matière d'œuvre.
3. **Stabilisants :** Les stabilisants sont destinés à ralentir ou retarder une transformation de la matière. Exemple : coloration aux ultraviolets.
4. **Fongicides :** Les fongicides sont destinés à empêcher l'attaque des polymères par des Organismes vivants. Ils sont utilisés pour les résines cellulosiques et vinyliques plastifiées et L'acétate de vinyle.

2. Familles des matières plastiques :

Les matières plastiques utilisées à l'échelle industriel sont très diverses mais elles peuvent être classées en trois grandes familles : les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères.

2.1. Thermoplastiques :

Ces composés sont constitués d'enchaînement "unidimensionnels", résultant de molécules simples, souples, formés de chaînes distinctes bien compactées et plus ou moins linéaires [4].

Sous l'effet de la chaleur, ces plastiques 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.

Ils sont répartis en trois grandes classes : les amorphes, cristallins et les semi-cristallins. Cette morphologie a une influence importante sur leurs propriétés [3].

Ce sont les matières plastiques les plus utilisées (notamment PE et le PVC) [1].

▪ **Avantages et inconvénients des thermoplastiques :**

Comme on le voit dans le **Tableau I.2** chacune des morphologies possède des propriétés intéressantes. Les plastiques semi-cristallins peuvent hériter plusieurs qualités complémentaires venant à la fois de leurs parties amorphe et cristalline [3].

Tableau I.2 : Avantages et inconvénients des plastiques thermoplastiques [3]

➤ Avantages		➤ Inconvénients
- Stabilité dans le temps (pas de polymérisation au cours du temps) ; - Recyclable (on peut les liquéfier à nouveau) ; - Facile à réparer (par soudure ou collage).		- Forte viscosité du fondu ; - Fluage.
Amorphe	Cristallin	
- Bonne résistance aux impacts ; - Module plus élevé.	- Moindre retrait au refroidissement ; - Plus grande dureté.	

2.2. Thermodurcissables :

Ces plastiques sont constitués par des macromolécules s'étendant dans les trois directions de l'espace, d'autant plus rigides que le réseau tridimensionnel est dense. Ils 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 [1].

▪ **Avantages et inconvénients des thermodurcissables :**

Le **Tableau I.3** montre les avantages et les inconvénients des plastiques thermodurcissables.

Tableau I.3 : Avantages et inconvénients des plastiques thermodurcissables [3]

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

2.3. Elastomères :

Les élastomères sont des matières souples et gonflables formés de chaînes peu compactées et (à température ambiante) très mobiles (matériau caoutchouteux). Ils sont obtenus par synthèse chimique, comme les plastiques, et possèdent des propriétés comparables à celle de caoutchouc naturel. Le néoprène (1930) fut le premier caoutchouc de synthèse [4].

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 ».

Les élastomères présentent des caractéristiques bien spécifiques : grande élasticité, bonne étanchéité, fort pouvoir amortissant. Les domaines Applications : pneumatiques, courroies, tapis, tuyaux, amortisseurs, joints d'étanchéité, revêtements divers, pièces mécaniques, chaussure [1].

Les élastomères les plus utilisés sont : le caoutchouc naturel issu du latex, le poly isoprène synthétique, le polybutadiène et le styrène-butadiène [3].

3. Caractéristiques des matières plastiques :

Les propriétés spécifiques des matières plastiques vont varier d'une matière à l'autre. Les principales propriétés sont [5] :

1. Propriétés mécaniques ;
2. Propriétés physiques ;
3. Propriétés chimiques ;
4. Propriétés thermiques.

3.1. Propriétés mécaniques :

3.1.1. Résistance à la traction :

La résistance à la traction varie entre 10 à 80 MPa pour un plastique à l'état compact, et entre 200 à 800 MPa pour un plastique renforcé courant.

3.1.2. Résistance à la compression :

On atteint des valeurs de 50 à 100% plus élevées que la résistance à la traction.

3.1.3. Elasticité :

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

3.1.4. Allongement :

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

3.2. Propriétés chimiques :

3.2.1. 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.

3.2.2. 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 troubles : allergies, inflammations, asthme, etc.

3.2.3. 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.

3.3. Propriétés thermique et physique :

3.3.1. Inflammabilité

C'est le plus gros défaut reproché aux plastiques. Certains produits s'enflamment effectivement très vite et dégagent des fumées toxiques ; d'autres ne brûlent que si la flamme est entretenue par une source extérieure et ne dégagent pas de gaz toxiques.

3.3.2. Résistance au feu :

Elle est déterminée par le temps pendant lequel un élément continue de jouer son rôle avant de céder sous l'action des flammes. Les matériaux sont classés en trois catégories :

- SF stable au feu : seule la tenue mécanique est requise.
- PF pare flamme : en plus de la résistance mécanique, l'élément doit être étanche aux flammes et ne pas dégager de gaz inflammables.
- CF coupe-feu : en plus des critères précédents, la face non exposée au feu ne doit pas s'échauffer à plus de 1400°C en moyenne.

3.3.3. Résistance thermique :

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

4. Guide de sélection des matières plastiques :

Les plastiques sont de plus en plus utilisés pour remplacer d'autres matériaux comme le bronze, l'acier inoxydable, l'aluminium et la céramique. Les raisons les plus populaires pour passer aux plastiques incluent :

- Une durée de vie plus longue ;
- Élimination de la lubrification ;

- Usure réduite sur les pièces d'accouplement ;
- Fonctionnement plus rapide de l'équipement/vitesses de ligne ;
- Moins d'énergie nécessaire pour faire fonctionner l'équipement ;
- Résistance à la corrosion et inertie.

Avec les nombreux matériaux plastiques disponibles aujourd'hui, choisir le meilleur peut être une proposition intimidante [6].

4.1. Critères de choix des matières plastiques :

Le choix d'une matière plastique se fait sur un compromis entre ses propriétés, et les contraintes qu'il doit satisfaire [6].

Le choix d'un matériaux polymères doit répondre à deux questions :

- Quel est le coût maximal de réalisation ?
- Quels sont les usages, avec quelles propriétés ?

4.1.1. Coût :

Le coût unitaire, y compris celui de l'étude, dépend du nombre d'objets à fabriquer et des moyens mis en œuvre pour la fabrication d'une part, et de la matière choisie d'autre part. La matière doit répondre aux questions sur les propriétés, mais son choix dépend aussi de la méthode de mise en œuvre. Ainsi, pour une série très courte, sera-t-on par exemple amené à utiliser un matériau thermdurcissable dans un moule très peu onéreux, alors que, pour une série très longue, un polypropylène injecté dans un moule multi-cavités sera le meilleur choix économique, les propriétés physiques et chimiques des deux matériaux pouvant répondre également à la demande. Pour un objet fabriqué en tonnage important, ou dont le volume sera important, il y a lieu de se soucier de sa destruction et éventuellement de son recyclage [6].

4.1.2. Propriétés D'usage :

L'usage auquel l'objet est destiné impose un certain nombre de propriétés physiques et chimiques, les propriétés mécaniques de l'objet réalisé dépendent pour une bonne part du dessin de la pièce. Les propriétés physiques et chimiques sont plus difficiles à contourner. Dans certains cas on peut avoir intérêt à réaliser un objet avec plusieurs matériaux.

La résistance à la chaleur dépend du matériau lui-même (plastique et charge) et la résistance chimique dépend de la nature de la partie plastique [6].

4.1.3. Normes et Réglementations :

Certaines applications doivent tenir compte de réglementations spécifiques. C'est le cas des applications dans le domaine alimentaire et de l'eau potable, le domaine médical et celui de la pharmacopée, celui des jouets, du mobilier des lieux publics, des éléments de cabines d'avion et des chemins de fer, d'intérieur des automobiles, etc.

La réglementation peut imposer aux objets de passer certaines normes relatives à leur comportement, mais parfois elle va plus loin : elle impose le moyen. Ainsi il existe des listes

positives de monomères ou d'additifs de polymères qui éliminent l'usage des autres produits lors de la synthèse et de la mise en forme d'emballages pour la pharmacie. Ces réglementations sont nationales ou internationales [6].

4.2. Démarche de choix :

L'ambiance dans laquelle sera utilisé l'objet est le premier critère de choix :

Température, lumière visible et ultraviolette, éventuellement rayons ionisants, atmosphère oxydante (oxygène atmosphérique et ozone), humidité. Il peut aussi s'agir de contact avec les substances chimiques les plus variées de façon permanente pour des conteneurs ou des canalisations, ou de façon transitoire comme sous le capot d'un moteur et sur la carrosserie d'une automobile. On va éliminer les plastiques qui n'autorisent pas le séjour dans l'ambiance considérée.

Il est bien rare que le choix se réduise alors à un seul matériau. On va être en présence de différentes solutions techniquement acceptables, mais dont le coût va dépendre du type de mise en œuvre, de la nature du matériau et de la quantité d'objets à fabriquer.

Dans ce qui suit, nous allons choisir un certain nombre de critères selon lesquels se classeront les différentes matières. Ces matières couvrent un domaine de valeur des paramètres considérés par la diversité des formulations qui caractérisent les différents grades.

Nous exposons les critères retenus pour le choix de matériaux polymères d'une part, pour les caoutchoucs d'autre part [6].

4.3. Critères retenus pour les plastiques :

Pour caractériser les matériaux plastiques, on peut choisir de le faire selon les propriétés suivantes :

- Module de traction ;
- Résistance à la rupture en allongement ;
- Résistance au choc ;
- Température Vicat ou de déformation sous charge HDT ;
- Niveau d'inflammabilité.

La norme appliquée pour chacun des critères présente un certain caractère arbitraire, pour la résistance au choc ou la résistance thermomécanique, mais cela permet une première comparaison et donc un premier choix. On choisit pour les essais en traction les tests ISO R 527 qui définissent la forme des éprouvettes et les vitesses de traction ; par exemple 1mm/min pour la mesure du module.

La résistance au choc sera définie par l'énergie nécessaire à la rupture d'une éprouvette Izod selon ISO 180, avec ses variantes, entaillée ou non, et son mode de serrage.

La température Vicat (ISO 306) sera par exemple obtenue à 120 K.h⁻¹ sous une charge de 50 N, et la température de déformation sous charge, HDT/A,

Selon ISO 75, sous 1.8 MPa. Le niveau d'inflammabilité sera celui des tests Underwriter Laboratories de HB à 5VA pour une épaisseur donnée de l'éprouvette, le test étant d'autant plus sévère que l'épaisseur est plus faible [6].

5. Formes commerciales des matières plastiques :

La matière plastique première utilisée lors de sa mise en forme moyennant un des procédés peut être livrée sous une des formes suivantes :

- En poudre : Polychlorure de vinyle (PVC) ;
- En granulé : La majorité des thermoplastiques ;
- En billes : Polystyrènes expansé (PS) ;
- En résines liquides : La majorité des thermodurcissables ;
- En résines pâteuses : Silicones ;
- Et des semi-produits (feuilles, films, pastilles, et fibres) [6].

6. Procédés de mise en forme des matières plastiques :

La mise en forme des matières plastiques regroupe les procédés de transformations des polymères en produit fini ou semi-fini.

Plus que tout autre matériau, les matières plastiques offrent un large choix de techniques de transformation, qui dépendent de la nature du plastique ainsi que la destination des produits finis, parmi ces techniques les plus utilisées sont : injection, injection soufflage, l'extrusion, l'extrusion soufflage, roto-moulage, le calandrage, le thermoformage [7,8].

Dans cette recherche on s'intéressera au procédé de moulage par injection (détaillé dans la section 7).

6.1. Le calandrage :

C'est un procédé de laminage utilisé pour la production de feuilles, de plaques et de films plastiques. La résine thermoplastique chauffée et fondue est placée entre des rouleaux chauffants qui opèrent comme les anciennes essoreuses. Les rouleaux sont de plusieurs tailles et tournent donc à des vitesses légèrement différentes pour transformer le plastique en feuilles ou en fine pellicule. Le film est ensuite refroidi puis enroulé sur de grosses bobines. Ce procédé est souvent utilisé pour transformer le PVC en produits plats de grande largeur comme des nappes, du revêtement d'ameublement ou de maroquinerie car on peut donner par exemple une texture sur des matériaux synthétiques qui imitent le cuir.

6.2. Le thermoformage :

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

particulièrement adaptées à ce type de transformation. Cette technique est utilisée pour produire des objets de formes géométriques simples comme des pots de yaourt, des baignoires et des éléments de carrosserie.

6.3. Le filage :

C'est le procédé de formage des fibres à partir d'un polymère brut. Le plus souvent, les fibres sont filées à l'état liquide selon un procédé appelé filage par fusion. Le matériau à filer est d'abord chauffé jusqu'à ce qu'il forme un liquide relativement visqueux, puis il est pompé à travers une plaque appelée assiette et percée de nombreux petits trous ronds. Le matériau fondu qui traverse chaque trou donne une fibre unique qui se solidifie presque immédiatement en arrivant à l'air libre.

6.4. Le moulage :

Le moulage constitue le procédé de formage des polymères plastiques le plus répandu. Les techniques utilisées pour le moulage sont la compression, le transfert, l'injection, l'extrusion et le soufflage. Dans tous les cas, un plastique aggloméré ou granulaire est contraint, à haute température et sous pression, de s'écouler dans la cavité d'un moule, de la remplir et d'en prendre la forme.

6.4.1. Moulage par compression :

En ce qui concerne le moulage par compression, on place les quantités requises de polymères et d'additifs bien mélangées entre les deux pièces d'un moule à compression, les deux pièces du moule dont une seule est mobile étant chaudes, le moule est ensuite refermé et soumis à la pression et au chauffage appropriés, ce qui rend la matière plastique visqueuse et lui confère la forme du moule.

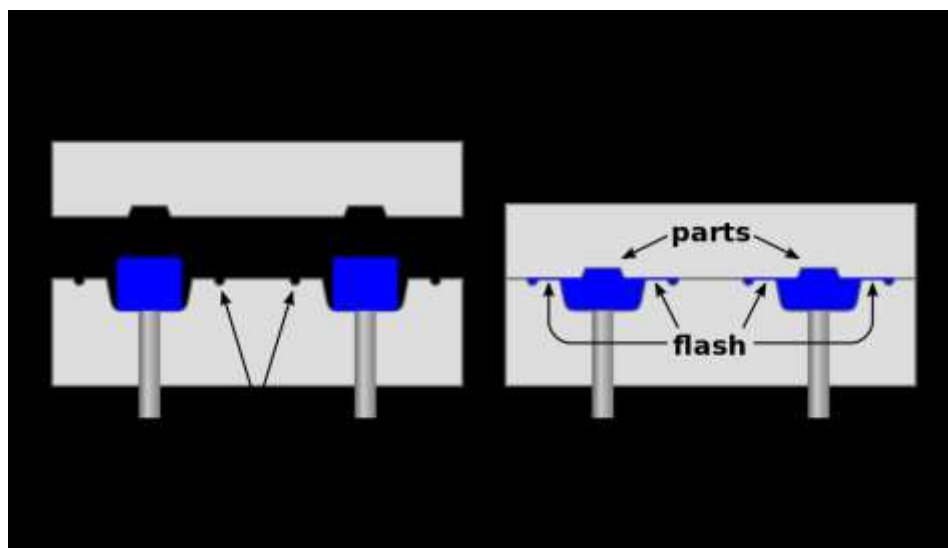


Figure I.2 : Moulage par compression [7]

6.4.2. Moulage par transfert :

Une variante du moulage par compression, consiste à faire d'abord fondre les matières premières solides dans un pot de transfert chauffé. Lorsque le matériau fondu est injecté dans le moule, la pression se répartit plus uniformément sur toute la surface.

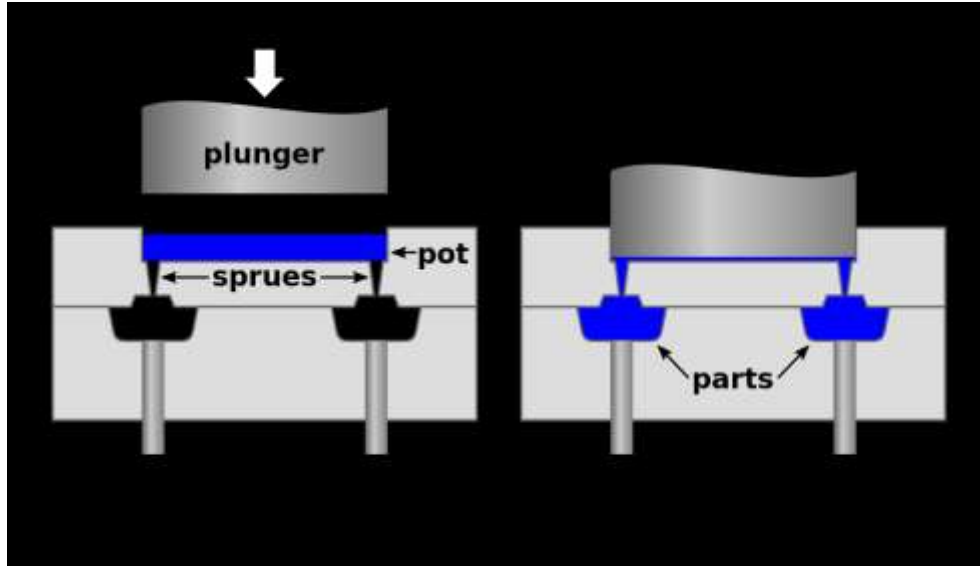


Figure I.3 : Moulage par transfert [7]

6.4.3. Moulage par injection :

Le principe du procédé de moulage par injection consiste à injecter un polymère thermoplastique, préalablement chauffée est injectée dans un moule régulé en température. La température plus basse du moule va alors amorcer la solidification du thermoplastique. Le polymère se solidifiant dans le moule créera un solide épousant la forme et les dimensions de l'empreinte du moule.

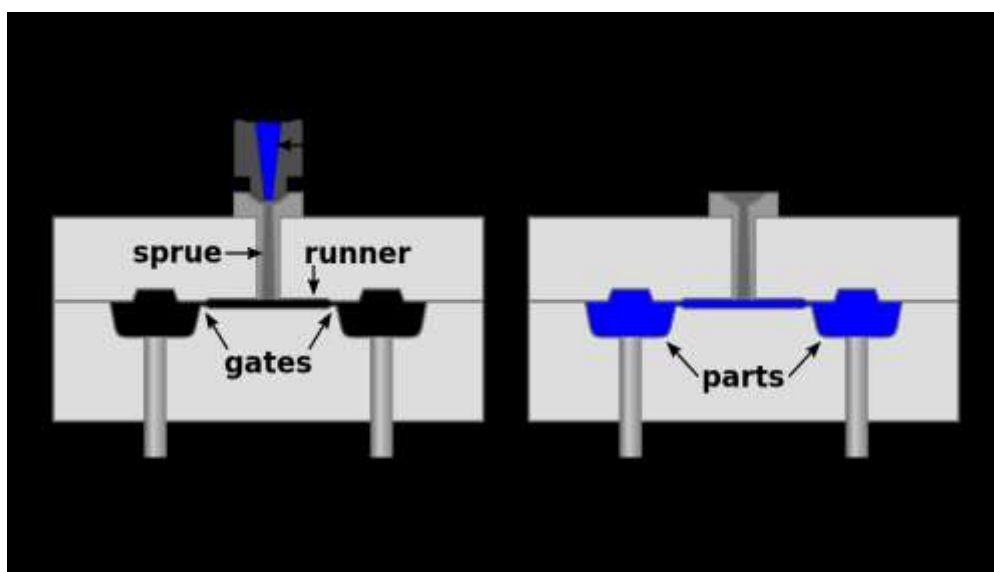


Figure I.4 : Moulage par injection [7]

6.4.4. L'injection soufflage :

L'injection-soufflage est un procédé de mise en forme de matériaux polymères thermoplastiques ou du verre qui est utilisé pour fabriquer des corps creux, tels des flacons et bouteilles.

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

6.4.5. Extrusion :

Le procédé d'extrusion consiste simplement en un moulage par injection d'un thermoplastique visqueux dans une matrice ouverte par ses extrémités. Une vis sans fin pousse le matériau aggloméré dans un compartiment où il est successivement comprimé, fondu et transformé en charge continue de liquide visqueux. L'extrusion se produit lorsque le matériau fondu est contraint de passer dans l'orifice d'une filière, ce procédé convient particulièrement bien à la production de longues pièces dont la section transversale est constante : tiges, tubes, tuyaux, feuillets et filaments.

6.4.6. L'extrusion soufflage :

Il permet de fabriquer des corps creux. Cela commence par l'extrusion d'un tube plein appelé la paraison. Ce tube de plastique encore chaud sortant de la filière est coupé et un moule froid en deux parties se renferme autour de lui. Ensuite, de l'air est injecté dans la matière par une canne de soufflage et le polymère vient se plaquer sur les parois intérieures du moule qui est rapidement refroidit.

6.4.7. Le roto moulage :

Une fine poudre thermoplastique est enfermée dans un moule chauffant et fermé qui tourne sur lui-même. Le matériau se répartit uniformément sur les parois du moule par centrifugation. Cette technique permet de produire des objets creux comme des planches à voiles, des cuves ou des containers.

7. Procédé de moulage par injection :

L'injection plastique est une méthode de production faite pour la fabrication de pièces identiques en série. Elle commence généralement à être intéressante vis-à-vis des autres méthodes à partir de quelques centaines de pièces.

7.1. Généralité sur l'injection plastique :

Le procédé de moulage par d'injection est très répandu dans le domaine de la plasturgie car il permet de fabriquer des pièces techniques de manière contrôlée et avec des cadences élevées. Son principe consiste à injecter sous haute pression (plusieurs centaines de bars) un polymère fondu (fluide très visqueux : viscosité de l'ordre de 10^4 Pa.s voir plus) dans une empreinte thermostaté (munie d'un circuit de refroidissement).

La mise en forme des thermoplastiques par injection est l'un des plus importants procédés de transformation des polymères : en termes de volume, il occupe la deuxième place après l'extrusion, il est en tête en termes de chiffres d'affaires.

Dans un contexte économique de plus en plus concurrentiel, les transformateurs se doivent à la fois d'améliorer la qualité de leurs pièces et la productivité du procédé. Le principe du procédé de moulage par injection moulage consiste à injecter une résine de polymères thermoplastiques, préalablement chauffée, dans un moule régulé en température. La température plus basse du moule va alors amorcer la solidification de la résine. Le polymère se solidifiant dans le moule, créera un solide épousant la forme et les dimensions de l'empreinte du moule.

7.2. Phases d'un cycle d'injection :

Lors d'une opération de moulage par injection, la fabrication de chaque pièce passe par quatre phases principales pendant le cycle d'injection :

7.2.1. Phase de plastification :

La phase de plastification a pour objectif de faire passer le polymère de l'état solide (forme de granulé) à l'état fondu. Cette transformation est réalisée par l'ensemble vis fourreau dont la fonction est de broyer et de chauffer le granulé pour l'amener peu à peu à l'état fondu. Pour cela, la vis de l'unité possède un mouvement de rotation pour permettre l'auto-échauffement de la matière par malaxage, et de translation pour stocker à l'avant du fourreau la quantité de matière à injecter dans la cavité du moule (**Figure I.5**) [7].

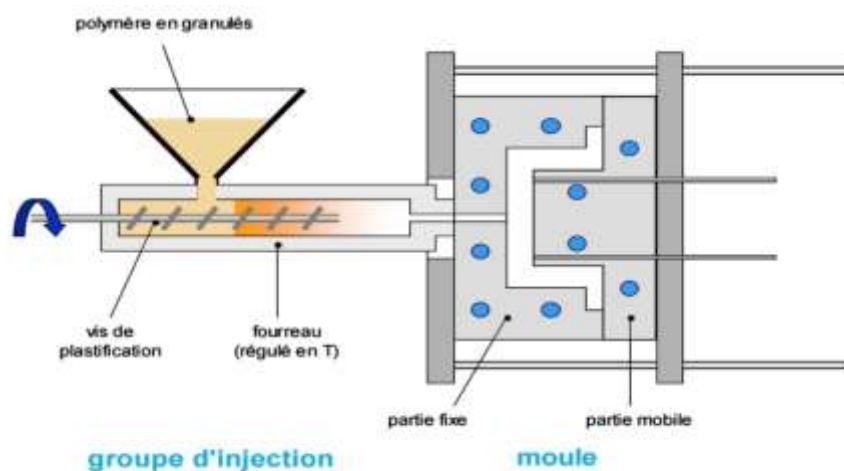


Figure I.5 : Phase de plastification [7]

7.2.2. Phase de remplissage :

Une fois la matière accumulée en tête de fourreau, celle-ci est injectée dans l'empreinte de l'outillage par une avancée de la vis. Cette phase du cycle de transformation est appelée phase dynamique du remplissage. L'avancée de la vis est régulée en débit ou en pression pour maîtriser la vitesse d'injection du thermoplastique dans l'empreinte. Ce remplissage a une durée très courte, par rapport à celle de la phase de refroidissement (voir **Figure I.6**) [7].

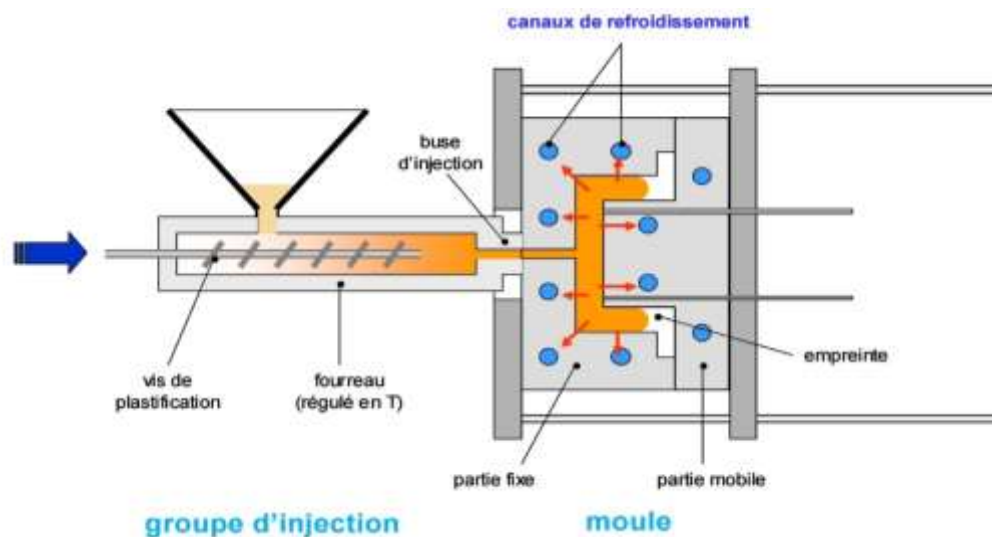


Figure I.6 : Phase de remplissage [7]

7.2.3. Phase de compactage (commutation) et maintien :

Le compactage est l'instant clé du procédé d'injection. Il s'agit de l'instant de transition entre la phase de remplissage dynamique et la phase de maintien. A cet instant, le pilotage de l'injection passe d'une régulation en vitesse à une régulation en pression. En général, on choisit de commuter au moment où l'empreinte est complètement remplie. Cet instant est notifié par la présence d'un pic de pression d'injection prononcé. Cet événement est alors utilisé pour déclencher la commutation.

Dès lors où la commutation est enclenchée, la presse applique au niveau du bloc d'injection une consigne de pression de maintien. Ceci a pour objectif de maintenir la matière dans la cavité pour compenser les phénomènes de retrait volumique dus au refroidissement de la matière (voir **Figure I.7**) [7].

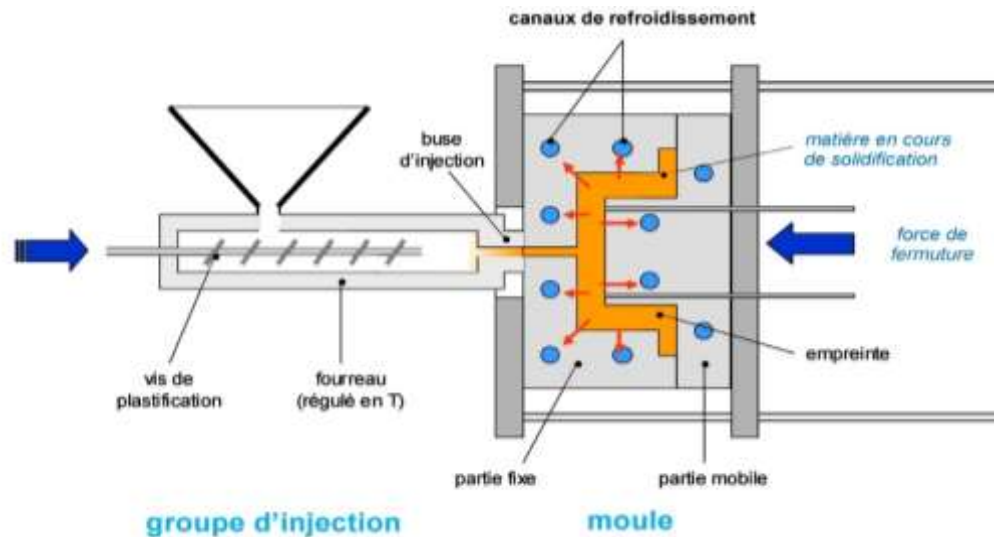


Figure I.7 : Phase de compactage [7]

7.2.4. Phase d'éjection :

La vis de plastification recule avant de commencer un nouveau dosage de matière en vue du cycle suivant, cette opération a pu commencer dès la fin du compactage (voir **Figure I.8**) [7].

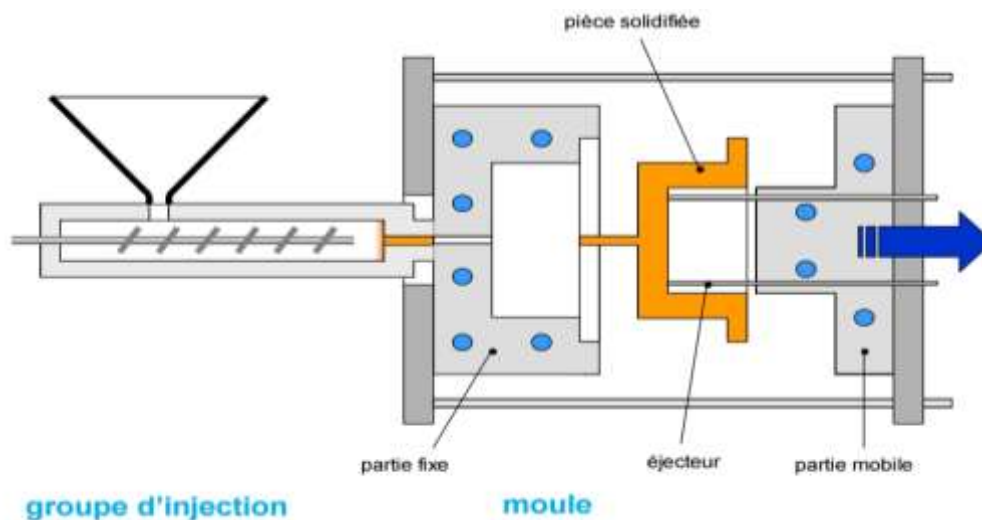


Figure I.8 : Phase d'éjection [7]

7.3. Presses à injection plastique :

Les machines employées en injection plastique sont des presses à injecter. Elles sont utilisées pour des productions de grandes et très grandes séries allant jusqu'à plusieurs milliers de pièces. Les matériaux principalement employés sont les plastiques et les élastomères, ainsi que des métaux comme l'aluminium et le laiton [9].

7.3.1. Définition de la presse d'injection :

La presse d'injection est une machine qui permet d'obtenir des pièces en plastique injecté sous pression dans un moule (monté sur la presse). L'injection du plastique se fait généralement à haute pression et à température supérieure à la température de transition vitreuse. À cet état, la matière n'est plus solide mais n'est pas aussi liquide. Elle est à l'état visqueux. La matière peut être injectée dans le moule et elle prend la forme de l'empreinte du moule. Après refroidissement, la pièce est éjectée. Le refroidissement se fait par circulation d'eau froide dans le circuit de refroidissement du moule [9].



Le nom de presse est dû au fait que le moule est fortement fermé et comprimé dans une presse hydraulique ou électrique spéciale.

Les presses à injection sont classées par tonnage pouvant varier de 5 tonnes à 9 000 tonnes. Plus le tonnage est élevé, plus la presse peut mouler les pièces de grande surface projetée (dans le plan d'ouverture du moule).



