

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

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



Domaine : Génie Mécanique

Spécialité : Fabrication Mécanique et Productique

Mémoire de Master

Thème :

**Etude et réalisation d'un moule d'injection
plastique**

**Proposé et dirigé par :
Mr. ABADA**

**Présenté par :
Ayouch Oussama
Aouicha Mustapha
Seraya Islem**

Année universitaire 2020/2021

DEDICACES

On dédie ce modeste travail,

*À Nos chers parents pour lesquels aucune dédicace ne saurait
exprimer le respect, l'amour, l'estime, le dévouement, et la
reconnaissance qu'on a toujours eu pour eux.*

*À nos chers amis et collègues, qu'ils trouvent dans ce travail
l'expression de notre profond respect et reconnaissance. En
témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les
moments passés ensemble.*

Remerciements

On tient a remercié avant tout Allah le tout puissant de nous avoir donné la foi, la volonté et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Au terme de ce travail réalisé dans le cadre du projet de fin d'études en Master en Fabrication mécanique et productique, effectué sous la direction de Mr. ABADA.

Nos sincères remerciements d'avoir accepté de diriger ce travail ainsi que pour son entière disponibilité et ses précieux conseils durant toute la période de l'élaboration de ce travail.

Nos salutations les plus sincères à tout le cadre professoral et administratif de l'Université SAAD DAHLB BLIDA 1.

Nos remerciements les plus chaleureux s'adressent aux membres du jury qui nous ferons honneur et amabilité en évaluant notre modeste travail.

Enfin Nous remercie tous ceux qui ont participés de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : GENERALITE SUR LE MOULAGE ET LES MATIERES PLASTIQUE	2
I GENERALITES	3
I.1 INTRODUCTION	3
I.2 LE MOULE	4
I.2.1. DEFINITION	4
I.2.2. DIFFERENTS TYPES DE MOULES	4
I.3 LES TYPES DE MOULAGES	4
I.3.2. MOULAGE EN SABLE	5
I.3.2.1 MOULAGE EN SABLE MANUEL	6
I.3.2.2 MOULAGE EN SABLE MECANIQUE	7
I.3.3 MOULAGE EN CARAPACE (PROCEDE CRONING)	7
I.3.4 MOULAGE A LA CIRE PERDUE	8
I.3.5 MOULAGE EN COQUILLE	8
I.3.6 MOULAGE PAR CENTRIFUGATION	9
I.4 DEFAUT DE MOULAGE	10
I.5 GÉNÉRALITES SUR LES MATIERES PLASTIQUES	11
I.5.1 INTRODUCTION	11
I.6. LES PLASTIQUES	12
I.7. LES POLYMERES	12
I.7.1. DEFINITION D'UN POLYMERE	12
I.7.2. CLASSIFICATION	12
I.7.3 THERMOPLASTIQUES	13
I.7.3.1. POLYMERES AMORPHES	13
I.7.3.2. POLYMERES CRISTALLINS	13
I.7.3.3. POLYMERES SEMI-CRISTALLINS	13
I.7.3.4. LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DES THERMOPLASTIQUES	14
II.7.4 THERMODURCISSABLES	14
I.7.4.2. LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DES THERMODURCISSABLES	15

I.7.5. LES ELASTOMERES	15
I.8. LES CARACTERISTIQUES DES POLYMERES SYNTHETIQUES LES PLUS UTILISES	16
I.8.1. LE POLYPROPYLENE (PP)	16
I.8.2. LE POLYETHYLENE (PE BD)	17
I.8.3. PROPRIETES MECANIQUES DES MATIERES PLASTIQUES	17
II.9. CONCLUSION	17
CHAPITRE II : PROCEDE DE PRODUCTION PAR INJECTION PLASTIQUE	18
II.1. INTRODUCTION	19
II.2. DEFINITION DU PROCEDE	19
II.3. PRINCIPE DU PROCEDE	19
II.4. DEROULEMENT DU CYCLE D'INJECTION	19
II.4.1. PHASES DE MOULAGE PAR INJECTION	20
II.4.1.1. LA PHASE DE PLASTIFICATION	21
II.4.1.2. LA PHASE DE REMPLISSAGE	21
II.4.1.3. LA PHASE DE COMPACTAGE	22
II.4.1.4. LA PHASE DE REFROIDISSEMENT ET D'EJECTION	23
II.4.2. CYCLE DE L'INJECTION PLASTIQUE	24
II.5. ETUDE DE LA PRESSE A INJECTION	24
II.5.1. LA STRUCTURE DE PRESSE D'INJECTION	25
II.5.2. DESCRIPTION D'UNE PRESSE A INJECTION	26
II.5.3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	27
II.5.4. CARACTERISTIQUES DES PRESSES D'INJECTION	27
II.6. LE MOULE	27
II.6.1. DEFINITION	27
II.6.1.2 NOMENCLATURE DU MOULE D'INJECTION	29
II.6.2. LES PARTIES DE MOULE	30
II.6.3 ROLES DES ELEMENTS PRINCIPAUX DU MOULE D'INJECTION	31
II.6.4 LES FONCTIONS D'UN MOULE D'INJECTION	31
II.6.4.1 FONCTION MISE EN FORME OU EMPREINTE	32
II.6.4.2. FONCTION CENTRAGE GUIDAGE ET POSITIONNEMENT	32
II.6.4.2.2. LE GUIDAGE DES PARTIES FIXE ET MOBILE DU MOULE	33
II.6.4.3. FONCTION ALIMENTATION	35

II.6.4.3.2. LES POINTS D'INJECTION	36
II.6.4.3.3. LES CANAUX D'ALIMENTATION (IMPLANTATION DES EMPREINTES)	37
II.6.4.3.4. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES DIFFERENTS FORMES DES CANAUX D'ALIMENTATION	39
II.6.4.4. FONCTION REGULATION ET CONTROLE DE TEMPERATURE	39
II.6.4.4.1. CALCUL DU TEMPS DE REFROIDISSEMENT	40
II.6.4.4.2. REFROIDISSEMENT EN PLATEAU ET REFROIDISSEMENT SPIRALE	40
II.6.4.5. FONCTION EJECTION	41
II.6.4.5.1. LES TYPES D'EJECTEURS	41
II.6.4.6. FONCTIONS MANUTENTION, STOCKAGE, SECURITE ET LIAISON MACHINE	43
II.6.5. LES TYPES DE MOULE D'INJECTION	44
II.6.5.1. MOULE A DEUX PLAQUES	44
II.6.5.2. MOULE A TROIS PLAQUES	44
II.6.5.3. MOULE A TIROIRS	45
II.6.5.4. LES MOULES A CANAUX CHAUDS	45
II.6.5. MATERIAUX UTILISES POUR LA FABRICATION DES MOULES	46
CHAPITRE III : CONCEPTION ET REALISATION D'UN MOULE D'INJECTION	48
III.1. CONCEPTION DE MOULE	49
III.1.1. INTRODUCTION	49
III.1.2. DEFINITION DE MOULE	49
III.1.2. CONCEPTION DES PIECES SUR SOLIDWORKS	50
III.2. REALISATION DU MOULE	56
III.2. LES PROCEDES D'USINAGE DE MOULE	56
III.2.1. LE FRAISAGE	56
III.2.1.2 LES CONDITIONS DE COUPE DE FRAISAGE	57
III.2.1.2.1 LA VITESSE DE COUPE	57
III.2.1.2.2 LA VITESSE DE BROCHE	57
III.2.1.2.3. LA VITESSE D'AVANCE	58
III.2.1.3. LE MATERIEL UTILISE	59
III.2.2. LE TOURNAGE	59
III.2.2.2 LES CONDITIONS DE COUPE DE TOURNAGE	60
III.2.2.2.1. LA VITESSE DE COUPE	60

III.2.2.2.2. LA VITESSE D'AVANCE	61
III.2.2.3. LE MATERIEL UTILISE	62
III.2.3. LE PERÇAGE	62
III.2.3.2. CONDITIONS DE COUPE	62
III.2.4. LA RECTIFICATION	64
III.2.4.1. LES CONDITIONS DE RECTIFICATION	64
III.2.4.2. LE MATERIEL UTILISE	64
III.2.5. LA MATIERE UTILISEE	65
III.2.6. CENTRE D'USINAGE CNC	66
III.2.6.1. STRUCTURE ET CONTENU D'UN PROGRAMME CN EN CODE G	66
III.2.6.2. CONTENU D'UN PROGRAMME CN EN CODE G	67
III.2.6.2.1. LE DEBUT DU PROGRAMME	67
III.2.6.2.2. DECALAGE D'ORIGINE, G54 A G57, G505 A G599	67
III.2.6.3. PROGRAMMATION DES INSTRUCTIONS DE DEPLACEMENT	68
III.2.6.3.1. DEPLACEMENT EN RAPIDE, G0	68
III.2.6.3.2. INTERPOLATION LINEAIRE, G1	68
III.2.6.3.3. INTERPOLATION CIRCULAIRE, G2/G3	69
III.2.6.4. PROGRAMMATION DES DEPLACEMENTS CIRCULAIRES	70
III.2.6.4.2. SELECTION ET CHANGEMENT D'OUTIL AVEC SON CORRECTEUR	71
III.2.6.4.3. CORRECTION DU RAYON DE LA FRAISE, G41/G42	71
III.2.6.5. PROGRAMMATION COMPLETE D'EMPREINTE	72
III.2.7. L'ASSEMBLAGE DU MOULE	73
III.2.7.1. LE TARAUDAGE	73
III.2.7.1.1. LE MATERIEL UTILISE	74
III.2.7.1.2. LES VIS UTILISEES	74
III.2.8. CONCLUSION	75
CONCLUSION GENERALE	76
BIBLIOGRAPHIE	77
ANNEXES	79

Liste des Figures

FIG. (I.1) : SCHEMA D'UN MOULE	3
FIG. (I.2) : LES PARTIES ESSENTIELLES D'UN MOULE EN SABLE	5
FIG. (I.3) : LES OPERATIONS DE MOULAGE EN SABLE	6
FIG. (I.4) : LES OPERATIONS DE MOULAGE EN SABLE MANUEL	7
FIG. (I.5) : MOULAGE EN CARAPACE	8
FIG. (I.6) : LES CHAPES (MOULAGE EN COQUILLE)	9
FIG. (I.7) : REPARTITION DES PARTICULIERS DE METAL	10
FIG. (I.8) : DOMAINES D'APPLICATION DES PLASTIQUES	11
FIG. (I.9) : REPARTITION DE LA PRODUCTION MONDIALE DE PLASTIQUE	11
FIG. (I.10) : STRUCTURES DES CHAINES MOLECULAIRES	13
FIG. (I.11) : MORPHOLOGIE DES THERMOPLASTIQUES [5]	14
FIG. (I.12) : MORPHOLOGIE DES THERMODURCISSABLES	15
FIG. (II.1) : PRESSE D'INJECTION. [7]	20
FIG. (II.2) : DEROULEMENT DU CYCLE D'INJECTION. [7]	20
FIG. (II.3) : PHASE DE PLASTIFICATION [8]	21
FIG. (II.4) : PHASE DE REMPLISSAGE. [8]	22
FIG. (II.5) : PHASE DE COMPACTAGE. [8]	22
FIG. (II.6) : PHASE DE REFROIDISSEMENT ET D'EJECTION DE LA PIECE [8]	23
FIG. (II.7) : DEROULEMENT D'UN CYCLE D'INJECTION [9]	23
FIG. (II.8) : CYCLE DU MOULAGE PAR INJECTION. [9]	24
FIG. (II.9) : SCHEMA D'UNE PRESSE A INJECTER ELECTRIQUE A VIS DE PLASTIFICATION. [3]	25
FIG. (II.10) : LA STRUCTURE DE PRESSE D'INJECTION. [8]	25
FIG. (II.11) : CYLINDRE DE PLASTIFICATION ET MOULE. [3]	26
FIG. (II.12) : UN MOULE D'INJECTION PLASTIQUE. [9]	28
FIG. (II.13) : NOMENCLATURE DU MOULE. [9]	29
FIG. (II.14) : LES PARTIES DE MOULE [9]	30
FIG. (II.15) : LES FONCTIONS DE MOULE	32
FIG. (II.16) : CENTRAGE PAR ELEMENTS CONIQUES	33
FIG. (II.17) : DIMENSIONS DE LA COLONNE DE GUIDAGE	34

FIG. (II.18) : DIMENSIONS DE LA BAGUE DE GUIDAGE	34
FIG. (II.19) : ELEMENTS STANDARDS DE GUIDAGE	35
FIG. (II.20) : EXEMPLE D'ALIMENTATION DANS LE MOULE	36
FIG. (II.21) : LES POINTS D'INJECTION	36
FIG. (II.22) : EXEMPLES DE CANAUX D'ALIMENTATIONS	37
FIG. (II.23) : DIFFERENTES IMPLANTATIONS DES EMPREINTES (LES CANAUX)	38
FIG. (II.24) : LES TYPES DE REUNIR D'ALIMENTATION	39
FIG. (II.25) : REFROIDISSEMENT EN PLATEAU (EN SERIE ET EN PARALLELE)	41
FIG. (II.26) : REFROIDISSEMENT EN SPIRALE	41
FIG. (II.27) : DIFFERENT TYPES D'EJECTION	42
FIG. (II.28) : EJECTION PAR PLAQUE DEVETISSEUSE	42
FIG. (II.29) : LES PARAMETRES DE VERIN DE MOULE D'INJECTION	43
FIG. (II.30) : MOULE A DEUX PLAQUES	44
FIG. (II.31) : MOULE A TROIS PLAQUES	44
FIG. (II.32) : MOULE A TIROIRS	45
FIG. (II.33) : MOULE A CANAUX CHAUDS	45
FIG. (II.34) : MATERIAUX UTILISER POUR LA FABRICATION DES PIECES DES MOULES	47
FIG. (III. 1) : LA PIECE	50
FIG. (III. 2) : L'EMPREINTE	50
FIG. (III. 3) : LA BUSE D'INJECTION	51
FIG. (III.4) : LES COLONNES DE GUIDAGE	51
FIG. (III. 5) : LES COLONNES DE RAPPEL	51
FIG. (III. 6) : LES COLONNES SANS TETE	52
FIG. (III. 7) : LES RONDELLES DE CENTRAGE	52
FIG. (III. 8) : LA PLAQUE PORTE EJECTEURS ET LA PLAQUE D'EJECTION	52
FIG. (III. 9) : LES ENTRETOISES	53
FIG. (III. 10) : LES PLAQUES DE FIXATION CF ET CM	53
FIG. (III. 11) : LES PLAQUES PORTES EMPREINTES	54
FIG. (III.12) : LE MOULE EN 3D	54
FIG. (III.13) : VUE ECLATER DU MOULE	55
FIG. (III.14) : FRAISEUSE CONVENTIONNELLE WMW HECKERT FU 400S APUG	56
FIG. (III.15) : OPERATION DE FRAISAGE (USINAGE DE POCHE)	57

FIG. (III.16) : FRAISES A QUEUE CYLINDRIQUE	59
FIG. (III.17) : LA MACHINE DE TOUR CONVENTIONNELLE UTILISE (WMW HECKERT DZFG 200×500)	60
FIG. (III.18) : QUELQUES OPERATIONS DE TOURNAGE	60
FIG. (III.19) : TABLEAU DES VITESSES DE COUPE ET D'AVANCE	61
FIG. (III.20): FORETS HSS HÉLICOÏDAL	63
FIG. (III.21) : RECTIFIEUSE WMW HECKERT SFW 200X600	64
FIG. (III.22) : SELECTION DU PLAN D'USINAGE, G17 A G19	67
FIG. (III.23) : LES ORIGINES ET LES POINTS DE REFERENCE POUR LES FRAISEUSES.	68
FIG. (III.24) : DEPLACEMENT EN RAPIDE, G0	68
FIG. (III.25) : USINAGE D'UNE RAINURE OBLIQUE	69
FIG. (III.26) : INTERPOLATION CIRCULAIRE G3 X50 Y45 I0 J-15 F500	69
FIG. (III.27) : CREATION DE POCHE [14]	70
FIG. (III.28) : CORRECTION DE TRAJECTOIRE AVEC DEUX OUTILS [14]	71
FIG. (III.29) : L'EMPREINTE DE MOULE	73
FIG. (III.30) : JEUX DE TARAUDS AVEC UNE TOURNE A GAUCHE	74
FIG. (III.31) VIS A TETE HEXAGONALE FEMELLE M8×30	75

Liste des Tableaux

TAB (I.1) : LES TYPES DE MOULAGE 1	5
TAB (I.2) : AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES THERMOPLASTIQUES [4]	14
TAB (I.3) : AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES THERMODURCISSABLES [4]	15
TAB (I.4) : APPELLATION ET SYMBOLES DES MATIERES PLASTIQUES [6]	16
TAB (I.5) : PROPRIETES MECANIQUES ET THERMIQUES DU PP [6]	16
TAB (I.6) : PROPRIETES MECANIQUES ET THERMIQUES DU PE BD [6]	17
TAB (I.7) : CARACTERISTIQUES MECANIQUES	17
TAB (II.1) : LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DES CANAUX D'ALIMENTATION	39
TAB.(III.1) : CONDITIONS DE COUPE (FRAISAGE)	58
TAB. (III.2) : LE MATERIEL UTILISE DANS FRAISAGE	59
TAB. (III.4) : LE MATERIEL UTILISE DANS LES OPERATIONS DE TOURNAGE	62
TAB (III.5) : VITESSE DE COUPE DES VALEURS INDICATIVES MOYENNES ON PERÇAGE.	63
TAB. (III.6) : LA MATIERE UTILISE POUR CHAQUE PIECE	65
TAB. (III.7) : PROGRAMMATION DE L'EMPREINTE	72
TAB. (III.8) : LE PERÇAGE DE DIFFERENTS TARAUDS	73
TAB. (III.9) : LES VIS UTILISEES	74

INTRODUCTION GENERALE

L'industrie mécanique représente un secteur très important dans l'économie d'un pays. Elle est l'une des contraintes au progrès et au développement, C'est le niveau d'évolution de la modernité d'une nation. La fabrication mécanique occupe une grande partie dans le développement industriel, elle participe à l'amélioration des performances des moyens de production locaux.

L'injection thermoplastique est aujourd'hui l'un des procédés les plus utilisés pour la mise en forme des polymères. Il est généralement utilisé pour la production de très grandes séries pour l'automobile, l'électroménager, articles de sport, santé...etc., ou pour des séries plus réduites en aéronautique. Il permet de produire à grande cadence avec un faible coût, et avec une grande régularité, et de façon automatique des pièces massives et des formes complexes.

Dans ce travail, nous avons commencé par une synthèse bibliographique ou nous avons donné un aperçu général sur les types de moulages et les différents types de matières plastiques

Ensuite le deuxième chapitre montre une présentation d'étude bien détaillé sur le procédé d'injection thermoplastiques

Le troisième chapitre illustre une présentation sur le sujet la DAO des différents composants du moule et présente en détail les étapes de fabrication du dispositif et la gamme d'usinage d'empreinte sur machine-outil à commande numérique à l'aide du logiciel "Sinumerik 840D".

Et à la fin nous avons scellé notre travail par une conclusion générale

CHAPITRE I

Généralité sur le moulage et les matières plastiques

I Généralités

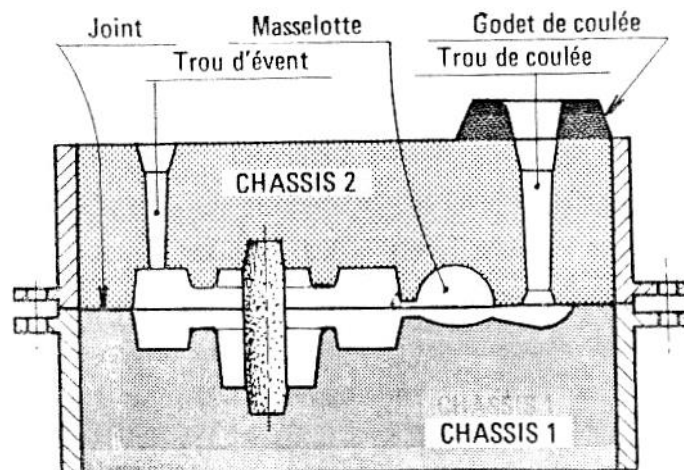
I.1 Introduction

Le moulage ou fonderie est un ensemble de procédés qui permet de réaliser des pièces métalliques brutes. Le moulage proprement dit, consiste à réaliser des pièces brutes par coulée du métal en fusion dans un moule en sable ou en métal (représentant l'empreinte de la pièce à obtenir). Le métal en se solidifiant, reproduit les contours et dimensions de l'empreinte du moule (fig. I.1).

Les organes et pièces constituant les machines et appareils proviennent de sources diverses de fabrication telles que le forgeage, l'usinage, l'estampage, la fonderie, etc.

La technique de fonderie est le plus souvent utilisée, car elle est non seulement économique, mais :

- Elle permet de produire des pièces de formes complexes (difficilement réalisables par usinage ou par d'autres procédés).
- La série des pièces est identique.
- L'obtention de pièces massives telles que bâtis, volants, etc..



1Fig. (I.1) : Schéma d'un moule

Dans la spécialisation de la fonderie, on distingue pratiquement les fonderies suivantes

- **La nature des métaux et alliages**

Fonderie de fonte

Fonderie d'acier.

Fonderie d'aluminium et ses alliages.

Fonderie de cuivre. Bronzes, laitons, etc.

- **Selon l'utilisation**

- Fonderie d'art.
 - Fonderie d'ornement (bijoux).
 - Fonderie de mécanique industrielle.

- **Selon le procédé de moulage**

- Moulage en sable (manuel ou mécanique).
 - Moulage en carapaces.
 - Moulage à la cire perdue.
 - Moulage en coquilles (moule permanent).

Dans ces procédés, le moule peut être permanent ou non permanent (destructible).

I.2 Le moule

I.2.1. Définition

Un moule est l'ensemble des éléments appropriés, délimitant l'empreinte, et recevant le métal liquide qui après solidification donnera la pièce. Un moule comprend une ou plusieurs parties qui peuvent être séparées l'une de l'autre (châssis, chapes, coquilles). La surface commune aux deux demi moules porte le nom de plan de joint même si cette surface ne forme pas un plan. On distingue deux types de moules, à savoir les moules non permanents et les moules permanents.

I.2.2. Différents types de moules

Le moule non permanent est utilisé qu'une seule fois, pour extraire la pièce. il faut le détruire, l'empreinte est obtenue par moulage du matériau constitutif autour d'un modèle réalisé en bois ou en métal.

Le moule permanent peut servir un grand nombre de fois, il est réalisé en plusieurs parties pour faciliter l'extraction de la pièce. Il est utilisé surtout lorsque la quantité de pièces à couler est important

I.3 Les types de moulages

Le choix des procédés de moulage en dépend du métal à couler. En général la température de fusion du métal coulé doit être inférieure à la température de fusion du matériau constituant le moule

Comme il est mentionné ci-dessous, le moulage est généralement très économique, mais les caractéristiques d'un alliage coulé sont plus faibles que celles du même alliage forgé Les défauts de fonderie, fréquents dans les pièces moulées, diminuent encore leur résistance globale, certains de ces défauts, dus aux gaz occlus ou à la contraction du métal au refroidissement, mais peuvent-être évités par un tracé judicieux des formes

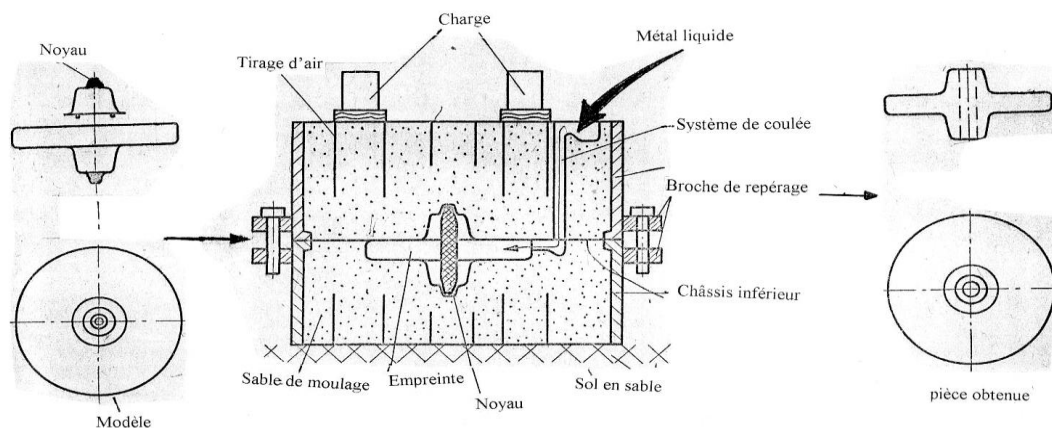
Métaux Et températures de fusion	Moulage En sable	Moulage En coquille
Fontes : 1100 à 1250°C Aciers : 1200 à 1500°C	<ul style="list-style-type: none"> - Moulage en sable avec ou sans noyau. - Moulage en carapace : procédé Corning. - Moulage à la cire perdue 	Moulage impossible sans détériorer les coquilles.
Cuivre et ses alliages : Laiton : 940°C Aluminium et ses alliages : Alpax et Zamack : Environ 610°C	Moulage en sable : <ul style="list-style-type: none"> - Pour les grosses pièces. Exemples : <ul style="list-style-type: none"> - Cloches en bronze. - Hélices de bateaux. <ul style="list-style-type: none"> - Pour les petites séries. 	Moulage en coquille : <ul style="list-style-type: none"> - Pour les grandes séries. - Avec ou sans pièce (prisonnier) insérée au moulage - Par gravitation ou sous pression. Exemples : <ul style="list-style-type: none"> - Carter de boîte de vitesses (alpax) - Corps de carburateur (zamack).

1Tab (I.1) : Les types de moulage 1

I.3.2. Moulage en sable

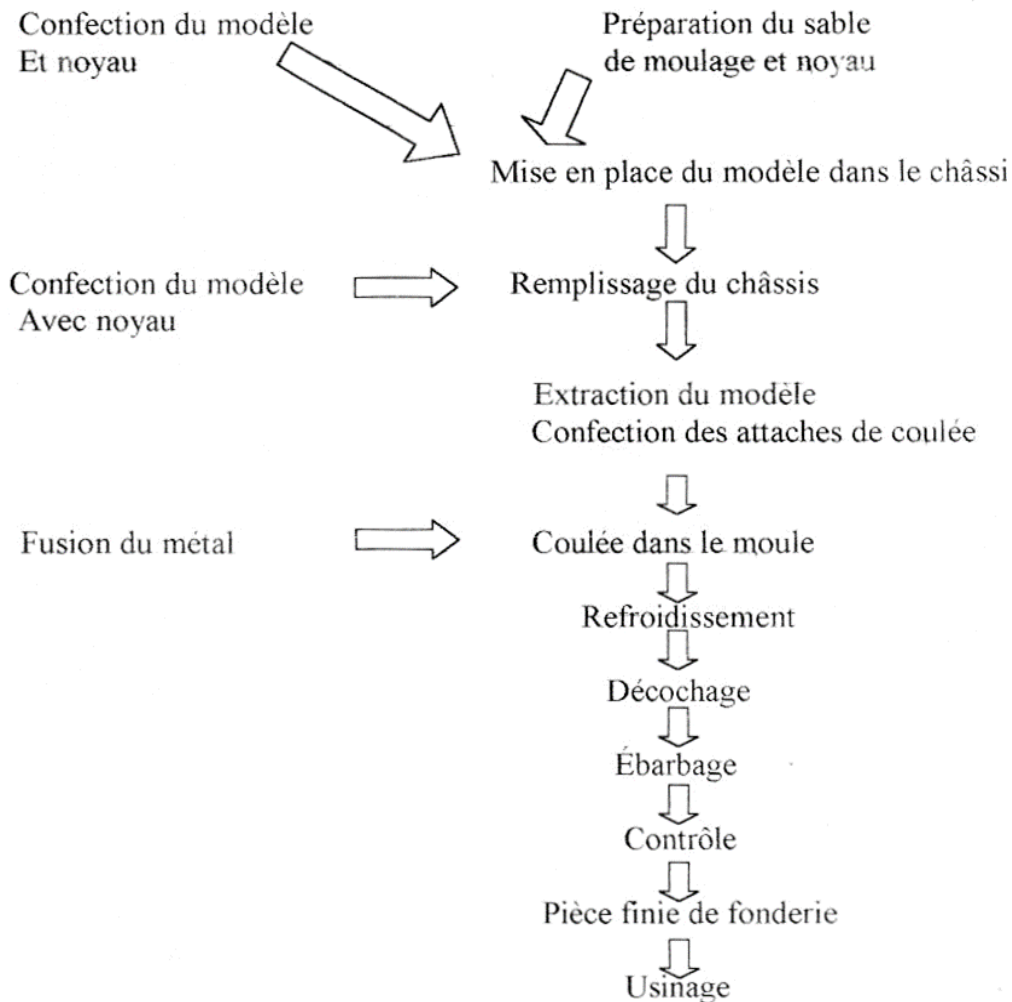
Le moulage en sable consiste à couler le métal en fusion dans l'empreinte du moule en sable, réalisée d'après un modèle ayant la forme de la pièce à obtenir. Le moulage en sable est le procédé le plus ancien et convient presque pour tous les métaux et alliages de moulage. Il s'adapte bien aux petites séries de production et surtout pour les pièces de grandes dimensions.

