

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté de génie de la construction

Département de génie mécanique



Mémoire de Fin D'étude

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

Thème



*Etude et conception d'un moule
injection plastique d'une boite de
jonction câbles*

Proposé par :

- Mr TEMMIM.A (POLYCAD)

Orienté par :

- Mr SALHI Ahmed

Réalisé par :

- OULD BOUALI Med Akli

- REMINI Ali

PROMOTION 2019-2020

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre sincères reconnaissances à l'égard de tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail, particulièrement à notre promoteur Mr SALHI AHMED pour sa disponibilité, ses conseils, ses suggestions.

*Ainsi qu'à Mr TEMMIMA responsable de la société
POLYCAD.*

Nos remerciements vont également aux responsables et techniciens du hall de technologie oued aïssi.

Et tous les enseignant qui nous ont aidés énormément dans la réalisation de notre projet, ainsi qu'à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Enfin, aux membres du jury qui nous font l'honneur d'examiner notre modeste travail.



Dédicaces

*Il nous est agréable de saisir cette occasion pour dédier ce
travail à tous :*

Nos parents.

Nos frères et sœurs.

*Tous nos amis (es), camarades et tous ceux qui nous ont aidé
de près ou de loin.*

A toute la promotion 2019/2020.

Ali et Md Akli

Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des abréviations et symboles	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Listes des annexes	
Listes des équations	
Introduction générale	1
Présentation de l'entreprise	2

Chapitre 1 : Etude des matières plastiques

Introduction.....	5
1- Définition de la matière plastique	6
2- Histoire des matières plastiques	8
3- Les polymères synthétiques et réaction de synthèse	11
-Définition d'une réaction de synthèse	11
-Réaction de synthèse polymérisation (degré de polymérisation)	12
4- Rappel sur la chimie organique	14
5- Origines de la matière plastique et origine des monomères	15
5-1- Du pétrole au naphta.....	15
5-2- Du naphta aux monomères (traitement par vapocraquage)	16
5-3-Du monomère aux polymères	18
6- Les composants de la Matière Plastique	21
6-1- Les additifs	21
6-2- Les adjuvants	22
7- Le cycle de production des matières plastiques (obtention du granulé) :	25
➤ Production des granulés	25
➤ Utilisation des granulés par le transformateur	25
8-Présentation de la matière plastique dans le marché	27
9- Les grandes familles de la matière plastique	28
9-1-LES THERMOPLASTIQUES	28
9-2-LES THERMODURCISSABLES	30
9-3-LES ÉLASTOMÈRES.....	31

10- Le plastique industriel, désignation et caractéristique	32
10-1- Les Polyoléfines	32
10-2- Les Polyvinyliques	32
10-3- Les Polystyréniques	33
10-4- Le polypropylène PP	34
10-5- Les Polyacryliques et polyméthacryliques	35
10-6- Les Polyamides	35
10-7- Les Polycarbonates	36
10-8- Les Cellulosiques	36
10-9- Les Polyesters Linéaires	36
10-10- Les Polyfluorethenes	37
10-11- Les Polyacetals	37
10-12- Les Polysulfones	37
10-13- Le polysulfure de phénylene	37
10-14- Le polyoxyphénylene modifié (ppo)	37
11- Les propriétés de la matière plastique	38
12- Le recyclage des matières plastiques	40
Conclusion.....	42

Chapitre 2 : Les techniques de mise en forme des matériaux plastiques

Introduction	44
1- Les principaux procédés de mise en forme	45
1-1- Le procédé injection	45
1-2- Procédé de mise en œuvre par injection plastique	47
1-3- Le procédé injection soufflage	50
1-4- Le procédé extrusion	51
1-5- Le procédé thermoformage	54
1-6- Le procédé calandrage	57
1-7- Le procédé Roto-moulage	58
1-8- Le procédé expansion- moulage	60

Conclusion	61
------------------	----

Chapitre 3 : moules d'injection plastique

Introduction.....	63
-------------------	----

1- Le procédé injection	64
--------------------------------------	-----------

Le cycle d'injection	64
----------------------------	----

2- La presse d'injection	65
---------------------------------------	-----------

2-1- Structure de la presse d'injection	66
---	----

2-2- L'unité de plastification ou injection	68
---	----

2-3- L'unité de fermeture et verrouillage	69
---	----

- Fermeture mécanique	70
-----------------------------	----

- Fermeture hydraulique	70
-------------------------------	----

- Fermeture mixte	70
-------------------------	----

2-4- Caractéristiques techniques d'une presse d'injection	71
---	----

3- Structure d'outillage d'injection « Le moule »	76
--	-----------

3-1-Nomenclature de moule	78
---------------------------------	----

3-2- Les fonctions d'un moule d'injection	80
---	----

3-2-1- Fonction mise en forme ou empreinte	81
--	----

3-2-2- Fonction centrage guidage et positionnement	82
--	----

3-2-3- Fonction alimentation	86
------------------------------------	----

3-2-3-1- Les différents canaux d'alimentation	87
---	----

3-2-3-2- Les types de seuil d'injection.....	87
--	----

3-2-3-2-1- Seuil en masse ou direct	87
---	----

3-2-3-2-2- Seuil annulaire	88
----------------------------------	----

3-2-3-2-3- Seuil conique ou en éventail	88
---	----

3-2-3-2-4- Seuil capillaire	89
-----------------------------------	----

3-2-3-2-5- Seuil en nappe.....	89
--------------------------------	----

3-2-4- Fonction régulation et contrôle de température	93
---	----

3-2-5- Fonctions d'éjection	97
-----------------------------------	----

3-2-6- Fonctions manutention, stockage, sécurité et liaison machine	99
---	----

5- Calcul du nombre d'empreinte dans un moule	100
--	------------

6- Dimensionnement	101
7- maitrise du phénomène de RETRAIT	102
8-Calcul du temps de cycle de moulage par injection	104
8-1- Cycle de moulage.....	104
8-2- Paramètres et réglages	104
9-Détermination du cout de la pièce injectée	105
10-Problèmes de moulage et Précautions à prendre	107
Conclusion.....	112

Chapitre 4 : Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

Introduction.....	114
1- La CAO (conception assistée par ordinateur)	114
1-1- Définition de la CAO	114
1-2-Domains de la CAO	114
1-3-Avantages de la CAO	115
1-4- Application	115
a) Conception de la pièce moulée	115
b) Conception du moule	117
c) Assemblage du moule	120
Conclusion.....	122

Chapitre 5 : Calcul et Vérification

Introduction.....	124
1- Le choix de la machine	124
1-1. La capacité d'injection	124
a- La masse de la pièce	125
b- La masse de la carotte	126
c- La masse de la moulée (M)	127
1-2- Détermination du nombre d'empreinte.....	128
1-3- La force de fermeture de la machine.....	129
a- La force de verrouillage.....	129

Sommaire

b- La force de fermeture	129
1-4- La Puissance de plastification (C)	130
1-5- La distance entre colonnes	130
1-6- Epaisseur minimale du moule	131
1-7- Caractéristiques techniques de la Presse 75 T.....	132
2- Le bilan thermique	132
2-1. Principe de refroidissement	132
2-2. Temps de refroidissement	133
2-3. Temps de cycle	134
2-4. Calcul de la quantité de chaleur évacuée	136
2-5. Détermination de la consommation horaire de liquide	137
2-6. Détermination de la longueur totale de refroidissement	137
a- La température du film	137
a .1- La viscosité dynamique (μ)	139
a .2- La chaleur spécifique ou la capacité calorifique de l'eau (C_p)	139
a .5- La viscosité cinématique (ν)	139
a .6- Le nombre de Reynolds (Re)	140
a .7- Le nombre de Prandtl (Pr)	140
a .8- Le coefficient d'échange convectif (h)	140
3. Résistance des matériaux	141
3-1. Les poids des pièces constituant le moule	141
3-2. Résistance des éléments constituant le moule au matage dû à la force de ..	142
a- PARTIE MOBILE	143
b- PARTIE FIXE	143
Conclusion.....	144
Conclusion générale.....	146
Bibliographie.....	147
Annexes	

Liste des abréviations et symboles

Abbreviations

SAN: styrene acrylonitrile HD: high definition

3D : trois dimensions 2D : deux dimensions PS : polystyrène

SB : styrène butadiène

ASTM : American société for testing

ISO : internationale standard organisation TD : thermodurcissable

TP : thermoplastique

DAO : dessin assisté par ordinateur

CAO : conception assisté par ordinateur

FAO : fabrication assisté par ordinateur

Symboles

Rv : retrait volumique

Q : la quantité de chaleur M : la masse

H : enthalpie de la matière Tc : temps de cycle

S : épaisseur de la pièce

ΔP : variation de la pression

Tr : temps de refroidissement

Td : température moyenne de la moulée au moment de démoulage

A : coefficient de diffusion thermique de polymère

tm : température de la surface de l'empreinte

CAM : complexe d'Appareils Ménagers

PS : Polystyrène

PE : Polyéthylène

Tg : Point de température de transition vitreuse

Tf : Point de fusion

PP : Polypropylène

e : épaisseur

L : Longueur

Lc : Longueur totale des canaux

P : Pression dans la cavité

S : Surface

K : Coefficient de sécurité

N : Effort normal

F : Force de fermeture de moule

δ : Contrainte de fermeture de moule

C : puissance de plastification

S : Coefficient de sécurité

Spj : surface de plan de joint

Re: Limite élastique du matériau

δ_e : Limite de fatigue

tr : temps de refroidissement

ti: temps d'injection

tm: temps de maintien

te : temps d'éjection

to: temps d'ouverture

tf : temps de fermeture

D : diffusivité thermique du plastique

T_m : température de la matière à l'injection

T_e : température de la matière à l'éjection

Q : quantité de chaleur à évacuer

M_c : la masse de la carotte

M : masse de la grappe moulée

H_i : enthalpie de la matière à la température d'injection

H_e : enthalpie de la matière à la température d'éjection

D_c : diamètre des canaux

ρ : Masse volumique du fluide de refroidissement

LC : Longueur totale des canaux

T_c : temps de cycle

T_e : température de fluide au centre du canal

L : longueur de l'élément

D : diamètre de l'élément

α : Coefficient de transmission /circuit de refroidissement

V : vitesse de circulation des fluides

d : Distance canaux de refroidissement empreint

λ : Conductivité de l'eau

T_f : température de film

K : Coefficient de transmission thermique

h : Coefficient de transfert thermique.

Pr: nombre de Prandtl

Re: nombre de Reynolds

T_{ee} : température d'entrer d'eau

T_s : température de sortie d'eau

μ : la viscosité dynamique

ν : la viscosité cinématique NU : Nombre de Nusselt.

Liste des figures

N° figure	Figure	Page
Chapitre 1 : Etude des matières plastiques		
01	Polymère naturel	07
02	Polymère artificiel	07
03	Polymère synthétique	07
04	Réaction de synthèse (réaction de polymérisation)	11
05	présentation chimiques d'un polymère	12
06	la structure hiérarchique de la matière plastique	14
07	Tour de distillation atmosphérique	15
08	Tour atmosphérique	16
09	Transformation du naphta aux monomères (traitement par vapocraquage)	17
10	principe d'un vapocraqueur	17
11	schéma résumant la transformation de la matière plastique	18
12	Transformation de l'éthylène	19
13	transformation du propylène	19
14	transformation du butadiène	20
15	transformation du l'isobutène, du butène et de l'isoprène	20
16	Composants de la matière plastique	21
17	Rôles des composants (additifs)	22
18	Rôles des composants (adjuvants)	24
19	Cycle de production de la matière plastique	26
20	Cycle de production de la matière plastique	26
21	Présentation de la matière plastique dans le marché	27
22	Les Polyoléfines	32
23	Les Polyvinyliques	33
24	Les Polystyréniques	34
25	Le polypropylène PP	34
26	Polyacryliques et polyméthacryliques	35
27	Les Polyamides	35
28	Les Polycarbonates	36
29	Le recyclage des matières plastiques	41
Chapitre 2 : Les techniques de mise en forme des matériaux plastiques		
01	Structure de la presse d'injection	45
02	presse d'injection	46
03	Presse d'injection	46
04	Cycle d'injection	48
05	Schémas de l'ouverture et fermeture d'un moule	49
06	quelques pièces plastiques injectées	49
07	Procédé injection soufflage	50

08	Procédé injection soufflage avec biorientation	51
09	procédé et outillage de la filière d'extrusion	52
10	Procédé extrusion soufflage	53
11	Procédé extrusion gonflage	54
12	exemple de produit du procédé thermoformage	55
13	Machine de thermoformage et Outillages	56
14	procédé calandrage	57
15	procédé de roto-moulage	58
16	Machine de roto-moulage	59
17	Moule de roto-moulage	59
18	étapes du procédé roto-moulage	59
19-20	Bille de polystyrène expansée	60
21	Exemples de polystyrène	61
Chapitre 3 : moule d'injection plastique		
01	Presse d'injection	65
02	Structure de la presse d'injection	66
03	Composants de la presse d'injection	67
04	Unité de plastification	68
05	Structure de la buse de presse	69
06	Unité de fermeture et verrouillage	69
07	Système de plastification de la presse d'injection	74
08	Structure d'un moule d'injection plastique	76
09	Nomenclature d'un moule	78
10	Différents composants d'un moule	79
11	Fonction d'un moule d'injection	80
12	Formes-en contre dépouille	82
13	Centrage d'un plan de joint incliné	83
14	Centrage par éléments coniques	83
15	Centrage et guidage d'un moule injection	84
16	Montage des éléments de guidage dans un moule	85
17	Eléments standards de guidage	85
18	Les différents canaux d'alimentation	86
19	Seuil directe	87
20	Seuil annulaire	88
21	Seuil conique	88
22	Seuil capillaire	89
23	Seuil sous-marin	89
24	seuil a tunnel courbe	90
25	Disposition des empreintes dans un moule d'injection	92
26	Accessoires pour circuit de refroidissement	94
27	Différents types de circuits de refroidissement	94
28	Éjecteur lame	97
29	Ejecteur tubulaire	97
30	Ejecteur cylindrique	97
31	Moule à éjecteur cylindrique	97

32	Moule à éjecteur tubulaire	97
33	Moule à soupape d'éjection	98
34	Ejection par plaque dévétisseuse	98
35	Les efforts sur une presse	101
Chapitre 4 : Conception Assistée par Ordinateur (CAO)		
01	Boitier de jonction (partie male)	115
02	Boitier de jonction (partie femelle)	116
03	Assemblage des deux boitiers	116
04	Empreinte fixe	117
05	Empreinte mobile	117
06	Plaque éjectrice	118
07	contre plaque éjectrice	118
08	Porte empreinte fixe	118
09	porte empreinte mobile	118
10	Grappe	118
11	Batterie éjectrice	118
12	Bague de centrage	118
13	insert pour empreinte mobile	118
14	Semelle mobile	119
15	Semelle fixe	119
16	Colonne de guidage	119
17	buse d'injection	119
18	Tasseaux	119
19	tétine	119
20	Goupille	119
21	vis CHC	119
22	Bague de guidage D26	119
23	bague de guidage D24	119
24	Ressort D32	120
25	éjecteur	120
26	Colonne de rappelle	120
27	carotte	120
28	Partie mobile du moule	120
29	Partie fixe du moule	121
30	Moule complet	121
Chapitre 5 : Calcul et vérification		
01	pièce moulée	125
02	La carotte	126
03	La masse de la grappe	127
04	Schémas d'un plateau d'une presse	130
05	Caractéristiques dimensionnelles de la presse	131
06	Variation de la pression /temps	135
07	Graphe des enthalpies en fonction de la température	136

Liste des tableaux

N° tableau	Tableau	Page
Chapitre 1 : Etude des matières plastiques		
01	Les thermoplastiques	28
02	Les Thermodurcissables	30
03	Les élastomères	31
04	Les caractéristiques physiques moyennes de quelques polymères thermoplastiques usuels	39
Chapitre 3 : moule d'injection plastique		
01	Caractéristiques techniques d'une presse d'injection	72
02	table de conversion poids injectables	75
03	Angle de dépouille	84
04	Avantages et inconvénients des canaux	93
Chapitre 5 : Calcul et vérification		
01	Capacité d'injection	124
02	la pression d'injection	129
03	caractéristique technique de la presse	132
04	les températures réglées	133
05	Grandeurs thermiques de quelques matières de pièces injectées	134
06	Conditions de moulage par injection plastique	135
07	Distribution des températures	139
08	Quelques groupements sans dimensions	139
09	Poids des pièces constituant le moule	142

Liste des Annexes

N°	Annexe
01	Empreinte fixe
02	Empreinte mobile
03	Porte empreinte fixe
04	Porte empreinte mobile
05	Plaque éjectrice
06	Contre plaque éjectrice
07	Semelle fixe
08	Semelle mobile
09	Bague de guidage D26
10	Bague de guidage D24
11	Bague de centrage
12	Colonne de guidage
13	Colonne de rappel
14	Buse d'injection D26
15	Ejecteur
16	Ressort D32
17	Tasseau
18	Tétine
19	Moule finalisé

Liste des équations

N°	DESIGNATION	N° DE PAGE
01	Degré de polymérisation	13
02	Force de fermeture	72
03	Temps de refroidissement	95
04	Temps de refroidissement	95
05	Retrait total	103
06	Temps de cycle à vide	105
07	Cout de la pièce injecté	105
08	Masse de la moulée	127
09	Nombre d'empreinte	128
10	Force de verrouillage	129
11	Force de fermeture	129
12	Puissance de plastification	130
13	Temps de refroidissement	133
14	Temps de cycle	135
15	Calcul de quantité de chaleur évacué	136
16	Consommation horaire du liquide	137
17	Température de film	138
18	Nombre de Reynolds	140
19	Nombre de Prandtl	140
20	Coefficient d'échange convectif	140
21	Poids des pièces constituant le moule	141
22	Condition de résistance au matage	142

Introduction générale

Introduction générale

Dans un secteur industriel fortement concurrentiel qui impose des exigences de qualité et de rentabilité, le technicien d'aujourd'hui doit être capable de raisonner et d'agir méthodiquement en appréhendant l'ensemble dans lequel il exerce son action. Sa culture technique et ses compétences lui permettent de s'adapter et de faire face aux évolutions technologiques.

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

Les plastiques ont éclipsé d'autres matériaux dans de nombreuses branches. Ils concurrencent les matériaux traditionnels dans l'emballage, la construction, l'industrie automobile et dans de nombreuses autres branches de l'industrie.

Les critères gouvernant leur choix sont plus nombreux que ceux qui caractérisent les autres matériaux. Parmi ces critères, il est possible de citer :

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

Durant ces dernières années, les entreprises nationales vivent une situation de concurrence, cela les mènent à produire des biens et des services au plus bas coût possible et dans un temps réduit. Pour cela, chaque entreprise recherche des méthodes d'évaluation plus réalistes et plus adaptées.

L'entreprise POLYCAD a décidé de s'inscrire à ce processus. Pour cela le service de développement de cette importante société, a pris l'initiative de fabriquer certaines pièces dans ses ateliers pour éviter leur importation.

L'objectif de notre projet est l'étude et conception d'un moule d'injection d'une boîte de jonction câble, en utilisant un logiciel de conception (CAO) Solid Works,

D'Après une sélection des matériaux, équipements et une note de calculs appropriés à la réalisation de plans d'exécution susceptible d'être utilisés au niveau de l'entreprise POLYCAD. Ainsi notre travail est effectué selon le plan suivant :

- Introduction général
- Présentation de l'entreprise
- Chapitre I : étude des matières plastiques

Introduction générale

- Chapitre II : techniques de mise en forme des matières plastiques
- Chapitre III : moules injections plastiques
- Chapitre IV : conception assistée par ordinateur (CAO)
- Chapitre V : Calculs et vérifications

En fin, nous terminons avec une conclusion générale.

Présentation de l'entreprise

POLYCAD est une entreprise Créée en 1994 par Mr TEMIM Abdelhamid, ancien cadre dirigeant du secteur de la pétrochimie, elle a entamé son activité en fabriquant les joints et la pièce technique en caoutchouc destinée aux différents secteurs (industrie, agriculture, hydraulique, véhicules, lourds, légers).

Située à la Zone d'activité Lot 55 Draa El MIZANE, TIZI OUZOU, Algérie ; POLYCAD regroupe entre 10 à 19 employés elle conçoit et réalise toutes pièces techniques en caoutchouc, élastomères et plastiques (Caoutchouc naturel, NBR, CR, EPDM, SBR, PP, ABS, PS, PE) destinées aux professionnels dans l'industrie en général (Agro -alimentaire, Cimenterie, Industrie pharmaceutique, Emballage, Ferroviaire, Automobile, BTP et Transport, etc. ...

Celle-ci développe aussi une gamme complète de solutions permettant d'améliorer et d'optimiser les installations des équipements de processus ; devenu l'un des fabricants leader en ALGERIE de la pièce technique. Cette entreprise est capable de fournir des services spécialisés uniques à divers secteurs d'activité Avec plus de 24 ans d'existence ; les valeurs, la mission et la philosophie de l'entreprise citée ci-dessous parlent d'elles-mêmes et traduisent parfaitement la culture de POLYCAD

La satisfaction du client est une priorité, la technologie et la qualité de ses produits, de même que l'efficacité de ses services font partie des clés de sa réussite.

La quête de l'excellence et de la perfection rend cette entreprise spéciale ; sans cesse elle essaye d'optimiser et de perfectionner son processus pour cela elle travaille dans le respect de la qualité, des normes selon lesquelles elle est certifiés.

Agir vite : sa flexibilité consiste à identifier rapidement les besoins de ses clients et d'y répondre par le biais de produits et services commercialisables et rentables.

Le goût de l'innovation et du défi, cette entreprise ce tien toujours informés des tendances du marché et veille à communiquer de manière ouverte et personnalisée afin de mener une action efficace en phase avec la réalité du terrain.

Encourager le développement de l'individu dans l'entreprise par une valorisation de la diversité et du travail d'équipe en vue des meilleurs résultats. POLYCAD favorise l'épanouissement professionnel et personnel de ses collaborateurs. Elle accorde une importance capitale à la satisfaction et à la motivation de ces derniers. Ses employés travaillent en équipe selon des procédures établies.

Une éthique exigeante en tant qu'entreprise citoyenne du monde : elle respecte et protège l'environnement. Elle a conscience de sa responsabilité sociale et environnementale.

Chapitre 1

Etude des matières plastiques

Introduction

Les polymères, appelés communément "matières plastiques", sont indissociables de notre environnement et de notre vie pratique. Ils se sont imposés dans tous les domaines de nos activités : des objets les plus banals jusqu'à des applications techniques sophistiquées, en passant par leur utilisation dans les produits d'hygiène ou alimentaires.

Le plus souvent synthétiques, quelquefois naturels, ils doivent cet essor à leur large gamme de caractéristiques, durs, mous ou élastiques, transparents ou opaques, isolants et quelquefois conducteurs, plus ou moins résistants aux conditions agressives de leur usage, toujours légers.

On rencontre les polymères dans les petits objets usuels dans les maisons, les appareils électroménagers, et aussi en tant que matériaux de construction, en revêtements et peintures, dans les emballages, les pneus, les fibres textiles, les produits médicaux, chirurgicaux, prothèses, produits d'hygiène, articles de loisirs, pièces de structures dans les véhicules de transport, les équipements électriques, les circuits électroniques. Ils s'infiltrent aussi dans l'alimentation, les produits cosmétiques, etc....

1- Définition de la matière plastique [1]

Un matériau est dit «plastique» s'il peut être déformé à une température relativement basse pour prendre une forme désirée. Contrairement à l'acier, chauffé à 1500°C pour être mis en forme, la plupart des matières plastiques sont ainsi malléables au-dessous de 200°C. En les mouvant ou en les effilant, elles peuvent prendre presque toutes les formes possibles. Cette propriété est à l'origine de leur succès dans le domaine des emballages ou de l'industrie automobile, par exemple.

Quelques matières plastiques existent à l'état naturel, tel que 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, ces produits sont à l'origine d'objets aussi divers que des sacs «plastiques» polyéthylène, des boîtes de CD polystyrène, des bouteilles de shampoing polychlorure de vinyle ou PVC, des colles résines époxy, cyanoacrylate ou Super glu, des peintures acryliques ou des fibres synthétiques Nylon, polyester.

Le plastique, ou une matière plastique est une substance polymère contenant un grand nombre d'atomes (ou groupes) de carbone, oxygène, hydrogène ou azote. S'il existe une grande variété de plastiques, on peut les regrouper en deux catégories : les thermoplastiques et les thermodurcissables.

Une matière plastique est souvent obtenue par la transformation du pétrole ou du gaz naturel. Les thermoplastiques fondent sous l'effet de chaleur et se solidifient sous l'effet d'un refroidissement. Pour les thermodurcissables, la transformation est irréversible. Une fois formé, le plastique ne se déforme plus.

Les " plastiques" ou "matières plastiques" sont définis par la norme ISO 472 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. Les matières plastiques couvrent une gamme très étendue de matériaux polymères synthétiques ou artificiels. On peut observer aujourd'hui sur un même matériau des propriétés qui n'avaient jamais auparavant été réunies, par exemple la transparence et la résistance aux chocs. Les textiles (fils et fibres) ainsi que les caoutchoucs ne sont pas des matières plastiques proprement dites.

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

On distingue alors :

- **Les polymères naturels** (l'os, le cuir...),
- **Les polymères artificiels**, (modification chimique des polymères naturels)

- Les polymères synthétiques, issus de la chimie macromoléculaires



Figure 1 : Polymère naturel

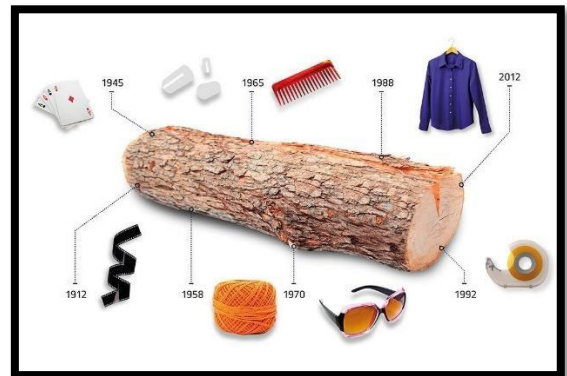


Figure 2 : Polymère artificiel



Figure 3 : Polymère synthétique

2- Histoire des matières plastiques :

Les Mayas sont vraisemblablement les premiers à avoir utilisé les propriétés du caoutchouc naturel pour mettre en forme des objets simples, comme des balles ou des

sandales. Ce caoutchouc provient de la coagulation de la sève extraite de plusieurs arbres, principalement de l'hévéa. En 1839, l'inventeur américain Charles Goodyear développe un procédé industriel permettant de transformer le caoutchouc naturel en une matière plus élastique et plus résistante : c'est la «vulcanisation», qui s'effectue en présence de soufre et à température élevée. Des procédés utilisant une autre substance naturelle, la cellulose, seront mis au point vers la fin du XIXe siècle, afin de mimer les propriétés mécaniques de matériaux rares, tels que l'ivoire et la soie.

C'est en cherchant un produit de substitution aux bois exotiques que le chimiste belge Leo Baekeland élabore, en 1907, la première matière plastique totalement synthétique. Elle est fabriquée à partir d'une résine liquide, qui durcit rapidement en prenant la forme de son contenant. Baptisé «bakélite», ce matériau conserve sa forme, mais il ne peut être fondu pour être remodelé. Une vingtaine d'années plus tard, l'industrie plastique connaît un formidable essor grâce à la découverte de matières plastiques bon marché et faciles à utiliser, comme le polyéthylène, le polychlorure de vinyle ou le polypropylène. Aujourd'hui, près de 5 millions de tonnes de matières plastiques sont consommées en France chaque année.

Quelques dates clés :

De 1880 à 1913 : le celluloïd s'ajoute au buis et à la corne, matériaux utilisés depuis 2 siècles pour la fabrication des boîtes à ouvrages, des boutons et des peignes... le nombre de façonniers passe de 120 à 310

De 1914 à 1929 : la galalithe, le rhodoïd permettent l'extension de l'offre produits aux aiguilles à tricoter, aux broches, aux fermoirs, monture de lunettes... en 1929, le chiffre d'affaires de la profession est multiplié par 7.

1929 : le téléphone Siemens fabriqué à partir de Bakélite est construit à grande échelle.

Dans les années 1930, les premières presses à injecter démarrent en France à Oyonnax notamment pour la production de lunettes. Les premiers jouets et articles ménagers en plastique arrivent sur le marché.

1938 : Les laboratoires Du pont découvrent le Téflon et l'utilisent entre autres en 1951 aux Etats-Unis dans des ustensiles de cuisine. Marc Grégoire et Louis Hartmann, deux ingénieurs français associe le Téflon et l'aluminium pour créer la marque Téfal et dépose le brevet de la première « Poêle qui n'attache pas ».

Dans les années 1950 arrivent la couleur, la consommation de masse et la diversification.

1956 : Le designer finlandais Eero Saarinen, conçoit sa chaise emblématique «Tulip Chair» en courbant à la chaleur une coque de résine de polyester renforcé par une solide armature de fibres de verre.

1958 : Lego lance sa fameuse brique emboîtable toujours utilisée aujourd'hui.

Dans les années 1960 et 1970 les recherches scientifiques se poursuivent et développent des matières plastiques résistantes et légères.

1965 : Stéphanie Kwolek et Herbert Balades, chercheurs pour la firme Dupont de Nemours développent le Kevlar utilisé dans les gilets pare-balle, les vestes de sapeur-pompier, les amarres de pétroliers...

1969 : Bob Gore développe le textile Gore-Tex qui va être utilisé dans les vêtements pour se protéger du feu ou du froid.

1969 : Le drapeau américain que plante Neil Armstrong sur la lune est composé en nylon. **1973** : Martin Cooper, chercheur chez Motorola crée le 1^{er} téléphone mobile.

1976 : en raison de leur grande variété, les plastiques deviennent le matériau le plus utilisé au monde.

Dans les années 1980, les recherches s'orientent vers le recyclage des matières plastiques et les premiers symboles pour les répertorier apparaissent.

En 1982 : le 1^{er} cœur artificiel implanté à un humain est fabriqué principalement de polyuréthane.

En 1983 : Swatch lance sa montre fine composée de 51 composants principalement plastiques.

En 1987 : BASF en France produit le poly acétylène qui est 2 fois plus conducteur d'électricité.

En 1989 : le mot Plasturgie apparaît dans le Petit Larousse.

Dans les années 1990 : Matière plus noble que le polystyrène, le terpolymère ABS remplace peu à peu les résines « mélamine-formol » et est utilisé dans l'habillage d'équipements électroménagers, de jouets, d'enjoliveurs, dans l'emballage alimentaire ou encore dans l'industrie. Les recherches sur les matières, leur aspect et leur devenir continuent.

En 1990 : Ici commercialise « Biopol » le 1^{er} sac plastique biodégradable.

En 1994, la voiture Smart est lancée conçue en intégrant des panneaux de carrosserie en polycarbonate colorés interchangeables.

Dans les années 2000 : 3900 entreprises de Plasturgies ont répertoriées en France. Les recherches se concentrent sur les nanotechnologies et les composites.

En 2000 : pour le développement des polymères conducteurs intrinsèques, les chercheurs Alan Heeger ; Alan Mac Diarmid et Hideki Shirakawas sont récompensés par le prix Nobel de chimie.

Cette découverte voit apparaître de nombreux développements dont l'une des plus concerne l'optoélectronique et plus exactement la fabrication de diodes électroluminescentes qui, une fois excitées électriquement, émettent de la lumière.

En 2001, Apple développe l'iPod selon les rêves d'un inventeur indépendant Tony Fadell. **En 2008**, l'Airbus A 380 est conçu à partir de 23% de matériaux composites ce qui allège considérablement l'appareil et le rend moins gourmand en énergie.

Depuis 2010, de nouveaux plastiques toujours plus respectueux de l'environnement (Recyclage et biodégradabilité améliorés), moins dépendants du pétrole (réduction de coût), thermostables, plus transparents, incassables, ininflammables ou originaux sont en voie de développement.

3- Les polymères synthétiques et réaction de synthèse : [6]

3-1- Définition d'une réaction de synthèse :

Une réaction de synthèse est une chimique au cours de laquelle des atomes, disions ou des molécules se combinent de manière à former une nouvelle molécule plus grosse. Aussi appelée réaction d'addition.

Une synthèse chimique est un enchaînement de réactions chimiques mis en œuvre volontairement par un chimiste pour l'obtention d'un ou de plusieurs produits finaux, parfois avec isolation de composés intermédiaires. Les synthèses chimiques peuvent avoir lieu à toutes sortes d'échelles : du laboratoire de recherche (de l'ordre du gramme ou moins) à l'industrie chimique (souvent de l'ordre de la tonne ou plus).

Réaliser la synthèse d'un composé chimique, c'est obtenir ce composé à partir d'autres composés chimiques grâce à des réactions chimiques. La planification de l'enchaînement des réactions afin de maximiser l'efficacité de la synthèse (nombre d'étapes, rendement, simplicité des réactions, considérations toxicologiques et environnementales) est la stratégie de synthèse.

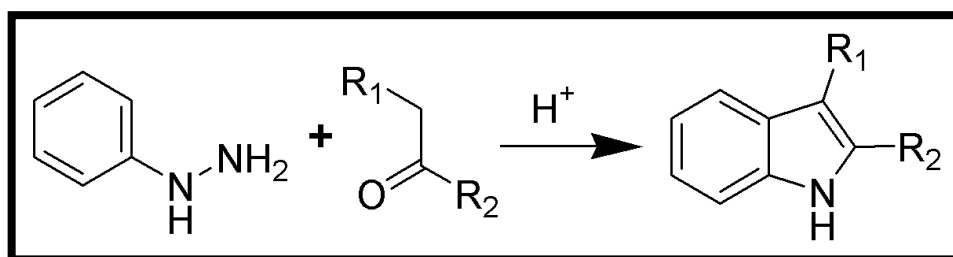


Figure 4 : Réaction de synthèse (réaction de polymérisation)

La polymérisation désigne la réaction chimique ou le procédé par lesquels des petites molécules (par exemple des hydrocarbures de deux à dix atomes de carbone) réagissent entre elles pour former des molécules de masses molaires plus élevées. Les molécules initiales peuvent être des monomères ou des pré-polymères ; la synthèse conduit à des polymères.

Engénéral, en présence de réactif et de catalyseurs, et sous l'action de la chaleur et de la pression, il se forme des chaînes macromoléculaires constituées de répétition identiques (homopolymère synthétisé) ou différents (copolymère obtenu), liés de façon covalente.

On obtient des polymères, de masses molaires éventuellement élevées :

- Monodimensionnels (linéaires ou ramifiés) car issus de monomères bivalents ;
- ou tridimensionnels, issus de la polymérisation de monomères dont la valence moyenne est supérieure à deux, ou de la réticulation de polymères monodimensionnels.

On distingue les polymères synthétiques comme le polyéthylène, par opposition aux polymères d'origine naturelle tels la cellulose et les artificiels (comme l'acétate de cellulose) qui sont préparés par modification chimique de polymères d'origine naturelle.

En industrie textile, la polymérisation est le processus chimique par lequel des résines ou des plastiques sont fixés à des matières textiles au moyen de la chaleur

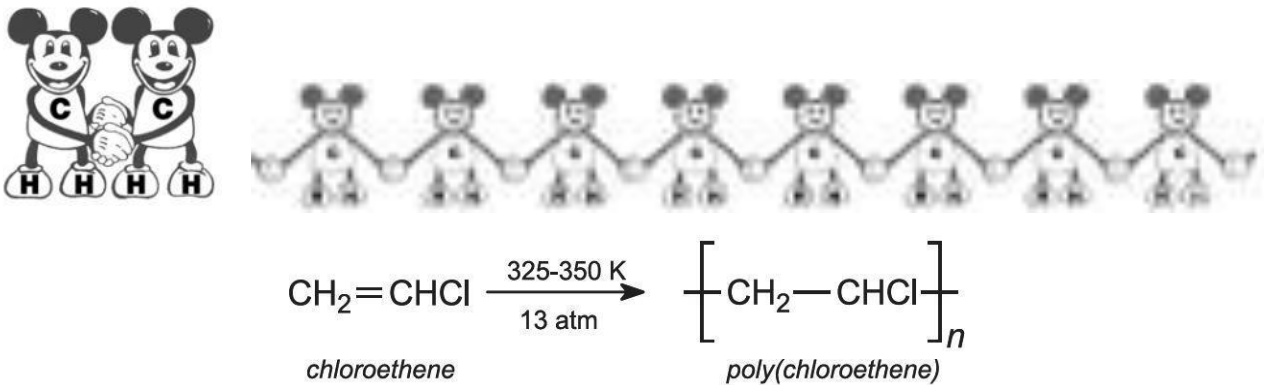
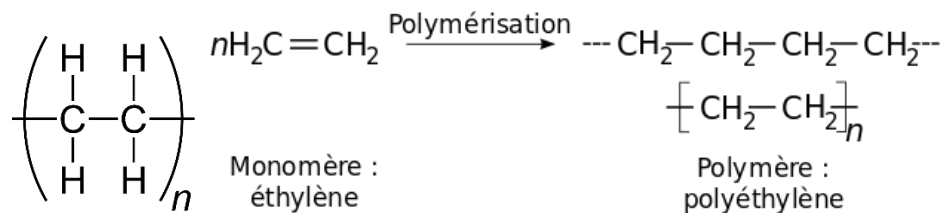


Figure 5 : présentation chimiques d'un polymère

Les matières plastiques ou « plastiques » sont constitués d'une résine appelée « polymère » additionné ou non de composants auxiliaires.

Dans la synthèse de cette résine, le produit de base mis en œuvre par les producteurs est appelé « monomère ». C'est une molécule simple de faible poids moléculaire généralement inférieur à 100.

Les transformateurs utilisent un composé macromoléculaire : le polymère. C'est une molécule géante de haut poids moléculaire constituée par l'enchaînement, linéaire ou spatial, d'un grand nombre de petites molécules.

3-2- Réaction de synthèse polymérisation (degré de polymérisation)

Le degré de polymérisation (DP) définit la longueur d'une chaîne polymère. DP est le nombre d'unités monomères (unités répétitives) constitutives de cette chaîne. Le degré de polymérisation est directement proportionnel à la masse molaire du polymère. Il est exceptionnel qu'un polymère synthétique soit formé de chaînes de même degré de polymérisation, on a plutôt une distribution de chaînes de longueurs différentes ; on parle plus précisément de degré de polymérisation moyen en nombre, \overline{DP}_n ou \overline{X}_n

Il est égal au rapport de la masse molaire moyenne en nombre du polymère à la masse molaire de l'unité monomère, soit :

$$\overline{DP}_n = \frac{\overline{M}_n}{M_0} \quad (1)$$

Si le degré de polymérisation est compris entre 2 et quelques dizaines, les chaînes sont appelées oligomères.

Un polymère peut être caractérisé par son degré de polymérisation ou sa masse moléculaire. Le degré de polymérisation est le nombre total de monomères contenus dans une macromolécule.

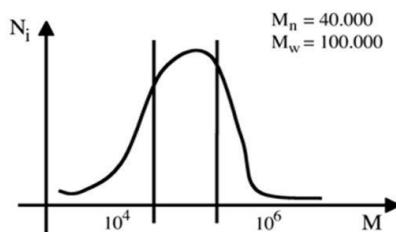
Lorsque ce degré de polymérisation (DP) est inférieur à 30, on parle d'oligomère et lorsqu'il est supérieur à 30, c'est un polymère.

Lorsqu'on observe un polymère de synthèse ou un polymère naturel, il est souvent constitué d'un mélange de chaînes macromoléculaires de tailles différentes avec des degrés de polymérisation différents.

La masse moléculaire M d'un matériau polymère est calculée de deux façons :

M_w : est la masse moléculaire moyenne de toutes les macromolécules présentes dans le matériau,

M_n : est la masse moléculaire majoritaire dans le mélange.



$$M_n = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i}$$

$$M_w = \frac{\sum N_i M_i^2}{\sum N_i M_i}$$

4- Rappel sur la chimie organique :

La chimie organique est la chimie des composés du carbone « C ».

Haut polymère : plus généralement "polymère", on entend: "produit constitué de molécules caractérisées par un grand nombre de répétitions d'une ou plusieurs espèces d'atomes ou de groupes d'atomes (motifs constitutionnels), reliés en quantité suffisante pour conduire à un ensemble de propriétés qui ne varient pratiquement pas avec l'addition ou l'élimination d'un seul ou d'un petit nombre de motifs constitutionnels".

Monomères : sont les unités chimiques de base, ou molécule des matières plastiques, ils sont construits autour des atomes de carbone © et contiennent des atomes d'hydrogène (H), d'oxygène (O), d'azote (N), du chlore (Cl), du soufre (S) et fluor (F).

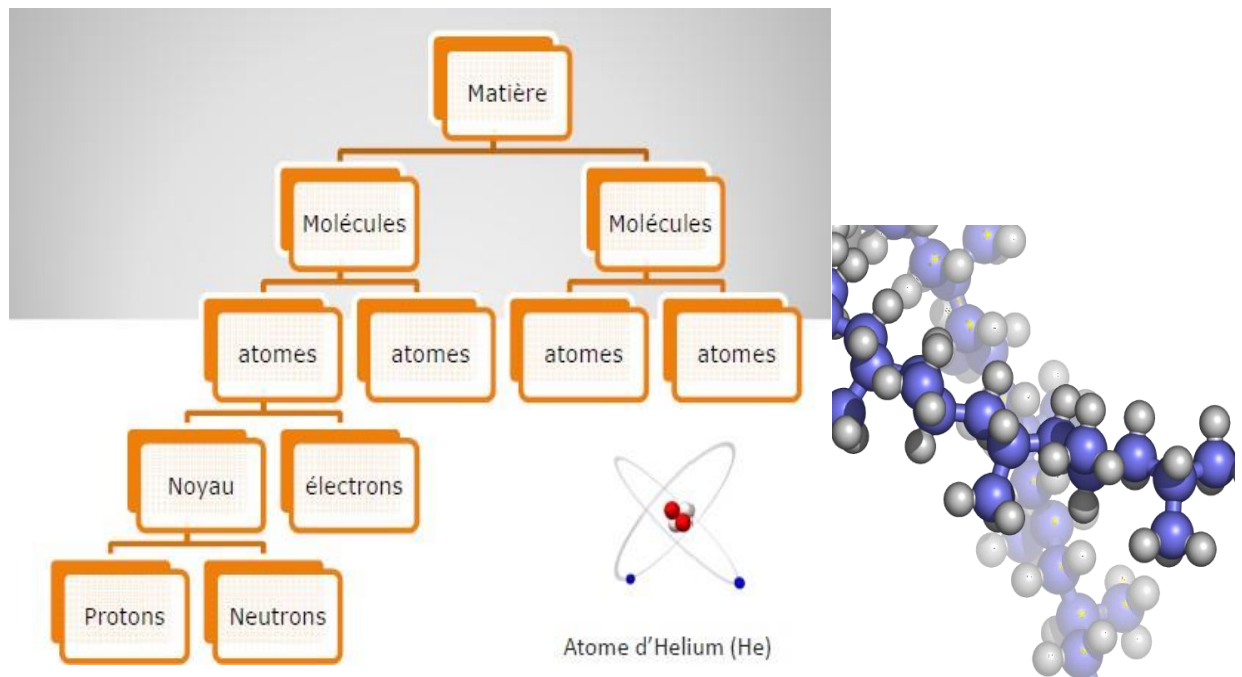


Figure 6 : la structure hiérarchique de la matière plastique

Les plastiques prêts à l'emploi sont souvent constitués de longues chaînes carbonées. Ils sont en général dérivés de combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon).

Diverses substances (charges, plastifiant(s) et additifs), dont la proportion en masse peut être majoritaire, sont incorporées lors de la fabrication.

5- Origines de la matière plastique et origine des monomères : [1]

Les différentes matières plastiques sont fabriquées principalement à partir d'hydrocarbures, du composé organique présent notamment dans le pétrole brut.

On découvrira dans cette partie en détails les aspects relatifs à la transformation du pétrole en plastique.

Le pétrole (du latin « *Petra* » et « *oléum* » : « huile de pierre ») est une huile minérale naturelle utilisée comme source d'énergie. Il est issu d'un mélange d'hydrocarbures (molécules composées de carbone et d'hydrogène) associé à d'autres atomes. Certains de ses composants peuvent être gazeux, liquides et parfois solides, en fonction de la température et de la pression. Dense, facilement stockable et transportable, le pétrole fournit la grande majorité des carburants liquides. Il est aussi utilisé, dans le domaine de la pétrochimie, pour la production des plastiques, entre autres.

5-1- Du pétrole au naphta

Après avoir été extrait du sous-sol, le pétrole brut est envoyé dans une raffinerie. Le pétrole brut est un mélange de milliers de constituants, qu'il faut séparer pour pouvoir les exploiter. En raffinant le pétrole, on obtient du :

- Fioul pour le chauffage
- Gazole, du kérosène et de l'essence pour les moyens de transport
- Naphta, transformé dans les usines chimiques.

Le NAPHTA c'est ce dernier composant obtenu grâce au raffinage qui constitue la matière première des matériaux plastiques.

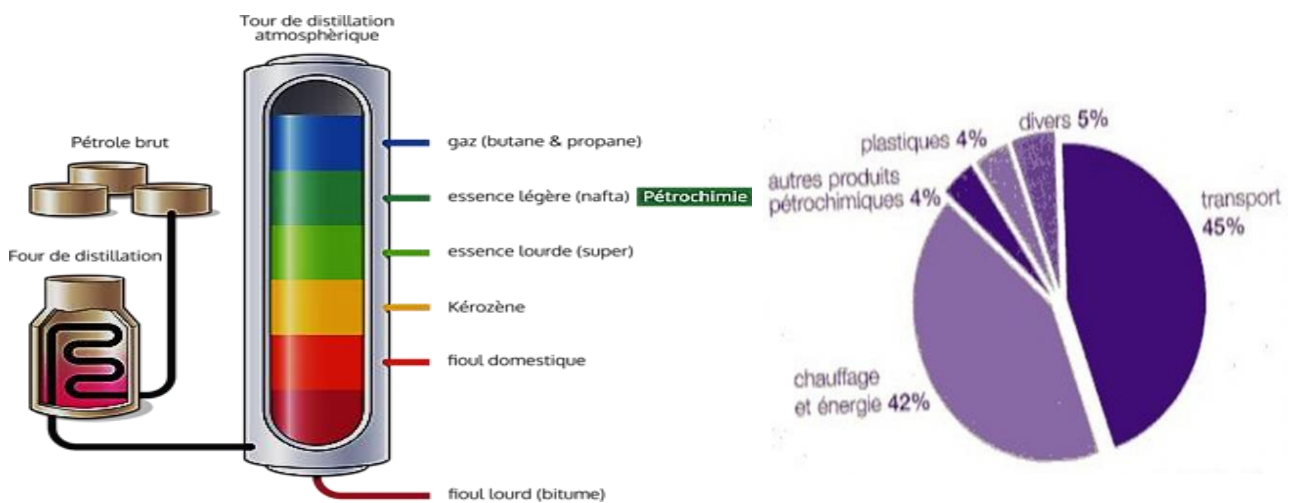


Figure 7 : Tour de distillation atmosphérique

La première étape consiste à séparer les constituants du pétrole, grâce au procédé de distillation fractionnée, car les constituants du pétrole ont des masses différentes et donc des points d'ébullition différents. Sous l'action de la chaleur, les molécules se transforment en gaz et s'élèvent dans la tour de distillation. Elles se condensent progressivement car plus elles s'élèvent et moins il fait chaud. Le naphta se condense entre 180°C et 40°C. Il doit ensuite être transformé, lors de la phase de craquage (chauffage puis refroidissement brutal). Par ce traitement, on obtient de petites molécules (solides ou liquides), qui contiennent entre 2 et 7 atomes de carbone : les monomères, produits chimiques de base pour fabriquer les matières plastiques.



Figure 8 : Tour atmosphérique

5-2- Du naphta aux monomères (traitement par vapocraquage) :

Le vapocraquage est un procédé pétrochimique qui consiste à obtenir, à partir d'une coupe pétrolière telle que le naphta, ou d'alcane légers, des alcènes (éthylène, propylène).

Mieux valorisés. Ces alcènes sont principalement à la base de l'industrie des matières plastiques (polyéthylène, polypropylène, etc.).

Le naphta est ensuite transformé par craquage. C'est un procédé thermique qui permet de fractionner les molécules composant les essences en des molécules différentes de plus faibles tailles (hydrocarbures légers). On obtient ainsi de nouveaux corps gazeux comme l'éthylène (éthène), C_2H_4 , le propylène (propène), C_3H_6 , le butylène (butène), C_4H_8 , et d'autres hydrocarbures.

Avec l'éthylène, on obtient par réaction chimique avec d'autres corps, d'autres hydrocarbures comme le styrène et le chlorure de vinyle qui sont aussi des produits de départ pour différentes matières plastiques. Pour cela, on essaie d'augmenter le rendement en éthylène en utilisant une température de craquage de 850° C. Ainsi on obtient un rendement de plus de 30%.