Figure I.9 : Presse à injection plastique

7.3.2. Structure de la presse d'injection :

La presse à injecter se compose de plusieurs parties. Voici les principales : buse, plateau mobile, plateau fixe, collier chauffant, trémie d'alimentation, vis sans fin (ou vis de plastification), système d'évacuation, mécanisme de fermeture et console. En outre, il est possible de catégoriser les éléments d'une presse à injecter en deux ensembles principaux. Premièrement, il y a un groupe d'injection plastification, qui transforme les granules solides en

polymère fondue pour l'injecter ensuite dans le moule. Il permet plusieurs applications comme l'alimentation en granulés et la fusion de la matière, par la suite dosée et injectée sous pression.

Deuxièmement, il y a un groupe de fermeture. Ce dernier permet de verrouiller, ouvrir, fermer le moule et d'éjecter les pièces. Ainsi, il est possible de fusionner la matière et de la transférer dans le moule.

La figure illustre les parties principales d'une presse à injection horizontale. Dans le cas des thermoplastiques, le moule est régulé généralement à une température voisine de la température ambiante afin de figer la matière plastique le plus vite possible [10].

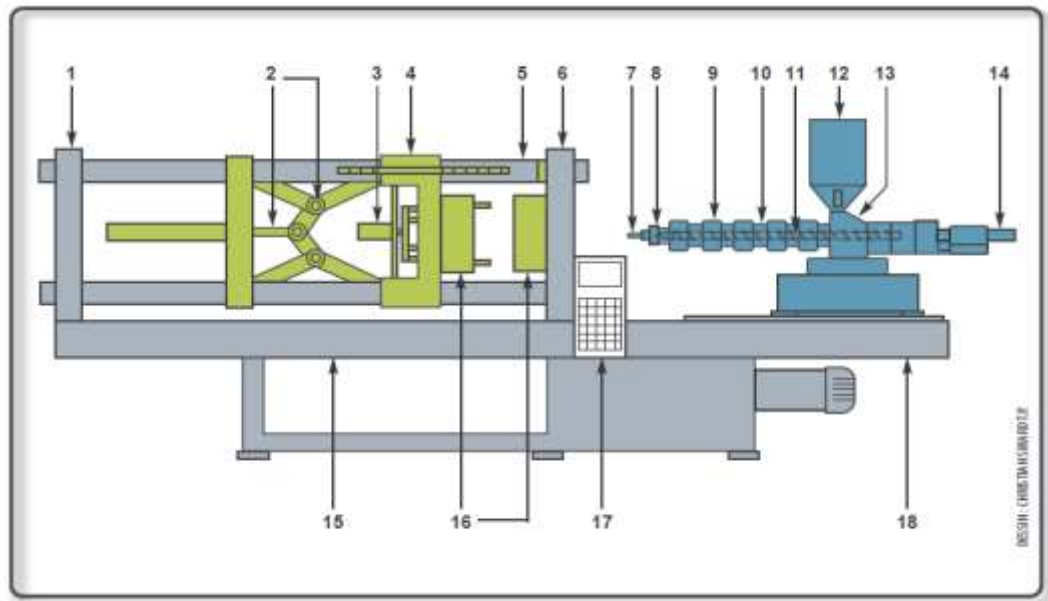


Figure I.10 : Structure d'une presse d'injection horizontale [10]

1	Plateau arrière fixe	10	Baril d'injection
2	Mécanisme de fermeture - genouillère et vérin	11	Vis
3	Éjecteur	12	Trémie d'alimentation
4	Plateau mobile	13	Goulotte d'alimentation
5	Colonne de guidage	14	Motorisation de la vis
6	Plateau fixe d'injection	15	Décharge des pièces
7	Buse d'injection	16	Moule
8	Tête du baril	17	Console de commande
9	Bande chauffante	18	Bâti

7.3.3. Fonctionnement de la presse d'injection :

Le fonctionnement d'une presse à injecter pour la production de pièces est relativement simple. Des granulés de 2 à 3 mm de plastique sont versés dans la trémie. Ensuite, cette matière est ramollie en étant portée à 200°C – 250°C grâce à l'action combinée de la friction de la vis et des colliers de chauffe. La matière ainsi malléable est poussée vers la buse puis injectée dans le moule grâce au vérin d'injection. La pression d'injection peut atteindre 2 500 bars. La matière se répartit de façon homogène dans la cavité de l'outillage pour prendre sa forme définitive. La pièce est ensuite refroidie en quelques secondes entre 50°C et 80°C afin de la solidifier. La presse ouvre l'outillage et les éventuels tiroirs, la pièce est éjectée par la batterie d'éjection et chute dans un bac ou est saisie par un robot manipulateur. La presse se referme et le cycle recommence [9].

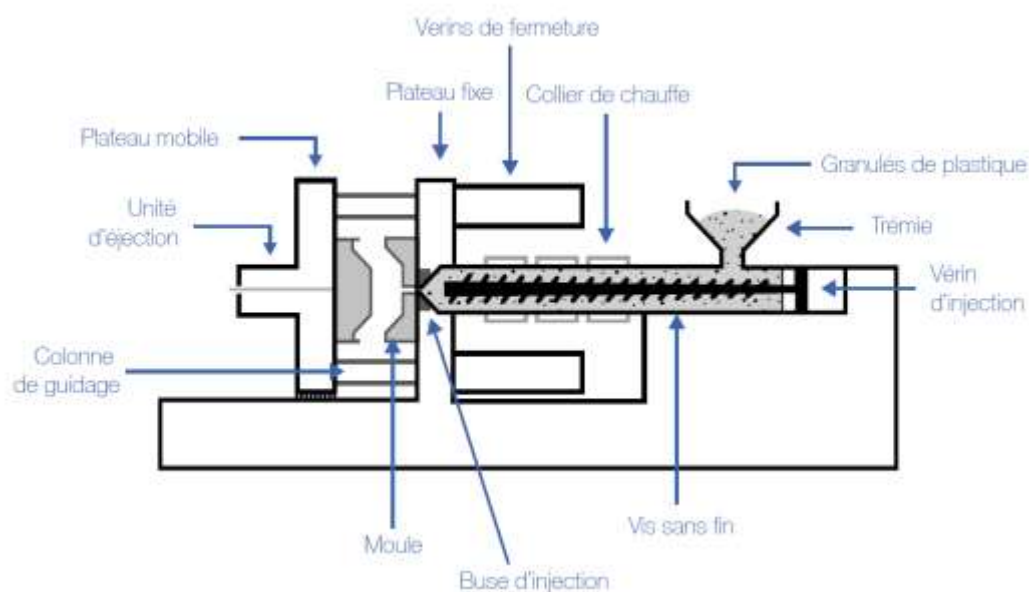


Figure I.11 : Schématisation d'une presse d'injection [9]

7.3.4. Différentes unités d'une presse d'injection :

La matière plastique est injectée dans le moule par l'intermédiaire d'une presse à injecter. Elle est composée en générale de trois unités principales (**Figure I.12**) : l'unité d'injection et l'unité de fermeture et le moule (outillage) [9] :

- L'unité d'injection assure l'injection du polymère fondu dans l'empreinte de l'outillage. Cette fonctionnalité est assurée par l'ensemble vis-fourreau.
- L'unité de fermeture a pour fonction, quant à lui, d'accueillir l'outillage et d'assurer les mouvements d'ouverture et de fermeture du moule lors du cycle de mise en forme.
- Le moule, également appelé outillage, est un élément déterminant dans le processus de fabrication d'une pièce injectée. C'est lui qui va donner la forme définitive à la pièce. Généralement fabriqué en acier, il va peser de quelques dizaines de kilos à plusieurs tonnes.

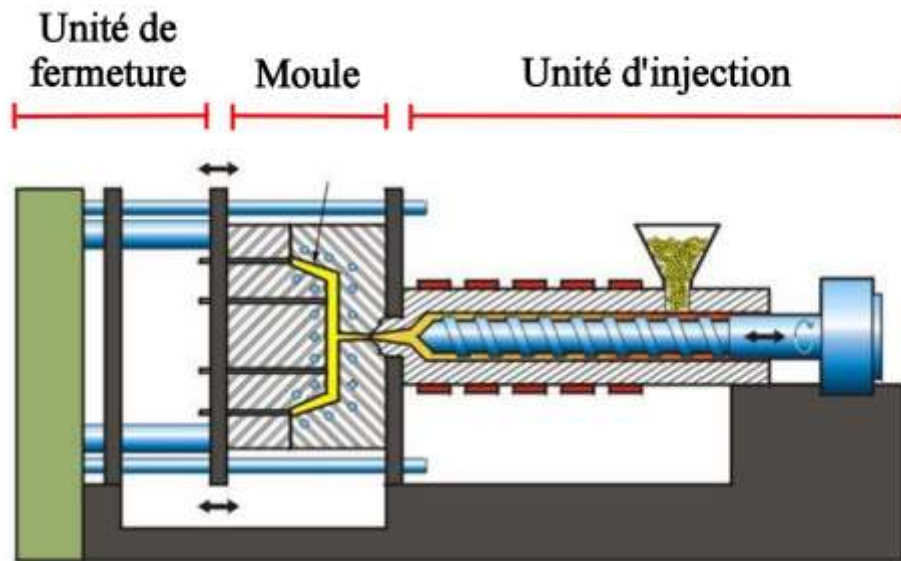


Figure I.12 : Différentes unités d'une presse d'injection [9]

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 » [9].

b. Unité de fermeture et verrouillage :

Le principe de fonctionnement de cette partie de machine est simple. En effet, deux objectifs sont recherchés :

- D'une part la fermeture et l'ouverture de l'outillage ;
- Et d'autre part le verrouillage de ce dernier.

La fermeture/ouverture du moule est un mouvement de grande amplitude. Il est fait à grande vitesse avec des forces faibles. A l'inverse, le verrouillage est un mouvement de faible

amplitude mais de puissance élevée, la capacité d'un système de fermeture est définie à l'aide de points suivants [9] :

- Dimensions maximales (largeur et hauteur) des moules.
- Épaisseurs (minimale et maximale) des moules acceptés par le système de fermeture.
- Course maximale d'ouverture : elle est généralement comprise entre 1,5 et 2.5 fois l'épaisseur maximale de moule.
- Force maximale de fermeture (et d'ouverture pour le moulage de pièces fines).
- Vitesse des mouvements : elle se définit par la mesure de la durée d'un cycle réalisé sans injection : c'est le temps de cycle à vide.
- Caractéristiques de l'éjection : course maximale, force maximale et accessibilité.

c. Moule ou outillage :

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

Un outillage est composé systématiquement de deux parties, une partie fixe et une partie mobile. la surface d'appui entre ces deux parties est appelée plan de joint. Les parties fixe et mobile sont respectivement fixées sur le plateau mobile de la presse. L'outillage est composé de six parties fonctionnelles [9] :

- La carcasse : il s'agit du bloc massif de l'outillage qui lui confère sa consistance mécanique.
- Le bloc empreint : il s'agit de la partie interne de l'outillage qui accueille les parties mâle et femelle de l'empreinte, et qui donne la forme de la pièce.
- Le bloc de réception buse : il s'agit de la partie destinée à recevoir la buse machine.
- Les canaux d'alimentations : il s'agit des canaux qui conduisent de la matière dans l'empreinte. Ils peuvent être froids ou avec des blocs chauds (dans ce cas régulé en température) pour certains types d'injection.
- Les canaux de refroidissement : il s'agit de canaux dans lesquels un liquide caloporteur circule pour extraire les calories de l'empreinte lors de la phase de refroidissement.
- Le bloc éjection : il s'agit d'un ensemble plaque-broches dont le mouvement est assuré par un vérin hydraulique qui permet l'éjection de la pièce une fois celle-ci refroidie.

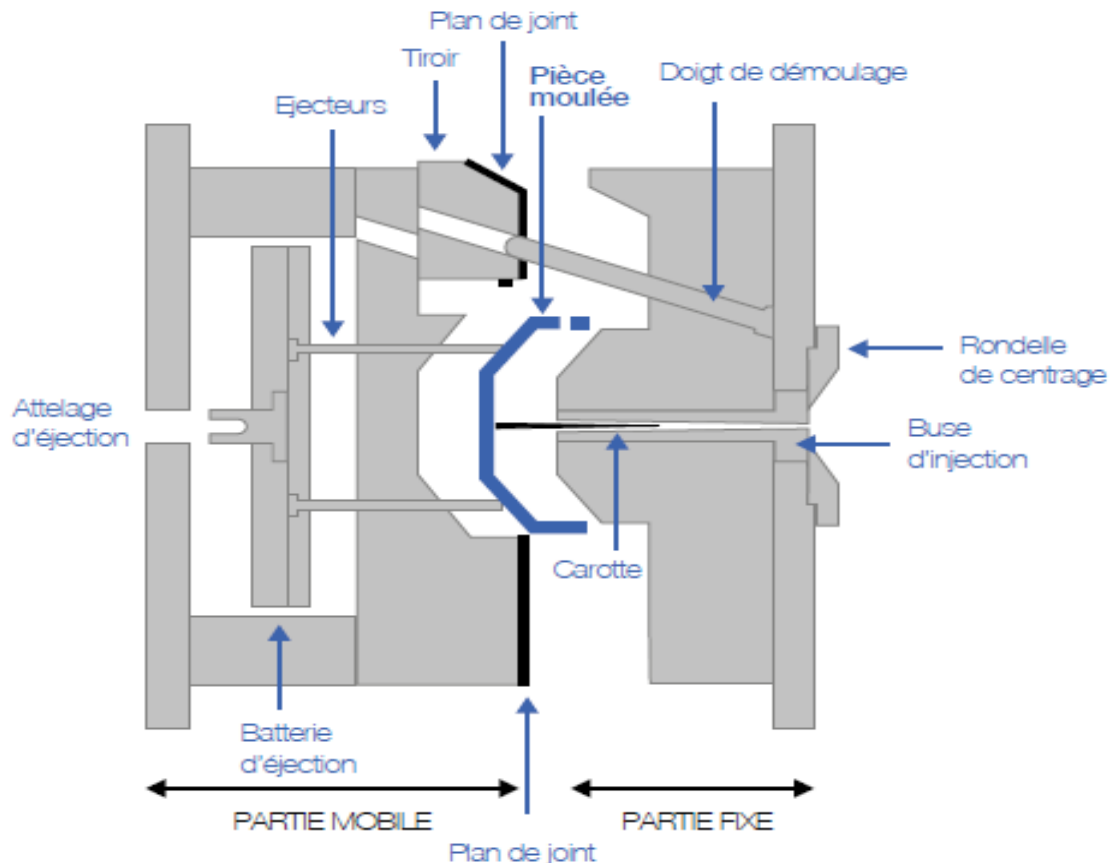
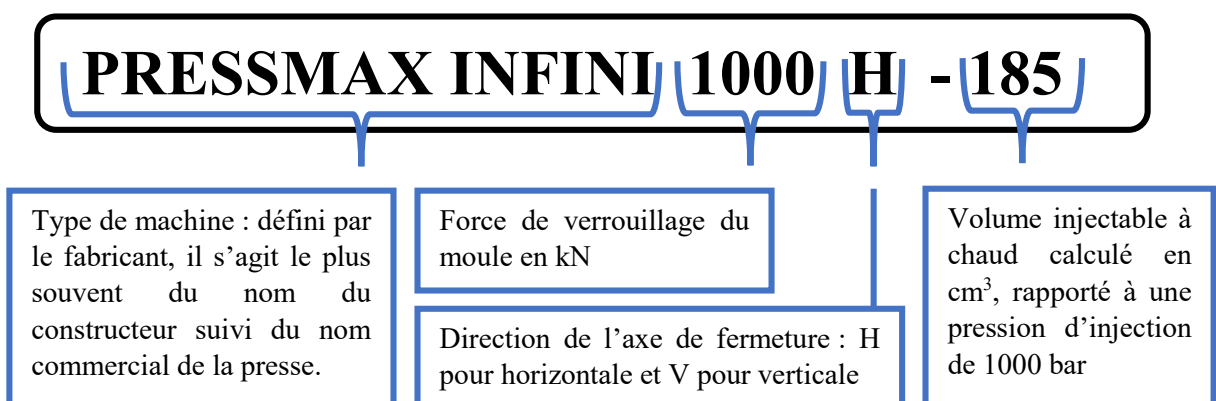


Figure I.13 : Structure d'un moule d'injection plastique [9]

7.3.5. Désignation EUROMAP d'une presse d'injection :

La recommandation EUROMAP 1, qui date de 1983 et qui s'intitule "Description des presses à injecter", propose une dénomination standardisée qui permet de retrouver les principales caractéristiques. On parle couramment de dénomination ou de désignation EUROMAP. C'est celle qui est généralement inscrite en gros et en évidence sur le capotage des presses [1].



7.3.6. Principales caractéristiques techniques des presses :

Les principales caractéristiques techniques des presses d'injection plastique sont :

- Tonnage de la capacité de production.
- Presse à injecter ou presse à surmouler.
- Presse horizontale ou presse verticale.
- Forces de fermeture en kN.
- Solution hydraulique ou solution électrique.

Conclusion :

Le procédé de moulage par injection permet une production continue, automatique et en série, de pièces en matières thermoplastiques, thermodurcissables et en élastomères, avec une grande précision. Les pièces obtenues, de dimensions et de masses très variables (de quelques grammes jusqu'à 50 kg) ont des applications dans tous les domaines d'activités. À titre d'exemple, nous pouvons citer : La visserie de petites dimensions ; des articles utilisés en médecine et en pharmacie ; des pièces mécaniques telles que des engrenages ; des boîtiers ou enveloppes d'appareils et accessoires informatiques, électroménagers ou électriques ; des jouets ; des objets liés à la pratique des sports et des loisirs et pour les plus volumineux, des pare-chocs d'automobiles, des conteneurs de stockage et des éléments de mobilier.

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté deux points essentiels : à savoir les matières plastique et les procédés de mise en œuvre de ces matières.

Dans le prochain chapitre de ce mémoire, nous nous attacherons à présenter les éléments, caractéristiques ainsi que les fonctions d'un moule d'injection plastique.

Chapitre II

Éléments et caractéristiques d'un moule d'injection

Introduction :

Nous avons présenté dans le chapitre précédent des généralités sur les matières plastiques, leurs origines, leurs composantes et leurs familles. Les différentes caractéristiques mécaniques, thermiques et physico-chimiques de ces matières intervenant lors de sa mise en forme. Une synthèse sur les procédés de transformation des matières plastiques, ainsi que le fonctionnement de la presse d'injection ont été présenté. Les différentes éléments, fonctions, types et caractéristiques et les outils nécessaires à la compréhension et à la simulation de la physique d'un moule d'injection plastique feront l'objet de ce chapitre.

1. Éléments constitutifs d'un moule :

Un moule d'injection plastique est un ensemble mécanique de très grande précision qui permet de fabriquer des milliers de pièces en injectant de la matière plastique en fusion dans des empreintes prévues à cet effet. Les éléments constitutifs et les caractéristiques du moule sont complexes et bien spécifiques, que nous allons aborder dans ce chapitre.

La **Figure II.1** illustre les différentes parties d'un moule d'injection plastique.

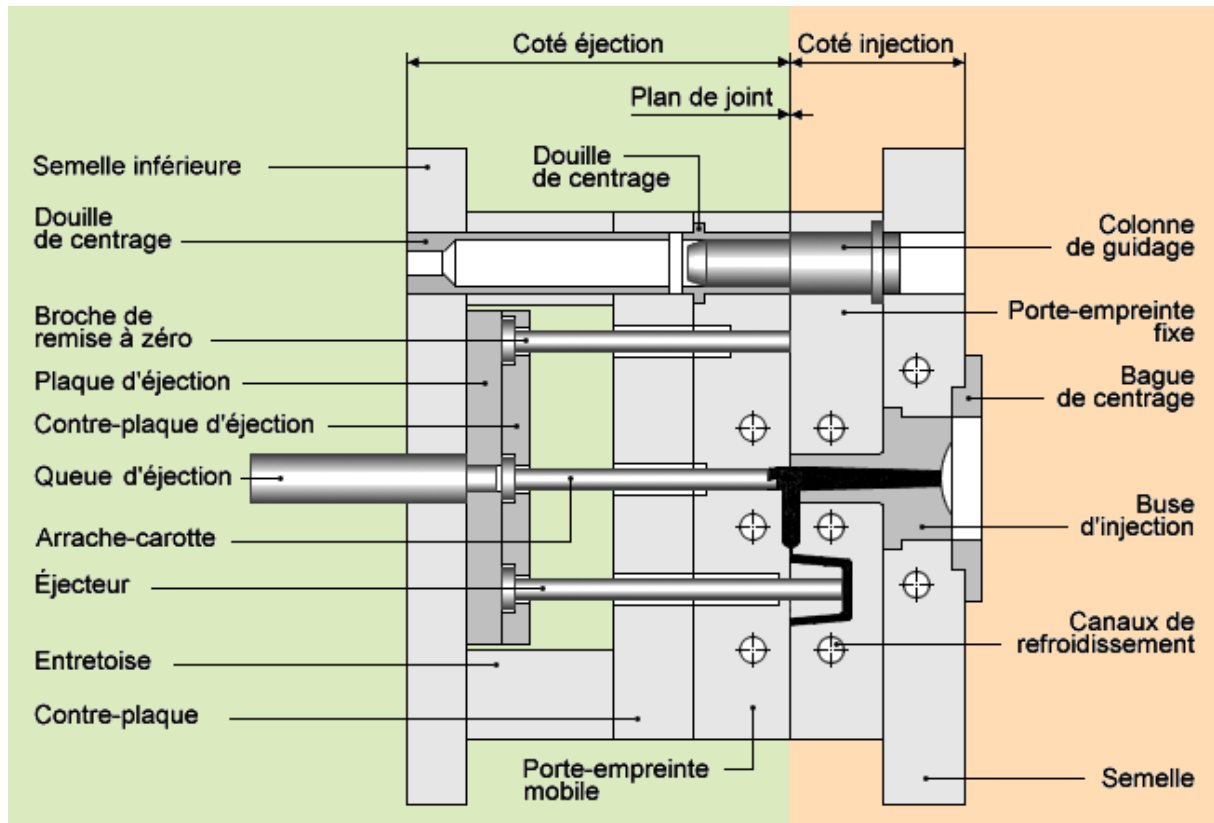


Figure II.1 : Moule d'injection plastique

L'ensemble des éléments d'un moule d'injection plastique sont classés comme suit :

1. Éléments fixes : ces éléments sont :
 - Blocs - matrice (par les petits moules).
 - Plaque ou bloc porte empreintes.
 - Bloc porte poinçons.
 - Contre plaques.
 - Plaques de fixation.
2. Éléments mobiles : les éléments mobiles sont :
 - La plaque d'éjection.
 - Contre plaque d'éjection.
3. Entretoises ou cales : elles sont utilisées dans les moules pour ménager la place des plaques et des contre plaques d'éjection ou pour augmenter la hauteur du moule.
4. Éléments de centrage ou de fixation : ils permettent de fixer le moule sur les plateaux de la machine (presse) et d'aligner le nez de la machine avec la base du moule. Il convient de noter que la fixation proprement des moules sur les plateaux de la presse doit être précise et solide. Ces éléments de fixation sont :
 - Douille de centrage.
 - Bagues lisses.
 - Doigt de démoulage.

- Colonnes butées
 - Colonnes.
 - Bague épaulée.
 - Bague à collerette.
 - Bague frette.
5. Éléments de guidage : ils sont indispensables pour que le moule s'ouvre et se ferme avec précision, afin d'éviter un mauvais positionnement pendant le montage des deux parties. Les éléments de guidage doivent être disposés de façon non symétrique, ce sont :
- Pilotes cylindriques disposés dans le plan de joint.
 - Assemblage conique sur moule cylindrique

2. Fonctions d'un moule d'injection :

Il existe quatre principales fonctions pour un moule d'injection plastique :

2.1. Fonction d'alimentation :

La matière plastique dans son état visqueux doit être acheminée depuis la buse jusqu'à l'empreinte (le moule à cassette permet une alimentation centrée ou basse).

2.1.1. Nombre et disposition des empreintes dans un moule :

La dimension de l'empreinte doit tenir compte du retrait volumique de la matière à mouler. Le nombre d'empreinte dépend du volume de la pièce, c'est un des aspects les plus importants de la conception des moules à empreintes multiples.

Si la pièce est volumineuse, on se limite à une seule empreinte et si elle est petite, on réalise plus d'une empreinte, selon les possibilités pour produire des grandes quantités de pièces en un temps réduit.

Comme il est aussi fonction de quatre critères :

- Capacité d'injection de la machine.
- Distance entre colonnes.
- Distance minimum et maximum entre plateaux et la course du plateau mobile.
- Poids ou le volume maximum injecté.

Les règles élémentaires à respecter sont :

- Grouper les empreintes dans un cercle ayant pour centre la carotte.
- Le remplissage des empreintes doit être simultané et à températures identiques.
- Les canaux d'alimentation seront toujours les plus courts possibles.
- Prévoir suffisamment de place entre les empreintes pour la régulation ainsi que l'éjection.
- L'épaisseur des parois entre les différentes empreintes doit être suffisante pour éviter les déformations dues à la pression dans l'empreinte [11].

2.1.2. Canaux d'alimentation :

Ils assurent la conduite de la matière plastique de la buse jusqu'aux seuils ou canaux secondaires.

Lors de la conception des canaux, il faut respecter certaines règles :

- ✓ Il faut tenir compte d'abord de l'épaisseur de la paroi de la pièce moulée. Le diamètre du canal ne doit à aucun endroit être inférieur à l'épaisseur de la paroi. A partir du point d'injection, le diamètre du canal à chaque ramification doit s'élargir afin de conserver un taux de cisaillement presque constant.
- ✓ Il faut éviter d'alimenter les empreintes les unes au travers des autres. Les dernières cavités ne recevront que de la matière refroidie.
- ✓ Il faut que la longueur des canaux soit la même pour chaque empreinte.
- ✓ Afin de limiter les pertes de charges, il faut éviter les changements brusques de direction, et donc placer des congés de raccordement.
- ✓ Il faut également réduire au minimum la longueur des canaux [11].

✚ Systèmes des canaux équilibrés :

La distribution ou groupement des empreintes est un des aspects les plus importants de la conception des moules à empreintes multiples. Ces empreintes doivent être groupées très judicieusement autour du cône d'injection (carotte) (voir **Figure II.2**) afin d'obtenir dans le moule un remplissage simultané des empreintes [11].

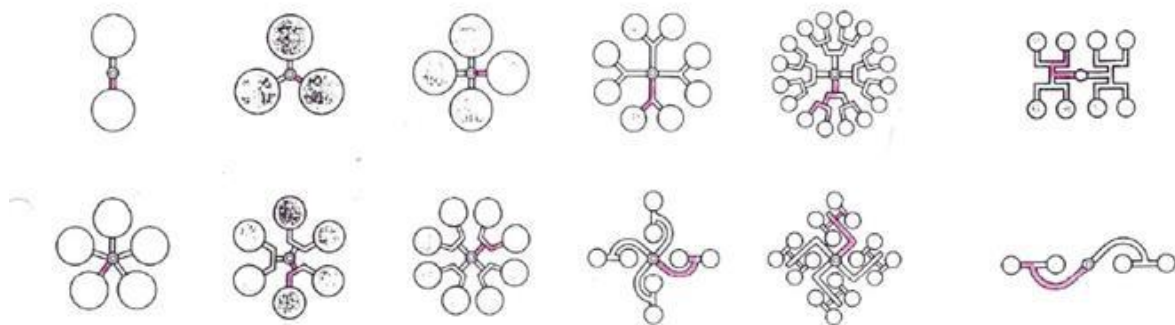


Figure II.2 : Systèmes des canaux équilibrés [11].

✚ Systèmes des canaux non équilibrés :

Il n'est pas toujours possible de grouper les empreintes en forme équilibrées comme le montre la **Figure II.3**.

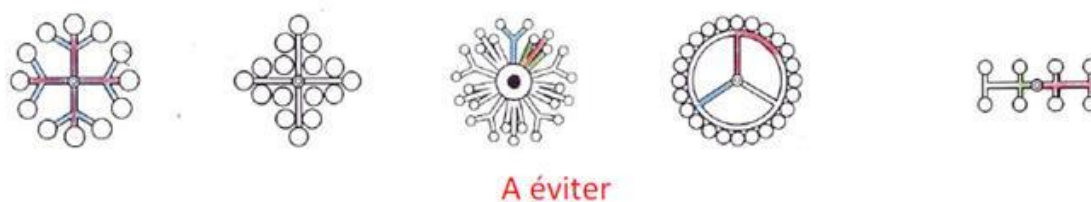


Figure II.3 : Systèmes des canaux non équilibrés [11].

2.1.3. Le point d'injection :

Le point d'injection, c'est par là que la matière entre dans l'empreinte de l'outillage. Sur toute pièce en plastique injectée, il y a un point d'injection. Il se présente généralement sous forme d'un petit picot ou d'une nappe. À la conception de l'outillage, il est important de voir avec le mouliste où sera fait ce point d'injection et de quel type il sera, surtout si c'est une pièce d'aspect. Le choix du point d'injection est du ressort du mouliste. En effet, c'est lui qui dira où et comment le placer afin d'optimiser l'équilibre du moule et de bien remplir la pièce. Le point d'injection peut se trouver au centre de la pièce ou sur un bord extérieur.

Avec un point d'injection au centre, les avantages sont un bon équilibrage des pressions lors de l'injection et une optimisation des dimensions de l'outillage. Ses principaux inconvénients sont la difficulté à couper la carotte d'injection pour les outillages sans buse chaude, et en cas de buse chaude, le coût de cette option qui peut s'avérer prohibitif pour des petites séries. Le point d'injection au centre avec buse chaude est donc à privilégier pour des grandes séries, à contrario, l'injection au centre avec carotte est à privilégier pour la petite série de pièces techniques.

Un point d'injection sur le bord a également des avantages. Il permet notamment une coupe facilitée du canal d'injection, de faire à moindre coût des moules multi-empreintes et de mettre un point sous-marin pour un égrappage automatique. Ses principaux inconvénients sont un potentiel déséquilibre du moule et des lignes de soudure qui peuvent-être plus visibles. Le point d'injection sur un bord sera donc privilégié pour les pièces d'aspects en petite et moyenne série ou dans les cas de moules multi-empreintes à coût modéré [12].

Modes d'alimentation :

Il existe plusieurs modes d'alimentation, la **Figure II.4** illustre les différentes possibilités de point d'injection.

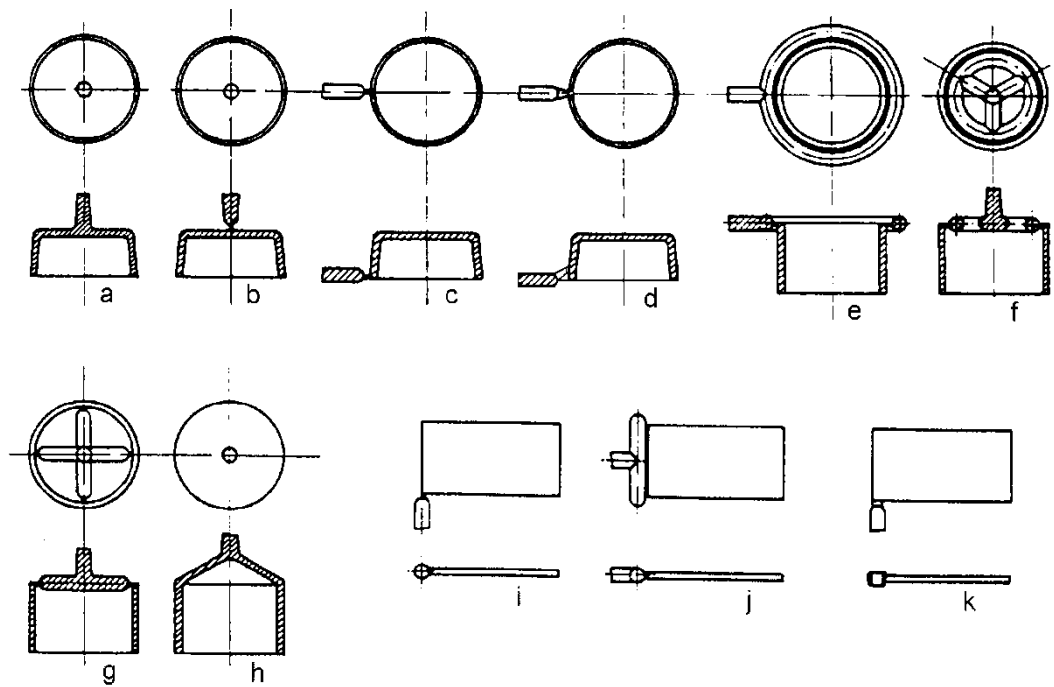


Figure II.4 : Différents modes d'alimentation [13].