Un moule simple est constitué de deux parties : la partie supérieure et la partie inférieure. La figure (I.2) représente un moule en sable avec les différentes parties essentielles. Le métal en fusion est coulé à travers le trou du système de coulée, en traversant les canaux jusqu'au remplissage de l'empreinte. Après refroidissement et solidification, la pièce est sortie pour subir les différentes opérations de finition.



2Fig. (I.2) : Les parties essentielles d'un moule en sable

L'ensemble des opérations de moulage en sable est donné par le schéma ci-dessous



3Fig. (I.3) : Les opérations de moulage en sable

Dans le moulage en sable on distingue deux types de moulages :

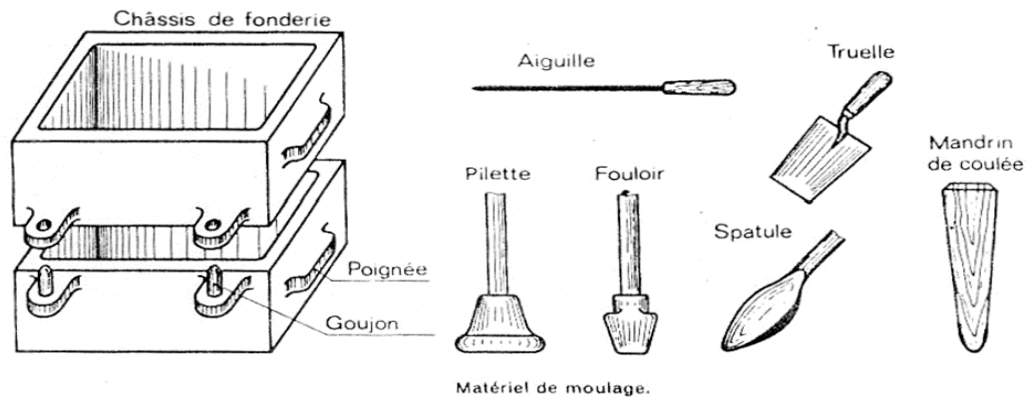
- Le moulage manuel.
- Le moulage mécanique.

I.3.2.1 Moulage en sable manuel

Le moulage en sable manuel est utilisé surtout pour la fabrication des pièces unitaires et des pièces de grandes dimensions, qui ne peuvent pas être réalisées dans des machines de moulage.

La Figure (I.4) représente le matériel nécessaire pour le moulage en sable manuel

Le rendement du moulage en sable manuel est très bas et ne peut être utilisé que pour une production du type grande série. Le plus souvent, on a recours au moulage à la machine ou aux procédés spéciaux tels que moulage en coquille sous pression, centrifuge, en carapace ou en cire perdue et autres.



4Fig. (I.4) : Les opérations de moulage en sable manuel

Le rendement du moulage en sable manuel est très bas et ne peut être utilisé que pour une production du type grande série. Le plus souvent, on a recours au moulage à la machine ou aux procédés spéciaux tels que moulage en coquille sous pression, centrifuge, en carapace ou en cire perdue et autres.

I.3.2.2 Moulage en sable mécanique

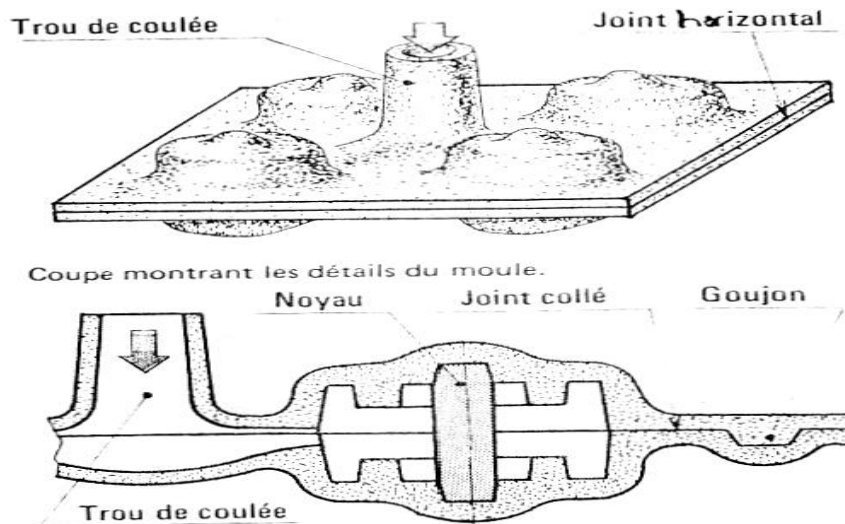
Le moulage à la main ne se pratique que pour un nombre de pièces réduits ou pour des pièces volumineuses, en plus le serrage du sable à la main est long, pénible et souvent peu régulier. De plus le démoulage est délicat car s'il n'est pas fait verticalement, les arrachements du sable imposent des retouches et peuvent rendre le moule inutilisable. Tous ces inconvénients peuvent être supprimés par le moulage mécanique. Donc dans le moulage mécanique, le sable est serré mécaniquement soit

- Par pression.
- Par secousses.
- Le plus souvent par combinaison des deux procédés (pression et secousses).
- Par projection.

L'empreinte de la pièce n'est plus donnée par un modèle ordinaire, mais par un modèle fixe sur un support dont l'ensemble est appelé plaque modèle, d'où les pièces obtenues par moulage mécanique sont limitées en dimension par la grandeur des châssis.

I.3.3 Moulage en carapace (Procédé Croning)

Le moulage en carapace est comme le moulage mécanique en sable et dont il a un aspect particulier. Le métal liquide est coulé dans un moule constitué de deux coquilles appelées carapaces ou masques (fig. 1.5)



5Fig. (I.5) : Moulage en carapace

I.3.4 Moulage à la cire perdue

Les différents procédés de moulage étudiés précédemment partent tous du principe suivant : le moule est en deux ou plusieurs parties afin de pouvoir en sortir le modèle ou donner l'empreinte voulue à chacune des parties. L'expérience montre qu'un tel moule, même si les différentes parties sont assemblées avec beaucoup de soins, ne permet pas d'atteindre une grande précision.

De là l'idée de faire un moule en une seule pièce pour obtenir un moulage très précis, le moulage à la cire perdue est un moulage de précision dont le but est de supprimer tout ou en partie l'usinage s'il y a lieu. La précision maximum pratiquement obtenue est de l'ordre de

$\pm 0,07\text{mm}$ est couramment de 0,3 % en valeur relative.

Ce mode de moulage est connu depuis la plus haute antiquité. Les chinois et les grecs l'utilisent pour la fonderie d'objet d'art, il s'est conservé à peu près intégralement pour la fonderie artistique et s'est perfectionné de nos jours pour la coulée de bijouterie et la fabrication de prothèses dentaires en or ou en acier inoxydable, exigeant une grande précision. Il s'est enfin étendu à la production de petites pièces mécaniques à partir de tous les alliages.

I.3.5 Moulage en coquille

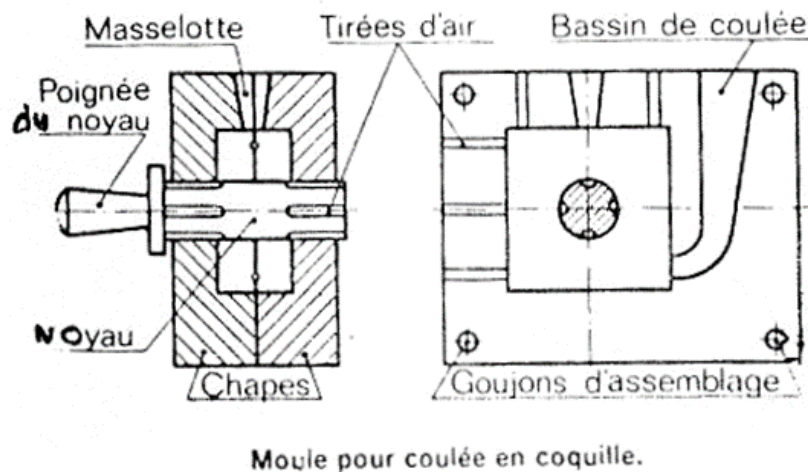
Le moulage en coquille est un procédé qui permet de couler par gravité le métal en fusion directement dans un moule métallique en fonte ou en acier appelé coquille.

Ce type de moulage est destiné pour la réalisation de pièces compliquées en métaux et alliages ferreux (fonte grise et acier) et alliages non ferreux à point de fusion relativement bas, bronzes (10 à 13 % Zinc), Al-Si possédant de bonnes propriétés de fonderie, Al-Si-Cu, Al-Cu (4 à 12 % Cu).

Le moule est constitué de deux ou plusieurs parties appelées chapes, formant l'empreinte, de trou de coulée et les évent (fig. I.6), les chapes sont solidement assemblées pendant la coulée du métal afin d'éviter leur séparation.

Le métal liquide remplit les cavités du moule sous l'effet de son propre poids (par gravité). Les masselottes, le trou de coulée doivent être situées dans le plan de joint avec des formes permettant le démoulage.

Les joints ont généralement des surfaces finement striées, ce qui permet l'évacuation des gaz lors de la coulée du métal. Dans certains cas les évent sont réalisés dans les noyaux.



6Fig. (I.6) : Les chapes (moulage en coquille)

I.3.6 Moulage par centrifugation

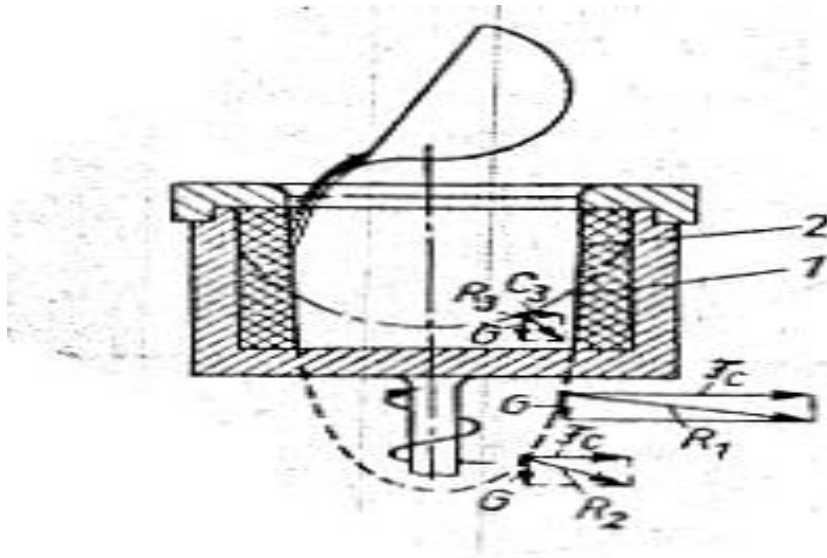
La densité d'un métal coulé, dépend essentiellement de la pression P avec laquelle le métal liquide se trouve durant le processus de refroidissement. Pour la coulée normale (par gravitation), la pression P est déterminée à partir de la hauteur de coulée du métal liquide dans le moule et de sa densité.

Une pression importante peut être obtenue grâce à une rotation rapide du métal liquide dans le moule. Suite à la rotation du métal liquide coulé, les particules sont soumises à une force centrifuge de la forme

$$F_c = m r \cdot W^2 \quad [N]$$

La force centrifuge peut être augmentée, par augmentation du nombre de tours (vitesse angulaire) et ce qui conduit à l'augmentation de l'action de la force de pesanteur. Cette augmentation répartit toute la masse du métal liquide uniformément sur toute la longueur du moule cylindrique.

La figure (I.7) représente comment les particules de métal liquide sont réparties suivant les différentes vitesses



7Fig. (I.7) : Répartition des particules de métal

1. Pour de petites vitesses.
2. Pour des vitesses élevées.

Fc : Force centrifuge.

G : Poids.

R : Force résultante.

I.4 Défaut de moulage

La diminution ou l'élimination des défauts des pièces moulées est une question économique importante. Une solution rapide peut aider à augmenter la qualité des pièces moulées et diminuer le pourcentage de rébus.

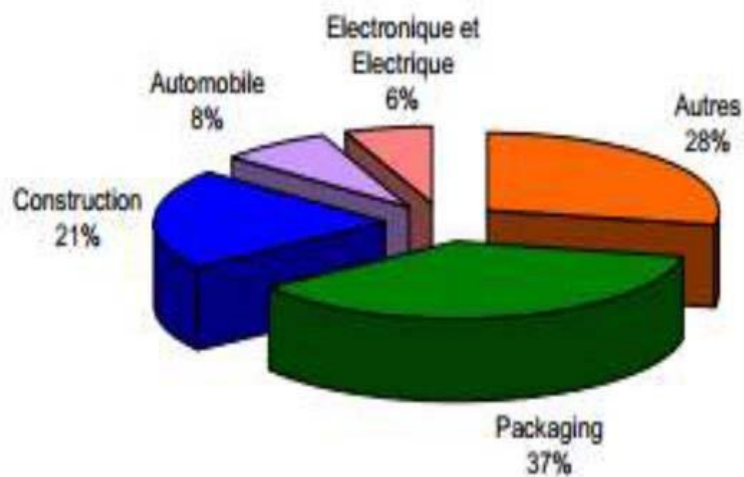
Les défauts de fonderie sont classés selon leurs aspects et leurs formes d'apparition. Chaque défaut peut entraîner une diminution de la qualité, c'est l'étendu du défaut et la destination d'utilisation de la pièce qui décident, si cette dernière est considérée comme rébus ou non. Beaucoup de défauts peuvent être éliminés par un traitement ultérieur.

I.5 GÉNÉRALITES SUR LES MATIERES PLASTIQUES

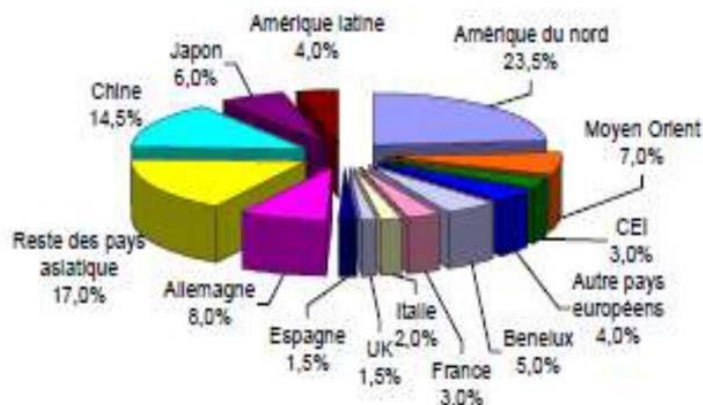
I.5.1 Introduction

Le qualificatif « plastique » peut s'appliquer à un grand nombre de matériaux, relativement à leur modelage et aux actions qui ont le pouvoir de donner la forme, souvent associées à des notions esthétiques, d'arts et de beauté. Il est alors très vite associé systématiquement à la « Matière plastique », dont les premières synthétisées à cette époque à partir de polymères d'origine végétale, puis par polymérisation de syntones pour devenir le « plastique »

Avec le développement des connaissances en synthèse organique et de son industrie, en particulier de la pétrochimie, de très nombreux plastiques ont été commercialisés au cours du vingtième siècle. Leurs multiples applications (Fig. I.8) les ont rendus omniprésents et indispensables aux sociétés industrialisées, au point que leur production est devenue un indice économique de développement (Fig. I.9) et que la demande croissante des pays émergents pose la question des ressources à l'échelle mondiale.



8Fig. (I.8) : Domaines d'application des plastiques



9Fig. (I.9) : Répartition de la production mondiale de plastique

I.6. Les Plastiques

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

- Protéger le polymère lors de sa mise en œuvre (par exemple avec un antioxydant),
- Aider à sa mise en œuvre par modification des caractéristiques rhéologiques du mélange à l'état visqueux (par exemple avec un plastifiant, ou un lubrifiant),
- Conférer au produit fini certaines propriétés spécifiques (par exemple avec un principe actif, un agent de conduction, etc.).[1]

I.7. Les polymères

Les polymères sont les constituants de base des plastiques, qui leur confèrent l'essentiel de leurs propriétés physicochimiques. [1]

I.7.1. Définition d'un polymère

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

Dans la macromolécule suivante ...A-A-A-A-A-A-A.... = A l'unité constitutive est A; elle est formée d'un groupe d'atomes qui se répètent. A l'échelle moléculaire, quelques centaines de nm, la plupart des macromolécules se présentent sous forme de « fils longs et souples ». Les réactions chimiques permettant de passer d'un monomère A à la macromolécule s'appellent polymérisation. Ainsi, l'éthylène $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ (monomère) conduit par polymérisation par

I.7.2. Classification

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

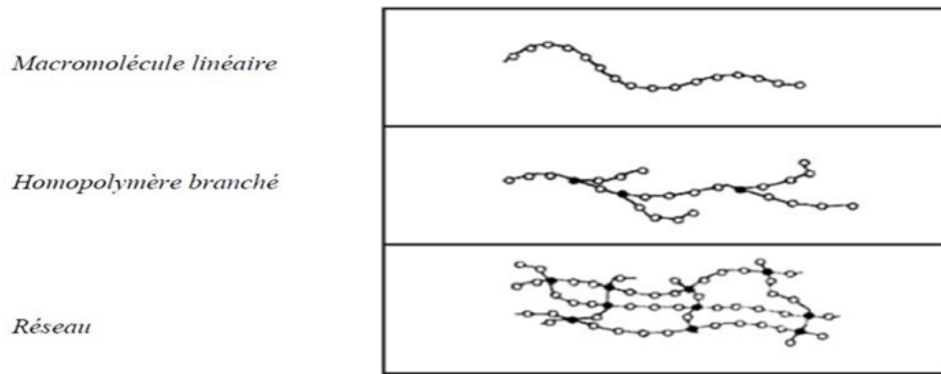
La structure du polymère représente la façon dont les longues chaînes moléculaires de base sont reliées entre elles pour former le matériau. La disposition des chaînes entre elles ainsi que la densité des points de liaison vont modifier profondément les caractéristiques macroscopiques du polymère.

Un polymère peut adopter trois structures moléculaires, présentées dans la (fig. I.10)

Linéaire : La macromolécule se présente sous la forme d'une longue chaîne

Branchée : Une longue chaîne sur laquelle viennent s'embrancher des chaînes de longueur variable, en général plus petites

En réseau : Les chaînes sont reliées entre elles en plusieurs points formant un réseau



10Fig. (I.10) : Structures des chaînes moléculaires

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

I.7.3 Thermoplastiques

Les thermoplastiques sont des solides généralement souples, formés de chaînes distinctes bien compactées et plus ou moins linéaires. Ils présentent la particularité de s'écouler à la chaleur, ce qui facilite leur mise en forme. Ils sont repartis en trois grandes familles : les amorphes, cristallins et les semi-cristallins.

Cette morphologie (fig. I.10) a une influence importante sur les propriétés des polymères thermoplastiques [5].

I.7.3.1. Polymères amorphes

Dans un polymère amorphe, les chaînes se présentent sous la forme de pelotes statistiques (fig. I.11). Les chaînes sont enchevêtrées et on note l'absence de structure ordonnée. Quand on chauffe un polymère amorphe, il subit une transition douce de l'état solide à l'état fluide, il n'y a donc pas de température de fusion. En effet, la structure des chaînes de macromolécule en pelote compacte et désordonnée empêche une transition brutale entre les états solide et liquide. Cependant, une brusque variation de mobilité moléculaire est observée à une température appelée température de transition vitreuse notée T_g . [5]

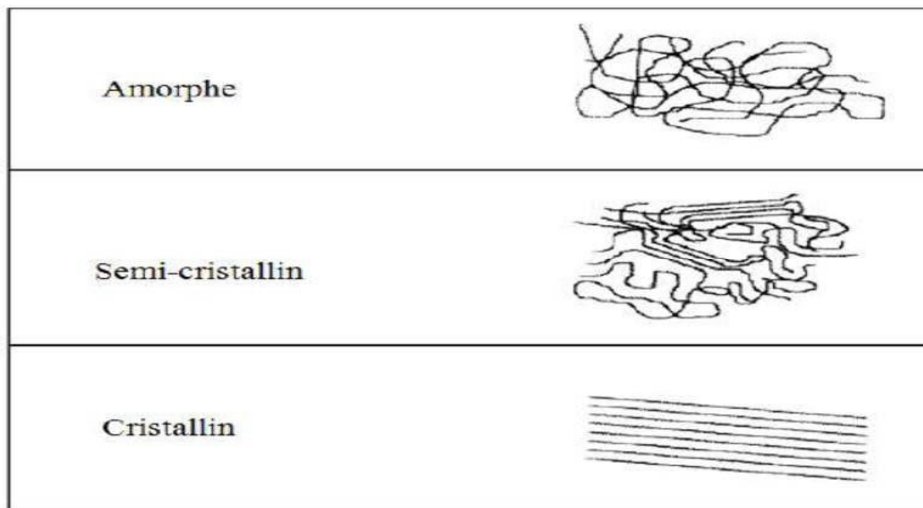
I.7.3.2. Polymères cristallins

Un polymère purement cristallin, quand à lui, présente des chaînes qui s'arrangent de façon ordonnée. Contrairement aux amorphes, les cristallins possèdent une température de fusion notée T_m . Cependant, un polymère totalement cristallin n'existe pas en réalité. Il reste toujours des défauts ou bien l'extrémité des chaînes qui ne peuvent adopter une structure cristalline. [5]

I.7.3.3. Polymères semi-cristallins

Les semi-cristallins présentent à la fois une partie amorphe ou les chaînes moléculaires sont désordonnées et une partie cristalline ordonnée (fig. I.11). Ils présentent donc à la fois une température de transition vitreuse (correspondant à la mobilité de la phase amorphe) et une température de fusion (pour laquelle la phase cristalline se liquéfie).

Les polymères semi-cristallins peuvent être caractérisés par leur taux de cristallinité ce qui représente la fraction massique ou molaire d'unités structurales cristallisées par rapport à la totalité des unités présentes. [5]



11Fig. (I.11) : Morphologie des thermoplastiques [5]

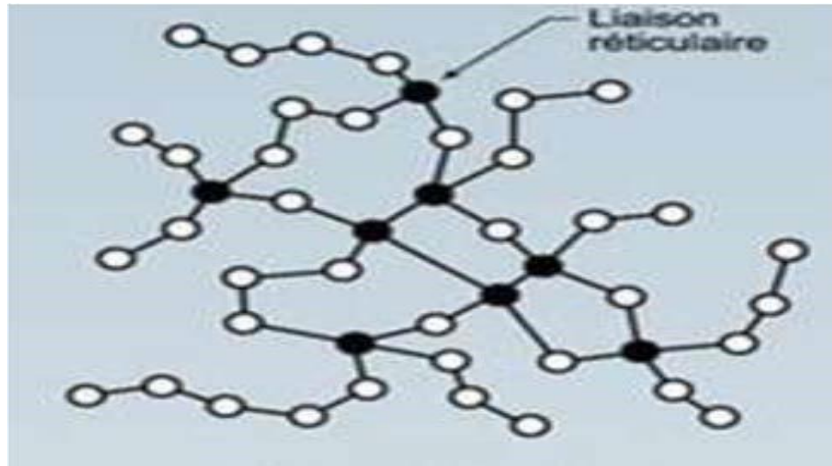
I.7.3.4. Les Avantages et les inconvénients des thermoplastiques

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

2Tab (I.2) : Avantages et Inconvénients des thermoplastiques [4]

II.7.4 Thermodurcissables

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



12Fig. (I.12) : Morphologie des thermodurcissables

I.7.4.2. Les Avantages et les inconvénients des thermodurcissables

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

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

3Tab (I.3) : Avantages et Inconvénients des thermodurcissables [4]

I.7.5. Les élastomères

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

Appellation et Symboles

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

Ces appellations sont souvent remplacées par des symboles utilisés par l'ensemble des ouilleurs et des plasturgistes. [6]

Symboles	Appellation	Symboles	Appellation
ABS	Acrylonitrile butadiène styrène	PP	Poly Propylène
APV	Alcool Polyvinylique	PPE	Copolymère de polypropylène d'éthylène
BMC	Bull Mol ding Compound	PPO	Poly oxyde de phényle
CA	Acétate de Cellulose	PPS	Polysulfure de phényle
CAB	Acétobutyrate de Cellulose	PRC	PE hd réticule
CFE	Chlorofluoréthylène	PS	Polystyrène
DAC	Diallèle Carbonate	PSC	Polystyrène choc
DAP	Diallèle phtalate	PSF	Polysulfone
EP	Epoxyde	PU	Polyuréthane
EPF	Polyéthylène propylène fluoré	PVB	Butyral de polyvinyle
EPDM	Ethylène propylène diane Monomère	PVC RIM	Polychlorure de vinyle
EPM	Ethylène propylène monomère	SI	Réaction injection molding
PA	Polyamide	TD	Silicone
PAN	Polyacry lontrille	TEP TP	Thermodurcissable
PBT	Poly butylène téréphtalate		Textile enduit plastique
PEE	Polyéthylène Exposé		Thermoplastique
PES	Poly ethersulfone		
PET	Polyéthylène lènetéréphtate		
PF	Phénol – Formol		
PFE	Poly fluoré éthylène		
PI	Poly imide		

4Tab (I.4) : Appellation et Symboles des matières plastiques [6]

I.8. Les caractéristiques des polymères synthétiques les plus utilisés

I.8.1. Le Polypropylène (PP)

Exemple de caractéristique de deux matières plastiques (PP)		
POLYPROPYLENE (PP)	<p>Origine : Propylène</p> <p>Structure : Cristalline</p> <p>Retrait : 1 à 2.8 %</p> <p>Densité : 0.9</p> <p>Mise en œuvre : injection, Extrusion, estampage, thermoformage.</p> <p>Températures :</p> <ul style="list-style-type: none"> -de moulage : 210 à 300 °C -du moule : 20 à 90 °C -de fusion : 64 °C -d'Utilisation : 0 à 120 °C 	<p>Avantages :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Bonne résistance à la flexion. -Bonne propriétés électriques. -Bonne Résistance mécanique. - Bonne résistance aux produits chimiques <p>Inconvénients :</p> <ul style="list-style-type: none"> -inserts métalliques à basse de cuivre déconseillés. -Fragile à basse température. - retrait non homogène

5Tab (I.5) : Propriétés mécaniques et thermiques du PP [6]

I.8.2. Le Polyéthylène (PE bd)

Exemple de caractéristique de deux matières plastiques (PE bd)		
POLYETHYLENE (PE bd)	Origine : Ethylène Structure : Cristalline Retrait : 1.3 à 2.8 % Densité : 0.92 Mise en œuvre : injection Extrusion, roto moulage, thermoformage. Températures : -de moulage : 160 à 300 °C -du moule : 20 à 60 °C -de Fusion : 135 C° -d'utilisation : -80 à 110 °C	Avantage : - meilleurs caractéristiques que PE bd. - Rigidité surfaces brillantes - Résistance à la température et à l'eau bouillante Inconvénients : - Retrait non homogène - Densité plus élevée que polyéthylène basse densité. - Prix plus élevé. - Décoration difficile

6Tab (I.6) : Propriétés mécaniques et thermiques du PE bd [6]

I.8.3. Propriétés mécaniques des matières plastiques

Les matières plastiques ont une structure interne différente à des métaux et des alliages ; leur comportement sous l'action des efforts est donc différent.