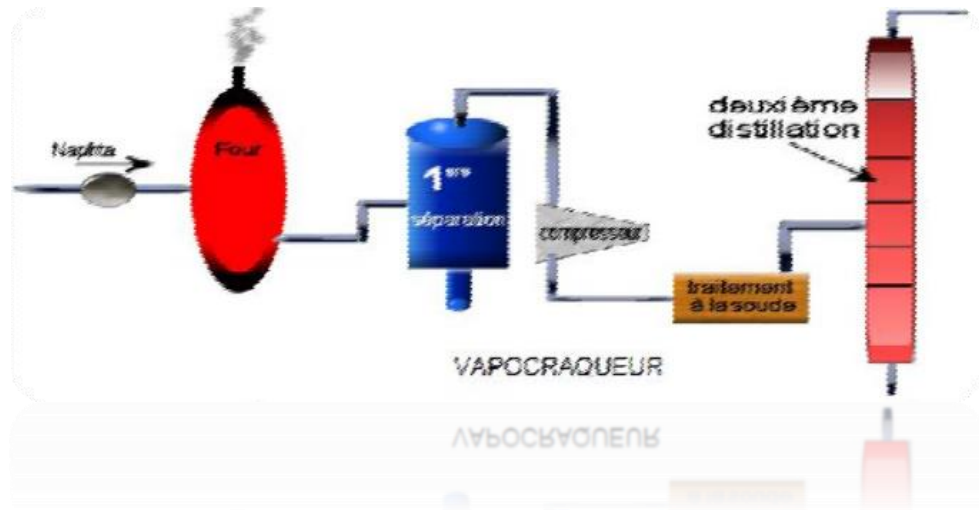


Figure 09 : Transformation du naphta aux monomères (Traitement par vapocraquage)

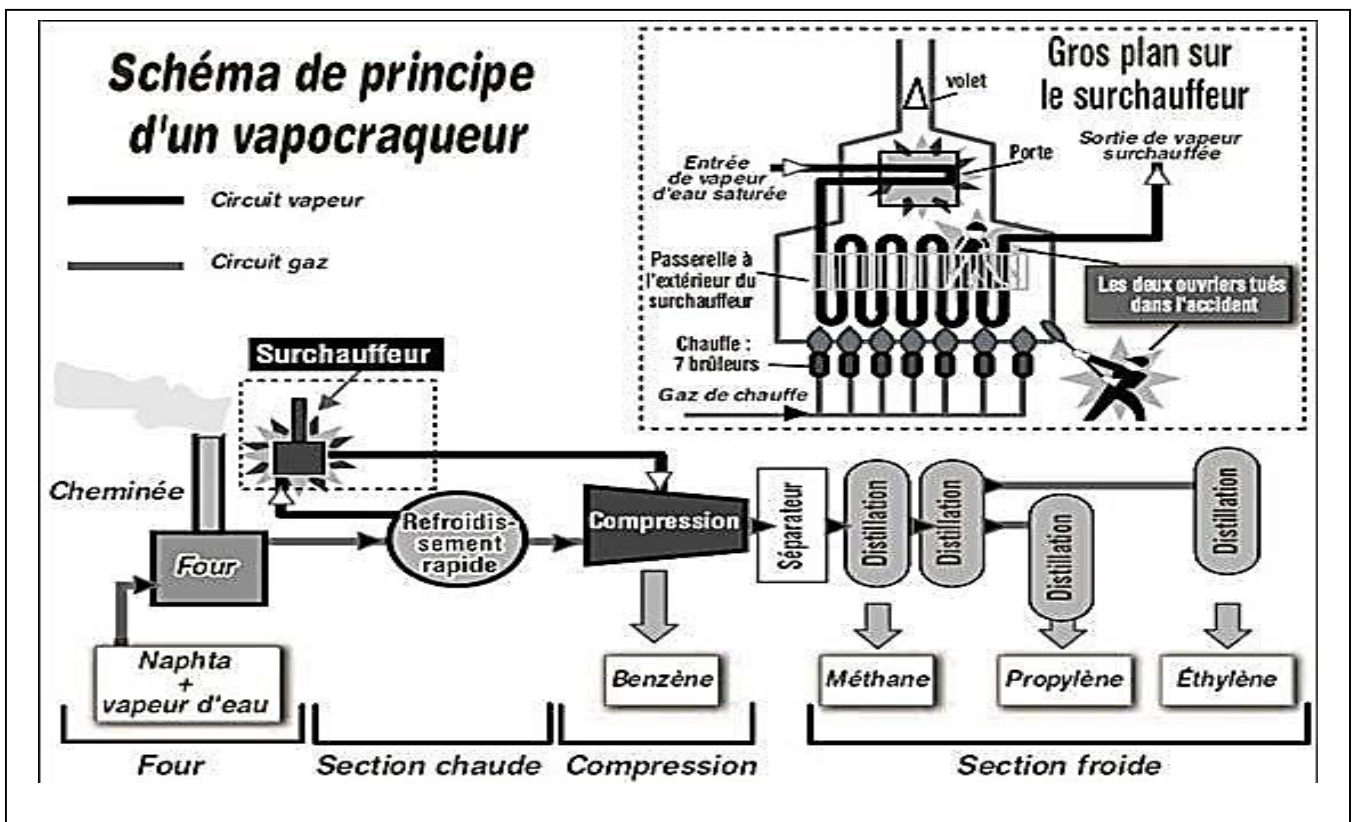


Figure 10 : principe d'un vapocraqueur

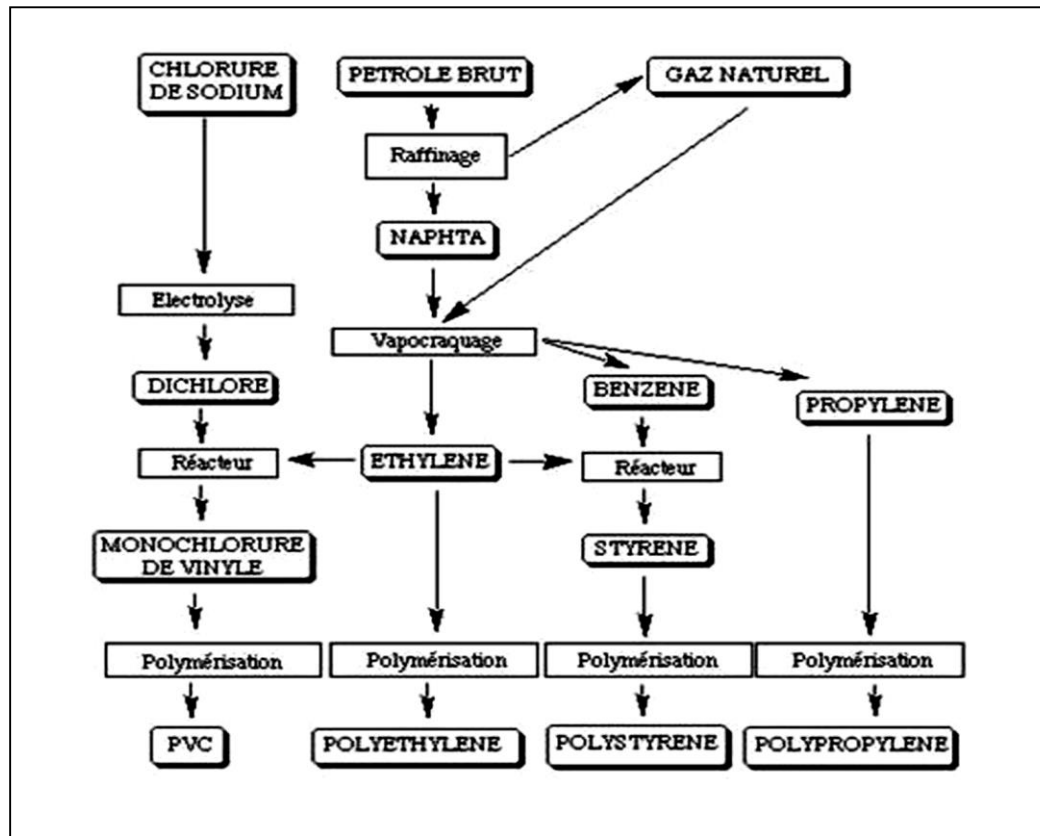


Figure 11 : schéma résumant la transformation de la matière plastique

5-3- Du monomère aux polymères :

Pour fabriquer les matières plastiques, on met en réaction les monomères, afin de former un polymère. Cette deuxième étape s'appelle la polymérisation.

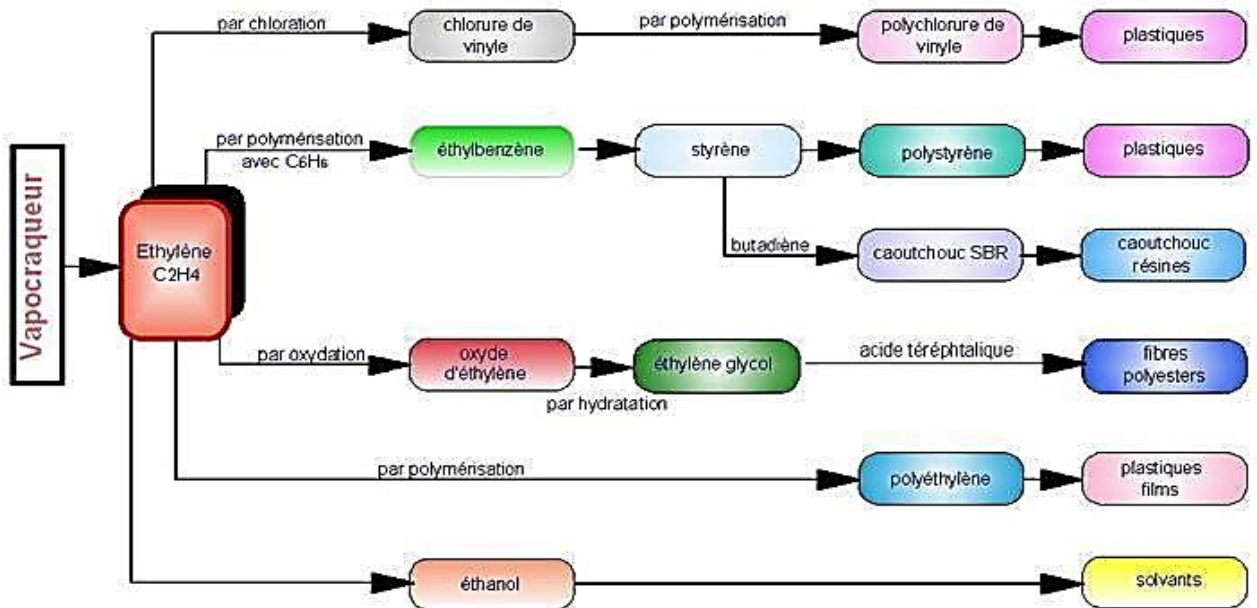
Il existe deux types de réactions pour produire des polymères.

- Dans les réactions « d'addition », le polymère est constitué d'une chaîne du même monomère. C'est la réaction qui permet la fabrication du polyéthylène (PE) des sacs plastiques ou le polypropylène (PP) des flacons souples.

- Dans les réactions de condensation, le polymère est constitué d'une chaîne de deux monomères. Elles sont utilisées dans la fabrication du polyéthylène téréphtalate (PET) des bouteilles d'eau et de sodas.

- À la sortie du vapocraqueur, on obtient surtout de soléfi est elles que l'éthylène, le propylène, le butadiène, l'isobutène, Len-butène et l'isoprène. Ce sont des produits intermédiaires qui, par des traitements appropriés (chloration, oxydation, polymérisation, etc.) donnent naissance à toute une gamme de produits nouveaux. Les schémas ci-après montrent toutes les possibilités de fabrications à partir de ces grands intermédiaires.

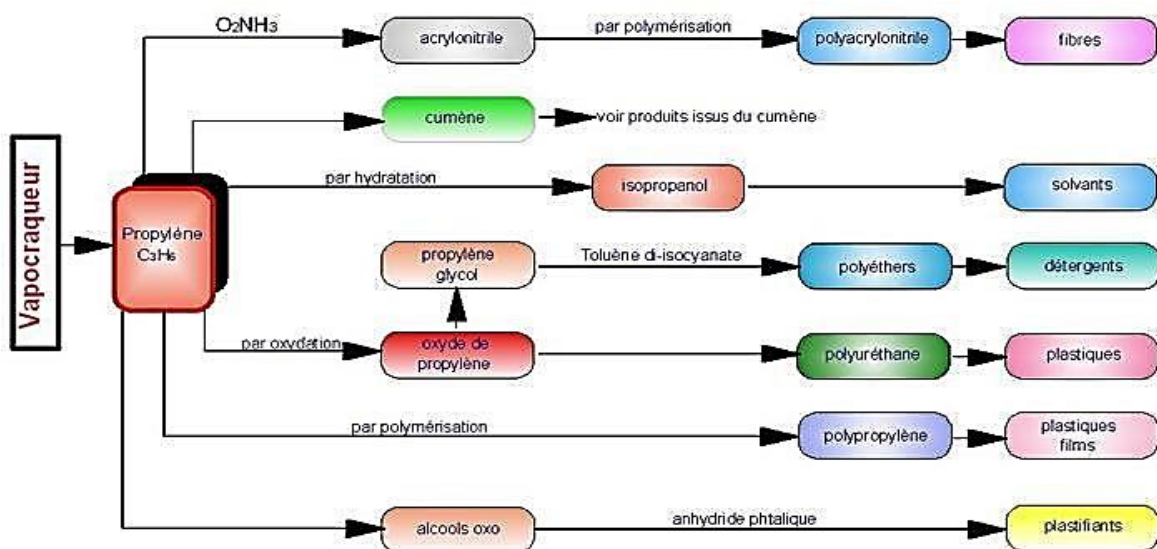
Ci-dessous, les dérivés de l'éthylène :



TRANSFORMATION DE L'ÉTHYLÈNE

Figure 12 : Transformation de l'éthylène

Le schéma suivant donne les transformations du propylène :

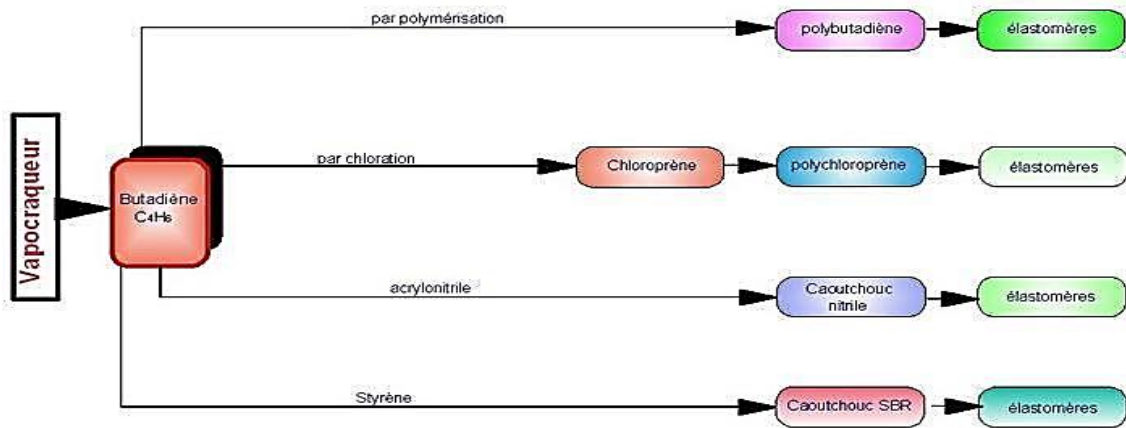


TRANSFORMATION DU PROPYLÈNE

Figure 13 : transformation du propylène

30/05/2005

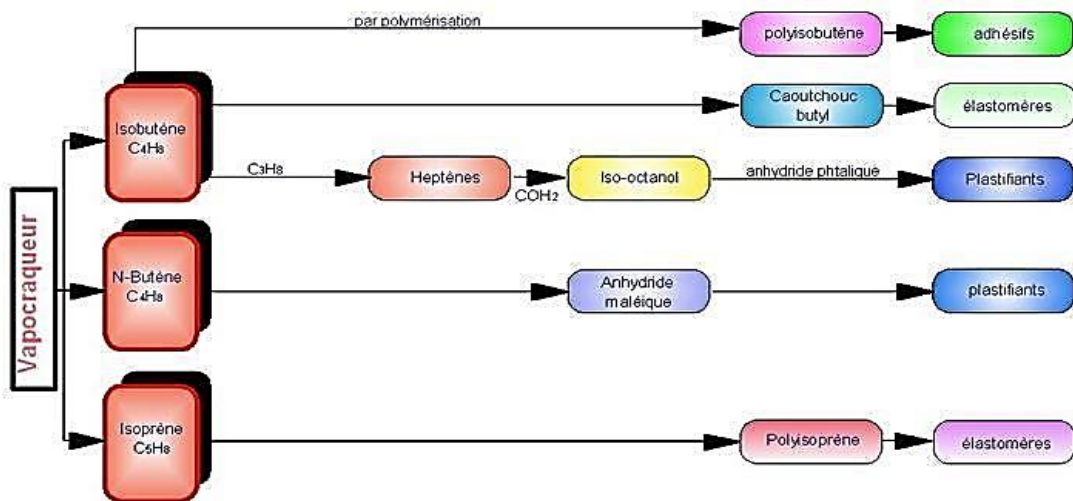
Le schéma ci-après montre les transformations du butadiène :



TRANSFORMATION DU BUTADIÈNE

Figure 14 : transformation du butadiène

Enfin, les transformations de l'isobutane, d'un-butène et de l'isoprène sont indiquées dans le schéma ci-après :



TRANSFORMATION — DE L'ISOBUTÈNE
 — DU NORMAL BUTÈNE
 — DE L'ISOPRÈNE

30/05/2005
Paris 11D

Figure 15 : transformation du l'isobutène, du butène et de l'isoprène

6- Les composants de la Matière Plastique : [2]

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 varier dans des proportions importantes suivant le taux de résine pure. (Baisse des propriétés mécaniques, migrations des plastifiants etc....).

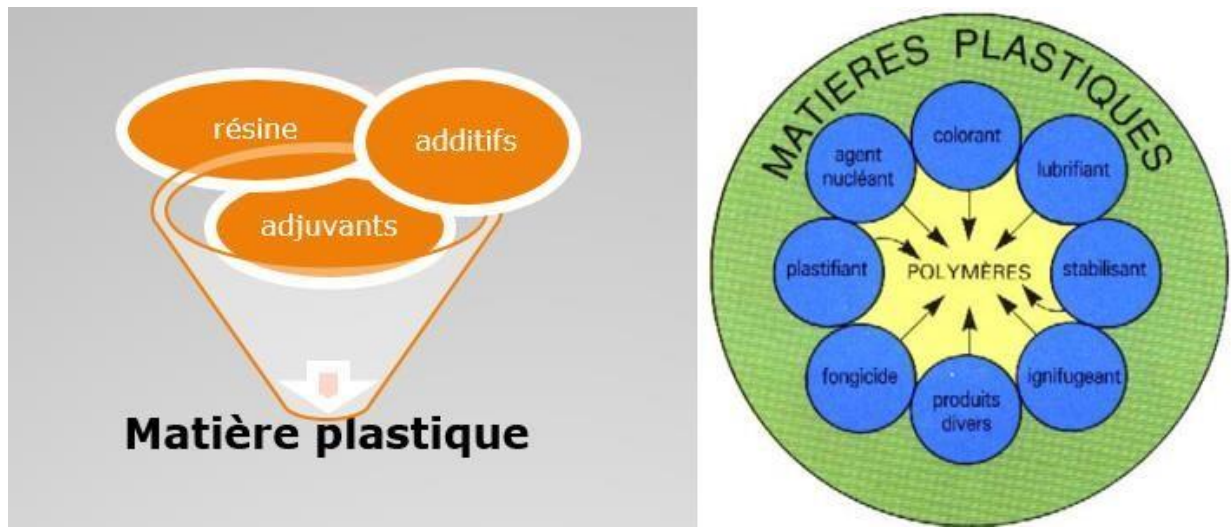


Figure 16 : composants de la matière plastique

6-1- Les additifs :

Les additifs sont :

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

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

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

Un polymère sous sa forme brute n'a pas, en général, les qualités requises pour l'application à laquelle il est destiné. Il va donc falloir ajouter au plastique des additifs qui vont jouer essentiellement sur l'esthétique, la stabilité (chimique, UV, chaleur et longévité...), le prix de revient et la plasticité.

80 % du marché des additifs concerne les polyoléfinés, les styréniques et le PVC.

Les polyoléfines contiennent en moyenne 1 à 2% d'additifs et le PVC en contient en moyenne 10%. Pour les additifs du PVC, voir ce chapitre.

Parmi les additifs, les charges sont des composés inertes, en général minéraux, tels que le carbonate de calcium naturel ou précipité, le talc, le kaolin... destinés à améliorer les propriétés mécaniques, l'état de surface et également à réduire le prix de revient.

Une des fonctions des additifs est aussi de freiner l'oxydation des polymères qui provoque un jaunissement, une perte de transparence éventuelle, l'apparition de craquelures en surface et qui joue sur les propriétés mécaniques en diminuant la flexibilité éventuelle, la résistance à la traction. Cette oxydation est accélérée par la température et les UV. Des additifs vont donc piéger les radicaux formés en réagissant avec eux et/ou en absorbant l'énergie UV. Une famille importante d'additifs, les "Hals" (Hindered Amines Light Stabilizers) empêche l'action des radicaux :

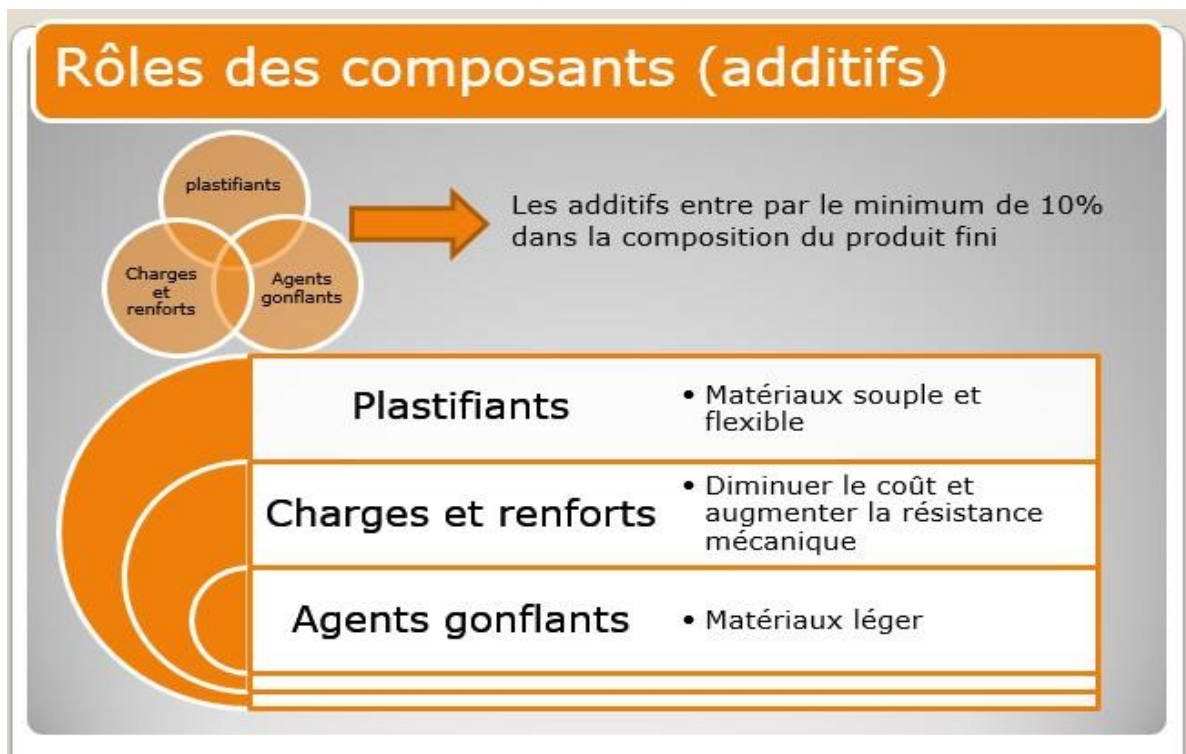


Figure 17 : Rôles des composants (additifs)

6-2- Les adjuvants :

Les adjuvants sont :

- Les colorants ou pigments
- L'anti-ultraviolet (anti UV)
- Les ignifugeants (évite la combustion)
- L'antioxydant

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

- **Les colorants ou 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.

- **Les antis UV :**

Ces produits sont utilisés lorsque l'on a besoin de protéger la pièce des rayons UV afin d'éviter une décomposition photochimique des chaînes macromoléculaires.

Pour éviter ces phénomènes, on peut utiliser le noir de carbone qui transforme les UV en chaleur. Les pièces seront de couleurs noires.

Les absorbeurs sont des molécules qui absorbent les UV en se mettant à vibrer. On peut également envisager, pour des protections plus faibles, des produits réfléchissants.

Une protection chromage fera barrière aux UV

- **Les ignifugeants :**

Sous l'action de la chaleur, le produit se décompose en émettant un gaz qui fait écran entre la matière et l'oxygène de l'air, empêchant ou retardant la combustion.

Ces produits peuvent être des dérivés halogénés, phosphatés... Ils sont souvent toxiques et opaques.

Note : Les recherches actuelles tendent vers la création de polymère répondant aux normes, sans apport d'ignifugeant et dégageant peu ou pas de gaz toxiques.

- **Les antis oxydants :**

Ils permettent de retarder l'oxydation thermique au cours de la transformation et de l'utilisation. Ce sont des molécules qui réagissent avec l'oxygène à la place du polymère.

- **Les 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.

- **Les antistatiques :**

Les matières plastiques ayant une grande résistivité électrique, on aura une accumulation d'électricité statique au moment du démoulage. Cette électricité statique entraîne la fixation de la poussière ainsi que des décharges électriques.

Les antistatiques sont des molécules conductrices destinées à augmenter la conductivité électrique en surface pour réduire la tendance à l'accumulation des charges.

- **Les agents gonflants :**

Ils sont utilisés pour apporter une structure cellulaire aux pièces moulées, connues sous les noms de pièces allégées.

Les agents gonflants se décomposent ou sous l'action de la chaleur ou par réaction chimique en donnant un dégagement gazeux qui empêchera la rétraction de la matière et diminuera la densité du matériau moulé.

- **Les fongicides :**

Ils sont destinés à inhiber l'attaque des polymères par les organismes vivants.

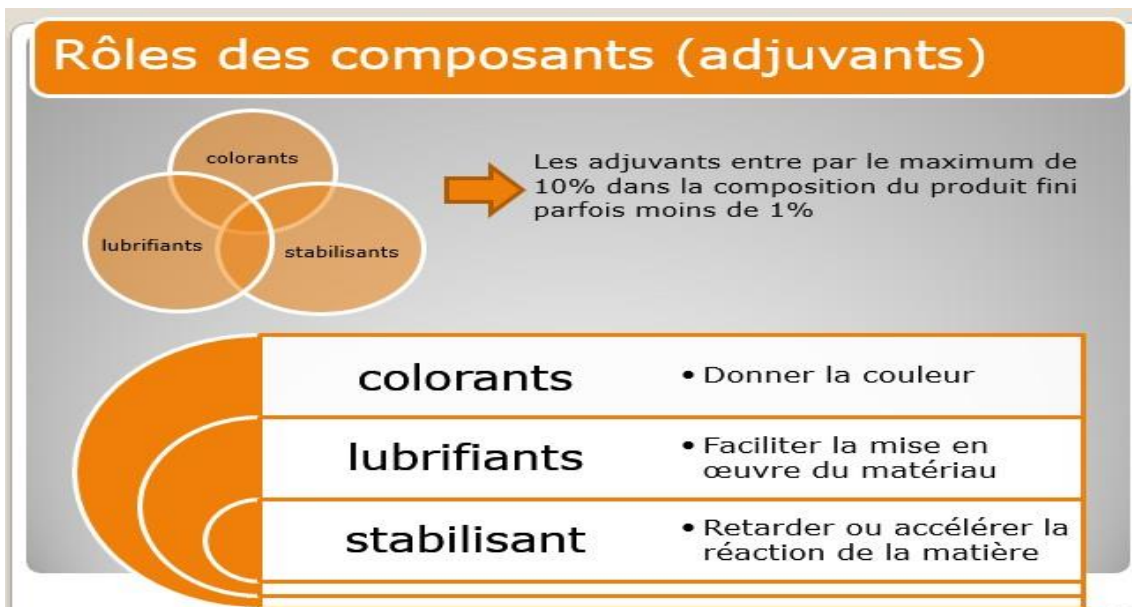


Figure 18 : Rôles des composants (adjuvants)

7- Le cycle de production des matières plastiques (obtention du granulé) : [4]

Un matériau constitué de granulés plastiques contient au moins un produit thermoplastique et se présente sous forme de petits grains. Les granulés sont fondus, extrudés ou moulés, pour fabriquer des objets en PE, PP, PS, etc...

C'est un produit semi-fini souvent utilisé en plasturgie, notamment pour les procédés d'extrusion et d'injection ; cette forme est très pratique à stocker, à manipuler, et bien adaptée aux processus (remplissage aisé des machines et malaxage facilité).

La mise en œuvre d'une matière plastique utilise souvent des granulés plastiques². Elle comprend plusieurs étapes, décrites ci-dessous :

➤ **Production des granulés :**

□ Synthèse de la résine, le plus souvent par polymérisation³, puis formulation (ajout de substances telles que charges, plastifiants et additifs en proportions définies) ;

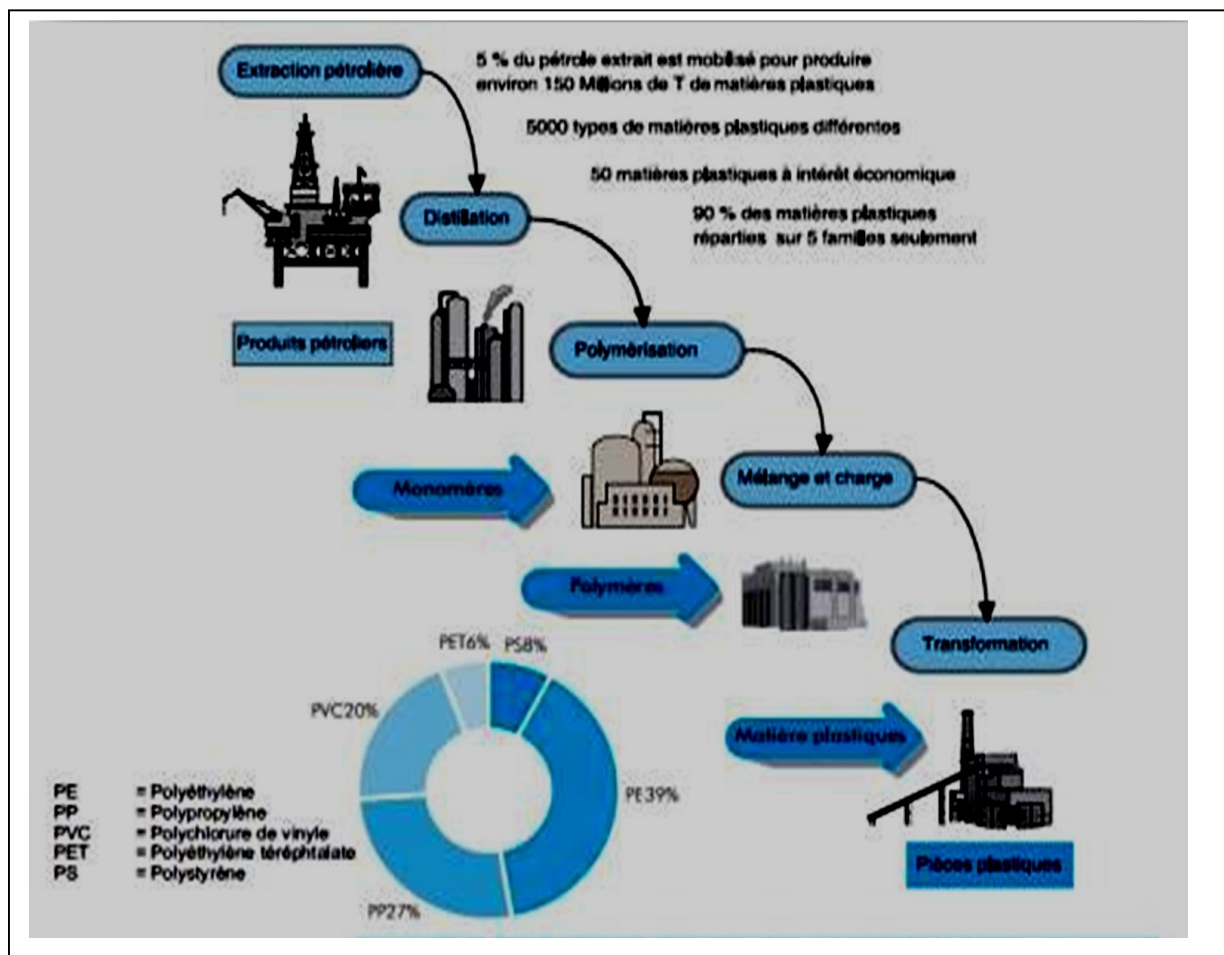
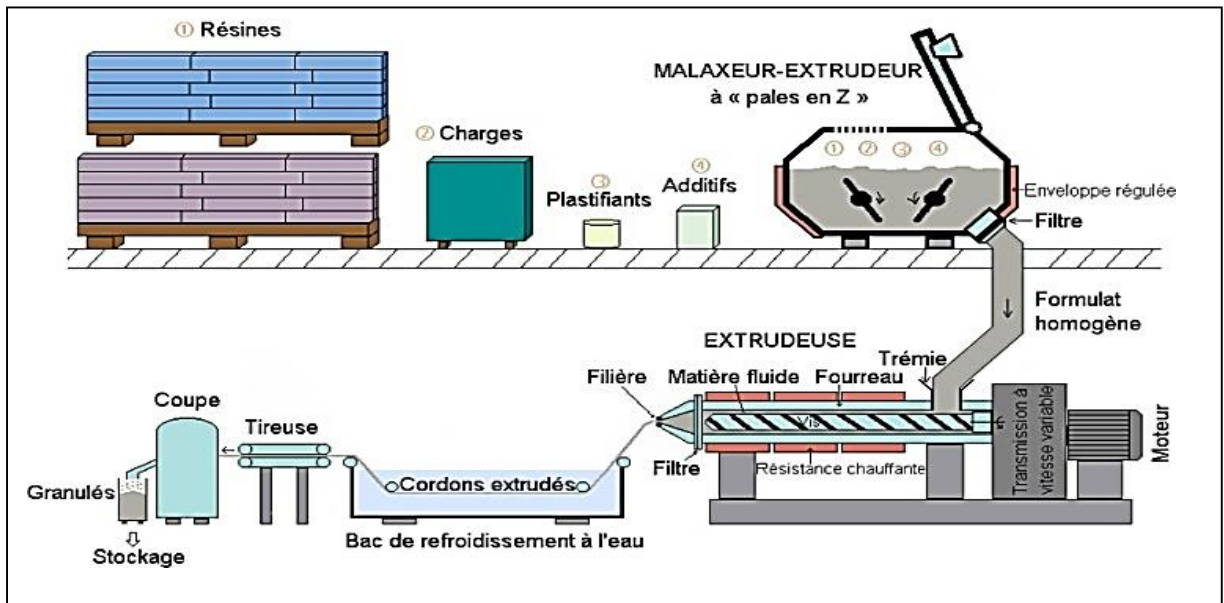
□ compoundage⁴ : mise en forme du formulât (se présentant par exemple sous forme de boudins en sortie de malaxeur) par extrusion au travers d'une filière à trous circulaires, puis coupe des cordons refroidis et séchage pour fabriquer des granulés de 1 à 5 millimètres de diamètre.

➤ **Utilisation des granulés par le transformateur :**

□ livraison : les granulés peuvent être emballés en vrac dans des sacs Plastiques de 25kg, dans des big-bags ou dans des octavins, placés sur palette. Pour les grosses quantités, l'alimentation automatique des machines se fait à partir d'un silo ;

□ les granulés hygroscopiques [PA, ABS, PBT, PMMA, etc.] subissent un pré séchage avant la mise en forme afin d'éviter tout défaut lié à l'humidité sur les pièces plastiques ;

□ mise en forme à chaud (la matière est de nouveau fondue) et sous pression pour obtenir le produit fini (l'objet). Une matière plastique recyclable peut subir un broyage pour être ensuite refondue et réutilisée.



Figures 19 - 20 : cycle de production de la matière plastique

8- Présentation de la matière plastique dans le marché : [3]

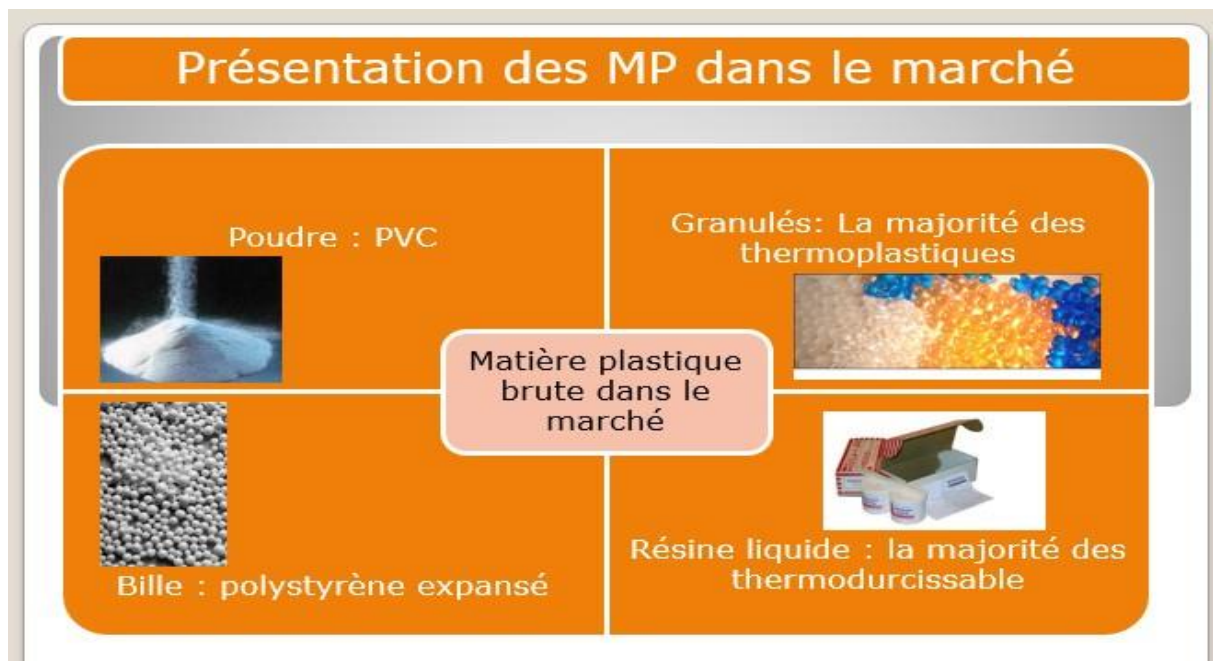


Figure 21 : Présentation de la matière plastique dans le marché

9- Les grandes familles de la matière plastique : [2]

9-1-LES THERMOPLASTIQUES.

Sous l'effet de la chaleur, les thermoplastiques ramollissent et deviennent souples. On Peut alors leur donner une forme qu'ils garderont en refroidissant.

La transformation est réversible et renouvelable un grand nombre de fois, les thermoplastiques sont ainsi facilement recyclables. Cependant ils ne sont pas biodégradables et ont une «durée de vie» de plusieurs centaines d'années. Ce sont les matières plastiques les plus utilisées (notamment PE et le PVC).

Tableau n° 01 : Les thermoplastiques

Nom, abréviation	caractéristiques	usages
polyéthylène (PE)	Translucide, inerte, facile à manier, résistant au froid. On distingue deux familles: -le PEBD (polyéthylène basse densité) bonne résistance chimique, olfactivement, gustativement et chimiquement neutre, facilement transformé et soudé. - le PEHD (polyéthylène haute densité)	Utilisé dans la moitié des emballages plastiques et dans les domaines les plus divers. PEBD : produits souples : sacs, films, sachets, bidons, récipients et bouteilles souples (sauces, shampoing, crèmes ...)* PEHD : objets rigides (bouteilles, flacons, bacs poubelles, tuyaux, jouets, ustensiles ménagers, boîtes de conservation, sacs plastiques**
polypropylène (PP)	Très facile à colorer. N'absorbe pas l'eau. aspect brillant et résistant à la température (160°C). Difficile à recycler surtout s'il est imprimé	Pièces moulées d'équipements automobiles (pare-chocs, tableaux de bord, ...), mobilier de jardin, Film d'emballage, bouteilles rigides, boîtes alimentaires résistantes à la température du lave-vaisselle. Fibres de tapis, moquettes, cordes, ficelles
polystyrène (PS)	Dur et cassant. Trois types: - polystyrène "cristal" transparent - polystyrène "choc" (HIPS) ; acrylonitrile butadiène styrène ABS) - polystyrène expansé (PSE), inflammable et combustible	Usages variés : mobilier, emballages, jouets, verres plastiques, pots de yaourt, ... -"cristal": nombreux types de boîtes, boîtiers CD... -ABS : produits rigides, légers et moulés (bacs à douche...) -PSE : emballage « anti chocs », isolant thermique
polycarbonate (PC)	Excellentes propriétés mécaniques, bonne résistance thermique jusqu'à 120°C, très transparent, physiologiquement neutre Mauvaise résistance aux contacts prolongés avec l'eau, aux agents chimiques et aux rayons ultraviolets.	casques de moto, boucliers de police, CD et DVD, vitres pare-balle , phares, feux arrière et clignotants d'automobile, matériel médical et prothèses, biberons incassables, profilés de toiture, vitres de cabine téléphonique...

polyesters et polyéthylène téréphtalate (PET)	mou à moyenne température.	fabrication de fils textiles, de films et de bouteilles d'eau et de sodas. Usage limité par la température.
polyacétals ou polyoxyméthylène (POM)	Solides et avec des qualités de métaux. Résistant à la plupart des agents chimiques, faible coefficient de frottement. Densité élevée. Assez faible résistance thermique.	pièces à fortes exigences mécaniques : engrenages, poulies. La recherche vise à augmenter leur résistance au choc pour permettre la réalisation de plus grosses pièces.
polychlorure de vinyle (PCV)	Rigide ou souple selon les ingrédients qu'on lui incorpore. PVC rigide : aspect lisse et dur	Dans l'industrie de l'ameublement, bâtiment, le génie civil et dans l'alimentaire : pots de margarine, blisters, bouteilles d'eau, emballage alimentaire ... PVC rigide : utilisé pour les tuyaux de canalisation. PVC souple: recouvre certains manches de pinces...
polyamides (PA)	Différents types de PA (selon la longueur des chaînes) distingués par des chiffres. Bon compromis entre qualités mécaniques, thermiques et chimiques. Hydrophiles.	Pièces moulées dans l'appareillage ménager et automobile, tapis et moquettes, pièces de robinetterie, de serrurerie, engrenages, ... Textiles (lingerie et voilages)...
polyméthacrylate de méthyle (PMMA)	Transparent, même avec une très grande épaisseur (jusqu'à 33 cm d'épaisseur); à la différence du verre L'ajout de PMMA dissout permet aux huiles lubrifiantes et fluides hydrauliques de conserver leur liquidité au froid (jusqu'à -100°C !)	Nom commercial <i>Plexiglas, Lucite, Altuglas, ...</i> Utilisé pour remplacer le verre pour des vitres incassables, les surfaces des baignoires et des éviers, pour les vitres de grands aquariums résistantes à la pression de l'eau... feux arrière et clignotants, hublots d'avion, fibres optiques, enseignes lumineuses...

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

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

9-2- LES THERMODURCISSABLES :

Ces plastiques prennent une forme définitive au premier refroidissement : ils deviennent durs et ne se ramollissent plus une fois moulés. La technique de fabrication est difficile à mettre en œuvre mais elle produit des matériaux très solides et très résistants aux agressions chimiques et à la chaleur.

Les aminoplastes sont les plastiques thermodurcissables les plus utilisés.

Tableau n° 02 : Les Thermodurcissables

Nom, abréviation	caractéristiques	usages
polyuréthanes (PUR)	Grande diversité de dureté et textures en fonction des associations chimiques de différents monomères	Mousses souples ou rigides grâce à des agents d'expansion, colles, fibres (<i>Licra</i>) Matelas, sièges de voiture, tableaux de bord, roues de patins à roulettes, chaussures de ski...
polyesters insaturés	Prix peu élevé, durcissement assez rapide sans élimination de produits secondaires. Imprégnation facile des fibres de verre.	Pièces plastiques renforcées par coulée : pales d'éoliennes, coques et cabines de bateaux, piscines, carrosseries d'automobiles,... Textiles (<i>Dacron, Tergal, Térylène...</i>)
phénoplastes (PF)	Bonne résistance aux produits chimiques et à la chaleur et électriquement isolantes. Transformable par moulage et par compression. Souvent colorés en brun foncé	domaines scientifiques et réalisation d'objets: téléphones, postes de radio, pour fabriquer les poignées de casserole, de fer à repasser et des plaques de revêtement.
aminoplastes (MF)	deux types principaux : urée-formaldéhyde (UF) et mélamine-formaldéhyde (MF) dont le plus connu est le <i>formica</i> . Dureté et rigidité exceptionnelles, peu sensibles à l'hydrolyse et à la lumière, résistance à l'abrasion, bonne tenue aux solvants, difficilement inflammables. Peuvent être produits en teintes claires	Usages variés : mobilier de cuisine, plans de travail, liants (adhésifs) dans les contreplaqués, bois agglomérés, mélaminés, etc.), moulage en stratifiés décoratifs de revêtements, pièces moulées d'ustensiles de cuisine (plateaux...), matériel électrique (interrupteurs, prises de courant...), vernis de parquets (vitrification), apprêts pour rendre les tissus indéfroissables ou plastifiés, peintures, etc.

9-3- LES ÉLASTOMÈRES.

Les élastomères sont élastiques : ils se déforment et tendent à reprendre leur forme initiale et supportent de très grandes déformations avant rupture. Ce ne sont pas réellement des « plastiques ».

Issu du latex d'Hévéas (arbre d'Amazonie), le caoutchouc naturel est resté longtemps le seul élastomère connu mais les méthodes modernes de fabrication ont permis d'obtenir une grande diversité de matériaux en ajoutant des additifs, accélérateurs, agents protecteurs (anti UV, anti oxygène,...) et en les combinant à d'autres matériaux (métaux, textiles, autres plastiques...). On distingue trois grandes catégories qui présentent chacune de nombreux produits aux propriétés variées :

Tableau n° 03 : Les élastomères

Catégories	matériaux	caractéristiques
caoutchoucs	<ul style="list-style-type: none"> - caoutchouc naturel, cis-1,4-polyisoprène (NR) ; - copolymère styrène-butadiène (SBR) ; - polybutadiène (BR) ; - polyisoprène synthétique (IR) 	Chauffés au-dessus de 65 °C, ils commencent à vieillir et deviennent poisseux. Faible résistance à l'huile et à l'ozone. Propriétés d'amortissement et grande extensibilité (jusqu'à 750 % avant rupture). Excellente résistance au déchirement.
élastomères spéciaux	<ul style="list-style-type: none"> - co- ou terpolymères d'éthylène propylène et diène (EPM et EPDM) - copolymères d'isobutylène isoprène, chlorés ou bromés (IIR, BIIR, CIIR) - copolymères de butadiène acrylonitrile (NBR) - polychloroprènes (CR) 	Température maximum d'utilisation : 150 °C. Selon les matériaux : résistance aux produits pétroliers, aux solvants ; à l'oxydation (O2 et O3), aux intempéries, aux produits chimiques corrosifs et au vieillissement... Certains sont ininflammables et ont une grande imperméabilité aux gaz. Parfois sensible à la lumière et à l'ozone et au stockage (tendance à la cristallisation)
élastomères très spéciaux	<ul style="list-style-type: none"> - caoutchoucs de silicone (VMQ, FVMQ) - élastomères fluorés (FKM) - polyéthylènes chlorés et chlorosulfonés (CM, CSM) - polyacrylates (ACM) 	Très variables en fonction des matériaux :
	<ul style="list-style-type: none"> - copolymères éthylène acétate de vinyle (EVM) - éthylène acrylate de méthyle (AEM) - caoutchoucs nitrile hydrogénés (HNBR) - épichlorhydrines (CO, ECO, GECO) - polyuréthanes malaxables (AU, EU) 	<ul style="list-style-type: none"> - hautes performances chimiques : résistance aux carburants, à l'ozone, aux huiles, imperméabilité aux gaz et aux produits chimiques agressifs - température de service continu allant de -80°C à 250 °C - Résistance au vieillissement, stabilité de couleur - Propriétés adhésives (colles thermofusibles)

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

10- Le plastique industriel, désignation et caractéristique : [3]. [6]

Afin de mieux définir les variétés qu'offre cette matière, d'autre gamme de matières plastiques sont séparées à l'intérieur de ces trois grandes familles. Les thermoplastiques abritent :

10-1- Les Polyoléfines :

Composé du Polyéthylène (PE), l'une des matières plastiques la plus courante, de formule chimique C_2H_4 , des copolymères éthylène, l'acétate de vinyle et enfin le polypropylène.



Figure 22 : Les Polyoléfines



10-2- Les Polyvinyliques :

Se dit polyvinyliques les matières plastiques comme le polychlorure de vinyle (PVC) ou encore le polyalcool vinylique (PVAL), résine blanche soluble dans l'eau froid utilisé comme colles industrielles ou encore de liants de couchage pour papier-cartons. Dans cette catégorie on rencontre également le poli-acétate de Vinyle (PVAC) formé d'un polymère à base de résine transparente. Son utilisation se limite à des fins commerciales et entre dans la composition des peintures ou des vernis à séchage rapide. On rencontre le PVAC sous forme de granulés, de berlingots mais aussi sous forme de perles.

Le polybutyral/ polyformal et le polychlorure de vinylidènes ont également regroupés sous ce terme. Ils sont utilisés dans les industries, composant principalement les films plastiques ou le papier-aluminium pour le polychlorure de vinylidène et différents vernis pour câbles en cuivre ou d'aluminium.

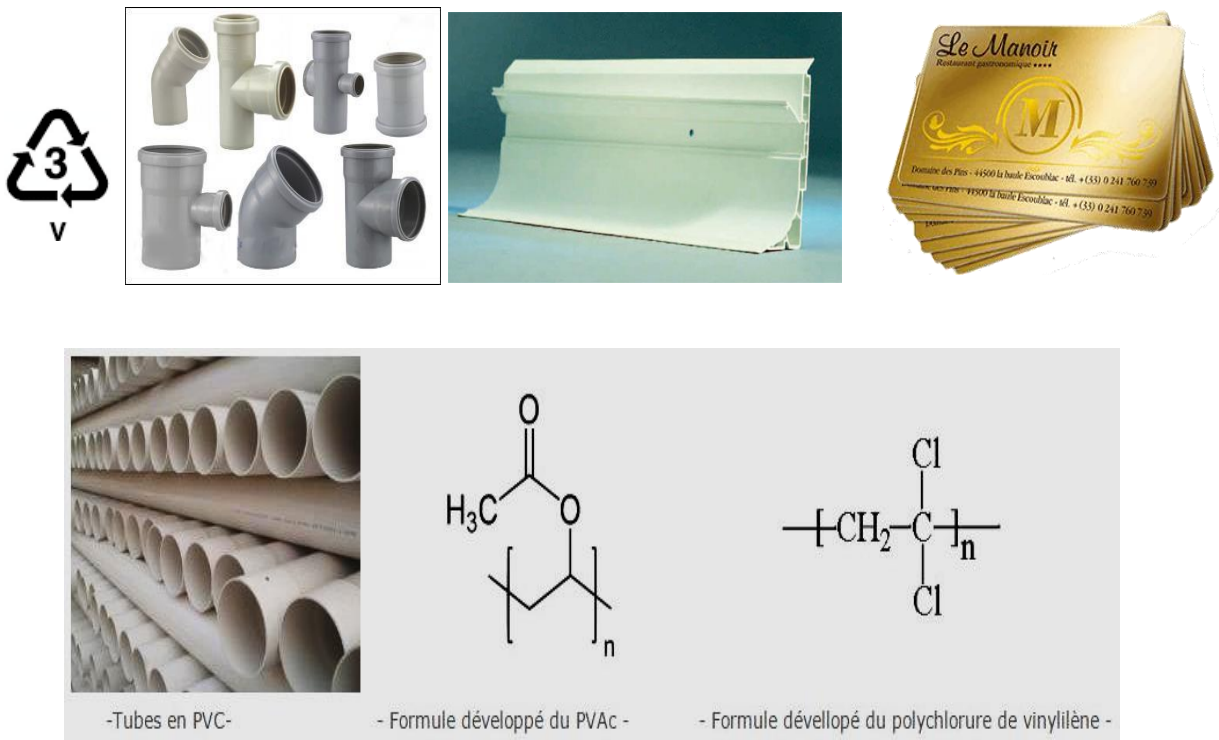


Figure 23 : Les Polyvinyliques

10-3- Les Polystyréniques : [7]

Les Polystyréniques ne désignent que deux matières plastiques : le polystyrène (PS) et les copolymères styréniques, amélioration du PS.