A - injection carotte conique dit "injection directe"

B - injection capillaire centrale en pin point, dit "moule 3 plaques"

C - injection latérale directe

D - injection en sous-marin dit "à d'égrappage automatique"

E - injection annulaire externe

F - injection capillaire interne en 3 points

G - injection capillaire en 4 points

H - injection en parapluie

I - injection capillaire latérale

J - injection par voile dans le plan de joint dit "injection en nappe"

K - injection latérale "pleine"

2.1.4. Buse d'injection :

Après fermetures du moule, la buse de la machine est forcée contre la buse d'injection pour fermer hermétiquement le point de transition entre la presse et le moule qui est alors soumis à une grande force locale relativement rapide, c'est la raison pour laquelle on utilise des pièces rapportées (inserts).

- Contact plan : rarement utilisé nécessité de grande pression de contact.
- Contact courbé : plus souvent utilisé pour un meilleur contact.
- $DN \geq DS + 1$ [11].

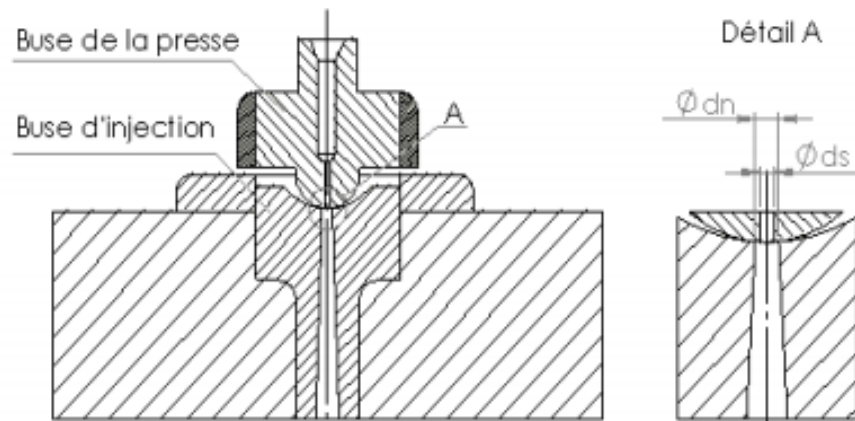


Figure II.5 : Contact courbé entre buse de la presse et buse d'injection [11].

Afin d'extraire la carotte de la buse lors de l'ouverture du moule, il faut :

- Une cheminée de forme conique est croissante.
- Sans aspérités, la cheminée doit avoir une conicité de 4° environ (8%).
- Rayon Buse Moule > Rayon Buse Presse pour éviter les bavures.
- Diamètre de base > Largeur canal primaire ou épaisseur maxi de la pièce [11].

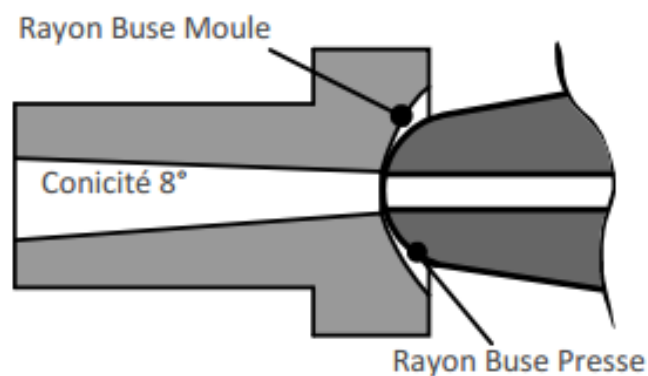


Figure II.6 : Contact courbé entre buse de presse et buse d'injection [11].

2.1.5. Forme de la section des plans des canaux :

Il y a plusieurs formes de la section des plans des canaux (voir **Figure II.7**), la forme la mieux adaptée est la section circulaire ou demi-circulaire, la surface doit être parfaitement polie pour éviter le collage.

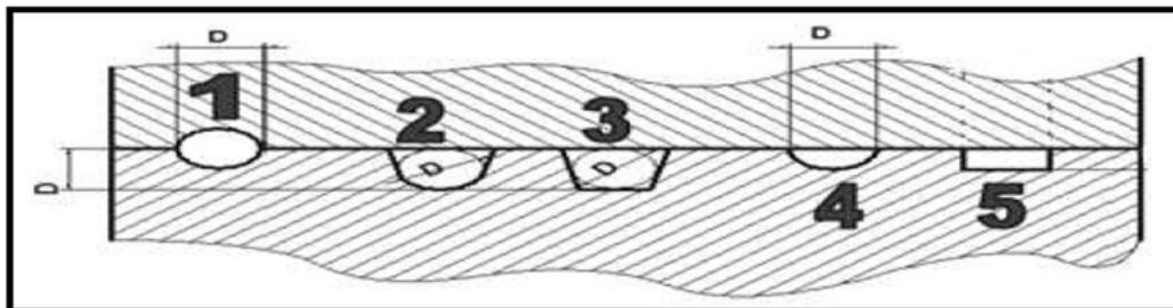


Figure II.7 : Les différents types de canaux d'alimentation

2.2. Fonction refroidissement :

Le système de refroidissement est formé d'un circuit d'eau fermé, il est intégré à l'intérieur du moule. Le refroidissement (à eau) est réglé suivant les caractéristiques thermiques de la matière plastique [11].

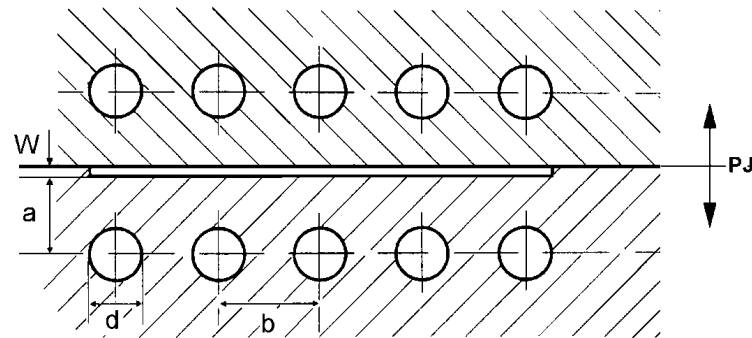
2.2.1. Circuit de refroidissement :

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

- Du mélange plastique (température, masse, chaleur spécifique).
- De la température de démoulage [11].

2.2.2. Refroidissement du moule :

Le refroidissement du moule doit permettre de refroidir l'article rapidement et régulièrement. Un refroidissement rapide est important pour des raisons d'économie de production, tandis qu'un refroidissement régulier est très important pour des raisons qualitatives. Un bon dimensionnement et un bon emplacement des canaux de refroidissement sont, à cet égard, d'une importance capitale. Les parties du moule qui sont le plus fortement chauffées par la matière fondue, c'est-à-dire l'environnement du seuil d'injection et la partie située en face, doivent être refroidis le plus intensivement. On y parvient au mieux en construisant des circuits de refroidissement courts, indépendants les uns des autres qui seront installés symétriquement par rapport aux empreintes (voir **Figure II.8**) [13].



"W" : épaisseur de paroi de la pièce (mm)	"d" : diamètre des canaux (mm)	"a" : entre-axe vis à vis des empreintes	"b" : entre-axes des canaux
2 2 - 4 4 - 6	8 - 10 10 - 12 12 - 14	1,5 - 2 d	2 - 3 d

Figure II.8 : L'emplacement des canaux de refroidissement [13].

Le meilleur refroidissement n'existe pas mais on doit s'en approcher en vérifiant que les cercles tendent vers une fonction linéaire, en étant pas trop éloignés de la pièce [13].

2.2.3. Le temps de cycle :

Un cycle complet peut se décomposer de la manière suivante :

- Cycle à vide de la machine (mouvement de la presse) donné par les constructeurs ou relevé dans l'atelier.
- Temps de remplissage obtenu théoriquement si on connaît le débit de la presse et le poids de la pièce.
- Temps de refroidissement établi par calcul.
- Pourcentage de temps rajouté ou non en fonction de l'expérience ou des difficultés particulières de démoulage (bossages, nervures, mouvement de coquilles, etc.) [11].

2.2.4. Temps de refroidissement :

C'est le temps mis par la matière injectée pour atteindre sa température maximale autorisant le démoulage. L'échange de chaleur entre la matière plastique et le fluide de refroidissement se fait grâce à la conduction thermique [11].

2.3. Fonction mise en forme :

La fonction mise en forme doit permettre d'obtenir une pièce conforme au cahier des charges mais surtout une pièce qui soit démoulable sans problème.

2.3.1. Forme de la pièce injectée :

La forme de la pièce se fait par l'empreinte qui se répartit entre les deux parties (fixe et mobile) du moule et d'autres éléments auxiliaires tels que les tiroirs.

✓ Cinématique d'ouverture des tiroirs :

Dans un premier temps, le moule s'ouvre par l'intermédiaire du plateau mobile de la presse ; les tiroirs suivent la génératrice du doigt incliné et s'écartent de la pièce (phase 1) ; les tiroirs sont complètement reculés, les doigts ont quitté le moule qui continue à s'ouvrir, l'éjection est faite par un tubulaire [13].

2.4. Fonction éjection :

Après solidification de la matière injectée, le moule est ouvert et la pièce (ou les pièces) formée doit être éjectée. Cette évacuation doit être réalisée sans rupture de la pièce, ni marques, ni déformation et sans efforts importants. Cette fonction est assurée par des dispositifs mécaniques, pneumatiques ou hydrauliques.

2.4.1. Types d'éjecteur :

Il existe plusieurs architectures d'éjecteurs, selon la conception de la pièce à moulée et les difficultés d'usinage. Ci-dessous quelques exemples :

a) Ejecteurs cylindriques :

Les tiges d'éjecteurs cylindriques (voir **Figure II.9**) sont les éléments les plus utilisés pour le démoulage. Ces éjecteurs doivent être situés judicieusement sur la pièce et en nombre suffisant, de façon à éjecter la pièce sans dommage ni déformation [11].

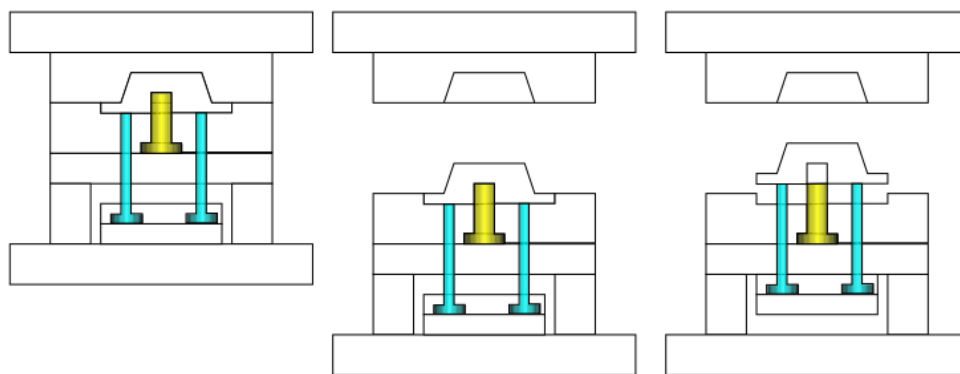


Figure II.9 : Ejecteurs cylindriques [11].

b) Ejecteurs tubulaires :

Pour certaines pièces à noyau central cylindrique, l'éjection peut se faire avantageusement à l'aide d'un éjecteur tubulaire ou annulaire (voir **Figure II.10**). Il s'agit d'un tube qui coulisse sur la broche (qui sert de noyau fixe) et vient pousser la pièce sur une surface plane et circulaire. Cette solution est intéressante mais plus coûteuse qui nécessite un verrouillage en position de la broche centrale [11].

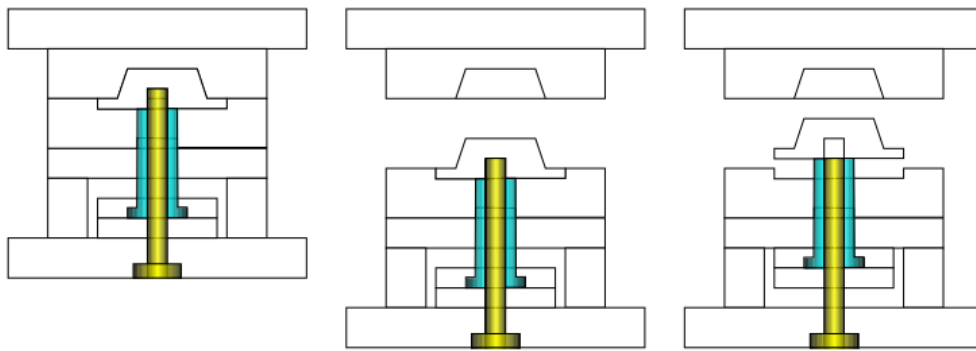


Figure II.10 : Ejecteurs tubulaires [11].

c) Ejecteur plaque :

Les pièces à parois minces, déformables peuvent être éjectées par une plaque de dévissage (voir **Figure II.11**).

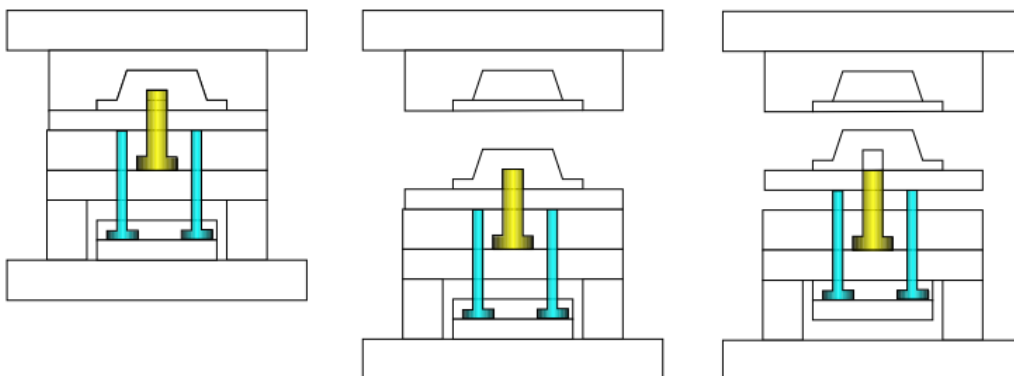


Figure II.11 : Ejecteur plaque [11].

d) Ejecteur latéral :

Dans le cas d'une éjection latérale, les dimensions des éjecteurs doivent être déterminées en fonction de l'épaisseur de la paroi et de la résistance de la matière, si :

- $e < 2,5\text{mm}$; éjecteur $\varnothing 3$.
- $e = 3$; éjecteur $\varnothing 5$. $e \geq 3$;
- éjecteur $\varnothing 10$ [11].

e) Éjecteur à lame :

Les lames usinées (voir **Figure II.12**) ou rapportées permettent d'éjecter des pièces peu épaisses. Les éjecteurs à lame doivent être guidés pour éviter les risques de flexion ou de flambage [11].

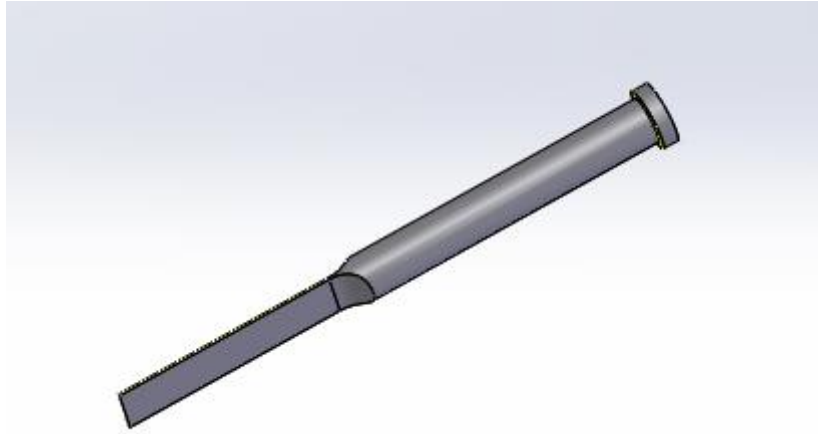


Figure II.12 : Éjecteur à lame [11].

3. Types des moules :

Il existe plusieurs et différentes architectures des moules, selon la conception de la pièce à moulée, les difficultés d'usinage et de moulage ainsi que la presse utilisée. Parmi ses différentes architectures, nous nous présentons quelques exemples :

3.1. Moule à deux plaques (moule classique) :

Ce type de moule consiste en deux parties (voir **Figure II.13**) qui se séparent (en plan de joint) à l'ouverture, de sorte que la pièce puisse être éjectée [13].

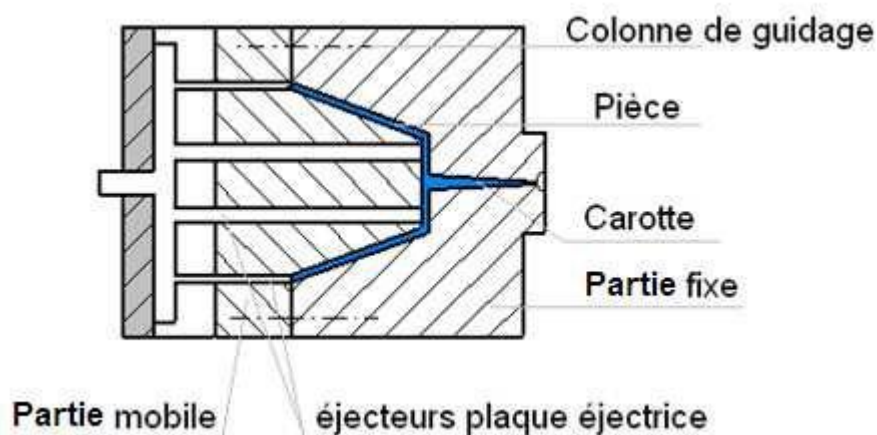


Figure II.13 : moule à deux plaques [11].

3.2. Moule à trois plaques :

Ce système est généralement utilisé pour la construction des moules à empreintes multiples (**Figure II.14**), dont le point d'injection est central, à titre d'exemple les bouchons, couvercles et pignons. À l'ouverture de la machine, deux séparations se produisent : la première au niveau du canal d'alimentation. Le seuil d'alimentation est ainsi cassé, éjecté et séparé de la pièce. La deuxième ouverture consiste à ouvrir le moule en plan de joint 2, puis à éjecter la pièce [13].

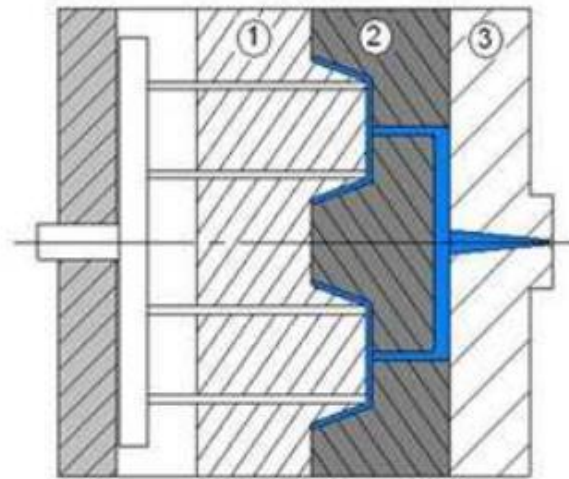


Figure II.14 : Moule à trois plaques [11].

3.3. Moules à Tiroirs :

Ce moule permet de sortir des pièces offrent des parties en contre dépouille (**Figure II.15**). Les doigts ① qui commandent les parties coulissantes (②) sont montés avec un angle de 25° maximum du côté injection du moule. Cet angle ne doit pas être plus grand car les grandes forces qui s'exercent sur ces doigts de commande pendant l'ouverture et la fermeture seraient la source de problèmes. Le coin de blocage aura 3° de plus d'inclinaison que le doigt lui-même pour éviter un blocage (grippage) [13].

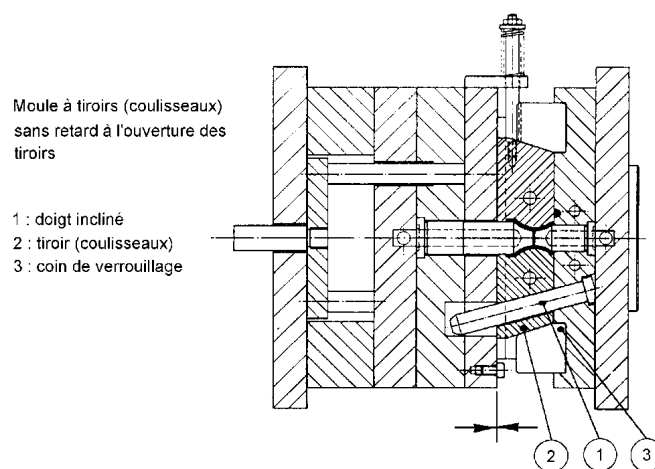


Figure II.15 : Moules à Tiroirs [13].

3.4. Moule à coquille :

Ce moule permet de réaliser les contres dépouilles extérieures (**Figure II.16**), mais il est toujours demandé de prendre soin de la fermeture du moule et surveiller la fermeture de la machine [11].

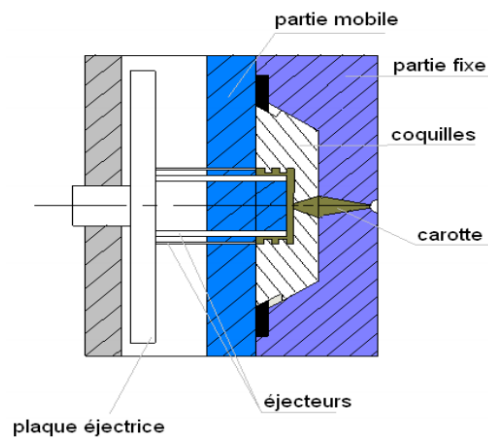


Figure II.16 : Moule à coquille [11].

3.5. Moules à canaux chauds :

Ces systèmes sont élaborés dans les moules qui consistent en une extension du nez du cylindre d'injection. L'avantage de ces systèmes réside dans une économie de matière et des canaux d'alimentation. Le fonctionnement sera traité plus loin (**Figure II.17**) [13].

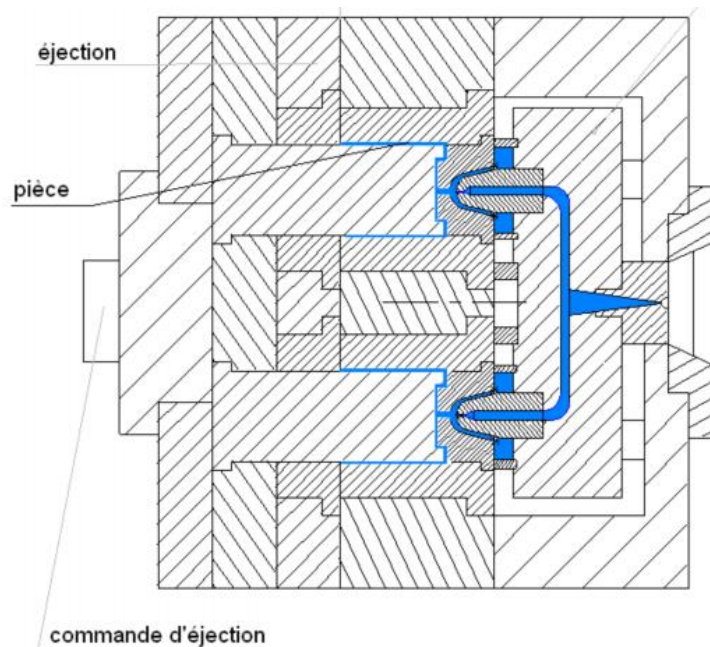


Figure II.17 : Moules à canaux chauds [11].

4. Caractéristiques d'un moule :

Le moule est un outil qui comporte une exigence de précision très élevée. Même les moules pour pièces simples sont complexes. La qualité et la durabilité du produit moulé dépendront en grande partie du moule lui-même.

4.1. Ligne de joint :

Les lignes de joints sont des « marques » sur la pièce démoulée qui résultent du contact de différents éléments de l'outillage participant au morcelage de l'empreinte. Il existe trois types de lignes de joints :

4.1.1. Ligne de joint extérieure ou externe :

On appelle ligne de joint extérieure la trace que le plan de joint de l'outillage laisse sur les pièces. Elle résulte du contact entre la partie mobile et la partie fixe de l'outillage. Elle sera toujours une ligne dite « fermée ». Plus l'outillage sera soigné et de qualité, moins la ligne de joint sera visible.

4.1.2. Ligne de joint intérieure ou interne :

On appelle ligne de joint interne la trace que laissent les éléments de formes moulantes telles que les broches, les poinçons et les noyaux. Lorsque ces derniers viennent en contact avec la partie opposée du moule (fermeture).

4.1.3. Ligne de joint auxiliaire :

On appelle ligne de joint auxiliaire la trace laissée par les éléments moulants tels que les tiroirs et les cales pentes [11].

4.2. Plan de joint :

Il est matérialisé par un plan tangent commun à la partie fixe et à la partie mobile de l'outillage. Il peut être décalé en fonction de l'outillage (tiroirs, poinçon...). Dans certains outillages on peut en avoir plusieurs (moules 3 plaques).

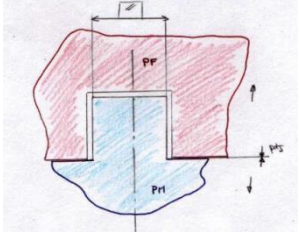
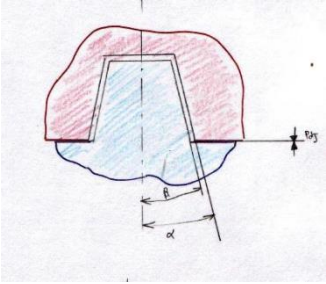
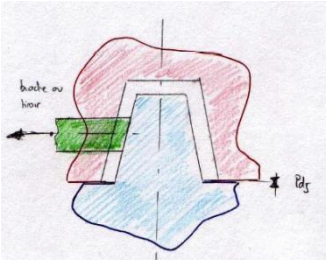
Les facteurs qui influent sur le nombre de plan sont :

- La géométrie de la pièce.
- Le nombre d'empreintes.
- Le type d'injection.
- Le principe de démoulage [11].

4.3. Dépouilles et contre dépouilles :

Il existe différentes formes de dépouilles qui sont résumées dans le **Tableau II.1**.

Tableau II.1 : Dépouilles et contre dépouilles [11]

Forme non dépouillée	Le démoulage est difficile, voire impossible car il y a un frottement important entre les formes moulantes de l'empreinte (poinçon) et la matière solidifiée. Ces frottements sont dus essentiellement au retrait de la matière lors de son refroidissement dans l'empreinte.	 Figure II.18 : Forme non dépouillée
Forme dépouillée	Mettre des angles de dépouilles facilite le démoulage de l'empreinte. En général les angles de dépouille intérieure sont plus importants que les angles de dépouilles extérieures (retrait). β : angle de dépouille intérieur. α : angle de dépouille extérieur.	 Figure II.19 : Forme dépouillée
Formes-en contre dépouille	C'est la surface formant empêchant un démoulage dans une direction perpendiculaire au plan de joint. Lors de la conception d'une pièce on évitera au maximum les surfaces en contre-dépouille car elles entraînent un moule.	 Figure II.20 : Formes-en contre dépouille.

4.4. Les événements :

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

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

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

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

L'effet diesel : c'est une auto-inflammation de l'air ou de gaz monomère n'ayant pas réussi à s'échapper du moule, provoquant sur les pièces des traces noires (matière carbonisée). Elles se trouvent en général :

- Proche des lignes de soudures.
- Dans les alvéoles borgnes.
- Sur les bords des pièces [11].

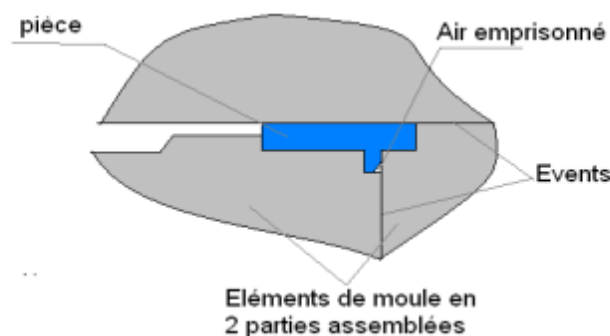


Figure II.21 : Un événement [11]

4.5. Retrait de la matière injectée :

Lorsqu'on chauffe un corps, la distance intermoléculaire augmente, et par conséquent son volume. Donc après avoir injecté un volume de matière (ex : à 200°C pour le PS), lors du refroidissement à 20°C, on observe une diminution du volume de la pièce. L'évolution précise du retrait est toujours difficile, quelle que soit la matière plastique,

il convient, même pour les professionnels de procéder à des expérimentations. Le retrait est en fonction de nombreux paramètres (épaisseur de parois, température du flux, temps de maintien en pression, pression d'injection).

- Le retrait augmente avec l'élévation de la température du moule.
- Le retrait augmente avec l'épaisseur des parois de la pièce.
- Le retrait diminue avec la pression d'injection.
- Le retrait diminue avec le temps de maintien [14].

5. Fixation d'un moule :

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

5.1. Fixation par vis :

Le **Tableau II.2** montre les avantages et les inconvénients de la fixation par vis.

Tableau II.2 : Avantages et inconvénients de la fixation par vis

Avantage	Inconvénients
Fixation très simple et fiable, il n'y a pas de besoin de cales (la plaque du moule faisant office de cales). Bonne accessibilité pour le serrage.	Les trous taraudés doivent avoir des entraxes identiques sur tous les plateaux de presses pour permettre l'interchangeabilité des moules.

5.2. Bridage :

C'est aussi le procédé qui demande le plus de soin et d'attention lors du montage. En effet, il faut que la cale qui sert d'appui pour la bride soit de hauteur équivalente à la plaque du moule ou très légèrement supérieure. Sinon le bridage n'est pas solide et les vis risquent de se tordre (voir **Figure II.22**).

Il convient de souligner que la vis qui sert à bloquer la bride soit le plus près possible de l'objet à brider [15].

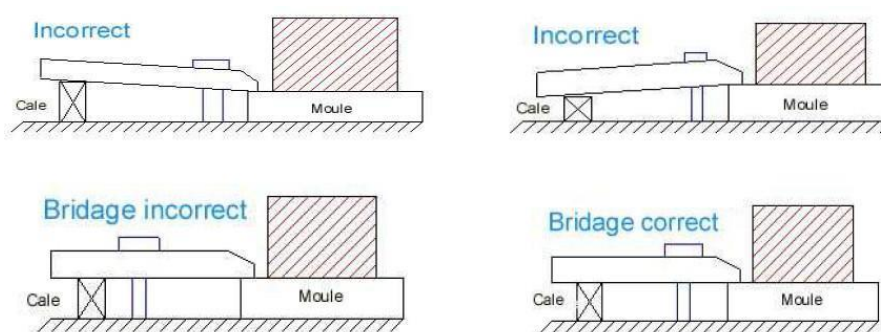


Figure II.22 : Procédé de bridage [15].

6. Lignes de soudure :

Les points où les coulées de polymère se rencontrent, appelés lignes de soudure (**Figure II.23**), ont une importance sur la qualité et l'aspect de l'objet moulé (des méthodes informatiques permettent aujourd'hui de déterminer avec le minimum d'erreur, la position de ces lignes de soudure) [13].

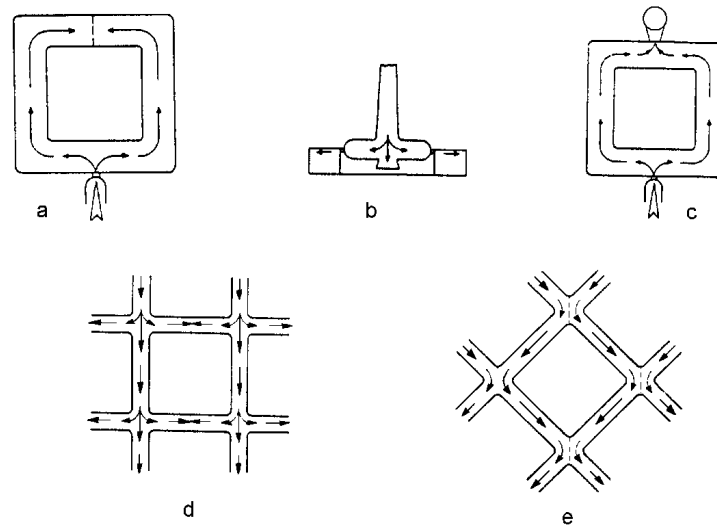


Figure II.23 : Lignes de soudure [13].

Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les principales éléments, fonctions, types et caractéristiques d'un moule d'injection plastique, les différents types de fixation nécessaires à la compréhension du fonctionnement de ce dernier. La maîtrise de l'application de ces notions de bases autorise une analyse locale du comportement de la matière plastique dans un moule.

Dans notre présent mémoire, nous adopterons tous ces paramètres pour l'étude et conception du moule d'injection plastique pour bouchon fileté 6 pans creux exigé dans le cahier de charges présenté par l'entreprise FMPI.

Chapitre III

Étude et conception du moule

Introduction :

L'étude et la conception d'un moule constitue la plus importante étape dans le processus de production du produit, Cette étude fait appel à des connaissances qui s'étalent sur une diversité de problème : thermique, mécanique, rhéologique, etc.

Dans ce chapitre nous allons présenter premièrement la pièce réelle qui nous cherchons à produire, sa fonction, emplacement, ses caractéristiques et dimensions. Ensuite, nous mettrons en évidence le logiciel de la conception SolidWorks® et de la simulation de l'injection plastique SolidWorks Plastics. A cet effet, nous exposerons les fonctionnalités de ces derniers et nous justifierons leurs utilisations. Puis, nous présenterons la pièce moulée et ses exigences géométrique et mécaniques, ensuite nous justifierons le choix de la matière plastique utilisée pour l'injection. Par la suite, nous évoquerons une présentation de la conception de notre moule, les détails sur le choix de système de commande et les caractéristiques mécaniques et géométriques de moule en globale et chacune de ses pièces en détaille. L'analyse et la dissertation de résultats obtenus feront l'objet des dernières sections de ce chapitre. La cinquième section est dédiée à la simulation de l'injection, où nous expliciterons les étapes de la simulation et les résultats abordées. Tandis que la sixième section est dévouée au calcul et vérification.

1. Modèle de la pièce à réaliser :

La **Figure III.1** présente la pièce à produire par l'injection plastique. Elle s'agit d'un bouchon fileté 6 pans creux en matière laiton avec filetage extérieur de profile à gaz (1/4).



Figure III.1 : Bouchon fileté 6 pans creux utilisé par SARL FMPI

1.1. Fonctions et emplacement :

Le bouchon fileté 6 pans creux avec filetage extérieur de profil à gaz (1/4) est une pièce de tuyauterie très utilisée en plomberie, en hydraulique et en pneumatique. Elle est utilisée par l'entreprise SARL FMPI dans les circuits de refroidissement (voir **Figure III.2**) dans les moules d'injection plastique et les moules de soufflage.

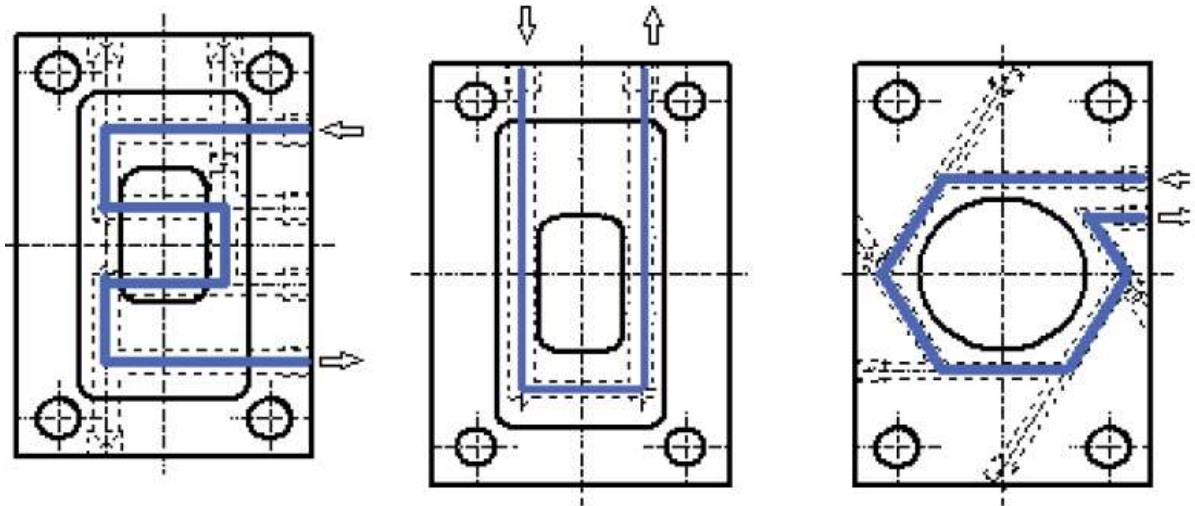


Figure III. 2: Utilisation du bouchon fileté 6 pans creux dans le circuit de refroidissement

1.2. Caractéristiques et dimensions :

1.2.1 Type de filetage :

Le filetage de la pièce fabriquée est un profil à gaz $\frac{1}{4}$ (**Figure III.3**). Il convient de souligner que, dans cette étude, on s'intéressera à ce profil de filetage à cause de l'étanchéité.

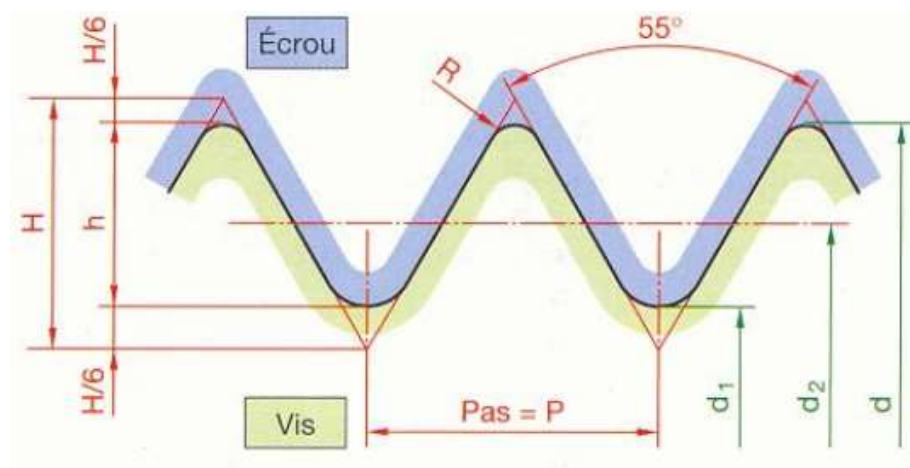


Figure III. 3 : Filetage de type profil à gaz [16]

Avec : $H = 0.960491 \times P$, $h = 0.640327 \times P$ et $R = 0.137329 \times P$

Le **Tableau III.1** illustre les diamètres et les pas de filetage de tuyauterie profil à gaz pour chaque dénomination.

Tableau III. 1 : Filetage de tuyauterie profil à gaz [16].

Dénomination	1/8	1/4	3/8	1/2	3/4	1
P (mm)	0.907	1.337	1.337	1.814	2.309	2.309
Nombre de pas dans 25.4 (mm)	28	19	19	14	11	11
d (mm)	9.728	13.157	16.662	20.995	33.249	33.249
d ₁ (mm)	8.566	11.445	14.950	18.631	30.291	30.291
d ₂ (mm)	9.147	12.301	15.806	19.793	31.770	31.770

1.2.2 Dimensions :

Le **Tableau III.2** et la **Figure III.4** présentent les dimensions de notre pièce à produire (bouchon fileté 6 pans creux avec filetage extérieur de profile à gaz (1/4))

Tableau III.2 : Dimensions du bouchon

Symbole	Dimensions (mm)
F	6
E1	5.5
H	9
E2	3.5
G	13.157

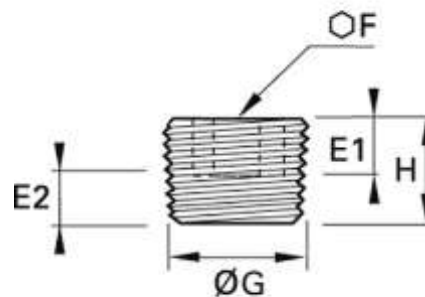


Figure III.4 : Dimensions du bouchon

1.2.3 Matériau et caractéristiques mécanique :

Le **Tableau III.3** illustre la fiche technique de la pièce à produire.

Tableau III.3 : Fiche technique de la pièce

Forme	Bouchon
Matière	Laiton
Pression maxi d'utilisation	250 bar
Température d'utilisation	-40 à 150 °C

2. Présentation du logiciel SolidWorks® :

SolidWorks® est également connu sous le nom de « DSS Solidworks ». DSS désigne Dassault Systems, qui est le développeur de ce logiciel de CAO. Il s'agit d'un logiciel de CAO qui permet de créer des modèles solides 2D ou 3D sans aucune complexité, plus rapidement et de manière rentable. L'avantage principal du modélisateur solide est qu'il est très facile à utiliser, l'interface utilisateur graphique simple et beaucoup plus amicale, par rapport à d'autres logiciels de modélisation solide CAD. Il contient la modélisation solide, Motion, Simulation, Boîte à outils, TolAnalyst, Circute Works, PhotoView 360, ScanTo3D, éditeur DWG et Plastics.

SolidWorks® est considéré comme un logiciel de CAO avec Haute productivité (jusqu'à 95%). Il offre une meilleure visualisation de conception, concevoir de meilleurs produits, des itérations de conception plus rapides, des communications améliorées, la conception avec moins d'erreurs, crée des designs de produits avec plus d'esthétique et répond également aux exigences des clients / clients.

SolidWorks® a une vaste gamme d'applications dans des industries telles que l'aérospatiale, la défense, l'automobile, le transport, les produits de consommation, l'électronique, usine de traitement, la conservation de l'énergie, la construction, l'équipement lourd, machines, outils médicaux, Mold & prestations de service. Il aide à concevoir différents produits et services, les tester de manière très rentable comme le modèle et le prototype de test. Et surtout il propose des simulations faciles à utiliser pour l'analyse des pièces en plastique et des moules à injection.

Le DSS SolidWorks Corp. développe également d'autres produits logiciels, ce qui aide dans diverses sections d'ingénierie, en particulier pour la mécanique. Il s'agit de CAO 3D, Simulation, Gestion de données produit, Communication technique, Conception électrique et 3D expérience. Ce modélisateur CAO n'est pas limité aux ingénieurs mécaniciens ; D'autres filières techniques (spécialement pour l'électricité et le civil) et les concepteurs de produits peuvent convertir les idées de nouveaux produits en réalité [17].

2.1. SolidWorks Plastics :

SolidWorks Plastics regroupe toutes les fonctionnalités nécessaires pour la conception de pièces plastiques et moules par injection plastique. Dès les premières étapes du processus de conception, SolidWorks Plastics permet d'optimiser la fabricabilité des pièces et des moules, tout en anticipant la conception du système d'alimentation, afin d'éviter les modifications coûteuses des moules. Avec ses fonctionnalités de simulation avancées, SolidWorks Plastics permet également aux utilisateurs d'analyser la représentation schématique de la ligne de refroidissement du moule et de prévoir le gauchissement des pièces moulées [18].

Description :

Le logiciel de simulation de moulage par injection plastique SolidWorks Plastics est capable de prévoir l'écoulement du plastique en fusion au cours du processus de moulage par injection, la méthode de fabrication utilisée pour produire plus de 80% des produits en plastique. La possibilité de prévoir l'écoulement du plastique permet d'anticiper les défauts de fabrication. Par ailleurs, SolidWorks Plastics peut simuler les déformations de pièces et prévoir le

refroidissement optimal des moules, les paramètres de fabrication ou la matière plastique utilisée. SolidWorks Plastics permet de corriger, voire éliminer, les éventuels défauts, tout en faisant des économies d'énergie, de ressources naturelles, de temps et d'argent [18].

2.2. Fonctionnalités de SolidWorks Plastics :

Avec ce logiciel de simulation SolidWorks Plastics, il est possible :

- **D'optimiser le poids des pièces plastiques** : estimation du temps de compactage, test du poids et du coût de différents matériaux ;
- **De simuler les déformations des pièces plastiques** : optimisation de la faisabilité des pièces dès le début du processus de conception pour gagner du temps et réduire vos coûts ;
- **De créer et analyser rapidement des ébauches de moules** (à empreinte unique, de moules multi-empreintes, moules composites...) : contrôle de la manière dont la cavité du moule se remplit automatiquement, simulations de refroidissement du moule ...
- **D'améliorer les systèmes d'injection** (équilibre des systèmes d'alimentation, optimisation des seuils...).

Aussi SolidWorks Plastics offre :

- Maillage automatique du modèle (volumique ou coque) ;
- Visualisation instantanée du remplissage lors du calcul ;
- Extraction d'une multitude de résultats (durée, température, vitesse, pression, ...) ;
- Génération automatique de rapport d'analyse rhéologique ;
- Traitement de la co-injection et la multi-injection ;
- Injection assistée au gaz ;
- Équilibrage des canaux ;
- Analyse des fibres liées à l'injection ;
- Calcul des déformés du modèle dans les trois directions ;
- Simulation des canaux de refroidissement du moule ;
- Analyse du refroidissement.

2.3. Pourquoi choisir SolidWorks Plastics ?

Avec SolidWorks Plastics, nous disposerons d'une solution logicielle qui nous permet :

- D'éviter les modifications coûteuses des moules en créant et analysant des représentations des lignes de refroidissement ;
- D'améliorer la qualité des pièces plastiques et des moules ;
- De réduire les délais de mise sur le marché [18].

3. Modèle de la pièce moulée :

La Figure III.5 montre la pièce en 3D, dessiné avec logiciel de conception SolidWorks®, du bouchon fileté 6 pans creux avec filetage extérieur de profil à gaz (1/4), qu'on voudrait produire par injection plastique. Dans un premier temps, il est nécessaire de choisir la matière plastique qui convient pour pouvoir répondre aux exigences de la pièce en service.

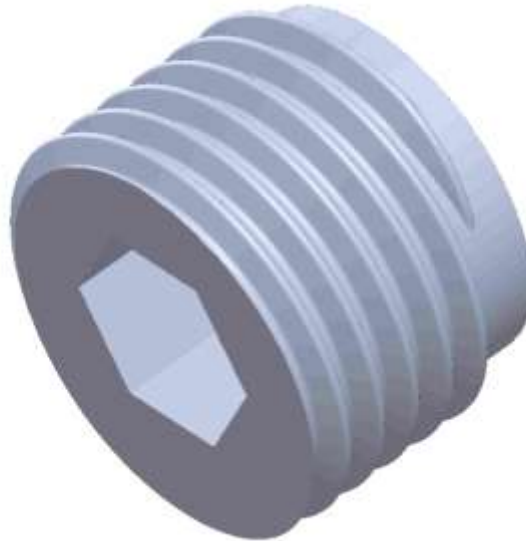


Figure III.5 : Bouchon fileté 6 pans creux dessiné par SolidWorks®

3.1. Exigences de la pièce moulée :

Le Tableau III.4 représente les caractéristiques générales de la pièce à produire

Tableau III.4: Exigences de la pièce moulée

Le poids	Le volume	Dimensions	Filetage	Clé Allen	Sens de l'hélice
0.95 g	843.91 mm ³	Voir tableau (2)	Profil à gaz (1/4)	6 mm	À droite

3.2 Matière plastique utilisée pour l'injection :

Sélectionner une matière pour l'injection plastique n'est pas chose aisée. À ce jour, il existe plusieurs milliers de matières plastiques destinées à des applications commerciales. Chaque plastique se distingue par ses propriétés mécaniques, thermiques et électriques. La fiche technique standard d'une matière contient toutes ses caractéristiques et permet de mieux comprendre ses spécificités. Idéalement, la sélection d'une matière plastique se fait en analysant l'ensemble des contraintes concernant l'application de la pièce.

3.2.1. Analyser de besoin :

Il s'agit ici de se poser les bonnes questions pour que la matière plastique choisie soit adaptée au besoin.

➤ **Utilisation :** Il est certain qu'une pièce plastique utilisée dans un mécanisme ne subira pas les mêmes contraintes qu'une simple pièce d'ornement. Voici donc quelques pistes de réflexion qui aide à définir le besoin :

- Quelle sera l'application de la pièce ? Pièce d'aspect (esthétique) ou technique (Fonctionnelle).
- Où la pièce plastique va-t-elle être utilisée ? : intérieur, extérieur, environnement
- Quand allons-nous utiliser le produit ? l'hiver, l'été, la nuit, le jour...
- Comment le produit va t'il être utilisé : Ponctuellement, régulièrement, en Continue.

➤ **Durée de vie :** Les caractéristiques de la matière plastique évoluent dans le temps. Plus la durée de vie augmente, plus les contraintes admissibles diminuent.

Définir la durée de vie du produit est indispensable pour réaliser un choix avisé concernant le type de plastique à injecter.

➤ **Environnement :** Les facteurs extérieurs tels que les composés chimiques, la température, l'exposition aux UVs ou encore l'électricité auront tous un impact sur la durabilité d'un plastique.

Parmi ces facteurs, la température est indéniablement la variable 1 à considérer avec le plus d'attention. L'exposition aux UVs est la variable 2.

➤ **Esthétique :** Fini l'époque où un produit se devait d'être simplement fonctionnel. L'esthétique fait aujourd'hui partie intégrante du processus de création.

Lisse, rugueux, transparent, brillant, mat, décoré... Les possibilités sont vastes à la condition que la matière puisse résister aux contraintes du projet.

3.2.2. Choisir la matière à injecter :

Comme nous l'expliquions dans sous-section précédente, réaliser une étude technique complète de la pièce afin de choisir une matière plastique est l'idéal. Dans les faits, il est possible d'orienter ce choix de manière simple et rapide.

Dans un premier temps, évaluez si l'un de ces 11 matières plastiques (parmi les plus utilisés en injection plastique) peut convenir à notre besoin.

Le tableau ci-dessous (**Tableau III.5**) montre une comparaison des caractéristiques des principaux plastiques utilisés en injection plastique.

récapitulatif des principales matières plastique utilisées [12]

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

En se basant sur les facteurs les plus importants qui sont la température du moule et la résistance mécanique de matériau, nous avons choisi le polyamide 6 (PA-6), car sa résistance mécanique est élevée et la température de moule ne dépasse pas 100°C.

3.2.3. PA 6 – Polyamide 6 :

➤ **Définition :**

Le polyamide 6 est un thermoplastique semi-cristallin. Couramment appelé Nylon, le PA6 est utilisé dans la pièce technique nécessitant une bonne résistance.

➤ **Domaines d'applications :**

Le PA6 est utilisé dans une large gamme d'applications, de par leurs propriétés ce sont le matériau thermoplastique technique le plus largement utilisé et sont principalement utilisés dans trois secteurs : l'automobile, l'électronique et l'emballage.

Le secteur la plus forte consommation de polyamide 6 est l'automobile qui se remplace le métal. Les collecteurs d'admission d'air des véhicules, autrefois fabriqués en métal, sont désormais réalisés en PA6 renforcé par 30 à 35 % en fibres de verre, ce qui permet une réduction des coûts de production de 30 % [19].

➤ **Caractéristiques mécaniques :**

Les polyamides sont parmi les thermoplastiques les plus résistants et sont de plus en plus utilisés pour des applications techniques. Ils possèdent de bonnes propriétés d'endurance en fatigue et d'excellentes propriétés contre le frottement. Les facteurs de frottement sont à peu près constants pour une utilisation entre -60 à 100°C [19].

Le tableau ci-dessous (**Tableau III.6**) montre les principales caractéristiques mécaniques de polyamide 6.

Tableau III. 6 : Caractéristiques mécaniques de polyamide 6

C. Mécaniques	Normes	Valeurs	Unités
Résistance à la traction	DIN EN ISO 527	80	MPa
Allongement à la rupture	DIN EN ISO 527	≥50	%
Module d'élasticité à la traction	DIN EN ISO 527	3200	MPa
Résistance au choc	DIN EN ISO 179	≥3	KJ/m ²
Dureté à la bille	DIN EN ISO 2039-1	170	MPa
Dureté shore D	DIN EN ISO 868	82	ECHELLE D

➤ **Caractéristiques thermiques :**

Les principales caractéristiques thermiques de polyamide 6 sont résumés dans le **Tableau III.7**.

Tableau III.7 : Caractéristiques thermiques de polyamide 6

C. Thermiques	Normes	Valeurs	Unités
Température de fusion	ISO 11357-3	220	°C
Conductibilité thermique	DIN 52612-1	0.23	W / (m.K)
Capacité thermique spécifique	DIN 52612	1.7	KJ / (Kg.K)
Coefficient de dilatation thermique linéaire	DIN 53752	90	$10^{-6} K^{-1}$
Température d'utilisation à long terme	MOYENNE	-40 à 85	°C
Température d'utilisation à court terme	MOYENNE	160	°C
Température de déformation sous charge	DIN EN ISO 75	75	°C

➤ **Temps de refroidissement :**

L'évolution de temps refroidissement (en seconde) en fonction de l'épaisseur de la pièce en (mm) du Polyamide 6 est montré sur la **Figure III.6**. On remarque que le temps de l'augmentation de l'épaisseur de la matière ainsi que la température du moule provoquent une augmentation du temps de refroidissement.

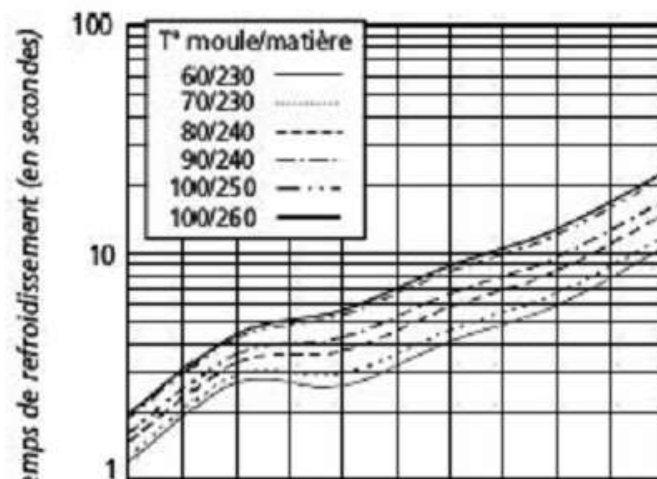


Figure III.6 : Temps de refroidissement de PA 6 en fonction de l'épaisseur de la matière [20]

➤ **Avantages et inconvénients :**

Le **tableau III.8** montre les avantages et les inconvénients de polyamide 6.

Tableau III.8: Avantages et inconvénients de PA 6.

Avantages	Inconvénients
•Faible coefficient de frottement •Bonne propriété mécanique •Bonne résistance thermique •Bonne isolation électrique	•Opacité •Sensible aux UV •Fragilité à sec •Faible résistance aux acides

4. Conception du moule d'injection :

Le moule est la partie où la matière est fondue afin de donner la forme de la pièce requise, il y a différents types de moule (moule à deux plaques, moule à trois plaques et moule à tiroirs) qu'il faut choisir un type dépendant des critères de la pièce. Les exigences de notre modèle imposent l'utilisation des moules à tiroirs.

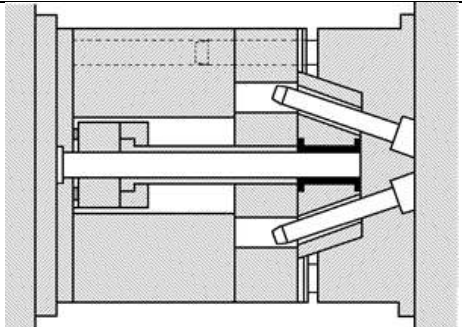
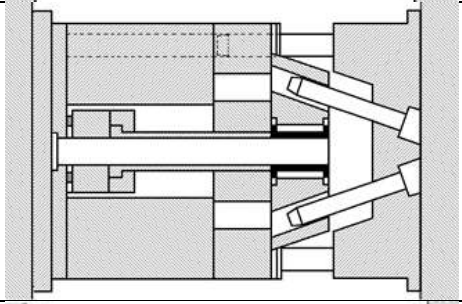
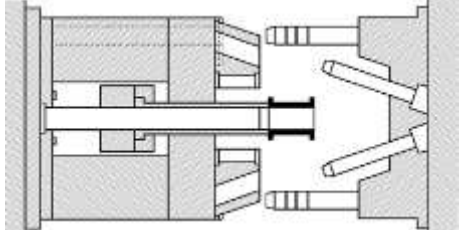
4.1. Systèmes de commande des tiroirs :

L'utilisation d'un moule à tiroirs pour la conception des bouchons filetés demande un choix judicieux de système de commande de tiroirs, nous devons choisir un modèle parmi les solutions suivantes :

4.1.1. Première système :

Ce premier modèle (**Tableau III.9**) formé par un système de commande des tiroirs par doigt incliné et blocages par coin de verrouillage. Dans un premier temps le moule s'ouvre par l'intermédiaire du plateau mobile de la presse, les tiroirs suivent la génératrice du doigt incliné et s'écartent de la pièce, les tiroirs sont complètement reculés les doigts ont quitté le moule qui continue à s'ouvrir, l'éjection de la pièce peut avoir lieu, ici l'éjection est faite par un éjecteur tubulaire.

Tableau III.9: Système de commande des tiroirs par doigt incliné

Moule fermé et deux plaques portes empreintes fermées	
La partie du moule recule, les doigts de démoulage guident les deux plaques portes empreintes lors de leurs ouvertures par l'intermédiaire des ressorts	
Les batteries d'éjection avancent sous l'effet du vérin et les éjecteurs tubulaires poussent les articles les éjecter	

4.1.2. Deuxième système :

Même principe avec le premier système à l'exception de la forme des doigts.

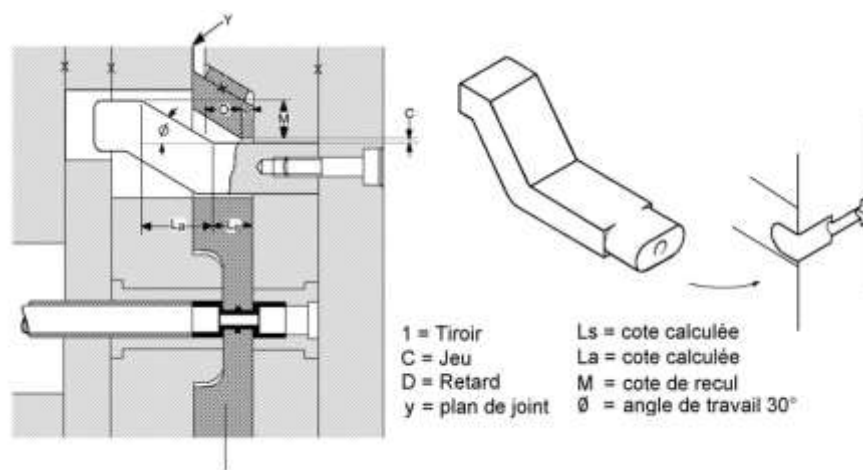


Figure III.7 : Système de commande de mouvement des tiroirs avec implantation du doigt

4.1.3. Troisième système :

Même principe aussi avec le premier système à l'exception de la forme des doigts inclinés qui sont maintenant fixés à l'extérieur de la semelle fixe. Les tiroirs sont commandés par quatre plaques rainurées, les plaques rainurées sont fixées à l'extérieur des tiroirs. Les doigts inclinés glissent sur les plaques rainurées ce qui conduit à l'ouverture des tiroirs.

Il convient de souligner que ce dernier modèle est le plus adapté à la conception de notre moule.

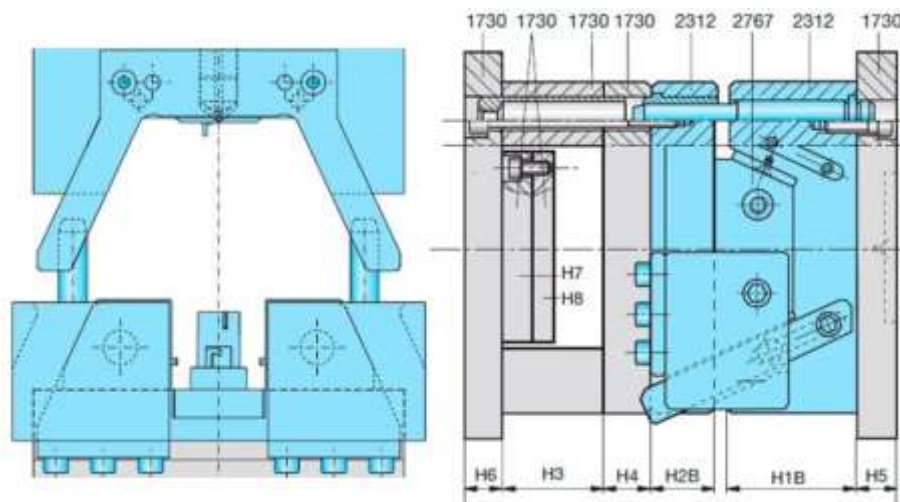


Figure III.8 : Système de commande des tiroirs par doigts inclinés extérieurs

4.2. Présentation du moule :

En se basant sur les catalogues de construction des moules et leurs différentes gammes, on a suivi les mêmes méthodes de constructions pour le développement de notre concept qui présente les caractéristiques suivantes :

- **Le poids :** il pèse environ **59 Kg**
- **Le volume :** environ **7560218.91 mm³** $\Rightarrow$ environ **7.5 dm³**
- **La superficie :** environ **1113433.47 mm²** $\Rightarrow$ environ **111 dm²**
- **Les dimensions :** **246 x 196 x 192 mm** pour le moule en position **fermé**.