En fonction des utilisations envisagées ; il est nécessaire de mouler des éprouvettes et de réaliser des essais (Essai de traction, Essai de flexion, Essai de chocs... etc.) afin de déterminer des contraintes maximales admissibles [6]

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

7Tab (I.7) : Caractéristiques mécaniques

II.9. Conclusion

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

CHAPITRE II

Procédé de production par injection plastique

II.1. 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 :

- La conception des formes de la pièce.
- La conception et la qualité de réalisation de l'outillage (le moule).
- 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...

II.2. Définition du procédé

Le procédé d'injection est un procédé de mise en forme des thermoplastiques par moulage permettant la production de pièces minces jusqu'à quelques millimètres d'épaisseur. Ce procédé est très répandu pour les productions de grandes séries comme l'automobile, l'électroménager ou l'électricité. [7]

II.3. Principe du procédé

L'injection permet de fabriquer des pièces de géométrie complexe en grande série, suivant un principe simple de fonctionnement.

En effet, le polymère thermoplastique est chauffé afin de lui donner de cohésion d'un liquide visqueux. Ce liquide est ensuite injecté dans un moule, réalisé en plusieurs parties. Le polymère se refroidit jusqu'à l'état solide à la suite de quoi la pièce est extraite après ouverture de l'outillage.

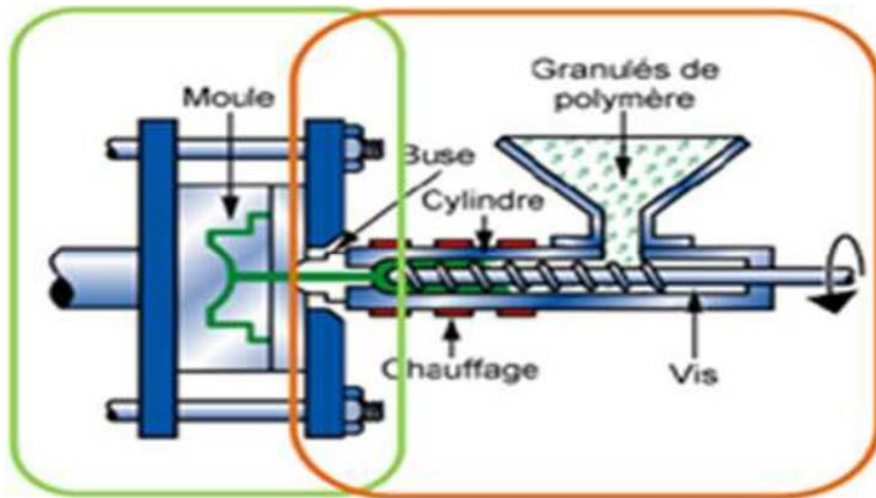
Une nouvelle injection est réalisée quand l'outillage est à nouveau fermé. [7]

II.4. Déroulement du cycle d'injection

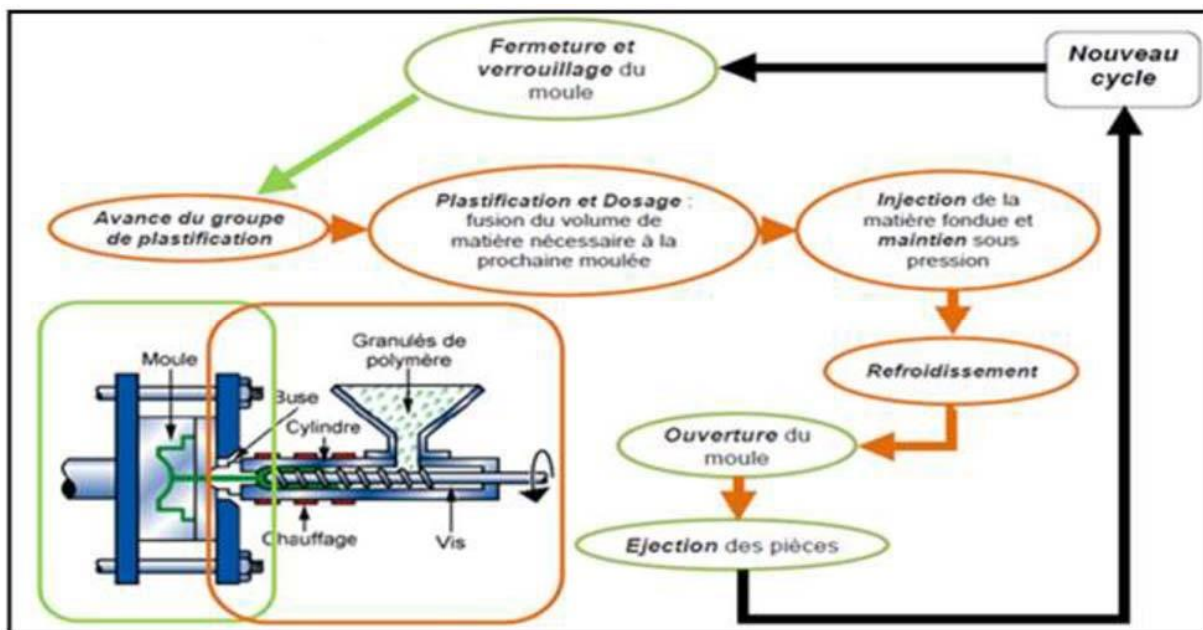
Les moules installés sur une machine spéciale (presse d'injection), sont constitués souvent de deux coquilles (partie fixe et partie mobile) qui sont fortement pressées l'une contre l'autre au moment du moulage puis écartées pour permettre l'éjection de la pièce moulée.

La presse d'injection constituée à deux parties importantes dans le cycle d'injection :

- Partie de vis d'injection est leur comportement
- Partie de moule



13Fig. (II.1) : presse d'injection. [7]



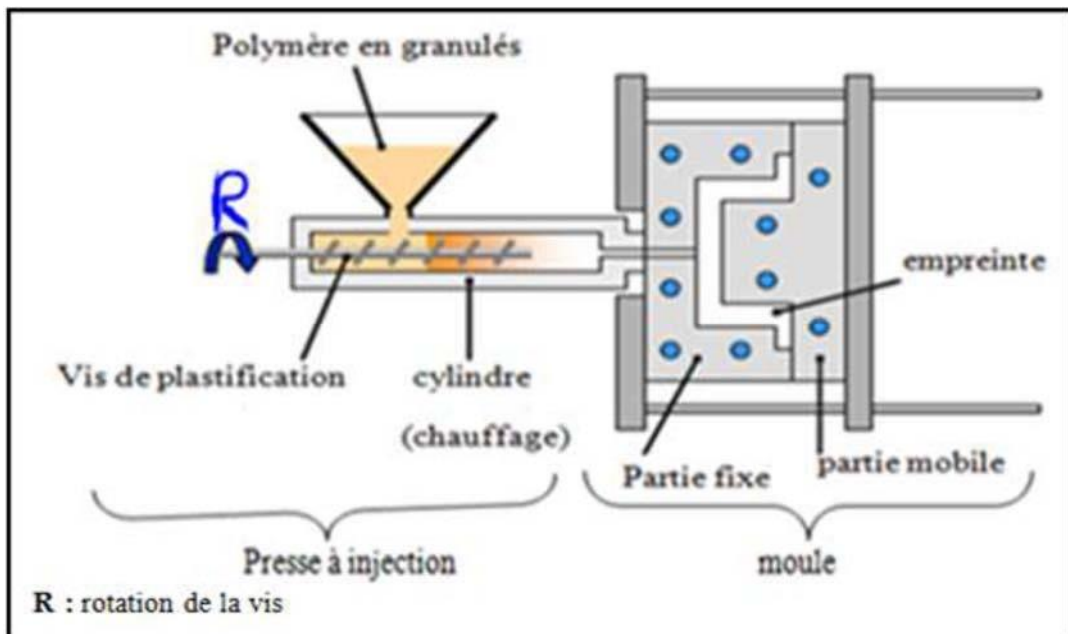
14Fig. (II.2) : Déroulement du cycle d'injection. [7]

II.4.1. Phases de moulage par injection

Le procédé de moulage par injection est très répandu dans le domaine de la plasturgie car il permet de fabriquer des pièces techniques de manière contrôlée et avec des cadences élevées. Lors d'une opération de moulage par injection, la fabrication de chaque pièce passe par quatre phases principales

II.4.1.1. La phase de plastification

L'objectif de la phase de plastification est de faire passer le polymère de l'état initial (Sous forme de granulé) à l'état fondu. On peut dire que cette transformation commence au début par l'ensemble vis fourreau dont la fonction est de broyer et de chauffer le granulé pour l'amener peu à peu à l'état fondu. Pour cela, la vis de l'unité possède un mouvement de rotation pour permettre l'auto échauffement de la matière par malaxage, et de translation pour stocker à l'avant du fourreau la quantité de matière à injecter dans la cavité du moule Le dosage est contrôlé par la course de la vis qui recule, en s'appuyant sur la matière, pendant sa rotation. La matière plastifiée est transportée dans l'espace à l'avant de la vis (Fig. II.3). [8]



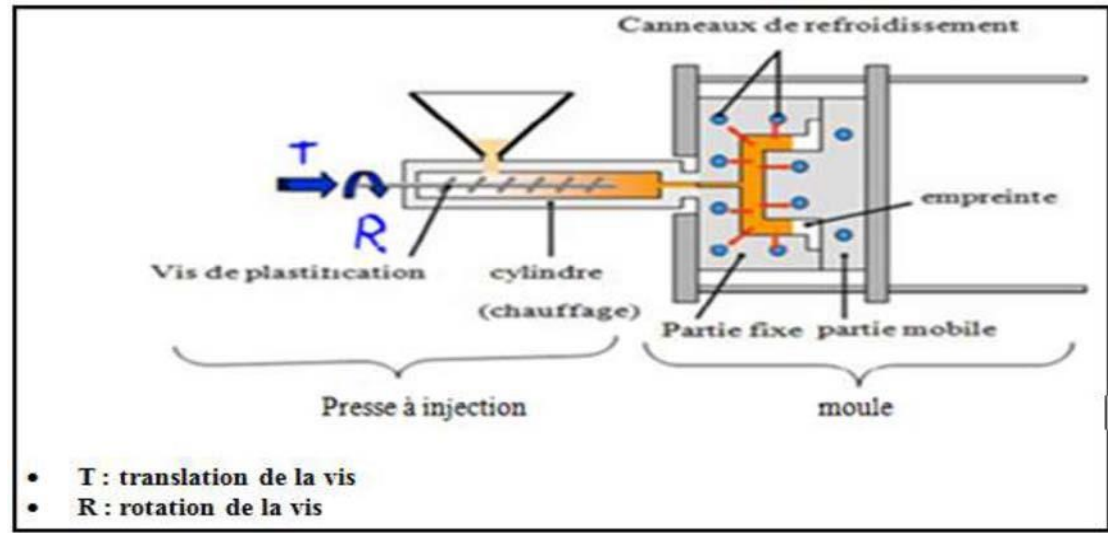
15Fig. (II.3) : phase de plastification [8]

II.4.1.2. La phase de remplissage

Une fois la matière accumulée en tête de fourreau, celle-ci est injectée dans l'empreinte de l'outillage par une avancée de la vis. Cette phase du cycle de transformation est appelée phase dynamique du remplissage (Fig.II.4). L'avancée de la vis est réglée en débit ou en pression pour maîtriser la vitesse d'injection du thermoplastique dans l'empreinte. Ce remplissage a une durée très courte, par rapport à celle de la phase de refroidissement.

Le débit d'injection est fonction du volume de remplissage sur la durée de remplissage correspondant à l'épaisseur de la pièce. [8]

$$Q = V_{rt} / \text{Durée de remplissage} = [\text{cm}^3] / [\text{s}] \dots\dots\dots [\text{L}] / [\text{s}] \dots\dots\dots \{\text{II.1}\}$$

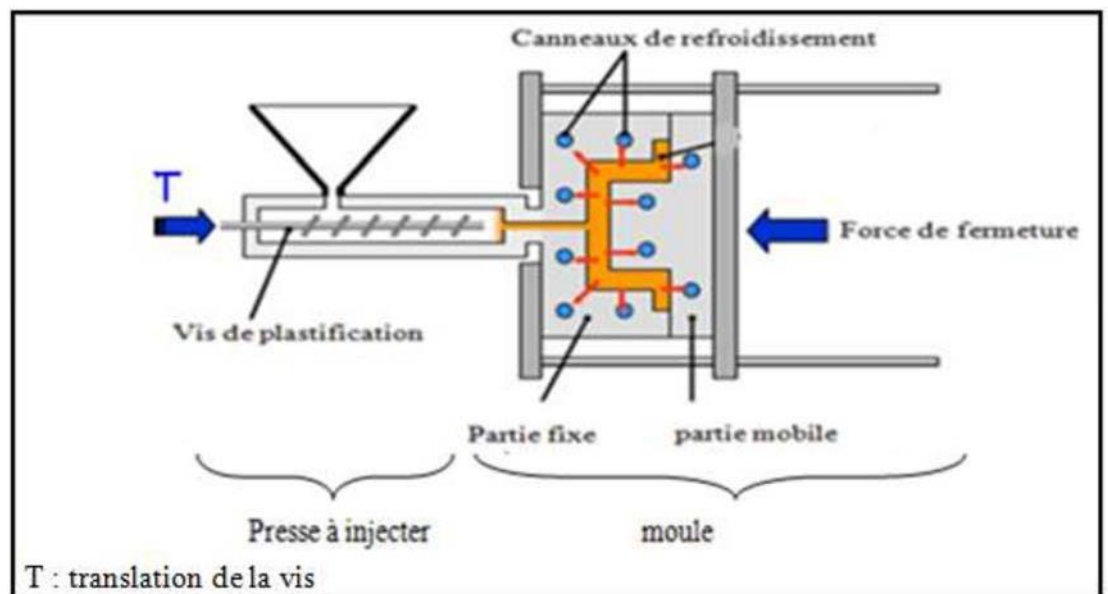


16Fig. (II.4) : phase de remplissage. [8]

II.4.1.3. La phase de compactage

Le compactage est l'instant clé du procédé d'injection. Il s'agit de l'instant de transition entre la phase de remplissage dynamique et la phase de maintien. A cet instant, le pilotage de l'injection passe d'une régulation en vitesse à une régulation en pression.

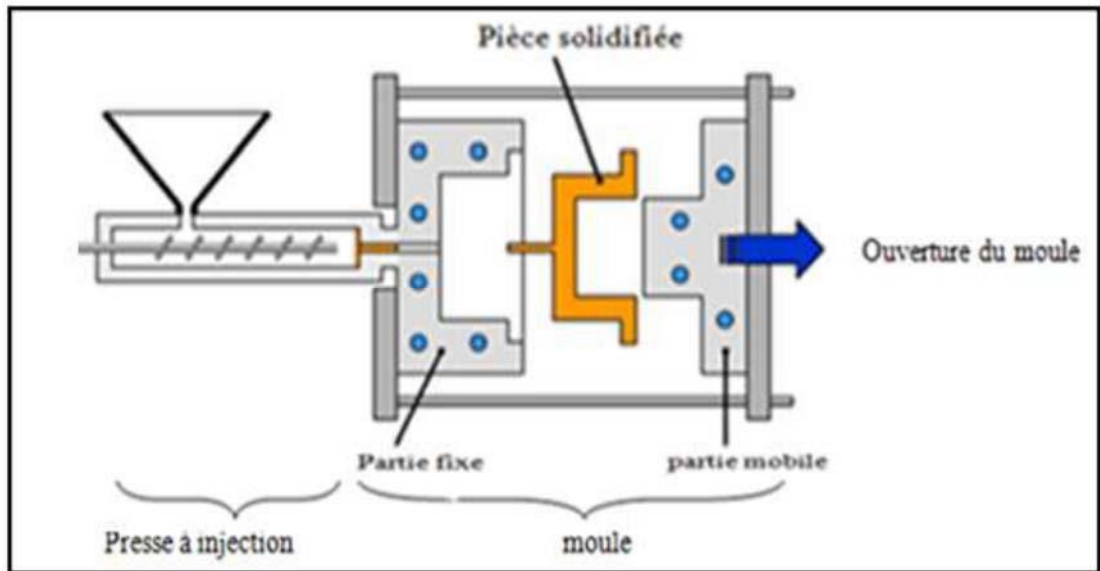
En général, on choisit de commuter au moment où l'empreinte est complètement remplie. Cet instant est notifié par la présence d'un pic de pression d'injection prononcé. Cet événement est alors utilisé pour déclencher la commutation. Dès lors où la commutation est enclenchée, la presse applique au niveau du bloc d'injection une consigne de pression de maintien. Ceci a pour objectif de maintenir la matière dans la cavité pour compenser les phénomènes de retrait volumique dus au refroidissement de la matière (Fig. II.5)



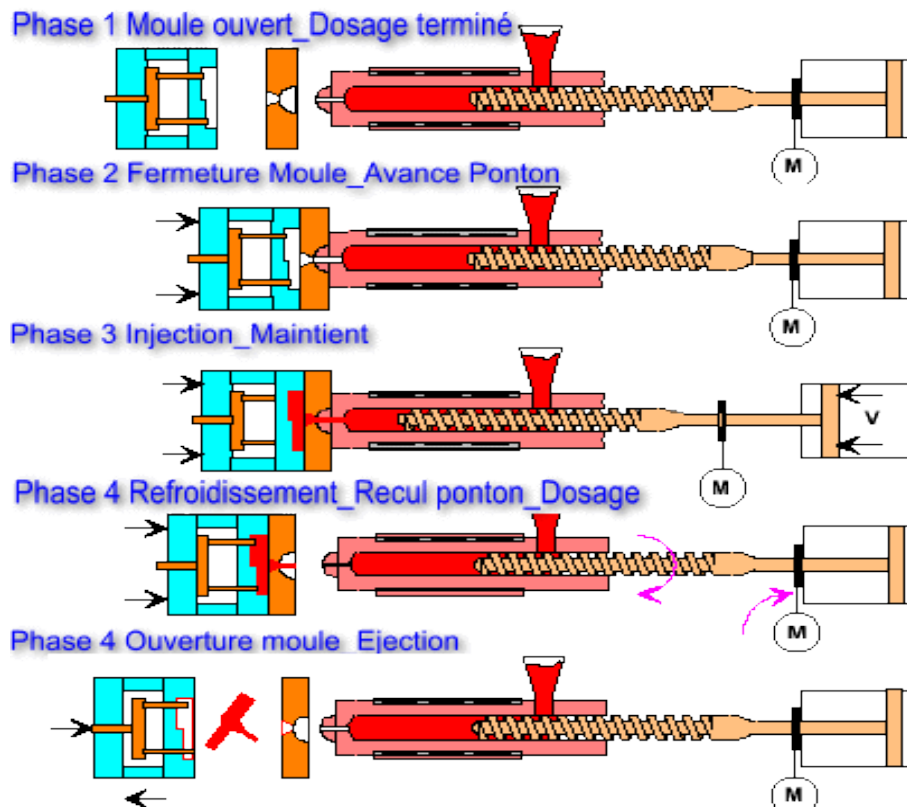
17Fig. (II.5) : phase de compactage. [8]

II.4.1.4. La phase de refroidissement et d'éjection

En parallèle de la phase de maintien, le polymère débute au contact de parois refroidies de l'outillage son retour à l'état solide. Cette phase appelée phase de refroidissement perdure jusqu'à ce que le polymère atteigne sa température de démoulage (Fig. II.6), après le refroidissement l'éjecteur pousser la pièce. [5]



18Fig. (II.6) : phase de refroidissement et d'éjection de la pièce [8]

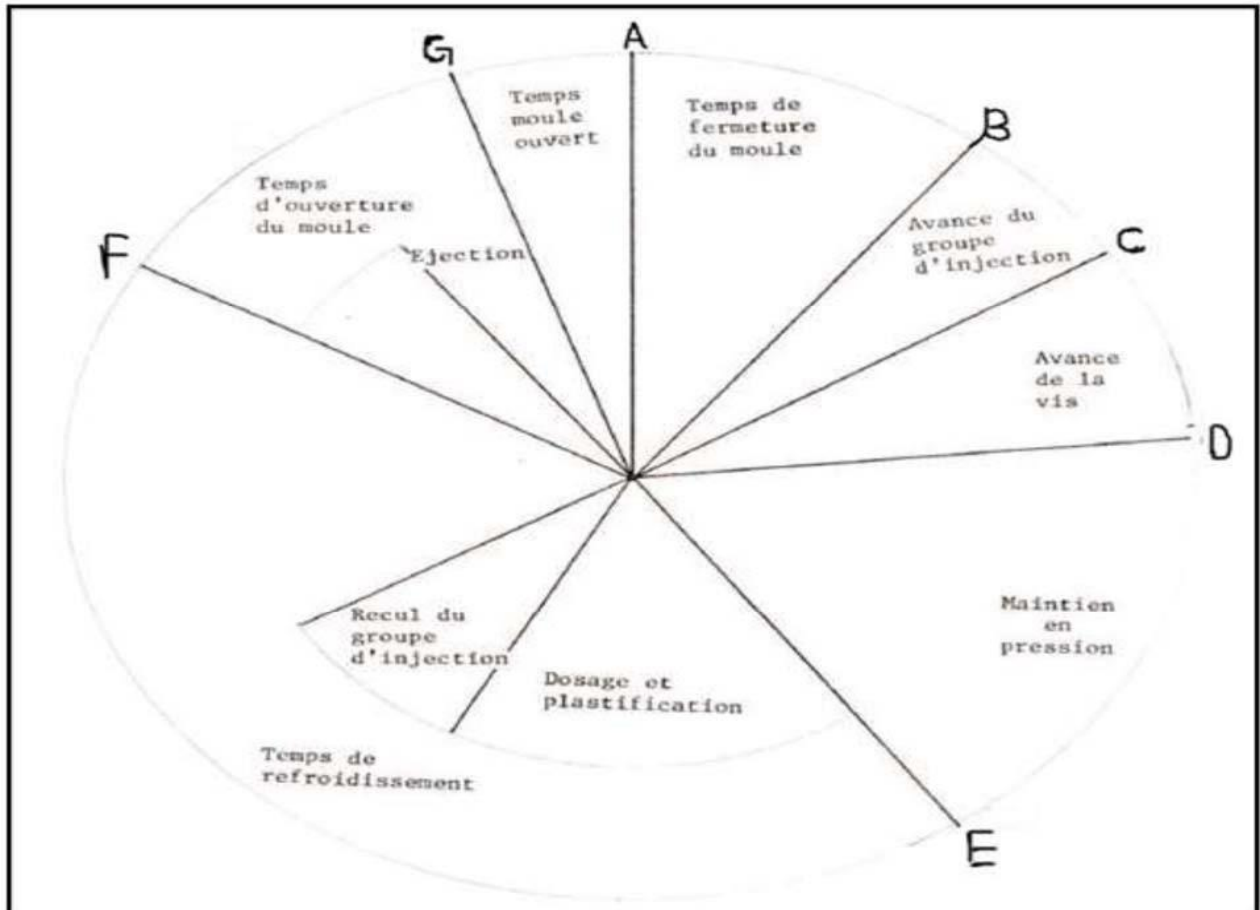


19Fig. (II.7) : Déroulement d'un cycle d'injection [9]

II.4.2. Cycle de l'injection plastique

Le cycle de moulage déroule de la façon suivante :

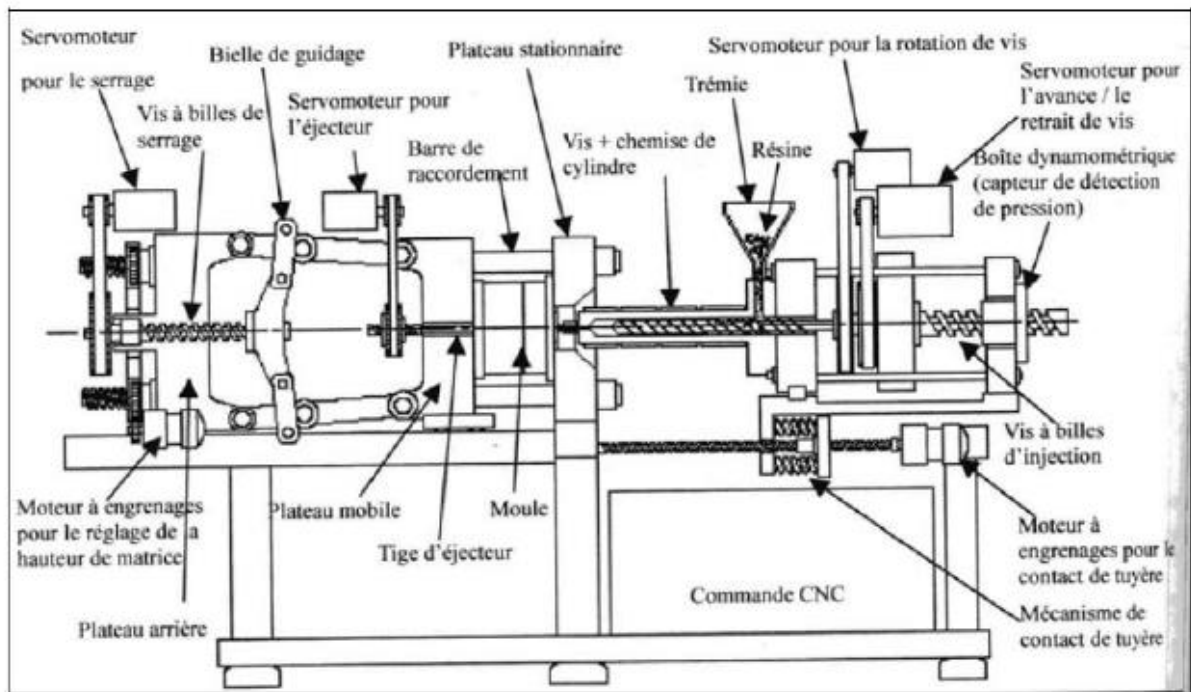
- Fermeture du moule
- Dégazage et suppression de la pression de la vis piston.
- Fermeture finale et complément d'injection, éventuellement.
- Maintien en pression.
- Recul du groupe de plastification et mise en rotation de la vis pour le préchauffage de la dose suivante, durant cette, le moule s'ouvre et la pièce fabriquée est éjectée.