Contrairement aux autres gammes de matière plastique, nous pouvons penser que celle-ci abritent peu de matières plastiques mais cette apparence est trompeuse. Il existe différents types de Polystyrène et de copolymère.

Commençons par le polystyrène : le polystyrène standard (aussi appelé cristal du fait de sa transparence) très rigide et fragile, le polystyrène choc, plus souple que le précédent, le polystyrène chaleur, plus résistant aux hautes températures et enfin le polystyrène expansé sous forme de bulles de gaz.

Les copolymères styréniques, quant à eux, servent à fabriquer, par exemple, des boîtiers d'ordinateurs, des filtres à café, des bocaux, des emballages cosmétiques, des capots d'aspirateurs et même des brosses à dents. Il regroupe aussi des dérivés comme le styrène-acrylonitrile (SAN) et l'Acrylonitrile-butadiène-styrène(ABS).



Figure 24 : Les Polystyréniques

10-4- Le polypropylène PP :

Le polypropylène est l'un des polymères les plus polyvalents. Il sert à la fois comme thermoplastique et comme fibre. Comme thermoplastique il sert à fabriquer des boîtes à aliments qui résistent au lave-vaisselle. C'est possible parce qu'il ne fond pas en dessous de 160°C. Comme fibre, le polypropylène est utilisé pour faire des revêtements de sol intérieur et extérieur, du type de ceux que l'on trouve autour des piscines et des golfs miniatures. Le polypropylène est bon pour les revêtements extérieurs parce qu'il est très facile à colorer, et parce qu'il n'absorbe pas l'eau. Structuellement c'est une polyoléfine, et il est similaire au polyéthylène, seulement sur un carbone sur deux de la chaîne principale il y a un groupe méthyle attaché. Le polypropylène peut être fabriqué à partir du monomère propylène par polymérisation Ziegler-Natta et par polymérisation par catalyse par un métallocène.



Figure 25 : Le polypropylène PP

10-5- Les Polyacryliques et polyméthacryliques :

Cette famille se compose seulement de deux matières plastiques : le polyméthacrylate de méthyle (PMMA) et le polyacrylonitrile (PAN). Utilisé comme fibres synthétiques et films alimentaires, ce dernier, peut être filé du fait de sa solubilité dans certains solvants.



Figure 26 : Polyacryliques et polyméthacryliques

10-6- Les Polyamides :

Seuls les polyamides (PA) eux même compose ce groupe. Les polyamides sont des polymères contenant des motifs amides, formant alors une longue chaîne. L'amide est un groupe caractéristique de forme $O=C-NR_1R_2$ que l'on peut voir ci-dessous. Le chiffre suivant leurs différentes abréviations réfère au nombre d'atome de carbone présent dans les monomères d'acide et d'amine qui les composent (PA6, PA11, PA12, etc...). Si les polyamides servent principalement à fabriquer des fibres textiles sous forme de nylon, ils sont également utilisés pour produire des interrupteurs, des prises électriques, des engrenages, des vis, des appareils électroménagers, des seringues ou des pièces d'équipement automobile, et peuvent intégrer les cycles de recyclage des matières plastiques.



Figure 27 : Les Polyamides

10-7- Les Polycarbonates :

Composés obtenus à partir de diphénylpropane ou de bisphénol A, les polycarbonates (PC) sont des matériaux à usage technique, très rigides et peu combustibles. Livrés sous la forme de granulés, de plaques, de feuilles ou de films, ils entrent dans la composition des disques compacts, des casques de moto ou des vitrages de sécurité et peuvent intégrer une ligne de recyclage plastique.

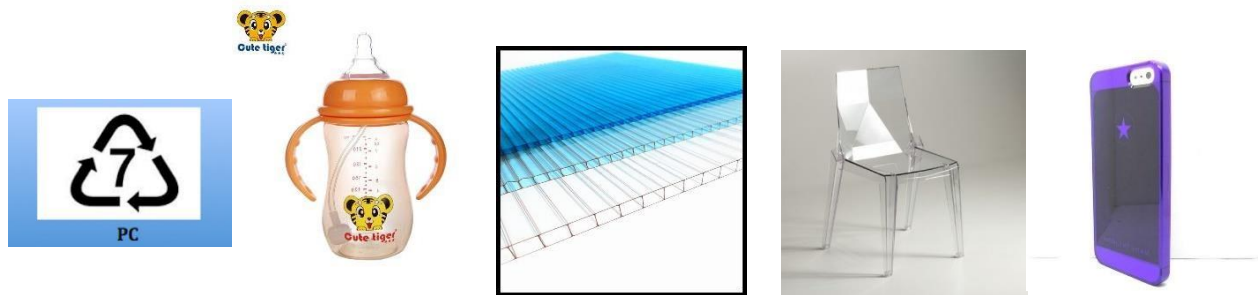


Figure 28 : Les Polycarbonates

10-8- Les Cellulosiques :

Avec l'acétate de cellulose (CA) les industriels bénéficient d'une matière transparente, souple et stable, qui leur permet de fabriquer notamment des fibres, des vernis ou des films photographiques. Avec le nitrate de cellulose (CN), que l'on utilisait autrefois pour faire du celluloïd (considéré comme trop instable aujourd'hui), ils produisent diverses laques, Peintures, Encres, Colles Ou Certains Revêtements Artificiels.

10-9- Les Polyesters Linéaires :

Le polyéthylène téréphtalate (PETP ou PET), le polybutylène téréphtalate (PBTB) et le polytétraméthylène (PTMT) sont trois polyesters linéaires principaux, c'est-à-dire des produits synthétisés à partir d'éthylène-glycol ou de butylène-glycol. Contenant peu d'adjuvants, ils furent d'abord utilisés pour fabriquer des fibres textiles ou des films (comme le terphane), avant que leur résistance à l'abrasion, aux huiles, aux solutions salines et aux chocs ne conduise l'industrie plastique à inclure le PET dans la composition de rubans, de composants électroniques et de bouteilles (PET recyclable), et le PBTB dans celle de pièces mécaniques ou isolantes, soumises à des températures élevées. Le recyclage du PET (ou plus particulièrement le recyclage des bouteilles en plastique) figure parmi les nombreuses activités de Paprec dans le domaine du traitement des déchets plastiques. Recycler des bouteilles en plastique, c'est aussi permettre la fabrication de sacs de couchage, de textiles automobiles, et bien évidemment de nouvelles bouteilles.

10-10- Les Polyfluorethènes :

Il existe trois types de poly fluor éthènes : le poly tétra fluor éthène (PTFE), le poly chloro tri fluor éthylène (PCTFE) et le poly fluorure de vinylidène (PVDF). Le PTFE se présente sous la forme d'une poudre blanche granulaire. Sa résistance à la chaleur est très bonne même s'il n'est pas un véritable thermoplastique (au-delà d'une certaine température, il se transforme en gel irréversible), et il s'illustre notamment par une absorption d'eau quasi nulle, des propriétés antiadhésives, une flexibilité élevée et une bonne résistance à la lumière ainsi qu'aux intempéries. On l'utilise pour fabriquer des revêtements antiadhésifs, des tuyaux, des paliers, des coussinets, des joints et des fibres textiles techniques.

Le PCTFE de son côté, est commercialisé sous deux formes distinctes : des hauts-polymères plastiques (sous forme de granulés ou de poudre) et des bas polymères liquides. LE PVDF est quant à lui une matière très récente, encore en développement. Plus stables thermiquement et chimiquement que le PTFE, tous deux servent également à fabriquer certains types de revêtements artificiels.

10-11- Les Polyacétals :

Le poly oxyméthylène (POM) et ses copolymères associés sont seuls au sein de la famille des poly acétals. Rigide, extrêmement résistant, notamment aux solvants organiques et aux fortes charges, et bon conducteur électrique, le POM est livré commercialement sous forme de poudres à mouler, de granulés et de semi-produits (barres, bâtons, tubes etc.). Il sert à fabriquer des engrenages, des vis, des bielles, des pièces de frottement, des éléments de robinetterie ou des pièces d'outillage portatif

10-12- Les Polysulfones :

Macromolécules contenant du dioxyde de soufre, Les polysulfones, comme le Sulfover ou le Surfyl (noms commerciaux), permettent la fabrication de peintures ou de vernis. Ils offrent une bonne résistance aux bases chimiques, aux acides, aux huiles et aux graisses.

10-13- Le polysulfure de phényle :

Matière plastique particulièrement sombre et rigide, ce polysulfure résiste bien à la chaleur ou aux produits chimiques. Il est employé pour fabriquer des pièces anticorrosion, des ustensiles culinaires ou des revêtements anti-adhérents.

10-14- Le polyoxyphénylène modifié (ppo) :

Le PPO modifié est une matière plastique délicate à transformer. Il doit donc être altéré, et mélangé avec du polystyrène avant d'être utilisé par les industriels, d'où son nom.

11- Les propriétés de la matière plastique : [2]

Les propriétés des matériaux plastiques ne cessent de s'améliorer.

On constate l'emploi grandissant de pièces en matières plastiques à la place de pièces métalliques, souvent plus onéreuses, plus sensibles à la corrosion, ou plus lourdes. Certaines caractéristiques techniques diffèrent notablement de celles des métaux :

- la densité des matières plastiques non expansées est nettement plus faible que celle des métaux (hors magnésium) : de 0,83 (cas du poly-4-méthyle-pentène-1 désigné par PMP) à 2,15 (PTFE), avec 1,2 comme valeur moyenne. La densité d'un polymère est directement fonction du taux de cristallinité. Par ailleurs, la rigidité et la résistance mécanique augmentent avec ce taux ;
- température de transformation plus basse : couramment comprise entre 100 °C (le PS est facile à travailler : extrudable dès 85 °C) et 300 °C (le PC est injecté vers 300 °C). Les bioplastiques sont transformés de 160 à 200 °C, contre environ 220 °C pour des compounds ordinaires équivalents ;
- élasticité plus élevée (jusqu'à 800 % d'allongement à la rupture pour le PEHD) ;
- thermo stabilité des polymères thermoplastiques nettement inférieure à celle des métaux. Rares sont les plastiques résistant à plus de 250 °C pendant de longues périodes dans l'air. Des modifications structurales, particulièrement parmi les matières thermoplastiques, permettent d'élargir le domaine thermique d'utilisation vers les basses ou hautes températures ;
- module d'élasticité plus faible (le module du PEBD est peu élevé : $E \sim 200$ MPa ; à l'opposé, les aminoplastes présentent un module très élevé). Une incorporation croissante de fibres augmente le module d'élasticité et la contrainte à la rupture (ténacité) du composite. La dilatation thermique des matériaux est inversement proportionnelle à leur module de traction. Le coefficient de dilatation des polymères thermoplastiques est supérieur à celui des métaux ;
- Tenue (ou résistance) aux agents chimiques : en règle générale, les polymères résistent aux acides et aux bases [grande inertie chimique du PTFE et du PE (en raison de sa structure paraffinique)]. Ils sont cependant sensibles aux solvants (bonne tenue du PTFE, PBT et PA-6,6) ;
- les polymères ont un comportement viscoélastique. En effet, ils démontrent simultanément des propriétés élastiques et un caractère visqueux. Dans ce dernier cas, la matière s'écoule en réponse à une contrainte ;
- certains plastiques sont des amortissant vibratoires ; exemples : ABS, copolymère bloc SIS [ou poly (styrène-b-isoprène-b-styrène)] ; intérêt en vibroacoustique ;

- la plupart des polymères thermoplastiques amorphes non chargés (et non colorés...) sont transparents (PMMA, PC, PS « cristal », etc.) ; certains plastiques manifestent une grande résistance à l'impact (PC, PET, PMMA, etc.) ;
- certains sont résistants à l'abrasion (PTFE, PVC rigide, polyamides, PET, aminoplastes, etc.). Le PTFE possède un coefficient de friction particulièrement faible qui lui permet d'être un lubrifiant solide ;
- des déchets plastiques très stables peuvent rester des siècles durant dans l'environnement ; ils peuvent cheminer dans des organismes et ceux qui se fixent ont un effet inconnu.

Les matrices organiques sont des isolants thermiques et électriques, ainsi que les fibres de renfort (sauf fibres de carbone)

- la conductivité thermique des polymères est environ cent fois plus faible que celle des métaux ; ainsi, beaucoup de matières plastiques, en particulier les mousses, sont utilisées comme isolants ;
- conductivité électrique très faible ; les plastiques servent traditionnellement pour l'isolation de fils et câbles électriques (PTFE, PEHD).

Tableau N° 04 : les caractéristiques physiques moyennes de quelques polymères thermoplastiques usuels

Code	Densité	Taux de cristallinité (%)	T _v (°C)	T _f ou T _r (°C) ¹³	T _{maxi} (°C) ¹⁴	Module E (GPa)
ABS	1,04-1,12	0	85-125	105-120	70-85	2,5
PA-6	1,13	50	52	215	85	1
PA-6,6	1,14	50	57	260	90	1,5
PC	1,20	0	150	220-250	120	2,4
PE-HD	0,95	80-95	-110	124-135	90	0,8-1,2
PE-LD	0,92	50-70	-110	100-125	70	0,15-0,3
PET amorphe	1,30	0	65-80	255	100	2,7
PET cristallin	1,40	40	65-80	260	100	4,1
PMMA	1,18	0	105	130-140	60-90	3
PP	0,91	60-70	-10	165	100	1,3
PS « cristal »	1,05	0	80-100	100	60	3,2
PVC rigide	1,38	0-5	80	100-120	65	2,4

12- Le recyclage des matières plastiques : [5]

De nombreuses matières plastiques peuvent aujourd'hui être recyclées. La collecte et le tri sélectif sont deux points qu'il faut résoudre pour arriver à une bonne gestion des déchets (actuellement, on pratique le triage densimétrique par rapport à la densité) à l'aide de liquides de densités différentes pour séparer les différents plastiques. Et le système des sept codes qui a été créé par l'industrie des plastiques en voyant en dessous des produits (Ex : en dessous des bouteilles).



PETE PETE ou PET : polyéthylène téréphthalate : utilisé habituellement pour les bouteilles d'eau minérale et de jus de fruits, les emballages, les blisters, les rembourrages Potentiellement Dangereux pour l'usage alimentaire.



HDPE HDPE ou PEHD : polyéthylène haute densité : certaines bouteilles, flacons, et d'une façon plus générale emballages semi-rigides. Considérés comme sans danger pour l'usage alimentaire.



V V ou PVC : polychlorure de vinyle : utilisé pour les canalisations, tubes, meubles de jardin, revêtements de sol, profilés pour fenêtre, volets, bouteilles de détergents, toiles cirées. Potentiellement dangereux pour l'usage alimentaire.



LDPE LDPE ou PEBD : polyéthylène basse densité : bâches, sacs poubelle, sachets, films, récipients souples. Considéré comme sans danger pour l'usage alimentaire.



PP

PP : polypropylène : utilisé dans l'industrie automobile (équipements, pare-chocs), jouets, et dans l'industrie alimentaire (emballages). Considéré comme sans danger pour l'usage alimentaire.



PS

PS : polystyrène : plaques d'isolation thermique pour le bâtiment, barquettes alimentaires (polystyrène expansé), couverts et gobelets jetables, boîtiers de CD, emballages (mousses et films), jouets, ustensiles de cuisine, stylos, etc. Potentiellement dangereux, surtout en cas de combustion (contient du styrène).



OTHER

OTHER ou O : tout plastique autre que ceux appelés de 1 à 6. Inclut par exemple les plastiques à base de polycarbonate ; potentiellement toxique.



Figure 29 : Le recyclage des matières plastiques

Conclusion

Même si les plastiques ont beaucoup d'avantages (rigueur, longévité etc....) ils peuvent avoir de lourdes conséquences sur la biodiversité et la santé. Les plastiques contiennent des matières toxiques qui peuvent être très dangereuses pour la santé donc nous pensons qu'il faut limiter l'utilisation des matières plastiques

Arrêtons d'utiliser les plastiques et de les jeter n'importe où.

Chapitre 2

Les techniques de mise en forme
des matériaux plastiques

Introduction :

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

Pour les thermoplastiques on part de poudres, de granulés ou de produits semi-finis sous forme de plaques ou de films. En chauffant la matière on la fait passer d'un état solide à un état plastique. Elle peut alors être mise en forme dans un moule ou par un autre procédé.

Pour les thermodurcissables les produits de base sont livrés à l'état de polymérisation partielle. Cette dernière va s'achever dans le moule sous l'action de catalyseurs, d'accélérateurs voire de chaleur. Le démoulage arrive quand la polymérisation est déjà assez avancée pour que l'objet conserve les propriétés souhaitées.

1- Les principaux procédés de mise en forme :

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

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

1-1- Le procédé injection :

Le moulage par injection, aussi appelé injection plastique, est un procédé de mise en œuvre des thermoplastiques. La plupart des pièces en thermoplastique sont fabriquées avec des presses d'injection plastique : la matière plastique est ramollie puis injectée dans un moule, et ensuite refroidie. Le moulage par injection est une technique de fabrication de pièces en grande ou très grande série. Il concerne avant tout les matières plastiques et les élastomères (caoutchoucs) mais aussi divers métaux et alliages à point de fusion relativement bas : alliages d'aluminium, de zinc (Zamak) ou encore laiton.

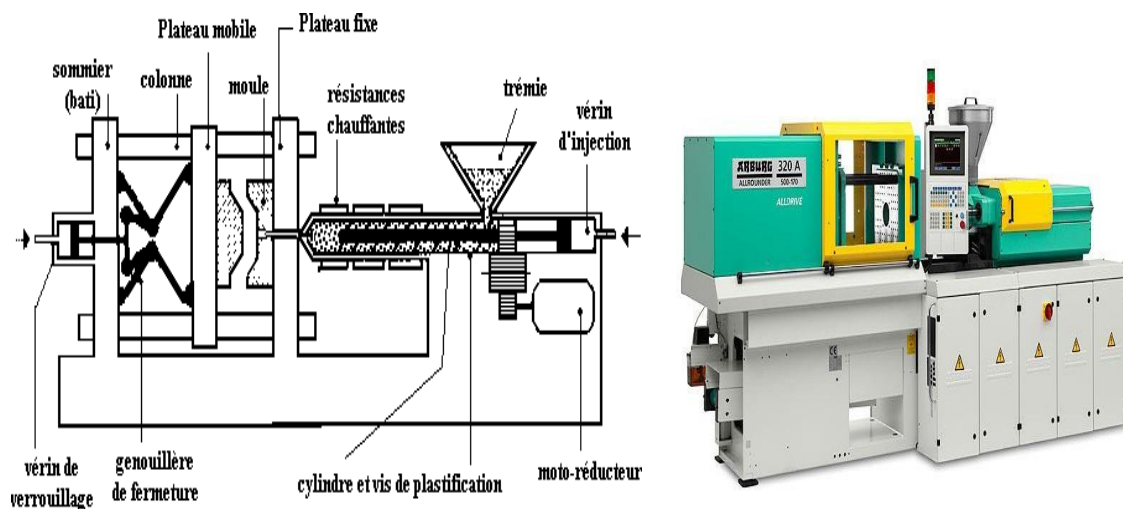
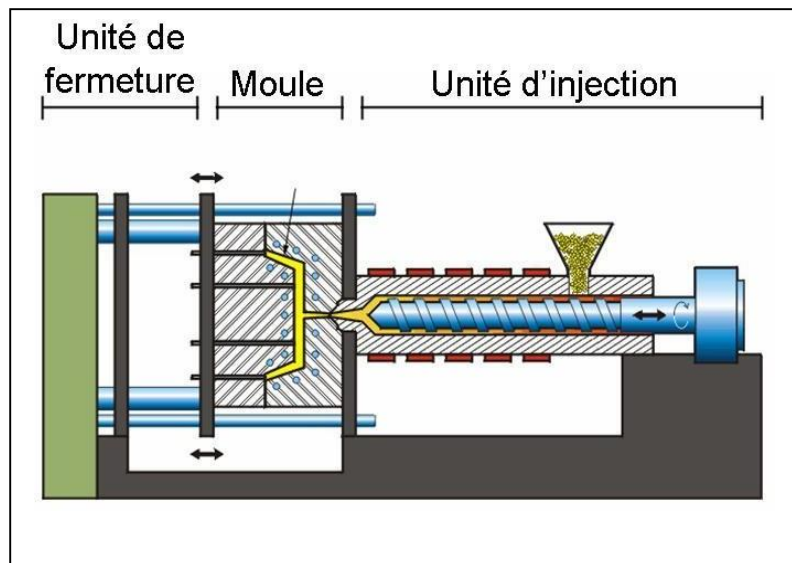


Figure 01 : Structure de la presse d'injection

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



Figures 02- 03 : presse d'injection

1-2- Procédé de mise en œuvre par injection plastique : [8]

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

Celle-ci est chauffée et régulée en température via le fourreau de plastification. La rotation de la vis de plastification (entraînée par un moteur hydraulique) et l'action conjuguée de la température du fourreau permet de ramollir les granulés de matière plastique les amenant jusqu'à un état de visqueux.

- Cette matière est acheminée à l'avant de la vis de plastification donnant ainsi une réserve de matière prête à être injectée (c'est ce que l'on appelle la phase de dosage).

Viens ensuite la phase d'injection dynamique ou la matière présente à l'avant de la vis de plastification, est injectée sous forte pression à l'intérieur d'un moule (ou cavité) présentant la forme de la pièce souhaitée. Le moule est régulé à une température inférieure à la température de transformation (allant de 15°C à 130°C dans certains cas).

- La 3e étape est la phase de maintien, où l'on applique une pression constante durant un temps déterminé afin de continuer à alimenter les empreintes malgré que celle-ci soit remplie. Ceci afin de palier au retrait de la matière durant est refroidissement. La pièce est refroidie durant quelques secondes puis éjectée.

- Un nouveau cycle peut commencer Paramètres et réglages : Les temporisations principales à régler sont :

- Le dosage, l'injection, l'ouverture, la fermeture, l'éjection, la post pression. Autres paramètres :
- Température du fourreau, température de la matière, température du moule injection
- Pressions durant l'injection et durant le maintien, la contrepression, la vitesse de rotation de la vis, la course de dosage
- Courses d'ouvertures et d'éjections etc.

Le cycle d'injection

- Déroulement du cycle d'injection
- Le cycle d'injection minimal est décrit sur la figure 1.
- Pour réaliser ce cycle, les principales fonctions d'une presse à injecter sont donc :
 - Ouvrir et fermer le moule ;
 - verrouiller le moule ;
 - Injecter la matière fondue dans le moule ;

- Maintenir la matière fondue sous pression dans les empreintes ;
- éjecter les pièces après refroidissement ;
- fondre la matière.

En partant de la matière plastique sous forme de granulés pour aboutir aux pièces injectées disponibles hors du moule, le cycle de transformation de la matière plastique.

Pour réaliser ce cycle, les fonctions suivantes sont nécessaires :

- alimenter la presse en granulés ;
- faire fondre les granulés ;
- doser le volume de matière fondue qui va être introduit dans le moule ;
- introduire la matière fondue dans le moule...

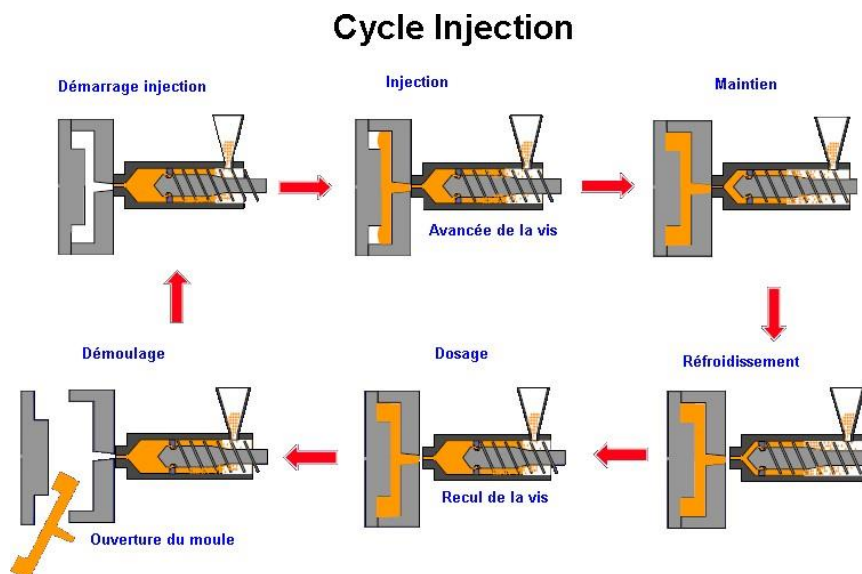


Figure 04 : Le cycle d'injection

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

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

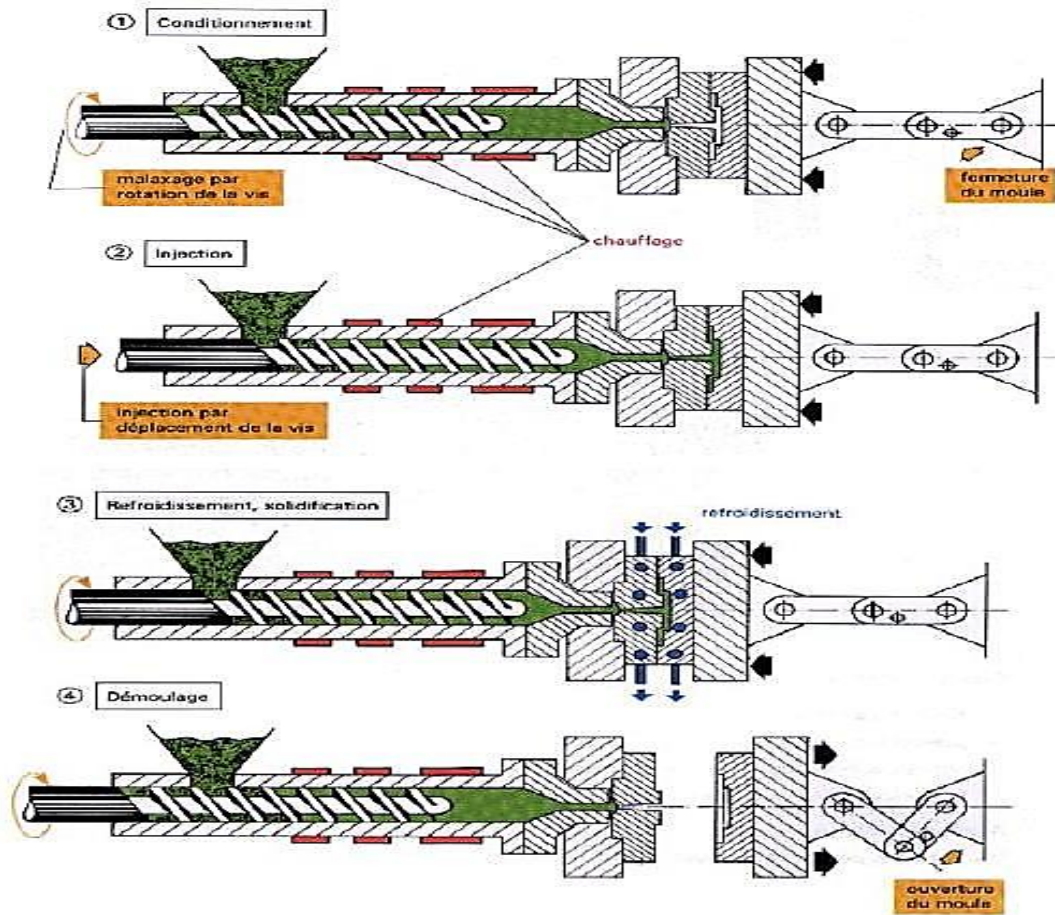


Figure 05 : Schémas de l'ouverture et fermeture d'un moule



Figure 06 : quelques pièces plastiques injectées

1-3- Le procédé injection soufflage :

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

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

Les différentes étapes :

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



Figure 07 : Procédé injection soufflage



Figure 8 : Procédé injection soufflage avec biorientation

1-4- Le procédé extrusion : [9]

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

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

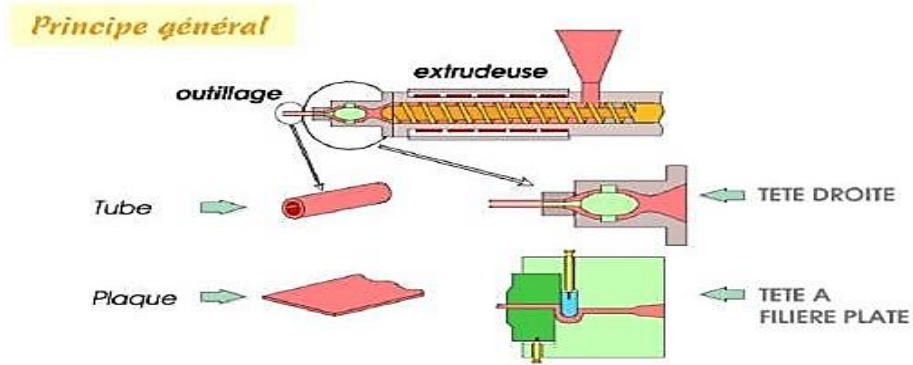
Le procédé d'extrusion plastique commence avec ce qu'on appelle des résines thermoplastiques. Les résines thermoplastiques sont un type de plastique qui peut être fondu, traité, puis refondu afin d'être réutilisé. Ces résines sont généralement livrées dans sous forme de granulés ou de billes pour être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

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

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

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

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



OUTILLAGE : FILIERE D'EXTRUSION

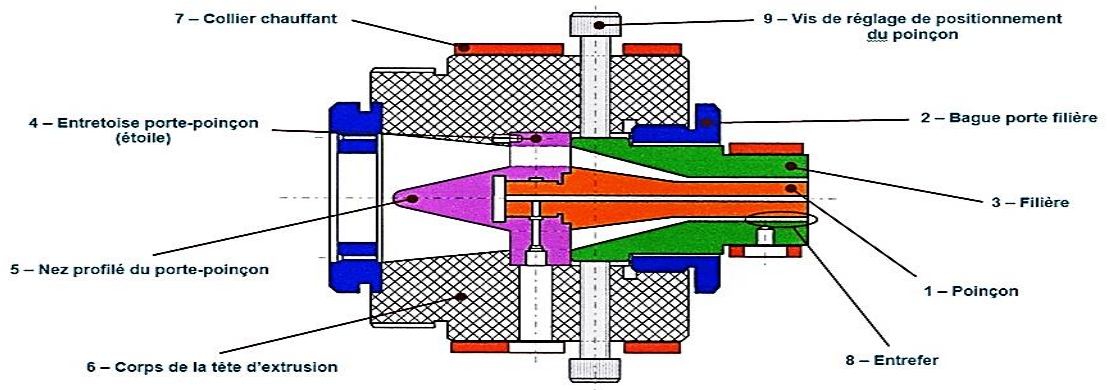


Figure 09 : procédé et outillage de la filière d'extrusion

- Procédé extrusion soufflage : [10]

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

Chapitre 2 Les techniques de mise en forme des matériaux plastiques

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

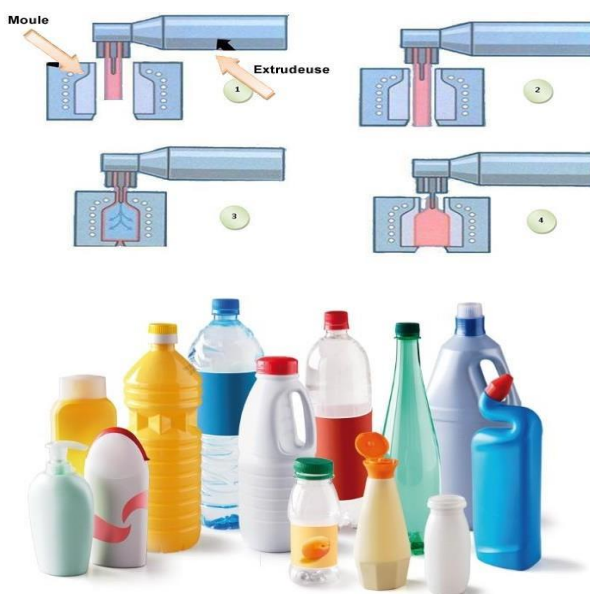
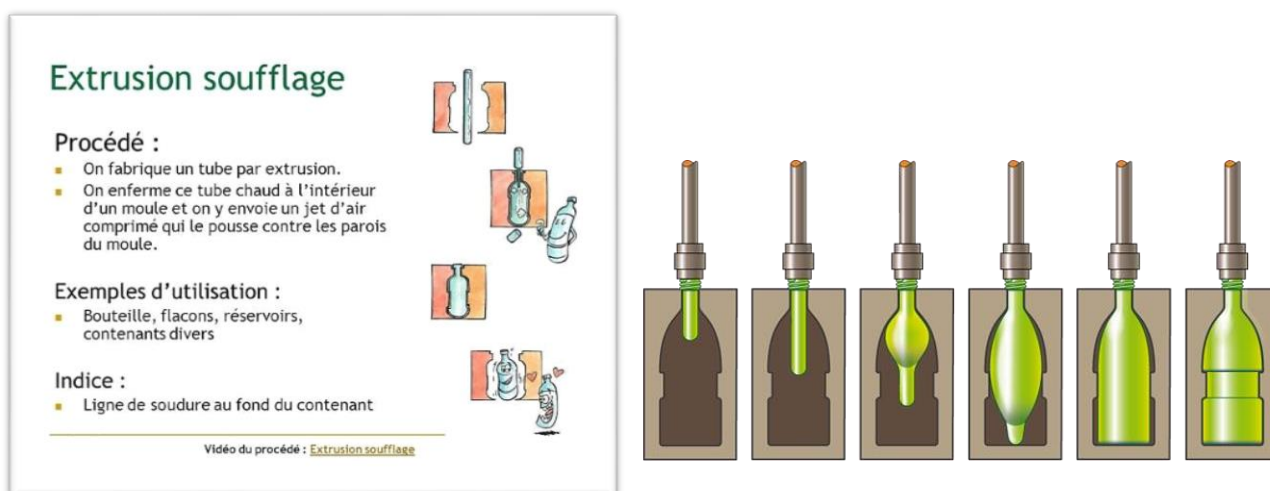


Figure 10 : Procédé extrusion soufflage

-Procédé extrusion Gonflage :

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

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



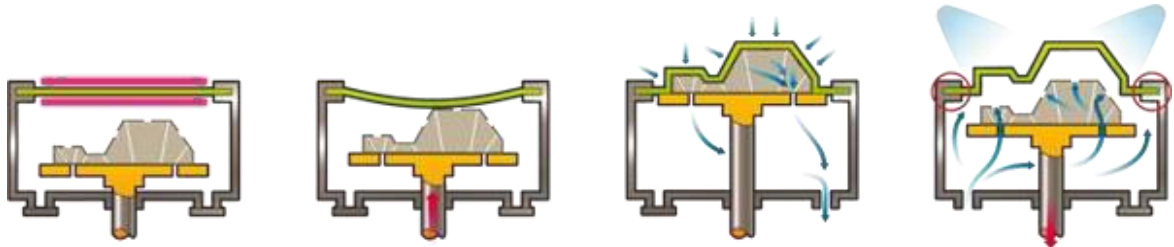
Figure 11 : Procédé extrusion gonflage

1-5- Le procédé thermoformage : [9]

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

Principe

Le thermoformage est une technique de moulage.



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

Applications

Jouets (bac à sable, toboggans...) Pots de yaourt

Blister.

Gobelets et barquettes.



Figure 12 : exemple de produit du procédé thermoformage

Machine de thermoformage et Outillages :

Les machines pour thermoformage, autrement appelées thermoformeuses sont utilisées dans la transformation des matières plastiques. Elles s'utilisent en effet dans un bon nombre d'applications. On les trouve par exemple dans le secteur médical, l'éducation, le secteur automobile, etc... Trois principaux types de thermoformage existent, dont le thermoformage par le vide, le thermoformage sous pression, et le thermoformage double coque. Le thermoformage présente de nombreux avantages considérables pour ses utilisateurs. Il offre par exemple l'avantage d'être d'une conception simple, ce qui lui vaut d'être peu coûteux par rapport aux autres types de machines. Sa compétitivité lui permet également de réaliser les petites, moyennes et grandes séries. Le moule de la machine pour formage est dans la plupart du temps conçu en aluminium ; cependant, on la trouve également dans d'autres matières, telles que la résine époxyde, notamment pour les petites séries, et le bois qui s'utilise le plus souvent pour la fabrication d'échantillons. Deux principaux types de moules existent, dont les moules positifs et les moules négatifs. Vous trouverez ici plusieurs fournisseurs et des sociétés spécialisées dans la conception et la réalisation de machines pour thermoformage. Ils proposent par exemple des préchauffeurs pour thermoformage, des thermoformeuses- stratificateurs, des thermoformeuses pour film de plastique, des modèles pour plaque de plastique, ou pour bloc de plastique, etc...



Figure 13 : Machine de thermoformage et Outillages

1-6-Le procédé calandrage : [2]

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

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

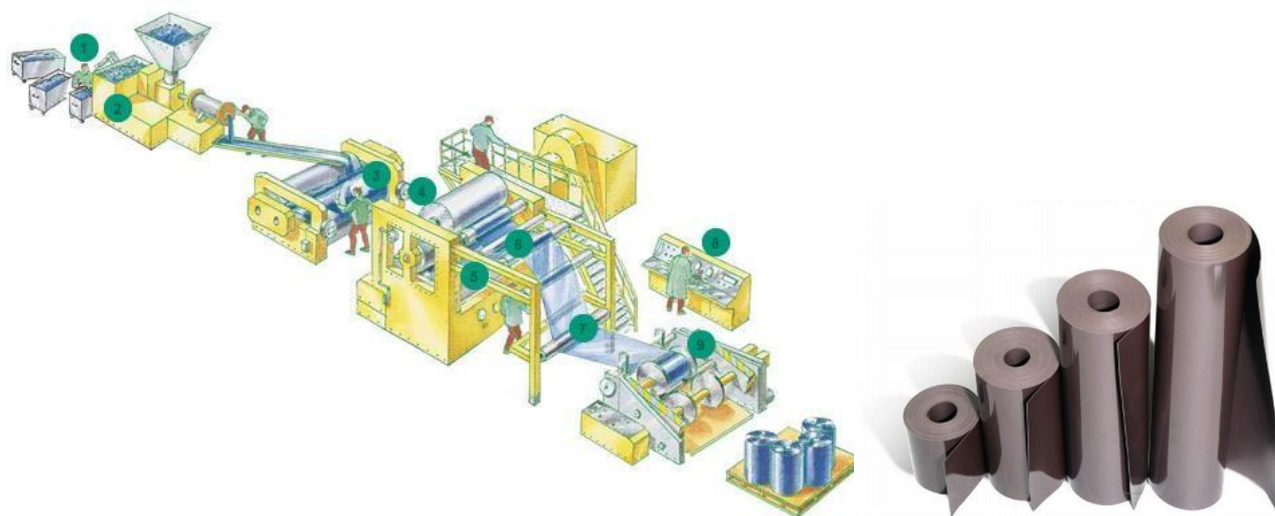


Figure 14 : procédé calandrage

Ces derniers ont de nombreux avantages :

- Recyclage de produit
- Gain de poids : par leur faible densité
- Stabilité dans le temps (absence de plastifiant)
- Tenue chimique
- capacité de transformation :

- par thermoformage,
- thermo compression,
- thermo gainage...

Extrusion Calandrage : Procédé continu au cours duquel la matière plastique est introduite sous forme de granulés. Chauffée, la matière fondue sort de l'extrudeuse par une filière sous la forme d'une feuille. Le passage dans une calandre permet le contre collage (sur un support Textile, mousse,...) et le grainage.

1-7-Le procédé Roto-moulage : [2]

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



Figure 15 : procédé de roto-moulage [11]



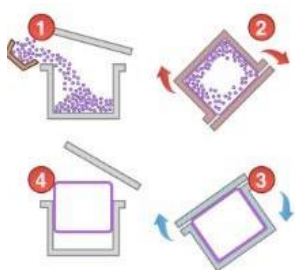
Figure 16 : Machine de roto-moulage



Figure 17 : Moule de roto-moulage

Le roto-moulage est un procédé de mise en forme des matières plastiques très utilisé pour fabriquer des articles de sports nautiques.

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



Le rotomoulage



Moule de rotomoulage



Matière première: PVC
liquide



Four à rotomoulage

Figure 18 : étapes du procédé roto-moulage

La mise en œuvre du roto-moulage comporte **6 phases** :

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

Le démoulage.

Grâce au roto-moulage, on peut ainsi fabriquer des kayaks, des canoës, des barques, des planches de stand.

Cette technique a commencé à être mise en œuvre de manière industrielle dans les années 70. Elle a permis à de nombreuses marques de développer et mettre sur le marché de nombreux produits en vente.

1-8-Le procédé expansion- moulage :

Principe :

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



Figure 19-20 : Bille de polystyrène expansée

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

Le polystyrène est un polymère qui se présente avant transformation sous forme de petites billes non expansées. Elles renferment des micro-inclusions à l'état liquide qui se transforment en gaz lors de l'expansion. Dans une chaudière, en présence de vapeur d'eau, la matière se ramollit et le gaz qu'elle contient se dilate. Les petites billes gonflent, comme du pop-corn, en gardant une forme sphérique régulière. Cette première expansion est réalisée dans de grandes cuves en inox et permet d'obtenir jusqu'à 30 fois le volume initial du polystyrène non expansé.

Dans un deuxième temps, après séchage, les billes pré-expansées sont introduites dans un moule fermé et sont soumises à une nouvelle expansion grâce à l'injection de vapeur d'eau.

Les billes augmentent de volume et collent les unes aux autres dans le volume intérieur du moule. Cette technique est utilisée pour fabriquer toutes sortes d'emballages en polystyrène expansé : emballages de protection pour appareils fragiles, caisses à poissons, barquettes alimentaires...

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



Figure 21 : exemples de polystyrène

Conclusion

Plusieurs étapes sont nécessaires pour obtenir les molécules indispensables à la réalisation des plastiques (monomères). Ensuite, ceux-ci sont combinés, par l'intermédiaire de réactions chimiques (polymérisations), afin de fabriquer les polymères. On constate alors que les plastiques se scindent en trois familles : les thermoplastiques, les thermo durcissables et les élastomères qui ont des propriétés différentes et sur lesquelles vont jouer les fabricants pour obtenir des objets techniques. Ces plastiques sont de plus en plus utilisés dans divers domaines comme l'automobile, la santé, les loisirs, les BTP afin d'améliorer nos conditions de vie et les performances des objets créés. Cependant, les déchets plastiques ainsi produits sont néfastes pour l'environnement (faune et flore). Il faut donc trouver des solutions comme le recyclage, l'utilisation de plastiques recyclés et développer des solutions pour remplacer le plastique. Notre rôle est donc essentiel et nos mentalités doivent changer pour notre avenir.

Chapitre 3

Moules d'injection plastique

Introduction

L'injection plastique est l'un des procédés le mieux adapté à la production en série de pièces microtechniques. L'importance prise par ce procédé dans la production des pièces microtechniques nous conduit vers l'étude des pièces injectées, la conception des outillages d'injection ainsi que leur mise en œuvre. Principe de fonctionnement Ce procédé permet d'obtenir des pièces dont l'épaisseur est comprise entre 0,4 et 6 mm avec des géométries complexes. Le moulage par injection consiste à ramollir (état visqueux) la matière thermoplastique (TP), puis de la malaxer au niveau de la vis de plastification. Elle est ensuite injectée sous forte pression. L'injection sous forte pression du polymère fondu dans un moule froid à une ou plusieurs empreintes. Au contact des parois froides, la matière se solidifie en forme puis l'objet peut être démoulé.

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

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

Seul un travail collaboratif entre les différents spécialistes de ces trois domaines permet d'optimiser la fonctionnalité de la pièce.

Ce procédé d'obtention permet de produire très rapidement (en une seule opération) des objets de qualité en grande quantité, même si les formes sont complexes, dans des gammes de poids allant de quelques grammes à plusieurs kilogrammes. On utilise l'injection plastique dans de très nombreux domaines : l'automobile, le jouet, l'électronique, la robotique, l'aéronautique, l'aérospatial, le médical... Téléphones, seringues, pare chocs, capots, carters, boîtes...

Applications courantes Les pièces injectées se trouvent dans tous les secteurs du marché, en particulier dans l'automobile, les produits industriels et domestiques, tels que paniers de courses, papeterie, mobilier de jardin, claviers, boîtiers de produits électroniques, boutons et poignées de casseroles.

1- Le procédé d'injection : [8]

Procédé de mise en œuvre par injection plastique :

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

- Celle-ci est chauffée et régulée en température via le fourreau de plastification. La rotation de la vis de plastification (entraînée par un moteur hydraulique) et l'action conjuguée de la température du fourreau permet de ramollir les granulés de matière plastique les amenant jusqu'à un état de visqueux.

- Cette matière est acheminée à l'avant de la vis de plastification donnant ainsi une réserve de matière prête à être injectée (c'est ce que l'on appelle la phase de dosage).

- Viens ensuite la phase d'injection dynamique ou la matière présente à l'avant de la vis de plastification, est injectée sous forte pression à l'intérieur d'un moule (ou cavité) présentant la forme de la pièce souhaitée. Le moule est régulé à une température inférieure à la température de transformation (allant de 15 °C à 130 °C dans certains cas).

- La 3e étape est la phase de maintien, où l'on applique une pression constante durant un temps déterminé afin de continuer à alimenter les empreintes malgré que celle-ci soit remplie. Ceci afin de palier au retrait de la matière durant est refroidissement. La pièce est refroidie durant quelques secondes puis éjectée.

- Un nouveau cycle peut commencer Paramètres et réglages : Les temporisations principales à régler sont :

- le dosage, l'injection, l'ouverture, la fermeture, l'éjection, la post pression.

Autres paramètres :

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

- Pressions durant l'injection et durant le maintien, la contrepression, la vitesse de rotation de la vis, la course de dosage

- Courses d'ouvertures et d'éjections etc.

Le cycle d'injection

Déroulement du cycle d'injection

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

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

- Ouvrir et fermer le moule ;
- Verrouiller le moule ;
- Injecter la matière fondue dans le moule ;
- Maintenir la matière fondue sous pression dans les empreintes ;
- Éjecter les pièces après refroidissement ; fondre la matière.
- En partant de la matière plastique sous forme de granulés pour aboutir aux pièces
- Injectées disponibles hors du moule, le cycle de transformation de la matière plastique
- Pour réaliser ce cycle, les fonctions suivantes sont nécessaires :
- Alimenter la presse en granulés ;
- Faire fondre les granulés ;
- Doser le volume de matière fondue qui va être introduit dans le moule ;
- Introduire la matière fondue dans le moule..

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

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

2- 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. T_g

A température supérieure à T_g , la température se ramollit. A cet état la matière n'est plus solide mais n'est pas aussi liquide.