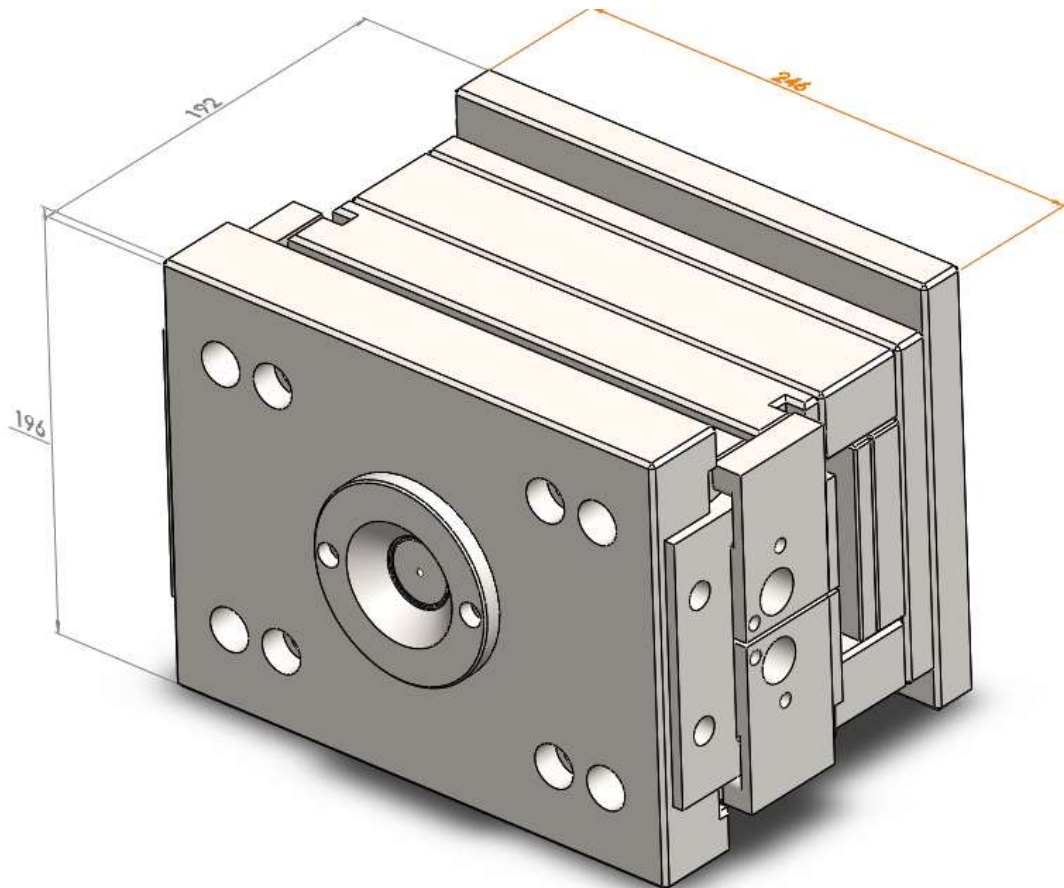


Figure III.9 : Dimension du moule fermé

4.3. Nomenclature de moule :

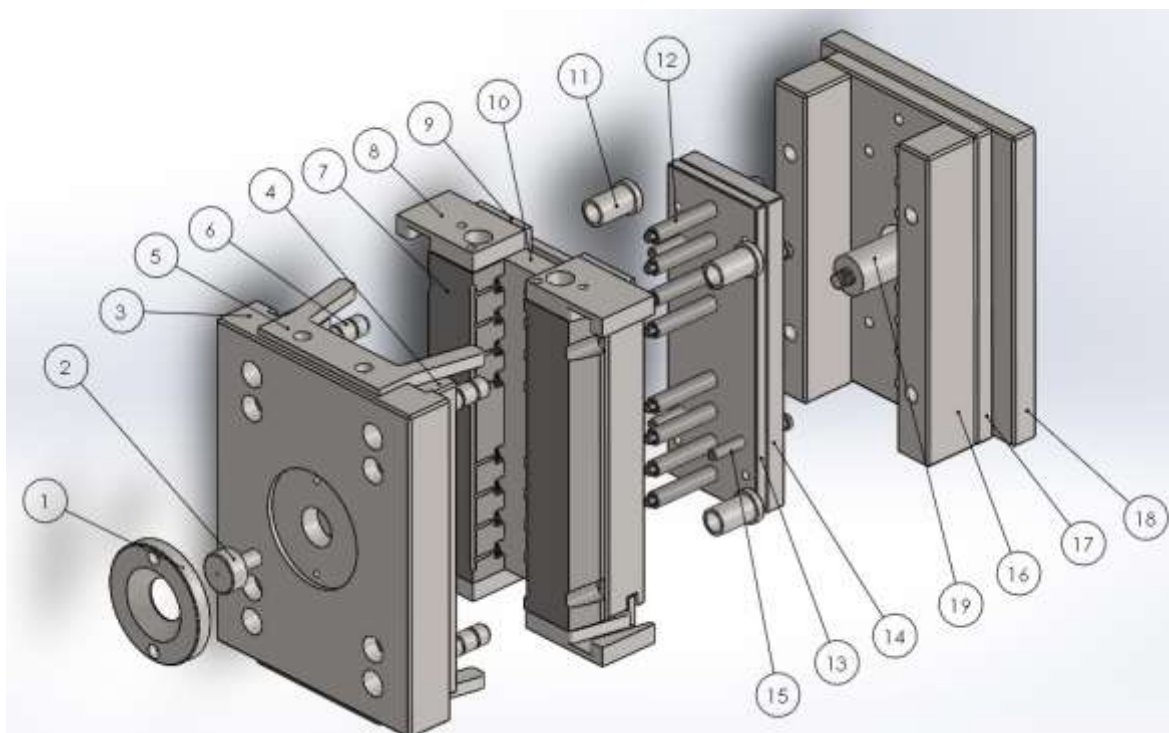


Figure III.10 : Vue éclatée du moule

Le tableau suivante (**Tableau III.10**) montre le numéro et le nom de chaque pièce constituer le moule avec leur matière, Désignation et quantité.

Tableau III.10 : Désignation des éléments du moule

Numéro de la pièce	Nom de la pièce	Matières	Désignations	Quantité
1	Bague de centrage	C35		1
2	Buse d'injection	35 Ni Cr 15	Recuit	1
3	Semelle fixe	C45		1
4	Coin de verrouillage tiroir	C45		2
5	Doigt incliné extérieur	C45		2
6	Colonne de guidage	16MnCr5	Cémenté, trempé	4
7	Tiroir	40CrMnMo7		2
8	Plaque de guidage rainuré	C45		4
9	Plaque de guidage	C45		4
10	Contre plaque	C45		1
11	Douille de centrage	16MnCr5	Cémenté, trempé	4
12	Ejecteur tubulaire	115CrV3		8
13	Contre plaque d'éjection	C45		1
14	Plaque d'éjection	C45		1
15	Broche de remise à zéro	115CrV3		4
16	Tasseau d'éjection	C45		2
17	Plaque porte éjecteur	C45		1
18	Semelle mobile	C45		1
19	Queue d'éjection	Acier Allié		1

- **Bague de centrage** : permet le centrage du moule sur les plateaux de la machine (Presse), dans le but de centrer la buse moule à la buse machine.
- **Buse d'injection** : permet le passage de la matière du fourreau vers l'empreinte.
- **Semelle fixe**: permet de fixer la bague de centrage, la buse moule (d'injection) et les bagues de guidage, ainsi que le bridage.
- **Colonnes de guidage** : permet de guider la partie mobile PM sur la partie fixe PF pour aligner parfaitement l'empreinte.

- **Semelle mobile** : Permet le blocage en translation de la batterie d'éjection, permet le bridage du moule sur le plateau mobile, permet également la fixation des tasseaux.
- **Douille de centrage** : permet le guidage des colonnes de guidages.
- **Tasseaux** : permet d'obtenir une course optimum de la batterie d'éjection.
- **Ejecteur tubulaire** : permet d'éjecter la pièce quand le moule est ouvert.
- **Coin de verrouillage tiroir** : assuré le verrouillage des tiroirs pendant la fermeture de moule.
- **Doigt incliné extérieur** : assuré l'ouverture et fermeture des tiroirs.
- **Broche de remise à zéro** : Permet la remise à zéro de la batterie d'éjection, dans le cas d'une éjection non-attelé.

Il convient de souligner que les dessins de définition des différents éléments du moule sont présentés dans l'annexe 1 de ce manuscrit.

5. Simulation de l'injection plastique :

La simulation est une méthode de mesure et d'étude consistant à remplacer un phénomène, un système par un modèle plus simple mais ayant un comportement analogue.

Le système ou phénomène analysé peut être schématisé sous forme d'un modèle mécanique, électronique ou logico-mathématique. Nous nous intéresserons ici uniquement à la représentation du système sous la forme d'un modèle mécanique.

L'objectif d'un modèle de simulation peut être simplement descriptif : étudier le comportement d'un système sous différentes hypothèses d'évolution de l'environnement, ou aussi normatif (décisionnel) : en simulant plusieurs décisions envisagées choisir la meilleure ou la moins mauvaise.

Pour que la simulation de l'injection plastique se déroule bien, il faut :

- Avoir le modèle de la pièce qui sera traité comme une empreinte de moule (cavité) par le logiciel ;
- Sélectionner une matière ;
- Paramétrer le réglage du remplissage (caractéristiques techniques de la presse à injecter) ;
- Mailler le modèle. En première approche, un maillage moyen (donc automatique) est suffisant. Il faudra ensuite densifier manuellement le maillage à proximité des zones à défaut (après les avoir repérées avec une première simulation) afin d'éviter les erreurs d'interprétation.

5.1. Caractéristiques techniques de la presse à injecter :

Les machines employées en injection plastique sont des presses à injecter. Elles sont utilisées pour des productions de grandes et très grandes séries allant jusqu'à plusieurs milliers de pièces. Les matériaux principalement employés sont les plastiques et les élastomères, ainsi que des métaux comme l'aluminium et le laiton.

L'alimentation en matière plastique sous forme de granulés est assurée par la trémie. Ensuite, la chaleur présente dans l'unité d'injection fait fondre la matière plastique (la température peut aller jusqu'à 200°C). La vis sans fin permet par la suite de déplacer la matière dans le baril d'injection. Elle sert également à injecter le plastique liquide sous pression à l'intérieur du moule.

Dans notre étude, la presse à injecter utilisée est de référence JW-180SE, ses caractéristiques techniques sont résumées dans le **Tableau III.11**.

Tableau III.11 : Fiche technique de la presse à injecter

Référence de la machine	JW-180SE
Diamètre de la vis D	50 mm
Pression d'injection (MAX)	235 MPA
Capacité de planification	111 Kg/h
Taux d'injection	185 cm ³ /sec
Volume max d'injection	471 cm ³
Hauteur du moule (min-max)	150-450 mm
Course d'ouverture	600-1000 mm
Taille de plateau	720 x 720 mm
Système de fermeture	Système hydraulique
Force de fermeture	180 Tonnes
Force d'éjecteur hydraulique	5.3 Tonnes
Course d'éjecteur hydraulique	130 mm

5.2. Modèle 3D maillage :

Le modèle est fractionné en élément fini. Le maillage de modèle dépend du type de géométrie maillée, du type d'analyse à effectuer. SolidWorks Simulation propose des éléments volumiques tétraédriques pour mailler la géométrie des solides et les éléments coques, triangulaires pour mailler celle des surfaces.

Il est bien connu que la qualité du maillage influence les résultats affichés par le logiciel.

Dans le cadre de l'interprétation des bulles d'air, un maillage grossier risque de les situer de manière approximative et d'en sous-évaluer les dimensions de la pièce. Par contre, dans certains cas, trop affiner le maillage ne donne pas de meilleurs résultats et accroît considérablement le temps de calcul. Il en va de même pour les lignes de soudure. Des éléments trop gros risquent de masquer leur présence. Dans les logiciels de simulation d'injection, une ligne de soudure est toujours tracée à la frontière entre des éléments. Leurs orientation, position et taille influencent donc les résultats affichés. Donc, pour interpréter les résultats de manière convenable, il faut enfin faire attention aux singularités du maillage. Typiquement, dans ce genre de simulation, il s'agit des angles vifs sortants. Les bulles d'air ou lignes de soudure données dans ces zones sont à prendre avec des pincettes.

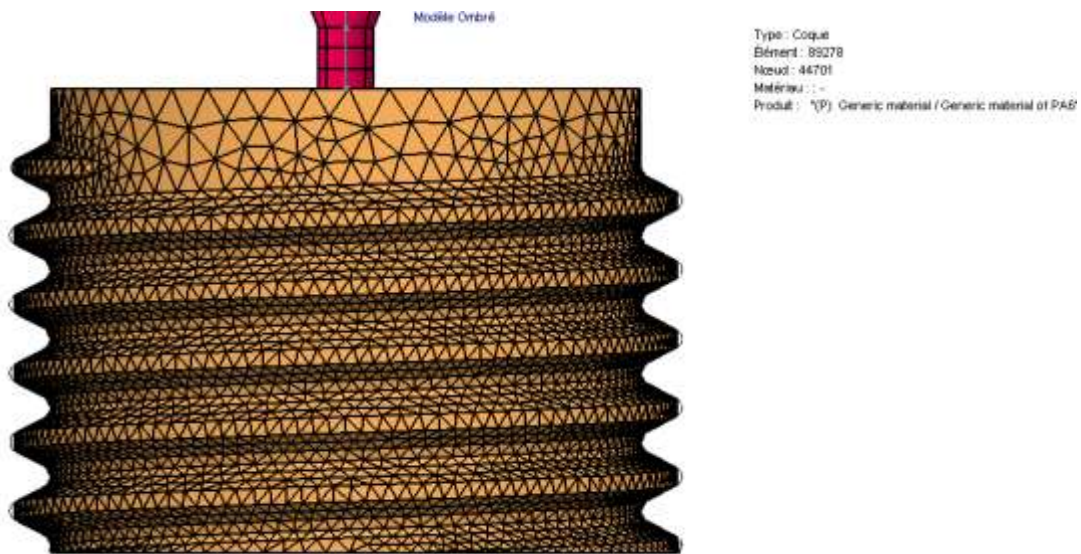


Figure III.11 : Modèle de maillage 3D.

Dans notre simulation nous avons utilisé l'élément volumique tétraédrique à quatre nœuds, trois degrés de liberté dans chaque nœud proposé par SolidWorks Plastics et une densité moyenne pour le maillage.

5.3. Résultats de simulation :

La pièce qui sera traitée comme une empreinte de moule était réalisée, les caractéristiques techniques de la presse sont introduites et le modèle est maillé. La dernière étape maintenant est l'exécution de la simulation.

La **Figure III.12** montre les canaux d'alimentation et les huit empreintes étudiés.

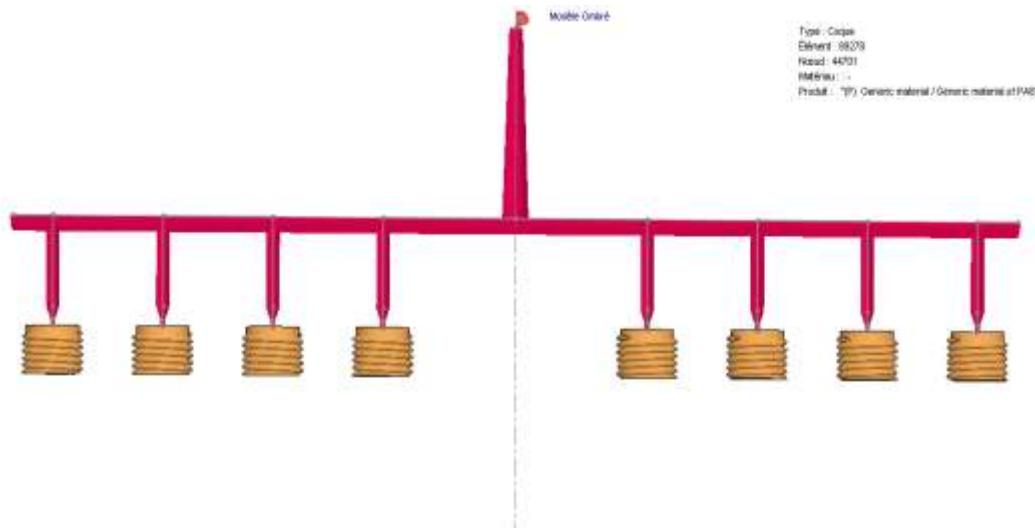


Figure III.12 : Forme des empreintes

Le **Tableau III.12** présente une liste des résultats des caractéristiques des empreintes, des canaux d'alimentation, de la matière plastique et des conditions du processus d'injection qui sont créés par SolidWorks Plastics.

Tableau III.12: Résultats de la simulation

Caractéristiques des empreintes et canaux d'alimentation	
Volume	12.13 cm ³
Poids	13.69 g
Caractéristiques de la matière plastique utilisée	
Nom du groupe	PA-6
Nom de matière	(P) Generic material of PA6
Température de matière	255 °C
Température de Transition vitreuse	185 °C
Température d'éjection	135 °C
Conditions du processus d'injection	
Temps de remplissage	3 s
Température des parois du moule	85 °C
Temps de maintien pression	6.91 s
Pression initiale de l'air dans la cavité	0.1 MPa
Température initiale de l'air dans la cavité	25 °C
Pression requise pour l'injection	80.66 MPA
Débit d'injection max. (machine)	194 cc/s
Temps de Refroidissement Moyen	25.86 s
Force de Fermeture	6.5 t

5.3.1. Qualité de remplissage :

Le résultat Qualité du remplissage permet d'affiche la probabilité qu'a une région de se remplir de plastique dans des conditions d'injection normales. **La Figure III.13** montre les résultats de qualité de remplissage des 08 empreintes utilisé dans notre simulation. D'après cette figure, on remarque l'existence d'une seule couleur (vert) dans toutes les empreintes, ce qui nous confirme que ces derniers sont se remplir complètement et sans difficultés.

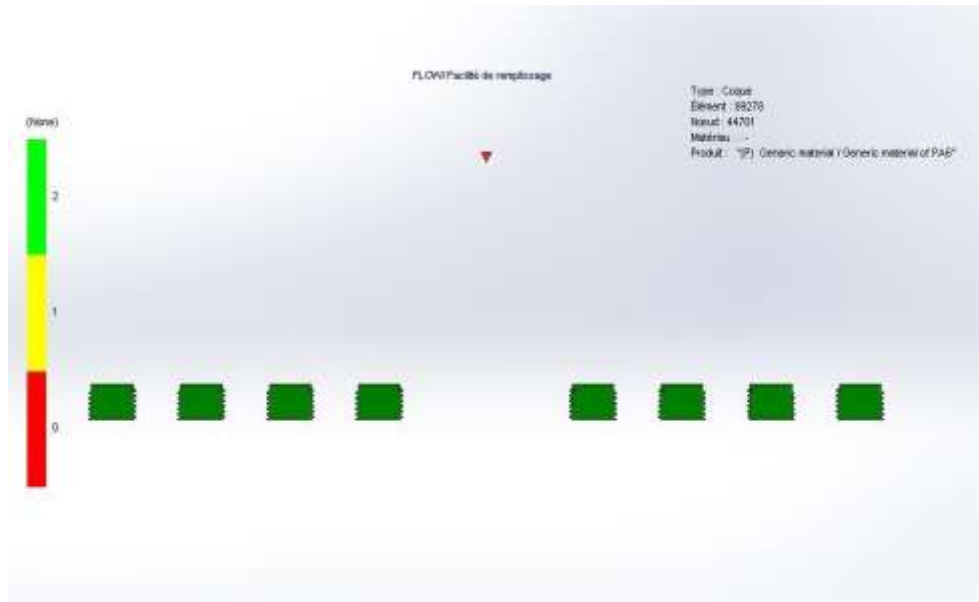


Figure III.13 : Résultats de remplissage des empreintes

5.3.2. Temps de remplissage :

Le temps de remplissage est le temps nécessaire au remplissage de l'empreinte par la matière plastique fondue. Le résultat de temps de remplissage montre la position du front d'écoulement à intervalles réguliers à mesure que l'empreinte se remplit. **La Figure III.14** montre que le temps maximal nécessaire au remplissage est presque de **3s**. On peut également noter que le remplissage se commence par les deux premières empreintes puis il complète les deux prochains jusqu'à les deux derniers de l'extrémités. Il convient de noter que le remplissage n'est pas équilibré, car les sections des canaux d'alimentation sont droites.

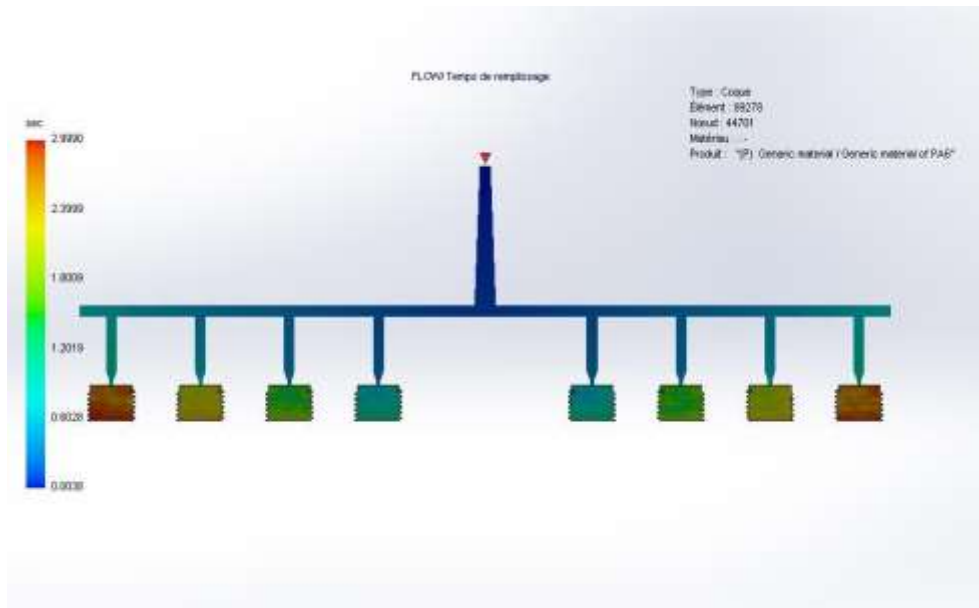


Figure III.14 : Temps de remplissage

5.3.3. Pression d'injection en fin de remplissage :

La pression de fin remplissage est la pression appliquée pour compresser la matière dans la cavité remplie du moule et mesurée à l'intérieur de celui-ci. La **Figure III.15** montre que la pression maximale se produit aux points d'injection (80.66 MPA) du polymère et la pression minimale se trouve au niveau de la fin de la matière durant la phase de compression. Cette figure montre aussi que la pression dans les deux premières empreintes est presque 40 MPA et démunie dans les deux prochaines jusqu'à elle se devient 0 MPA dans les deux dernières empreintes.

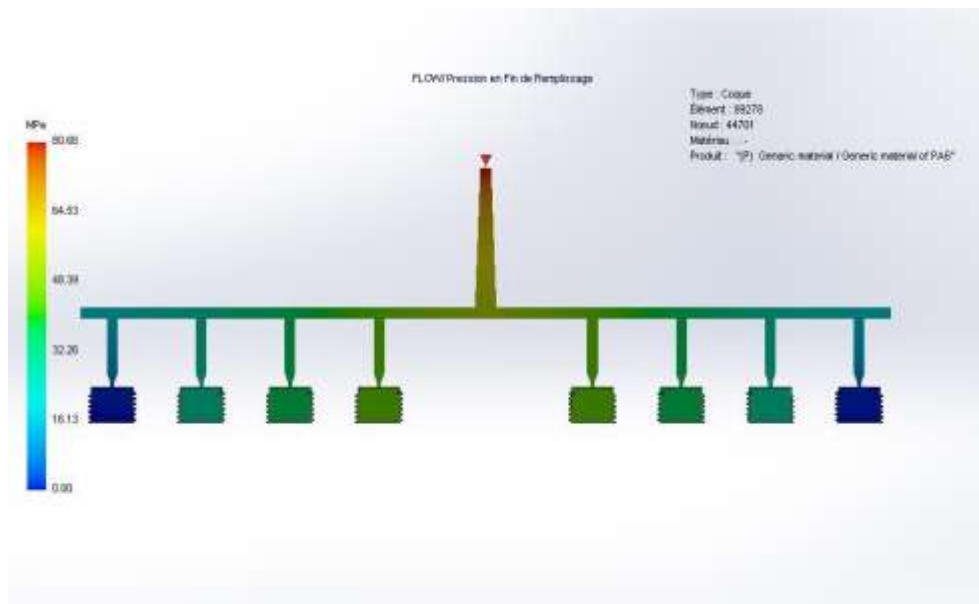


Figure III.15 : Pression en fin de remplissage

5.3.4. Retrait volumique en fin de remplissage :

Le résultat Retrait volumique à l'éjection présente le retrait volumique de chaque zone exprimée en pourcentage du volume moulé original, à l'éjection. Dans notre étude, le coefficient de retrait de la matière plastique utilisée (polyamide 6 - PA 6) est 1.8%. La **Figure III.16** montre que le retrait maximal en fin de remplissage est presque de 18.94% dans les deux empreintes de l'extrémités. Par contre dans les deux premières empreintes le retrait volumique est d'environ 12%.

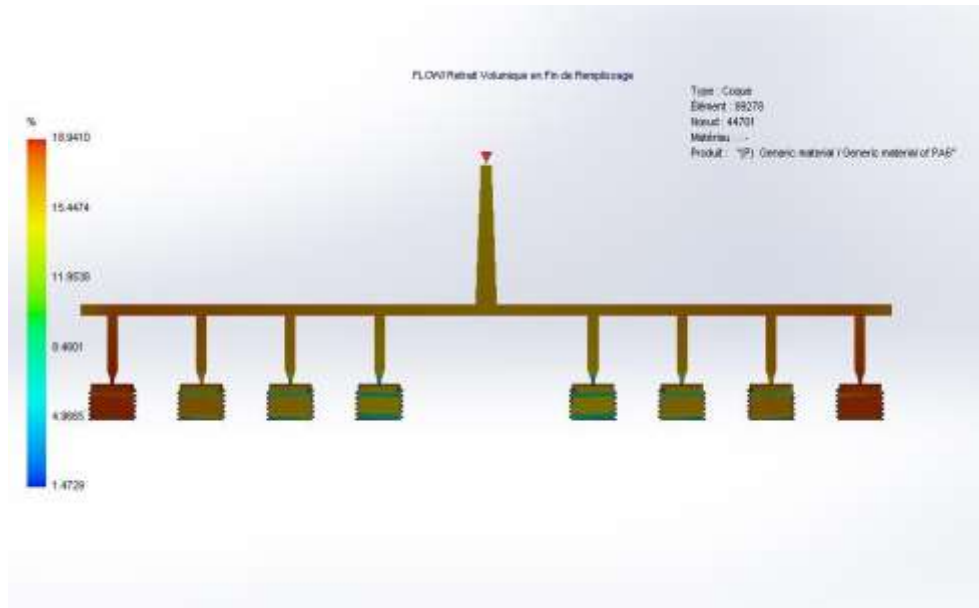


Figure III.16 : Retrait volumique en fin de remplissage

5.3.5. Contraintes de cisaillements en fin de remplissage :

L'étude des contraintes s'exerçant sur une matière, ou rhéologie, permet de prévoir les forces et les faiblesses de pièce à la fin de remplissage. On remarque sur la **Figure III.17** que les valeurs de concentration des contraintes de cisaillement en fin de remplissage sont entre 2.7×10^{-12} et 0.21 (presque négligeables).

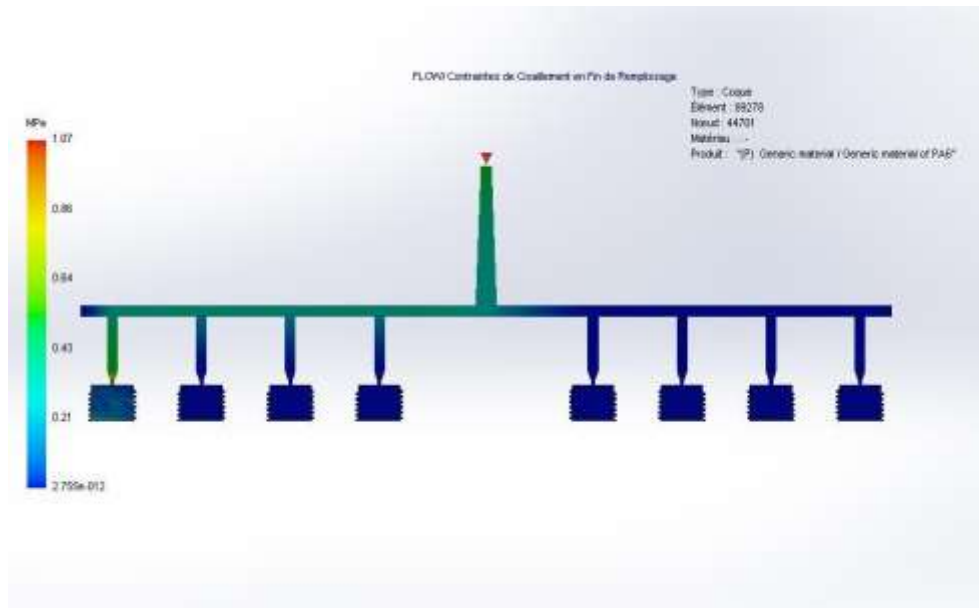


Figure III.17 : Contrainte de cisaillement en fin de remplissage

5.3.6. Concentration de retassures :

Les retassures sont des affaissements locaux des surfaces des zones épaisses de la pièce moulée. Elles sont dues aux différences de température et d'épaisseur sur la pièce durant le remplissage et le maintien. Ces différences créent des écarts de dilatation thermique dus aux dimensions, températures et coefficient de dilatation thermique du matériau. Ce problème se règle à l'aide d'un remplissage qui contrebalance les retraits différentiels. La solution consiste à modifier la géométrie et à utiliser un refroidissement approprié. Dans notre étude, **la Figure III.18** montre que toutes les pièces ont subi a des retassures. Mais, leurs concentrations sont presque négligeables dont la valeur maximale de ces retassures ne dépasse pas 0.017 mm

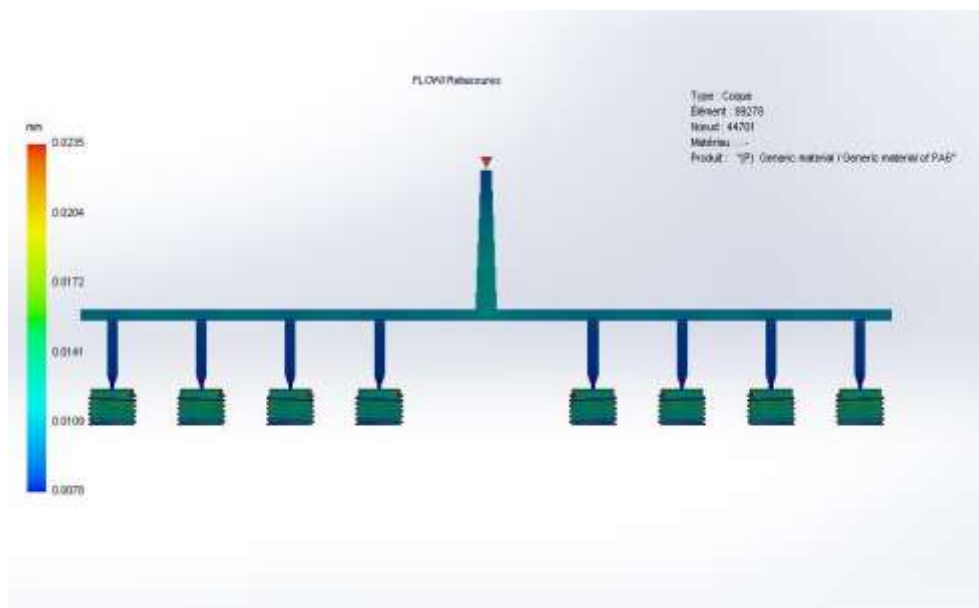


Figure III.18 : Concentration des retassures

5.3.7. Température pondérée en fin de remplissage :

Ce résultat affiche la distribution de la température pondérée du plastique à la fin du remplissage. Le résultat de température permet de déterminer la région de chaleur de frottement élevée et vérifier si la variation de température correspond à un changement des conditions de traitement et de la conception.

Sur la **Figure III.19**, la température pondérée en fin de remplissage est presque la même dans toutes les empreintes et égale à environ 230 °C, ce que peut être justifié par la minorité du temps de remplissage (3s).

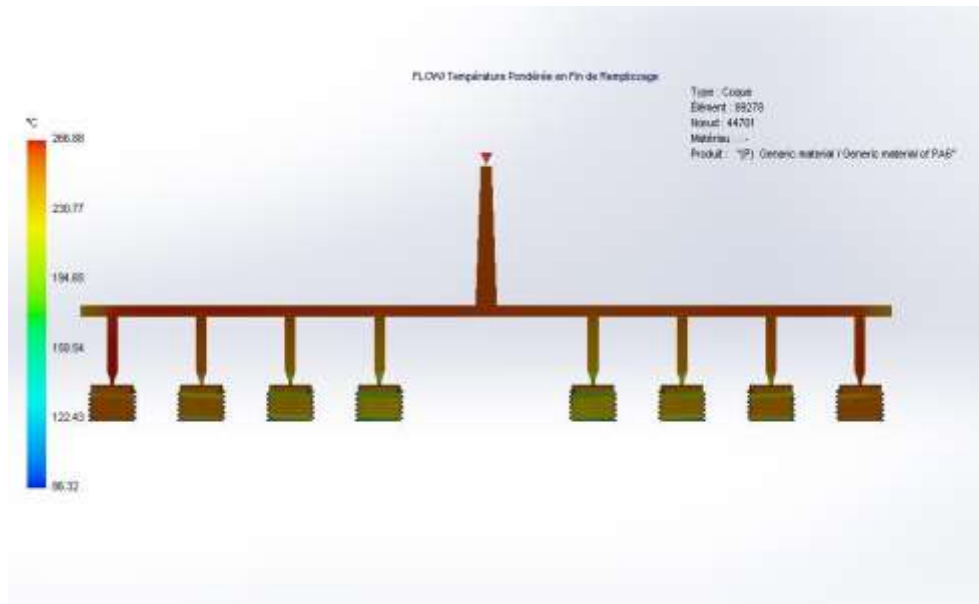


Figure III.19 : Température pondérée en fin de remplissage

5.3.8. Bulles d'air :

Les bulles d'air sont parmi les principaux problèmes rencontrés dans le domaine de l'injection à cause de l'air emprisonné dans les empreintes quand le moule est fermé.