20Fig. (II.8) : Cycle du moulage par injection. [9]

II.5. Etude de la presse a injection

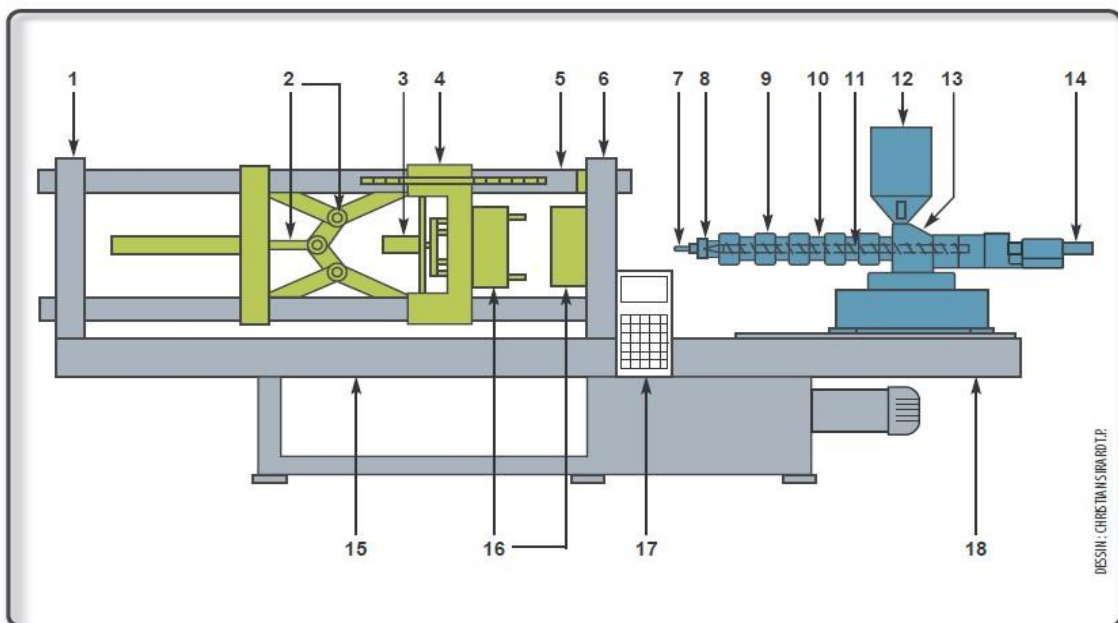
La presse d'injection ou presses à injecter est une machine qui permet d'obtenir des pièces en plastique injecté sous pression dans un moule (monté sur la presse). L'injection du plastique se fait généralement à haute pression et à température supérieure à la température de transition vitreuse. A cet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



21Fig. (II.9) : Schéma d'une presse à injecter électrique à vis de plastification. [3]

II.5.1. La structure de presse d'injection

Une machine d'injection fermeture (dans laquelle est fixé le moule) et une unité de commande. Transforme les granulés solides en polymère fondue pour l'injecter en unité de fermeture, à laquelle le moule est fixé. (la fig. II.10) illustre les parties principales d'une presse à injection. Dans le cas des thermoplastiques, le moule est réglé généralement à une température voisine de la température ambiante afin de figer la matière plastique le plus vite possible. [8]



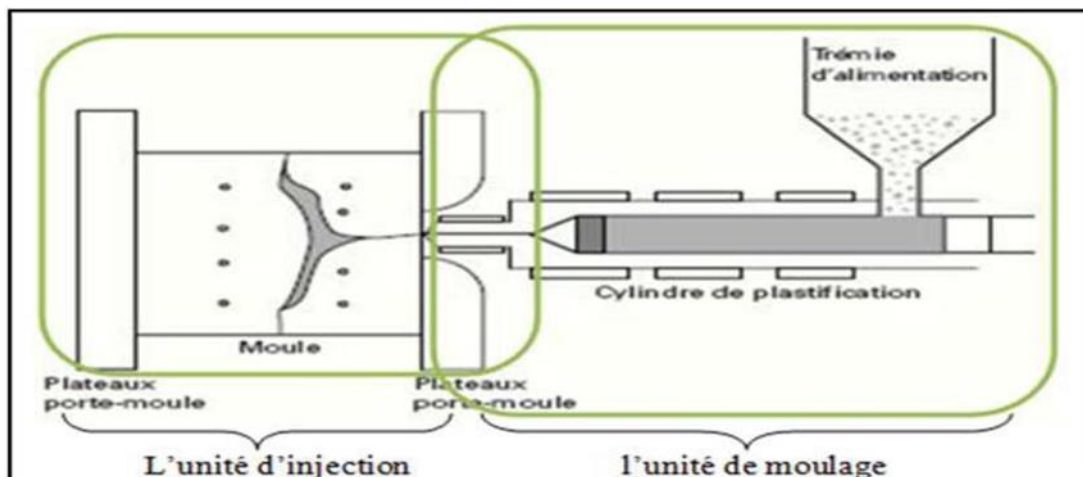
22Fig. (II.10) : La structure de presse d'injection. [8]

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



II.5.2. Description d'une presse a injection

Une presse à injecter, ou machine d'injection moulage, est constituée de deux unités principales : l'unité d'injection, ou de plastification, et l'unité de moulage (moule et système de fermeture) (Fig.II.10). Le plus souvent, les différences notables entre les types de machines concernent l'unité de plastification. Notons qu'il existe des presses verticales bien que les presses horizontales soient les plus fréquentes. Parmi ce type de machines, deux grands groupes se distinguent : les presses hydrauliques et les presses électriques. Elles présentent chacune des particularités plus ou moins intéressantes et adaptées à certaines fabrications.



23Fig. (II .11) : Cylindre de plastification et moule. [3]

II.5.3. Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'une presse d'injection est le suivant : Dans l'unité de plastification, la vis est placée dans un fourreau cylindrique, chauffé par conduction. Elle peut être entraînée soit en rotation, soit en translation. Lorsqu'elle tourne, sa fonction est tout d'abord de faire le mélange des granulés de polymère, qui ont été chauffés par les colliers chauffants et de convoyer la matière à l'entrée de l'unité de fermeture.

Ensuite, elle agit comme un piston pour injecter la matière fondue dans un moule. Ce dernier, généralement réglé à une température proche de la température ambiante, va permettre de figer le plus rapidement possible le polymère. C'est ce qui se passe lorsque l'on transforme des thermoplastiques. Pour les polymères thermodurcissables ou des élastomères, en général, le mélange est tiède et injecté dans un moule chaud permettant l'initiation de la polymérisation [3]

II.5.4. Caractéristiques des presses d'injection

Une machine d'injection (moulage) se caractérise généralement par sa capacité maximum d'injection et sa force de fermeture. La première caractéristique peut être donnée en masse de polymère ou en volume (cm^3). La capacité d'injection réelle est comprise entre 30 et 70% de cette capacité maximale, ceci en fonction du comportement en phase fondue de la matière à transformer (étape de compactage). La force de fermeture est généralement exprimée en tonne, et correspond à la force de fermeture maximale du moule que peut maintenir la presse avant, pendant et après le remplissage du moule par la matière fondue. Toutefois, de nombreux autres critères peuvent être précisés pour définir au mieux une presse à injecter. Ils sont d'autant plus importants qu'ils seront nécessaires au choix d'une machine parfaitement adaptée à une gamme d'objets à fabriquer : par exemple les distances entre plateaux et entre colonnes doivent être de dimensions compatibles avec celles du moule. [3]

Les presses à injection sont classées par tonnage pouvant varier de 5 tonnes à 9 000 tonnes. Plus le tonnage est élevé, plus la presse peut mouler les pièces de grande surface projetée.

II.6. Le moule**II.6.1. Définition**

Le moule est l'outil utilisé en injection des matières plastiques, qui remplit plusieurs fonctions et il a pour but de donner à la matière une forme finale nommée pièce ou article. Un moule est constitué principalement de composants illustrés par les figures suivantes :

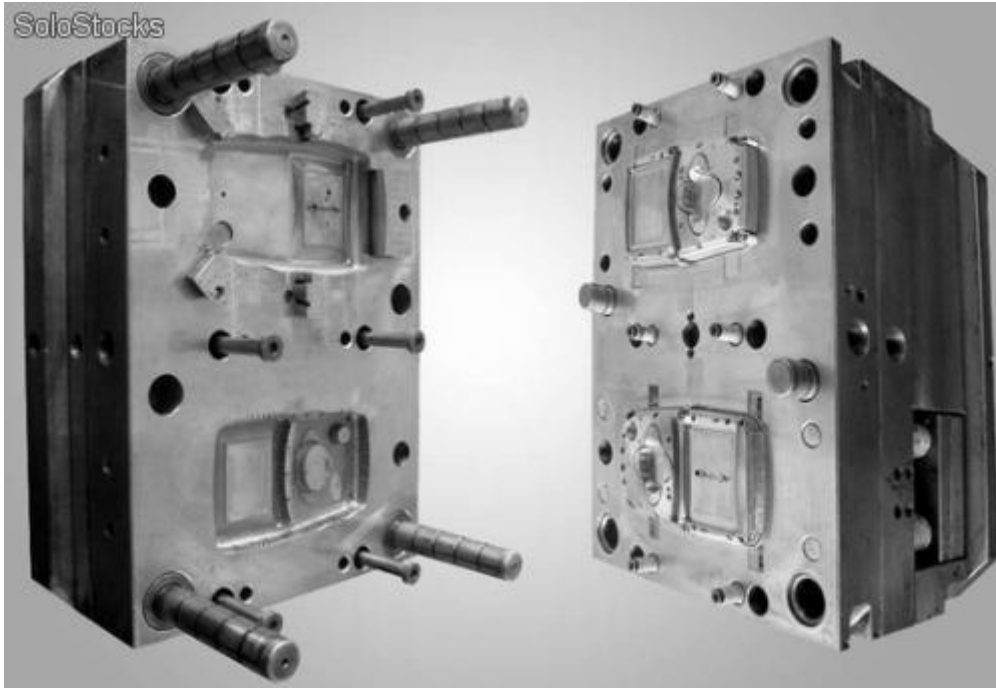
Le Corps et la cavité du moule sont chacun montés et partagés sur deux parties du moule mobile et fixe.

Les matériaux utilisés pour la fabrication des moules d'injection de thermoplastiques sont principalement des aciers choisis selon le procédé de fabrication retenu pour le moule et les conditions d'utilisation (solllicitations, interactions avec les polymères...). [11]

La conductivité thermique des aciers dépend de la composition et de la charge en éléments d'alliages [F] et varie environ entre 15 et 40W.m. Le choix des aciers pour moules d'injection ne doit cependant pas dépendre uniquement des propriétés thermiques

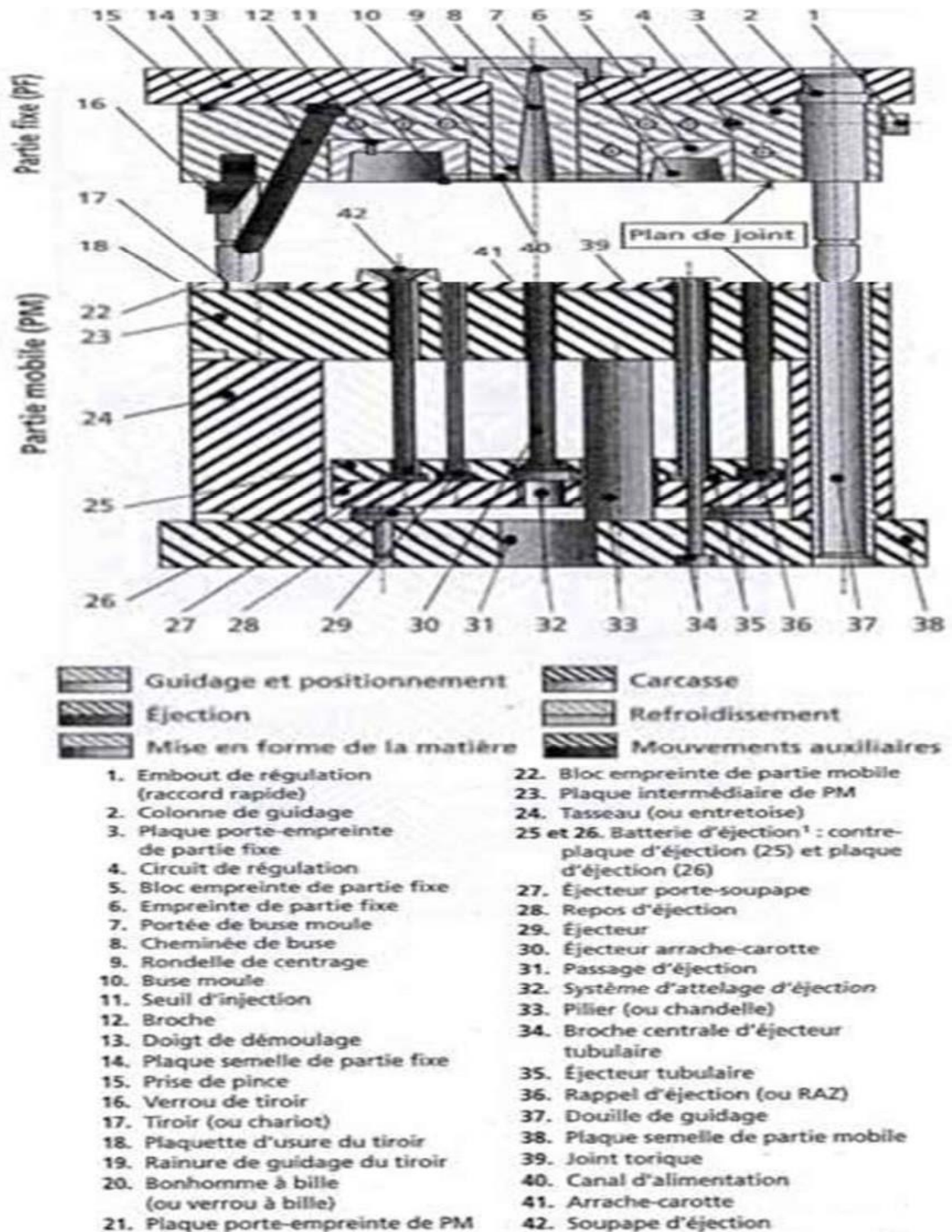
mais aussi de la résistance mécanique et à la corrosion. L'augmentation des propriétés mécaniques se traduit par l'ajout d'éléments d'alliage qui peuvent être nuisibles aux propriétés thermiques (par exemple le chrome utilisé pour la résistance à la corrosion a tendance à faire diminuer la conductivité thermique).

A la fin de l'injection du polymère fondu dans la cavité du moule, on obtient la pièce sous sa forme complète. Pour l'éjecter, on doit actionner l'arbre d'éjection (Fig.II.13), qui porte le plateau, cette dernière porte la pièce vers l'arrière en retrouvant sa position initiale.



24Fig. (II.12) : Un moule d'injection plastique. [9]

II.6.1.2 Nomenclature du moule d'injection



25Fig. (II.13) : Nomenclature du moule. [9]

II.6.2. Les parties de moule

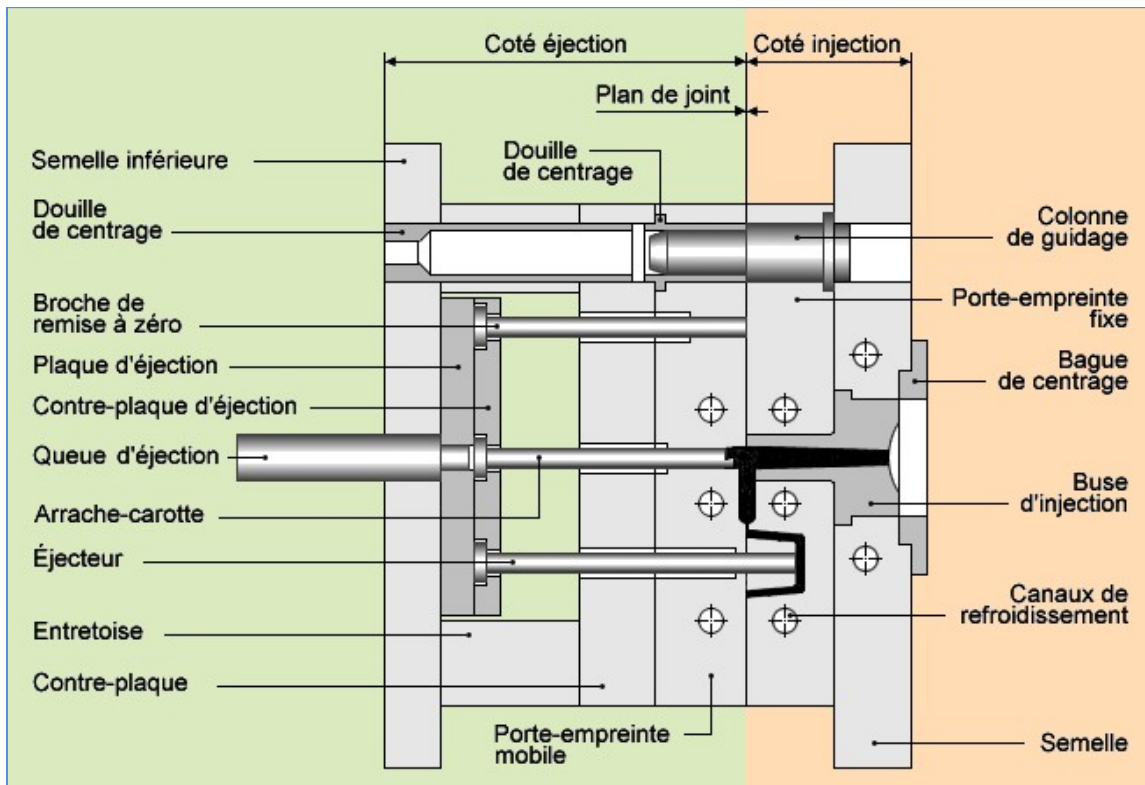
Un moule est constitué de 2 parties principales, une partie fixe pour l'injection de la matière et une partie mobile pour la fermeture du moule.

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.

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

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

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



26Fig. (II.14) : Les parties de moule [9]

II.6.3 Rôles des éléments principaux du moule d'injection

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 fixer 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 carotte, 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

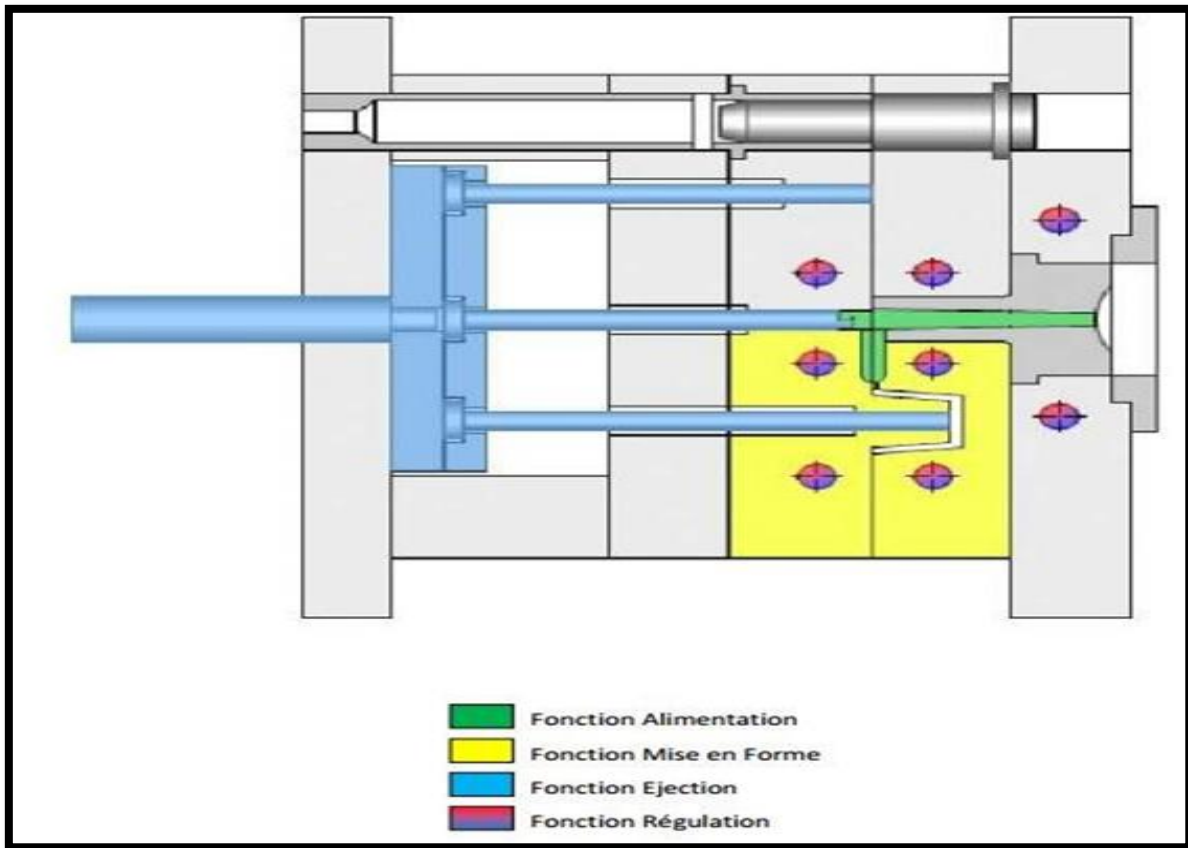
Raccord rapide du circuit d'eau : Permet un raccord rapide du circuit d'eau

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

II.6.4 Les fonctions d'un moule d'injection

En injection plastique, le moule doit répondre à plusieurs critères qui lui permettent de réaliser ses fonctions souhaitées et sa fonction principale qui est la mise en forme de la matière. Ces critères dépendent du processus de fabrication et de l'utilisation du moule

Il existe quatre fonctions qui sont les plus importantes et des fonctions techniques internes qui sont nécessaire pour le fonctionnement du moule. La fonction principale qui est la mise en forme et trois fonctions contraintes qui sont l'éjection, le refroidissement et l'alimentation.



27Fig. (II.15) : Les fonctions de moule

II.6.4.1 Fonction mise en forme ou empreinte

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

Le choix du nombre dépend essentiellement de la quantité à produire afin 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

II.6.4.2. Fonction centrage guidage et 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 recentré pour que les parties moulantes de la pièce soit en correspondance entre les différentes parties du moule.

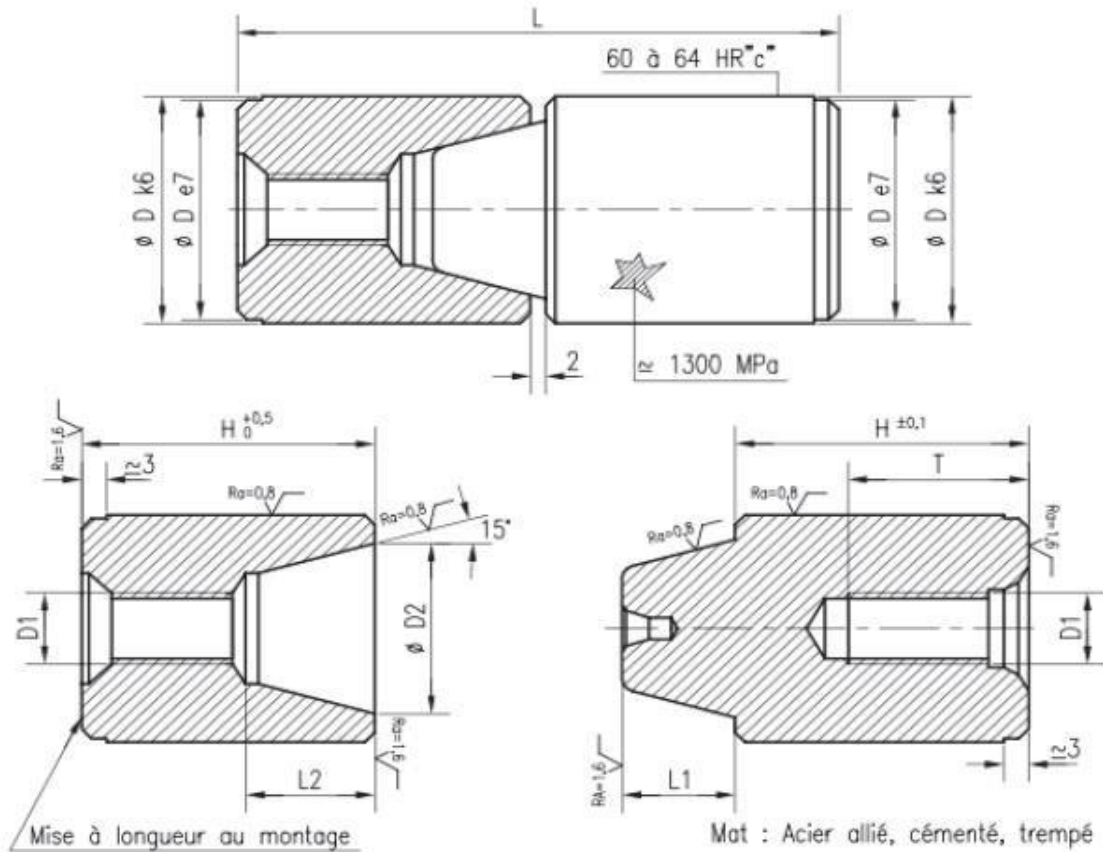
Pour éviter une excentration des deux parties du moule, on procède à un recentrage soit par un "cône" soit par des faces inclinées.

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. Alors on procède à un recentrage :

- Soit par un "cône"

- Soit par des faces inclinées.
- Soit par des centreurs coniques ou droits.

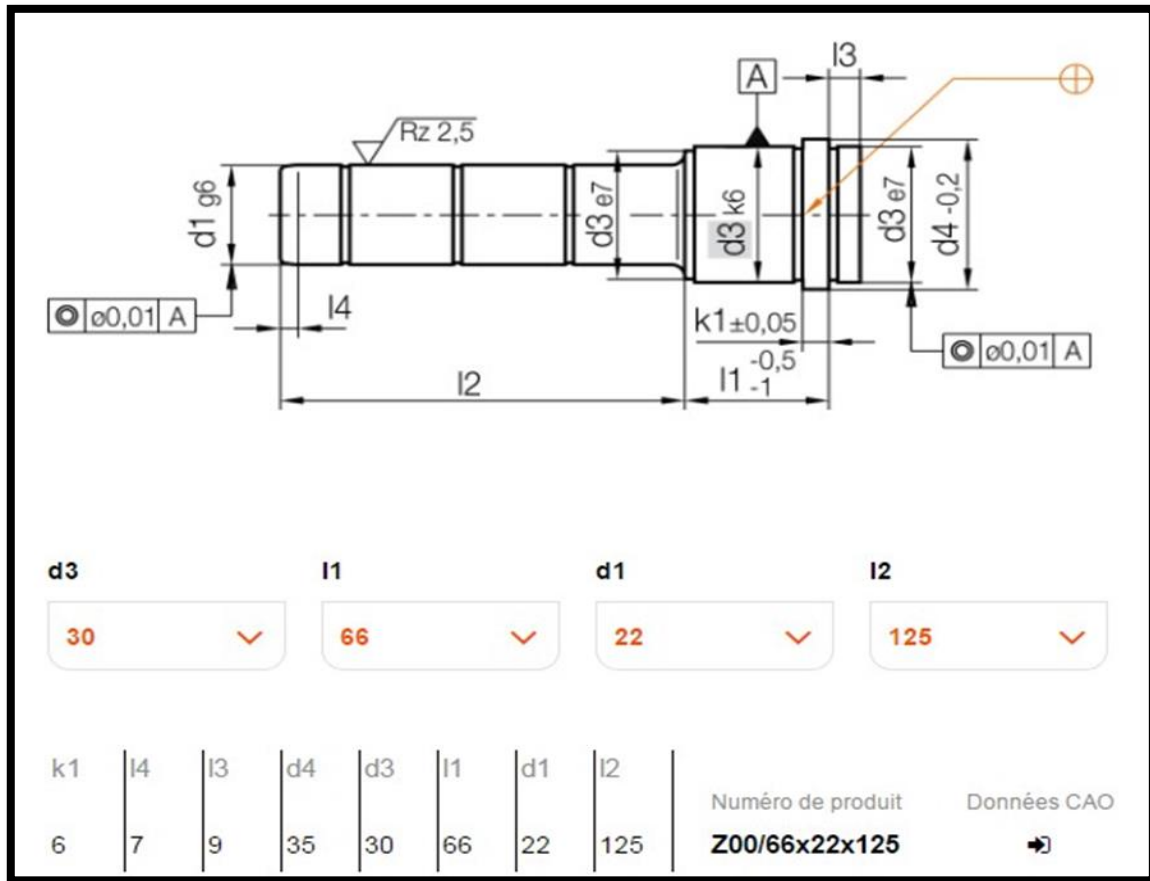


28Fig. (II.16) : Centrage par éléments coniques

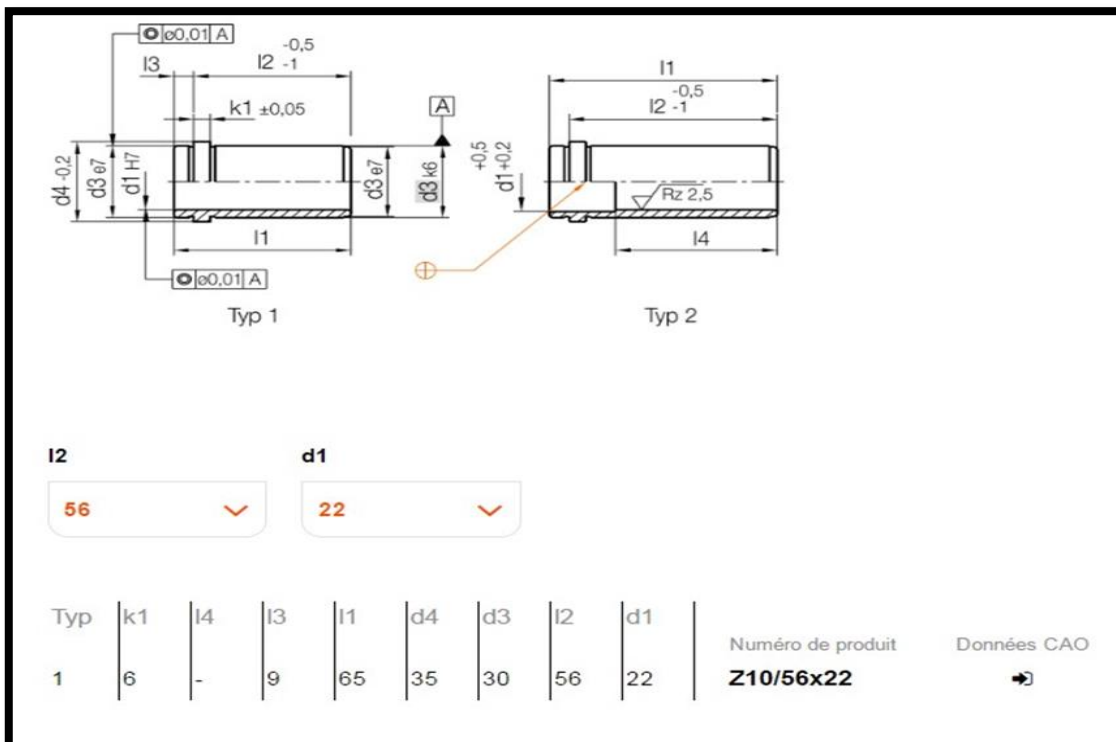
II.6.4.2.2. Le guidage des parties fixe et mobile du moule

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.