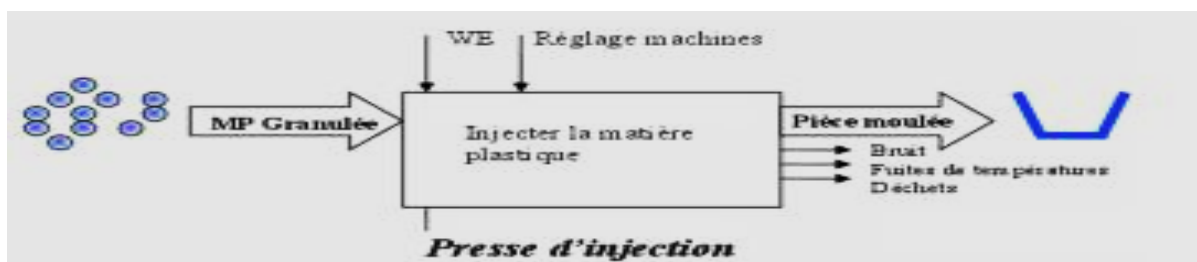


Figure 01 : presse d'injection

2-1- Structure de la presse d'injection :

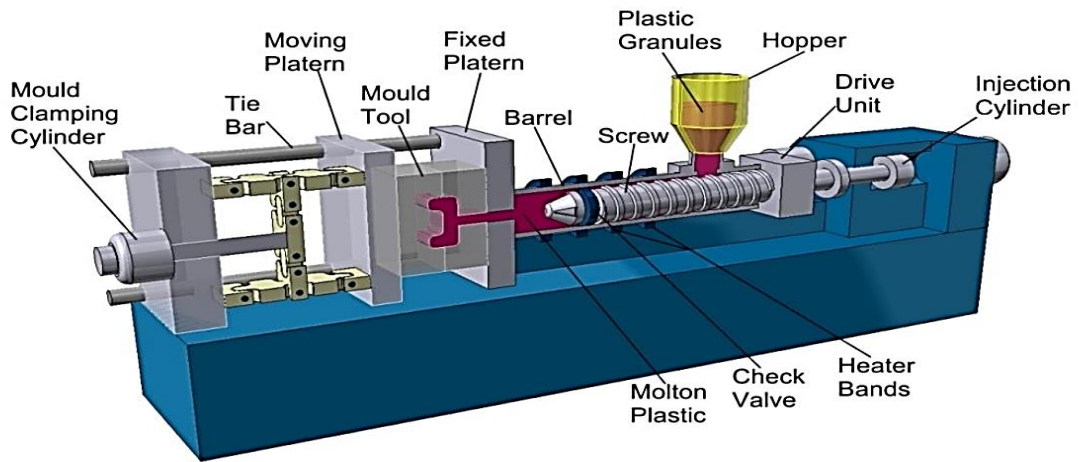
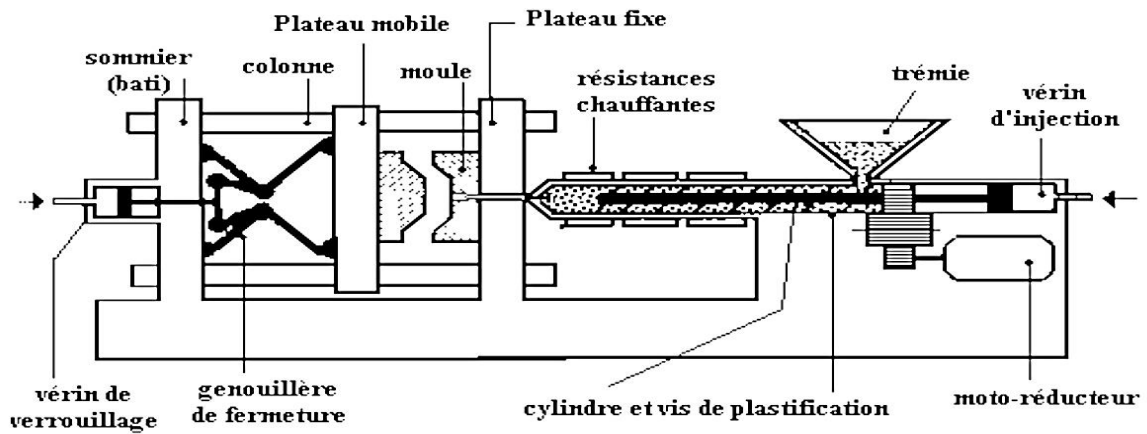


Figure 02 : structure de la presse d'injection

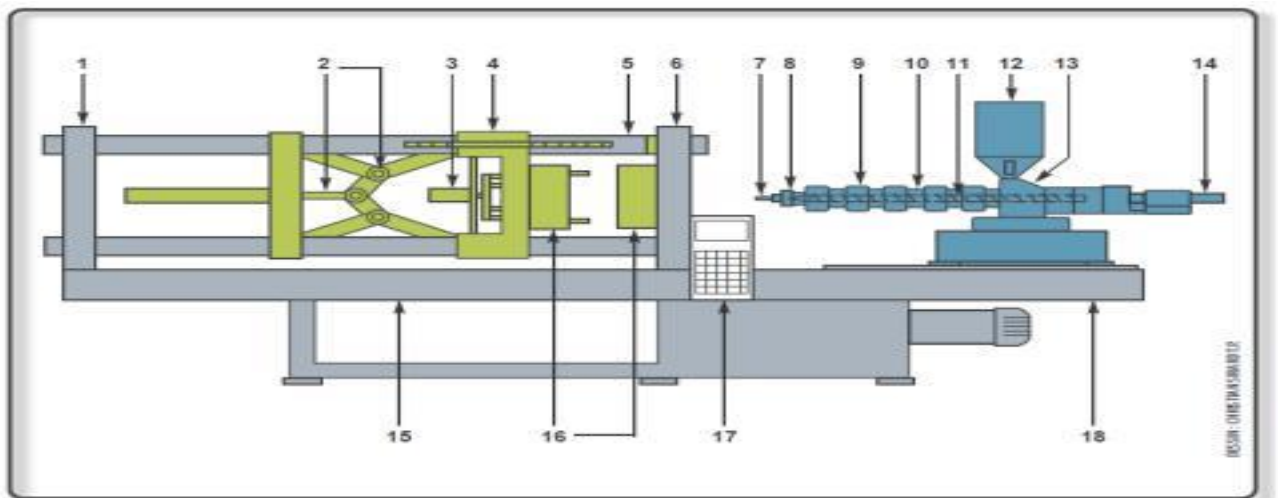


Figure 03 : Composants de la presse d'injection

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

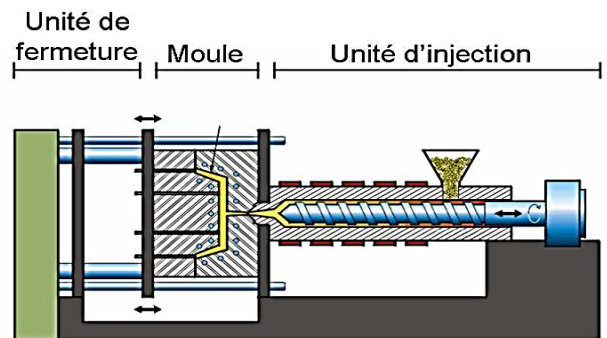
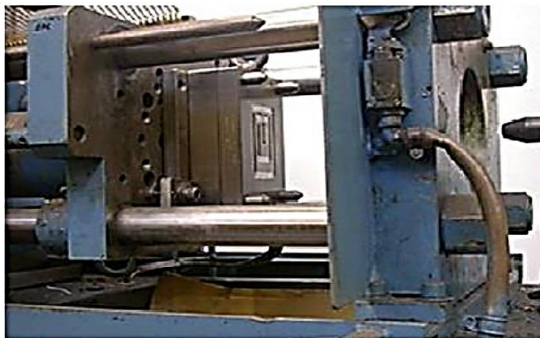
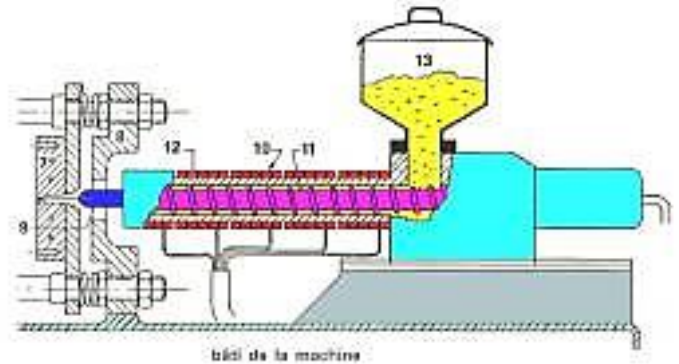


2-2- L'unité de plastification ou injection :

Sous cette désignation on comprend la partie de l'unité d'injection, qui est en contact direct avec la matière plastique à transformer. L'unité de plastification a comme tâche, de faire fondre la matière plastique, de l'homogénéiser, de la doser et de la transporter dans le moule.

Partie fixe du moule

- 7. Plateau fixe
- 8. Buse d'injection
- 9. Colliers chauffant du pot d'injection
- 10. Pot d'injection
- 11. Vis d'injection 13. Trémie



Le cylindre à vis électriquement chauffé est équipé d'une vis universelle à trois zones.

- 1. Zone d'alimentation
- 2. Zone de compression
- 3. Zone de plastification

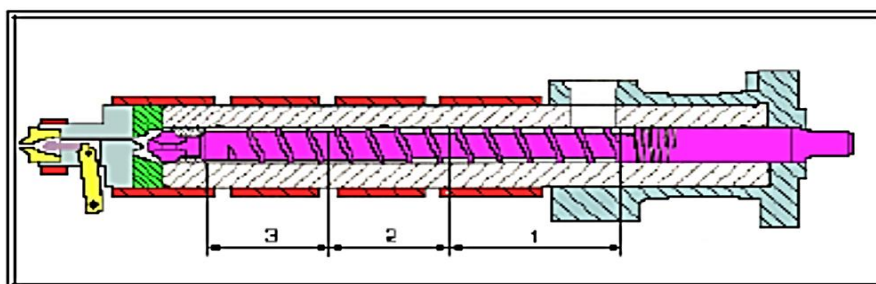


Figure 04 : unité de plastification

Une buse de presse doit : Assurer un contact étanche avec le moule durant l'injection, malgré les fortes pressions mises en œuvre. La force d'appui buse-moule doit être assez élevée et s'exerce sur des portées sphériques ou tronconiques, rarement planes.

- A. Buse ouverte
- B. Résistance de buse
- C. L'avant pot
- D. Clapet
- E. Siège du clapet
- F. Passage de la matière
- G. Vis
- H. Pointe du clapet
- I. Fourreau

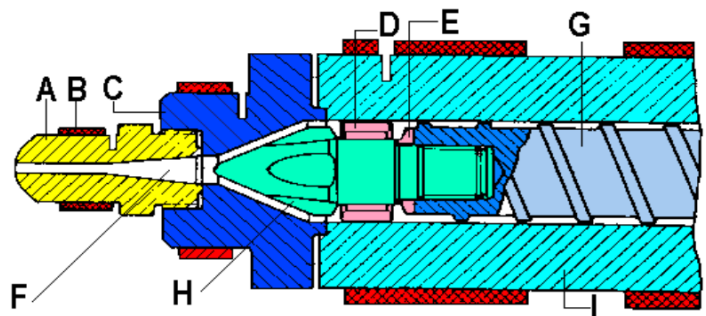


Figure 05 : structure de la buse de presse

2-3- L'unité de fermeture et verrouillage :

Cet ensemble permet la fermeture et le verrouillage de la partie mobile du moule, sur la partie fixe. Devant résister à la pression d'injection, sa conception est très importante. Son fonctionnement peut-être mécanique, hydraulique, ou mixte.

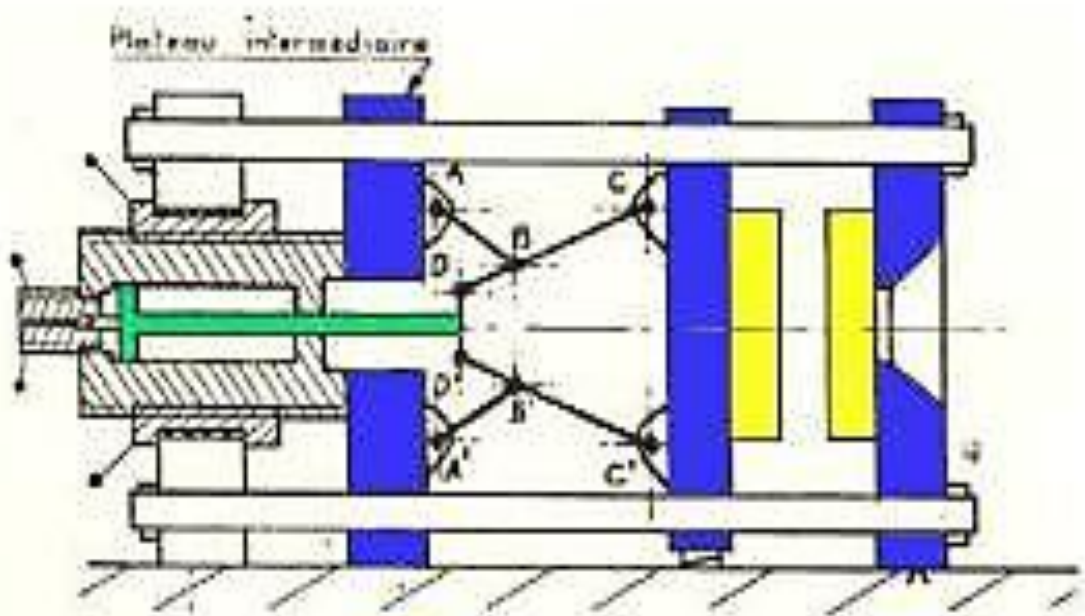


Figure 06 : unité de fermeture et verrouillage

2-3-1- FERMETURE MECANIQUE :

Bien que les mouvements sont assurés par un vérin, elle est appelée mécanique, car l'effort de verrouillage est assuré par les genouillères. Sur certaine presse, lorsque le point d'alignement est dépassé, on peut couper la pression dans le vérin et l'ensemble reste stable.

Fermeture mécanique – Simple et Double genouillère

L'avance rapide de la partie mobile est assurée par la genouillère. Le verrouillage du moule est fourni par la mise en traction des colonnes de la machine, au moment où le moule est verrouillé.

La genouillère est actionnée par un vérin hydraulique. Ce système est très simple mais n'assure pas une force de fermeture constante et reste difficile à régler.

+	Système simple	-	Force de fermeture non constante
	Diamètre vérin faible		Reglage difficile
	Vitesse de fermeture diminue naturellement		Faible Course

Fermeture simple genouillère

Fermeture à double genouillère offre une plus grande force de fermeture

Fermeture double genouillère



FERMETURE HYDRAULIQUE :

Ce type de fermeture ne fait appel à aucun mouvement mécanique. Ceux-ci sont réalisés par des mouvements hydraulique à l'aide d'un gros vérin central qui a pour but de faire l'approche du plateau mobile jusqu'au plateau fixe , et d'un vérin plus petit qui assure le verrouillage dans la phase final de la fermeture.

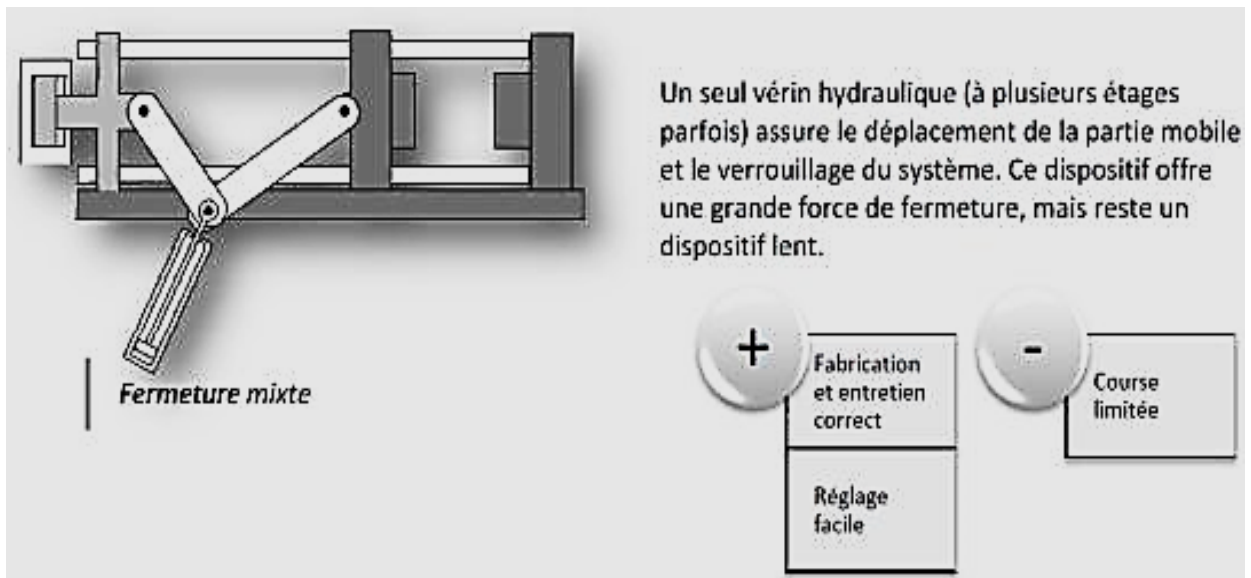
Fermeture hydraulique – Vérin

+	Effort de fermeture	-	Déplacement lent
	Réglage simple		Fabrication coûteuse
	Sécurité de fonctionnement		Entretien coûteux

Un seul vérin hydraulique (à plusieurs étages parfois) assure le déplacement de la partie mobile et le verrouillage du système. Ce dispositif offre une grande force de fermeture, mais reste un dispositif lent.

□ **FERMETURE MIXTE :**

Ce procédé est un compromis entre la fermeture hydraulique et la fermeture mécanique. En effet, les mouvements d'ouverture et de fermeture se font uniquement par des genouillères, tandis que le verrouillage est assuré par un ou des vérins hydrauliques.



2-4- Caractéristiques techniques d'une presse d'injection :

Caractéristiques des Presses :

Un standard Européen "Euromap" définit les caractéristiques des presses.

Exemples :

1) 900 H - 210

900 : Force de fermeture en KN

H : Presse horizontale

210 : Volume maximum de matière injectable

2) La Baby Plast 6/6 M 62,5 H – (4 à 15)

3) La plus grosse presse (Billion) 100 000 H - 80 000

=> Pour mouler des pièces d'une surface de 2 m² et de 80 kg : grosses poubelles collectives.

Tableau n° 01 : Caractéristiques techniques d'une presse d'injection

INJECTION		UNITE
DIAMETRE DE VIS	30	mm
VOLUME THEORIQUE INJECTABLE	148	cm ³
PRESSION D'INJECTION	2800	kg/cm ²
DEBIT D'INJECTION	83	cm ³ /Sec
CAPACITE D'INJECTION	124	gramme

UNITE DE FERMETURE		UNITE
PASSAGE ENTRE COLONNES	340x340	mm
DIMENSION DU PLATEAU	525x525	mm
EPAISSEUR MOULE	mini 100 maxi 320	mm
COURSE D'OUVERTURE	300	mm
DIAMETRE BAGUE DE CENTRAGE	125	mm
FORCE DE FERMETURE	80	T
EJECTION	M 16	

SARDA BECHIK



FORCE DE FERMETURE :

La force de fermeture est la force nécessaire pour maintenir le moule fermé lors de l'injection. Cette force est calculée par rapport à la pression exercée dans le moule pendant l'injection. Elle doit être supérieure à la pression d'injection. Il est obligatoire d'exercer un verrouillage du moule, sinon lors de l'injection, il se produit une ouverture et du toilage sur les pièces.

NOTE : La pression de verrouillage doit-être de 10 à 25% supérieur à la pression d'injection.

Méthode de calcul de la force de fermeture

Force de fermeture :

$$F = P.C_{PC}.S \times 1,1 \quad (2)$$

RAPPEL :

Matériau :	ABS
Pression d'injection P (Mpa) :	120
Surface projetée au plan de joint S (mm ²) :	2460
Coefficient de pertes de charges C _{pc} :	0,6
Effort au plan de joint du moule F (kN) :	194,83
Force de fermeture de la presse (kN) :	250

1 bar = 10⁵ N/m²

1 bar = 10 N/cm²

1 Pa = 1 N/m² : [l'unité de pression est le Pascal](#)

1 kg » 10 N

1 bar » 1 kg/cm²

COURSE DE FERMETURE OU D'OUVERTURE :

Elle conditionne la profondeur maximale des pièces moulables. La course d'ouverture doit être au moins égale au double de cette profondeur. La course de fermeture peut-être réglable en vue d'obtenir un gain sur le temps d'ouverture lorsque les pièces produites sont peu profondes.

 PASSAGE ENTRE COLONNES :

Il détermine la largeur maximale du moule exploitable, à moins d'équiper la presse avec une colonne démontable, solution devenue assez courante.

 DIMENSIONS DES PLATEAUX :

Elles fixent les valeurs extrêmes possibles pour l'une des dimensions transversales du moule.

 ➤ **EPAISSEUR DE MOULE MINIMALE :**

Il est inutile d'obtenir une fermeture complète des plateaux lorsqu'aucun moule n'est monté dessus. La distance entre plateaux en position moule fermée, représente alors le moule d'épaisseur minimale exploitable.

 EPAISSEUR DE MOULE MAXIMALE :

Si l'on veut conserver, pour la course d'ouverture de la presse, la valeur maximale possible en utilisant un moule plus épais que le moule minimal (cas fréquent), il est nécessaire de prévoir un réglage permettant de reculer le plateau mobile par rapport à la position correspondant à celle du serrage minimal. Ce réglage, ajouté à l'épaisseur du moule minimal, donne l'épaisseur maximale de moule possible dans ces conditions.

 SURFACE FRONTALE OU SURFACE PROJETEE :

C'est la projection de la matière sur la surface totale des empreintes, y compris la surface des canaux d'alimentation ramenée sur un plan.

 LE VOLUME MAXIMALE INJECTABLE :

C'est le volume maximal de la matière qu'on peut injecter dans le moule, sur la surface, y compris le volume des canaux d'alimentation. C'est le volume de la zone de dosage.

Systèmes de plastification haute performance

Les systèmes de plastification des presses d'injection doivent remplir plusieurs exigences. En appliquant un rapport L/D de 22:1 sur les trois diamètres proposés pour chaque unité d'injection, il est ainsi possible de travailler dans les meilleures conditions et d'obtenir ainsi une qualité irréprochable.

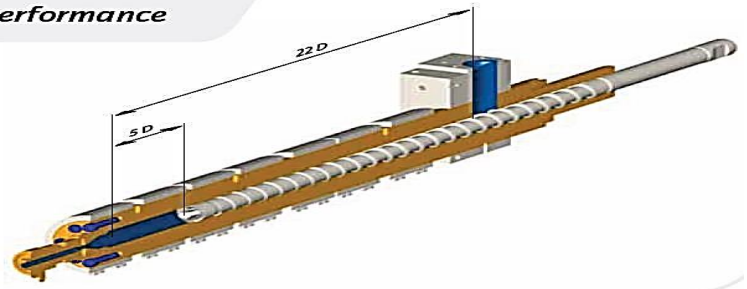


Figure 07 : système de plastification des presses d'injection

L'ensemble vis fourreau assure trois actions principales :

Transporte la matière du point d'alimentation (de la trémie) à la buse.

Plastifie grâce au malaxage et à la chaleur apportée de l'extérieur. Injecte la matière dans le moule comme une grosse seringue.

Tableau n° 02 : table de conversion poids injectables

Unité de fermeture		HM 45/ ...											
Force de verrouillage	kN	450											
Distance entre colonnes	mm x mm	320 x 270											
Hauteur de moule (min.)	mm	195											
Course/force d'ouverture	mm/kN	375/26											
Distance maxi entre plateaux	mm	570											
Course/force d'éjection	mm/kN	100/26,4											
Temps de cycle à vide ¹⁾	s-mm	1,6 - 224											
Unité d'injection		... /60				... /130				... /210			
Diamètre de vis	mm	14	18	22	18	22	25	30	25	30	35		
Course de vis	mm	90				110				125			
Rapport L/D de la vis		20				20				22			
Volume théorique d'injection	cm ³	13,9	22,9	34,2	28	41,8	61,4	88,4	73,6	106	144		
Pression matière	bar	3.000	2.593	1.736	3.000	2.864	2.218	1.540	2.940	2.042	1.500		
Vitesse de rotation vis maxi	min ⁻¹	498				318				310			
Taux de plastification maxi (PS) ²⁾	g/s	1,7	5	7,2	3,2	4,6	8,5	12,3	8,2	12	18,6		
Couple de vis maxi	Nm	90	231			238			357			490	
Course buse/force d'application buse	mm/kN	250/47				250/47				250/86			
Vitesse d'injection dans l'air	cm ³ /s	32,7	54,1	80,7	32,7	48,9	63,1	90,9	59,5	85,7	117		
Vitesse d'injection dans l'air avec double pompe (option)	cm ³ /s	49	81,1	121	49,1	73,4	94,7	136	71,4	103	140		
Vitesse d'injection dans l'air avec accumulateur (option)	cm ³ /s	65	108	161	77,7	116	150	216	143	206	280		
Entrainement													
Puissance d'entraînement	kW	11				11				11			
Volume d'huile	l	150				150				150			
Puissance installée sans/avec Europack	kVA	20/49				24/53				27/56			
Poids, dimensions													
Poids net (sans huile)	kg	2.500				2.500				2.600			
Longueur x largeur x hauteur ³⁾	m	3,0 x 1,3 x 1,9				3,3 x 1,3 x 1,9				3,4 x 1,3 x 1,9			
Poids maxi moule/diamètre moule mini ⁴⁾	kg/mm	400/250				400/250				400/250			

1) Suivant EUROMA P 6 2) Suivant normes BATTENFELD, taux de plastification supérieurs possible avec double pompe (option)
 3) Longueur maxi avec vis de diamètre médiane en position arrière 4) Maxi 2/3 sur plateau de fermeture

Table de conversion poids injectables

Matière	Facteur
ABS	0,88
CA	1,02
CAB	0,97
PA	0,91
PC	0,97
PE	0,71
PMMA	0,94
POM	1,15
PP	0,73

Les poids maxi injectables (g) sont calculés en multipliant le volume théorique (cm³) par le facteur ci-dessous.

3- Structure d'outillage d'injection « Le moule » :

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

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

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

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

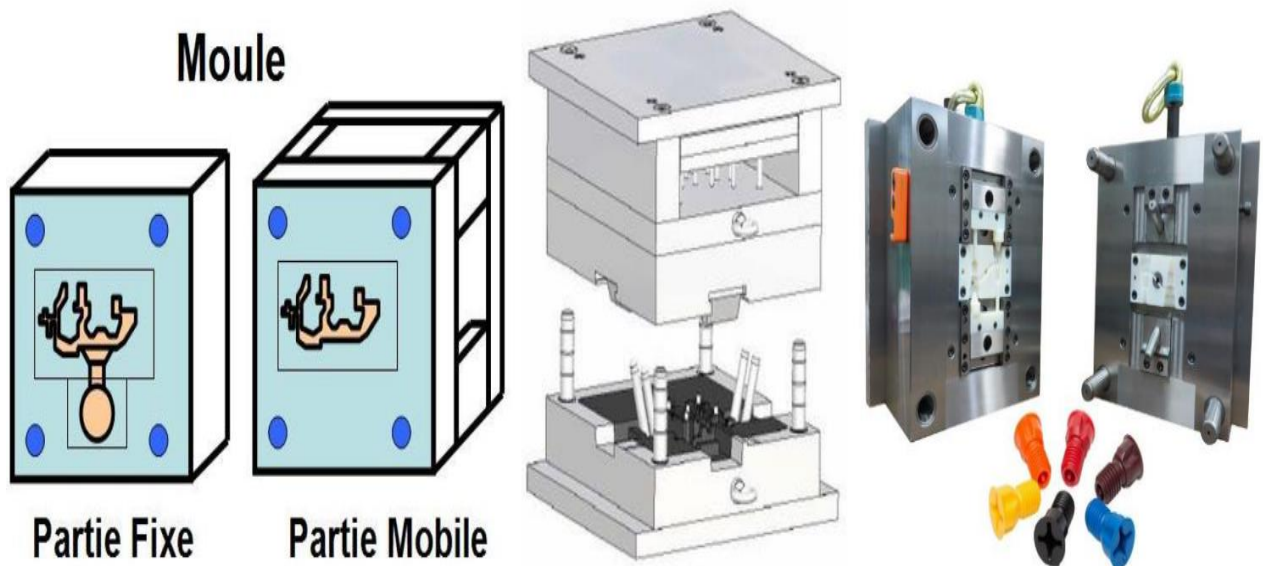


Figure 08 : structure d'un moule d'injection

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

moules qui vont aider le démoulage (des tiroirs ou coulisseaux et des rampes ou cales montantes).

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

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

- Une partie fixée sur le plateau mobile : c'est le côté ÉJECTION, « partie mobile ».

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

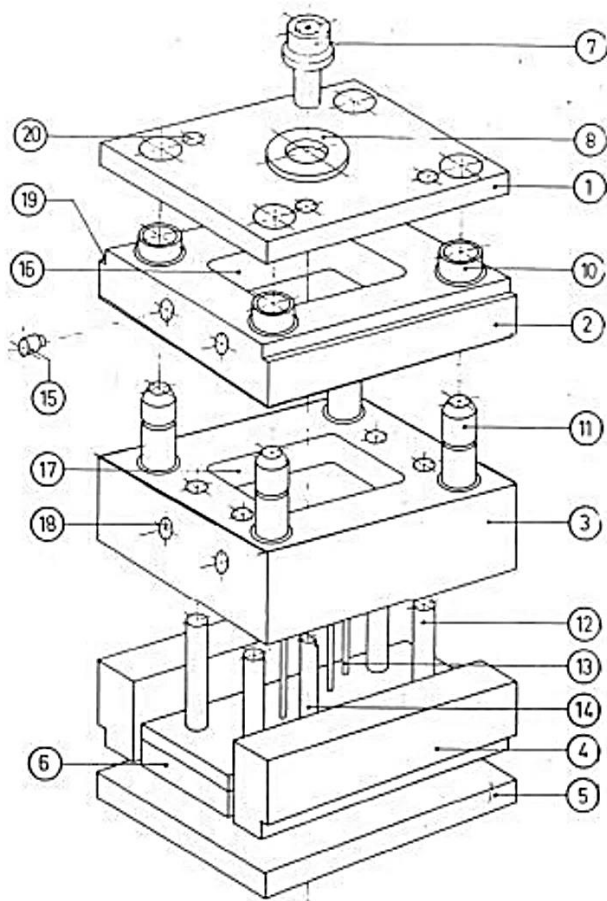
Ces divers éléments forment la grappe d'alimentation, matière perdue, ou déchet, qui dans la plupart des cas sont recyclée. La buse assure la liaison temporaire d'alimentation entre le moule et l'unité d'injection des presses. Le côté éjection, constituant la partie mobile du moule, porte

Les noyaux, l'empreinte et le système d'éjection. Les 2 côtés du moule sont alignés en position entre eux par des colonnes. A l'ouverture, les pièces sont poussées hors de l'empreinte et des noyaux par des tiges nommées éjecteurs. Les éjecteurs sont animés par des plaques mobiles en translation. Cet ensemble, nommé batterie d'éjection. La batterie est généralement équipée d'éjecteurs ou de broches, nommés « rappels de batterie ». Ils assurent le retour mécanique « forcé » et la remise en position précise de tous les éléments mobiles liés à la batterie d'éjection, au moment de la fermeture du moule (montage conseillé pour la sécurité des noyaux)

Le dimensionnement de l'outillage sera fonction de :

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

3-1-Nomenclature de moule :



Terminologie des éléments constituant l'outillage

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

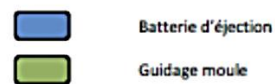


Figure 09 : nomenclature d'un moule

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

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

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

Bague de guidage : Permet le guidage des colonnes de guidages

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

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

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

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

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

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

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

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

Batterie d'éjection : Permet la translation des arraches carottes, remise à zéro et éjecteurs.

Est composé de la plaque porte éjecteurs et de la contre plaque d'éjection.

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

Rainures de bridage : Permet le passage de la bride

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

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

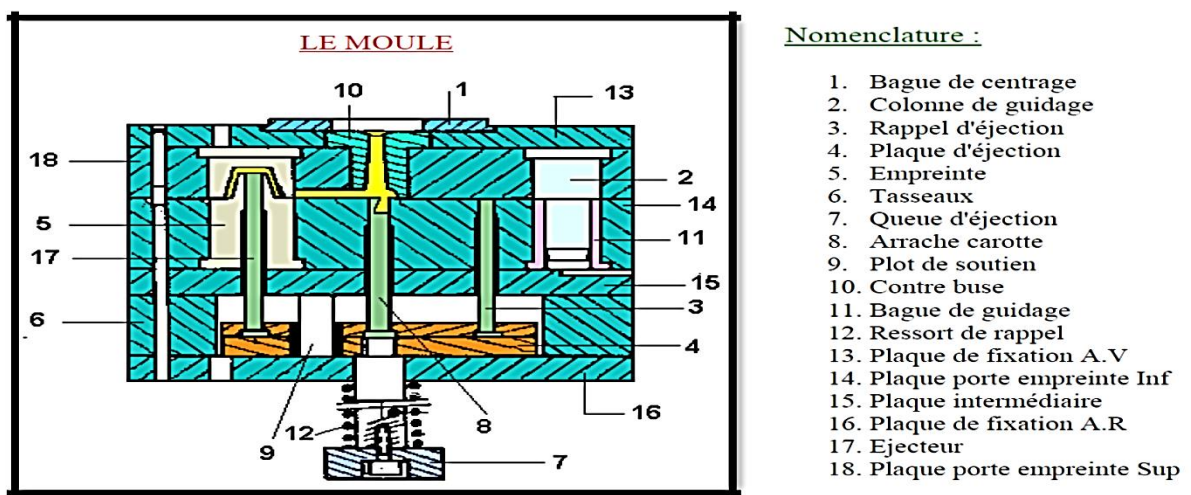
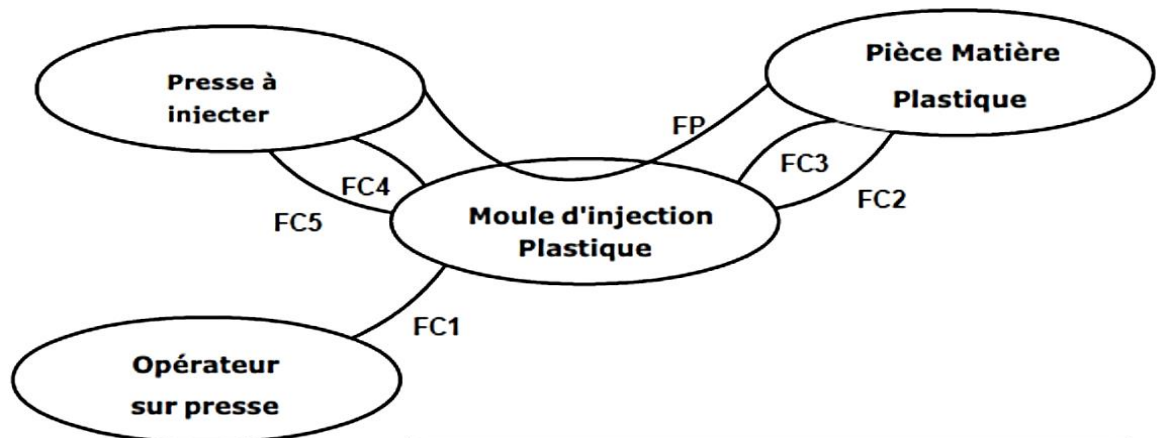
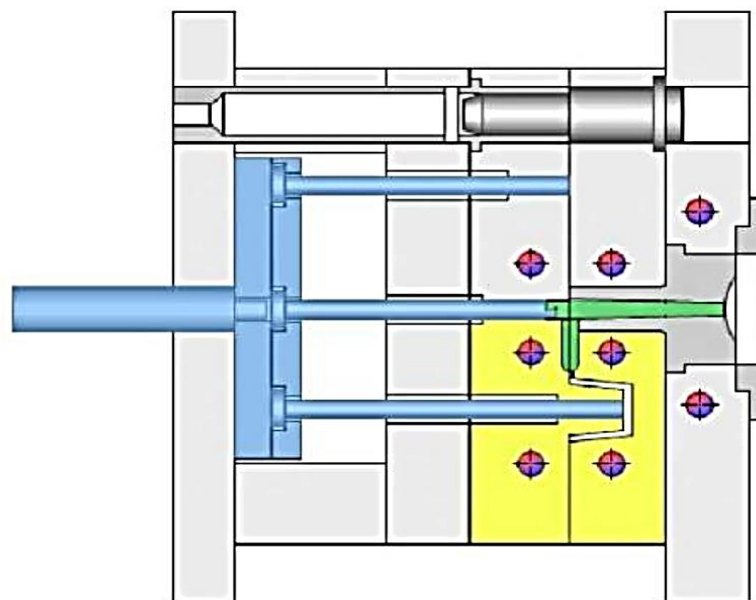


Figure 10 : différents composants d'un moule

3-2- Les fonctions d'un moule d'injection :



FP (Fonction Principale) : Fonction produire les pièces conforme au cahier des charges.
 FC1 (Fonction Contrainte) : Fonction manutention.
 FC2 (Fonction Contrainte) : Fonction mise en forme.
 FC3 (Fonction Contrainte) : Fonction ejection.
 FC4 (Fonction Contrainte) : Fonction alimentation.
 FC5 (Fonction Contrainte) : Fonction liaison machine.



■ Fonction Alimentation
 ■ Fonction Mise en Forme
 ■ Fonction Ejection
 ■ Fonction Régulation

Figure 11 : les fonctions d'un moule d'injection

3-2-1-Fonction mise en forme ou empreinte

Dans un moule d'injection le nombre d'empreintes est généralement un nombre pair (en dehors des moules mono empreinte) ceci est fait pour des raisons d'équilibrage de remplissage.

Le choix du nombre dépend essentiellement de la quantité à produire à fin de vie du moule. La forme de la pièce se fait par l'empreinte qui se répartit entre les deux parties (fixe et mobile) du moule et d'autres éléments auxiliaires tel que (tiroirs – cales montantes – noyaux) dans le but de faire des formes en contre dépouilles

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

Notion de dépouilles et contre-dépouille

➤ **Forme non dépouillée :**

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

➤ **Forme dépouillée**

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

α : angle de dépouille extérieure

β : angle de dépouille intérieure

Tableau n° 03 : Angle de dépouille

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

* Pour les finitions satinées des surfaces texturées, ajouter 3° d'angle de dépouille par 0,025 mm de profondeur de retraite.

➤ **Forme en contre-dépouille**

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

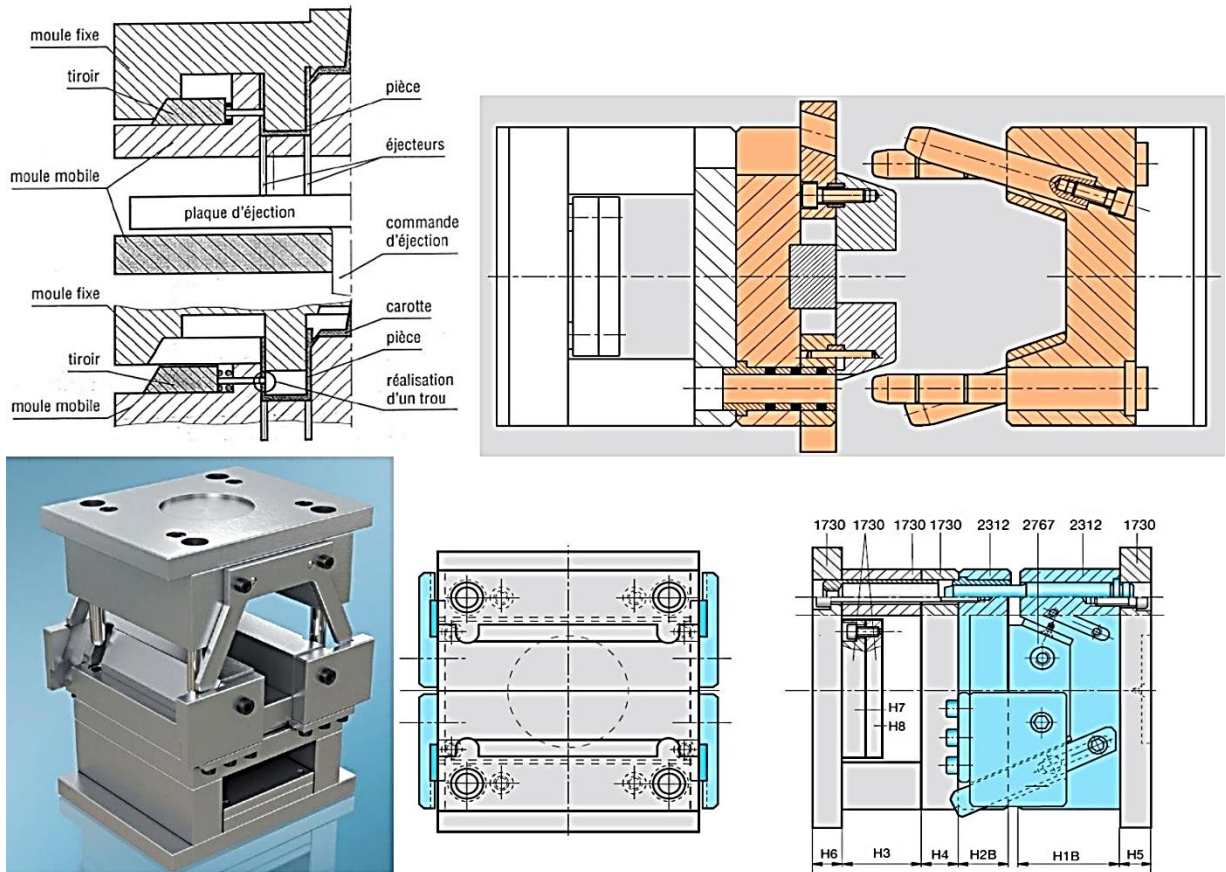


Figure 12 : Forme en contre-dépouille

3-2-2- Fonction centrage guidage et positionnement :

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

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

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

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

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

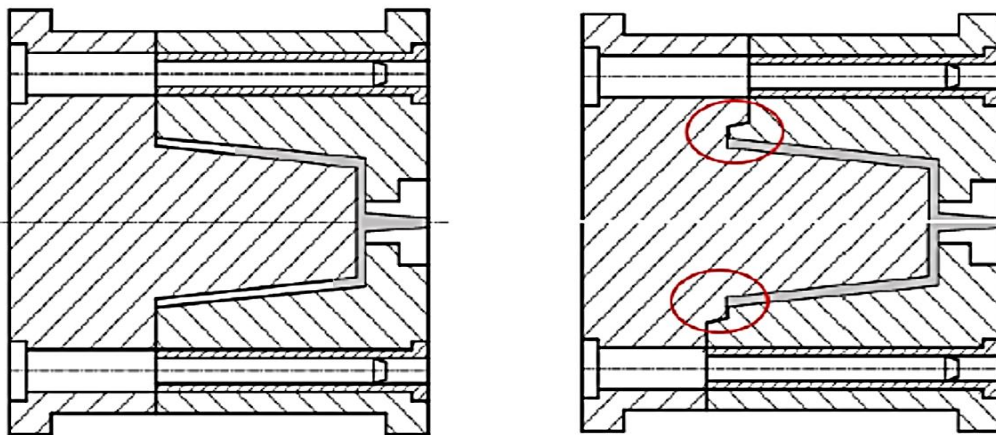


Figure 13 : centrage par plan de joint incliné

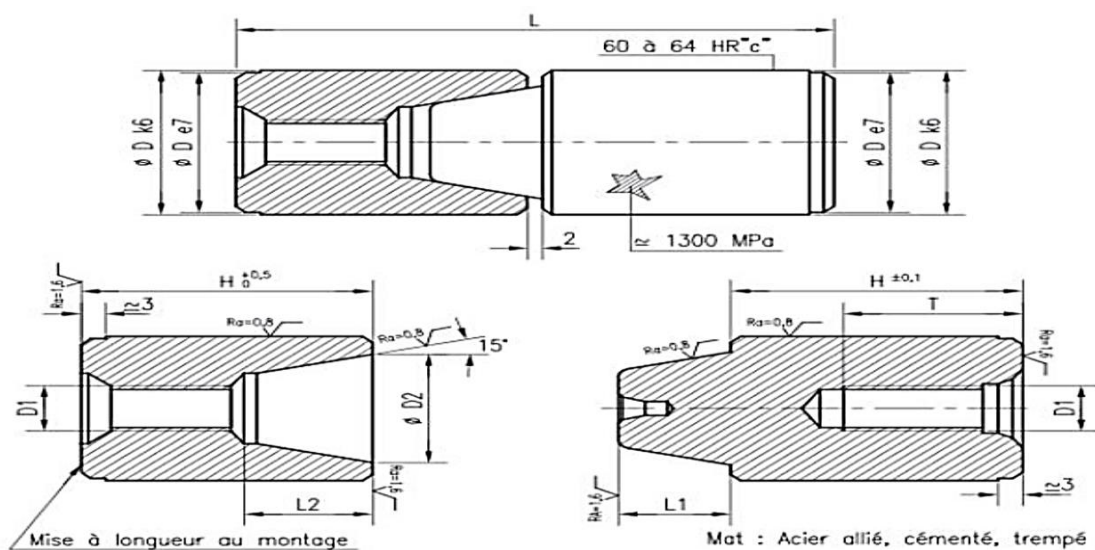


Figure 14 : Centrage par éléments coniques

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

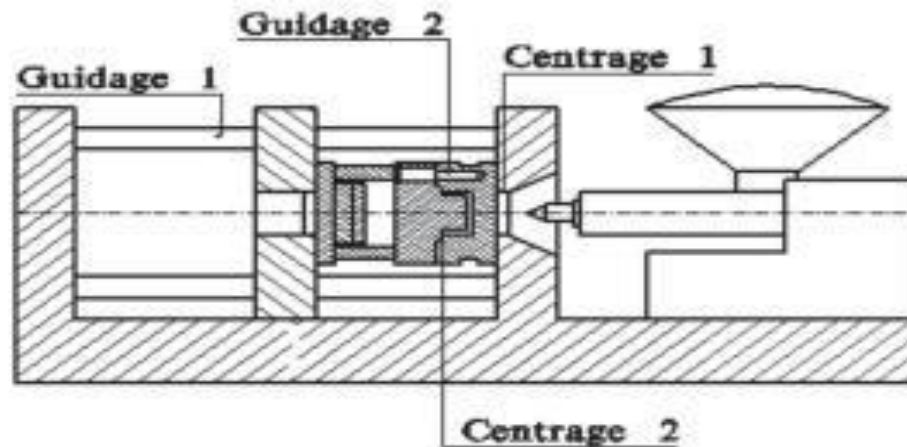


Figure 15 : centrage et guidage d'un moule injection

Bilan des centrages et des guidages :

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

(PF) de l'outillage

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

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

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

1.0. Solution classique (généralement avec éléments de guidage lisses)

1.0. Soluzione classica (normalmente con elementi di guida lisci)

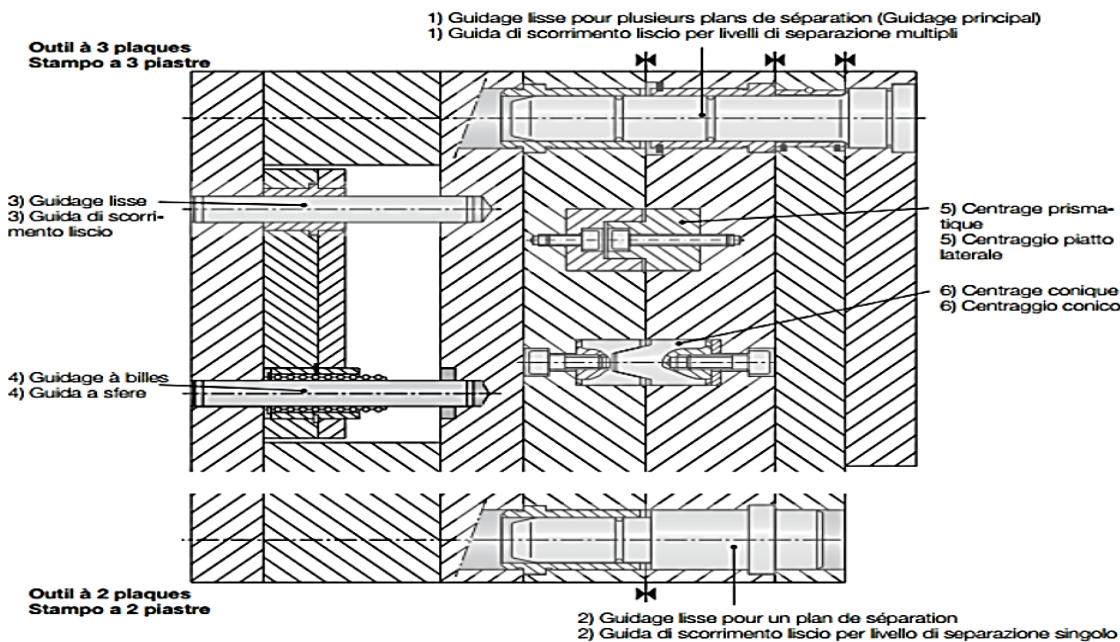


Figure 16 : Montage des éléments de guidage dans un moule

Répertoire illustré, en groupes

Elenco per immagini, raggruppato

Unités de guidage

Unità di guida

Unité de guidage à rouleaux pour outils à étages

Unità di guida a rulli per stampi a 2 piani



55249 / 4.26



55249 / 4.27



7660 / 4.40-7663 / 4.41



7611 / 4.37-7631 / 4.38

Unité de guidage à billes pour plaque d'éjecteur

Unità di guida per plaque d'espulsione



55350 / 4.28



55350 / 4.29



6500/1 / 4.30/4.31

Dispositif de centrage

Sistemi di centraggio



7990 / 4.45



8020 / 4.48

Figure 17 : Éléments standards de guidage

3-2-3- Fonction alimentation : [13]

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

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

Les différents canaux d'alimentation : [12]

Il existe deux grands types de canaux d'alimentation :

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

Elle est composée de : _ La carotte, la buse _ Le canal principal

_ Les canaux secondaires _ Les seuils

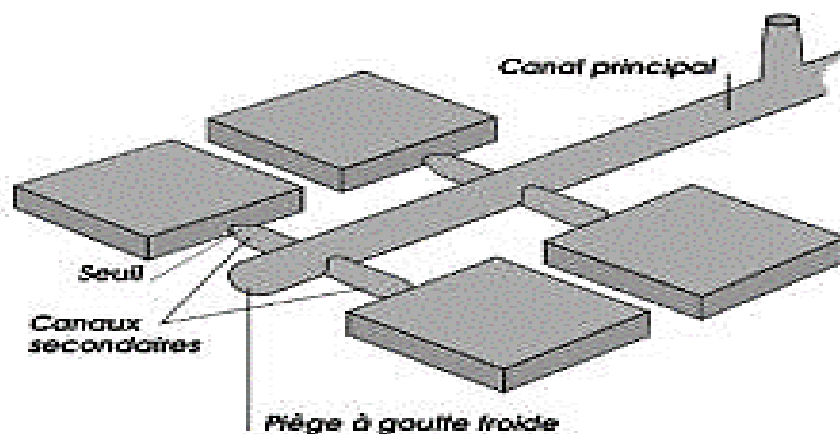


Figure 18 : Les différents canaux d'alimentation

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

Matière : Caractéristiques (retrait, viscosité...), paramètres de transformation

Canaux : Nombres de canaux, Longueur d'écoulement, Formes et sections

Buse: Type de moulage retenu (avec ou sans déchets) Type de buse, Dimensionnement (conicité, longueur, O d'entrée...)

Seuils : Nombres et emplacement, Forme et section Empreinte : Volume de matière À injecter Tps de refroidissement Caractéristiques de la pièce.

Opération de reprise pour enlever la carotte Trace non esthétique sur la pièce

3-2-3-1-Les types de seuil d'injection :

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

3-2-3-1-1-Seuil en masse ou direct :

Utilisé pour les matières visqueuses

Avantages : Très bon remplissage, Bonne stabilité dimensionnelle de la pièce

Inconvénients : Opération de reprise pour enlever la carotte Trace non esthétique sur la pièce

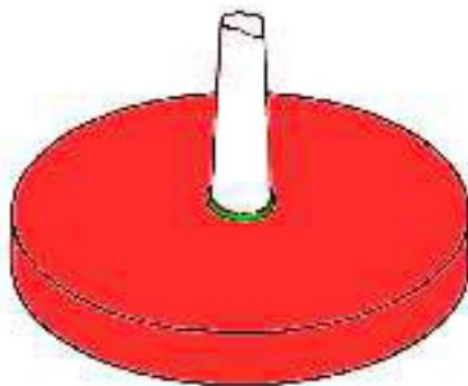


Figure 19 : Seuil direct

3-2-3-1-2- Seuil annulaire :

Utilise pour la réalisation de pièce cylindrique ayant des noyaux

Avantages : Remplissage uniforme de l'empreinte

Inconvénients : Opération de reprise pour enlever la carotte

Déchets importants

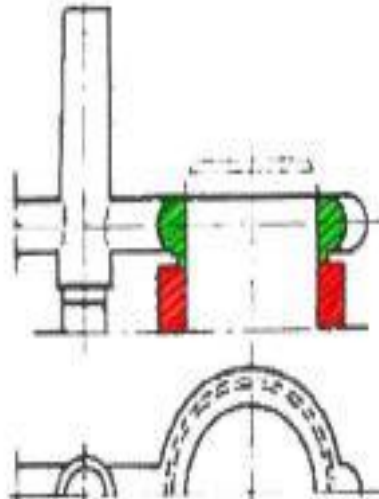


Figure 20 : Seuil annulaire

3-2-3-1-3- Seuil conique ou en éventail :

Utilise pour les pièces de révolution symétrique avec noyau Avantage : Permet un écoulement équilibré de la matière autour du noyau

Peut permettre un dégrappage automatique

Inconvénient : Déchets Opération de reprise

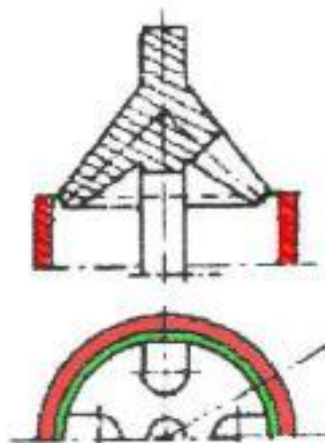


Figure 21 : Seuil conique

3-2-3-1-4- Seuil capillaire

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

A : Démoulage automatique et faible trace sur la pièce.