Un emprisonnement d'air se produit à l'endroit où le plastique fondu emprisonne et comprime une bulle d'air ou de gaz entre deux (ou plusieurs) fronts d'écoulement convergents, ou entre un front d'écoulement et la paroi de l'empreinte. Il en résulte généralement un petit trou ou une imperfection sur la surface de la pièce. Dans certains cas extrêmes, la compression augmente la température à un niveau tel qu'il abîme ou brûle le plastique.

Sur la **Figure III.20**, on remarque que toutes les empreintes ont subi des bulles d'air à cause de l'air emprisonné dans les empreintes, la pression de cavitation dans ces bulles est presque d'environ 0.1 MPA et la température est égale à 25 °C. Par conséquent, l'analyse des événements définis par SolidWorks Plastics à donner 0 (il n'est pas nécessaire de monter des événements dans le moule).

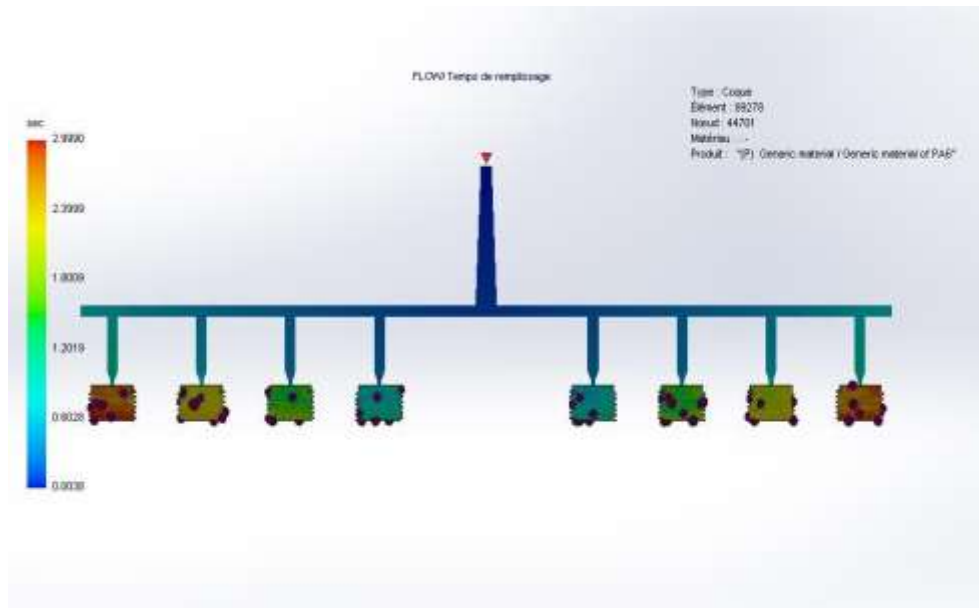


Figure III.20 : Bulles d'air

5.3.9. Lignes de soudure :

Les lignes de soudure sont aussi parmi les principaux problèmes d'injection plastique. Le résultat Lignes de soudure affiche l'angle de convergence lorsque deux fronts d'écoulement se rejoignent. La présence de lignes de soudure peut indiquer une faiblesse structurelle et/ou des imperfections de surface.

Dans notre cas, la Figure III.21 montre l'existence de quelques lignes de soudure, mais ils ne sont pas nombreux. En effet, ces soudures se forment à cause de la rencontre de la matière plastique lors de l'injection avec une légère différence de températures. En plus, compte tenu les emplacements de ces lignes on peut noter qu'ils n'ont pas d'influence sur le cisaillement de la pièce.

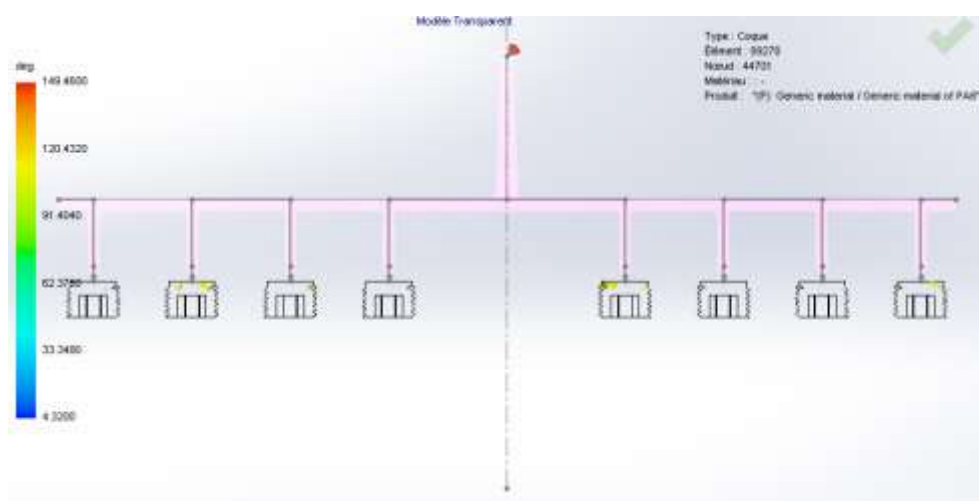


Figure III.21 : Lignes de soudure

6. Calcul et vérification :

Afin de vérifier l'efficacité de notre étude, dans cette dernière section nous avons essayé de calculer le temps de cycle et l'erreur relatif entre le temps de refroidissement trouvé par SolidWorks Plastics et le celui calculé théoriquement par les équations.

6.1. Calcul du temps de cycle :

Le temps de cycle est donné par la relation suivante :

$$T_c = T_r + T_i + T_m + T_e + T_o + T_f$$

Où :

- T_r : temps de refroidissement ;
- T_i : temps d'injection (remplissage) ;
- T_m : temps de maintien pression ;
- T_e : temps d'éjection ;
- T_o : temps d'ouverture moule ;
- T_f : temps de fermeture moule.

Donc :

$$T_c = 25.86 + 3 + 6.91 + 3 + 5 + 5$$

$$T_c = 48.77 \text{ s}$$

6.2. Vérification du temps de refroidissement :

Le temps de refroidissement estimé par SolidWorks $T_{re} = 25.86 \text{ s}$.

Maintenant, le temps de refroidissement calculé théoriquement est :

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

Avec :

- e : l'épaisseur moyenne de la pièce ;
- T_i : température d'injection ;
- T_e : température d'éjection ;
- T_m : température du moule ;
- D : la diffusivité thermique du PA6 : $D = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$

Où :

- λ : est la conductivité thermique du matériau ;
- ρ : est la masse volumique du matériau ;
- c : est la chaleur spécifique du matériau.

Donc :

$$D = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} = \frac{0.233}{1120 \times 1601} = 1.299 \text{ e}^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

Et :

$$T_{rc} = \frac{5.6^2}{3.14^2 \times 1.299 \text{ e}^{-7}} \text{Ln} \left[\frac{8}{3.14^2} \left(\frac{255-85}{135-85} \right) \right] = \mathbf{24.84}$$

$$T_{rc} = \mathbf{24.84 \text{ s}}$$

Donc, l'erreur relatif entre le temps de refroidissement trouvé par SolidWorks Plastics et le celui calculé théoriquement est :

$$\text{Err} = \frac{T_{rc} - T_{re}}{T_{re}} \times 100$$

$$\text{Err} = \left| \frac{24.84 - 25.86}{25.86} \right| \times 100 = 3.94\%$$

Conclusion :

L'étude et la conception du moule était réalisée, les paramètres, les facteurs et les démarches de cette étude ont été détaillés, les résultats obtenus sont présentés, discutés et vitrifiés. A partir de ce chapitre, on peut déduire que pour une bonne conception d'un moule d'injection plastique, il est indispensable de tenir en compte préalablement de certains paramètres requis, citons à titre d'exemple : caractéristiques géométriques et mécaniques de pièce moulée, le matériau utilisé pour l'injection, type et caractéristiques de moule et son système de commande et caractéristiques techniques de l'injection (la pression d'injection, volume max d'injection et la force de fermeture de moule, ... etc.).

Conclusion générale

L'injection de plastique est actuellement la méthode la plus courante de production en masse de produits en plastique.

Le principe de l'injection de plastique consiste à faire fondre le plastique et à l'insérer dans un moule, le processus de refroidissement créera une pièce finale. Ce processus est utilisé pour la fabrication de divers produits, tels que des pièces de véhicules, des appareils électroménagers, des appareils électroniques et d'autres produits.

Ce travail effectué au sein de l'entreprise SARL FMPI avait pour objectif d'étudier la faisabilité de produire un moule d'injection à huit empreintes pour élaborer des bouchons filetés 6 pans creux, en matière plastique par le procédé d'injection.

Les démarches de cette étude ont articulé autour de trois axes principaux qui répondirent au cahier des charges exigé par cette entreprise :

Premièrement, notre étude a été commencée par des définitions de base des matières plastiques utilisées dans l'injection et ses caractéristiques mécaniques, physiques, chimiques et thermiques dont le but de trouver le matériau le plus adapté à notre modèle. Après une analyse très appropriée, nous avons conclu que le polyamide 6 représente l'une des meilleures solutions pour ce type de conception.

Deuxièmement, notre analyse a été menée vers l'étude des principaux éléments, fonctions, types et caractéristiques d'un moule d'injection plastique et les différents types de fixation nécessaires à la compréhension du fonctionnement de ce dernier. Après cette analyse, nous avons achevé que le moule à tiroirs, avec un système de commande des tiroirs par doigt incliné fixés à l'extérieur de la semelle fixe, est le plus adapté à la conception de notre modèle.

Finalement, la conception de moule a été réalisée à l'aide du logiciel de conception SolidWorks® et la simulation du comportement de la matière plastique a été estimé par le logiciel de simulation SolidWorks Plastics. Les résultats obtenus ont été présentés, discutés et vérifiés.

Ce projet nous a permis d'approcher de la réalité du monde industriel dans l'une des grandes entreprises, et nous a donné l'occasion de toucher à des domaines assez vastes de la conception mécanique.

Enfin, comme perspectives d'approfondissement ultérieur de cette contribution, nous proposons la réalisation de ce moule.

Références Bibliographie :

- [1] S. Bechir, "Conception de moules d'injection plastiques", Cours Génie Mécanique, école d'ingénieur de Monastir, Tunisie, 2018.
- [2] J-P Trotignon, J Verdu, A Dobraczynsky, M Piperaud, "Matières plastiques structures, propriétés, mise en œuvre et normalisation", Edition Nathan, 2006.
- [3] H. Massé, "Couplages thermomécaniques lors de la solidification de matériaux polymères", Thèse de doctorat, Université Bordeaux France, 2000.
- [4] S. Berkane, "Étude du retrait des pièces injectées en matière plastique", Thèse de magistère, Université Biskra Algérie, 2006.
- [5] J. Aubry, "Les matières plastiques", Technologie des matériaux.
- [6] M. Carrega, "Aide-mémoire matières plastiques", 2^{ème} édition : Matériaux polymères, Dunod, 2007.
- [7] D. William, jr. Callister, « Science et génie des matériaux », éditeur : Dunod, collection : Science sup, 2003.
- [8] G.W Ehrenstein, F. Montagne, « Matériaux polymères - structure, propriétés et application ». Edition française hermès science publication, paris, 2000.
- [9] DJABALLAH, "Contribution à l'étude de la phase post-remplissage du moulage par injection", Thèse de Magister, Université Mohamed KHIDER – Biskra, 2012.
- [10] Djoudi Tarek, Djemal Hocine, Étude de la phase de remplissage du moulage par injection dans le cas d'un moule secteur, mémoire d'ingénieur, université Mohamed khider –BISKRA, 2001.
- [11] DJENDER Melha , CHOUALI Sabrina : Etude et conception d'un moule à injection plastique de la pièce de fixation de la soupape de décharge.
- [12] Plastisem, "Les fondamentaux de la conception d'une pièce pour l'injection plastique", ouvrage de vulgarisation de la technique de l'injection Plastique. <https://www.plastisem.fr/>
- [13] Les moules pour L'injection des Matières Plastiques et les fonctions qu'ils doivent réaliser
- [14] BENKHOUYA Ali : Étude et conception d'un moule à injection plastique pour roue dentée (pignon) Université Abderrahmane Mira de Bejaïa

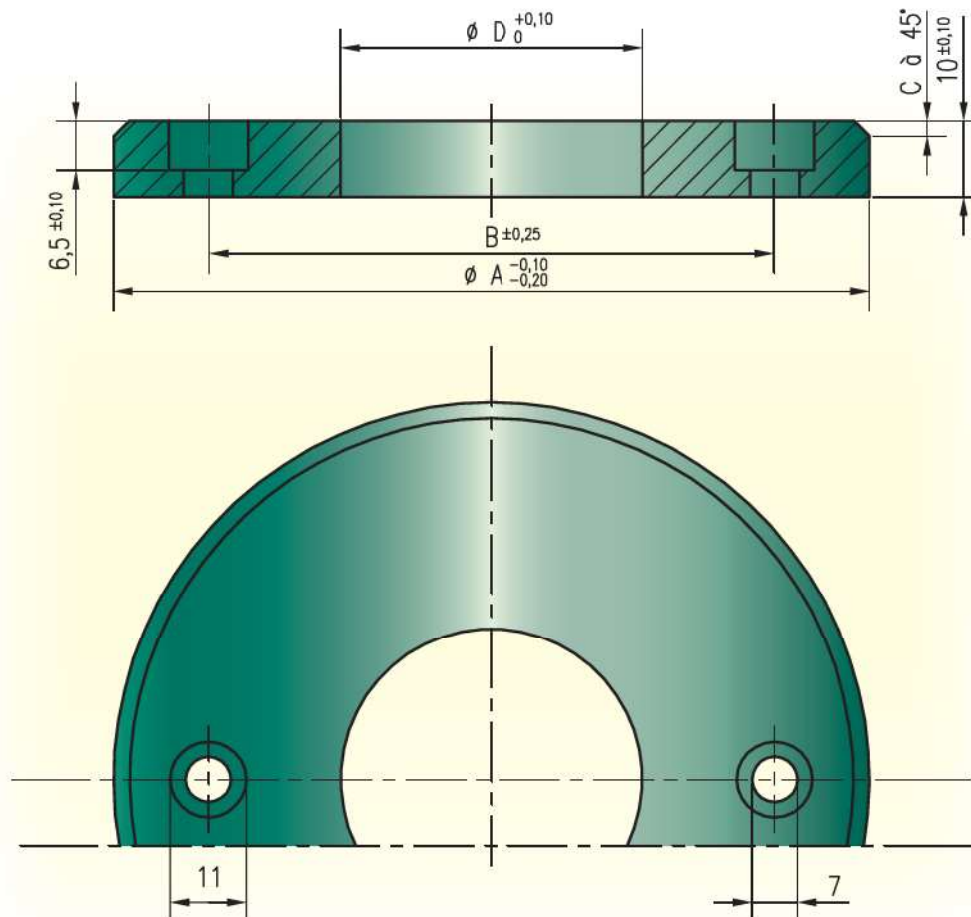
- [15] MAMMA Idir OUZZOUZ Kaci OUDAHMANE Oussama Conception et Fabrication d'un moule à injection plastique d'une grille d'aération Ø100 Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
- [16] André chevalier, "Guide du dessinateur industriel", édition 2004.
- [17] Dassault systems solidworks corporation Introduction solidworks 1995-2014
- [18] solidworks plastics, " fonctionnalité de solidworks plastics ", ouvrage sur solidworks plastics. <https://www.visiativ-solutions.fr/solidworks-plastics/>
- [19] Said Lotfi Hafsaoui, " étude et modélisation de la stabilité thermique et des propriétés des polyamides au cours du rotomoulage ", Thèse de Doctorat, l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, 2013.
- [20] Jean-François Pichon, "Aide-Mémoire Injection Des Matières Plastiques", 4e édition 2015.

605-615
617-627



BAGUE DE CENTRAGE

LOCATING RING
ZENTRIERSCHEIBE



Mat : XC 38

Ra=1,6 Sauf indication contraire



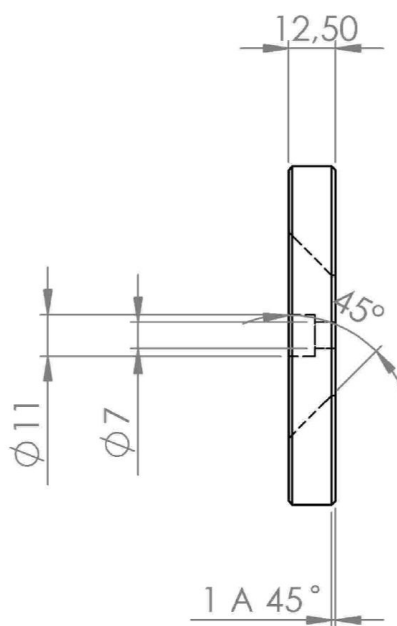
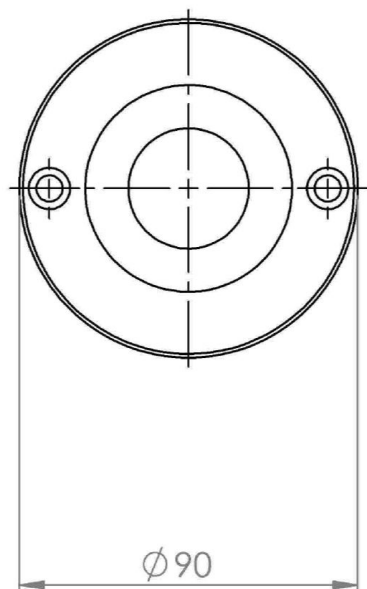
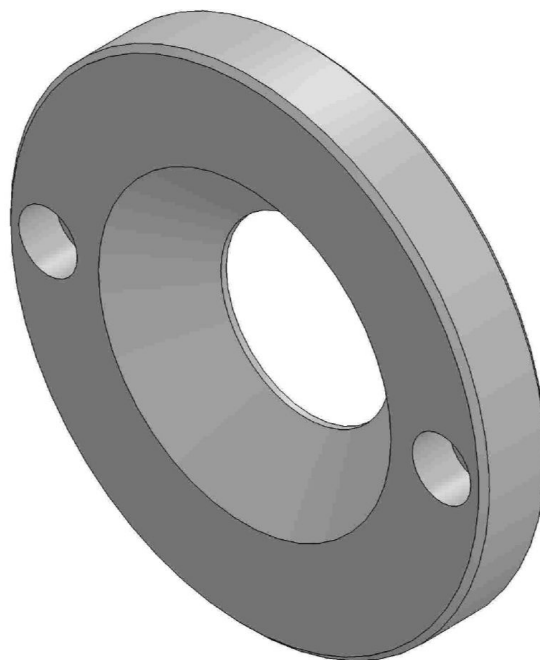
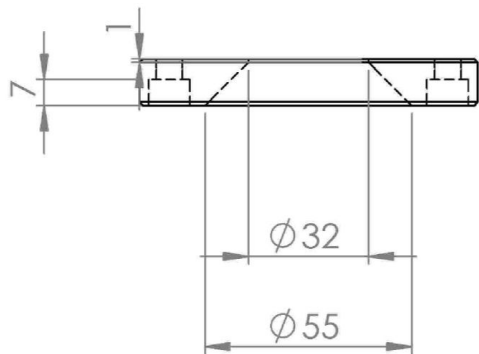
REF. 615 A=80 mm



615-80

Fabrications spéciales sur demande
Special manufacture on request
Spezialherstellung auf Anfrage

D			30	32	40	50
C	B	Références A	617	627	615	605
1	46	60				
1	46	63				
1	54	70				
1	65	80				
2	65	90				
2	75	100				
2	80	110				
2	85	120				
2	85	125				
2	85	150				
2	85	160				
2	100	175				
2	100	200				



Faculté De Technologie

Echelle: 1/2

Bague De Centrage

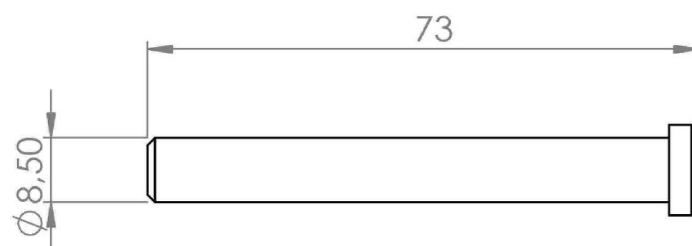
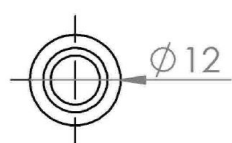
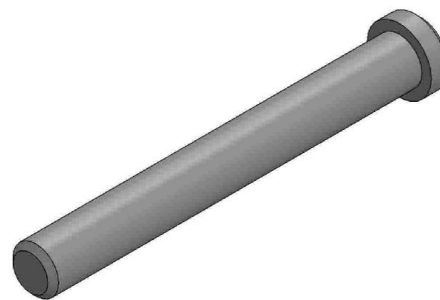
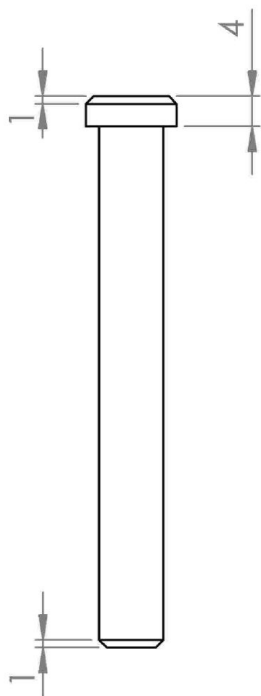
2020-09-07



A4

Fabrication Mécanique Et Productique

Bouyahiaoui
Abdellah
Mouhamou
Chames Eddine



Faculté De Technologie

Echelle: 1/2

Broche De Remise à Zéro

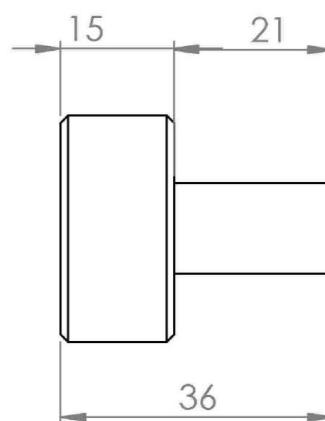
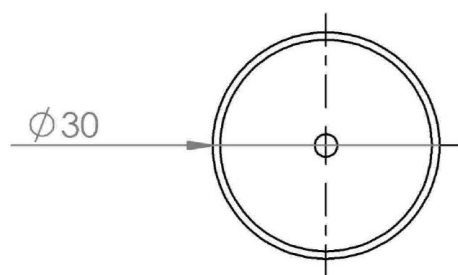
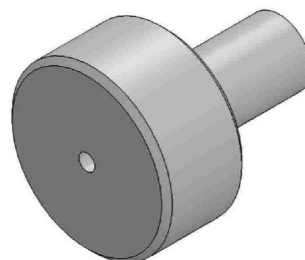
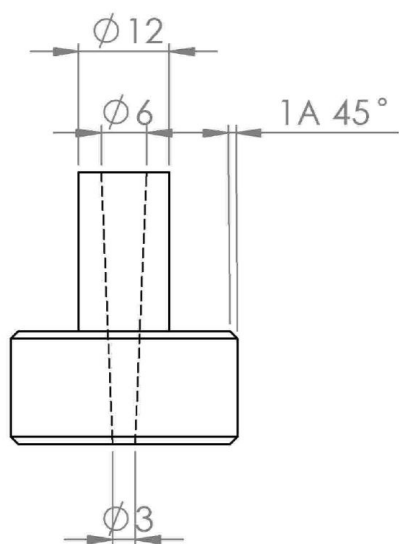
2020-09-07



Bouyahiaoui
Abdellah
Mouhamou
Chames Eddine

A4

Fabrication Mécanique Et Productique



Faculté De Technologie

Echelle: 1/2

Buse D'injection

2020-09-07



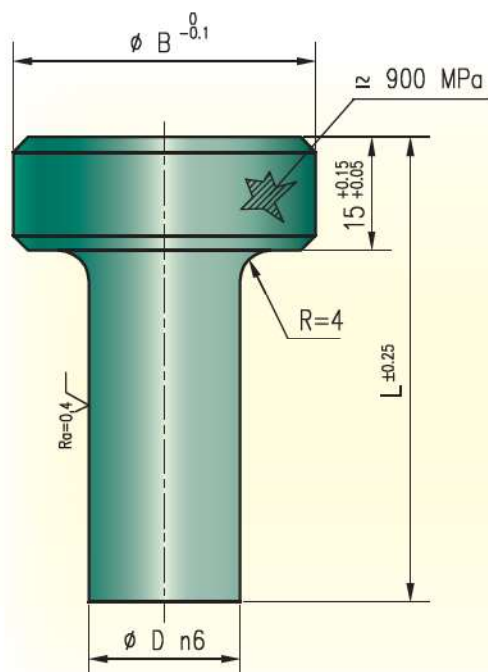
A4

Fabrication Mécanique Et Productique

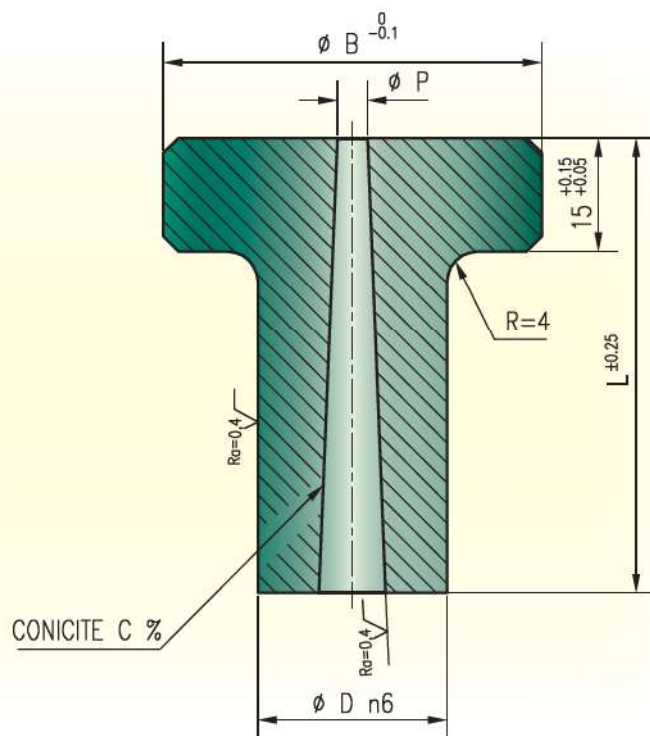
Bouyahiaoui
Abdellah
Mouhamou
Chames Eddine

BUSE D'INJECTION

SPRUE BUSHING
ANGIESSBUCHSE



Mat : 35 NC 15 Recuit



REF. 606 L=75 mm



606-75



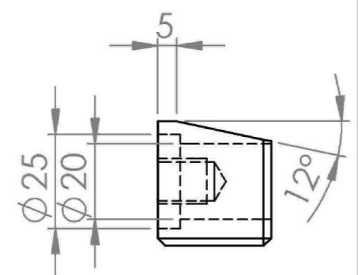
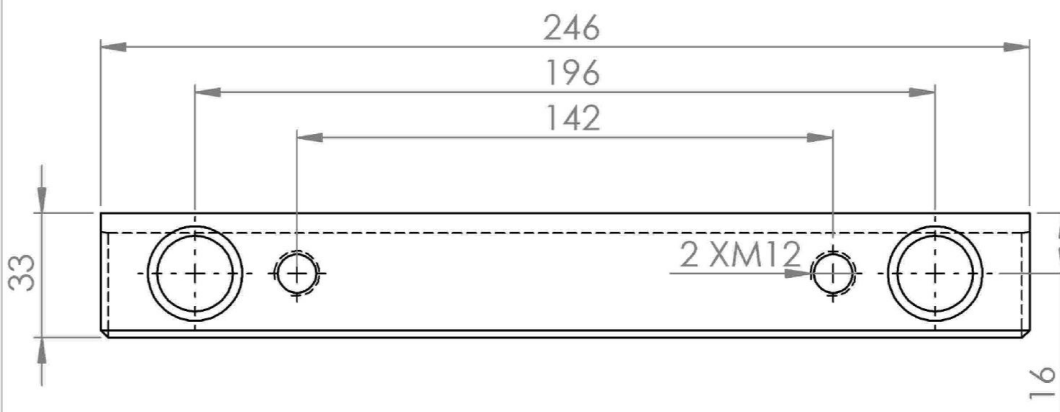
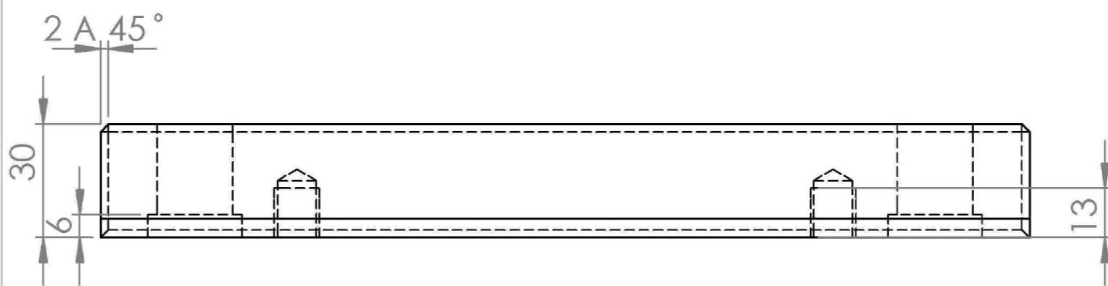
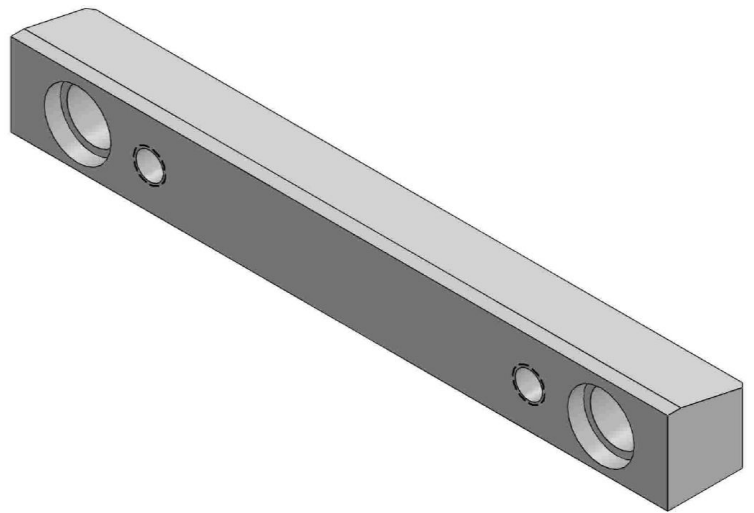
REF. 618



618

Fabrications spéciales sur demande
Special manufacture on request
Spezialherstellung auf Anfrage

B	50		40		40		40		50	
C %	8 %		8 %		non percée		5 %		non percée	
D	25		20		20		20		25	
L REFERENCES	P	606	P	616	P	618	P	619	P	620
	55	4		4			3			
	60	4		4			3			
	63	4		4			4			
	75	4		4			4			
	80	4		4			4			
	100	4		4	—		4		—	
	125	4		4			4			