29Fig. (II.17) : Dimensions de la colonne de guidage



30Fig. (II.18) : Dimensions de la bague de guidage



31Fig. (II.19) : Eléments standards de guidage

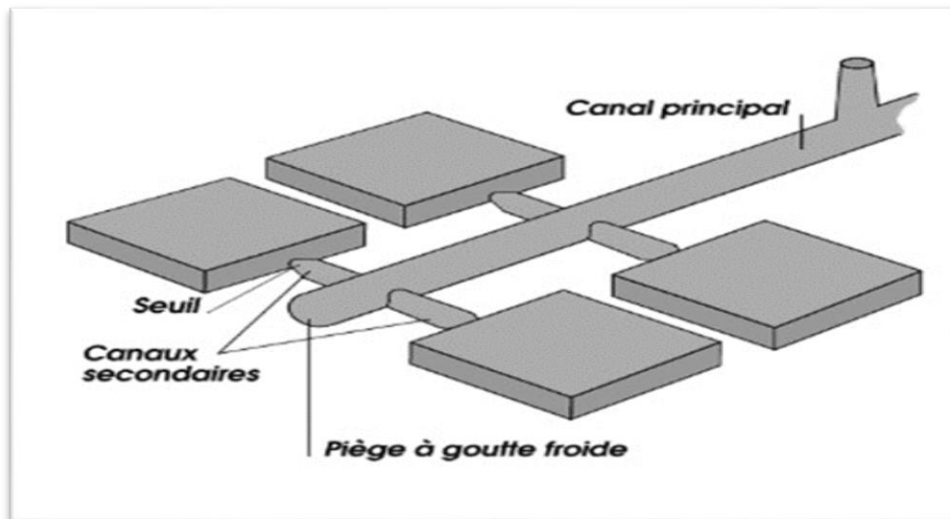
II.6.4.3. Fonction alimentation

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

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

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

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



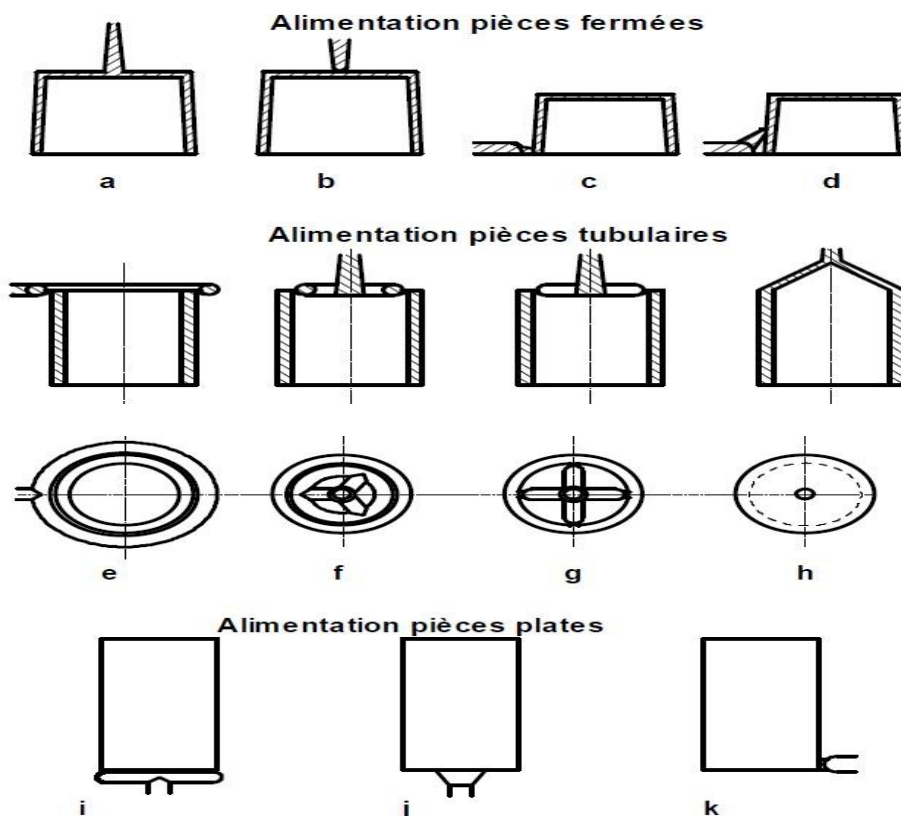
32Fig. (II.20) : Exemple d'alimentation dans le moule

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

II.6.4.3.2. Les points d'injection

Définition : est le point ou la matière pénètre dans l'empreinte du moule.

La figure (II.21) illustre les différentes possibilités de point d'injection



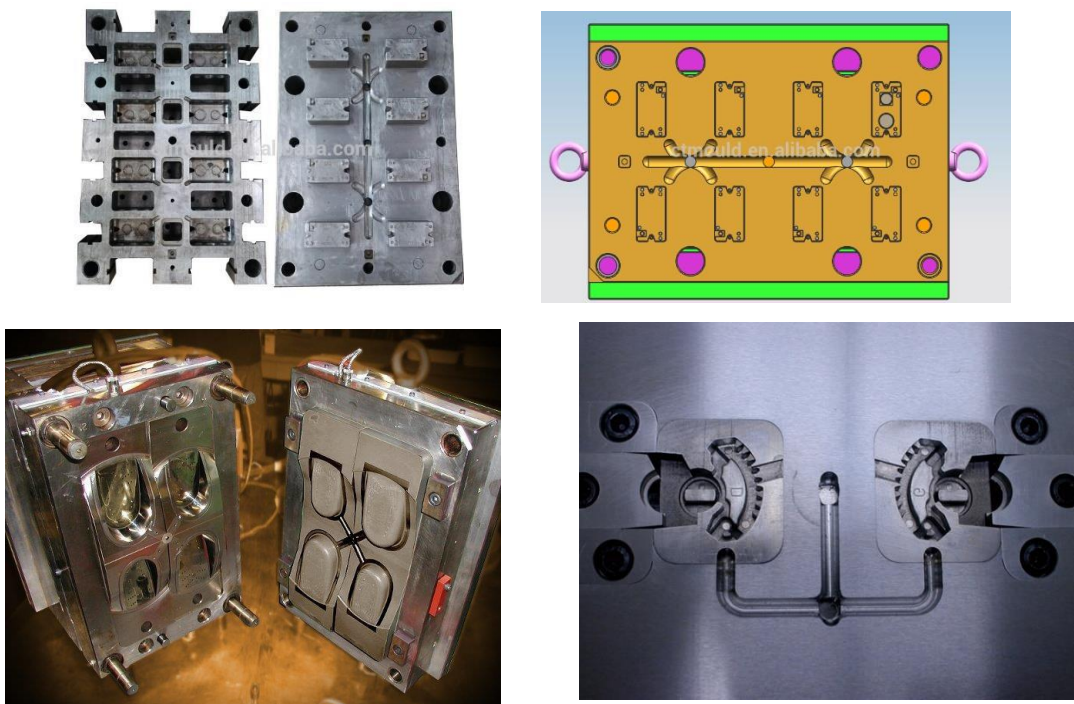
33Fig. (II.21) : Les points d'injection

- a. Injection carotte conique dit "injection directe"
- b. Injection capillaire centrale en pin-point, dit "moule 3 plaques"
- c. Injection latérale directe
- d. Injection en sous-marin dit "à d'égrappage automatique"
- e. Injection annulaire externe
- f. Injection capillaire interne en 3 points
- g. Injection capillaire en 4 points
- h. Injection en parapluie
- i. Injection capillaire latérale
- j. Injection par voile dans le plan de joint dit "injection en nappe"
- k. Injection latérale "pleine"

II.6.4.3.3. Les canaux d'alimentation (Implantation des empreintes)

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

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

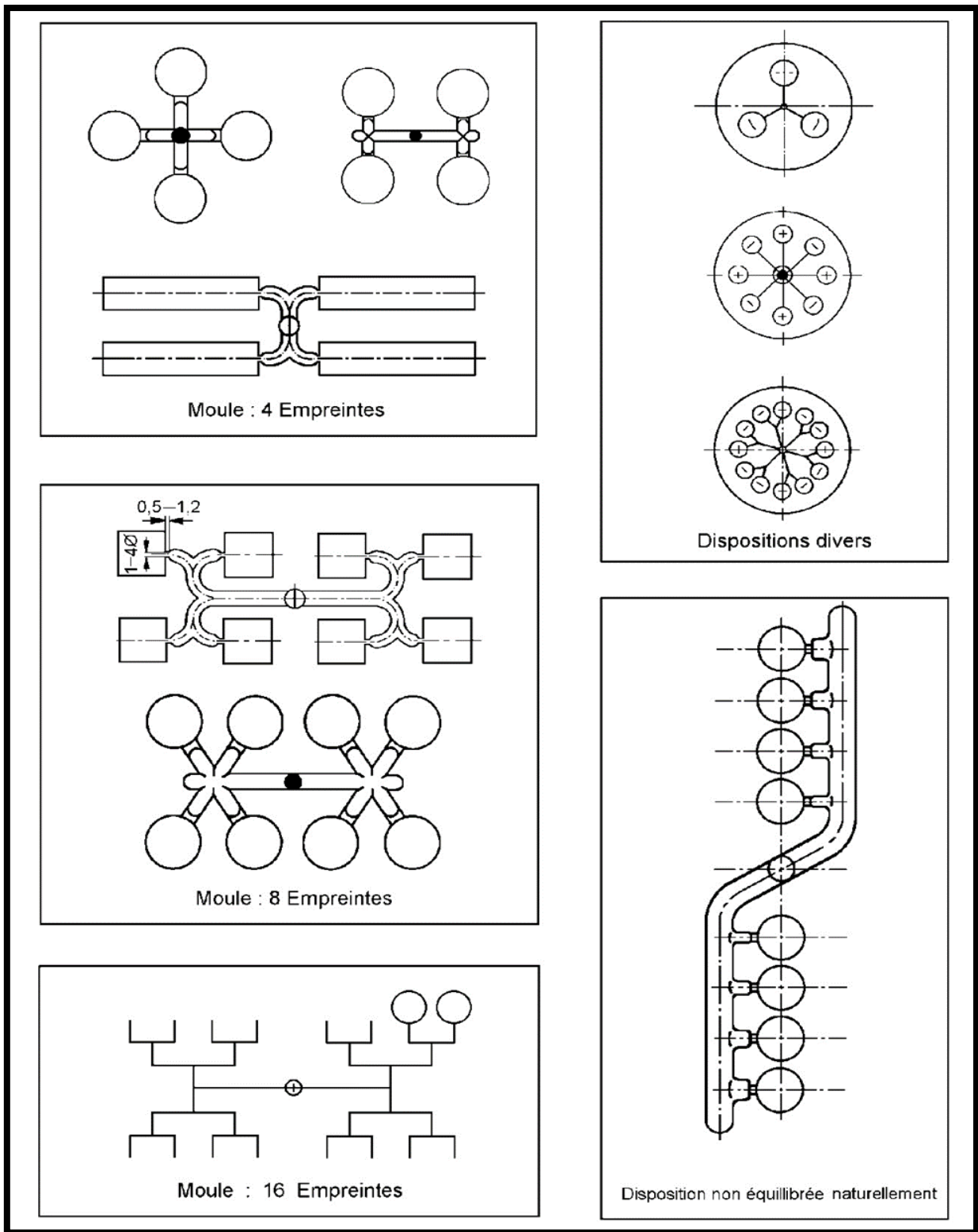


34Fig. (II.22) : Exemples de canaux d'alimentations

Un système d'alimentation équilibré permet d'éviter :

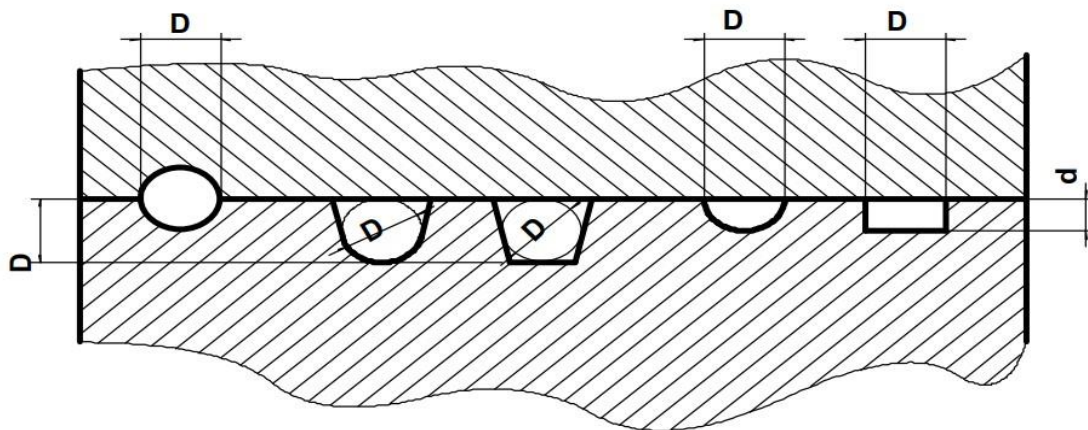
- Des contraintes internes excessives
- Un retrait irrégulier

- Des écarts de tolérance importants
- Un démoulage difficile
- Une déformation du produit



35Fig. (II.23) : Différentes implantations des empreintes (les canaux)

II.6.4.3.4. Avantages et inconvénients des différents formes des canaux d'alimentation



36Fig. (II.24) : Les types de réunir d'alimentation

	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

8Tab (II.1) : Les avantages et les inconvénients des canaux d'alimentation

II.6.4.4. 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 conditionnées par la phase de solidification du polymère dans la cavité moulante. L'analyse des transferts de chaleur pendant cette phase, conduit à investiguer le positionnement optimal des sources froides ainsi que leurs intensités. Notre approche est basée sur un positionnement du type « conformal cooling » des canaux de refroidissement, puis sur une méthode de contrôle optimal pour déterminer les flux de chaleur à évacuer en régime périodique établi. On refroidit les moules par rapport à la

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

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.

II.6.4.4.1. Calcul du temps de refroidissement

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

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

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) ;

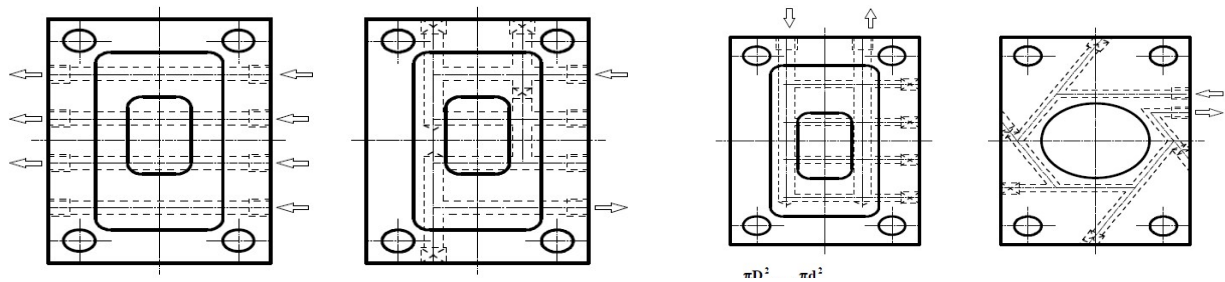
Θ_{dém} : température de démoulage (°C) ;

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

II.6.4.4.2. Refroidissement en plateau et refroidissement spirale

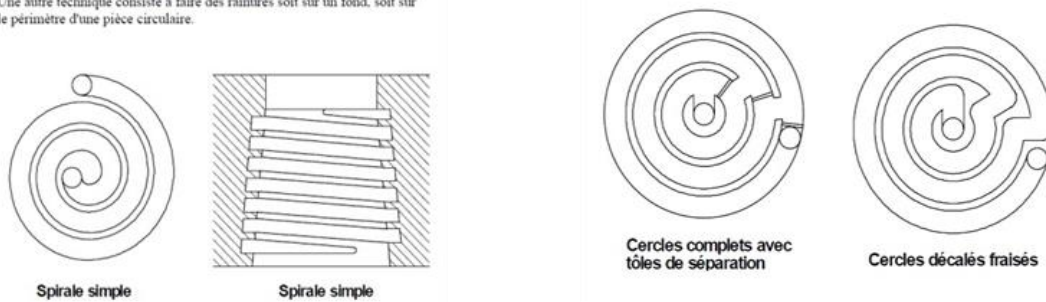
C'est un système de refroidissement où la configuration des trous et des cannelures peut être connecté aussi bien en série qu'en parallèle (figure II.25). Si l'on veut être sûr d'avoir une utilisation complète de tout le système de refroidissement, il est souvent préférable de choisir un refroidissement en série plutôt qu'un refroidissement en parallèle, en vérifiant que ΔT° est inférieur à 4° C.

Le trajet de refroidissement ne doit surtout pas être trop long et doit être interrompu à temps, pour créer ainsi des circuits qui peuvent être connectés et refroidis séparément. Le refroidissement en parallèle offre cependant l'avantage d'un trajet de refroidissement plus court. La configuration des trous peut aussi être envisagée en forme de spirale (figure II.26), mais vérifier que le fluide coule bien dans chaque circuit.



37Fig. (II.25) : Refroidissement en plateau (en série et en parallèle)

Une autre technique consiste à faire des rainures soit sur un fond, soit sur le périmètre d'une pièce circulaire.



38Fig. (II.26) : Refroidissement en Spirale

II.6.4.5. 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 :

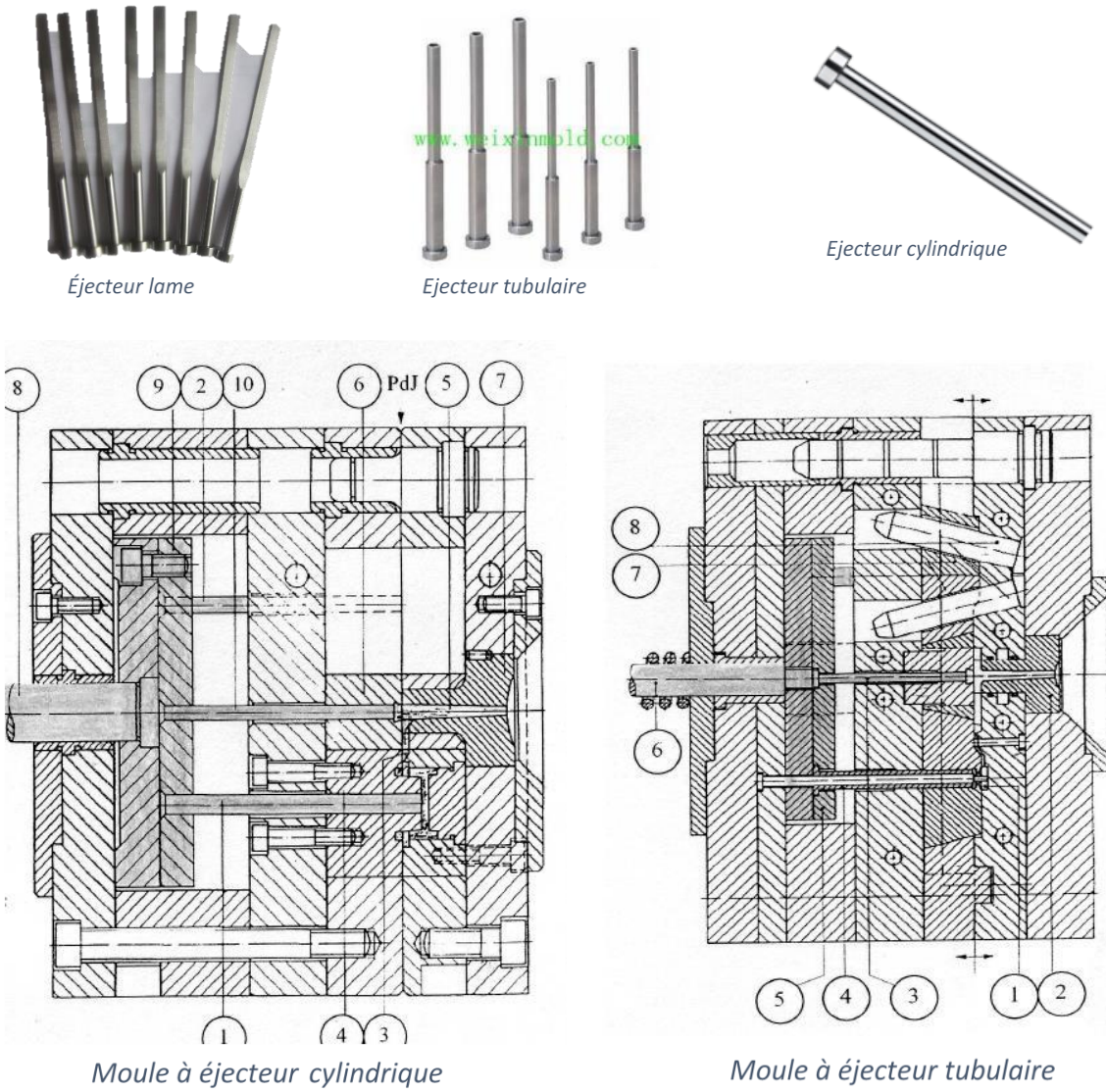
- Les éjecteurs sont des barres métalliques cylindriques pleines (parfois creuses) qui, lors de l'ouverture du moule, viennent pousser la pièce plastique pour l'extraire du moule. Il s'agit de la technique d'éjection la plus utilisée car elle peut s'appliquer à quasiment toutes les pièces plastiques. Les traces des éjecteurs sont souvent visibles sur la pièce et sont considérées comme "inesthétiques"[13]

II.6.4.5.1. Les types d'éjecteurs

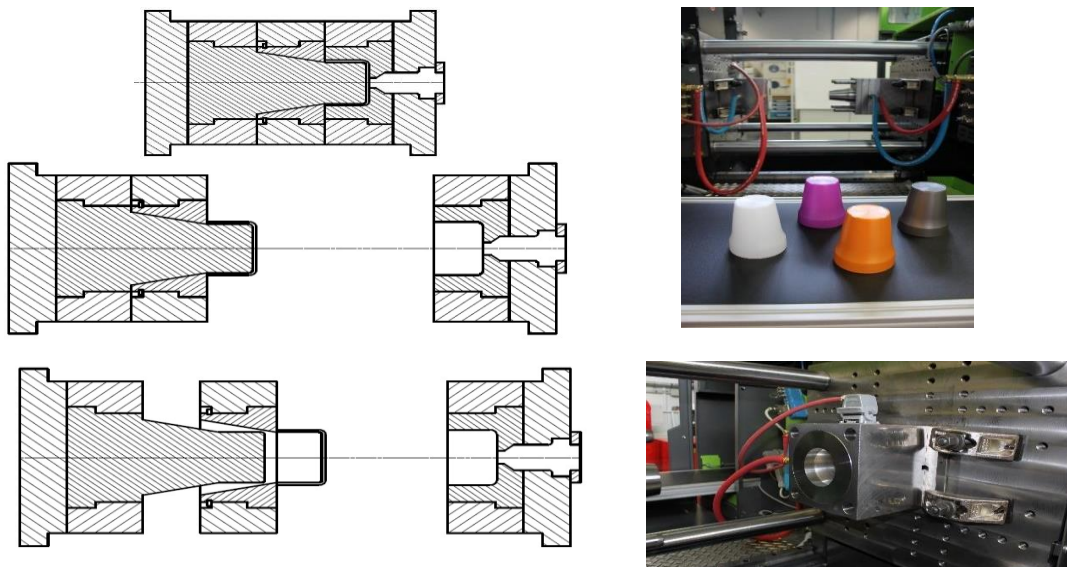
Choix du dispositif d'éjection :

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 annul



39Fig. (II.27) : Différent types d'éjection



40Fig. (II.28) : Ejection par Plaque dévétisseuse

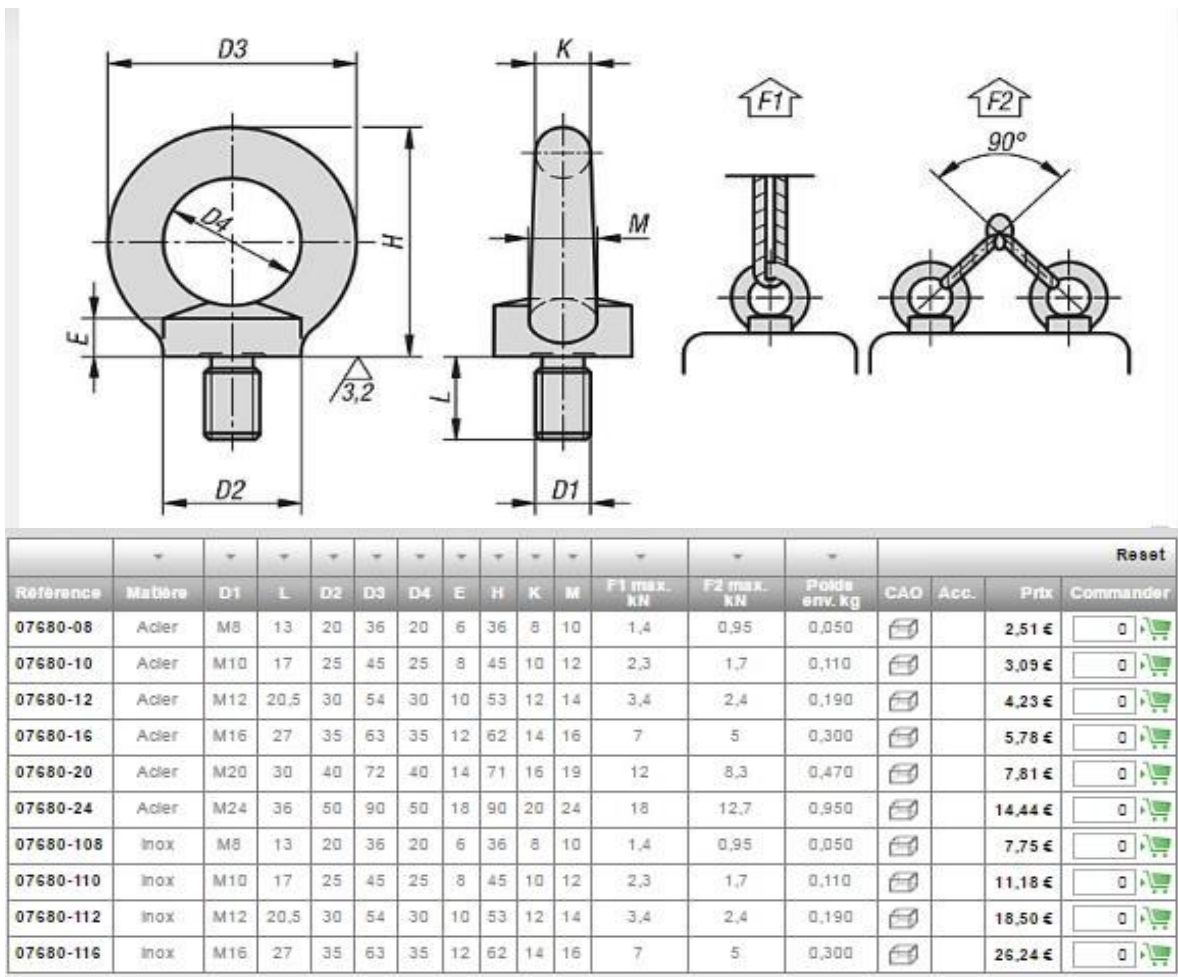
- Les plaques dévétisseuses : La fonction de la plaque dévétisseuse est la même que celle des éjecteurs. Il s'agit d'une plaque qui va venir pousser sur les bords d'une pièce. Ces bords doivent donc se situer dans un même plan.