I : Uniquement pour les matières fluide, Cout du moule élevé

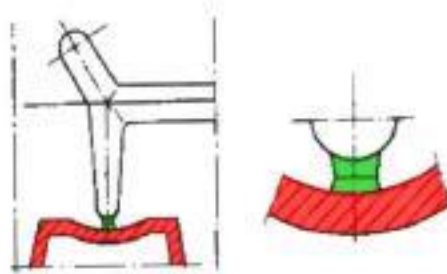


Figure 22 : Seuil capillaire

3-2-3-1-5- Seuil en nappe

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

A : Bonne qualité dimensionnelle

I : Opération de reprise, Esthétisme

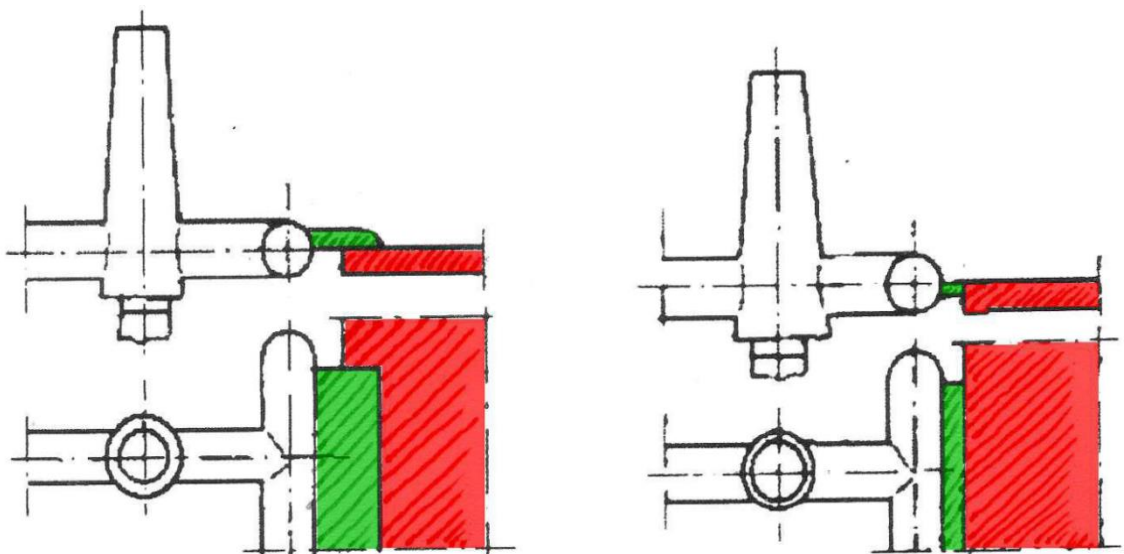


Figure 23 : Seuil sous-marin

Utilise pour les petites pièces et dans un but de d'égrappage automatique A :
D'égrappage automatique

I : Uniquement pour les pièces simples car grosse perte de pression

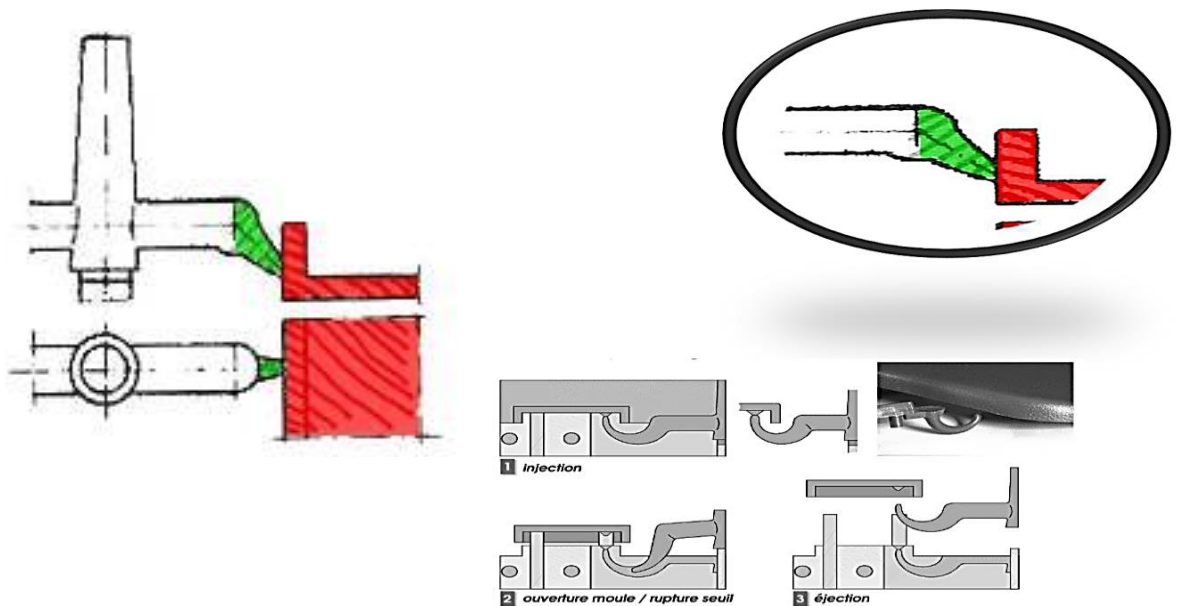


Figure 24 : Seuil à tunnel courbe

Utilise pour les pièces minces d'aspect

A : D'égrappage automatique

I : Usinage couteux

Ne convient pas à toutes les matières

• **Recommandations pour un positionnement optimum du seuil :**

- Toujours chercher à positionner le point d'injection dans la zone présentant la plus grande épaisseur de paroi.
- Ne jamais positionner le seuil près de zones soumises à de fortes contraintes.
- Pour les pièces longues, le seuil sera si possible positionne longitudinalement, de préférence à une position transversale ou centrale, notamment dans le cas de résines renforcées.

- Si le moule possède deux cavités ou plus, les pièces et leurs points d'injection seront disposés de façon symétrique par rapport à la carotte.
- Pour les pièces comportant des charnières intégrées, le seuil sera positionné de telle sorte que la ligne de soudure soit éloignée de la charnière. Les interruptions d'écoulement près des charnières doivent être évitées à tout prix.
- Pour des pièces tubulaires, le fondu devra d'abord remplir la circonférence annulaire à une extrémité, puis la longueur du tube proprement dit. Cette procédure permettra d'éviter l'asymétrie du profil de l'écoulement frontal.
- Les surfaces apparentes ne devant présenter aucun défaut visuel (comme par exemple des marques de référence) pourront être moulées à partir d'un point d'injection situé sur leur face inférieure, en utilisant une alimentation par seuil sous-marins.
- Positionner le point d'injection de façon à éviter autant que possible les interruptions de l'écoulement frontal (pièces complexes, moules à empreintes multiples de formes).

- **Disposition des empreintes dans un moule d'injection :**

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

- Grouper les empreintes dans un cercle ayant pour centre la carotte.
- Le remplissage des empreintes doit être 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.

Un système d'alimentation équilibré permet d'éviter :

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

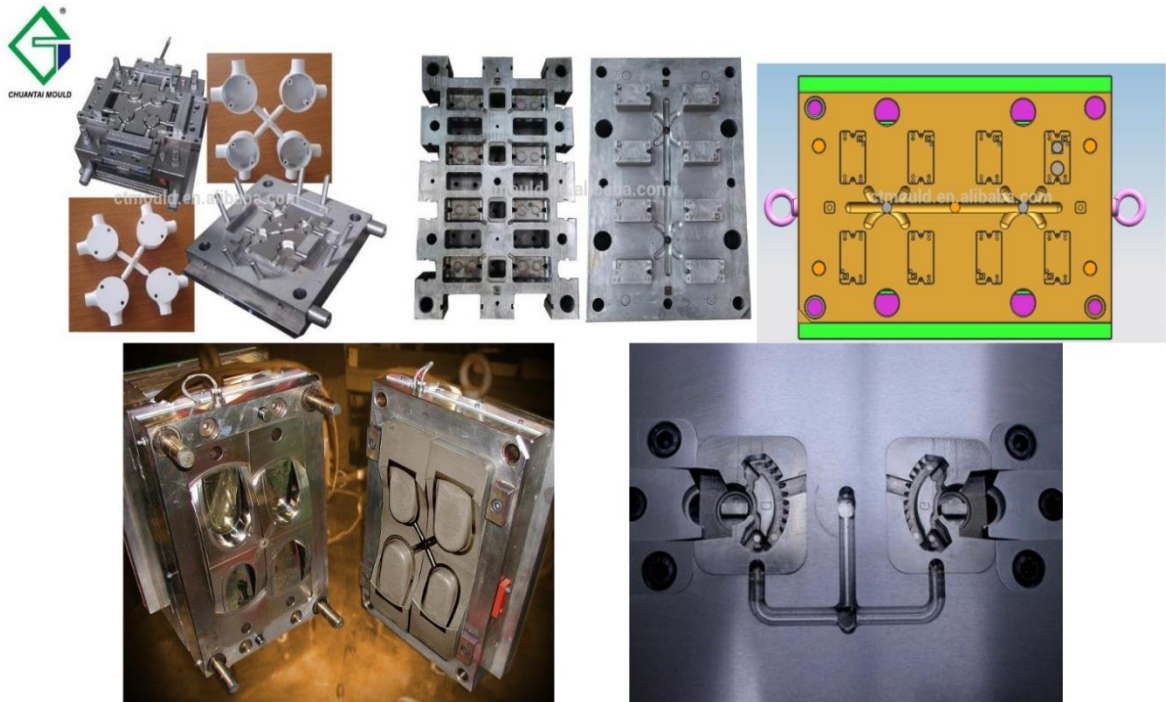


Figure 25 : Disposition des empreintes dans un moule d'injection

Forme et dimensions :

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

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

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

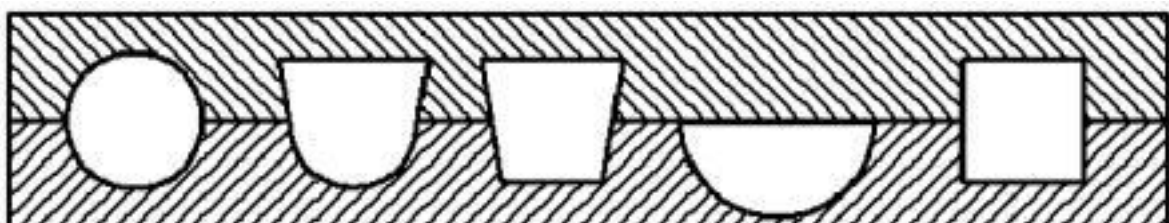
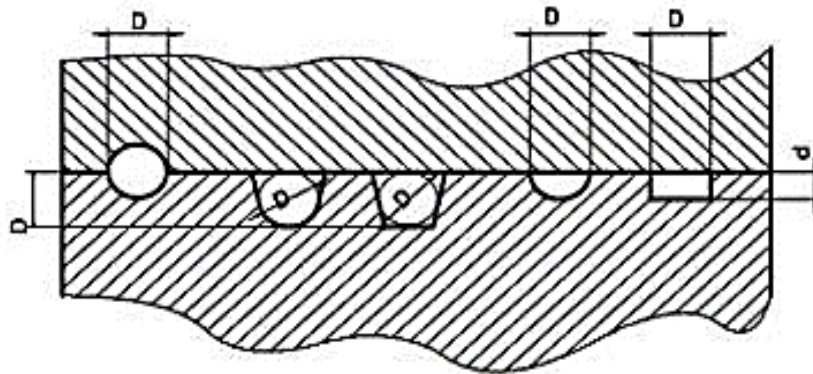


Tableau n°4 : avantages et inconvénients des canaux



	Avantages	Inconvénients
Canal cylindrique	C'est le canal le plus performant, car il offre une section d'écoulement maximale pour un périmètre minimal.	Usinage sur 2 plaques du moule. Cependant avec les machines à commande numérique cet inconvénient disparaît. Utilisation difficile avec les moules 3 plaques.
Canal cylindrique plus dépouille pour déporter le plan de joint	Usinage sur une seule plaque Utilisation avec les moules 3 plaques.	-Difficulté pour la réalisation de l'outil spécial : affutage délicat. -Perte de matière par rapport au canal rond
Canal trapézoïdal	Usinage sur une seule plaque Utilisation avec les moules 3 plaques. Outil spécial plus facile à affuter	-Perte de matière par rapport au canal rond
Canal ½ cylindrique		Mauvais écoulement
Canal rectangulaire	Facilité d'exécution	Mauvais démoulage Mauvais écoulement

3-2-4- Fonction régulation et contrôle de température :

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

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



Figure 26 : Accessoires pour circuit de refroidissement

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

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

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

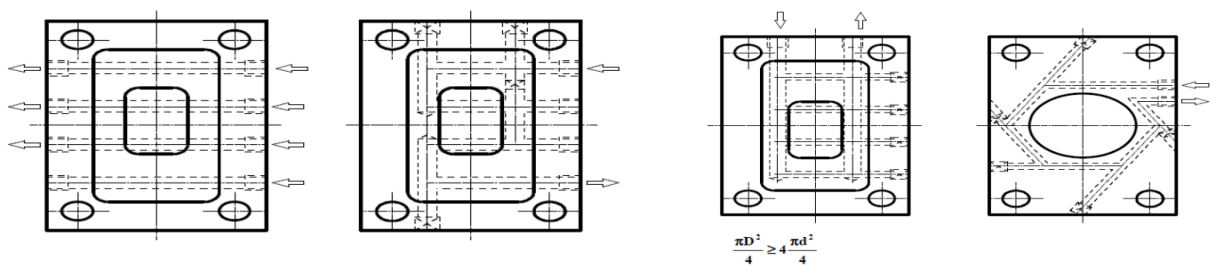


Figure 27 : Différents types de circuits de refroidissement

□ **Calcul du temps de refroidissement : [16]**

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

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

$$t_{ref} = \frac{s^2}{a\pi^2} \ln \left\{ \frac{4}{\pi} \frac{\theta_i - \theta_M}{\theta_{dém} - \theta_M} \right\} \quad (3)$$

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

$$t_{ref} = \frac{s^2}{a\pi^2} \ln \left\{ \frac{8}{\pi^2} \frac{\theta_i - \theta_M}{\theta_{dém} - \theta_M} \right\} \quad (4)$$

Avec

S : épaisseur de la pièce (mm),

a : diffusivité thermique de la matière injectée (mm²/s)

Θ_i : température d'injection (°C) ;

Θ_M : température du moule (°C) ;

Θ_{dém} : température de démoulage (°C) ;

T_{ref} : temps de refroidissement en (s)

□ **Notion de diffusivité thermique :**

La diffusivité thermique est une grandeur physique qui caractérise la capacité d'un matériau continu à transmettre un signal de température d'un point à un autre de ce matériau. Elle dépend de la capacité du matériau à conduire la chaleur (sa conductivité thermique) et de sa capacité à stocker la chaleur (Capacité thermique). La diffusivité thermique est souvent désignée par les lettres à, D ou la lettre grecque α. (en m²/s).

Évolution avec la température

La conductivité thermique évolue avec la température.

Pour les solides, elle répond à la loi suivante :

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

où

- λ_0 est la conductivité thermique du matériau à 0°C
- a est un coefficient caractéristique de chaque matériau
- θ est la température en degré Celsius.

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

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

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

λ : est la conductivité thermique du matériau, en [W·m⁻¹·K⁻¹]

ρ : est la masse volumique du matériau, en [kg·m⁻³]

C'est la capacité thermique massique du matériau, en [J·kg⁻¹·K⁻¹]

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

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

3-2-5- Fonction éjection :

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

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

Les éjecteurs sont des barres métalliques cylindriques pleines (parfois creuses) qui, lors de l'ouverture du moule, viennent pousser la pièce plastique pour l'extraire du moule. Il s'agit de la technique d'éjection la plus utilisée car elle peut s'appliquer à quasiment toutes les pièces plastiques. Les traces des éjecteurs sont souvent visibles sur la pièce et sont considérées comme "inesthétiques". Les concepteurs de pièces injectées s'arrangent alors pour que ces traces d'éjecteurs se situent sur la partie cachée de la pièce plastique lors de son utilisation.



Figure 28 : Éjecteur lame



Figure 29 : Ejecteur tubulaire

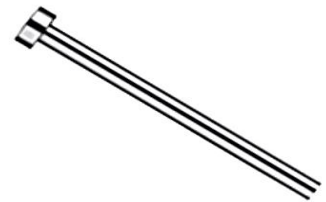


Figure 30 : Ejecteur cylindrique

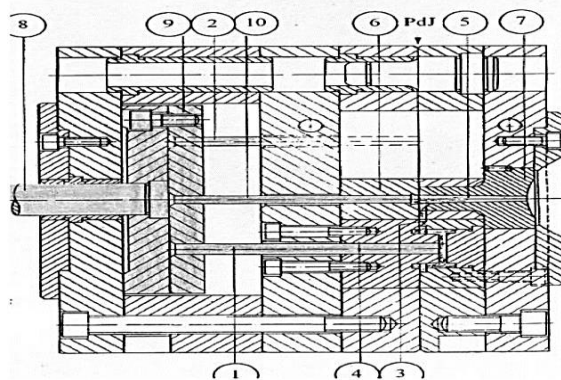


Figure 31 : Moule à éjecteur cylindrique

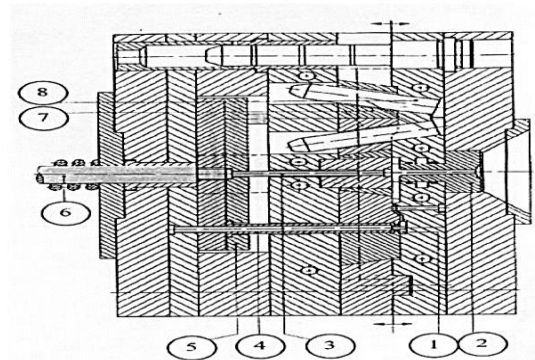


Figure 32 : Moule à éjecteur tubulaire

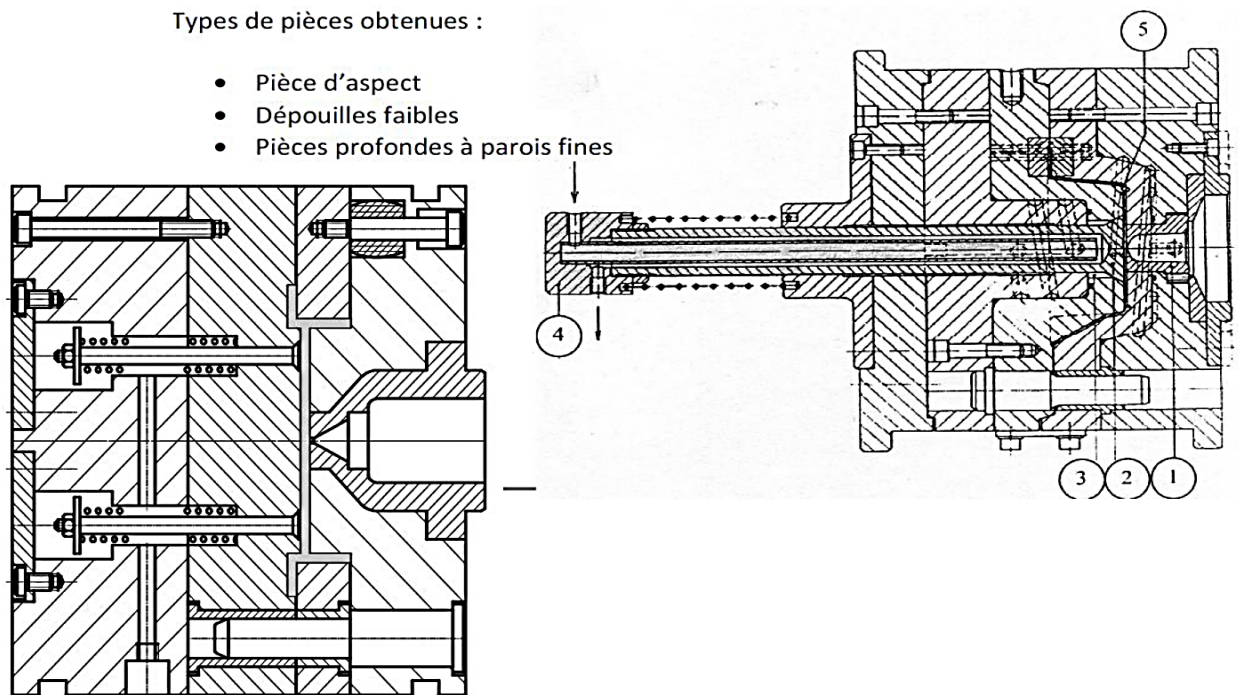


Figure 33 : Moule à soupape d'éjection

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

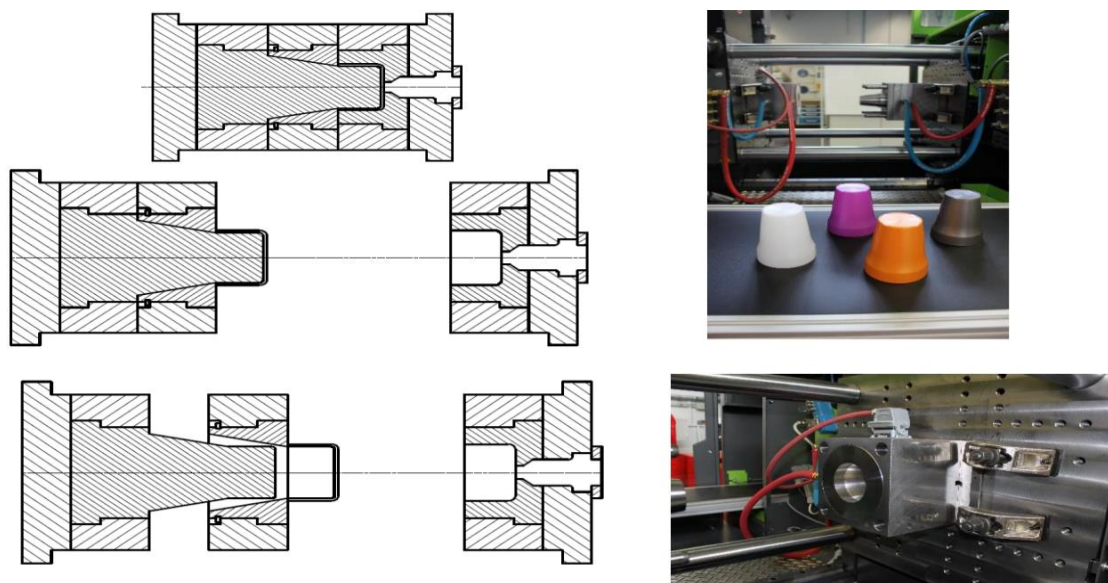


Figure 34 : Ejection par plaque dévétisseuse

➤ **Choix du dispositif d'éjection :**

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

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

3-2-6- Fonctions manutention, stockage, sécurité et liaison machine :

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

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

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

5- Calcul du nombre d'empreinte dans un moule :

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

Soit n le nombre d'empreintes recherché

Coût du moule pour n empreintes :

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

Coût du fonctionnement de la presse :

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

Coût du salaire par pièce :

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

Coût du moule par pièce :

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

implaçant Cn par sa valeur :

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

de moulage d'une pièce :

$$= Q_u + S_u + C_u$$

implaçant Qu, Su et Cu par leurs valeurs

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

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

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

Nota : Nous remarquons que x a disparu dans la dérivée.

Ceci paraît normal puisque le calcul n'a d'intérêt

Qu'à partir de la deuxième empreinte

Dérivons donc par rapport à n

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

Egalons à zéro

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

d'ou

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

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

6- Dimensionnement :

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

Les efforts sur une presse :

Tous les efforts mis en œuvre sur une presse d'injection et un moule peuvent se déterminer facilement.

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

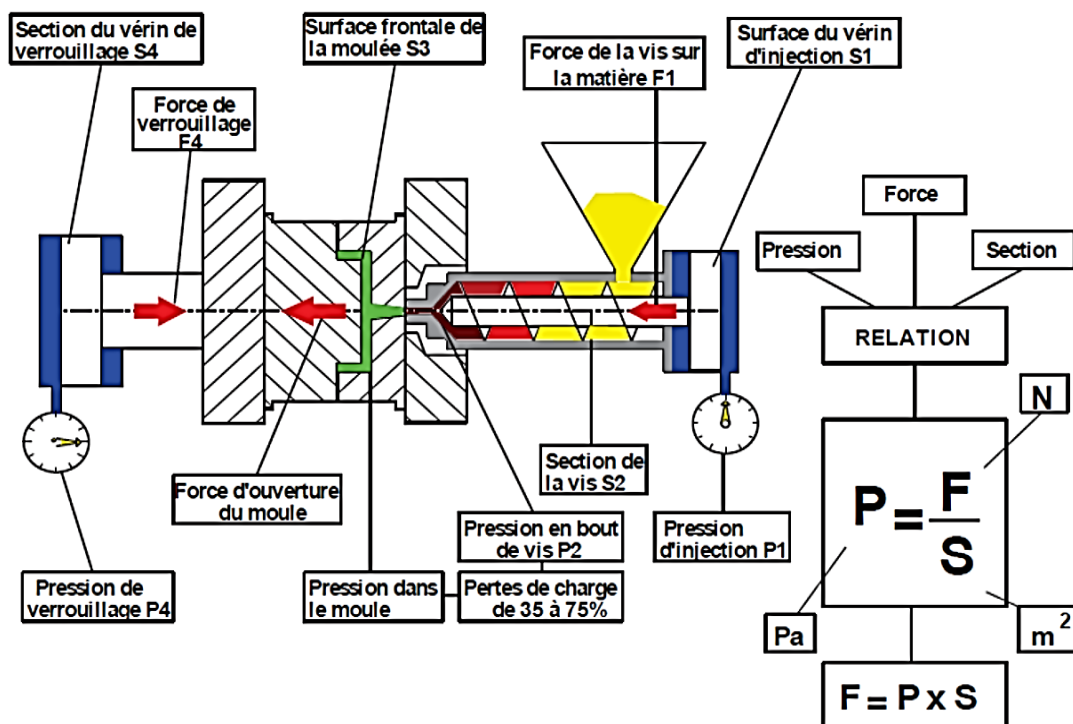


Figure 35 : les efforts sur une presse

➤ **Recommandations :**

1 - Bien vérifier les caractéristiques de la presse :

- Volume injectable
- Passage entre colonne par rapport aux dimensions maximum de l'outillage
- Course d'ouverture et d'éjection de la presse
- Présence nécessaire d'un noyau hydraulique sur presse

2 - Prendre en compte la surface frontale du canal d'alimentation si nécessaire ou augmenter le Coefficient de sécurité

3 – Ne jamais se mettre aux limites maxi de la Presse

7- maîtrise du phénomène de RETRAIT :

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

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

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

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

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

Le retrait de moulage est indiqué en %.

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

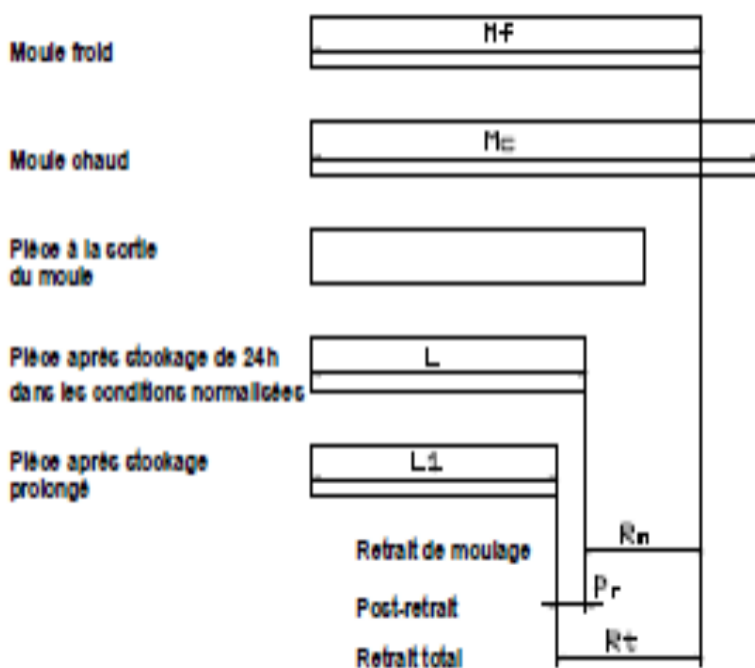
calculée entre la cote L de la pièce moulée et la cote L1 de cette même pièce après un traitement ultérieur à une température donnée.

Le post-retrait est indiqué en %

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

$$R_t = R_m + P_r \quad (5)$$

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



Matière	Retrait %
PA 6	1.5
PA 11	1 à 2.5
POM	1.6 à 3.6
PEhd	2.1 à 4.5
PEbd	2
PP	1 à 2.5

Matière	Retrait %
PMMA	0.3 à 0.6
PS	0.5 à 0.6
PS choc	0.4 à 0.8
ABS	0.3 à 0.6
PVC	0.4 à 0.5
PC	0.5 à 0.7

8- Calcul du temps de cycle de moulage par injection :

8-1- Cycle de moulage

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

1. Fermeture du moule rapide en début de course, puis lente à la fin, puis verrouillage du moule pendant laquelle une force importante en fonction des critères techniques (matière à injecter, forme des pièces,...) est appliquée pour maintenir les 2 surfaces des parties fixes et mobiles en contact.

2. Injection de la matière, de l'entrée du moule vers les empreintes destinées à modeler la pièce.

Cette matière est diffusée de manière homogène dans les empreintes pour bien les remplir.

3. Maintient en position de la vis d'injection pour empêcher le retour de la matière visqueuse vers la chambre de dosage jusqu'à la solidification des canaux.

4. Refroidissement rapide des empreintes pour solidifier la matière.

5. Ouverture lente du moule en début de course puis rapide en fin.

6. Ejection de la pièce solidifiée.

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

8-2- Paramètres et réglages

Les temporisations principales à régler sont :

- le dosage- l'injection- l'ouverture- la fermeture- l'éjection- la post pression.

Autres paramètres :

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

- Pressions durant l'injection- Pressions durant le maintien- La contrepression- La vitesse de rotation de la vis.

- La course de dosage
- Courses d'ouvertures et d'éjections etc...

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

$T_{cv} = T_{fr} + T_{ov} + T_{ej} \quad : \text{ temps du cycle à vide}$ $T_{cyc} = T_{cv} + T_{inj} + T_{ref}$	(6)
--	-----

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

9- Détermination du coût de la pièce injectée :

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

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

$C_{pièce} = \left[\frac{(I+E)}{N} + \frac{Fla}{Ne} + T_c \cdot \frac{T_h}{3600} + C_m \right]$	(7)
--	-----

- I : investissement outillage (en DT)
- E : frais d'entretien du moule (en DT)
- N : nombre de pièces de la série
- Fla : frais de lancement (en DT)
- Ne : nombre de pièces par lancement

Tc : temps de cycle (en s)

Th : taux horaire de la machine (en DT/h)

Cm : coût matière première par pièce (en DT)

Tableau n°5 : synoptique pour établir un prix de revient prévisionnel

Afin d'établir un prix de revient prévisionnel il faut suivre le synoptique ci-dessous :

OPERATION	DOCUMENT DE REFERENCE
CHOIX DU PLAN DE JOINT	Cahier des charges pièce, aspect, décoration, dimensionnel cotes dépendantes du moule.
SURFACE PIECE	Surface de projection.
VOLUME PIECE	Cours, les principaux volumes.
POIDS PIECE	Densité matière choix de la matière en fonction du cahier des charges pièces.
NOMBRE EMPREINTES	Calcul nombre empreintes (série, prix moule).
ENCOMBREMENT MOULE	Implantation des empreintes, choix des emplacements des seuils d'alimentation, cinématique moule.
CHOIX PRESSE	Calcul force de fermeture.
CHOIX PRESSE	Calcul volume injecté.
CALCUL CYCLE	Décomposition en TEMPS DYNAMIQUE REFROIDISSEMENT ENTRE CYCLE
TAUX HORAIRE	Travail en automatique, avec opérateur, part de l'opérateur.
CADENCE MOULAGE	Cycle x nombre empreintes
PART MATIERE	Poids brut (la moulée), poids net (pièce), part de carotte broyée à réincorporer.
COUT MATIERE	TARIFICATION MATIERE
OPERATIONS FINITION	Calcul des coûts par rapport à une cadence et taux horaire.
CONDITIONNEMENT	Calcul des coûts d'emballage, unitaire, carton, palette.
TRANSPORT	Calcul des coûts indexés au poids et volume.

10-Problèmes de moulage et Précautions à prendre :

A. Retassures

Les retassures sont dans leur grosse majorité des défauts de surface caractérisés par un affaissement de la matière, parmi elles :

les retassures localisées : au voisinage de zones avec fortes variations d'épaisseurs (nervures) ;

Les retassures en osselets : le retrait de matière s'effectue sur une grande surface, de façon à se décoller de la paroi par pellicules (sauf sur les bords).

Mécanismes de formation :

Après le remplissage de l'empreinte, la matière chaude se rétracte (le retrait dépend de la matrice polymère utilisée, et des charges présentes : PA6 GF30 retrait de 0,1 % en sortie de moule). La pression de maintien appliquée pour compenser ce retrait ne joue pas son rôle.

Causes possibles :

La pression de maintien est insuffisante, ce qui rend possible un retrait de la matière ;

La vitesse d'injection est trop rapide, ce qui rend difficile le remplissage et rend inefficace le maintien ;

La matière est déjà solidifiée au niveau du seuil ce qui entraîne des difficultés pour le maintien ;

Les paramètres choisis accentuent le retrait.

Actions correctives :

Renforcer la pression de maintien ;

Baisser la vitesse d'injection et augmenter la température de la matière pour faciliter le remplissage ;

Améliorer la conception du moule (éviter les variations d'épaisseurs des pièces, placement du seuil d'injection) ;

Augmenter la température du moule et diminuer la température de la matière (homogène).

B. Jet libre**Mécanismes de formation :**

La matière sort du seuil d'injection à la façon d'un jet d'eau à la sortie d'un tuyau d'arrosage. Le remplissage de l'empreinte se fait toujours en mode laminaire (écoulement de type fontaine avec projection du front de matière) mais la différence de pression entre l'entrée et la sortie du seuil fait que l'inertie prend le dessus sur la viscosité du polymère. Le front de matière est projeté jusqu'à un obstacle dans l'empreinte. L'effet sur la pièce s'avoisine à un serpentin en surface.

Causes possibles :

Mauvaise conception du moule : seuil d'injection mal positionné (positionné dans une forte épaisseur ou mal dimensionné) ; matière trop visqueuse ;

Pression au niveau de seuil trop importante.

Actions correctives :

Améliorer la conception du moule (augmenter la section du seuil) ;

Augmenter la température de la matière ; injection lente au début, puis plus rapide ;

Injecter face à une paroi du moule pour casser le jet libre.

C. Défauts en ligne de soudure**Description :**

Ligne De Soudure Marquée ;

Mauvaise Résistance Mécanique Des Lignes De Soudure ; Stries De Couleur ;

Forte retassure le long de la ligne de soudure.

Mécanismes de formation :

Apparaît en fin de remplissage, la surpression dépasse la pression de maintien ; la Jonction Est Facilement Cassable ;

Dégradation de la coloration due à la température.

Causes possibles :

Mauvaise pression d'injection ;

Température trop basse de la matière injectée ; dégradation de la matière due à une surchauffe.

Actions correctives :

Augmenter La Température De La Matière ;

Augmenter La Vitesse D'injection ;

Augmenter La Température Du Moule ;

Diminuer les trajets d'écoulement de la matière.

D. Cernes et sillons**Description :**

Les cernes, ou effet fleur sont des sillons concentriques mats autour du seuil d'injection ;

Les sillons, ou effets slick-slip sont concentriques et plus ou moins creusés autour du seuil d'injection, ou dans les zones de faible épaisseur.

Mécanisme de formation :

Le flux de matière pulse dans le moule, car il avance trop lentement. Le défaut est en général plus courant dans les matières amorphes, plus visqueuses à chaud. Attention, chaque matière plastique se comporte différemment (semi-cristalline : polyamide, polyéthylène, polypropylène ;

Amorphe : polycarbonate, polystyrène, poly méthacrylate de méthyle (PMMA), poly (téréphtalate d'éthylène) (PET) pour bouteilles en plastique). Les polycarbonates, poly (téréphtalate de butylène), polyamide, polypropylène sont utilisés dans la fabrication des réflecteurs (phares automobiles).

Causes possibles :

Mauvaise Introduction De La Matière Injectée ; Mauvaise Température Matière ;

Mauvaise conception du moule.

Actions correctives :

Augmenter Les Vitesses D'injection ;

Adapter les flux de matière (remplissage régulier) ; augmenter la température de la matière ;

Augmenter la température de l'outillage ; augmenter l'épaisseur des pièces.

E. Entraînement d'air**Causes possibles :**

L'air inclus peut provenir :

D'une Mauvaise Plastification Lors Du Dosage ;

D'une mauvaise conception du moule (aspérités, rayures, renforcements, etc.).

Actions correctives :

Vérifier la qualité de la vis, choisir une unité de plastification adapté au volume de la matière ; augmenter la contrepression de la vis lors du dosage (freiner le recul de la vis) ;

Limiter la phase de décompression de la matière après dosage (diminuer la course de décompression) ;

Améliorer la conception du moule permettant l'évacuation de l'air ;

Utiliser un équipement de « sous-vide / vacuum » afin d'extraire l'air / gaz présents dans le moule avant l'injection.

F. Sous-dosage et surdosage**Description des défauts engendrés et mécanisme de formation :**

En cas de sous-dosage la pièce obtenue est incomplète ;

Pour un surdosage, l'excès de matière se traduira par des bavures (pouvant boucher jusqu'aux éjecteurs), un sur compactage (contraintes internes, cassures, déformations).

Causes possibles :

Quantité de matière injectée insuffisante ou trop importante ; matelas de matière instable ou nul ;

Clapet anti-retour de la vis de plastification utilisé ou cassé.

Actions correctives :

Diminuer ou augmenter le dosage de matière ;

Vérifier que le matelas de matière en fin d'injection est constant ; changer le clapet anti-retour de la vis de plastification.

G. Bulles–effets fontaine**Mécanisme de formation :**

Surtout pour les pièces de forte épaisseur, le remplissage se fait par couches successives. La matière solidifiée en dernier se trouve à cœur, donc il peut y avoir formation de bulles (et être assimilées à des retassures).

Actions correctives :

Augmenter la vitesse d'injection.

H. Combustion ou effet Diesel - carbonisation**Description :**

Apparition de zones brûlées (aux extrémités) ; coup de feu ;

Strie de surchauffe ;

Cratères (piques, pustules) ; écarts de couleur ;

Dégradation des propriétés mécaniques.

Causes possibles : Des bulles de gaz sont comprimées et s'enflamment sous l'effet de la température (principe du moteur Diesel : compression adiabatique).

Actions correctives :

Améliorer la conception du moule ;

Optimiser les paramètres (baisser vitesse d'injection, température et pression) ; température matière trop haute ;

Ajouter des événements sur le moule ;

Utilisation d'un équipement de « sous-vide / vacuum » ; en ôtant l'air / gaz présents dans le moule, on diminue considérablement le risque de « brûlures ».

I. Défauts à l'éjection

Les éjecteurs transpercent la pièce au moment de l'éjection

Déformations.

Les éjecteurs transpercent la pièce au moment de l'éjection.

Causes possibles :

Température matière trop importante au moment de l'éjection ;

Pression interne trop élevée ;

Mauvaise taille/disposition des éjecteurs.

Actions correctives :

Augmenter le temps de refroidissement ;

Adapter le profil des vitesses d'injection ;

Adapter la vitesse des éjecteurs ; baisser la température du moule ;

Vérifier que les éjecteurs soient correctement montés.

J. La pièce reste coincée dans le moule dégradation mécanique de la pièce

Dégradations irréversibles :

Cassures ; rainures ; fissures.

Causes possibles / correction :

Pression interne trop élevée ;

La pièce reste coincée sur ses parois externes : l'éjection est trop précoce ;

La pièce reste coincée sur ses parois internes : l'éjection est trop tardive ; manque de dépouille sur la pièce moulée.

Conclusion :

A partir de ce chapitre, on peut déduire que les meilleurs choix des paramètres de conception du moule d'injection nous permettent d'avoir des produits finis de bonne qualité et des formes complexes, donc le concepteur doit suivre toutes les étapes nécessaires pour faire réussir son produit

Chapitre 4

Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

Introduction :

Ce chapitre est consacré à la conception de la pièce (boite de jonction câble), déduire les éléments du moule, par la suite, la détermination des différents facteurs du choix de la presse, le calcul de résistance des différents composants du moule au matage dû à la force de fermeture de la machine.

1- La CAO (conception assistée par ordinateur) :**1-1. Définition de la CAO :**

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

Lorsqu'un système est affecté d'un nombre trop grand de paramètres, il devient difficile de tout contrôler. La CAO permet de concevoir des systèmes dont la complexité dépasse la capacité de l'être humain, et d'apprécier globalement le

Comportement de l'objet créé avant même que celui-ci n'existe. En CAO, on ne dessine pas, on construit virtuellement un objet capable de réagir dans son espace réel selon des lois régies par le logiciel. Le résultat, appelé maquette numérique qui constitue alors un véritable prototype évolutif.

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

1-2-Domains de la CAO :

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

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

1-3-Avantages de la CAO :

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

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

1-4- Application :

A) Conception de la pièce moulée :

Durant la conception des pièces (mâle et femelle) de la boîte de jonction câbles, nous avons utilisé les commandes du logiciel SolidWorks tel que : Esquisses, fonctions et surfaces.

Premièrement, nous avons conçu les deux parties de la boîte avec les modifications nécessaires, ainsi que l'attribution de la matière appropriée (le PE dans notre cas).

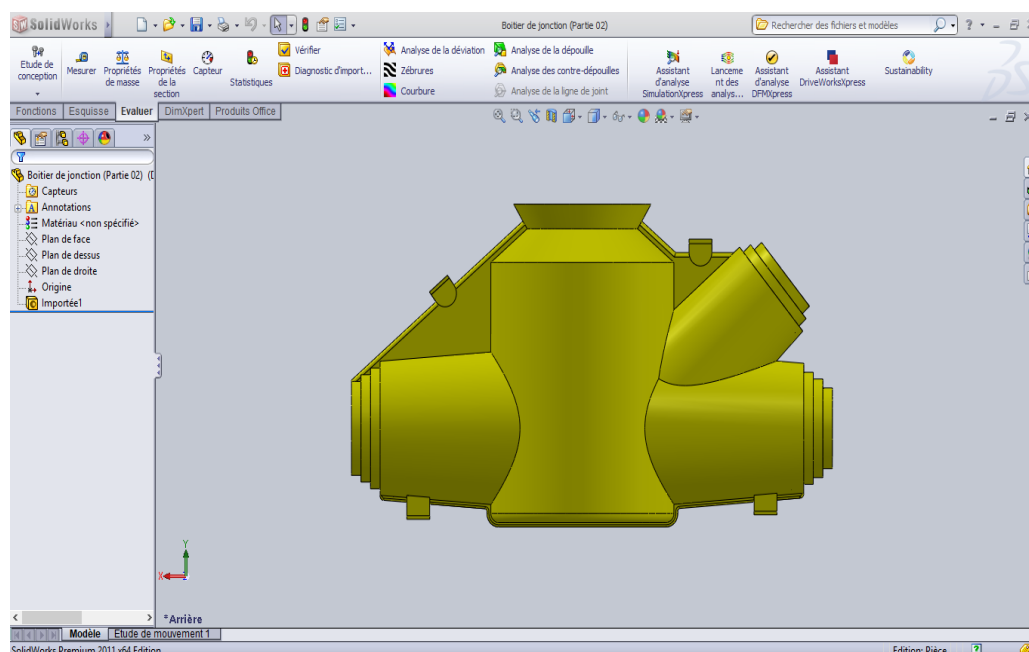


Figure 1 : Boitier de jonction (partie male)

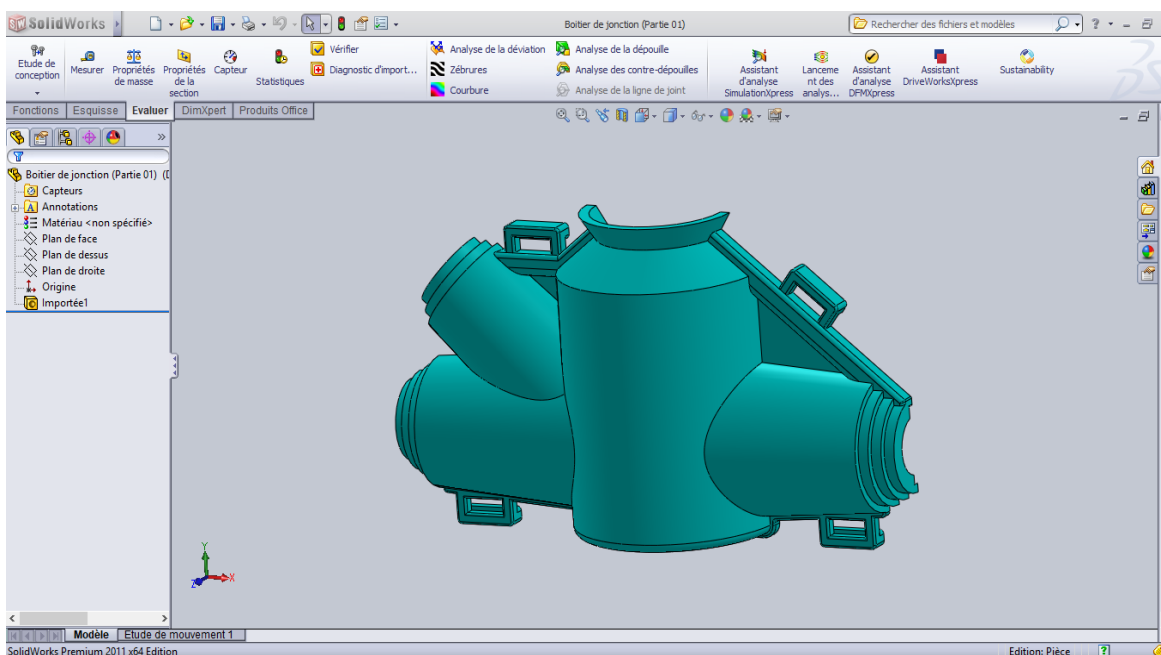


Figure 2 : Boitier de jonction (partie femelle)

Ensuite, l'utilisation de la commande assemblages nous a permis d'effectuer le montage des deux parties de la pièce (mâle et femelle) en formant une boîte de jonction complète afin d'assurer leur compatibilité.

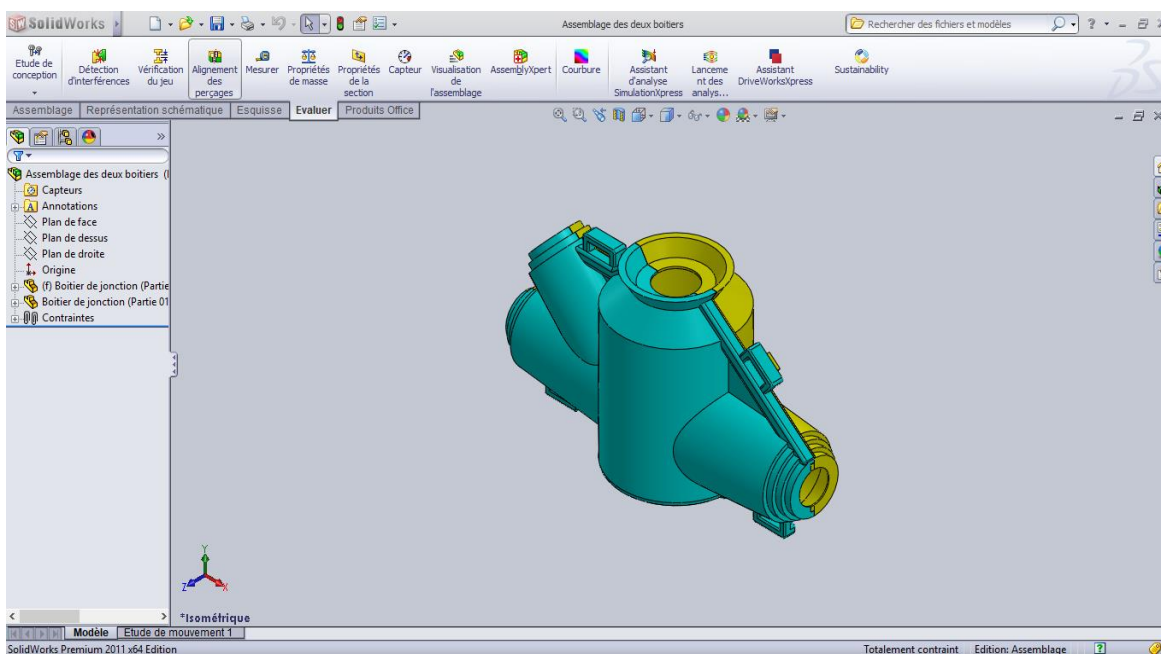


Figure 3 : Assemblage des deux boitiers

B) Conception du moule :

Premièrement, nous avons commencé par la création des deux empreintes, l'utilisation de la fonction (outils de moulage) est indispensable, une fois dedans nous avons introduit un facteur de retrait et nous sommes passé à l'analyse de la dépouille et à la spécification des lignes et plans de joint et ce pour chaque partie de la boîte.