Faculté De Technologie

Echelle: 1/2

Coin De Verrouillage Tiroir

2020-09-07



Bouyahiaoui
Abdellah
Mouhamou
Chames Eddine

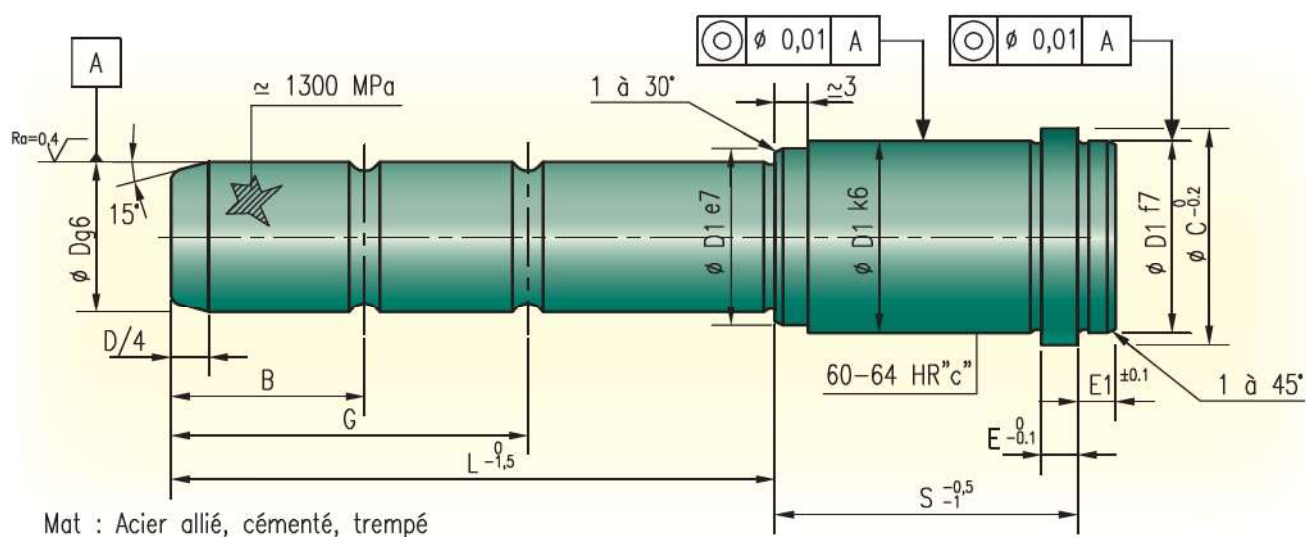
A4

Fabrication Mécanique Et Productique

COLONNE DE GUIDAGE EPAULEE AVEC PLOT DE CENTRAGE

STEPPED GUIDE PILLAR WITH CENTERING PLUG
FÜHRUNGSSÄULE MIT ZENTRIERBUND

NF E 63-506, ISO 8017, DIN 16761



REF. 671 D=20 L=80 S=40 mm



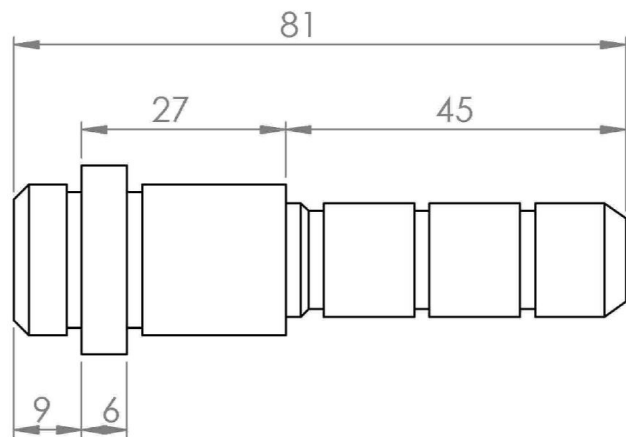
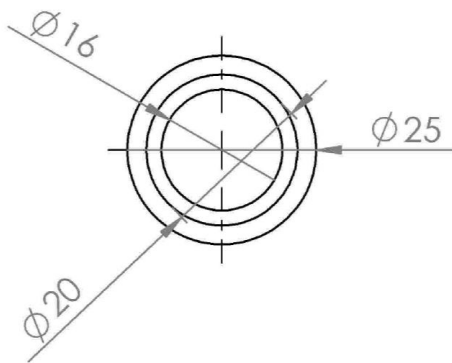
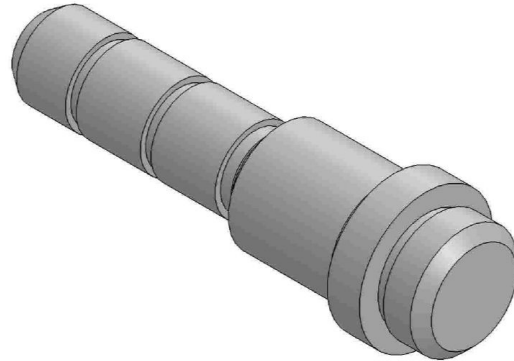
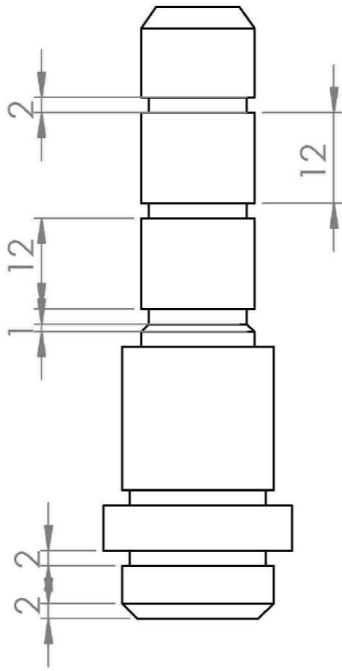
671-20-80-40

Fabrications spéciales sur demande
Special manufacture on request
Spezialherstellung auf Anfrage

D	12	16	20	25	32	40	50
D1	18	22	28	32	40	50	63
E1	4	6	6	6	8	8	8
E	4	6	6	6	8	8	8
C	22	26	32	36	45	56	71
B	19	19	23	32	36	45	45
G	35	35	43	59	69	85	85

Nombre de gorges

L	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	280
25	0	0	0									
32	1	1	0	0								
40	1	1	1	0								
50	1	1	1	0								
63	2	2	2	1	1	1						
80		2	2	1	1	1	1					
100		2	2	2	1	1	1	1				
125		2	2	2	2	2	2	2	2			
160		2	2	2	2	2	2	2	2	2		
200		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
250				2	2	2	2	2	2	2	2	2
280									2	2	2	2



Faculté De Technologie

Echelle: 1/1

Colonne De Guidage

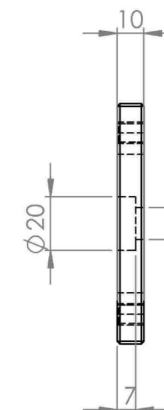
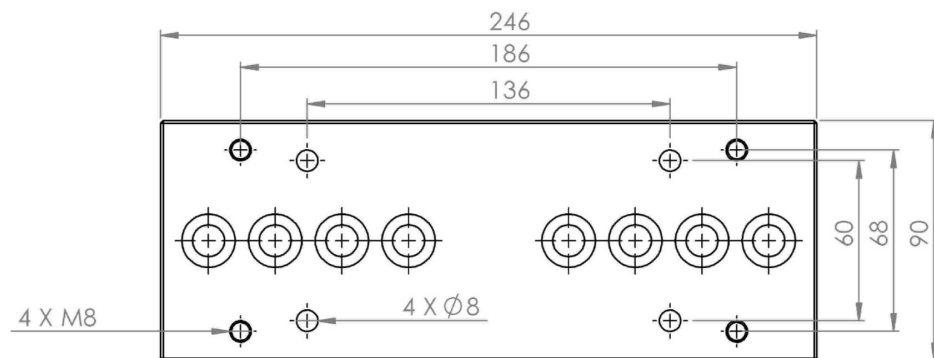
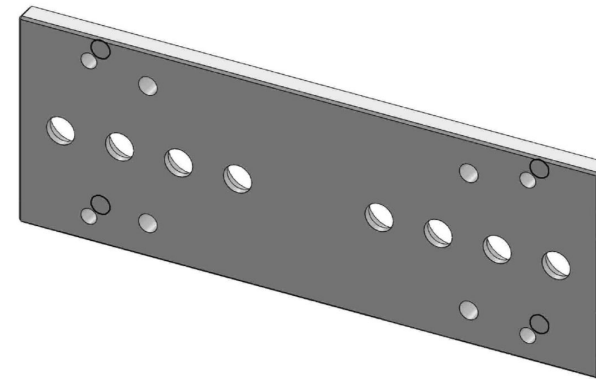
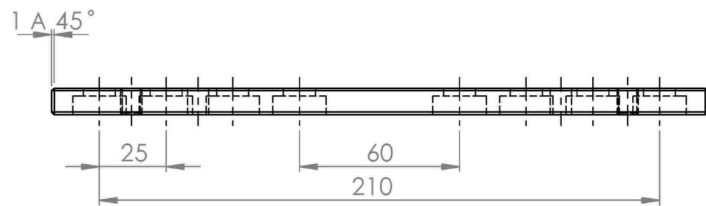
2020-09-07



A4

Fabrication Mécanique Et Productique

Bouyahiaoui
Abdellah
Mouhamou
Chames Eddine



FACULTY DE TECHNOLOGIE

ECHELLE:1/2

CONTRE PLAQUE D'EJECTION

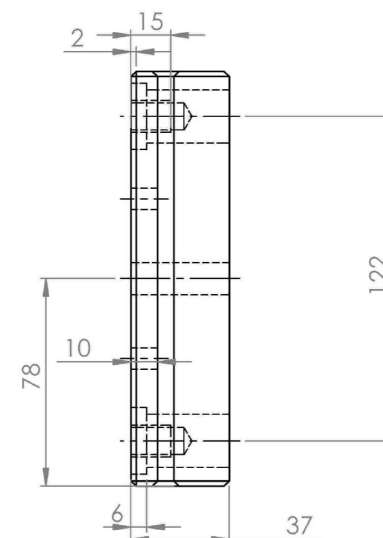
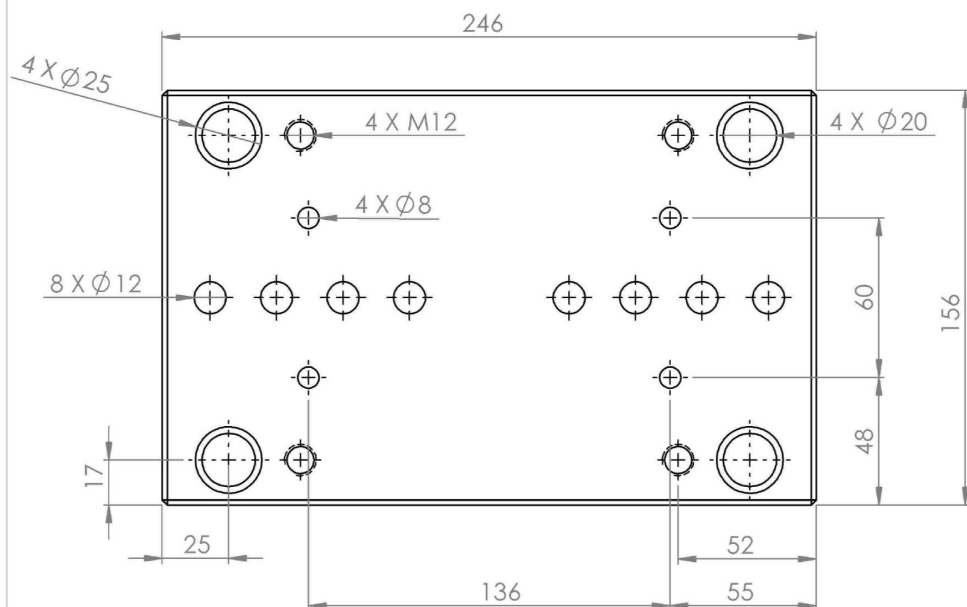
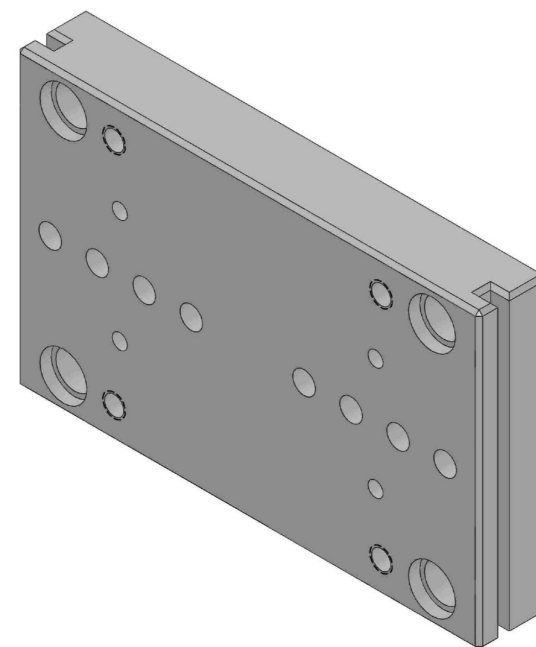
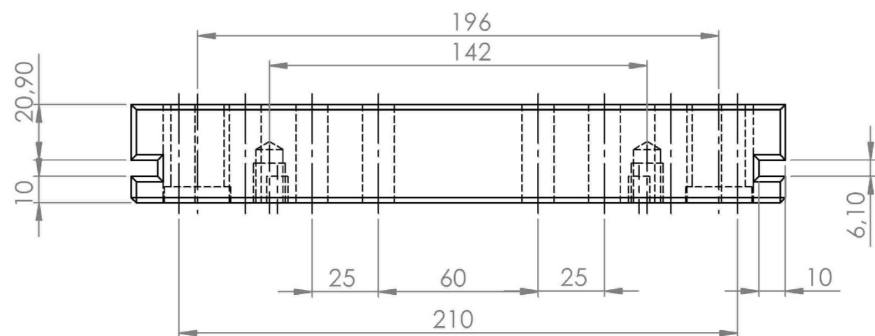
2020-09-07



A3

FABRICATION MECANIQUE ET PRODUCTIQUE

BOUYAHIAOUI
ABDELLAH
MOUHAMOU
CHAMES EDDINE



FACULTY DE TECHNOLOGIE

ECHELLE: 1/2

CONTRE PLAQUE

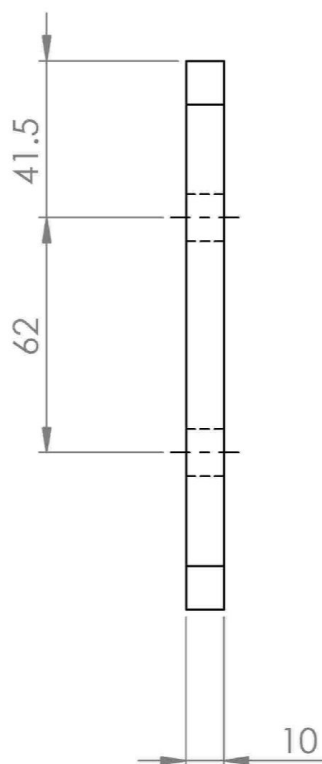
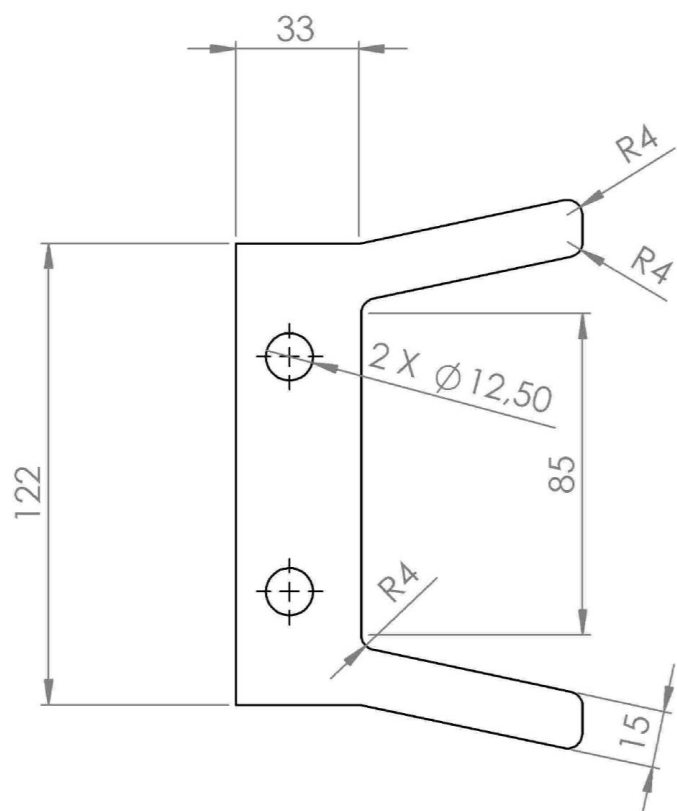
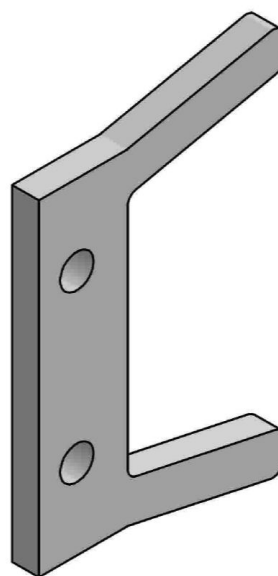
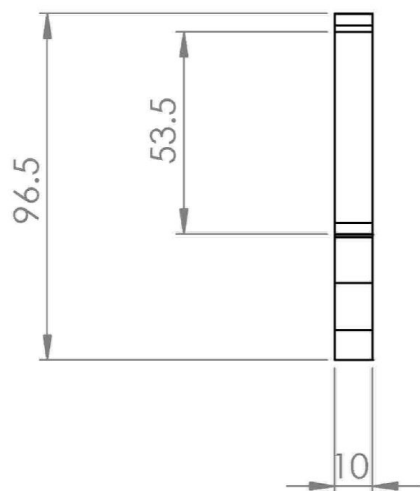
2020-09-07



A3

FABRICATION MECANIQUE ET PRODUCTIQUE

BOUYAHIAOUI
ABDELLAH
MOUHAMOU
CHAMES EDDINE



Faculté De Technologie

Echelle: 1/2

Doigt Incliné Exterieur

2020-09-07



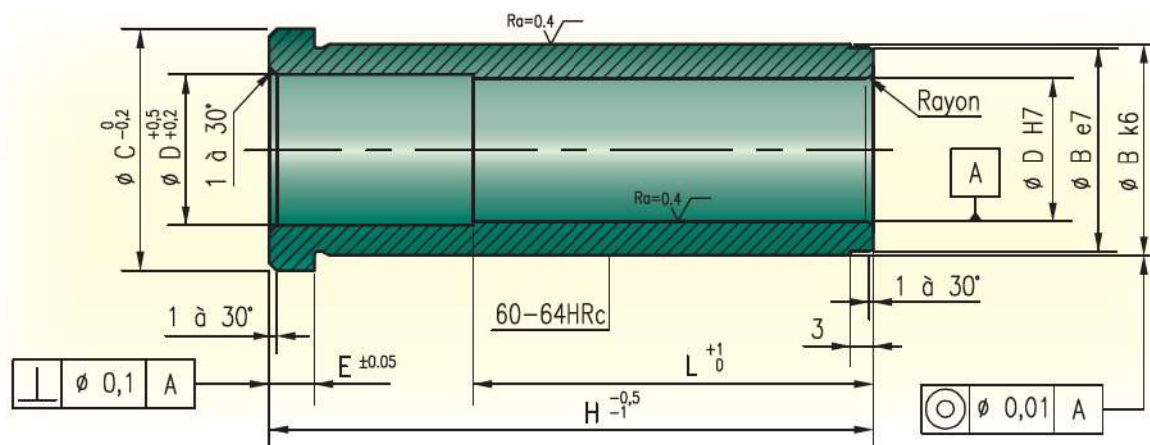
Bouyahiaoui
Abdellah
Mouhamou
Chames Eddine

A4

Fabrication Mécanique Et Productique

BAGUE A COLLERETTE SANS PLOT DE CENTRAGE OXA®

HEADED GUIDE BUSH WITHOUT CENTERING PLUG OXA®
FÜHRUNGSBUCHSE MIT BUND OHNE ZENTRIERANSATZ OXA®



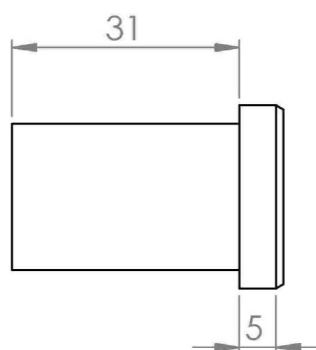
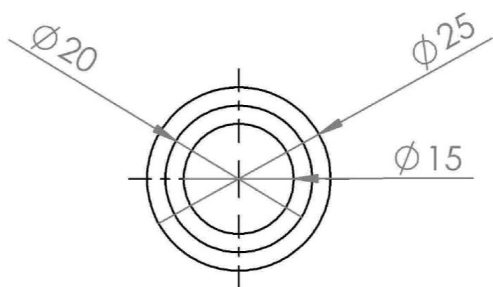
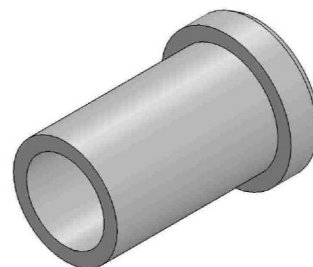
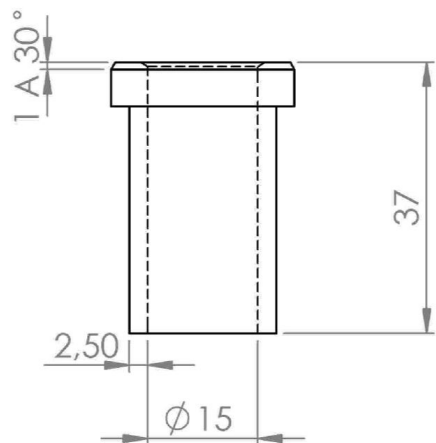
REF. 1053 D=18 H=56



1053-18-56

B	C	E	L	D	H	REF. 1053
18	23	6	17	12	17	
			22		22	
			27		27	
			36		36	
			46		46	
			56		56	
20	25	6	12	14/15	12	
			17		17	
			22		22	
			27		27	
			36		36	
			46		46	
			56		56	
			56		66	
22	27	6	17	16	17	
			22		22	
			27		27	
			36		36	
			46		46	
			56		56	
26	31	6	17	18/20	17	
			22		22	
			27		27	
			36		36	
			46		46	
			56		56	
			66		66	
			76		76	
			76		86	
			76		96	

B	C	E	L	D	H	REF. 1053
30	35	6	17	22/24	17	
			22		22	
			27		27	
			36		36	
			46		46	
			56		56	
			66		66	
			76		76	
42	47	6	86	30/32	86	
			96		96	
			116		116	
			116		136	
			116		156	
			116		176	
			116		196	
			116		216	
54	60	10	46	40/42	46	
			56		56	
			66		66	
			76		76	
			86		86	
			96		96	
			116		116	
			136		136	
			136		156	
			136		196	



Faculté De Technologie

Echelle: 1/2

Douille De Centrage

2020-09-07



Bouyahiaoui
Abdellah
Mouhamou
Chames Eddine

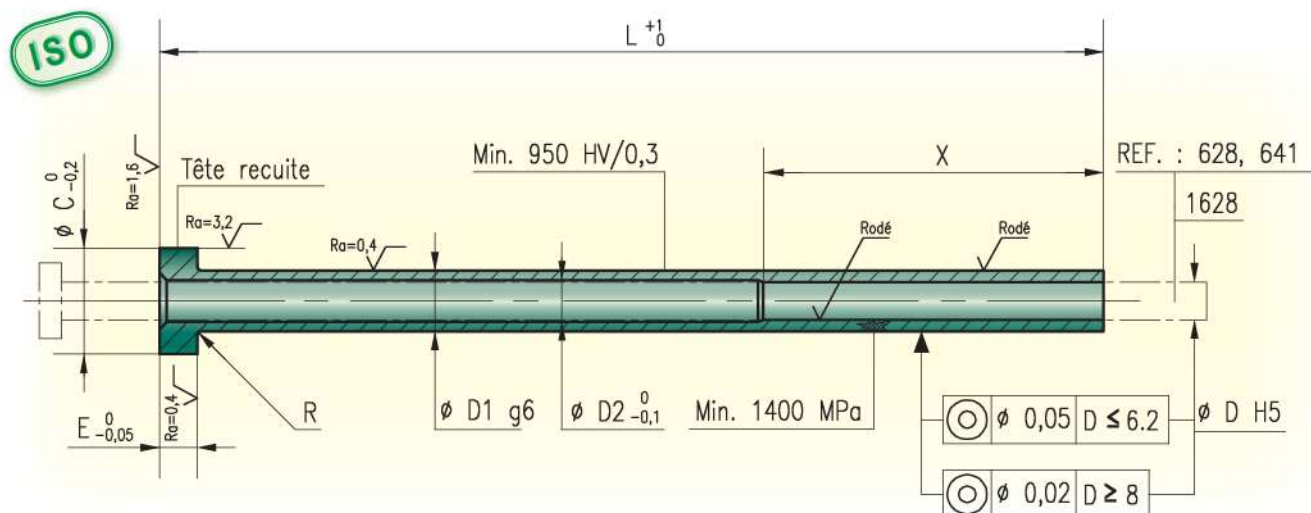
A4

Fabrication Mécanique Et Productique

EJECTEUR TUBULAIRE TETE CYLINDRIQUE NITRURE RODE

NITRIDED EJECTOR SLEEVE
AUSWERFERHÜLSE, NITRIERT, MIT ZYLINDRISCHEM KOPF

NF ISO 8405, DIN 16756



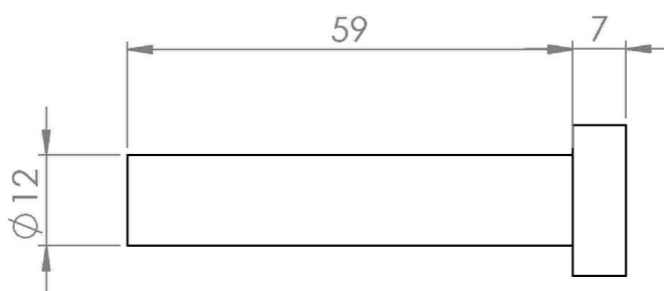
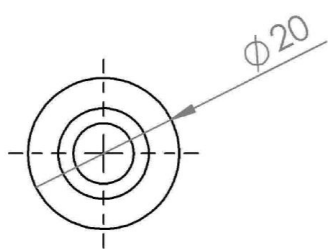
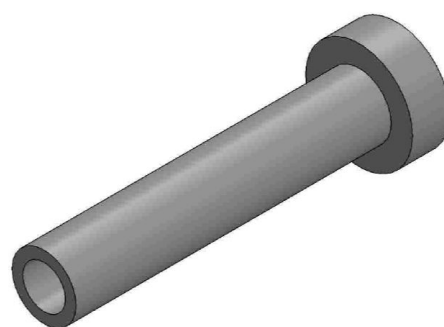
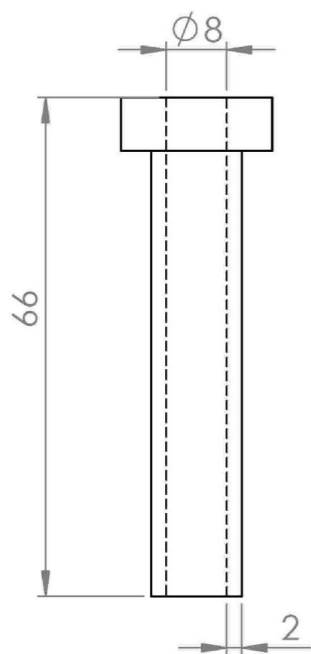
REF. 626 D=4 L=150 mm



626-4-150

Fabrications spéciales sur demande
Special manufacture on request
Spezialherstellung auf Anfrage

C	E	R	D2	X	D1	L	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350
8	3	0,3	2,4	12	4	0,8												
8	3	0,3	2,4	12	4	1												
8	3	0,3	2,4	12	4	1,1												
8	3	0,3	2,4	12	4	1,2												
8	3	0,3	2,4	20	4	1,5												
8	3	0,3	2,4	20	4	1,6												
8	3	0,3	2,4	20	4	1,7												
8	3	0,3	2,5	35	4	2												
8	3	0,3	2,5	35	4	2,2												
8	3	0,3	2,5	35	4	2,5												
10	3	0,3	3	35	5	2,7												
10	3	0,3	3,5	45	5	3												
10	3	0,3	3,5	45	5	3,2												
10	3	0,3	3,5	45	5	3,5												
12	5	0,5	4	45	6	3,7												
12	5	0,5	4,5	45	6	4												
12	5	0,5	4,5	45	6	4,2												
14	5	0,5	5	45	8	4,5												
14	5	0,5	5,5	45	8	5												
14	5	0,5	5,5	45	8	5,2												
16	5	0,5	6,5	45	10	6												
16	5	0,5	6,5	45	10	6,2												
20	7	0,8	7,5	45	12	7												
20	7	0,8	8,5	45	12	8												
20	7	0,8	8,5	45	12	8,2												
20	7	0,8	9	45	12	8,5												
22	7	0,8	9,5	45	14	9												
22	7	0,8	10,5	45	14	10												
22	7	0,8	10,5	45	14	10,2												
22	7	0,8	11	45	14	10,5												
22	7	0,8	11,5	45	14	11												
22	7	0,8	12,5	45	16	12												
22	7	0,8	13	45	16	12,5												
26	7	0,8	14,5	45	18	14												
26	8	1	16,5	55	20	16												



Faculté De Technologie

Echelle: 1/2

Partie Extérieur D'éjecteur Tubulaire

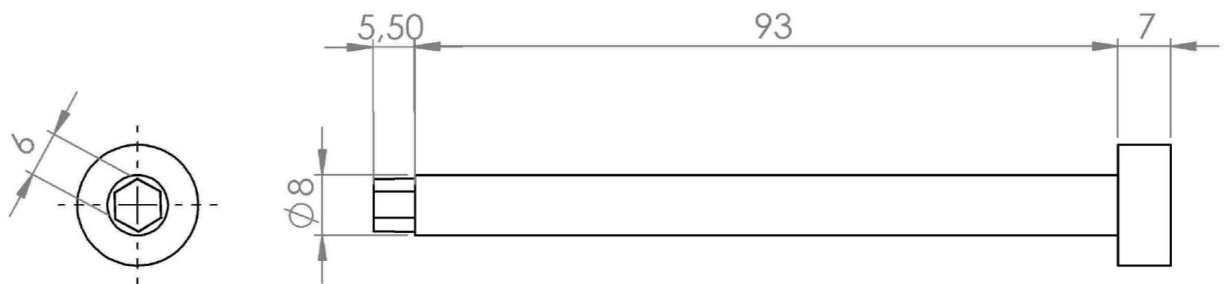
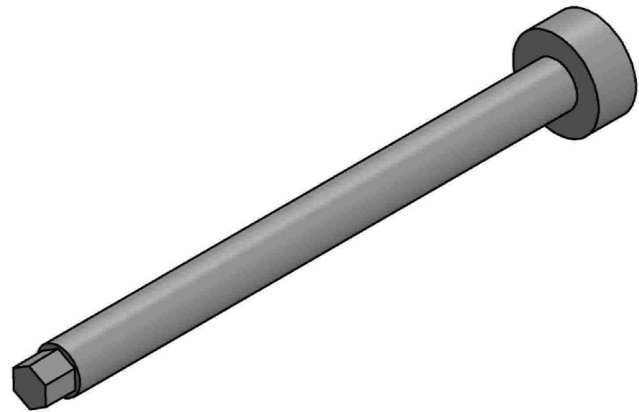
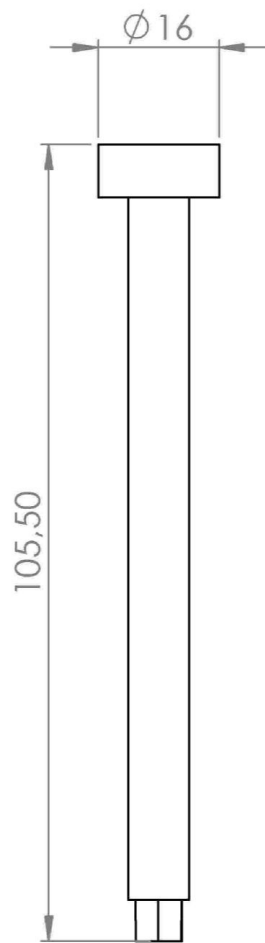
2020-09-07