II.6.4.6. 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 rentre. 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.



41Fig. (II.29) : Les paramètres de vérin de moule d'injection

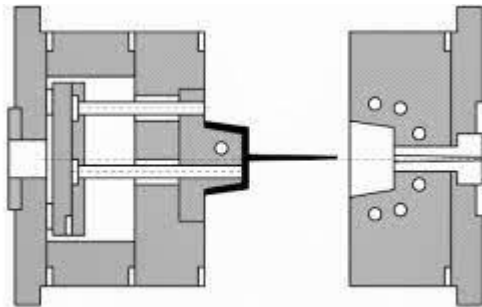
II.6.5. Les types de moule d'injection

Un moule thermoplastique peut-être défini par :

- Le nombre d'empreintes (1,2,4,8,16,32 ... empreintes)
- Nombre de plaques : 2 plaques (ou à un plan de joint), 3 plaques (ou deux plans de joints), à tiroirs, à coquilles.
- Le système d'alimentation : carotte perdue, canaux chauffants.
- Le type d'alimentation des empreintes
- Le système d'éjection des pièces.
- La durée de vie (choix des matériaux).

II.6.5.1. Moule à deux plaques

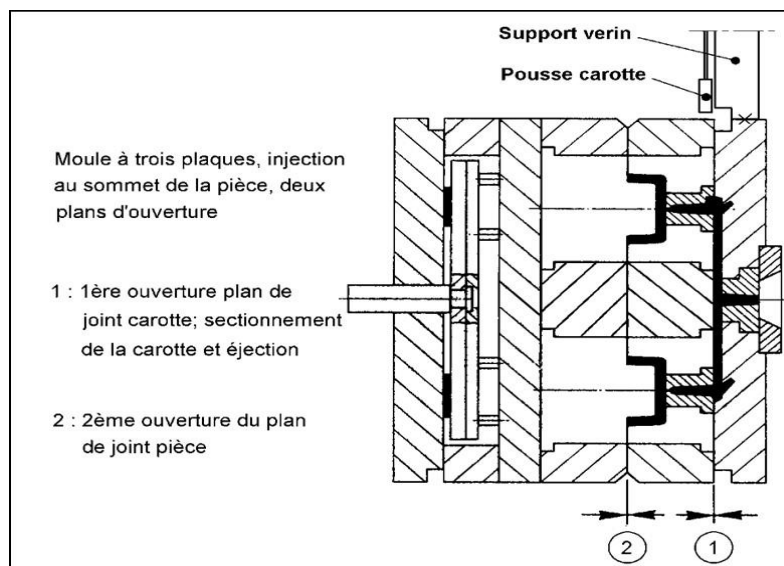
Le plus couramment utilisé a cause de ça simplicité dans la fabrication et la mise en forme



42Fig. (II.30) : Moule à deux plaques

II.6.5.2. Moule à Trois plaques

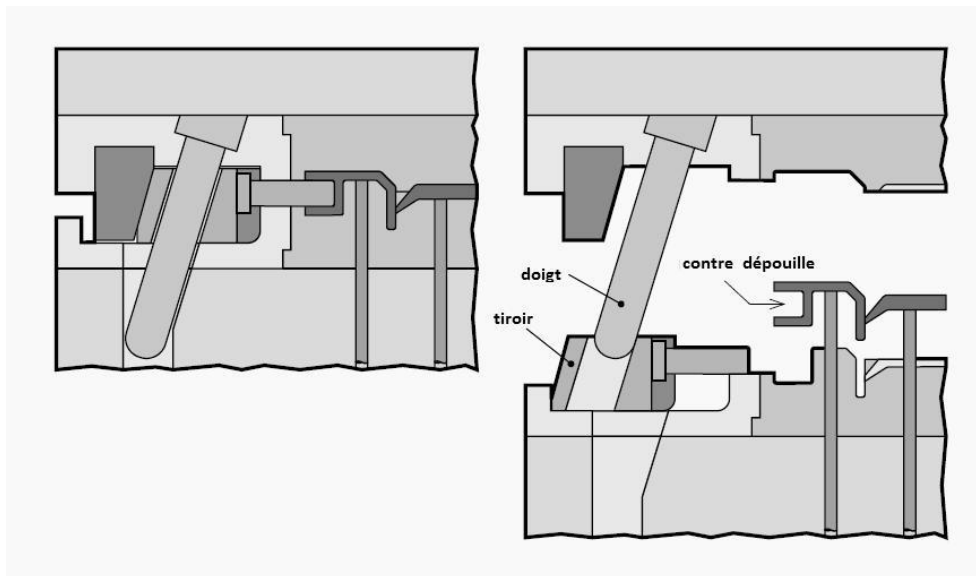
Permet le d'égrappage automatique des pièces injectés et des déchet (canaux, carotte) lors de l'ouverture de moule



43Fig. (II.31) : Moule à trois plaques

II.6.5.3. Moule à Tiroirs

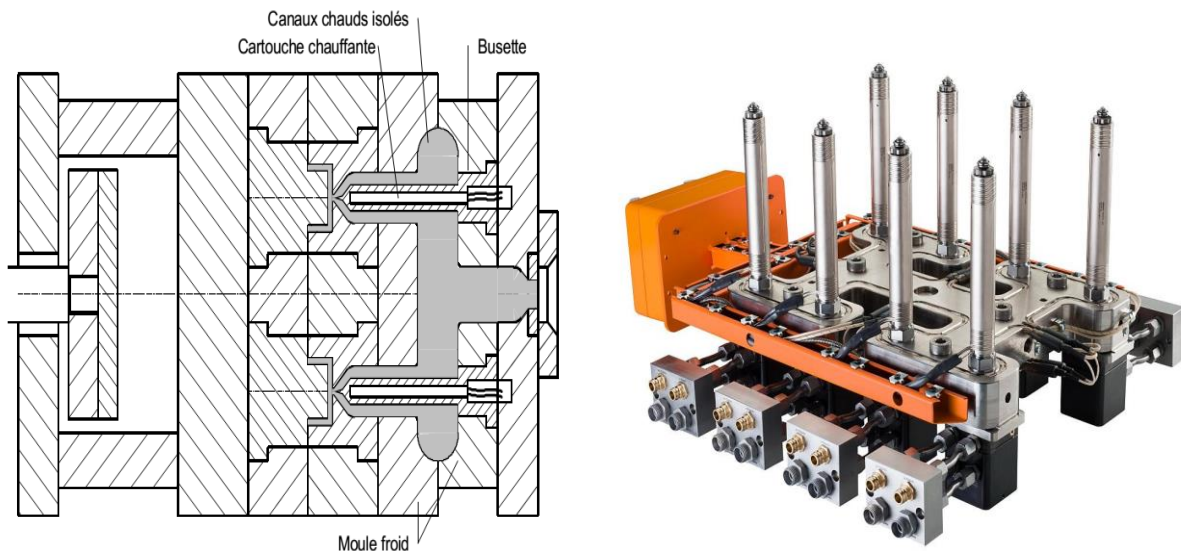
Permet le démoulage de pièces possédant des surfaces contre dépouilles



44Fig. (II.32) : Moule à tiroirs

II.6.5.4. Les moules à canaux chauds

Ce sont des systèmes élaborés dans les moules et qui consistent en une extension du nez du cylindre d'injection. L'avantage de ces systèmes réside dans une économie de matière et des canaux d'alimentation. Le fonctionnement sera traité plus loin.[12]



45Fig. (II.33) : Moule à canaux chauds

II.6.5. Matériaux utilisés pour la fabrication des moules

La carcasse d'un moule est réalisée à partir d'éléments standards en acier prétraité ou traité.

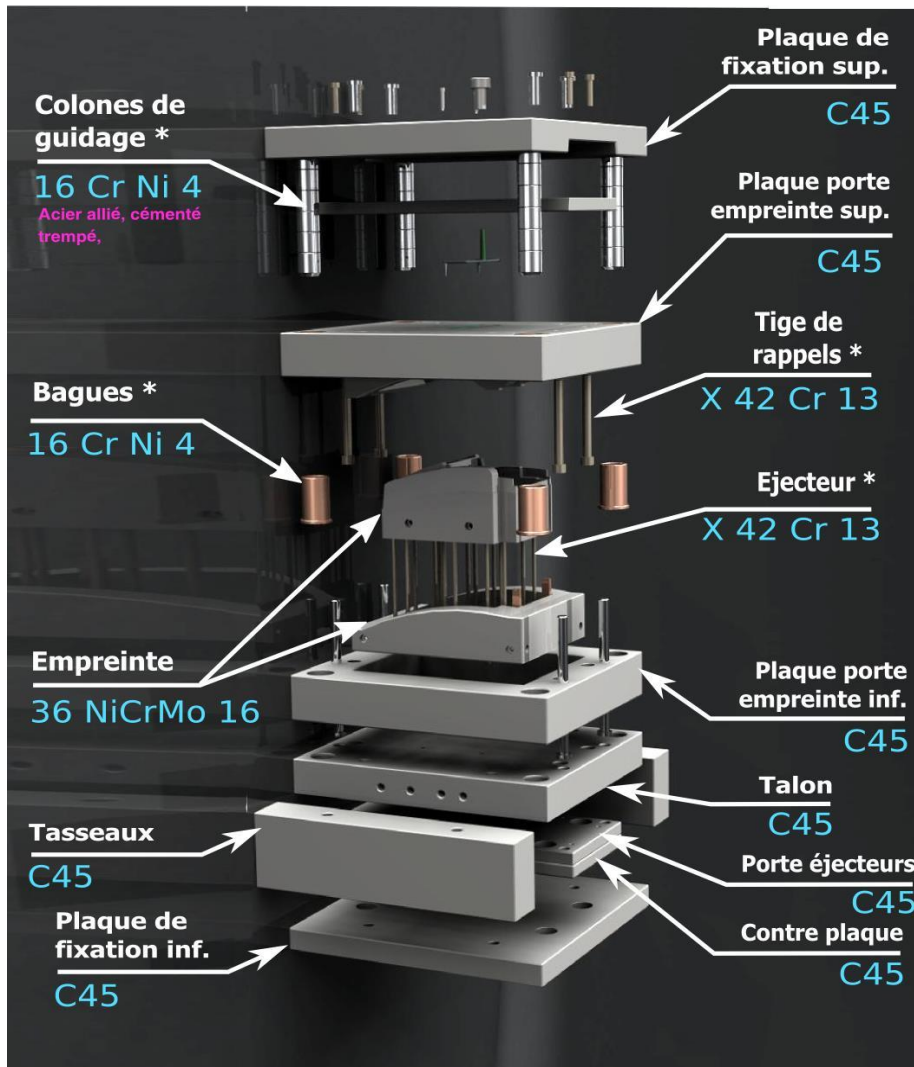
Le fabricant de l'outillage n'intervient que pour réaliser les blocs ou pavées liés à la réalisation de l'empreinte, à la mise en place du système d'éjection et à l'obtention des formes en dépouille. Ces éléments standards pour l'outillage sont proposés Par plusieurs entreprises DME, HASCO, RABOURDIN... ; Pour les dimensions, se reporter aux catalogues correspondants.

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

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

Ces matériaux doivent avoir :

- Une bonne résistance à l'abrasion causée par le frottement des charges contenues Dans la matière injectée et le mouvement des éléments mobiles de l'empreinte.
- Une bonne usinabilité et une bonne aptitude au polissage, indispensables pour Faciliter le respect du cahier des charges concernant l'état de surface des éléments moulants et la réalisation de formes complexes.
- Une précision et une stabilité dimensionnelles correctes après les traitements thermiques dont il faut connaître les effets, compte tenu des dimensions et des tolérances de l'outillage dont dépend l'un des éléments de calcul du retrait de la pièce injectée.
- Une résistance à la corrosion chimique indispensable à cause des produits dégagés Par l'injection de certaines matières plastiques)PVC, acétate de cellulose, PTFE.(...
- Une bonne conductivité thermique : cas des métaux, contrairement aux résines Chargées avec les quelles on observe des cycles d'injection très longs malgré l'incorporation de circuits de refroidissement. [13]



46Fig. (II.34) : Matériaux utiliser pour la fabrication des pièces des moules

CHAPITRE III

Conception et Réalisation d'un moule d'injection

III.1. Conception de moule**III.1.1. Introduction**

Un programme en général de type industriel doit être capable de résoudre des problèmes variés de grandes tailles (de mille à quelques centaines de milliers de variables). Ces programmes complexes nécessitent un travail d'approche non négligeable avant d'espérer pouvoir traiter un problème réel de façon correcte. Parmi ces programmes on a utilisé le SOLIDWORKS qui permet le concevoir des pièces, des assemblages et des mises en plan complexes.

III.1.2. Définition de moule**Type de queue d'éjection**

- Non attelée (ressort).

Type de régulation

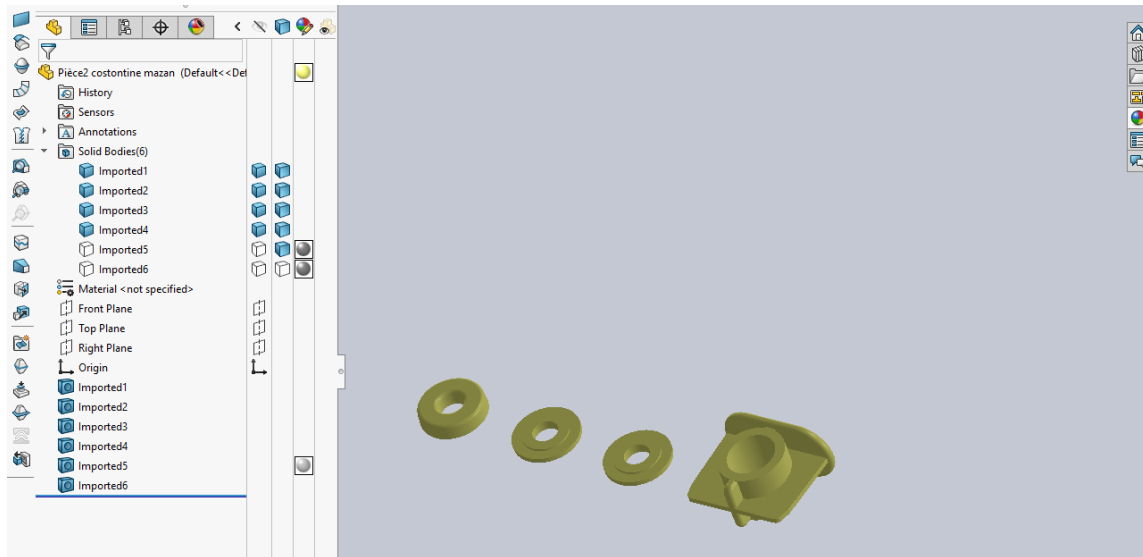
- Thermorégulateur (eau).
- Outillage quatre empreintes.
- Moule deux plaques.
- Cadence normale.
- Éjection : poussée avec rappel par ressort.
- Masse de la pièce : 70g.
- Volume total des pièces et des canaux : 215 cm³
- Pertes de charge estimées lors de l'écoulement dans les empreintes : 45 %.

Température de régulation

- Température du moule, côté injection : 40 °C.
- Température du moule, côté noyau : 40 °C.

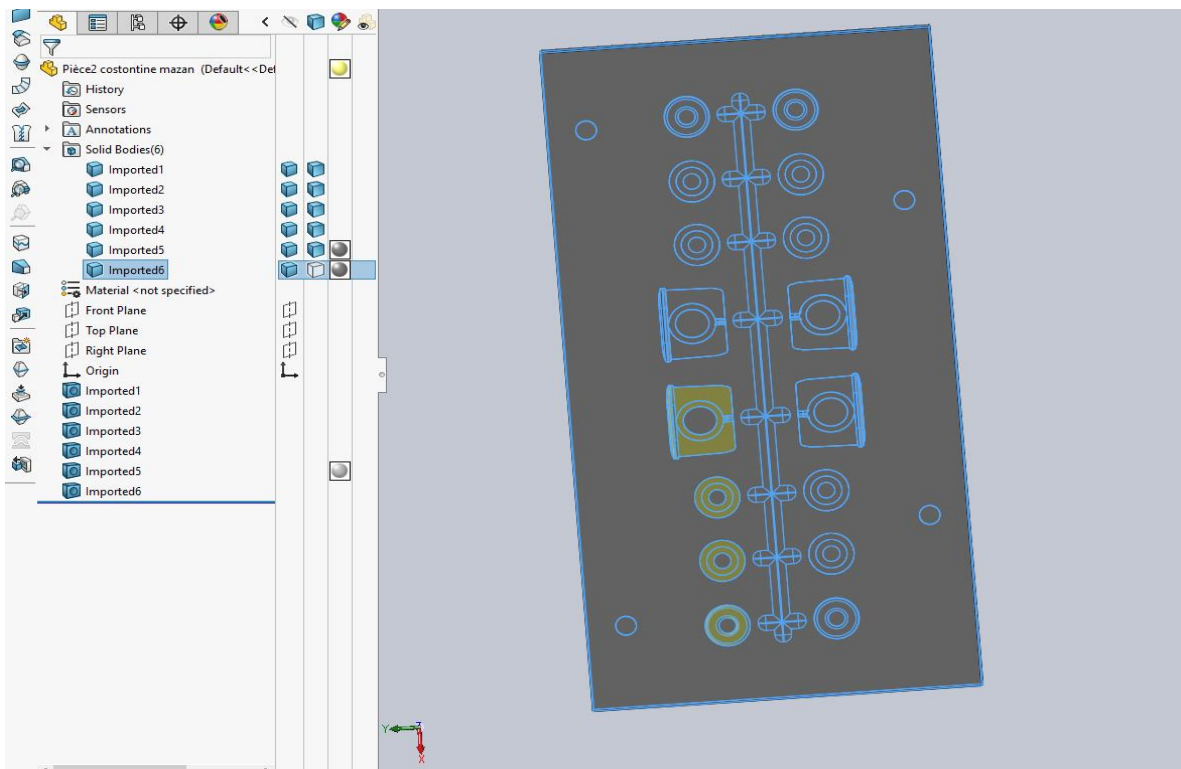
III.1.2. Conception des pièces sur SOLIDWORKS

La pièce



47Fig. (III. 1) : La pièce

L'empreinte



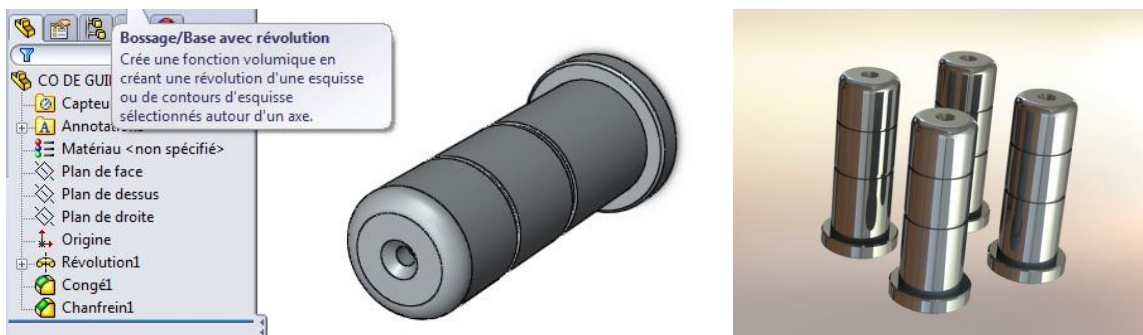
48Fig. (III. 2) : L'empreinte

La buse d'injection



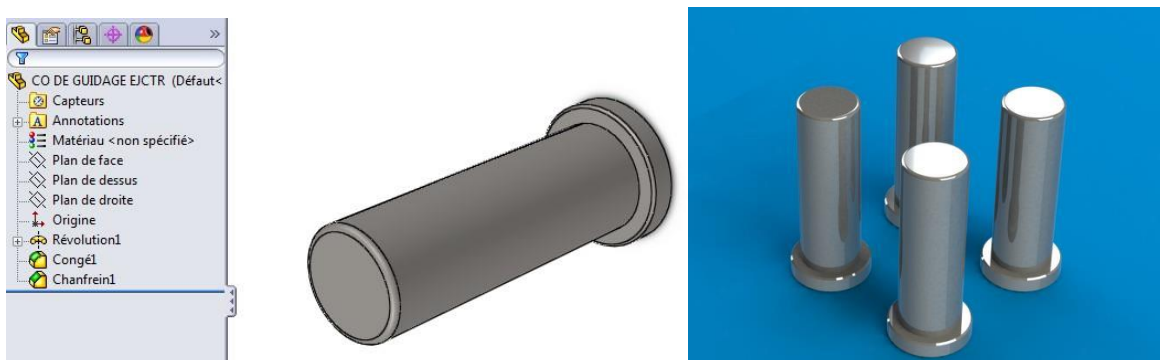
49Fig. (III. 3) : La buse d'injection

La colonne de guidage



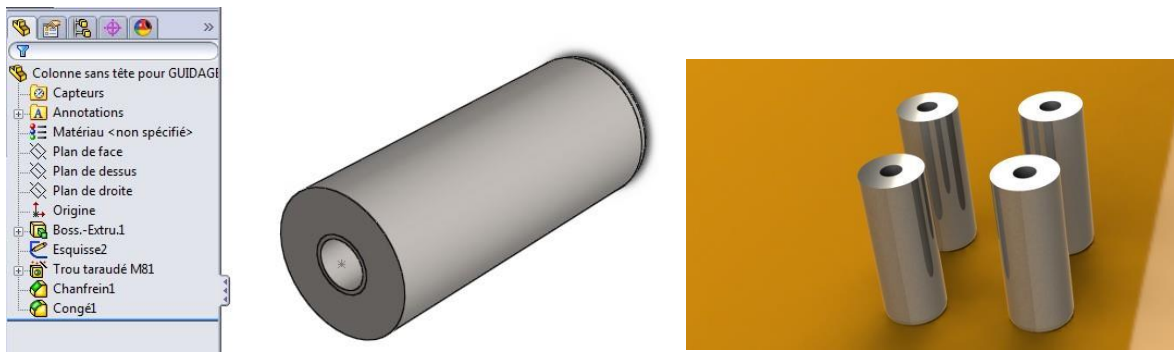
50Fig. (III.4) : Les colonnes de guidage

La colonne de rappel



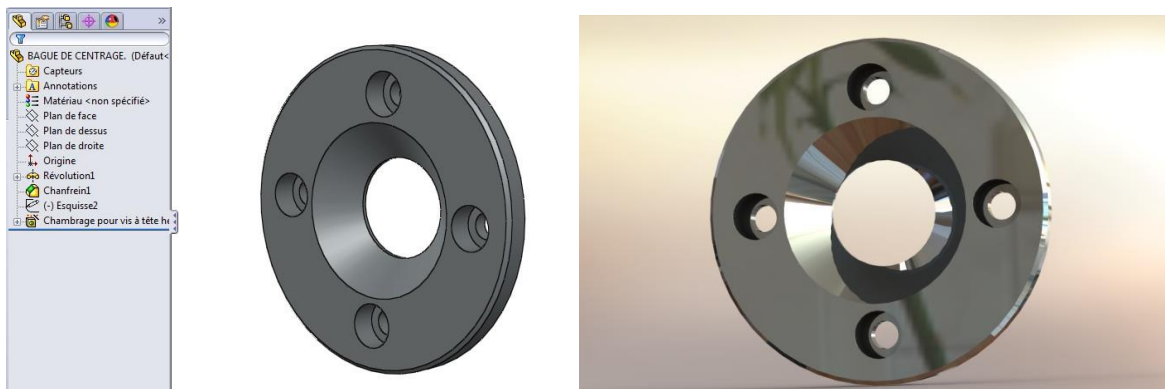
51Fig. (III. 5) : Les colonnes de rappel

La colonne sans tête



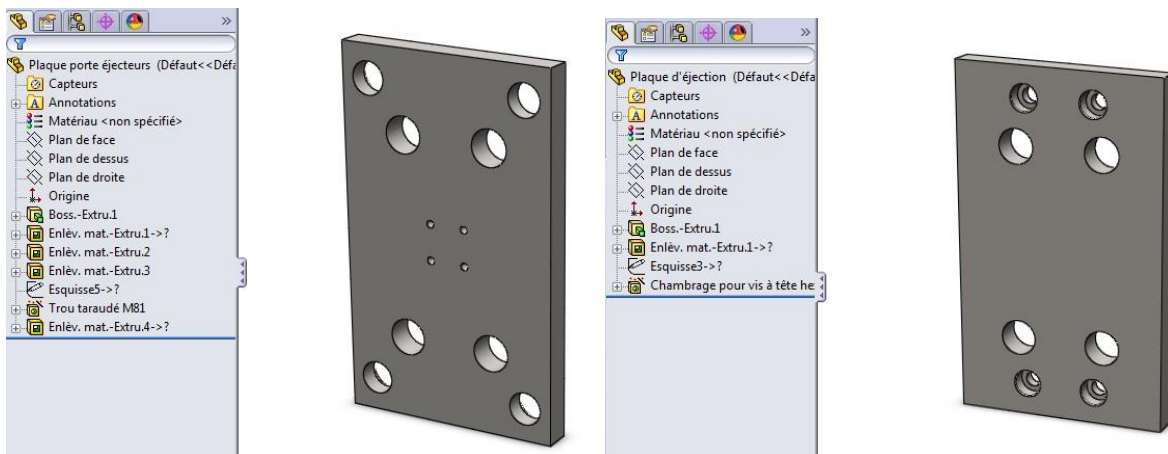
52Fig. (III. 6) : Les colonnes sans tête