Enfin, les fonctions (esquisse) et (volume noyau) nous a permis le dimensionnement final de nos deux empreintes fixe et mobile

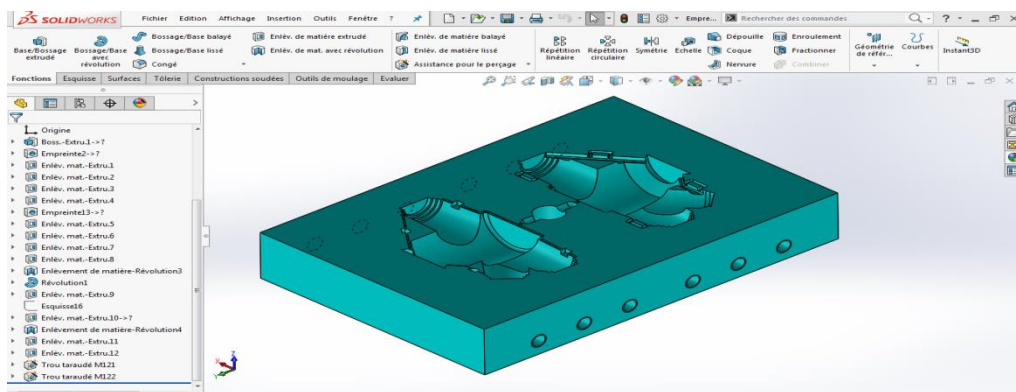


Figure 4 : Empreinte fixe

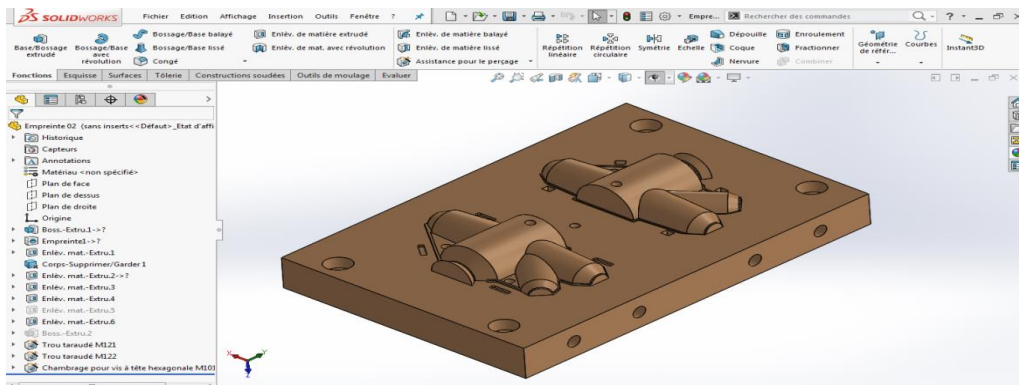


Figure 5 : Empreinte mobile

Mais nous avons remarqué que l'utilisation de deux empreintes ne nous permet pas le démoulage des pièces (mâle et femelle) de la boîte, alors on a été obligé d'utiliser des tiroirs, en plus nous avons découpé les empreintes de manière à faciliter l'usinage. Et pour permettre l'éjection automatique des pièces moulées, on a prévu des plaques d'éjection (inserts) dans l'empreinte mobile. Et comme le matériau utilisé pour les empreintes est un matériau noble, on doit minimiser au maximum ces dimensions, afin d'éviter l'endommagement de ces derniers et augmenter leurs résistances, on a utilisé des portes empreintes avec des aciers résistants et moins chères.

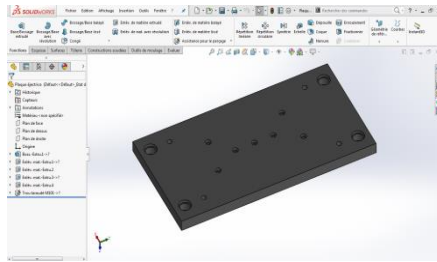


Figure 6 : Plaque éjectrice

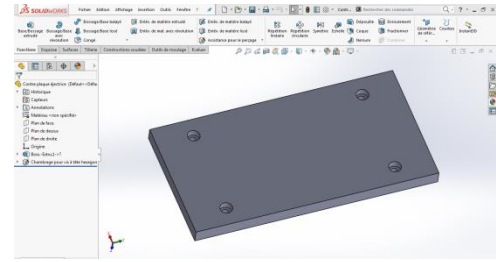


Figure 7 : contre plaque éjectrice

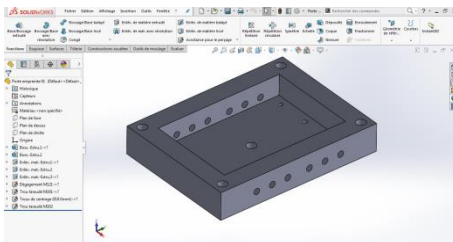


Figure 8 : Porte empreinte fixe

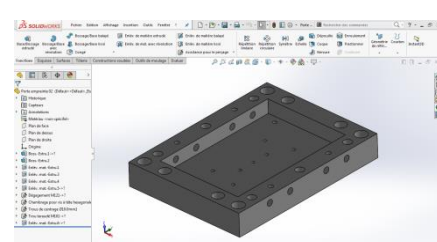


Figure 9 : porte empreinte mobile

Deuxièmement, nous avons conçu le reste des pièces constituant le moule en trois dimensions (3D) de manière à assurer les fonctions objectives et les normes de construction.

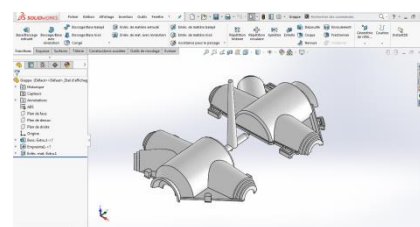


Figure 10 : Grappe

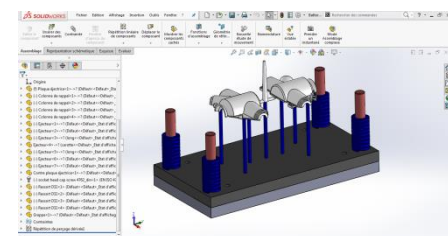


Figure 11 : Batterie éjectrice

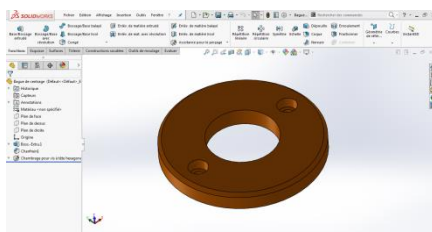


Figure 12 : Bague de centrage

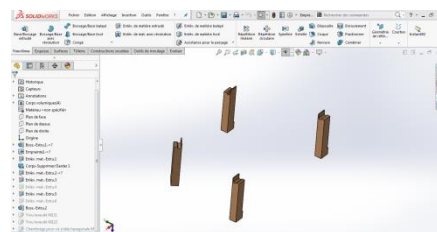


Figure 13 : insert pour empreinte mobile

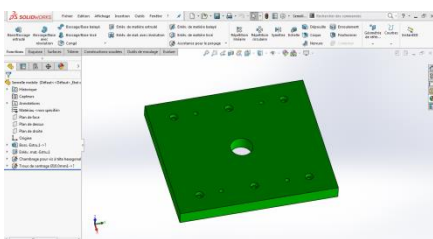


Figure 14 : Semelle mobile

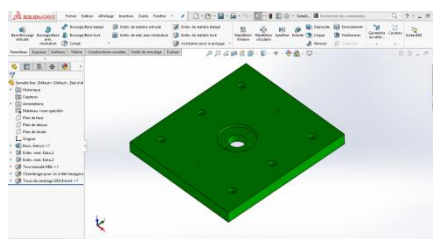


Figure 15 : Semelle fixe

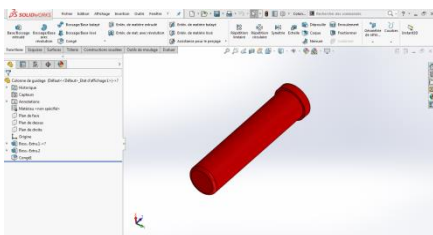


Figure 16 : Colonne de guidage

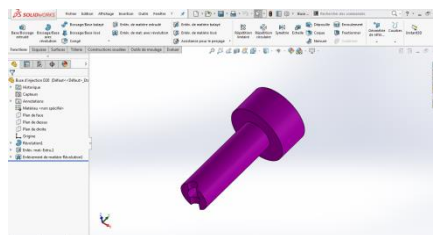


Figure 17 : buse d'injection

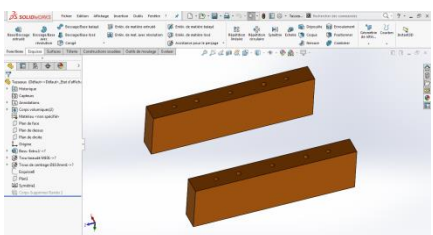


Figure 18 : Tasseaux

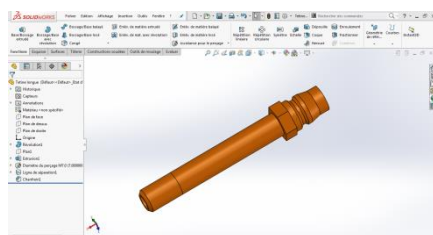


Figure 19 : tétine

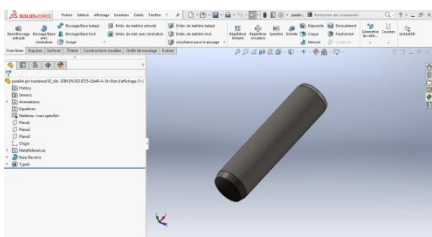


Figure 20 : Goupille

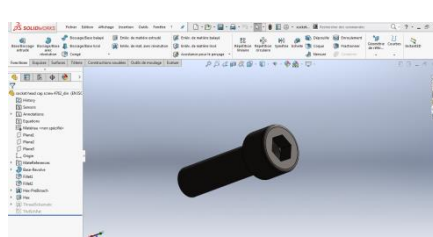


Figure 21 : vis CHC

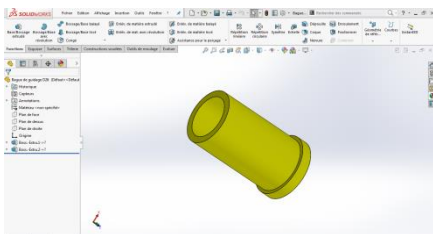


Figure 22 : Bague de guidage D26

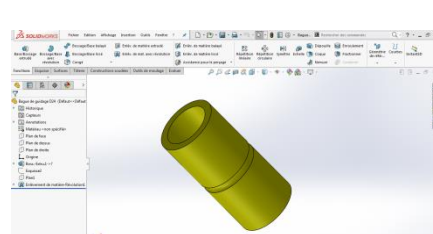


Figure 23 : bague de guidage D24

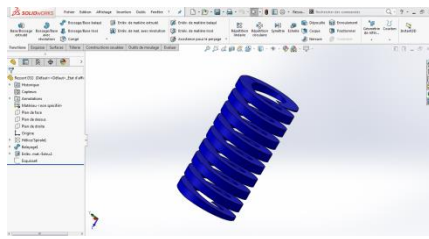


Figure 24 : Ressort D32

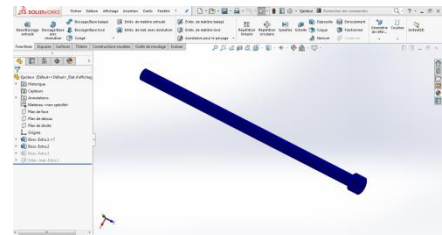


Figure 25 : éjecteur

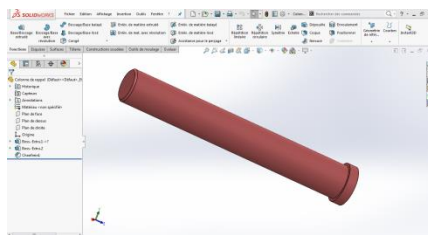


Figure 26 : Colonne de rappel

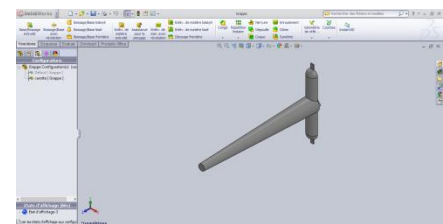


Figure 27 : carotte

C) Assemblage du moule :

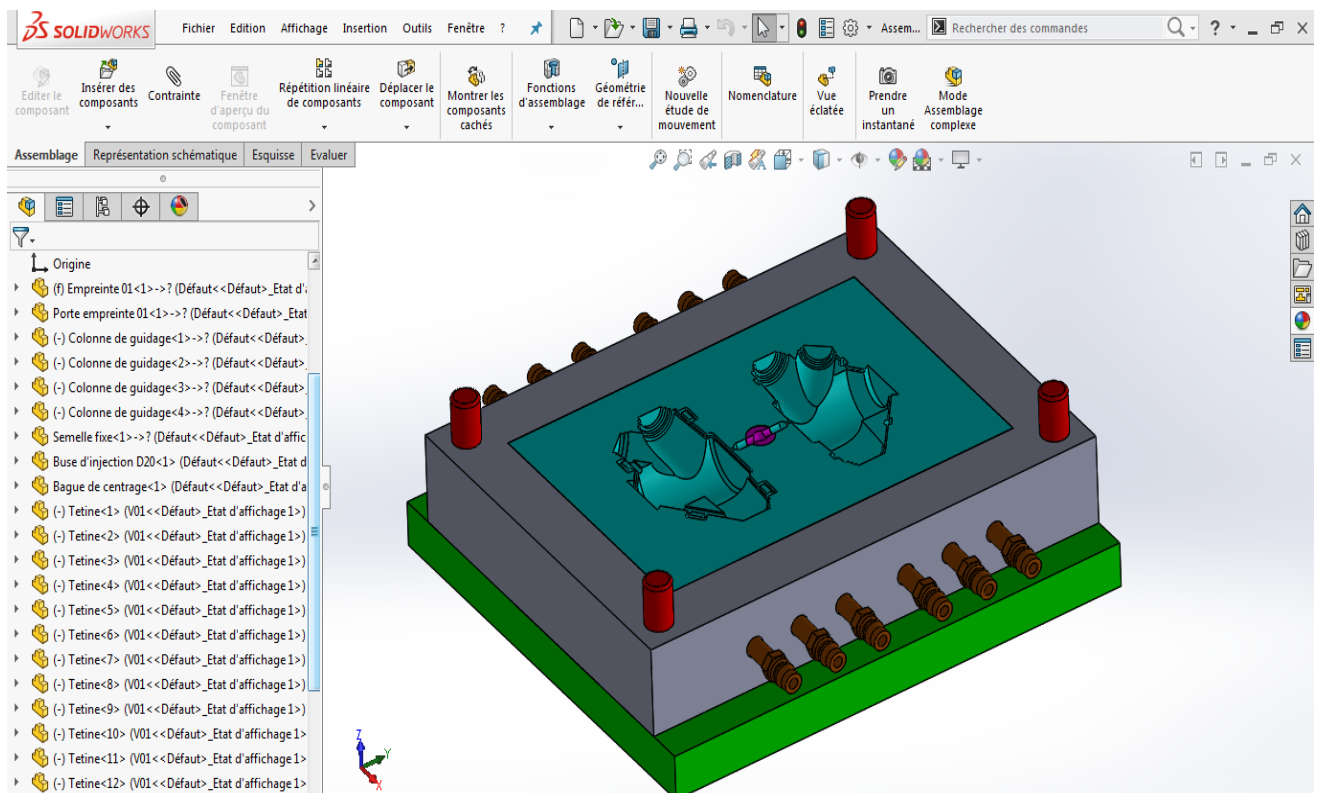


Figure 28 : Partie mobile du moule

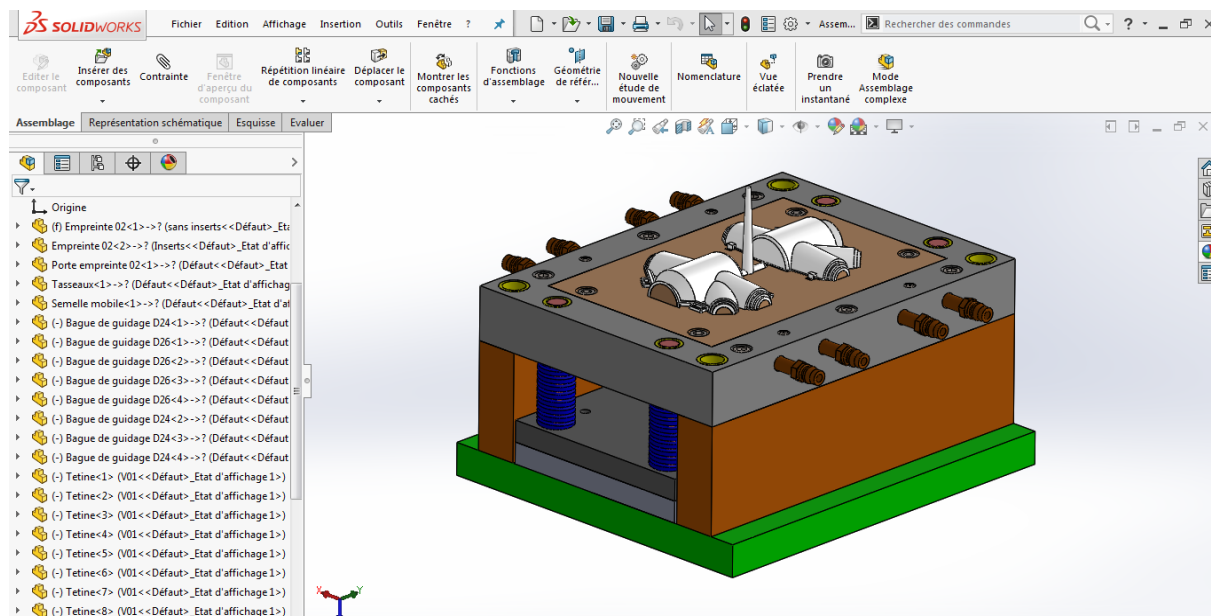


Figure 29 : Partie fixe du moule

Enfin, l'utilisation de la commande assemblages nous a permis d'effectuer le montage de toutes les pièces en formant un moule complet et la détection des interférences qui peuvent exister entre les pièces assemblées.

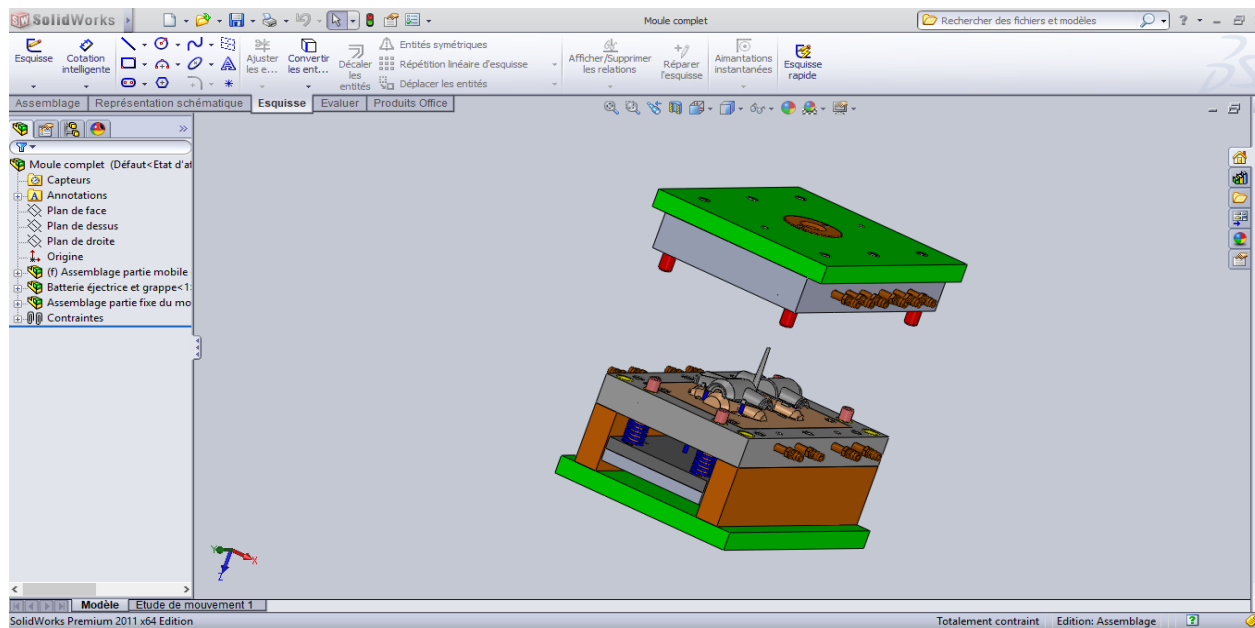


Figure 30 : Moule complet

Conclusion

L'utilisation de C.A.O. (Solid Works) permet de créer des pièces selon la demande du client quelle que soit la forme et mise dans des moules avec des caractéristiques variées. Sa dépend de la pièce et de la machine mais il est nécessaire pour le concepteur des moules d'être informé des choses importantes :

Comprendre et respecter les règles de conceptions des pièces en matière plastique. La maîtrise de logiciel de conception et de simulation.

Possibilité et la facilité de modification des pièces et des moules.

Chapitre 5

Calcul et vérification

Introduction.

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

1- Le choix de la machine : [14]

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

3. Capacité d'injection ;
4. Force de fermeture ;
5. Puissance de plastification ;
6. Distance entre colonnes ;
7. Épaisseur minimale du moule.

1-1. La capacité d'injection : [15]

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

Tableau n° 01 : Capacité d'injection [15].

Presses	Capacité d'injection (g)	
	Pour ABS (même chose que PS)	Pour le PE
25T	45	36
75T	100	83
150T	230	180
220T	450	350
350T	850	680
550T	1360	1080

a- La masse de la pièce :

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

Donc la masse de la pièce est :

$$M_p = 42.86g$$

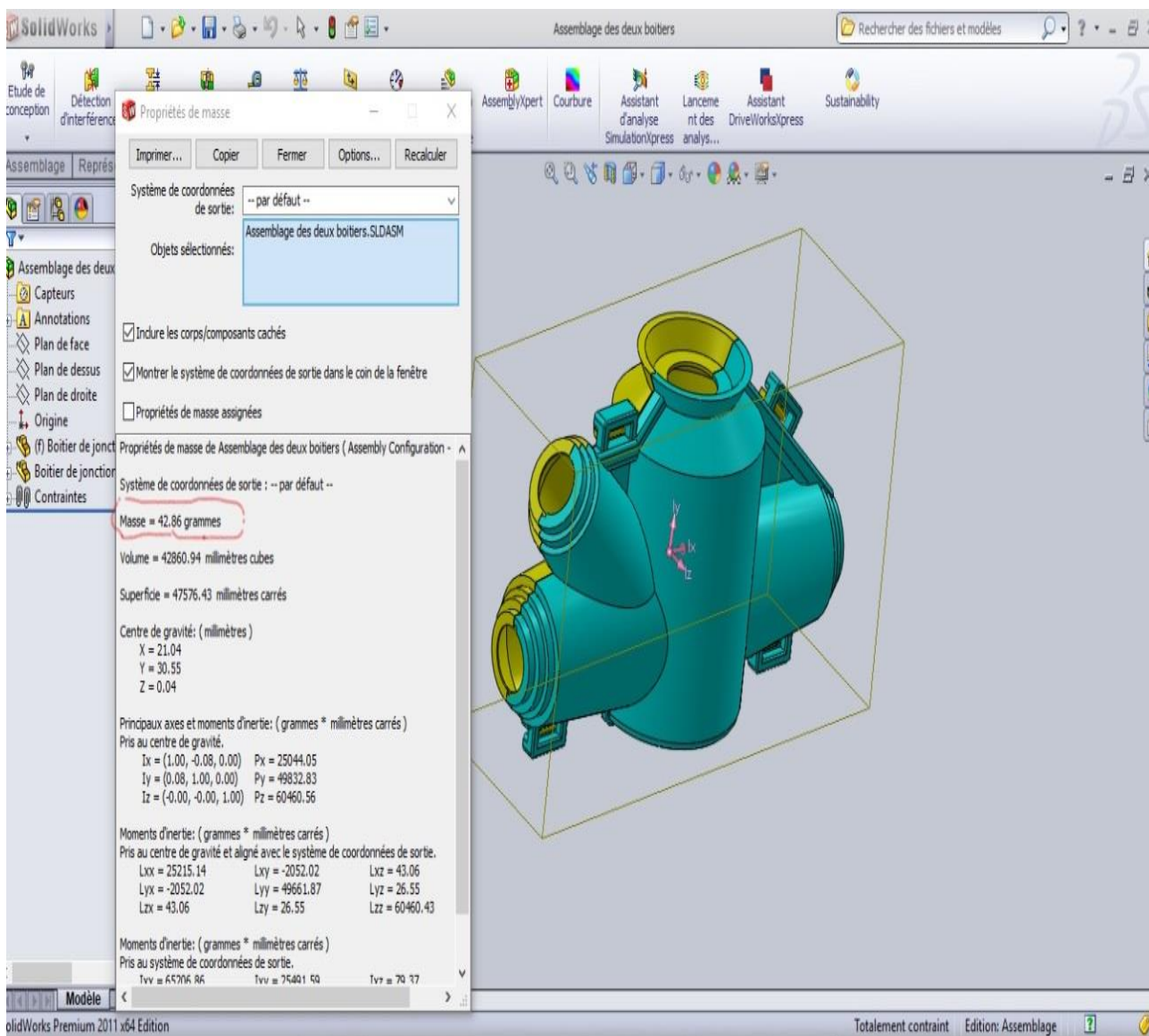


Figure 01 : pièce moulée

b- La masse de la carotte :

Le poids de cette carotte est de $M_c = 3.42$

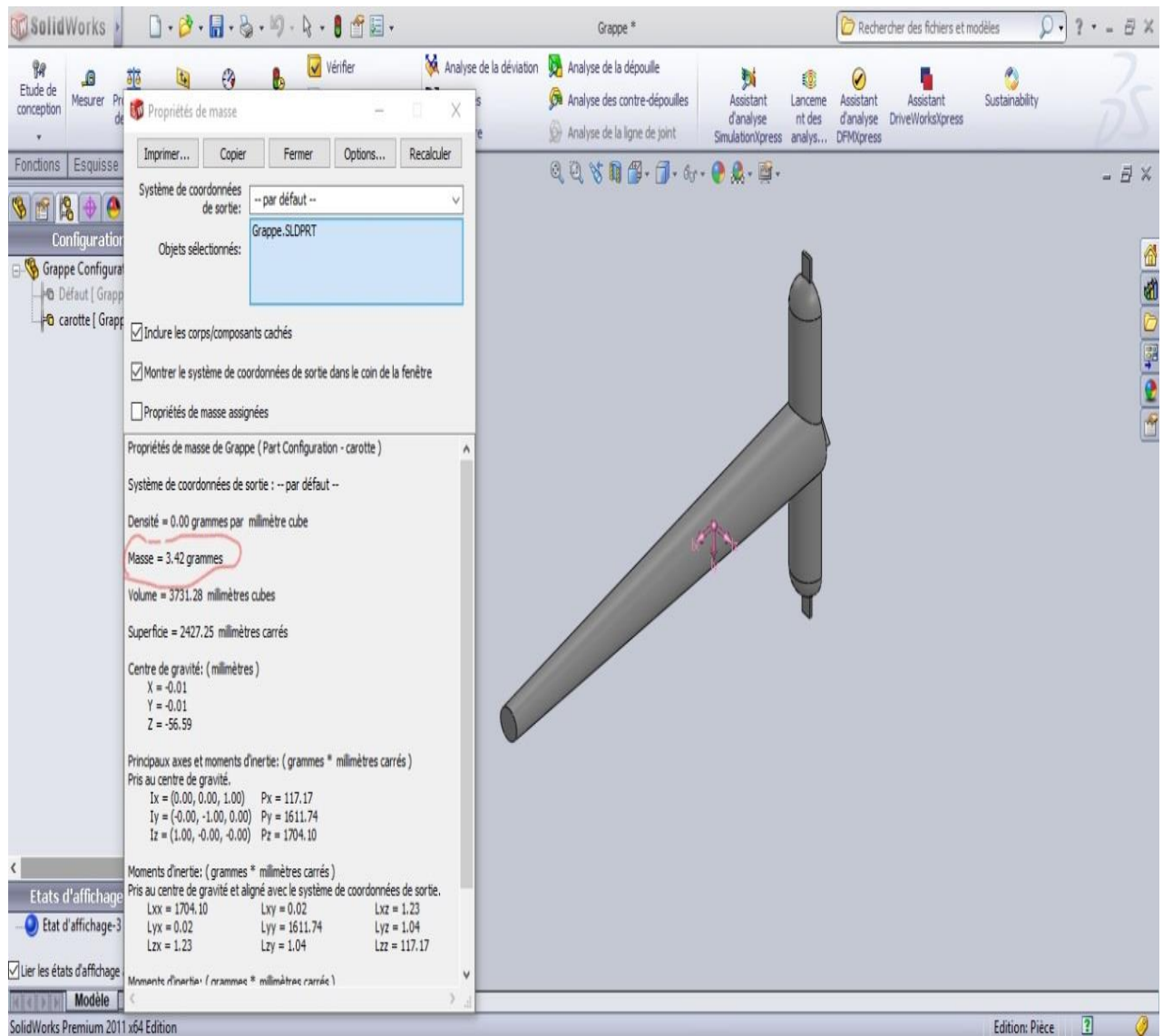


Figure 02 : La carotte

c- La masse de la moulée (M) :

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

AN :

$$M = 45.12g$$

La masse de la moulée est

$$M = M_p + M_c \quad (8)$$

$$M = 45.12g$$

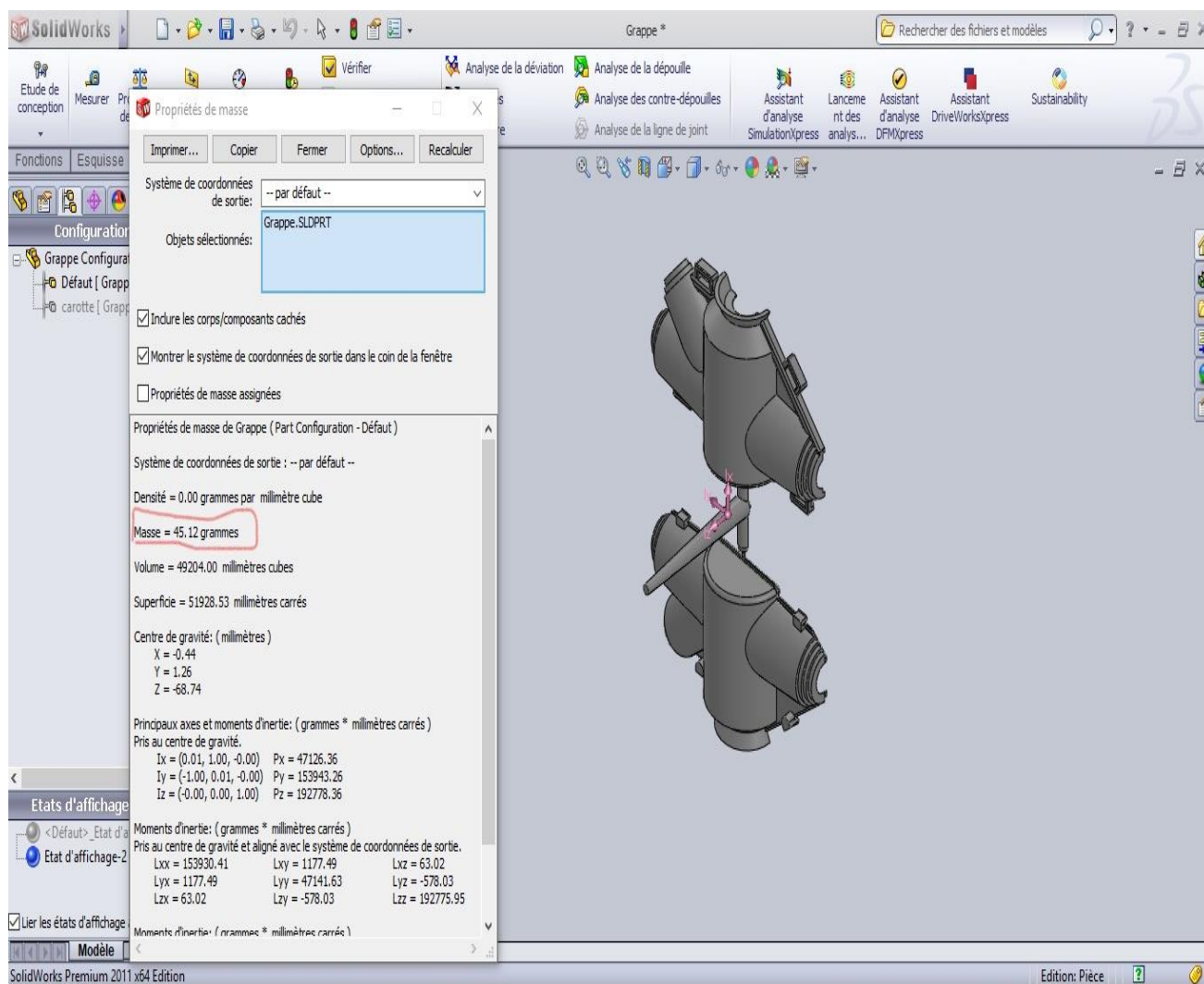


Figure 03 : La masse de la grappe

D'après le tableau (1), on constate que les presses qui peuvent assurer l'injection de cette quantité de matière sont : 75T, 150T, 220T

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

1-2- Détermination du nombre d'empreinte :

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

$$\mathbf{n = (C_i - V_g) / (V_p)} \quad (9)$$

Avec :

n : le nombre d'empreinte

C_i : capacité d'injection de la machine.

V_g : volume de la grappe.

V_p: volume de la pièce injectée

Les données :

$$C_i = 83 \text{ cm}^3$$

$$V_g = 49.204 \text{ cm}^3$$

$$V_p =$$

$$21.825 \text{ cm}^3$$

Donc :

$$n = (83 - 49.204) / 21.825$$

$$\mathbf{n = 1.55}$$

Le nombre d'empreinte doit être inférieur à 6.6. Alors :

$$\mathbf{n = 2}$$

-1-3- La force de fermeture de la machine [15] :

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

a- La force de verrouillage :

$$F_v = P \cdot S \text{ (tonnes /cm}^2\text{)} \quad (10)$$

Avec :

F_v : la force de verrouillage (tonnes).

P : la pression moyenne d'injection ; $P=0,4$ (tonnes / cm^2) [voir le tableau suivant].

S : la surface projeté (cm^2) ; $S= 26.811\text{cm}^2$

AN : $F_v = P \cdot S = 0.4 \times 26.811 = 10.7244 \text{ T}$

$$F_v = 10.7244 \text{ T}$$

Tableau n° 02 : la pression d'injection

Matière	Pression intérieure moyenne (tonne/ cm^2) (dans la normalité)	Grand parcours de fluctuation (forme compliquée)
PE, PP	0.3 à 0.4	0.4 à 0.5
HIS, PA6	0.35 à 0.45	0.45 à 0.55
PS, AS, ABS	0.4 à 0.5	0.5 à 0.6

b- La force de fermeture :

$$F_f = F_v \cdot K \quad (11)$$

F_v : force de verrouillage

K : coefficient de sécurité ; $1 \leq K \leq 2$

$$F = 10.7244 \times 1.5 = 16.0866 \text{ tonnes}$$

$$F_f = 16.0866 \text{ tonnes}$$

D'après les résultats obtenus de la capacité d'injection et la force de fermeture, notre choix se portera sur la presse de 75T.

1-4- La Puissance de plastification (C) :

Même si la machine 75T peut injecter 45.g de PE on doit vérifier sa capacité de plastification (la quantité de matière plastifiée par heure) qui est en fonction du poids de la grappe et du temps de cycle. Le temps de cycle est égal à 26 s (voir page 91).

$$C = \frac{\text{Masse de la grappe}}{\text{Temps de cycle}} \quad (12)$$

AN :

$$C = 45.12 \times 3600 / 26 / 1000 = 6.25 \text{ kg/h}$$

$$C = 6.25 \text{ Kg/h}$$

Cette condition est vérifiée puisque notre machine plastifie 50 kg/h (voir les caractéristiques de la presse dans tableau (2))

1-5- La distance entre colonnes [15] :

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

Les dimensions de notre moule sont :

Longueur : 360

Largeur : 320

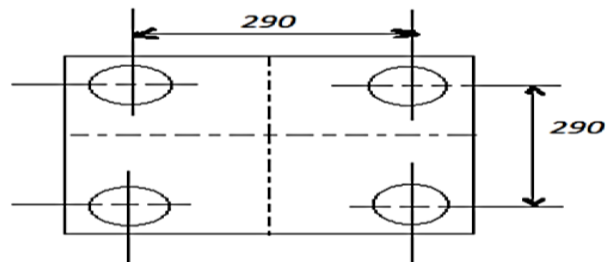


Figure 4 : Schémas d'un plateau d'une presse 75T [15]

1-6- Epaisseur minimale du moule :

Les caractéristiques dimensionnelles de la presse 75T (i1) sont :

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

A partir de là, on voit que l'épaisseur minimale du moule doit être supérieure à 170mm (Notre moule a une épaisseur de 270mm).

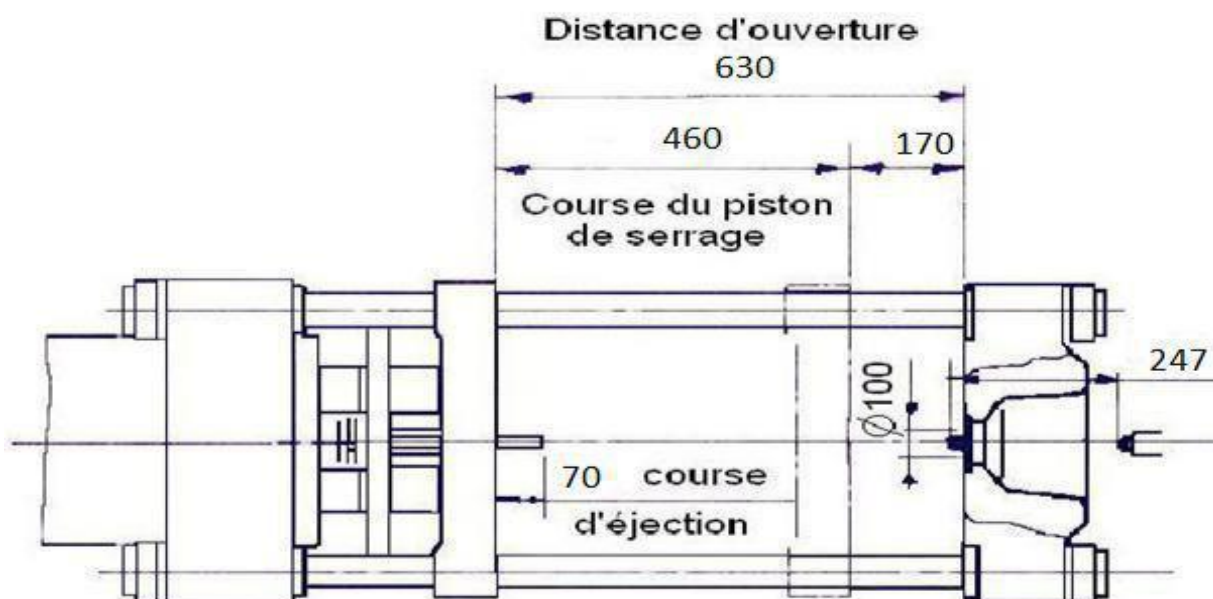


Figure 5 : Caractéristiques dimensionnelles de la presse 75T [15].

1-7. Caractéristiques techniques de la Presse 75 T (i1) [15] :**Tableau n° 03 : caractéristique technique de la presse75T**

Symbole d'injection	i 2
Symbole du cylindre	A
Pression d'injection	2030Kg/Cm ²
Taux d'injection	87Cm ² /sec
Quantité d'injection	PS 83g
	PE 105g
Diamètre de la vis	32mm
Puissance de plastification(PE)	50Kg /h
Puissance de serrage	75Tonnes
Puissance d'ouverture	6.3 Tonnes
Vitesse Maxe de rotation de la vis	380 tr. min
Intervalle des tirants	360x360 mm
Dimensions de la plaque matrice	540x540 mm
Course de serrage	460 mm
Epaisseur mini du moule	170 mm
Ouverture	630 mm
Puissance de foulage(Hydraulique)	2.7 Tonnes
Course de foulage	70 mm
Quantité d'huile d'usage	360 litres
Moteur destiné à la pompe	15 KW
Capacité du réchauffeur	6.6 KW
Dimension de la machine(L.I.H)	4 ,5x1, 2x2, 1
Poids de la presse	4Tonnes

2- Le bilan thermique :

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

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

2-1. Principe de refroidissement :

Les réfrigérants tel que l'eau, l'huile et l'air circulent dans des circuits refroidissements. Le refroidissement par air est assez lent, c'est pour cette raison qu'on choisit l'eau. Et puisque la température du moule est toujours en fonction de la matière plastique moulée, voici le tableau qui illustre ces différentes températures.

Tableau n°4 : les températures réglées.

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

2-2. Temps de refroidissement : [10]

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

$$tr = \frac{e^2}{\pi^2 D} \ln \left[\frac{8}{\pi^2} \left(\frac{T_i - T_m}{T_e - T_m} \right) \right] \quad (13)$$

Avec :

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

D: la diffusivité thermique de PS ; D=8,3.10⁻⁸

E: m²/s Ti : température d'injection ; Ti=225°

Te : température d'éjection ; Te=70°C

Tm : température du moule ; Tm=45C

AN :

$$\mathbf{Tr=9s}$$

Tableau n° 05 : Grandeurs thermiques de quelques matières de pièces injectées.

Grandeurs thermiques permettant le calcul du temps de refroidissement des pièces injectées				
T_d		température moyenne d'extraction		
λ		conductivité thermique		
a		coefficient de diffusion thermique (ou diffusivité)		
Matière injectée		T_d (°C)	λ (W · m ⁻¹ · K ⁻¹)	a (10 ⁻⁸ m ² · s ⁻¹)
Cellulosiques	CA.....	80 à 105	0,22	
	CAB	80 à 105	0,21	
	CP	80 à 105	0,22	
Polystyréniques	PS	75	0,16	8,3
	SB	75	0,17	8,3
	SAN	90	0,16	8,3
	ABS	100 à 120	0,16	8,3

2-3. Temps de cycle :

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

- B. t_r : temps de refroidissement (9s)
- C. t_i : temps d'injection (1s)
- D. t_m : temps de maintien (5s)
- E. t_e : temps d'éjection (3s)
- F. t_o : temps d'ouverture (4s)
- G. t_f : temps de fermeture (4s)

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

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

Le temps d'ouverture $t_o = 4s$.

Le temps de fermeture $t_f = 4s$.

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



Figure 6 : Variation de la pression /temps

Tableau n° 06 : Conditions de moulage par injection plastique [14].

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

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

$$T_c = \sum t_r + t_i + t_m + t_e + t_o \quad (14)$$

AN :

$$T_c = 9 + 1 + 5 + 3 + 4 + 4 = 26s$$

$T_c = 26s$

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

$Q = M \cdot N (H_i - H_e)$

 (15)

Avec :

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

M : poids de la moulée en Kg

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

T_i = 225°C → H_i = 88 Kcal/Kg

T_e = 70°C → H_e = 28 Kcal/Kg

$$Q = \frac{3600}{26} \times 45.12 \times 10^{-3} (88 - 28) = 374.84 \text{ Kcal/h}$$

$Q = 374.84 \text{ Kcal/h}$

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

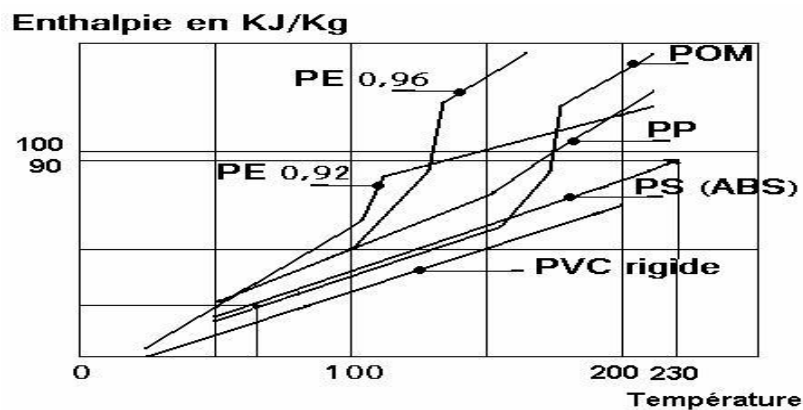


Figure n° 07 : Graphe des enthalpies en fonction de la température

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

$$\boxed{GH=QH/ (Ts-Tee)} \quad (16)$$

Avec :

GH : consommation horaire de liquide en Kg/h.

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

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

Te : Température d'entrée d'eau ; Te=5°C

Ts : Température de sortie d'eau.

Ts – Te : l'échauffement admissible du fluide de refroidissement en °C généralement cet

Écart doit être inférieur à 5°C.

AN :

$$\boxed{GH=329.85 \text{ Kg/h}}$$

2-6. Détermination de la longueur totale de refroidissement [16] :**a- La température du film :**

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

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

ρ : Masse Volumique.

μ : viscosité dynamique de l'eau. ν : viscosité cinématique de l'eau.

λ : la conductivité thermique de l'eau.

Re: nombre de Reynolds, Pr : nombre de Prandht, Nu : nombre de nusselt

Ti : la température d'injection du polystyrène, sachant que Ti = 225.

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

$$\mathbf{Tm=70+225/2= 147.5^{\circ}C}$$

T_{ee} : la température d'entrée d'eau, ou T_{ee}=5°C

T_{se} : la température de sortie d'eau, ou T_{se}=5.88°C

$$\boxed{T_e = \Delta T_e + T_{ee}} \quad (17)$$

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

$$\boxed{T_e = 5 + 5.88/2 = 5.44^\circ\text{c}}$$

Finalement la température du film sera donc :

$$\mathbf{T_f = T_m + T_e/2 = 147.5 + 5.44/2 = 76.47^\circ\text{C}}$$

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

Tableau n° 07 : distribution des températures [16]

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

a .1- La viscosité dynamique (μ) :

Du tableau et par interpolation :

$$\mu (Tf) = (0,469 \times 10^{-3}) - (0,354 \times 10^{-3}) / (80 - 60) = (0,469 \times 10^{-3} - y) / (76,5 - 60) = 0.374.10^{-3} \text{ kg /ms}$$

$$\mu(Tf) = \mathbf{0.374.10^{-3} \text{ kg /ms}}$$

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

$$C_p (Tf) = (4196 - 4184) / (80 - 60) = (4196 - y) / (80 - 76.5) = 4194 \text{ j/kg.K}$$

$$C_p (Tf) = \mathbf{4194 \text{ J/ kg. K}}$$

a .3- La masse volumique (ρ) :

$$P (Tf) = (985, 4 - 974, 1) / (80 - 60) = (985, 4 - y) / (76, 5 - 60) = 976, 12 \text{ kg/m}^3$$

$$P (Tf) = \mathbf{976, 12 \text{ kg/m}^3}$$

a .4- La conductivité thermique (λ) :

$$\lambda (Tf) = (0,668 - 0,651) / (80 - 60) = 0,668 - y) / (80 - 67,5) = 0,649 \text{ w/m. k}$$

$$\lambda (Tf) = \mathbf{0.649 \text{ w/m. k}}$$

a .5- La viscosité cinématique (ν) : [17]

$$\nu (Tf) = (0,0477 \times 10^{-5} - 0,0364 \times 10^{-5}) / (80 - 60) = 0.0383. 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$$

$$\nu (Tf) = \mathbf{0.0383. 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}}$$

Tableau n° 08 : Quelques groupements sans dimensions [17] :

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

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

Il caractérise le régime de l'écoulement (laminaire ou turbulent) dans la canalisation, de plus c'est un nombre sans dimension,

$$Re = Vd / \nu \quad (18)$$

Avec : d : le diamètre hydraulique

$$Re = (1.5 \times 0.008) / (0.0383 \cdot 10^{-5}) = 31331.$$

$$Re = 3,1 \cdot 10^4$$

a .7- Le nombre de Prandtl(Pr) :

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

$$Pr = \mu C_p / \lambda \quad (19)$$

AN :

$$Pr = 0,374 \cdot 10^{-3} / 0,649 = 2,42$$

$$Pr = 2.42$$

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

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

$$h = 0,04 \times (Re - Pr)^{0,75} \lambda / d \quad (20)$$

AN :

$$h = 0,04 \times (3,1 \times 10^4 - 2,42)^{0,75} \times 0,649 / 0,008$$

$$h = 14709,48 \text{ w/m}^2 \cdot \text{k}$$

Enfin La longueur totale de refroidissement :

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

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

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

AN :

$$L = \frac{240}{14709,48 \times 3.14 \times 0.008 \cdot (415,125)}$$

L=1,56 m

NB : $142,06^\circ\text{C} = 415,125\text{kelvin}$

3-Résistance des matériaux :

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

3-1. Les poids des pièces constituant le moule :

Le poids est déterminé par la relation suivante :

$P = \rho \cdot v$

(21)

Avec :

ρ : masse volumique

V : volume [dm³]

Tableau n° 09 : poids des pièces constituant le moule

Les pièces	Les matières	Volume (dm ³)	P (daN/dm ³)	Les poids (daN)
Plaque éjectrice	C45	0.93	7.8	7.25
Contre plaque éjectrice	C45	0.95	7.8	7.41
Semelle fixe	C45	2.65	7.8	20.67
Porte empreinte fixe	42CrMo4	3.55	7.8	27.69
Porte empreinte mobile	42CrMo4	3.17	7.8	24.73
Empreinte mobile	36NiCrMo16	0.64	7.8	5
Empreinte fixe	36NiCrMo16	0.95	7.8	7.41
Les tasseaux	C45	1.5	7.8	11.7

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

➤ **Fermeture du moule :**

La force de fermeture d'une presse 75 tonnes égales :

(75000 Kg = 750000 N)

1Kg.f → 10N

Donc la force de fermeture du moule est de F= 750000N.

Condition de résistance au matage :

$$\delta \leq [\delta] \quad (22)$$

$F/S \leq Rpe$ avec $Rpe = Re/s'$

Avec :

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

S'= 2 (coefficient de sécurité).

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

$S = e \cdot l$ (Surface matée).

e : épaisseur de l'élément.