A4

Fabrication Mécanique Et Productique

Bouyahiaoui
Abdellah
Mouhamou
Chames Eddine



Faculté De Technologie

Echelle: 1/2

Partie Interieur D'éjecteur tubulaire

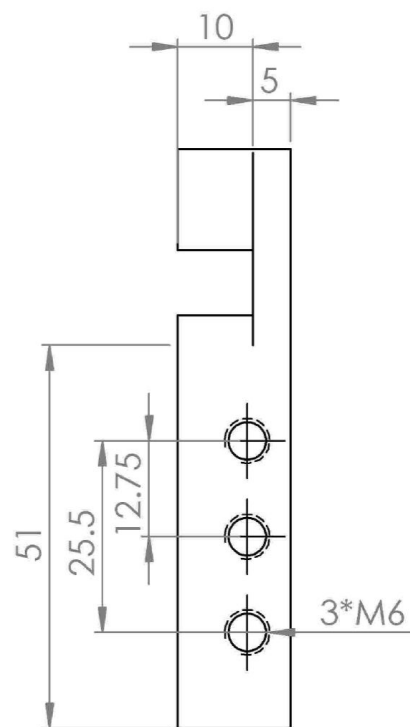
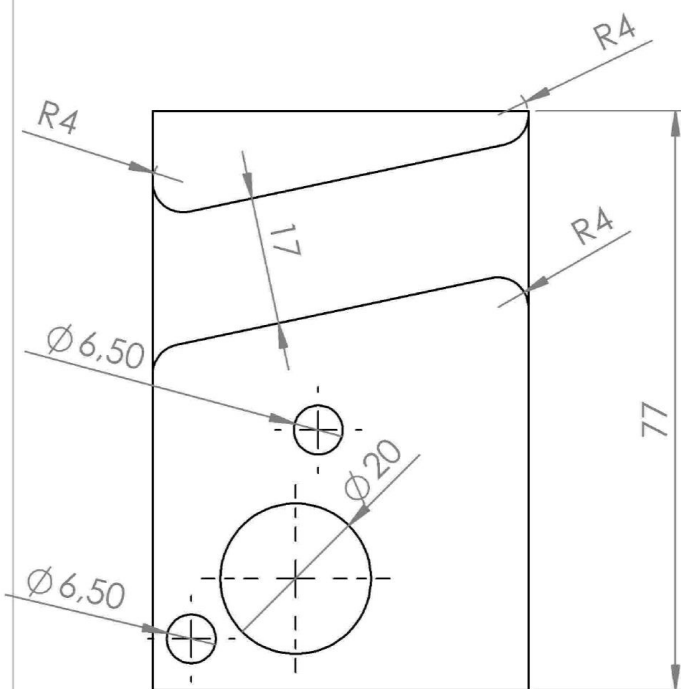
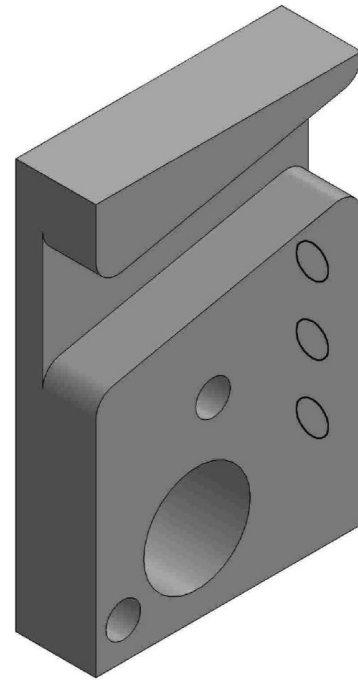
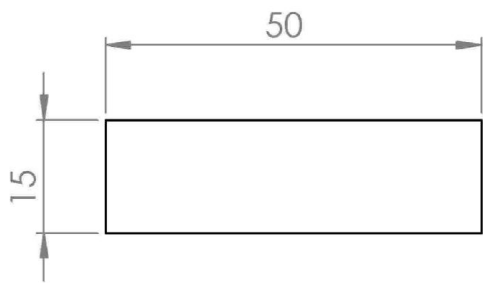
2020-09-07



A4

Fabrication Mécanique Et Productique

Bouyahiaoui
Abdellah
Mouhamou
Chames Eddine



Faculté De Technologie

Echelle: 1/2

Plaque de guidahe rainuré

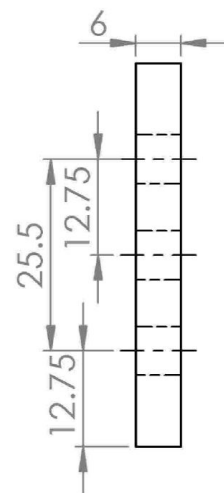
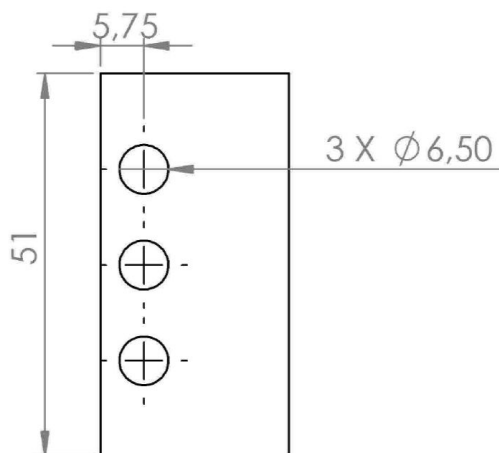
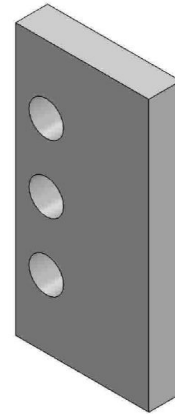
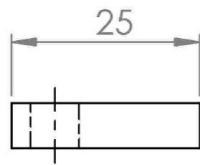
2020-09-07



Bouyahiaoui
Abdellah
Mouhamou
Chames Eddine

A4

Fabrication Mécanique Et Productique



Faculté De Technologie

Echelle: 1/1

Plaque De Guidage

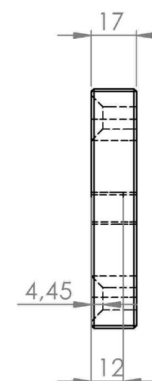
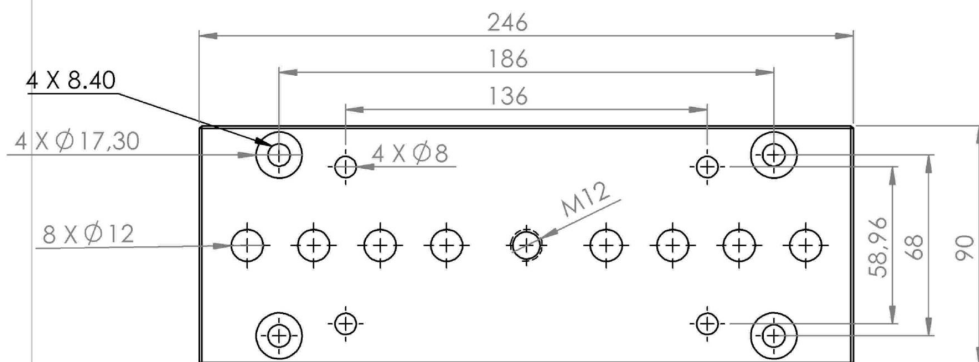
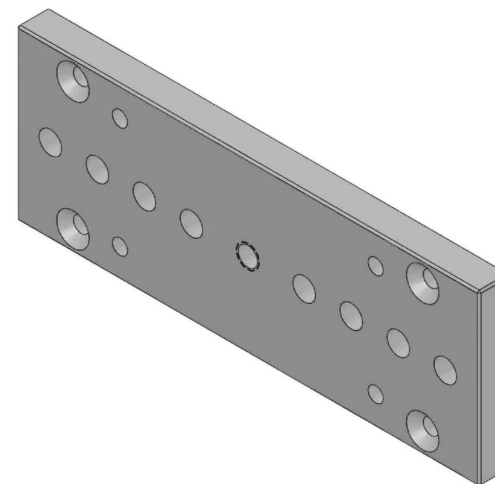
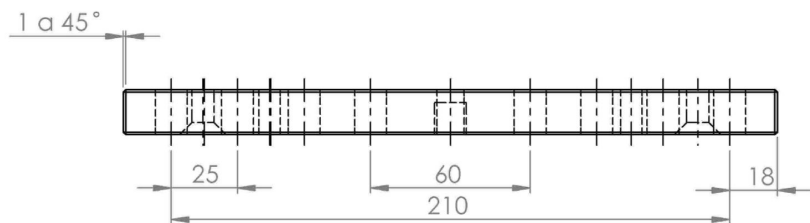
2020-09-07



A4

Fabrication Mécanique Et Productique

Bouyahiaoui
Abdellah
Mouhamou
Chames Eddine



FACULTY DE TECHNOLOGIE

ECHELLE : 1/2

PLAQUE D'EJECTION

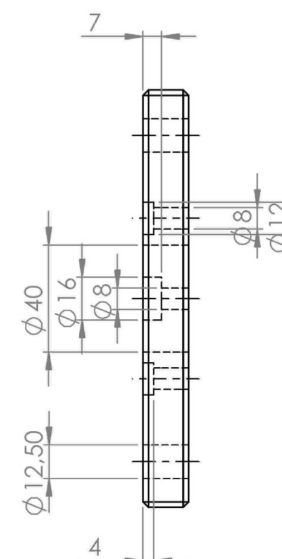
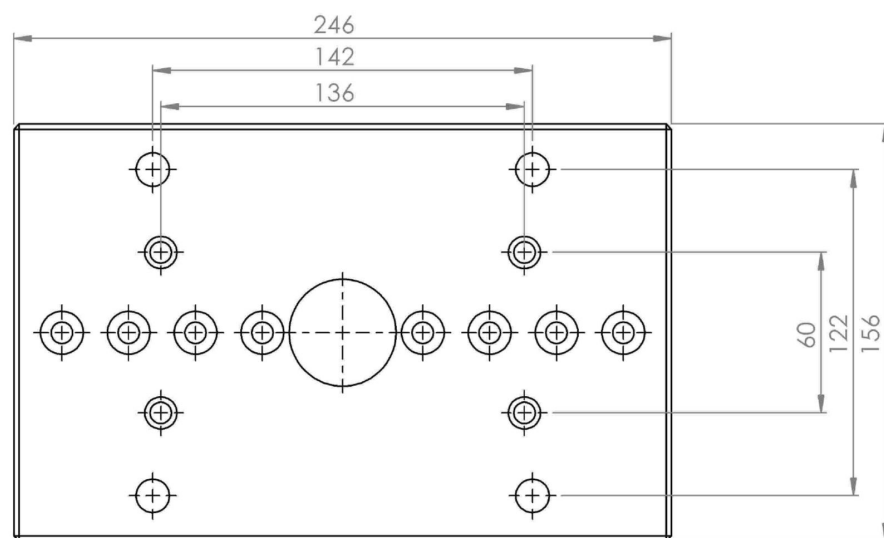
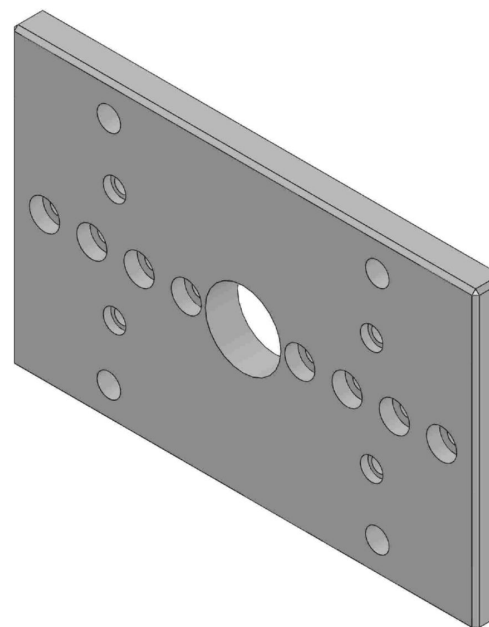
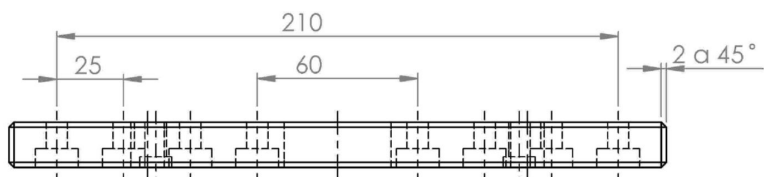
2020-09-07



A3

FABRICATION MECANIQUE ET PRODUCTIQUE

BOUYAHIAOUI
ABDELLAH
MOUHAMOU
CHAMES EDDINE



FACULTY DE TECHNOLOGIE

ECHELLE : 1/2



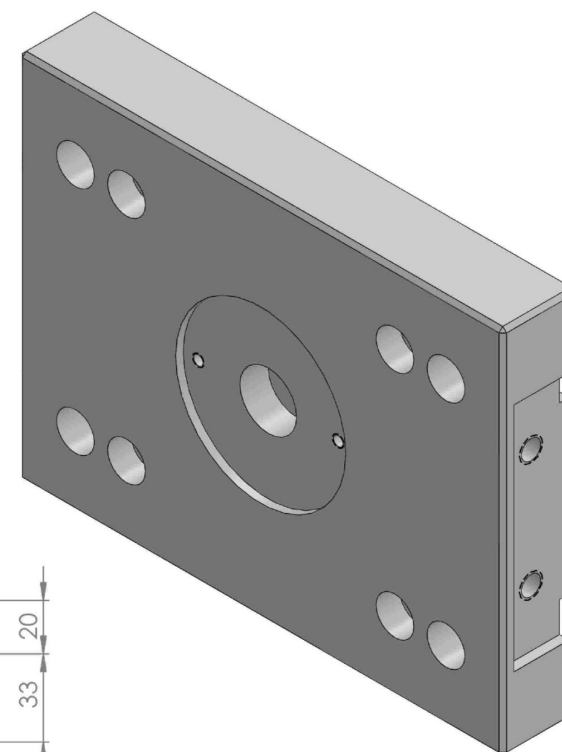
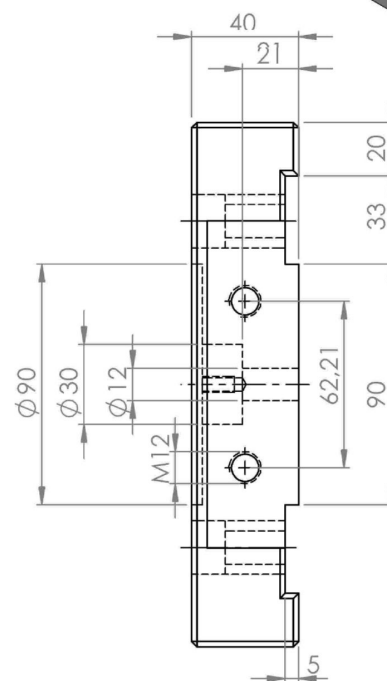
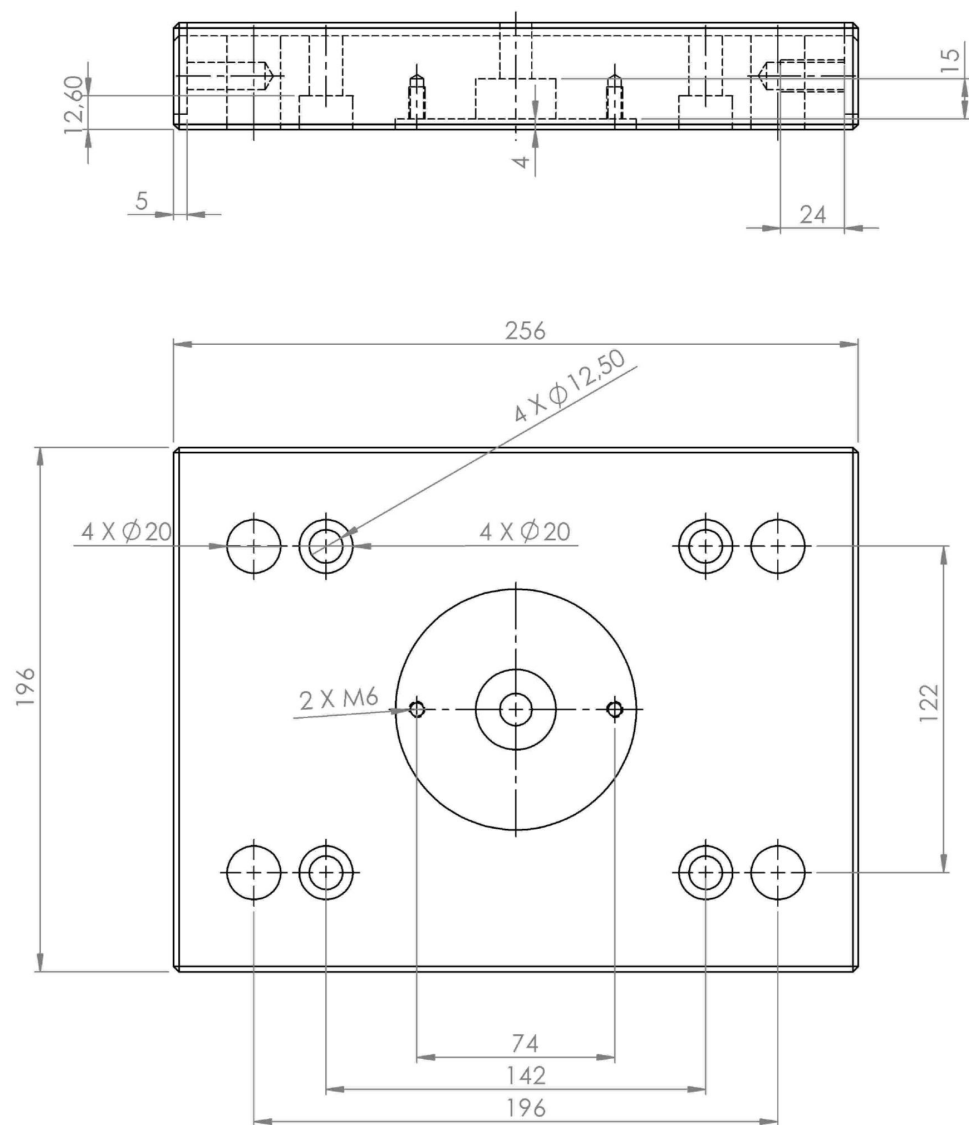
A3

PLAQUE PORTE EJECTEUR

FABRICATION MECANIQUE ET PRODUCTIQUE

2020-09-07

BOUYAHIAOUI
ABDELLAH
MOUHAMOU
CHAMES EDDINE



FACULTY DE TECHNOLOGIE

ECHELLE : 1/2

SUMELE FIX

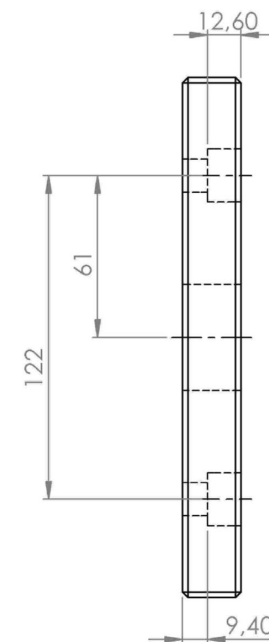
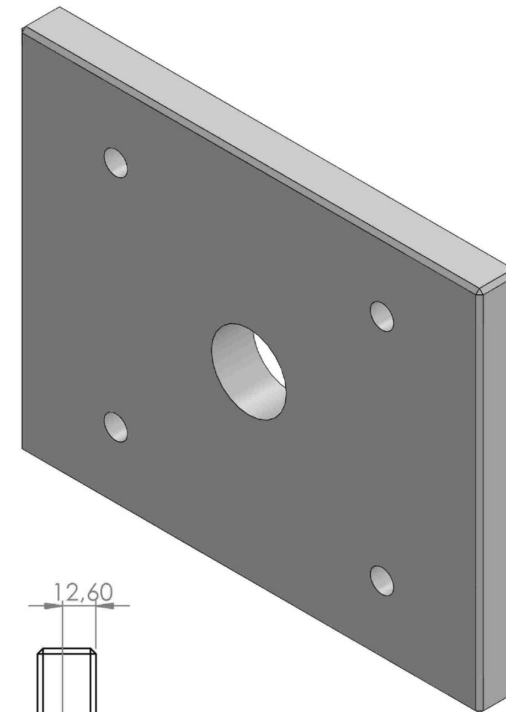
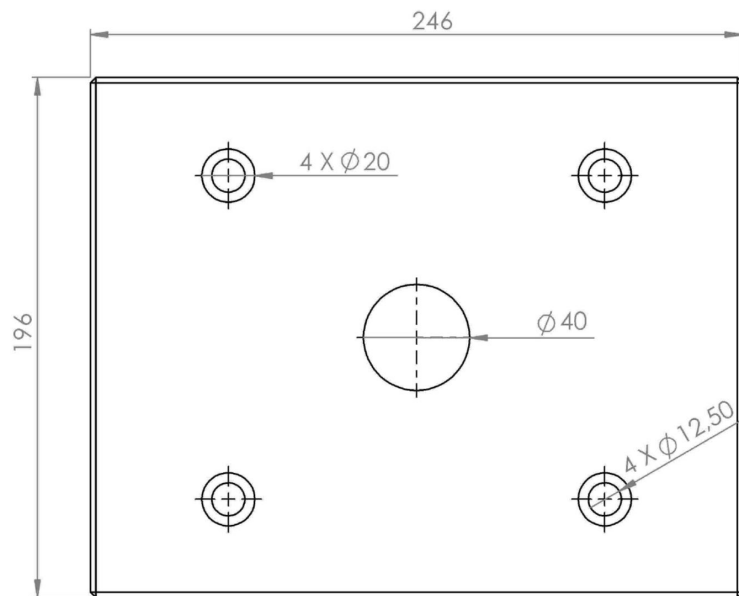
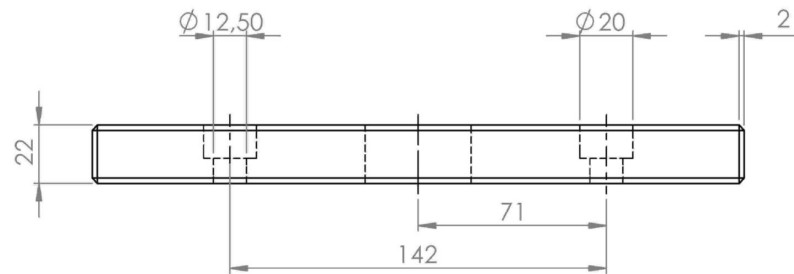
2020-09-07



A3

FABRICATION MECANIQUE ET PRODUCTIQUE

BOUYAHIAOUI
ABDELLAH
MOUHAMOU
CHAMES EDDINE



FACULTE DE TECHNOLOGIE

ECHELLE: 1/2

SUMELE MOBILE

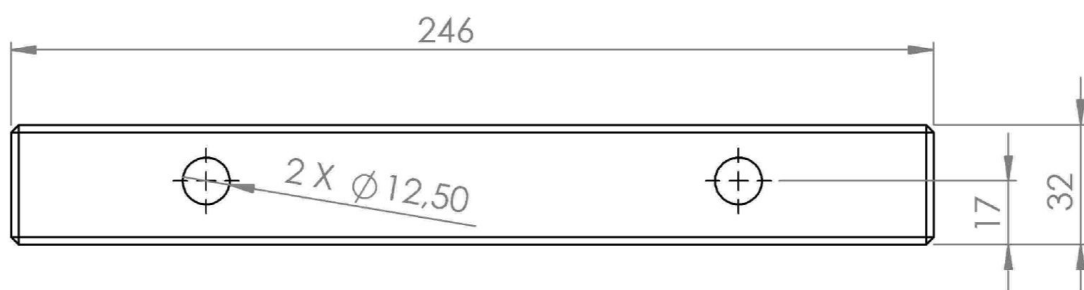
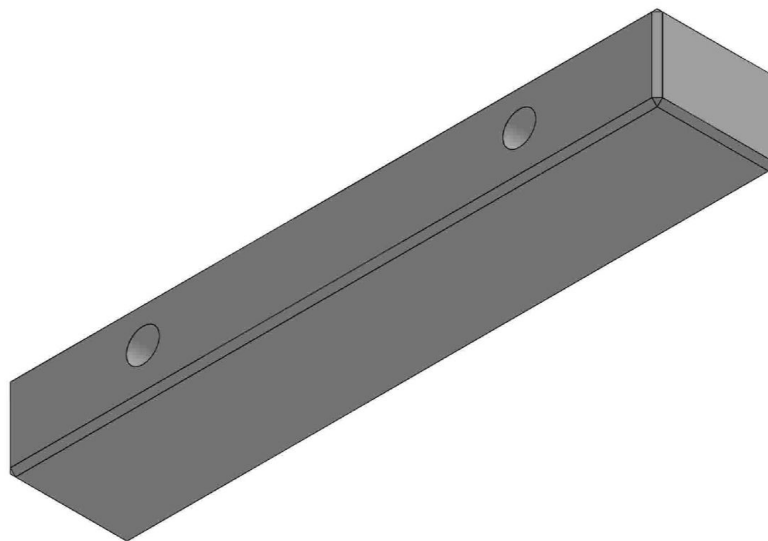
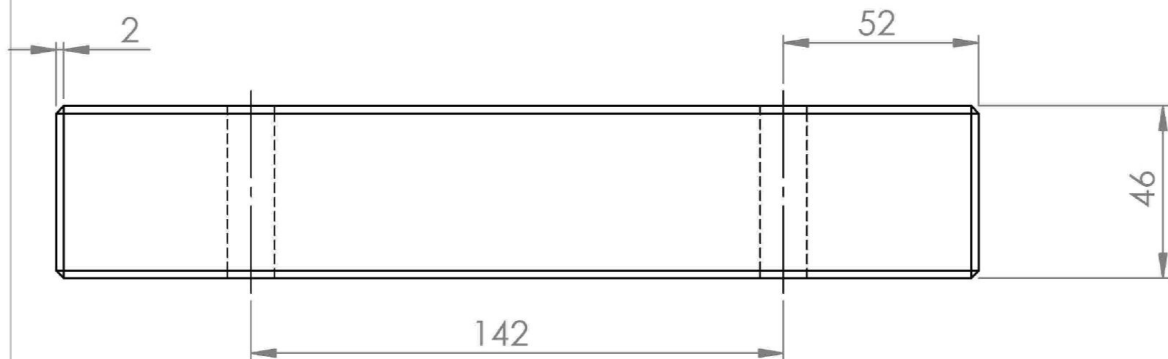
2020-09-07



A3

FABRICATION MECANIQUE ET PRODUCTIQUE

BOUYAHIAOUI
ABDELLAH
MOUHAMOU
CHAMES EDDINE



Faculté De Technologie

Echelle: 1/2

TASSEAU

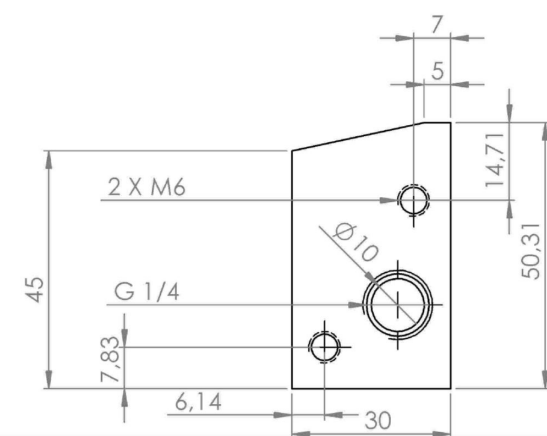
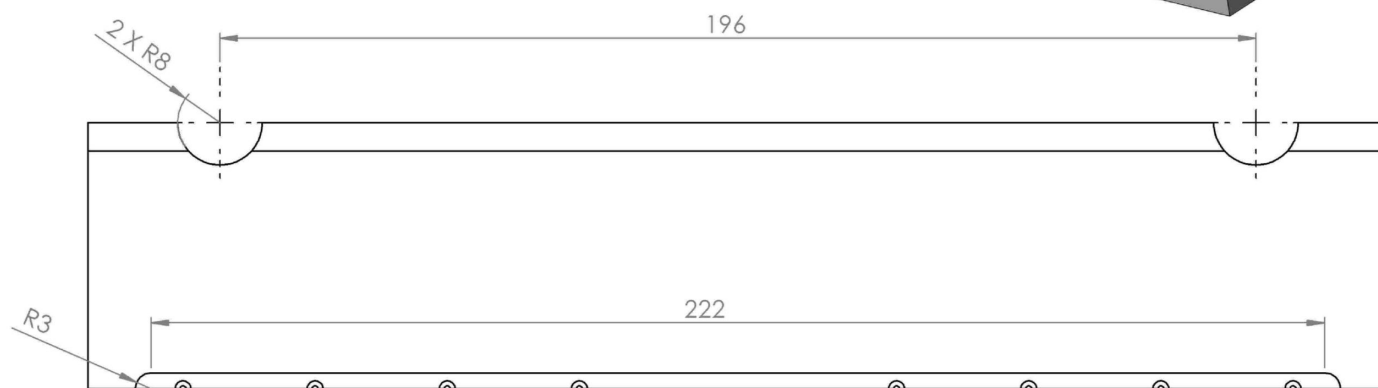
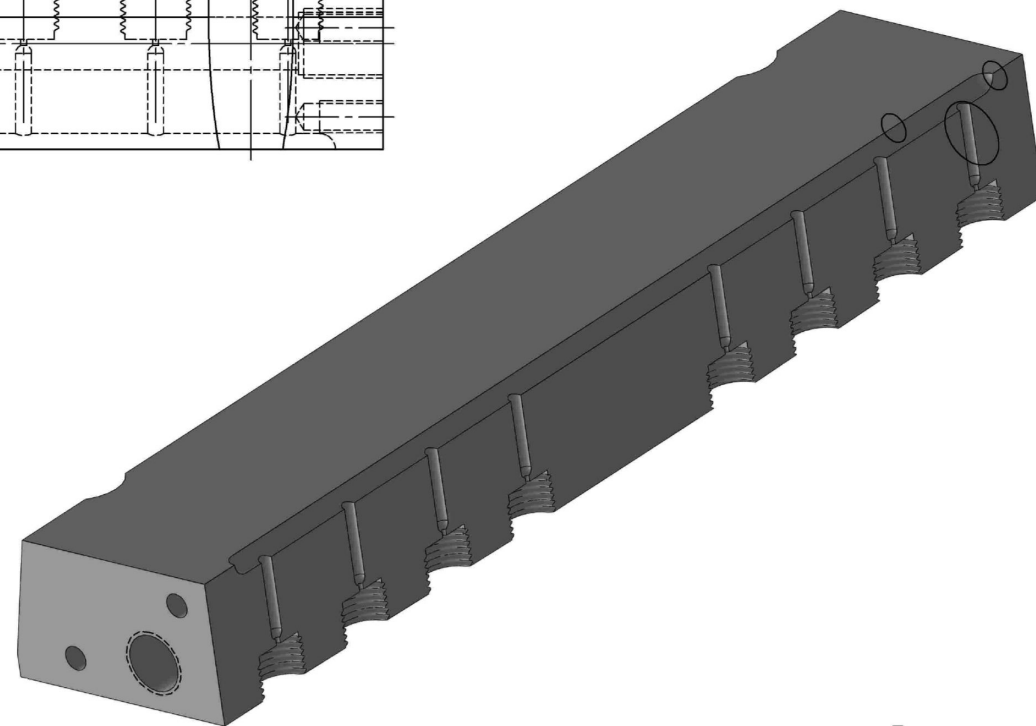
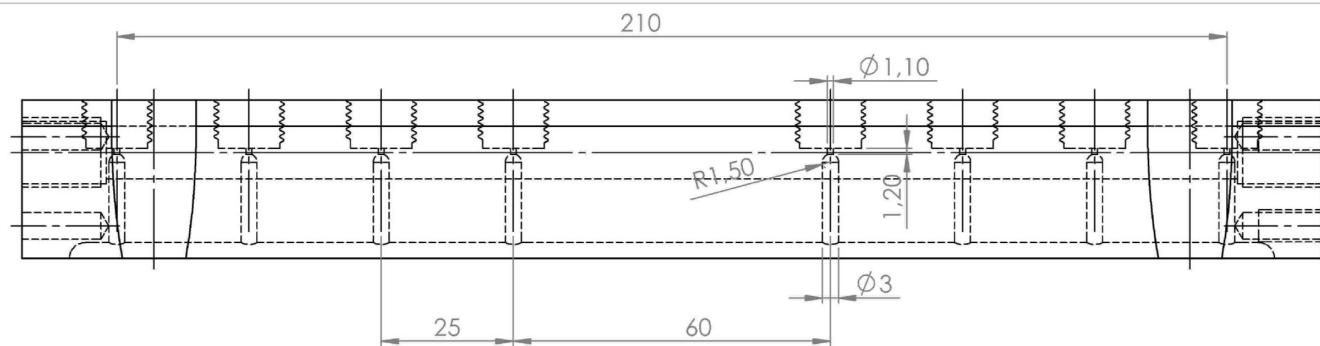
2020-09-07



A4

Fabrication Mécanique Et Productique

Bouyahiaoui
Abdellah
Mouhamou
Chames Eddine



FACULTY DE TECHNOLOGIE

ECHELLE : 1/1



A3

TIROIR

FABRICATION MECANIQUE ET PRODUCTIQUE

2020-09-07

BOUYAHIAOUI
ABDELLAH
MOUHAMOU
CHAMES EDDINE