La rondelle de centrage



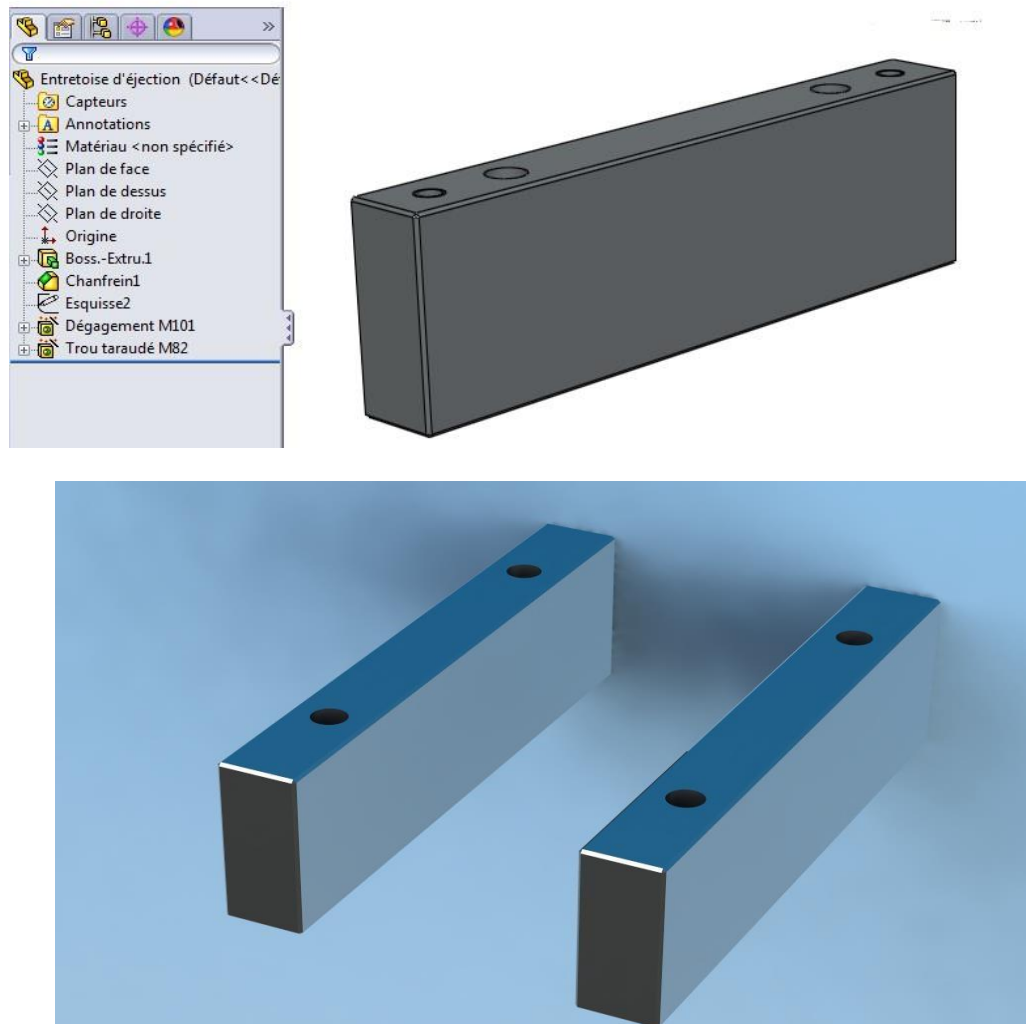
53Fig. (III. 7) : Les rondelles de centrage

La batterie déjection



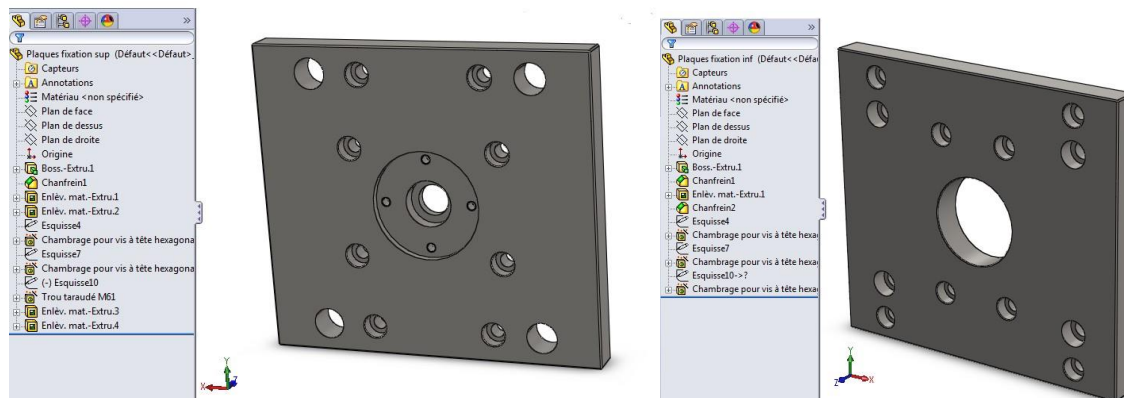
54Fig. (III. 8) : La plaque porte éjecteurs et la plaque d'éjection

Les entretoises

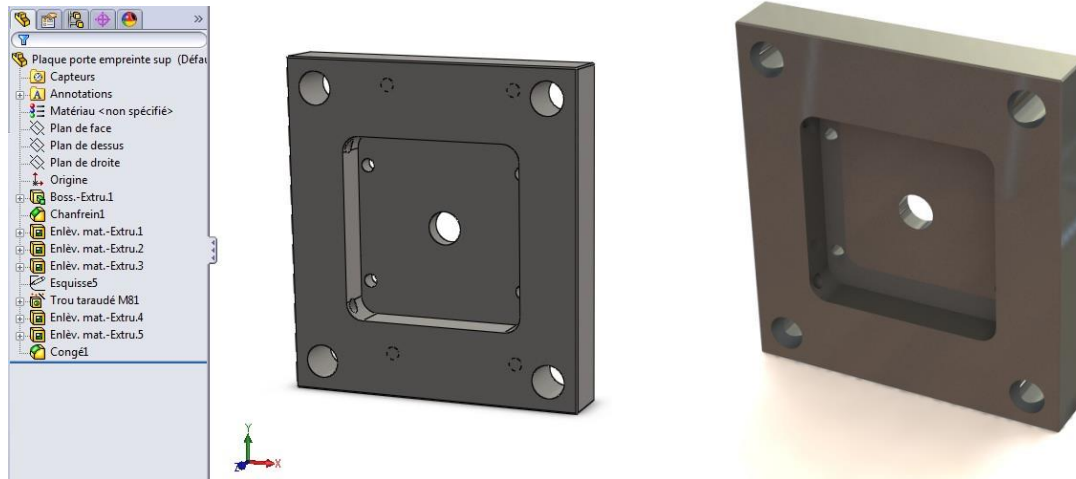


55Fig. (III. 9) : Les entretoises

Les plaques de fixation

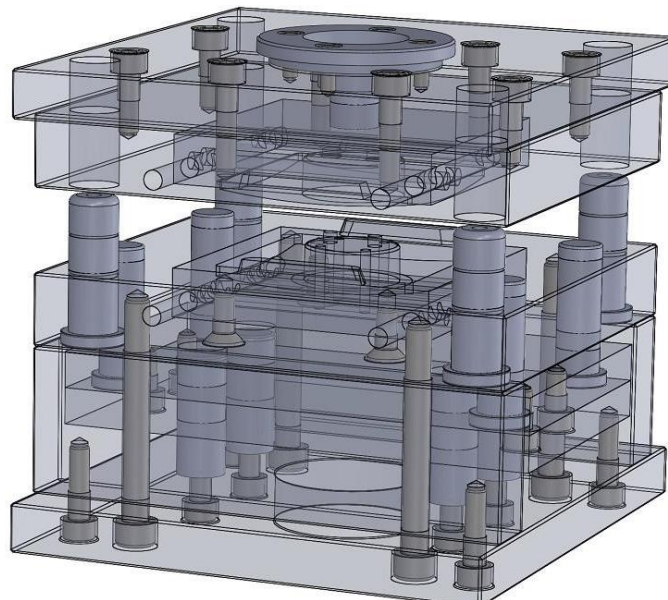


56Fig. (III. 10) : Les plaques de fixation CF et CM

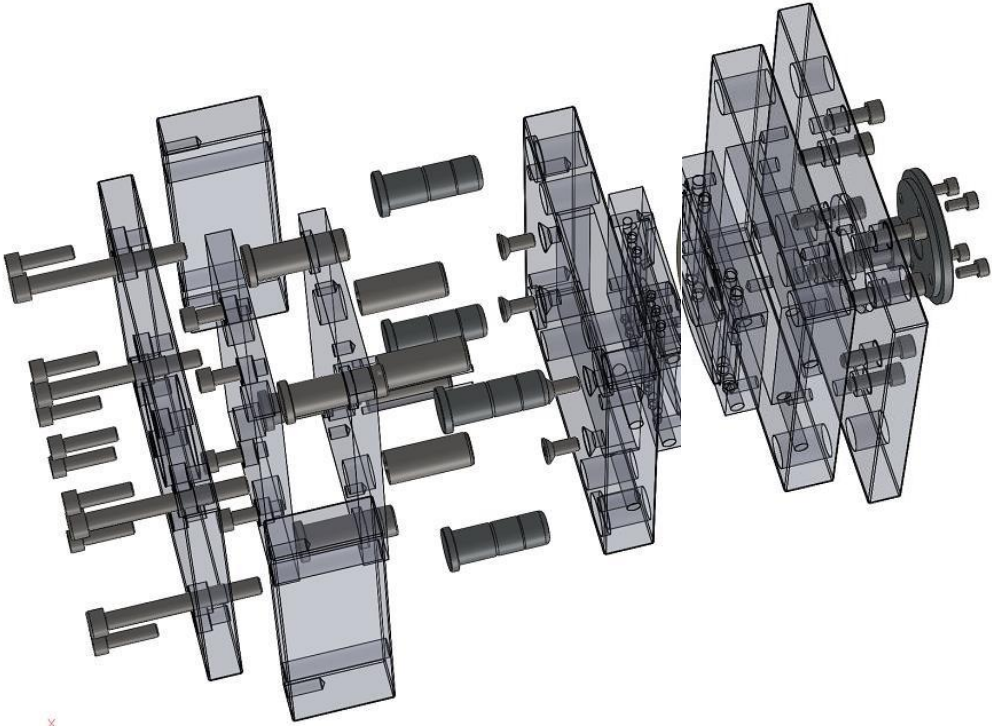


57Fig. (III. 11) : Les plaques portes empreintes

L'assemblage du moule



58Fig. (III.12) : Le moule en 3D



59Fig. (III.13) : Vue éclatée du moule

III.2. Réalisation du moule

La réalisation d'un moule d'injection requiert entre 6 et 12 semaines. Le temps de production du moule pour injection plastique dépend de la complexité du moule. Ce dernier est composé de deux moitiés, une partie fixe et une partie mobile. Si la géométrie des pièces est complexe, il faudra ajouter des mouvements (démoulage des contre-dépouilles) pour sortir la pièce du moule. Des nervures peuvent également être insérées pour assurer un renfort mécanique. Ces dernières augmentent la complexité du moule d'injection et le temps de production. Il est possible de réduire le délai de fabrication en simplifiant le design du moule.

III.2. Les procédés d'usinage de moule

III.2.1. Le Fraisage

Pour l'usinage des pièces rectangulaires de moule on a utilisé la fraiseuse conventionnelle WMW Heckert FU 400 S SPUG

- Plaque porte empreinte CF (Surfaçage en bout, dressage prédominant face, poche)
- Plaque porte empreinte CM (Surfaçage en bout, dressage prédominant face, poche)
- Plaque porte éjecteurs (Surfaçage en bout, dressage prédominant face)
- Plaque d'éjection (Surfaçage en bout, dressage prédominant face)
- Entretoise d'éjection (Surfaçage en bout, dressage prédominant face)
- Entretoise d'éjection (Surfaçage en bout, dressage prédominant face)
- Plaques fixation CF (Surfaçage en bout, dressage prédominant face)
- Plaques fixation CM (Surfaçage en bout, dressage prédominant face)



60Fig. (III.14) : Fraiseuse conventionnelle WMW Heckert FU 400S APUG

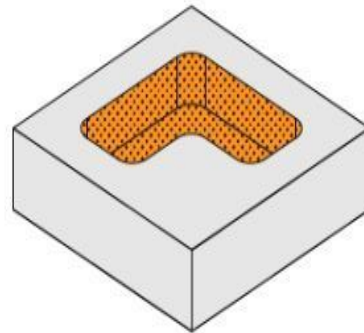
III.2.1.2 Les conditions de coupe de fraisage

La génération de surface est liée à la combinaison d'un mouvement de coupe M_c , circulaire et d'un ou plusieurs mouvements d'avance M_f rectiligne.

La qualité de la surface usinée et le temps d'usinage dépendent du choix des paramètres de coupe.

Les paramètres de coupe dans le fraisage sont :

- La vitesse de coupe (V_c en m/min)
- La vitesse de broche (n en tr /min)
- L'avance par minute ou vitesse d'avance (V_f en mm/min)
- L'avance par dent (f_z en mm/dent)
- La profondeur de coupe (a)



61Fig. (III.15) : Opération de fraisage (Usinage de poche)

Une poche est délimitée par des surfaces verticales ou avec dépouilles (cylindriques et planes) quelconques

III.2.1.2.1 La vitesse de coupe

Elle indique la vitesse à laquelle l'arête de coupe travaille la surface de la pièce. C'est un important paramètre de l'outil, qui fait partie intégrante des conditions de coupe avec, pour par l'outil concerné.

Elle dépend de :

- L'outil : matière -géométrie -durée de vie de l'outil
- Couple outil-pièce : ébauche ou finition- usinage extérieur ou intérieur- lubrification mode de génération de surface
- La pièce : matière- nature du brut- qualité imposée par les spécifications
- Machine : puissance- qualité géométrique

III.2.1.2.2 La vitesse de broche

Elle indique le nombre de tours que l'outil de fraisage monté sur la broche de la machine-outil effectue par minute. La vitesse de broche n , le diamètre de l'outil (D) et la vitesse de coupe (V_c) sont liés par les formules suivantes :

$$n = V_c \times 1000 / \pi \times d$$

- n : Fréquence de rotation (tr/min)
- Vc : Vitesse de coupe (m/min)
- d : Diamètre de l'outil (mm)

III.2.1.2.3. La vitesse d'avance

C'est l'avance de l'outil en direction de la pièce, exprimée en unités de distance par unité de temps. On parle également ici d'avance de table.

$$V_f = f_z \times Z \times n$$

(Z : nombre de dents de la fraise).

Nuance ISO	Matériaux à usiner	Fraisage		
		Acier Rapide	Carbure	
		0.03 à 0.1	0.1 à 0.2	0.2 à 0.3
	Avance fz en mm/dent			
P	Acier Non Allié	50	40	120
	Acier Faiblement Allié	30	25	80
	Acier Fortement Allié	20	15	70
	Acier Moulé Faiblement Allié	25	20	80
M	Acier inoxydable	20	15	90
K	Fonte lamellaire (EN-GJL...)	35	30	90
	Fonte Modulaire (EN-GJM...)	30	25	70
	Fonte Sphéroïdale (ENGJS...)	40	35	90
K-N	Alliages d'aluminium de faible dureté sans silicium (AW 2030 ...)	250	200	400
	Alliages d'aluminium à haute teneur en silicium > 12%	80	40	80
		Vitesse de coupe Vc en m/min		

9Tab. (III.1) : Conditions de coupe (Fraisage)

III.2.1.3. Le matériel utilisé

Matériel			
Fraiseuse FU WMW Heckert FU 400S APUG	Broche pour des fraises coniques		Fraise à queue conique Ø 24
			Fraise à queue conique Ø 28
	Broche pour fraise cylindrique		Fraise à queue cylindrique Ø 10
			Fraise à queue cylindrique Ø 14
	Porte fraise		Plaquettes en carbure amovibles

10Tab. (III.2) : Le matériel utilisé dans fraisage



62Fig. (III.16) : Fraises à queue cylindrique

III.2.2. Le Tournage

C'est une partie très essentielle dans les procédures de fabrication de moule pour usiner les pièces cylindriques suivants :

- Buse moule (chariotage, dressage, perçage, alésage, chanfreinage et tronçonnage)
- Rondelle de centrage (chariotage, dressage, perçage, chanfreinage et tronçonnage)
- Colonne de guidage (chariotage, dressage, chanfreinage et tronçonnage)
- Bague de guidage (chariotage, dressage, perçage ; alésage et tronçonnage)
- Colonne de rappel (chariotage, dressage, chanfreinage et tronçonnage)
- Chandelle d'éjection (chariotage, dressage, chanfreinage et tronçonnage)
- Plaque porte empreinte (Perçage et alésage)
- Plaques de fixation)Perçage et alésage (



63Fig. (III.17) : La machine de tour conventionnelle utilisé (WMW Heckert DZFG 200×500)



64Fig. (III.18) : Quelques opérations de tournage

III.2.2.2 Les conditions de coupe de tournage

III.2.2.2.1. La vitesse de coupe

Elle est représentée par la formule suivante :

$$n = Vc \pi \times d$$

- **n** : Fréquence de rotation (tr/min)
- **Vc** : Vitesse de coupe (m/min)
- **d** : Diamètre de l'outil (mm)

La vitesse est donc une distance dans une unité de temps, Le choix des vitesses de coupe dépend des facteurs suivants :

- De la matière à usiner : généralement, plus la matière est tendre, plus la vitesse est élevée.
- De la nature de la matière de l'outil de coupe

- Du genre d'usinage : Ébauche, finition, tournage, filetage...etc...
- De la profondeur de passe : Plus la quantité de matière est importante moins la vitesse de coupe est grande.
- Du lubrifiant : Une abondante lubrification permet d'augmenter la vitesse de coupe
- Du type de machine : Une machine robuste peut supporter des vitesses de coupe plus élevée

Partant de la formule générale de la vitesse de coupe $Vc = \pi \times d \times n$, pour l'usinage, on l'utilise sous une forme transformée. Ceci permet de déterminer la fréquence de rotation **n**.

$$n = Vc \times 1000 / \pi \times d$$

- n : Fréquence de rotation (tr/min)
- Vc : Vitesse de coupe (m/min)
- d : Diamètre de l'outil (mm)

III.2.2.2. La vitesse d'avance

En tournage, l'avance est le déplacement en millimètre de l'outil pendant un tour de la pièce. C'est aussi l'épaisseur du copeau.

Comme pour le choix de la vitesse de coupe, le choix des avances dépend de la matière usiner, mais aussi de la profondeur de passe, nature du métal de l'outil de coupe, l'état de surface à obtenir...etc.

Tableau des vitesses de coupe et avances				
Métaux à usiner	Outil en acier rapide		Outils à plaquette brasée	
	ébauche	finition	Avance en mm/tr	
			ébauche 1,2	finition 0,2
Vitesse de coupe en m/mn				
Acier < 60 kg/mm2	20	40	100/160	200/350
Acier > 60 kg/mm2	15	25	70/120	160/300
Inox	15	25	70/150	150/250
Fonte	15	25	50/100	100/250
Laiton / Bronze	25	50	200/250	300/400
Alliage d'alu	100	200	400/800	700/1500
Matières synthétique	25	50	100/200	200/400

65Fig. (III.19) : Tableau des vitesses de coupe et d'avance

III.2.2.3. Le matériel utilisé

Matériel		Norme		
Tour WMW Heckert DZFG 200x500	Porte Outils		Porte d'outils de chariotage	ISO 5609-3 :2012
			Porte d'outils de dressage	ISO 5609-1 :2012
			Porte d'outils d'alésage	ISO 5609-4 :2012
	Les plaques en carbure		Pastille de chariotage	ISO 242 :2014
			Pastille de dressage	ISO 5609-1 :2012
			Pastille d'alésage	ISO 5608 :2012
	Les forets	Mandrin de Ø 1 a Ø 16	Foret a centré	DIN 6537
			Foret Ø 6.7	DIN 6537
			Foret Ø 16	DIN 6537
		Porte foret conique de Ø 17 a Ø 26	Foret Ø 19	DIN 6537
			Foret Ø 22	DIN 6537
		Porte foret conique Ø 30	Foret Ø 30	DIN 6537
	Alésoir		Alésoir Ø 4	/

11Tab. (III.4) : Le matériel utilisé dans les opérations de tournage

III.2.3. Le Perçage

On a utilisé la fraiseuse conventionnelle WMW Heckert FU 400S APUG pour percer les pièces suivantes :

- Plaques fixation CF (Perçage avec plusieurs diamètres)
- Plaques fixation CM (Perçage avec plusieurs diamètres)
- Plaque porte empreinte CF (Perçage avec plusieurs diamètres)
- Plaque porte empreinte CM (Perçage avec plusieurs diamètres)
- Entretoise d'éjection (Perçage avec plusieurs diamètres)
- Plaque porte éjecteurs (Perçage avec plusieurs diamètres)
- Plaque d'éjection (Perçage avec plusieurs diamètres)

III.2.3.2. Conditions de coupe

• **Choix de l'avance (en mm/tr)**

L'avance en perçage est fonction du diamètre du foret

Foret hélicoïdal: $f_{\text{perçage}} = 0.01 \times \Phi_{\text{foret}}$

Foret à plaquette carbures : $f_{\text{perçage}} = 0.02 \times \Phi_{\text{foret}}$

• **Profondeur de perçage (en mm)**

Profondeur de perçage entre déburrage ou brise copeaux :

Diamètre foret <14 mm: $P = \Phi_{\text{foret}}$

Diamètre foret >14 mm: $P = 0.5 \times \Phi_{\text{foret}}$

Nuance ISO	Matériaux à usiner	Perçage		
		Acier Rapide	Acier Rapide Revêtu	Carbure
P	Acier Non Allié	30	45	70
	Acier Faiblement Allié	20	40	60
	Acier Fortement Allié	15	35	40
	Acier Moulé Faiblement Allié	10	30	70
M	Acier inoxydable	12	20	40
K	Fonte lamellaire (EN-GJL...)	25	50	80
	Fonte Modulaire (EN-GJM...)	15	30	80
	Fonte Sphéroïdales (EN-GJS...)	25	50	80
K-N	Alliages d'aluminium de faible dureté sans silicium (AW 2030 ...)	60	90	100
	Alliages d'aluminium durs sans silicium ou %Si moyen (AW2017, AW 6060 ...)	60	90	100
	Alliages d'aluminium à haute teneur en silicium > 12%	40	60	100
		Vitesse de coupe Vc en m/min		

12Tab (III.5) : Vitesse de coupe des valeurs indicatives moyennes on perçage.



66Fig. (III.20): Forets HSS hélicoïdal

III.2.4. La Rectification

Pour la rectification et l'amélioration de l'état de surface des pièces On a utilisé la rectifieuse WMW Heckert SFW 200x600

- Plaques fixation CM (Rectification de 0.1 pour chaque face – 6 faces)
- Plaque porte empreinte CF (Rectification de 0.1 pour chaque face – 6 faces et création de l'évent)
- Plaque porte empreinte CM (Rectification de 0.1 pour chaque face – 6 faces et création de l'évent)
- Entretoise d'éjection (Rectification de 0.1 pour chaque face – 6 faces)
- Entretoise d'éjection (Rectification de 0.1 pour chaque face – 6 faces)
- Plaque porte éjecteurs (Rectification de 0.1 pour chaque face – 6 faces)
- Plaque d'éjection (Rectification de 0.1 pour chaque face – 6 faces)



67Fig. (III.21) : Rectifieuse WMW Heckert SFW 200x600

III.2.4.1. Les conditions de rectification

On a utilisé la vitesse d'avance pour les deux axes X et Y tell que :

- $V_x \approx 0.5\text{m/s}$
- $V_y \approx 0.005\text{m/s}$

Avec une profondeur de 0.02 dans chaque passe

III.2.4.2. Le matériel utilisé

- Rectifieuse WMW Hecker SFW 200x600
- Meules Standard Corindon à base

III.2.5. La matière utilisée

Eléments	Matériaux	Quantité
Empreinte	36 Ni Cr Mo 16	2
Rondelle de centrage	C45	1
Buse moule	C45	1
Colonne de guidage	16 Cr Ni 4	4
Bague de guidage	Sn 12	4
Colonne de rappel	X 42 Cr 13	4
Colonne sans tête	C45	4
Entretoise d'éjection	C45	2
Plaque porte éjecteurs	C45	1
Plaque d'éjection	C45	1
Ejecteur	X 42 Cr 13	4
Plaques fixation	C45	2
Plaque porte empreinte	C45	2

13Tab. (III.6) : La matière utilisé pour chaque pièce

III.2.6. Centre d'usinage CNC

Cette partie concerne l'étude de la fabrication l'empreinte de moule). L'usinage ce fait sur machine à commande numérique (DIN 66025), cette machine est gérée par le logiciel de CFAO Sinumerik 840D.

DIN signifie « Deutsches Institut für Normung », ce qui signifie « Institut allemand de normalisation ».

III.2.6.1. Structure et contenu d'un programme CN en code G

Un programme CN se compose d'une suite de blocs CN. Chaque bloc contient les données pour l'exécution d'une opération d'usinage. [14]

Afin d'obtenir une structure de bloc claire, il est conseillé de placer les instructions d'un bloc dans l'ordre suivant :

N... G... X... Y... Z... F... S... T... D... M... H...

N : Adresse du numéro de bloc

G : Fonction préparatoire

X, Y, Z : Information de déplacement

F : Avance

S : Vitesse de rotation

T : Outil

D : Numéro de correction d'outil

M : Fonction supplémentaire

H : Fonction auxiliaire

Quelques adresses peuvent être utilisées plusieurs fois au sein d'un même bloc, comme par exemple :

G..., M..., H...

Pour qu'un programme CN soit plus compréhensible, il est possible d'ajouter des commentaires aux blocs CN. Un commentaire se situe à la fin d'un bloc et est séparé de la partie programme du bloc CN par un point-virgule (";").[14]

Fondamentalement, la programmation en code G est libre. Les principales instructions sont les suivantes :

- Définition du plan d'usinage
- Définition d'une pièce brute.
- Appel d'un outil (T et D)
- Appel d'un décalage d'origine
- Valeurs technologiques telles qu'avance (F), vitesse et sens de rotation de la broche (S et M)
- Positions et appels de fonctions technologiques (cycles)
- Fin du programme

III.2.6.2. Contenu d'un programme CN en code G

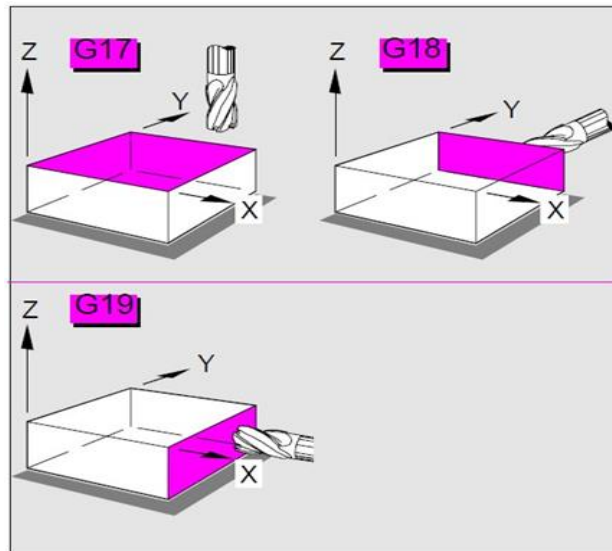
III.2.6.2.1. Le début du programme

La programmation du plan d'usinage est nécessaire pour la prise en compte des données de correction d'outil.

Les plans de travail sont déterminés de la façon suivante :

Dans le réglage de base, **G17** (plan X/Y) est pré-réglé pour le fraisage.

Plan	Axe d'outil
X/Y : G17	Z
Z/X : G18	Y
Y/Z : G19	X



68Fig. (III.22) : Sélection du plan d'usinage, G17 à G19

III.2.6.2.2. Décalage d'origine, G54 à G57, G505 à G599

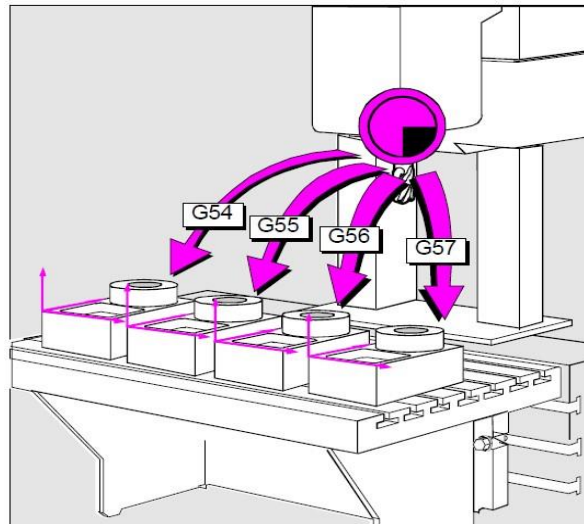
Les décalages d'origine permettent de réaliser des usinages identiques à des emplacements différents.

Sur la machine-outil à CN, on définit les origines et les différents points de référence. Ce sont des points de référence qui sont à accoster par la machine et auxquels se réfère la programmation des cotes de la pièce.