L : longueur de l'élément

a-PARTIE MOBILE :

Porte empreinte mobile :

$$L=360 \text{ mm} ; e =50 \text{ mm} ; S= 341142.42 \text{ mm}^2$$

$$\delta=750000/341142.42=21.98 \text{ N/mm}^2$$

$$\delta=21.98 \text{ N/mm}^2 \leq R_{pe} \quad \text{La condition est vérifiée.}$$

Semelle mobile :

$$L=360 \text{ mm}, e=15 \text{ mm} ; S= 281605.58 \text{ mm}^2$$

$$\delta= 750000/281605.58= 26.63 \text{ N/mm}^2$$

$$\delta=26.63 \text{ N/mm}^2 \leq R_{pe} \quad \text{La condition est vérifiée}$$

Les tasseaux :

$$L=100 \text{ mm}, e = 40 \text{ mm}, S = 229253.56 \text{ mm}^2$$

$$\delta= 750000/229253.56= 32.71 \text{ N/mm}^2$$

$$\delta=32.71 \text{ N/mm}^2 \leq R_{pe} \quad \text{La condition est vérifiée}$$

b- PARTIE FIXE :

Porte empreinte fixe :

$$L =360 \text{ mm}, e =60 \text{ mm}, S =347391.77 \text{ mm}^2$$

$$\delta = 750000/347391.77 = 21.58 \text{ N/mm}^2$$

$$\delta = 21.58 \text{ N/mm}^2 \leq R_{pe} \quad \text{La condition est vérifiée}$$

□ **Semelle fixe :**

$$L = 360 \text{ mm}, e = 30 \text{ mm}, S = 282399.10 \text{ mm}^2$$

$$\delta = 750000/282399.10 = 26.55 \text{ N/mm}^2$$

$$\delta = 26.55 \text{ N/mm}^2 \leq R_{pe} \quad \text{La condition est vérifiée}$$

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

Conclusion :

Cette partie nous a permis de choisir la presse à utiliser et aussi de vérifier le calcul du dimensionnement du moule, le calcul du circuit de refroidissement et la vérification à la résistance des différents éléments agissant lors de l'ouverture et de fermeture du moule. Elle nous a permis aussi, de sélectionner le mode de refroidissement et le choix des aciers et d'autre part, passer avec assurance à la phase de réalisation des plans d'exécution à l'atelier d'usinage.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

La présente étude nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine de la plasturgie et de comprendre la raison pour laquelle les matières plastiques occupent une place importante dans les différents secteurs industriels.

Grâce à leurs propriétés mécaniques et physiques remarquables, les polymères ont un impact sur leurs utilisations et ce dans tous les domaines. De ce fait, les polymères sont entrés dans le monde de l'industrie par la grande porte et ont fait leurs preuves dans les disciplines les plus nobles : Aéronautique, Médical, Automobile, Electronique, Ménage...etc.

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

Nous avons essayé au cours de cette étude de donner le plus d'information sur ces matériaux, leurs structures, leurs caractéristiques ainsi que leurs comportements afin d'approfondir l'étude sur le procédé d'injection des polymères.

La réalisation du moule à injection qui a fait l'objet de notre étude est basé sur une conception que nous souhaitons être la plus simple et la plus adéquate.

L'élaboration de ce projet nous a permis de nous initier et de nous familiariser avec des logiciels de CAO tel que SolidWorks. L'utilisation de ce logiciel a rendu aisée la conception de notre pièce, la déduction de ses empreintes et la conception des autres pièces du moule puis lui faire un montage complet. En fin, il nous a permis de réaliser une animation en 3 D qui montre l'assemblage des différents éléments du moule. Cela rend notre conception claire malgré sa complexité.

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

Au terme de ce travail, nous estimons avoir apporté une solution simple et économique au problème posé par POLYCAD en tenant compte des moyens et possibilités dont dispose l'entreprise, c'est sans faire appel ni à l'extérieur ni à une quelconque sous-traitance.

Il est évident en conséquence, que cette conception reste ouverte à toute amélioration.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

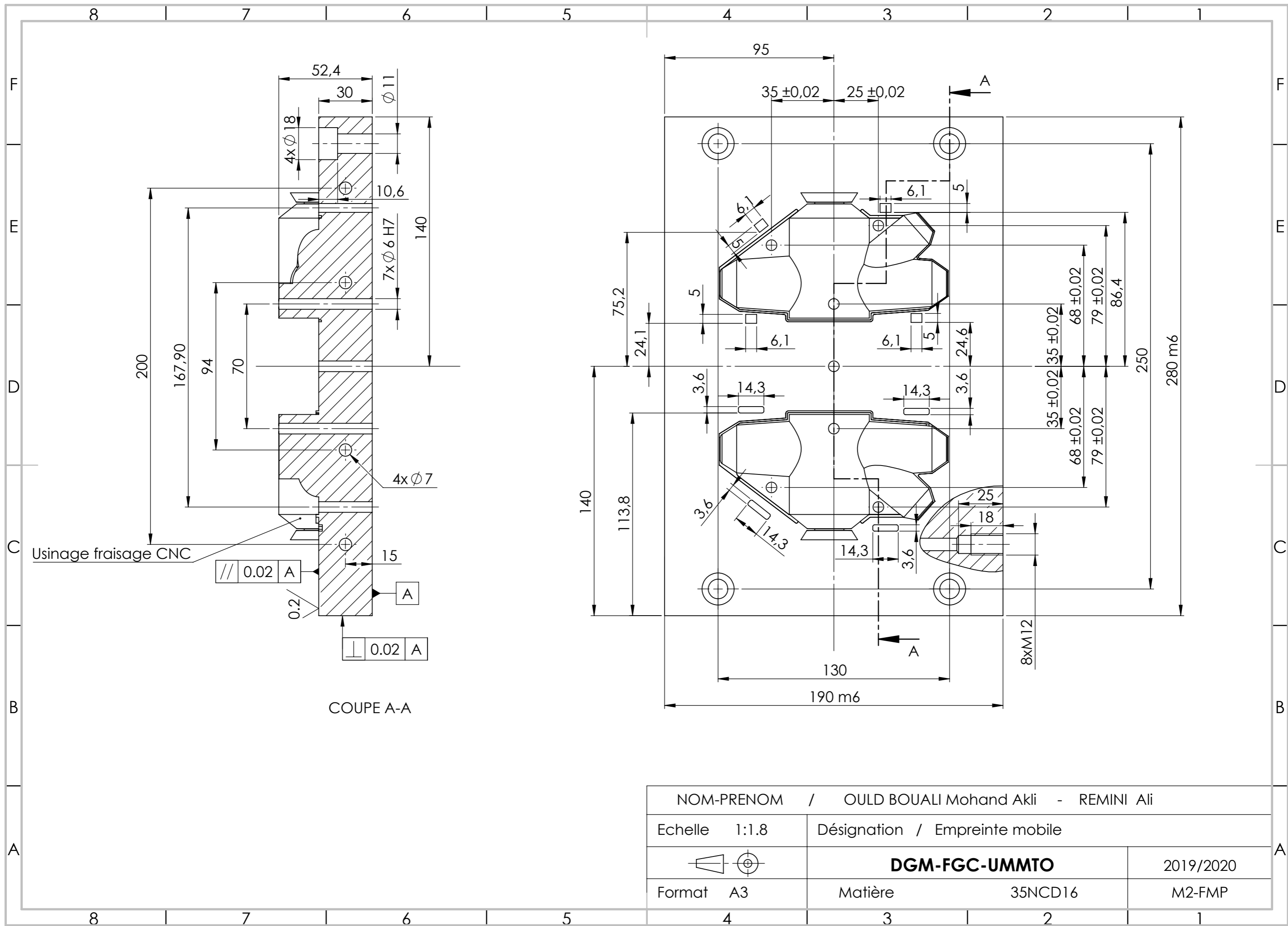
- [1] : Dr Laurent Duranel / Les plastiques : défis et opportunités / 30 mars 2011
- [2] : Edition : Tec & Doc, Par : Jean BOST (I ET II).
- [3] : Claude CORBET : Mémotech matières plastiques, Edition CASTEILLA, 2001.
- [4] : Edition : J-P Trotignon, J-Verdu, A-Dabraczynski, M-Pi peraud AFNOR et NATHAN
- [5] : K. LATTARI : Etude, conception et réalisation d'un moule d'injection plastique / Mémoire D'ingénieur / Université Mouloud Mammeri TiziOuzou, Promotion 2010.
- [6] : André CHEVALIER, Guide du dessinateur industriel, Edition HACHETTE, 2004
- [7] : 2ème Edition DUNOD/ Marc Carrega et coll.
- [8] : Matières plastiques structures, propriétés, mise en œuvre et normalisation :
Edition Nathan, 2006 J-P TROTIGNON, J VERDU, A DOBRACZYNSKY, M PIPERAUD
- [9] : F CATTEAU, A FOURAY, C JACQUEROD, B MARANDET, Les moule de plasturgie en Aluminium, Edition CETIM, 2003.
- [10]: ANA MARIA BIANCHI, Transfer thermique, ISBN 2-88074-496-2, 2004
- [11] : Site internet : industrie@raboutdin.fr
- [12] : sites internet :
- www.federplast.be
 - www.plasticseurope.org
- [13] : Initiation au transfert de chaleur. Edition : SACCADURA
- [14] : Edition : Linher Jérôme.
- [15] : Documentation technique ENIEM.
- [16] : Jacques. Padet, échangeurs thermiques. Méthodes globale de calcul.
- [17] : Philippe Roux version 2006.

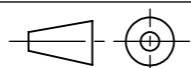
Références bibliographiques

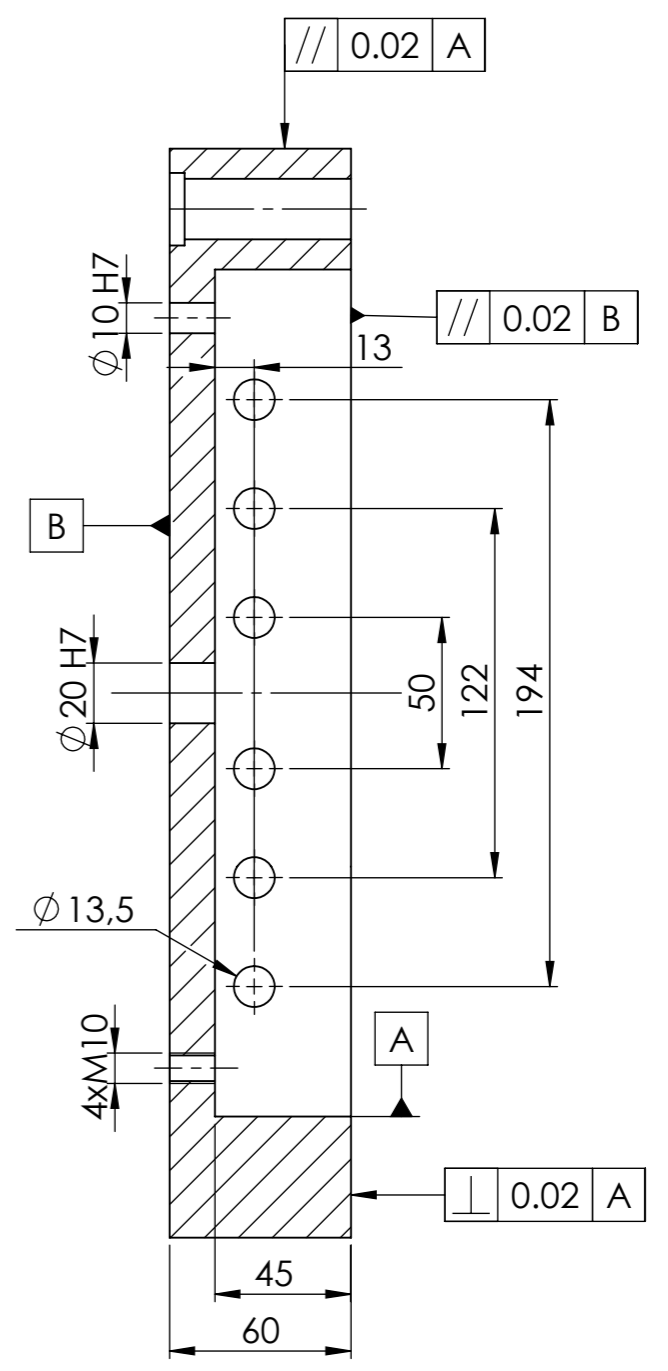
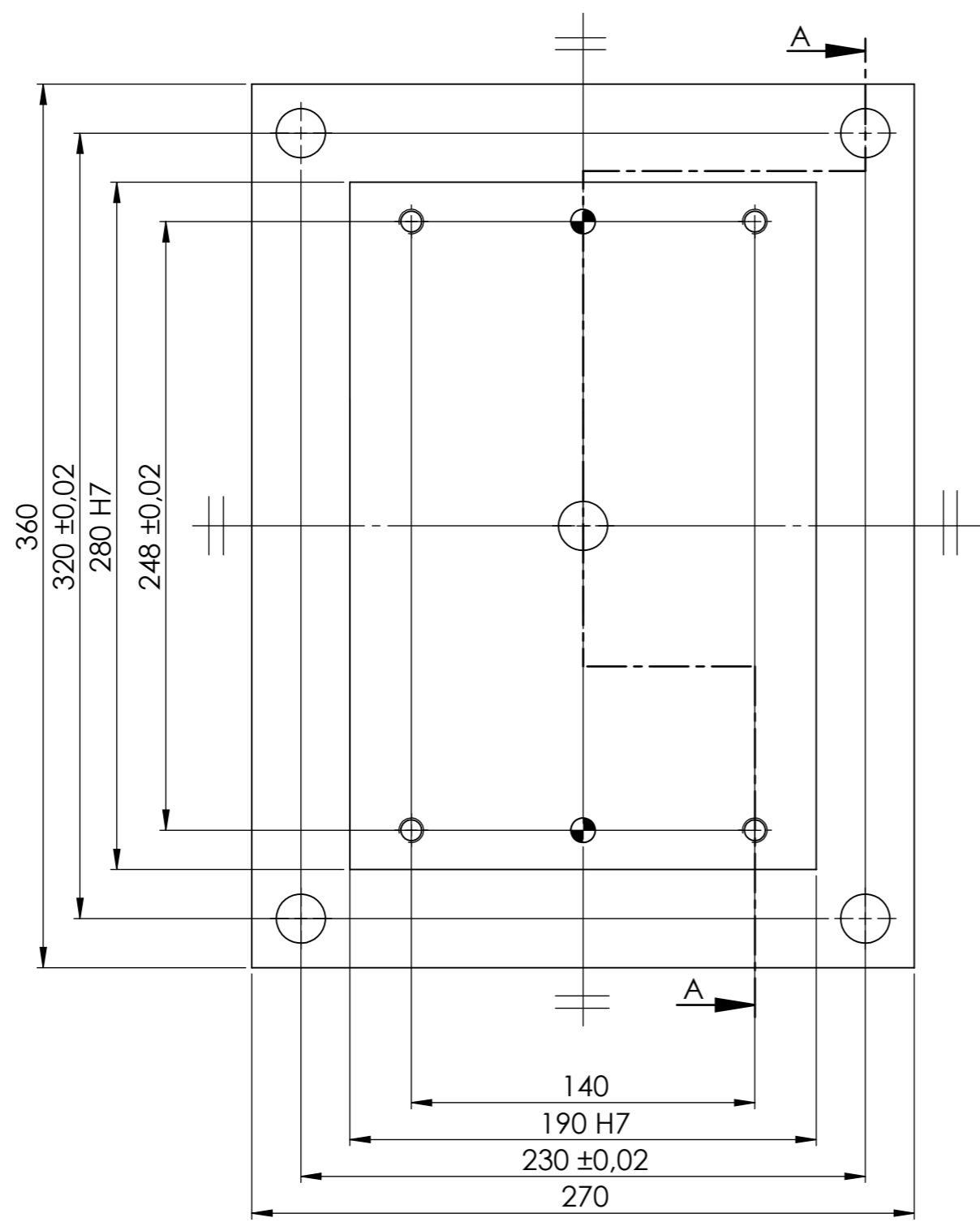
Sites internet :

- ❖ <https://www.paprec.com/fr/comprendre-recyclage/recyclage-plastique/fabrication-polymeres-matieresplastiques>
- ❖ http://sti-beziers.fr/tsipm/spip_tsipm/html/jgb/plastiques/obtention%20plastique.htm
- ❖ https://fr.wikipedia.org/wiki/Granulé_plastique
- ❖ <http://lizinne.e-monsite.com/pages/presentation-de-la-matiere-plastique.html>.
- ❖ www.septiemecontinent.com/pedagogie/file/102487
- ❖ <https://www.paprec.com/fr/comprendre-recyclage/recyclage-plastique/cycle-du-recyclage-bouteillesplastiques>
- ❖ <https://doimoflair.com/fr/bartender-cups/>
- ❖ <http://www.youscribe.com/catalogue/livres/savoirs/conception-des-pieces-plastiques-injectees2393581>
- ❖ <http://www.valorplast.com/le-campus/college/la-transformation/>
- ❖ <http://www.plasticompetences.ca/procedes-de-transformation/>

Annexes

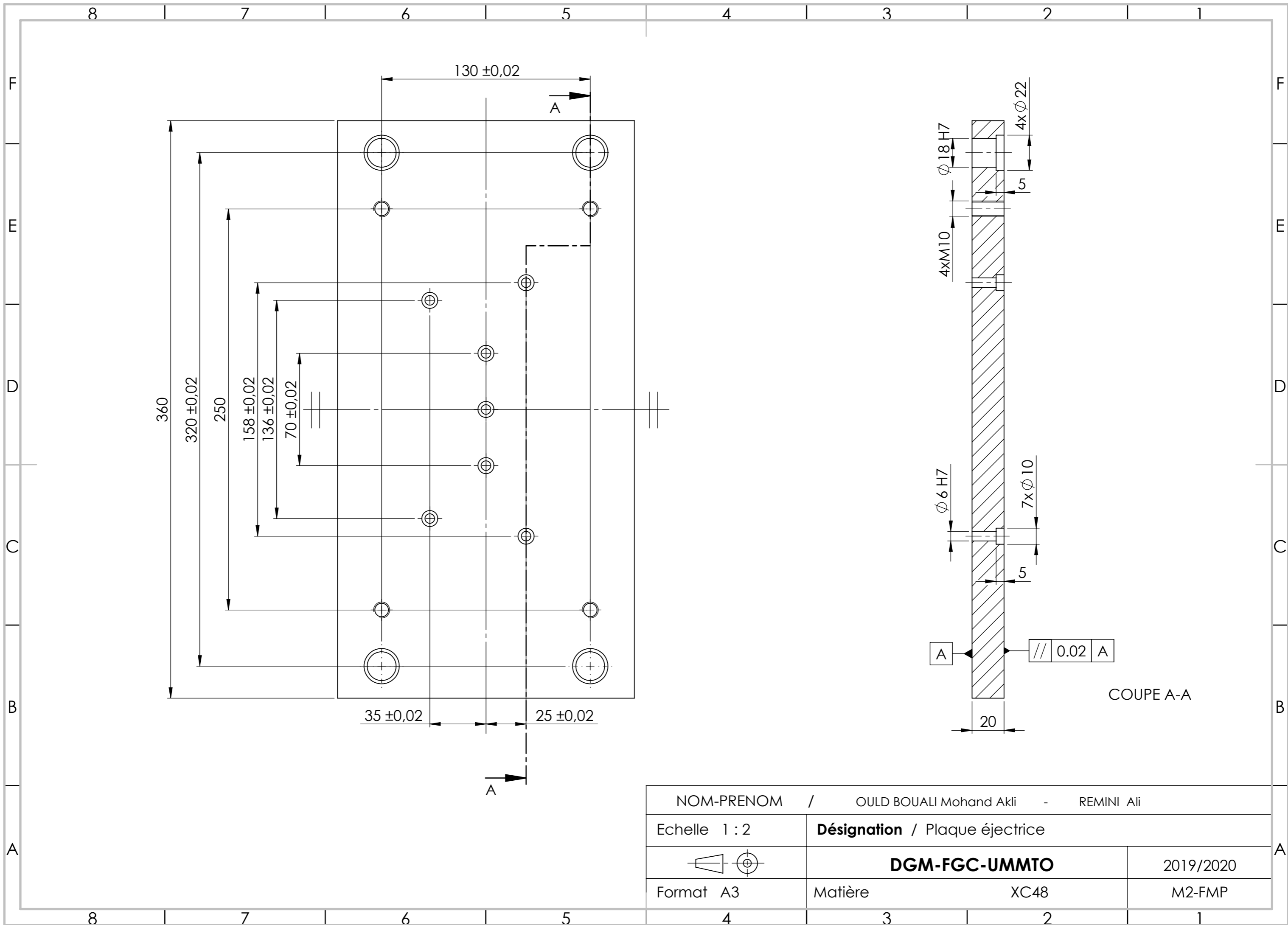


NOM-PRENOM / OULD BOUALI Mohand Akli - REMINI Ali			
Echelle 1:1.8	Désignation / Empreinte mobile		
	DGM-FGC-UMMTO		2019/2020
Format A3	Matière 35NCD16	M2-FMP	

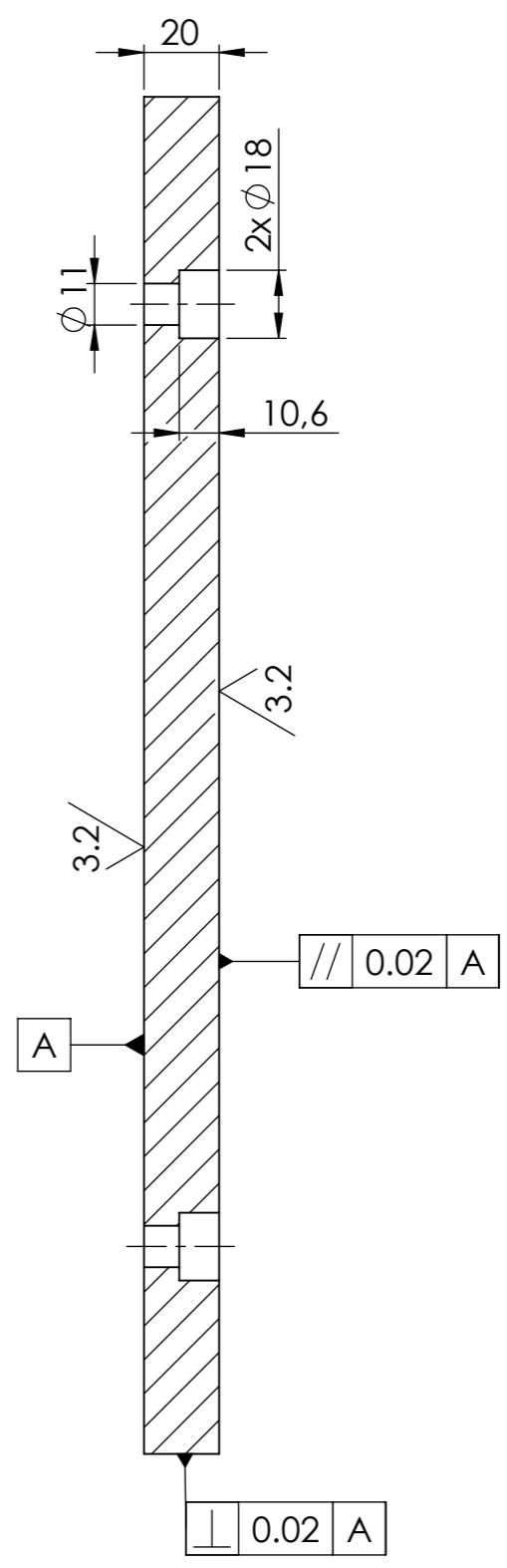
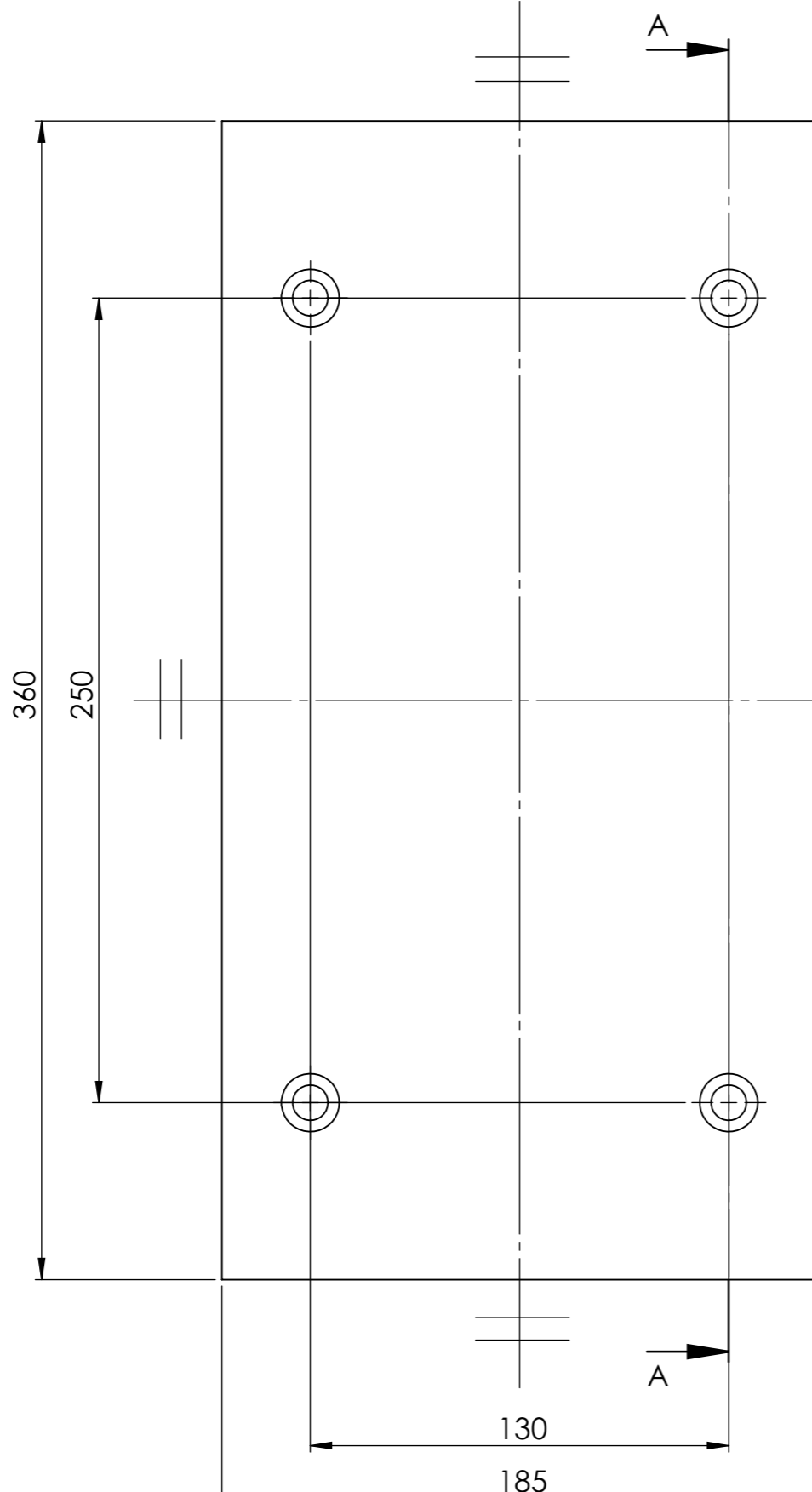
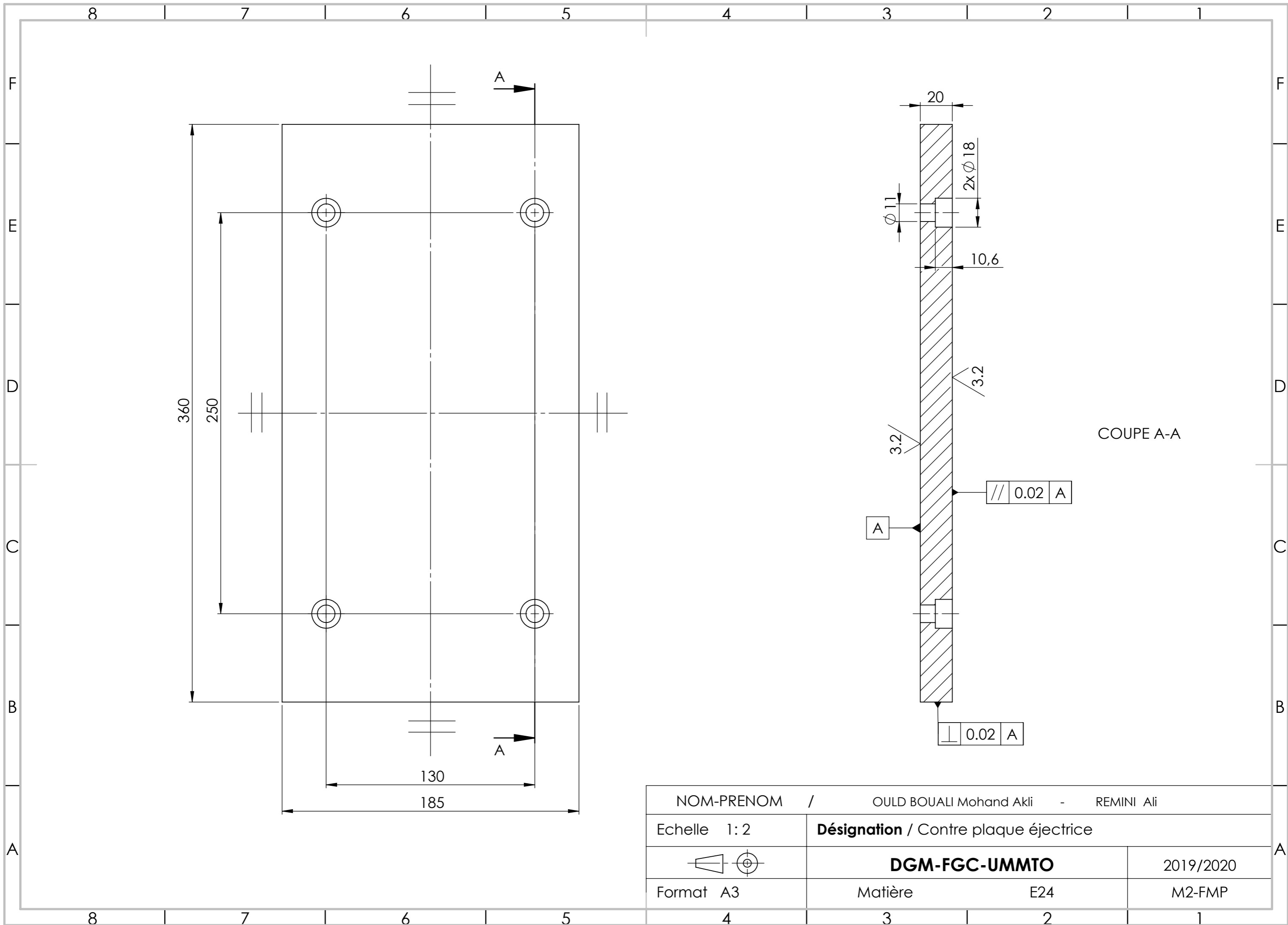


COUPE A-A

NOM-PRENOM / OULD BOUALI Mohand Akli - REMINI Ali	
Echelle 1 : 2.5	Désignation / Porte empreinte fixe
	DGM-FGC-UMMTO
Format A3	Matière XC48
	2019/2020
	M2-FMP

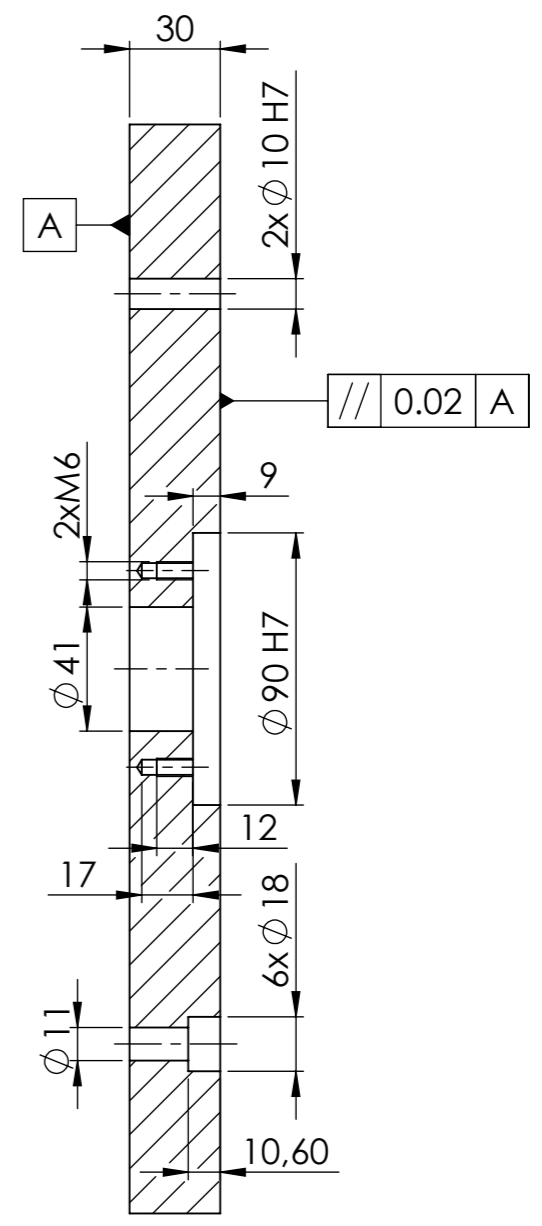
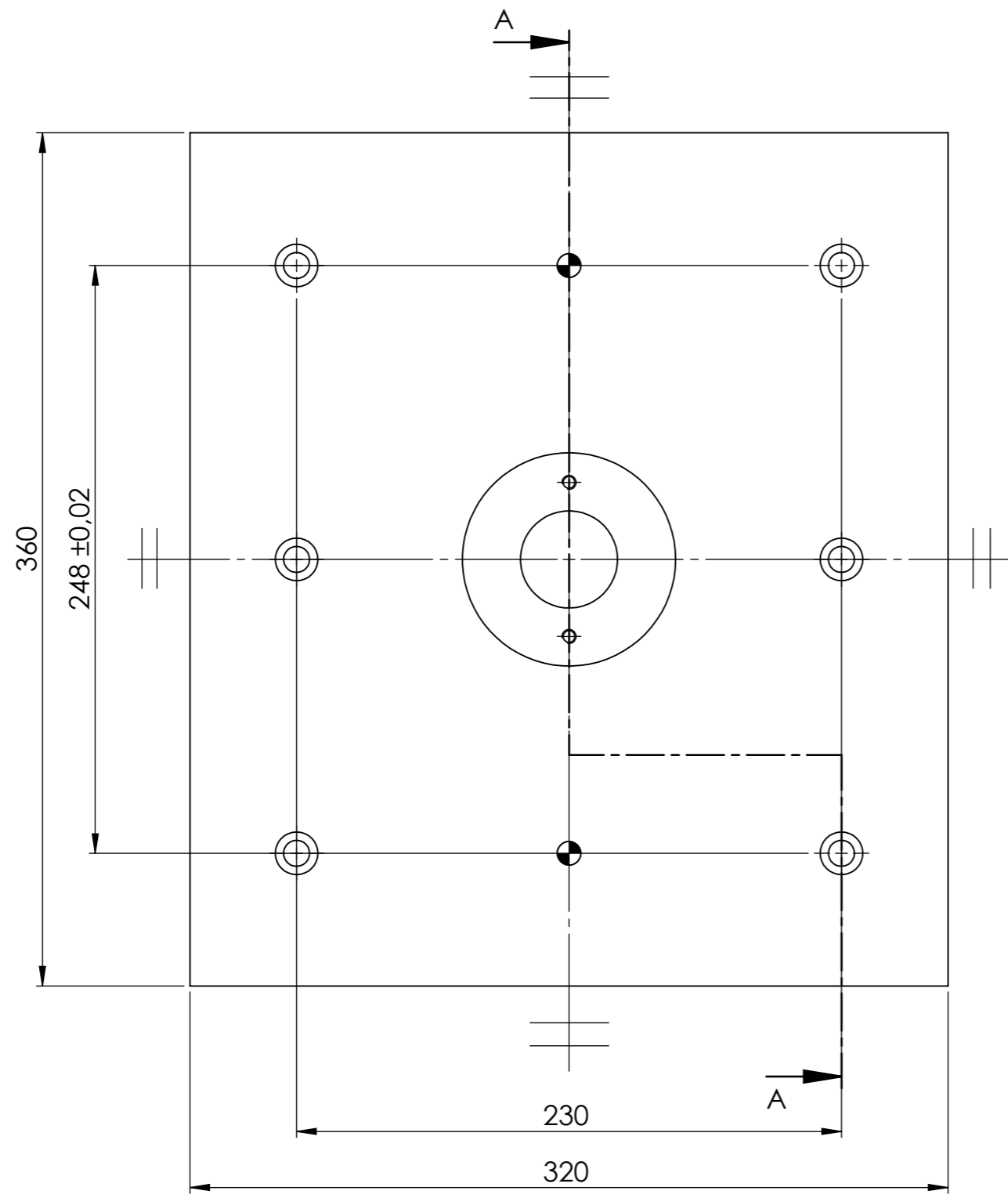


NOM-PRENOM / OULD BOUALI Mohand Akli - REMINI Ali	
Echelle 1 : 2	Désignation / Plaque éjectrice
	DGM-FGC-UMMTO
Format A3	Matière XC48
4	2019/2020
3	M2-FMP
2	1



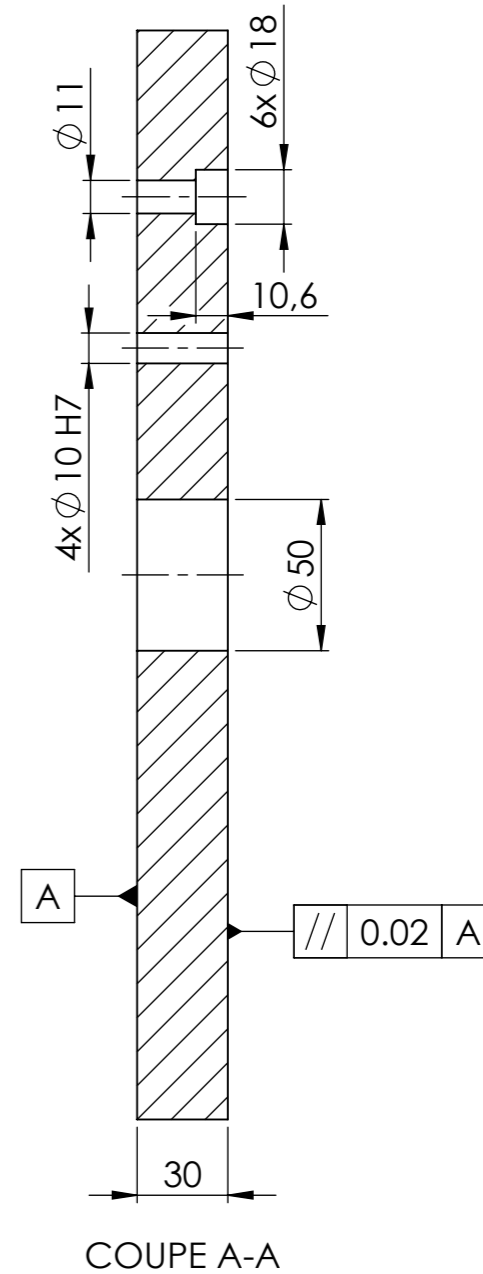
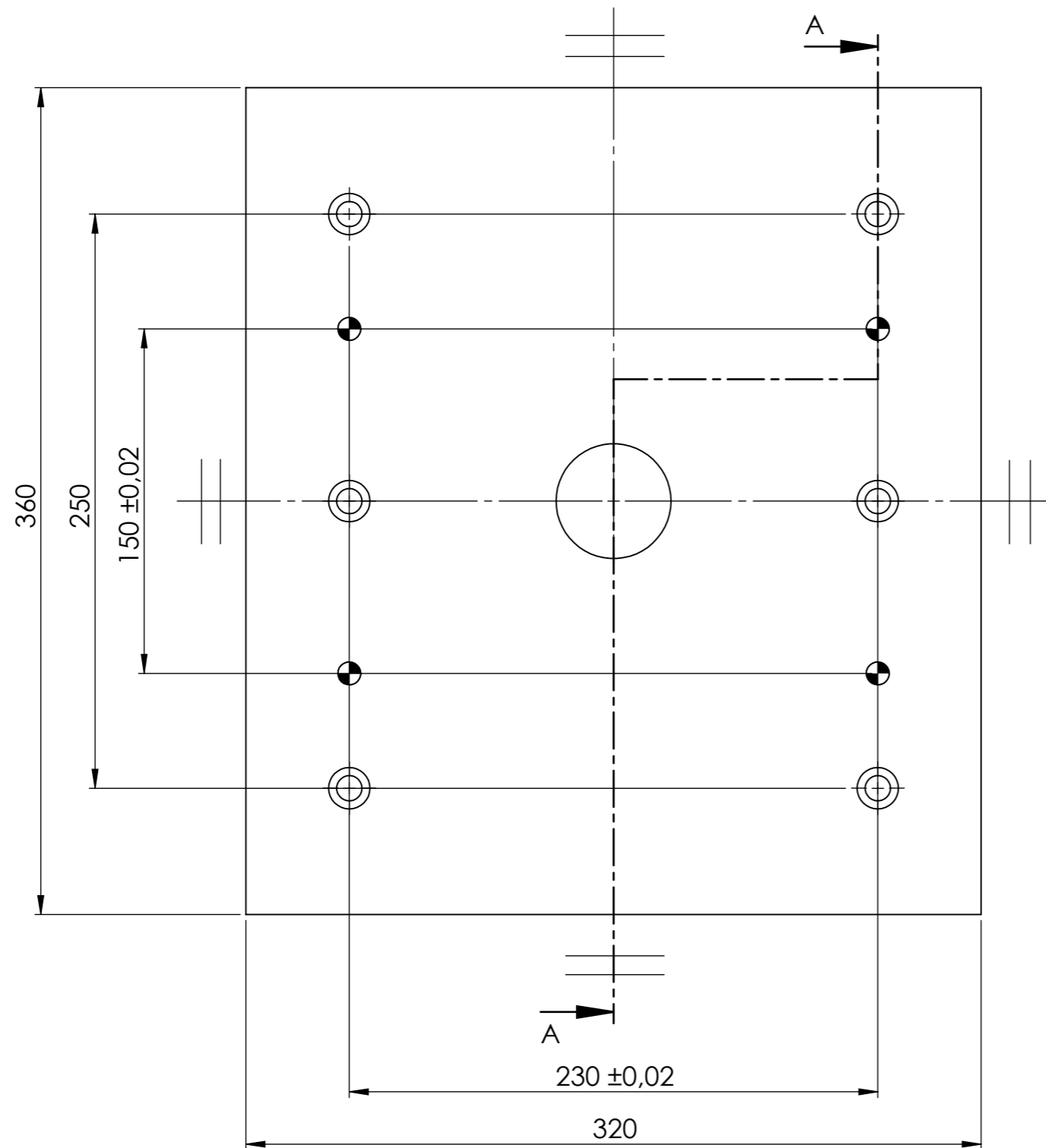
COUPE A-A

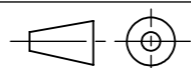
NOM-PRENOM / OULD BOUALI Mohand Akli - REMINI Ali	
Echelle 1:2	Désignation / Contre plaque éjectrice
	DGM-FGC-UMMTO
Format A3	Matière E24
4	2019/2020
3	M2-FMP
2	1

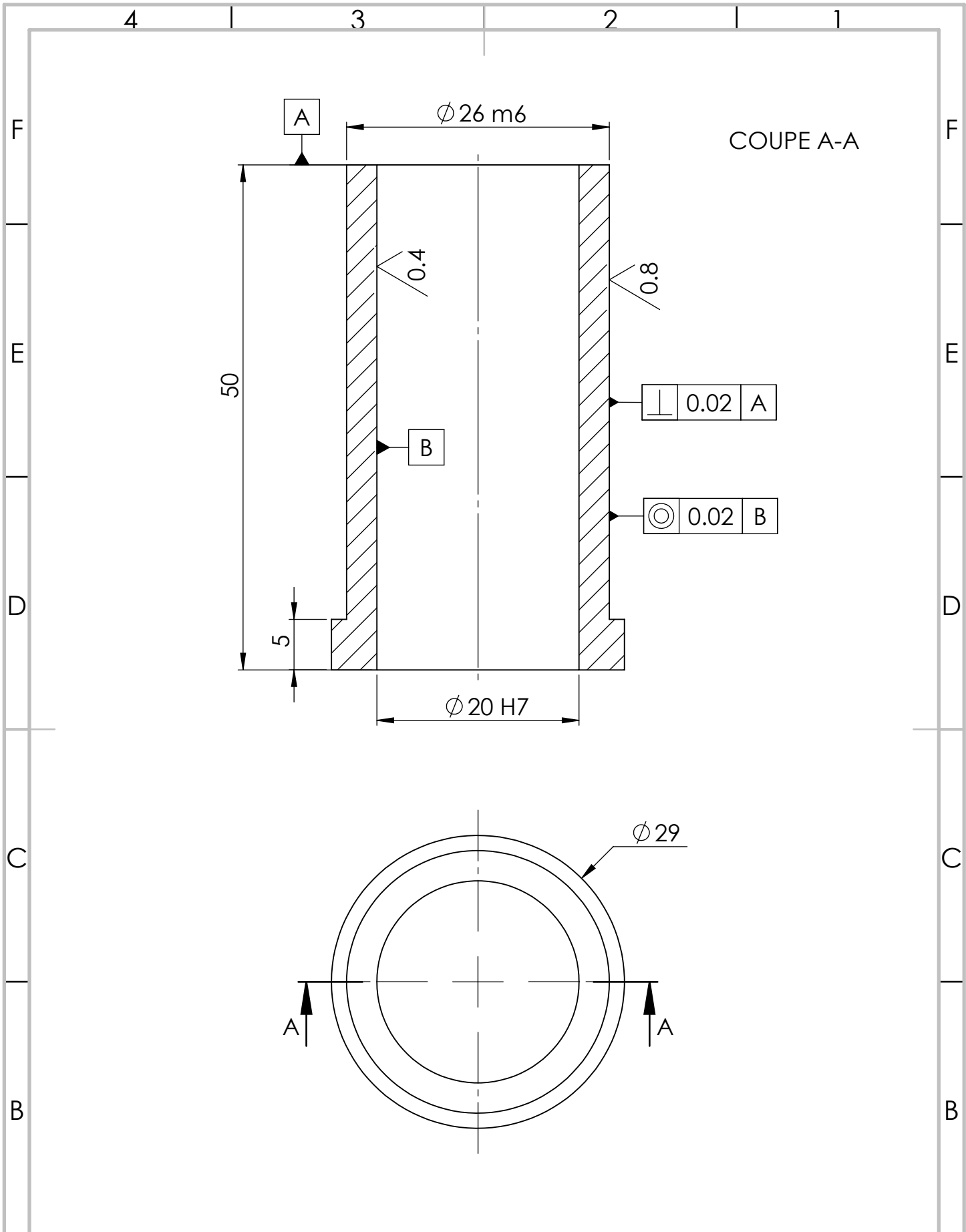


COUPE A-A

NOM-PRENOM / OULD BOUALI Mohand Akli - REMINI Ali	
Echelle 1 : 2.5	Désignation / Semelle fixe
	DGM-FGC-UMMTO
Format A3	Matière E24
	2019/2020
	M2-FMP



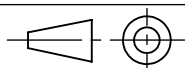
NOM-PRENOM / OULD BOUALI Mohand Akli - REMINI Ali	
Echelle 1:2.5	Désignation / Semelle mobile
	DGM-FGC-UMMTO
Format A3	Matière E24
	2019/2020
	M2-FMP



NOM-PRENOM / OULD BOUALI Mohand Akli - REMINI Ali

Echelle 2:1

Désignation / Bague de guidage D26



DGM-FGC-UMMTO

2019/2020

Format A4

Matière

Z200C12/58-60HRC

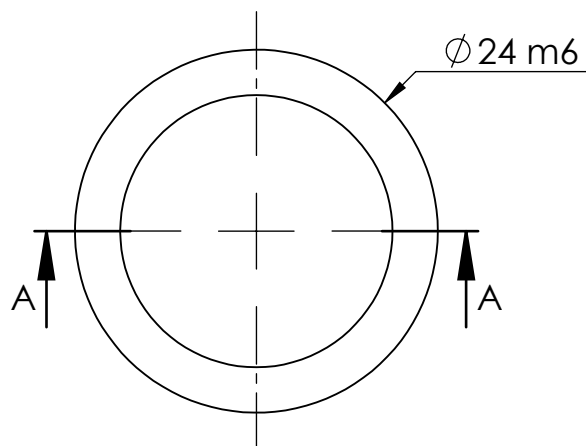
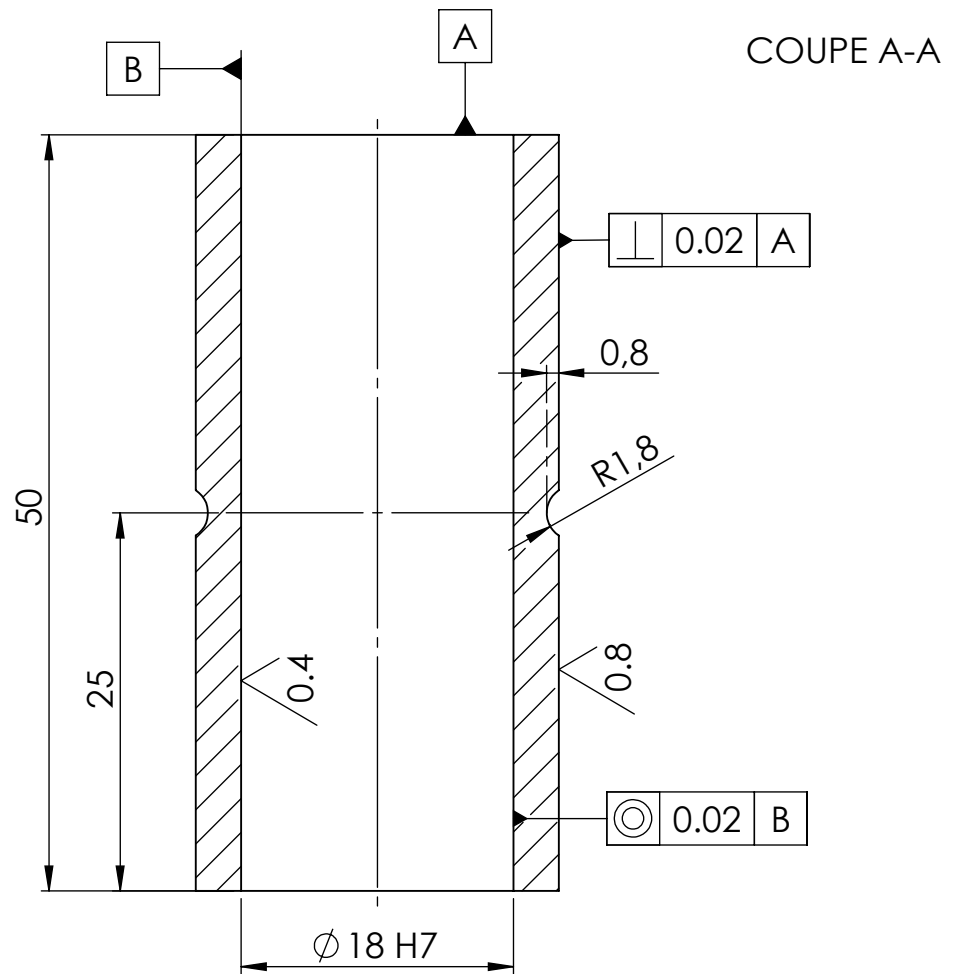
M2-FMP

4

3

2

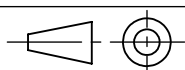
1



NOM-PRENOM / OULD BOUALI Mohand Akli - REMINI Ali

Echelle 2:1

Désignation / Bague de guidage D24



DGM-FGC-UMMTO

2019/2020

Format A4

Matière

Z200C12 / 58-60HRC

M2-FMP

4

3

2

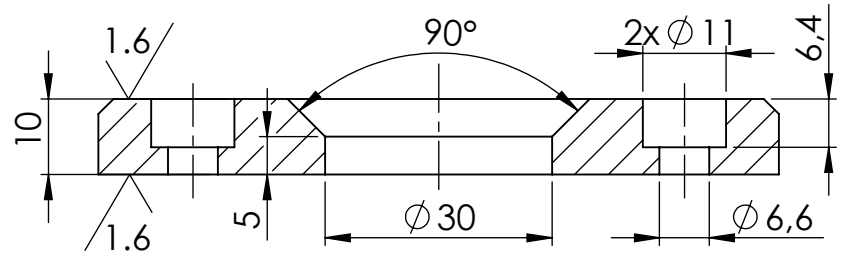
1

4 3 2 1

F

F

COUPE A-A

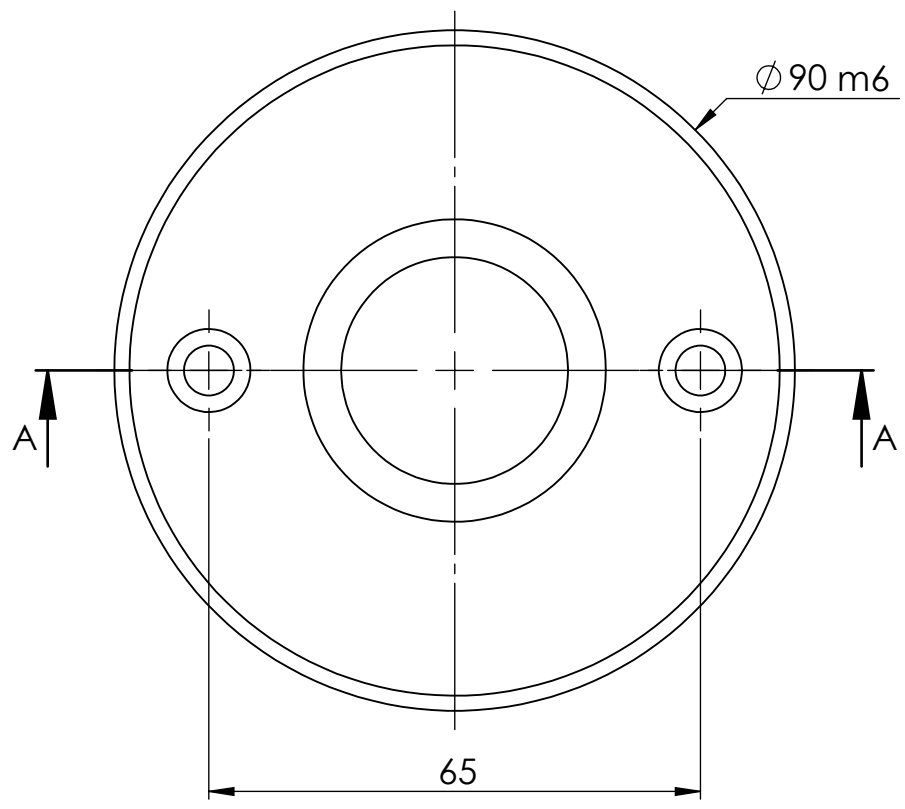


E

E

D

D



C

C

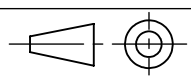
B

B

NOM-PRENOM / OULD BOUALI Mohand Akli - REMINI Ali

Echelle 1:1

Désignation / Bague de centrage



DGM-FGC-UMMTO

2019/2020

Format A4

Matière

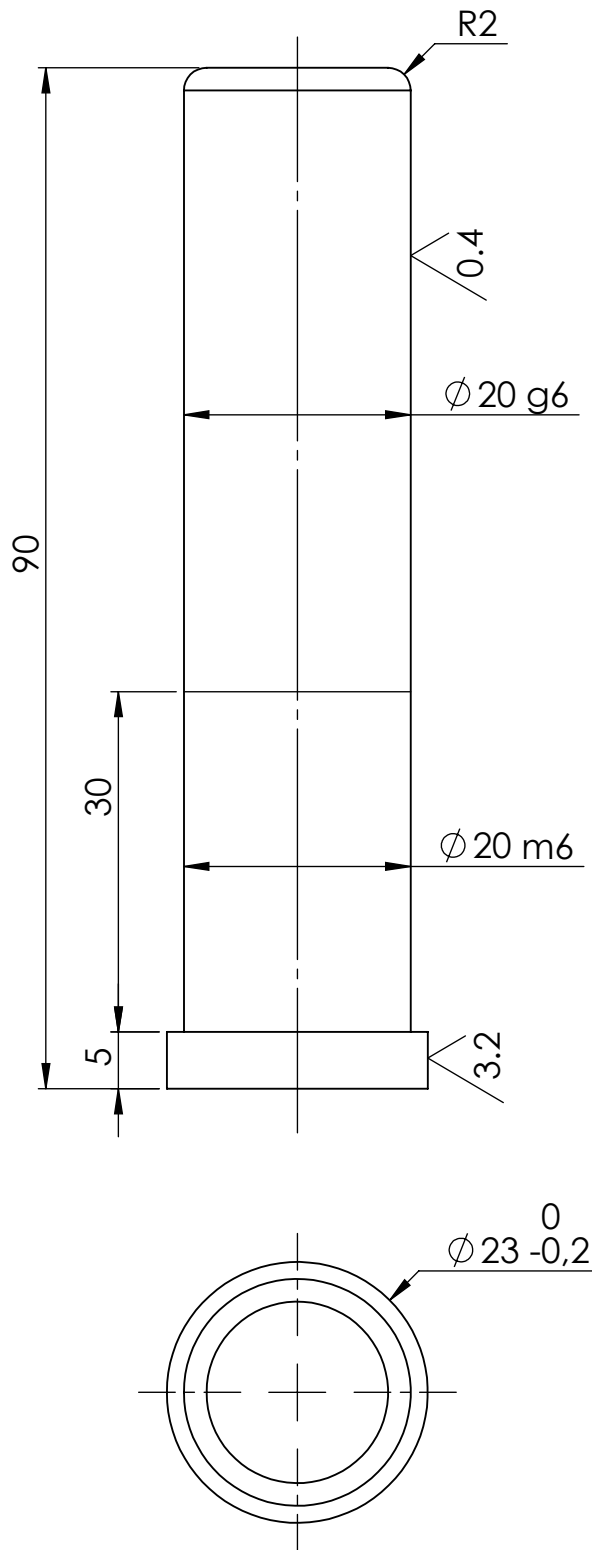
XC38

M2-FMP

4 3 2 1

A

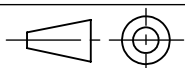
A



NOM-PRENOM / OULD BOUALI Mohand Akli - REMINI Ali

Echelle 1.5 : 1

Désignation / Colonne de guidage



DGM-FGC-UMMTO

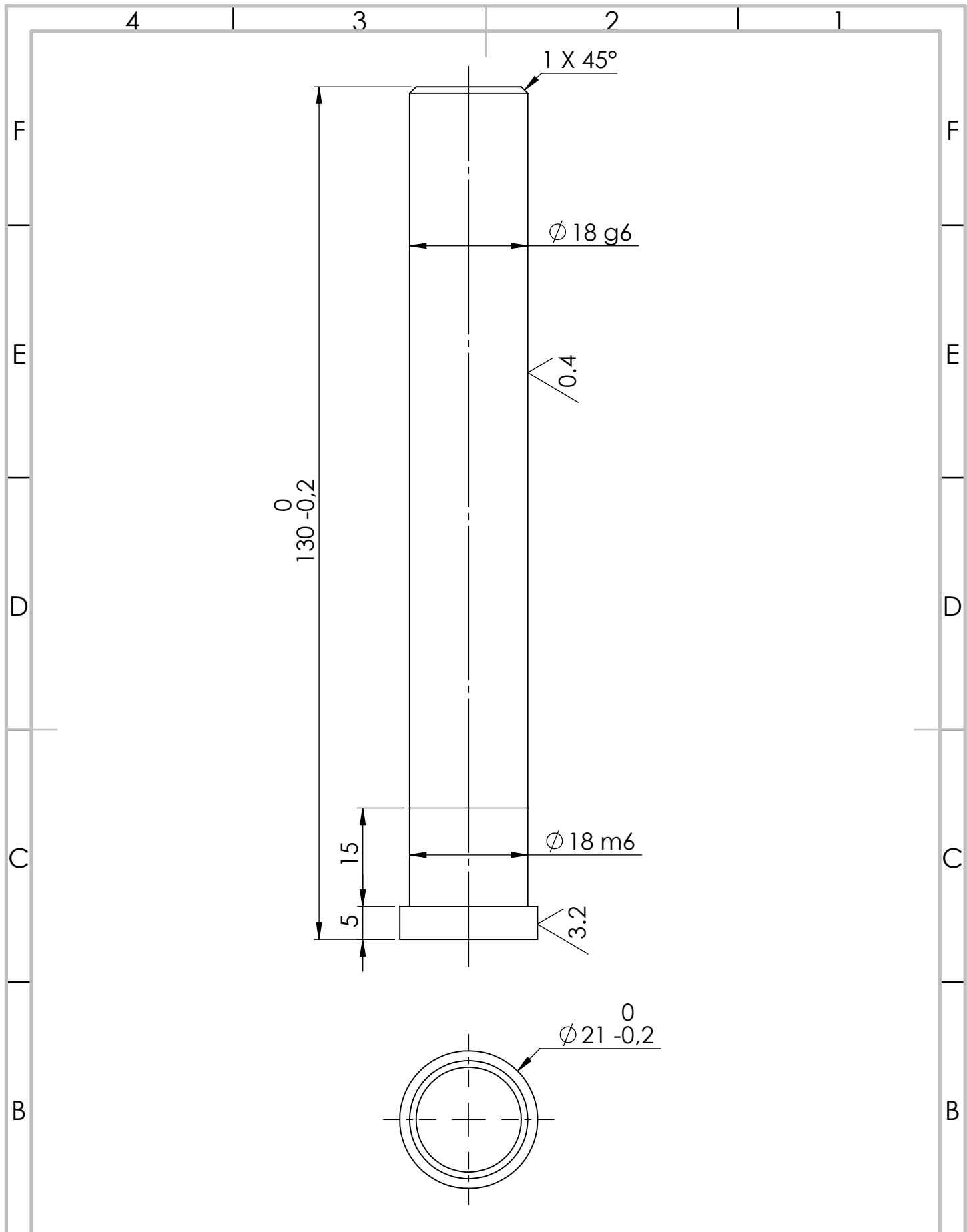
2019/2020

Format A4

Matière

Z200C12 / 58-60HRC

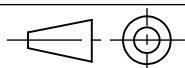
M2-FMP



NOM-PRENOM / OULD BOUALI Mohand Akli - REMINI Ali

Echelle 1.3 : 1

Désignation / Colonne de rappel



DGM-FGC-UMMTO

2019/2020

Format A4

Matière

Z200C12 / 58-60HRC

M2-FMP

4

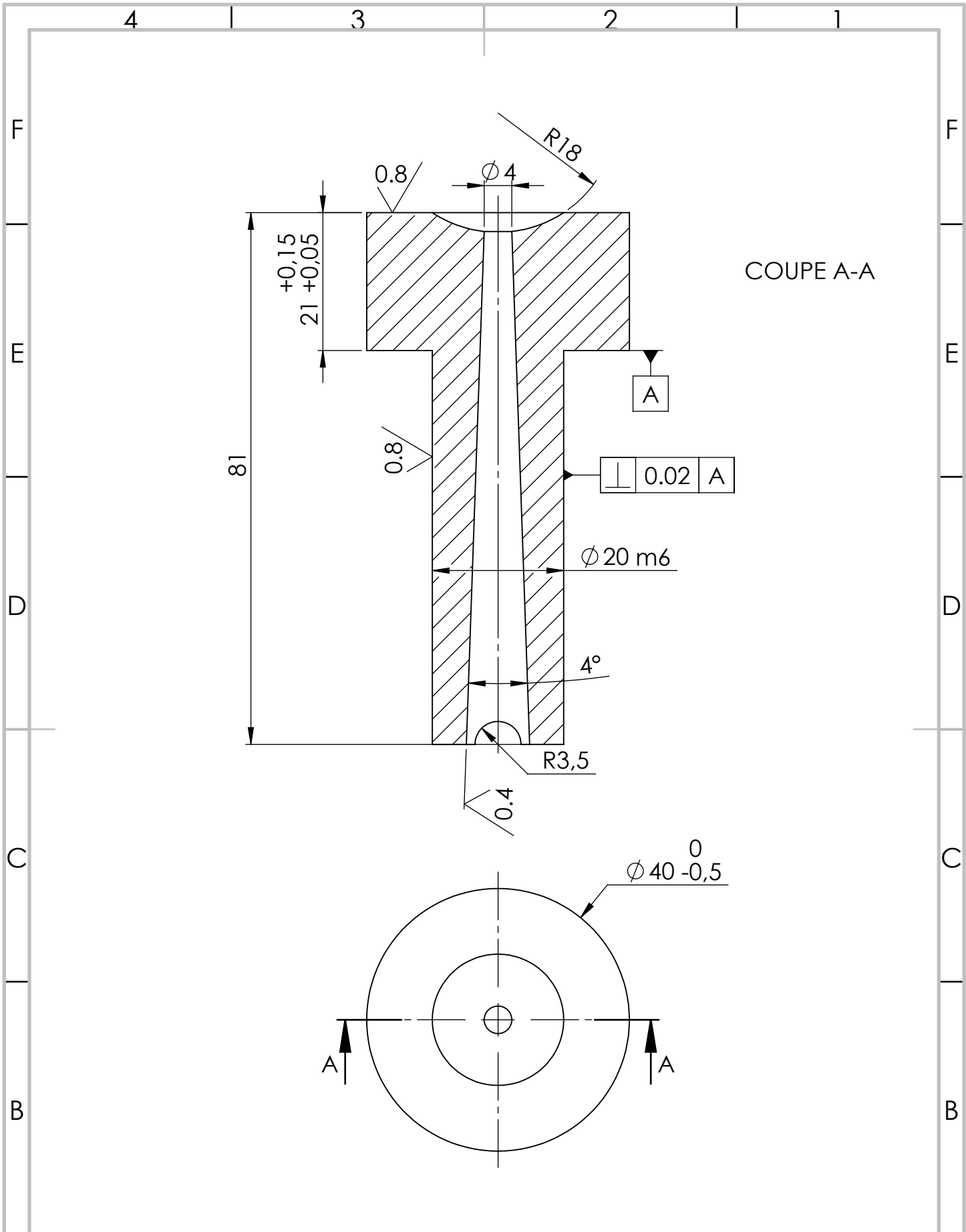
3

2

1

A

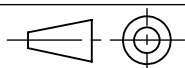
A



NOM-PRENOM / OULD BOUALI Mohand Akli - REMINI Ali

Echelle 1.3:1

Désignation / Buse d'injection D20



DGM-FGC-UMMTO

2019/2020

Format A4

Matière

35NC15

M2-FMP

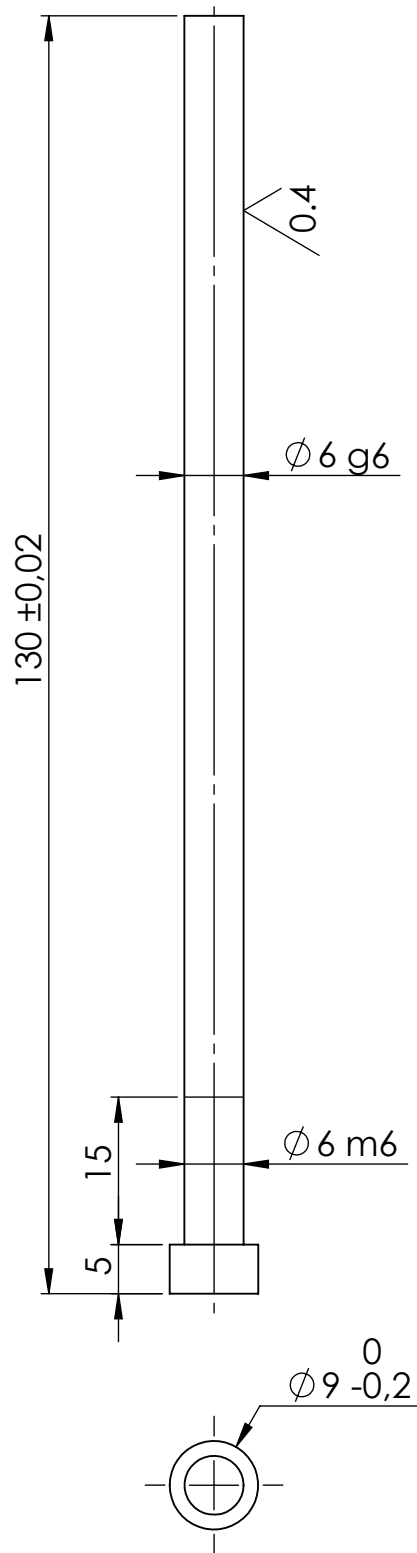
4

3

2

1

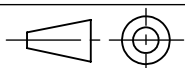
Qté : 04



NOM-PRENOM / OULD BOUALI Mohand Akli - REMINI Ali

Echelle 1.3 : 1

Désignation / Ejecteur D6



DGM-FGC-UMMTO

2019/2020

Format A4

Matière

Stub

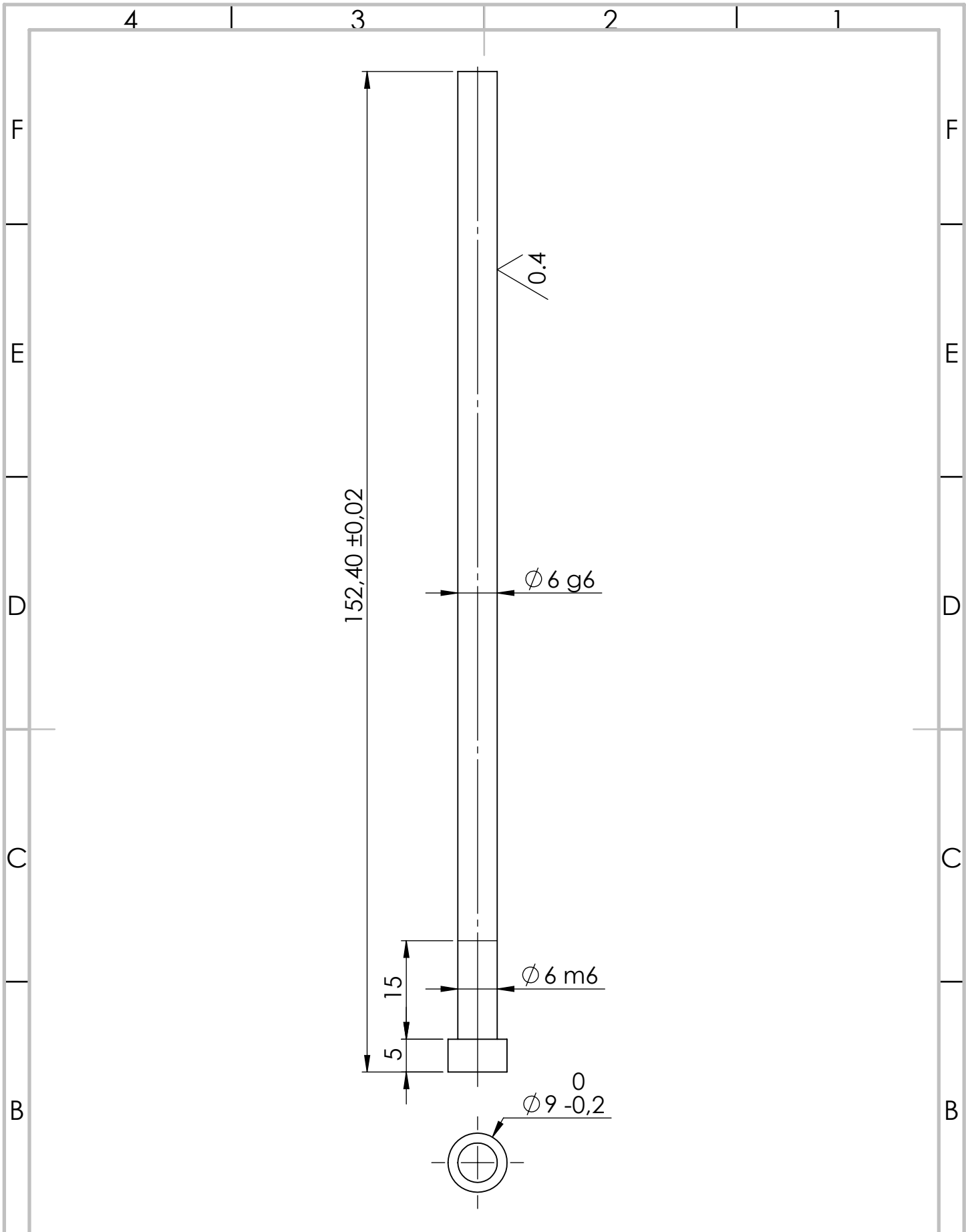
M2-FMP

4

3

2

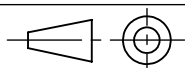
1



NOM-PRENOM / OULD BOUALI Mohand Akli - REMINI Ali

Echelle A3 : 1

Désignation / Ejecteur long



DGM-FGC-UMMTO

2019/2020

Format A4

Matière

Stub

M2-FMP

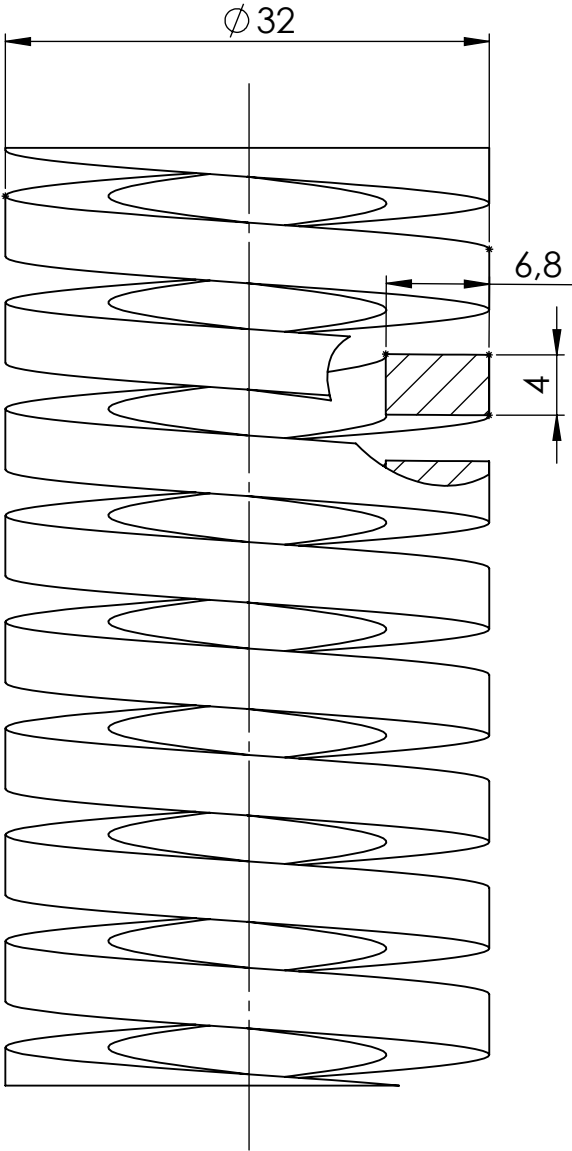
4

3

2

1

Qté : 04

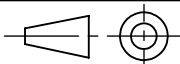


Couleur Bleue -charge moyenne

NOM-PRENOM / OULD BOUALI Mohand Akli - REMINI Ali

Echelle 2:1

Désignation / Ressort D32



DGM-FGC-UMMTO

2019/2020

Format A4

Matière

/

M2-FMP

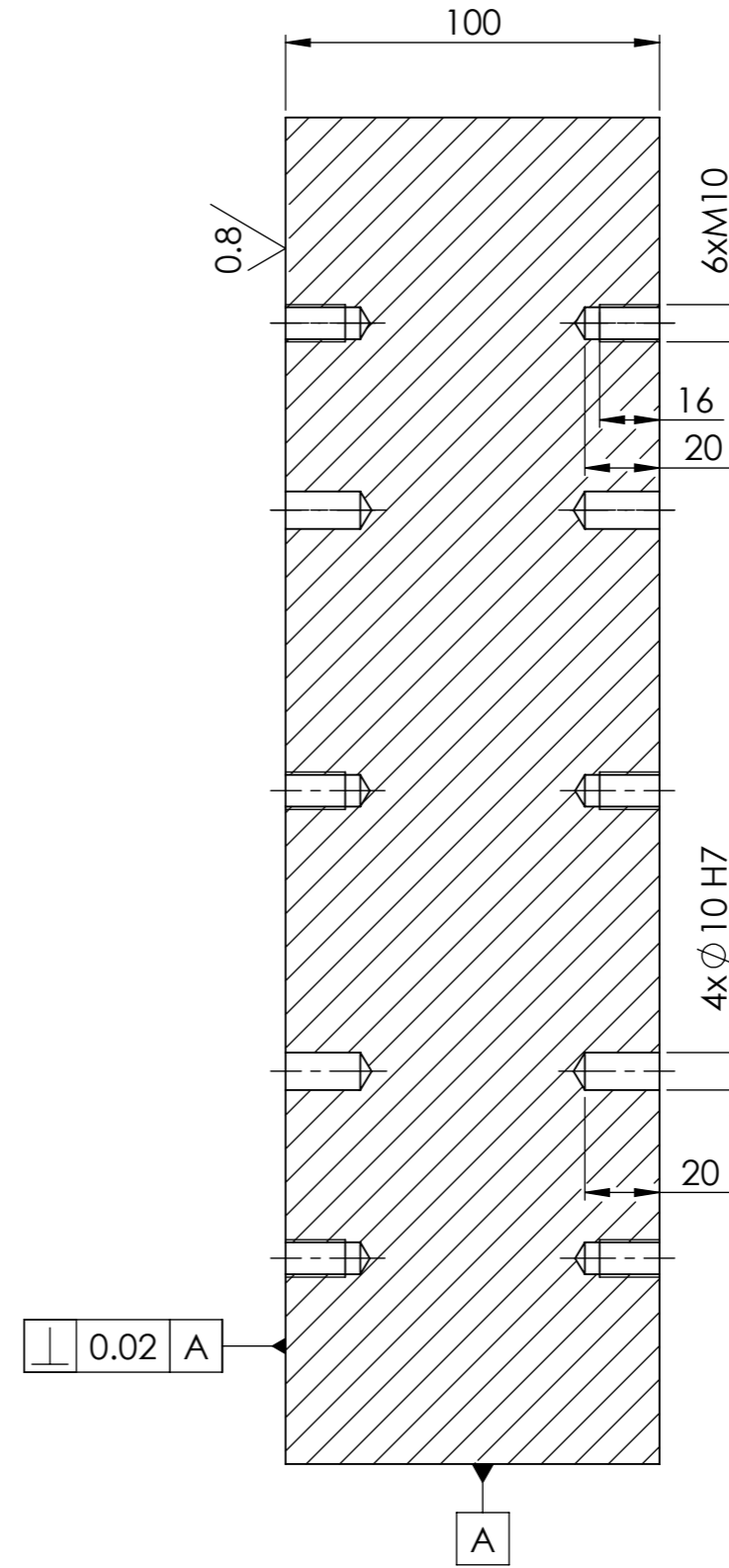
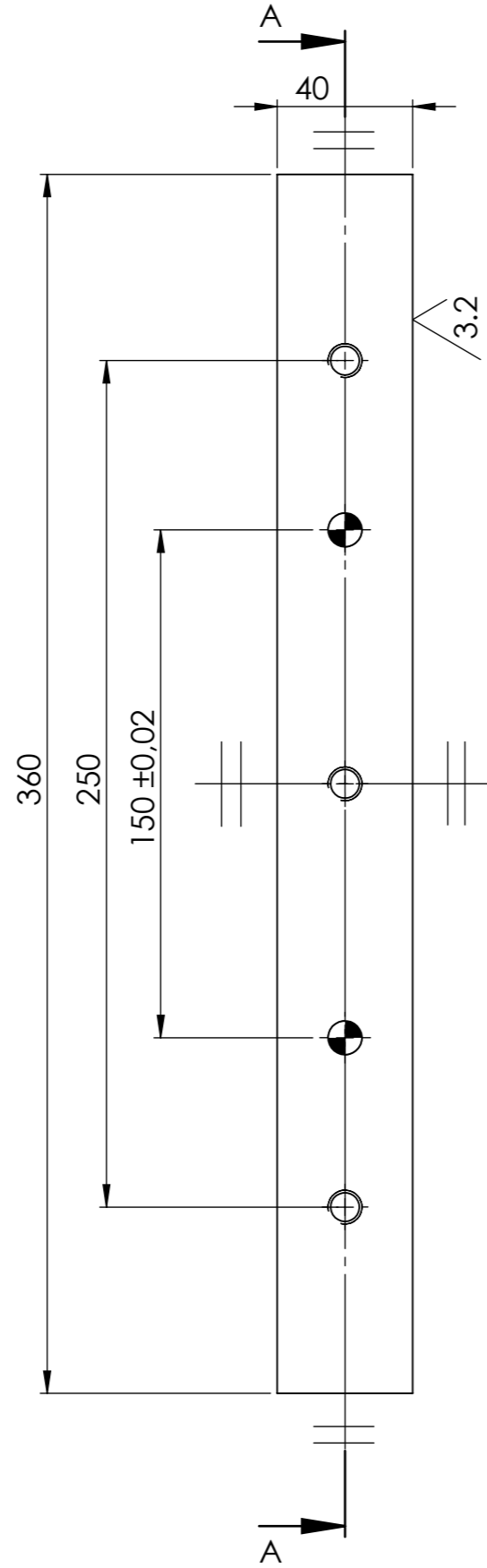
4

3

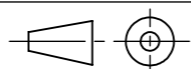
2

1

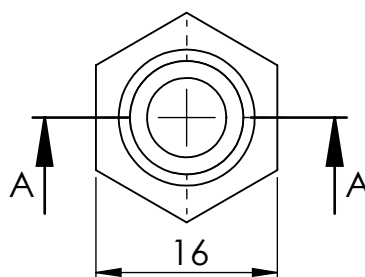
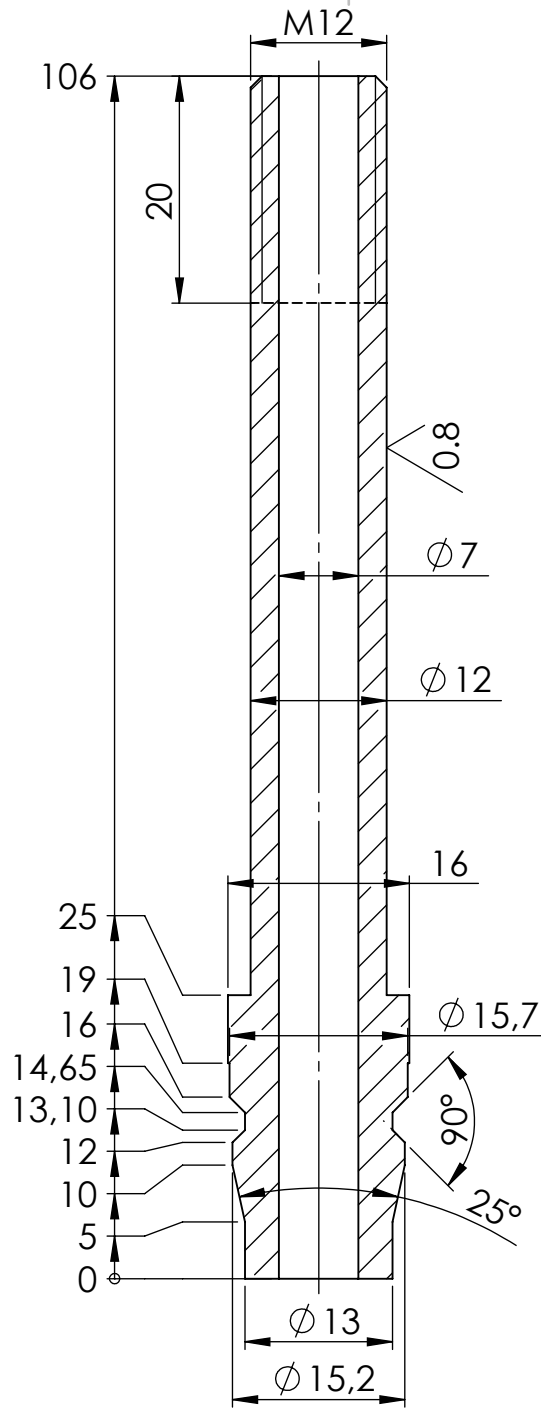
Qté : 02



COUPE A-A

NOM-PRENOM / OULD BOUALI Mohand Akli - REMINI Ali	
Echelle 1 : 2	Désignation / Tasseau
	DGM-FGC-UMMTO
Format A3	Matière E24
	2019/2020
	M2-FMP

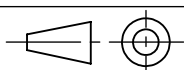
Qté : 18



NOM-PRENOM /

Echelle 1.5 : 1

Désignation / Tétine



DGM-FGC-UMMTO

2019/2020

Format A4

Matière

Cuivre

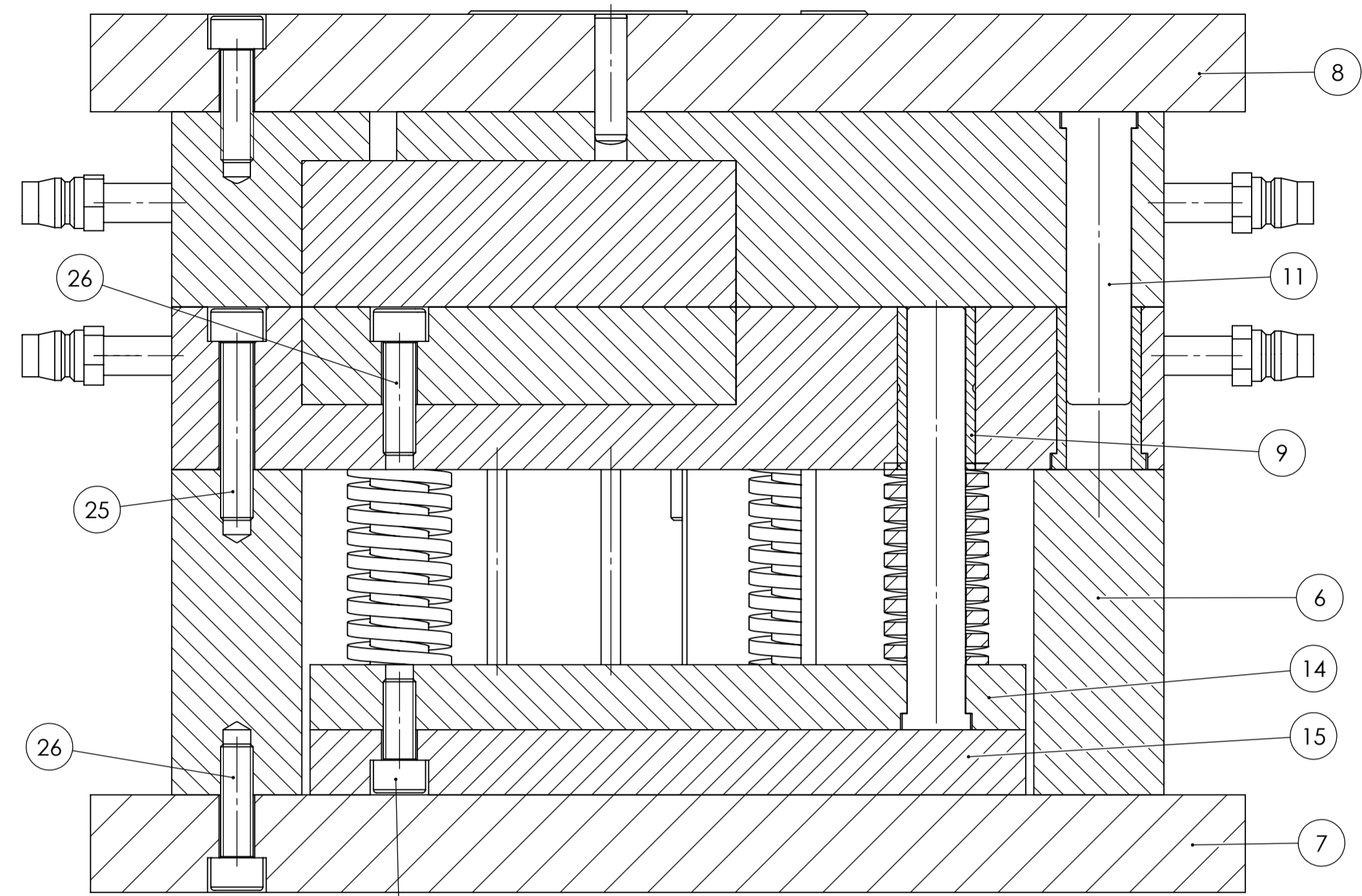
M2-FMP

4

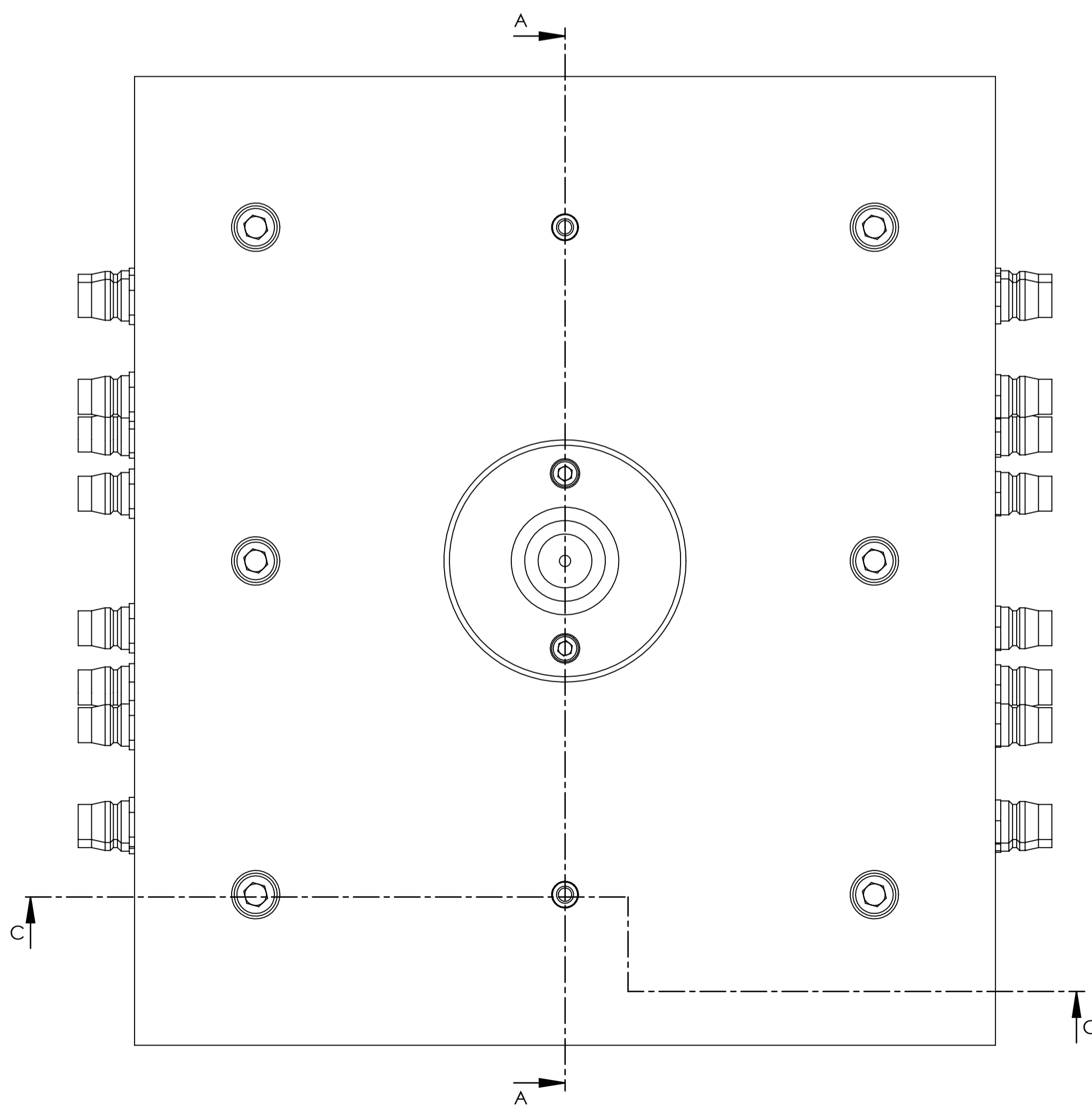
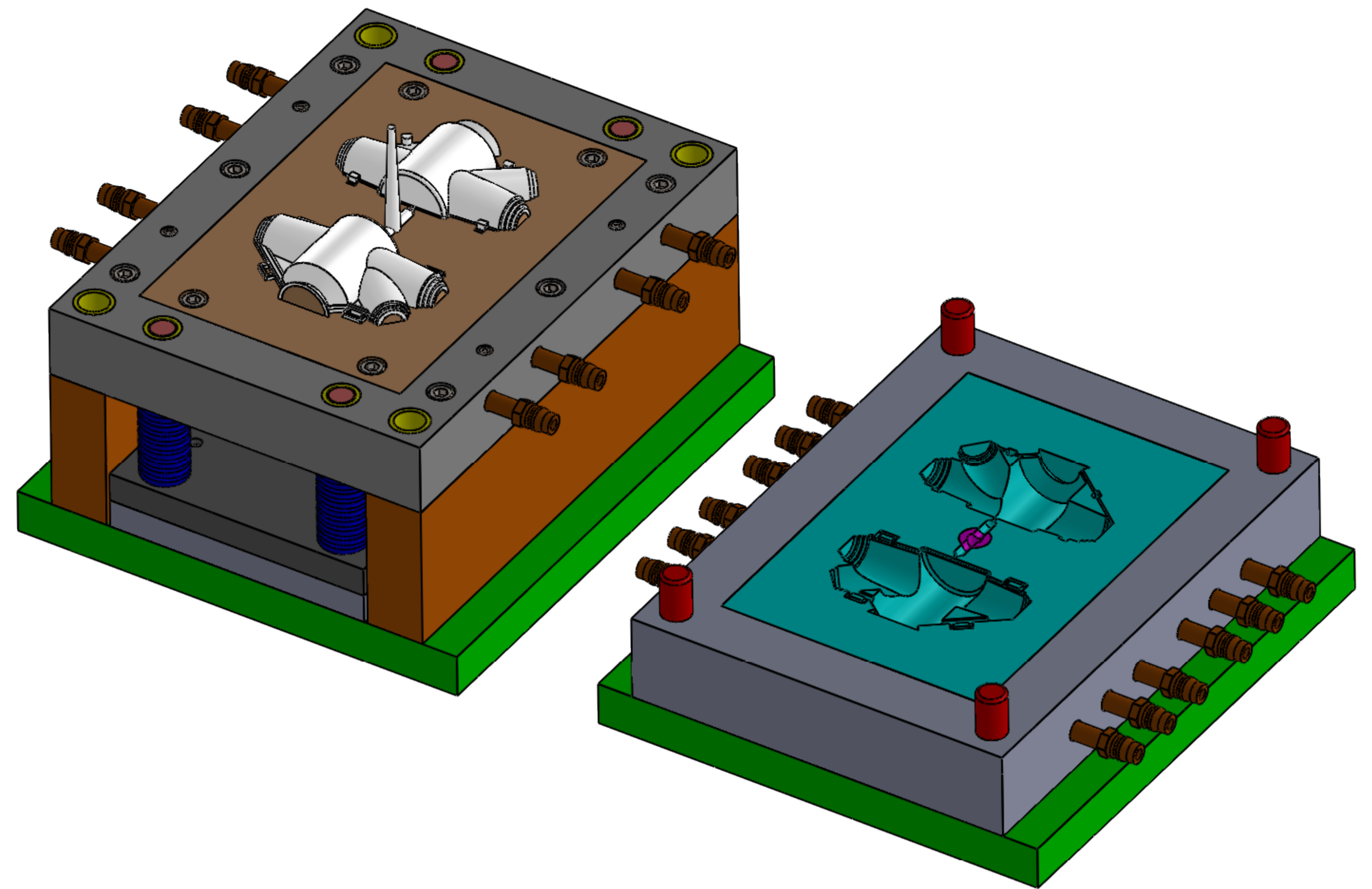
3

2

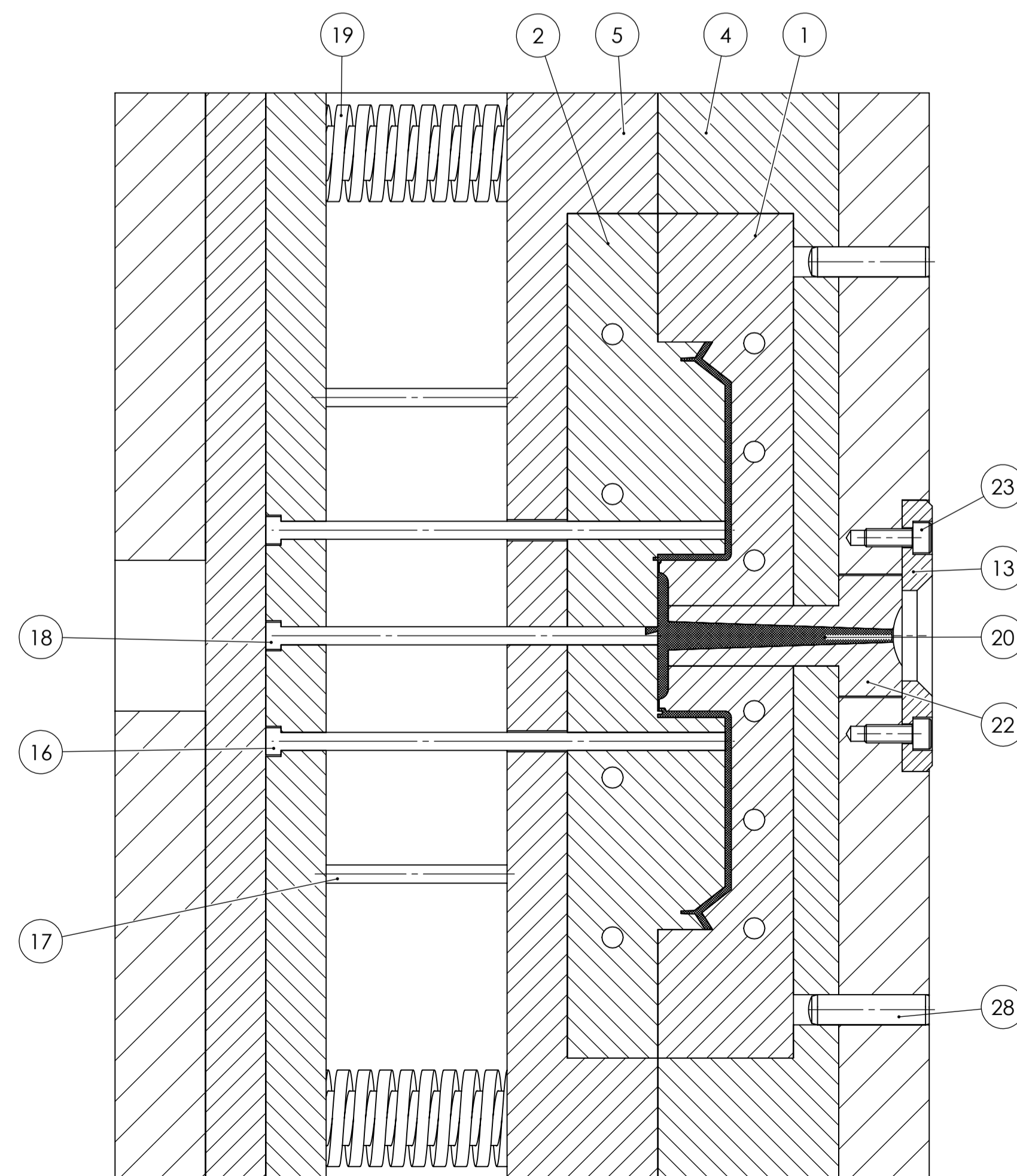
1



COUPE C-C



COUPE A-A



29	Goupille D10x45	/	4
28	Goupille D10x40	/	2
27	Goupille D10x65	/	4
26	Vis CHC M10 x 35	/	16
25	Vis CHC M10 x 55	/	6
24	Vis CHC M10 x 25	/	4
23	Vis CHC M6 x 16	/	2
22	Buse d'injection D20	35NC15	1
21	Tetine	Cuivre	20
20	Grappe	PE	1
19	Ressort D32	/	4
18	Ejecteur 03	Stub	1
17	Ejecteur 02	Stub	4
16	Ejecteur	Stub	2
15	Contre plaque éjectrice	E24	1
14	Plaque éjectrice	XC48	1
13	Bague de centrage	XC38	1
12	Colonne de rappel	Z200C12	4
11	Colonne de guidage	Z200C12	4
10	Bague de guidage D26	Z200C12	4
9	Bague de guidage D24	Z200C12	4
8	Semelle fixe	E24	1
7	Semelle mobile	E24	1
6	Tasseaux	E24	1
5	Porte empreinte mobile	XC48	1
4	Porte empreinte fixe	XC48	1
3	Insert- Empreinte	35NCD16	1
2	Empreinte mobile	35NCD16	1
1	Empreinte fixe	35NCD16	1
No. ARTICLE	NUMERO DE PIECE	DESCRIPTION	QTE

NOM / PRENOM OULD BOUALI Mohand Akli - REMINI Ali

Echelle 1:1.5 Désignation / Moule Boîtier de jonction



DGM-DGC-UMMTO 2019 / 2020

Format A2 Matière / M2-FMP