Le croquis ci-dessous montre les origines et les points de référence pour les fraiseuses.

Remarque :

L'instruction G53 permet d'inhiber les décalages d'origine pendant un bloc, l'instruction G500 de les désactiver.



69Fig. (III.23) : Les origines et les points de référence pour les fraiseuses.

III.2.6.3. Programmation des instructions de déplacement

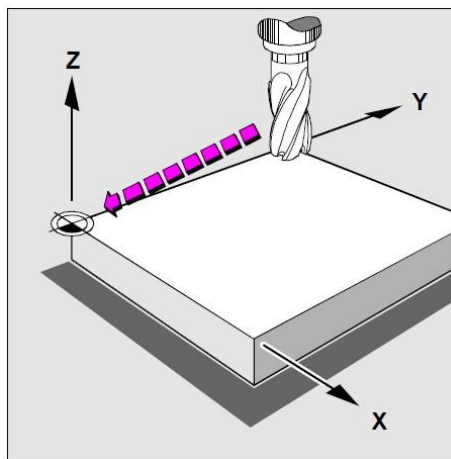
III.2.6.3.1. Déplacement en rapide, G0

Ce mode de déplacement est utilisé pour le positionnement rapide de l'outil en vitesse rapide.

Syntaxe :

G0 X...Y...Z...

X, Y, Z : Coordonnées du point de destination



70Fig. (III.24) : Déplacement en rapide, G0

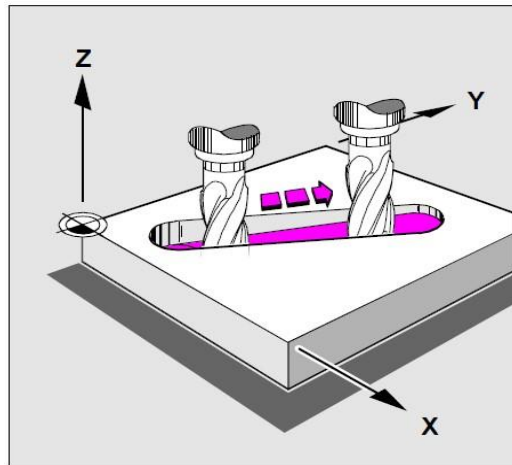
III.2.6.3.2. Interpolation linéaire, G1

Ce mode de déplacement est utilisé pour le positionnement de l'outil en vitesse d'avance (F) programmée.

Syntaxe : **G1 X...Y...Z...F...**

X, Y, Z : Coordonnées du point de destination

F : Avance



71Fig. (III.25) : Usinage d'une rainure oblique

III.2.6.3.3. Interpolation circulaire, G2/G3

Selon DIN, il faut indiquer, pour les déplacements circulaires, le point final (coordonnées X et Y dans le plan G17) et le centre (I et J dans le plan G17) de l'arc de cercle.

Le calculateur de contours offre également la possibilité de reprendre, pour les arcs de cercle, toute cote quelconque du dessin, sans devoir effectuer des conversions.

Ce mode de déplacement est utilisé pour le positionnement de l'outil selon un arc de cercle en vitesse d'avance (F) programmée. [14]

Syntaxe : G2/G3 X...Y...I...J...F...

G2/G3 X...Y...CR=...F...

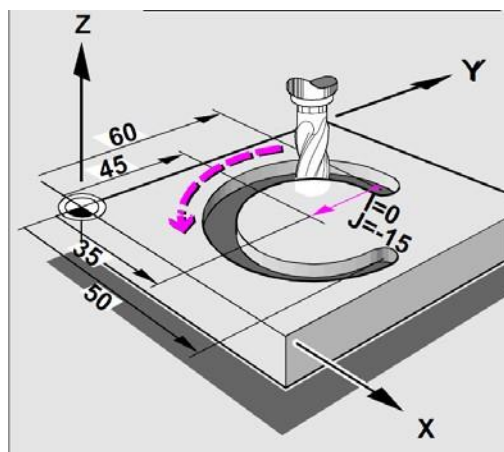
X, Y : Coordonnées du point de destination

F : Avance

I, J : Paramètres d'interpolation (directions : I dans X, J dans Y, K dans Z) pour la détermination du centre du cercle

CR= : Rayon du cercle

- CR+ Déplacement angulaire < 180°
- CR- Déplacement angulaire > 180°



72Fig. (III.26) : Interpolation Circulaire G3 X50 Y45 I0 J-15 F500

III.2.6.4. Programmation des déplacements circulaires

Programmation

N10 G0 G90 X133 Y44.48 S800 M3 ; Accostage du point de départ

N20 G17 G1 Z-5 F1000 ; Approche de l'outil

N30 G2 X115 Y113.3 I-43 J25.52 ; Point final du cercle, centre du cercle en ; cotes relatives
Ou

N30 G2 X115 Y113.3 I=AC (90) J=AC (70) ; Point final du cercle, centre du cercle en ; cotes absolues
Ou

N30 G2 X115 Y113.3 CR=-50 ; Point final du cercle, rayon du cercle
Ou

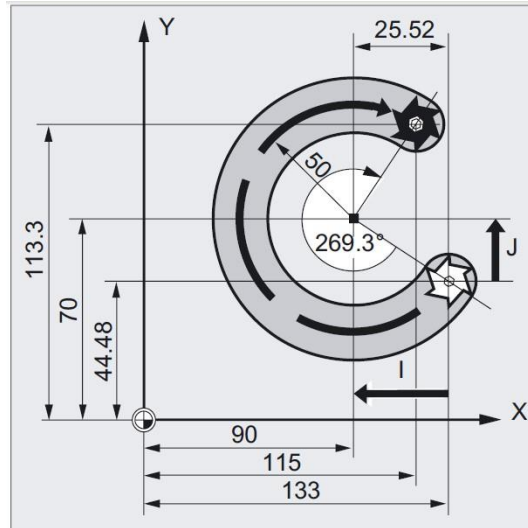
N30 G2 AR=269.31 I-43 J25.52 ; Angle au centre, centre du cercle en ; cotes relatives
Ou

N30 G2 AR=269.31 X115 Y113.3 ; Angle au centre, point final du cercle
Ou

N30 CIP X80 Y120 Z-10 ; Point final du cercle et point intermédiaire :

I1= IC (-85.35) J1=IC(-35.35) K1=-6 ; coordonnées dans les 3 axes géométriques

N40 M30 ; fin de programme



73Fig. (III.27) : Création de poche [14]

Liste des paramètres de programmation :

G2 Interpolation circulaire sens horaire

G3 Interpolation circulaire en sens antihoraire

CIP Interpolation circulaire avec point intermédiaire

CT Cercle avec transition tangentielle définit le cercle

X Y Z Point final en coordonnées cartésiennes

I J K Centre du cercle en coordonnées cartésiennes dans les axes X, Y, Z

CR= Rayon du cercle

AR= Angle au centre

AP= Point final en coordonnées polaires, ici angle polaire

RP= Point final en coordonnées polaires, le rayon polaire correspond ici au rayon du cercle

I1= J1= K1= Point intermédiaire en coordonnées cartésiennes dans les axes X, Y, Z

III.2.6.4.2. Sélection et changement d'outil avec son correcteur

Syntaxe : N... T=" nom de l'outil" D...

N...M6

T.. : Sélection de l'outil

D.. : Appel du correcteur d'outil ; activation de la correction de longueur d'outil

« Tranchant »

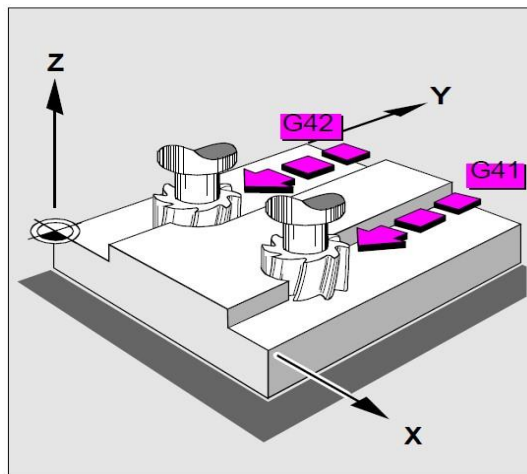
M6 : Changement de l'outil

III.2.6.4.3. Correction du rayon de la fraise, G41/G42

G41 Activation de la correction de trajectoire, outil à gauche du contour dans le sens de déplacement

G42 Activation de la correction de trajectoire, outil à droite du contour dans le sens de déplacement

G40 Désactivation de la correction de trajectoire



74Fig. (III.28) : Correction de trajectoire avec deux outils [14]

III.2.6.5. Programmation complète d'empreinte

Les paramètres

- Outil : « Fraise 2T_20 » Fraise à deux tailles de diamètre 20 mm
- Vitesse de coupe : $V_c = 30$ m/min
- Avance : $F = 80$ mm/min

N1 G17 G40 G71 G90 G94	En-tête du programme
N2 G54	Décalage d'origine
N3 WORKPIECE (,»BOX",112,0,-10,-100,0,0,100,70)	Définition de la pièce brute
N4 T=" Fraise 2T_20 "	Sélection de l'outil " FRAISE 2T_20"du magasin
N5 M6	Montage de l'outil dans la broche
N6 S478 M3 F80	Conditions de coupe, vitesse de broche et avance
N7 G0 X112 Y-2	Approche au point d'insertion Cycle d'usinage
N8 G41 Z-5	CRF à gauche du profil et prise de la profondeur de passe
N9 G1 X95 Y8 M8	Approche vers début de contour (A) et activation arrosage
N10 X32	Usinage du contour
N11 X5 Y15	
N12 Y52	
N13 G2 X15 Y62 I10 J0	
N14 G1 X83	
N15 G3 X95 Y50 I12 J0	
N16 G1 Y-12	
N17 G40 G0 Z100 M9	Dégagement en Z et désactivation de l'arrosage
N18 X150 Y150	Dégagement en X et en Y
N19 M30	Fin programme

14Tab. (III.7) : Programmation de l'empreinte



75Fig. (III.29) : L'empreinte de moule

III.2.7. L'assemblage du moule

L'assemblage de moule permet de lier entre les différentes pièces de moule pour obtenir la forme finale du moule

III.2.7.1. Le taraudage

Le taraudage est une action d'usinage par enlèvement de matière qui consiste à réaliser des filets dans un trou préalablement calibré

Il est impératif de percer un trou afin d'y faire pénétrer le taraud le diamètre de perçage se déterminera en appliquant la formule ci- dessous:

$$\varnothing \text{ Perçage} = \varnothing \text{ nominal} - \text{pas}$$

Taraudage	Pas	Diamètre de perçage
M3	0.5	2.5
M4	0.7	3.3
M5	0.8	4.2
M6	1	5
M7	1	6
M8	1.25	6.75
M10	1.5	8.5
M12	1.75	10.25

15Tab. (III.8) : Le perçage de différents tarauds

III.2.7.1.1. Le matériel utilisé

- Un jeu de tarauds M6
- Un jeu de tarauds M8
- Un jeu de tarauds M10
- Une tourne à gauche



76Fig. (III.30) : Jeux de tarauds avec une tourne à gauche

III.2.7.1.2. Les vis utilisées

Vis	Dimensionnement	Matière	Quantité
Vis à tête hexagonale femelle	M6×12	Acier au carbone	4
	M8×20		4
	M8×25		8
	M8×30		4
	M8×35		4
	M10×90		4
Vis à tête fraisé hexagonale Conique 45° femelle	M6×20		

16Tab. (III.9) : Les vis utilisées



77Fig. (III.31) Vis à tête hexagonale femelle M8×30

III.2.8. Conclusion

Grace aux machines-outils à commande numérique et l'introduction des logiciels de CFAO, la fabrication des moules pour injection est devenue accessible et simple. Dans ce chapitre nous avons réalisé la gamme de fabrication des parties de moule d'injection principalement avec des opérations de fraisage d'ébauche et de finition. Nous avons utilisé des cycles d'usinage programmés sur les machines à commande numérique. La commande que nous avons adoptée est G-code obtenir par logiciel Sinumerik 840D. sur le centre d'usinage) DIN66025 (Siemens

Remarque :

Les dessins techniques sont épinglés dans les annexes

Conclusion générale

A l'issue de ce travail effectué dans le cadre de la formation du master productique, nous pouvons affirmer que l'objectif de travail consiste à étudier la faisabilité de produire des pièces en matière plastique par le procédé d'injection.

Durant le traitement de notre thème nous avons entrepris une étude de conception et fabrication d'un moule pour injection plastique destiné pour l'obtention de rondelles de plastique.

La démarche de la recherche de cette étude s'est articulée autour de trois axes principaux :
Premièrement, une étude bibliographique sur les types de moulage et les matières plastiques en générale et particulier sur les polymères utilisés pour des applications en injection des pièces

Deuxièmement une étude approfondie sur tous qui concerne les machines d'injection des matières plastiques et leur cycle de travail.

Et enfin, nous avons conçu un moule spécifique pour notre pièce de type Rondelle en tenant compte la modélisation des différentes pièces de l'ensemble sous SOLIDWORKS.

Dans la partie fabrication nous avons proposé une gamme d'usinage du moule en utilisant le centre d'usinage (DIN 66025) Siemens et le logiciel "Sinumerik 840D". Cela a permis de gagner un temps considérable dans les délais de fabrication et la précision dimensionnelle des pièces usinées.

Bibliographie

- [1] **Julien HUMBERT** : « Conception, élaboration et production d'agrocomposite à partir de tourteau de tournesol : étude du procédé d'extrusion-formulation-granulation Et d'injection-moulage », DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, 2008 Français.
- [2] **Thomas Giroud** : « Mesure et calcul des contraintes résiduelles dans les pièces injectées en thermoplastiques avec et sans fibres de renfort ». Mécanique [physics.med-ph]. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2001. Français.
- [3] **HEDDAR Djamel Eddine** : « ETUDE ET CONCEPTION A L'AIDE DE L'OUTIL CAO D'UN MOULE A INJECTION PLASTIQUE » mémoire de magister, département de mécanique, université de Biskra, 2014.
- [4] **DJABALLAH Abdelmalek** : « Contribution à l'étude de la phase post remplissage du moulage par injection », mémoire de magister, département de mécanique, université de Biskra, 2012.
- [5] **AHMED HAMADI** : « Conception générale des moules pour injection plastique », mémoire du diplôme d'ingénieur, département de mécanique, université de M'sila, 2003.
- [6] **E. Mathey**: « Optimisation numérique du refroidissement des moules d'injection de thermoplastiques basée sur la simulation des transferts thermiques par la méthode des éléments frontières », Thèse de doctorat, l'Université Toulouse III, 2004
- [7] **Gassou Mostafa et Rahmani Ahmed** : « Etude de la qualité des pièces fabriquées en moulage par injection », mémoire master professionnel, département de mécanique, UKM Ouargla, 2013
- [8] **J-P. Trotignon, J. Verdu, A. Dobracginsky, and M. Piperaud**: Précis de Matières plastiques : Structures-Propriétés, Mise en oeuvre, Normalisation. AFNOR, 1996, FRA
- [9] **Technique de l'ingénieur** : « Injection des thermoplastiques : les presses » **Laszlo MUZSNAY**, Doc (A 3690)
- [10] **R. Nunn**: « The reciprocating screws process », injection Molding Handbook, 1986
- [11] **G. Menges and P. Mohren** : How to make injection molds. Hanser Publishers, 1993. Bibliographie
- [12] **Technique de l'ingénieur** : « Injection des thermoplastiques :

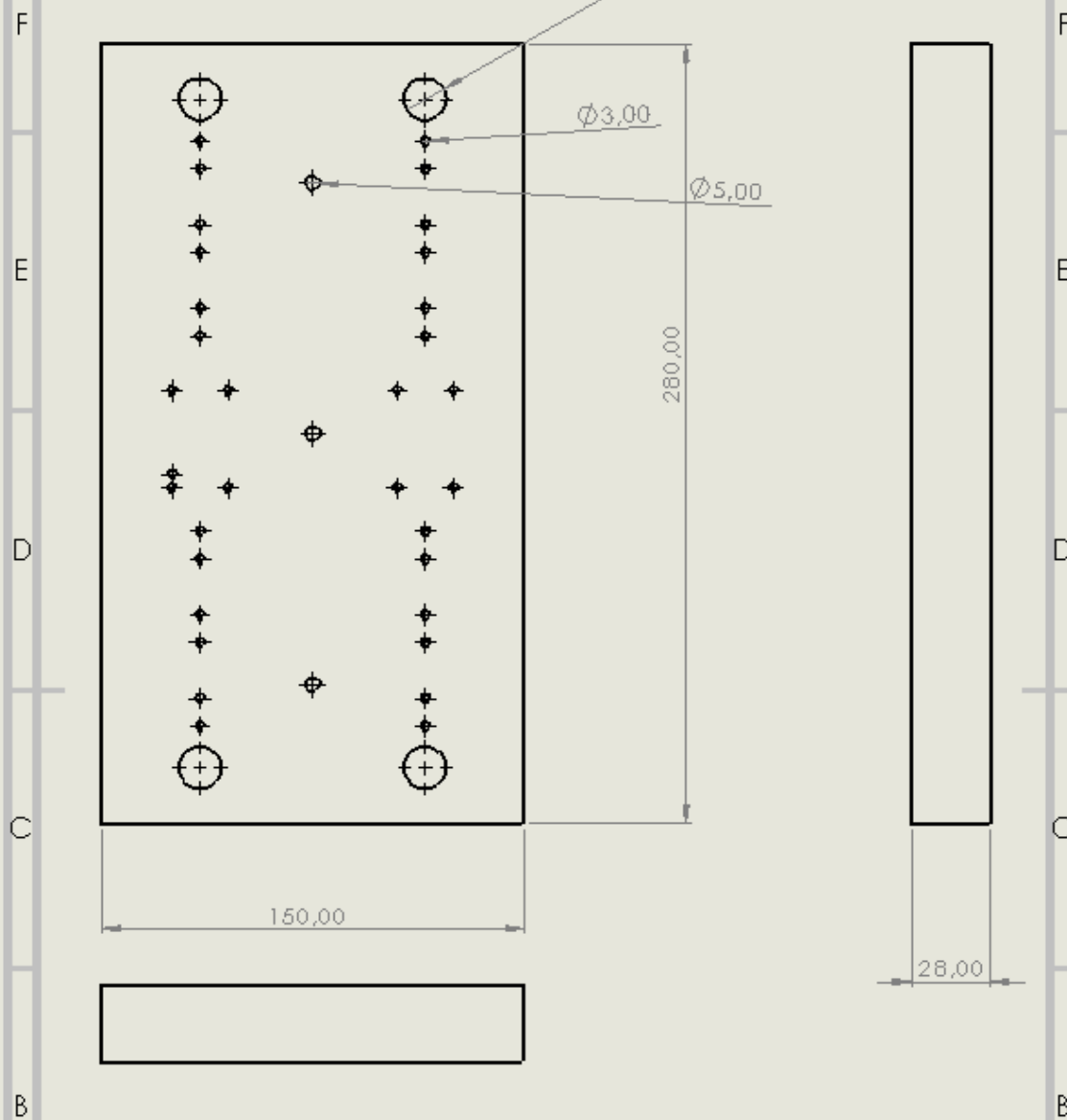
Les moules » par **Michel CHATAIN** *et* **Alexandre DOBRACZYNSKI**, Doc (A3680)

[13] Techniques de l'Ingénieur : traité Plastiques et Composites

[14] Memotech commande numérique.

Annexe

Les dessins techniques :



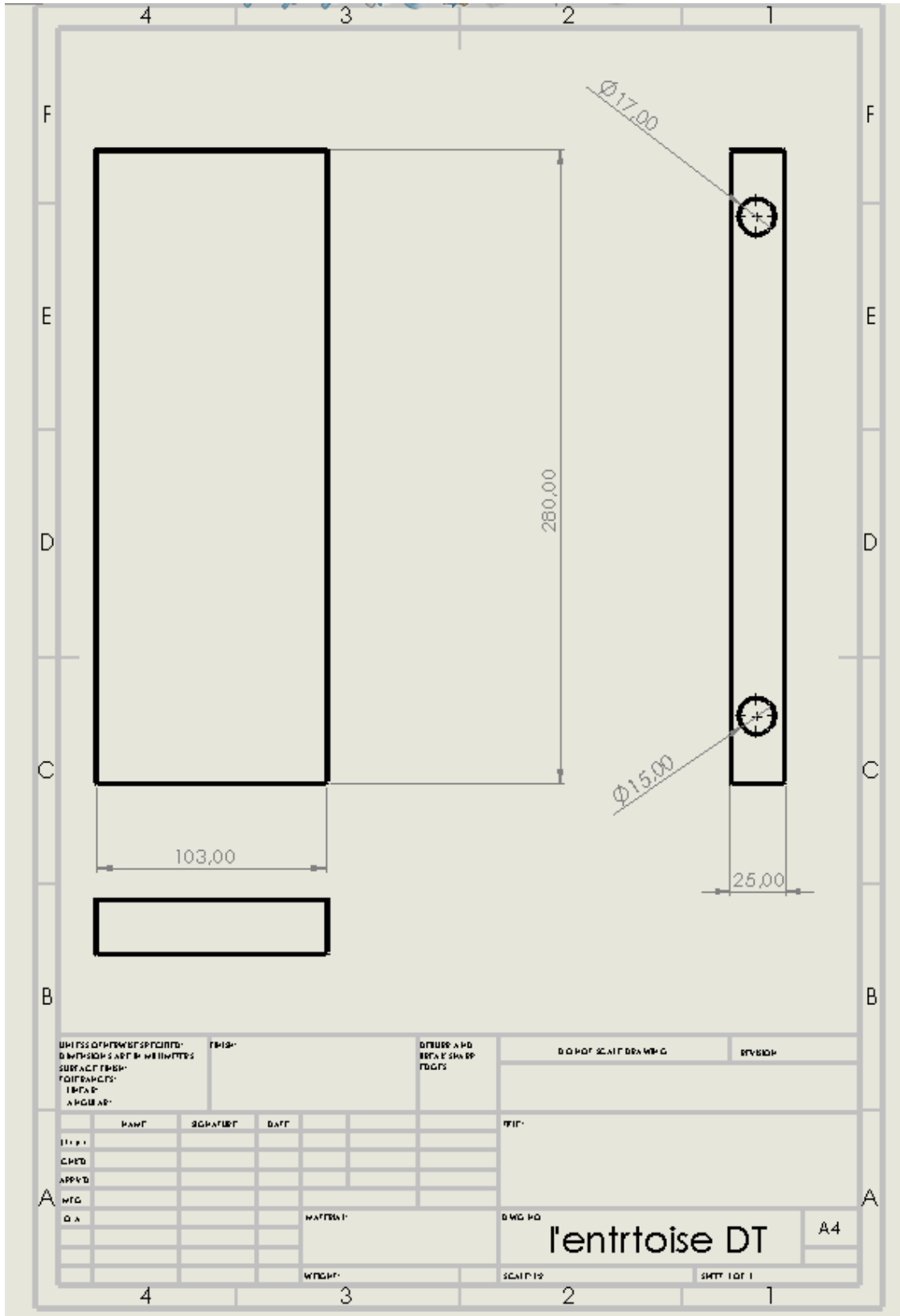
UNITS OF WEIGHT SPECIFIED:	PIER:	NUMBER AND	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
ON THE SIDE OF THE MEMBER		BEFORE SHAPING		
SURFACE AREA:		TO GCS		
FOR EACH FACE:				
AREA:				
ANGLE:				

NO.	NAME	SIGNATURE	DATE	W/P
1				
2				
3				
4				

DATE:		MATERIAL:		DWG NO:	
SCALE:		SCALE 1/5		SHEET 1 OF 1	

la plaque renforcement DT

A4



UNITS OF DIMENSIONS: MILLIMETERS
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 FINISH:
 MATERIAL:

FINISH

DRAWN BY:
 CHECKED BY:
 DATE:

DWG NO. / SCALE / DRAWING

REVISION

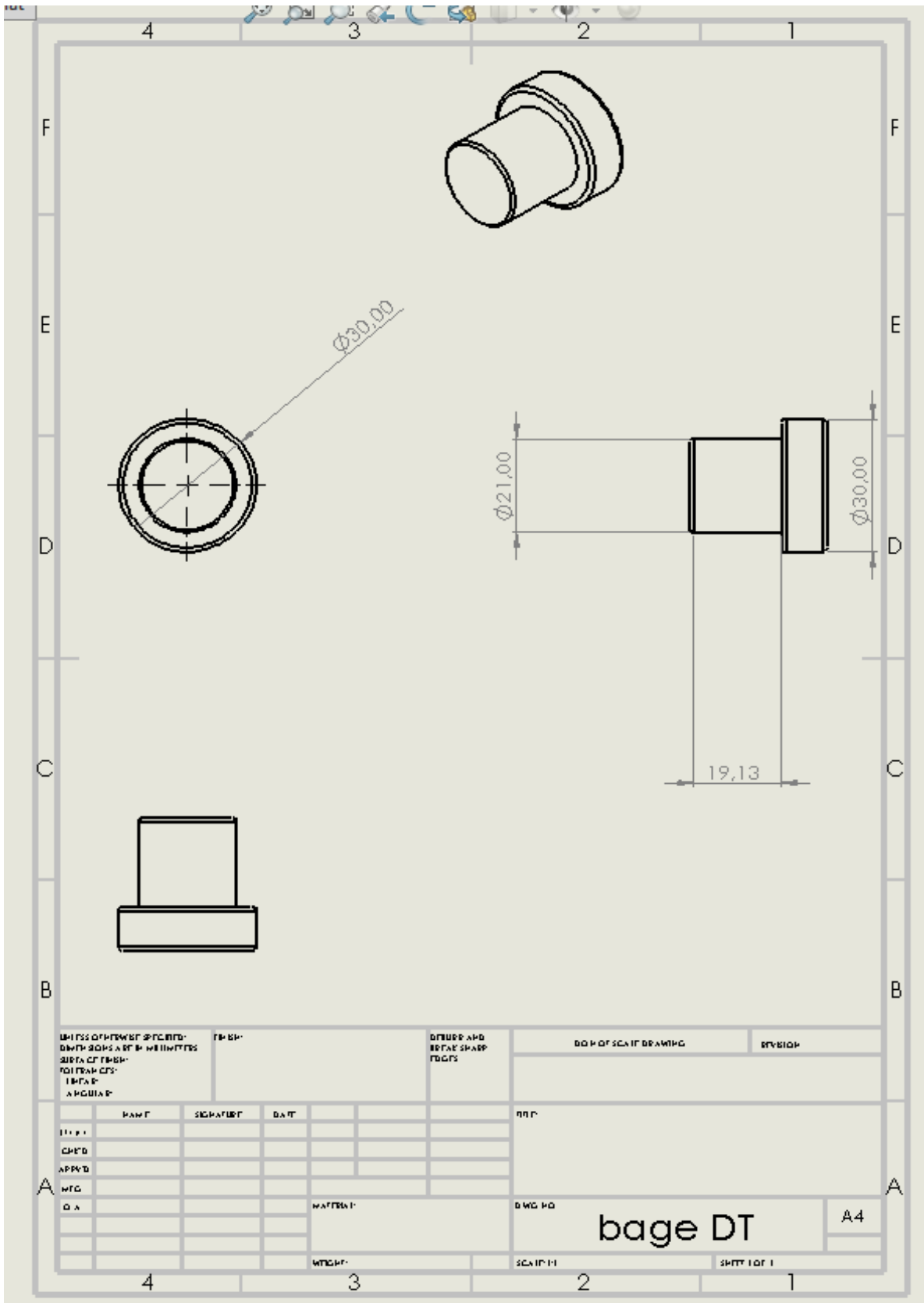
REV.	DATE	BY	CHKD.

DATE: _____

DWG NO. _____
 SCALE 1:1
 SHEET 1 OF 1

l'entrtoise DT

A4



UNITS OF WEIGHT SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TO FINISH:
 UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

FINISH

DETAILS AND
 REFERENCE
 FIGURES

DATE OF SCALE DRAWING

REVISION

NO.	NAME	SIGNATURE	DATE	REMARKS
1				
2				
3				
4				

REF.

MATERIAL

DWG NO

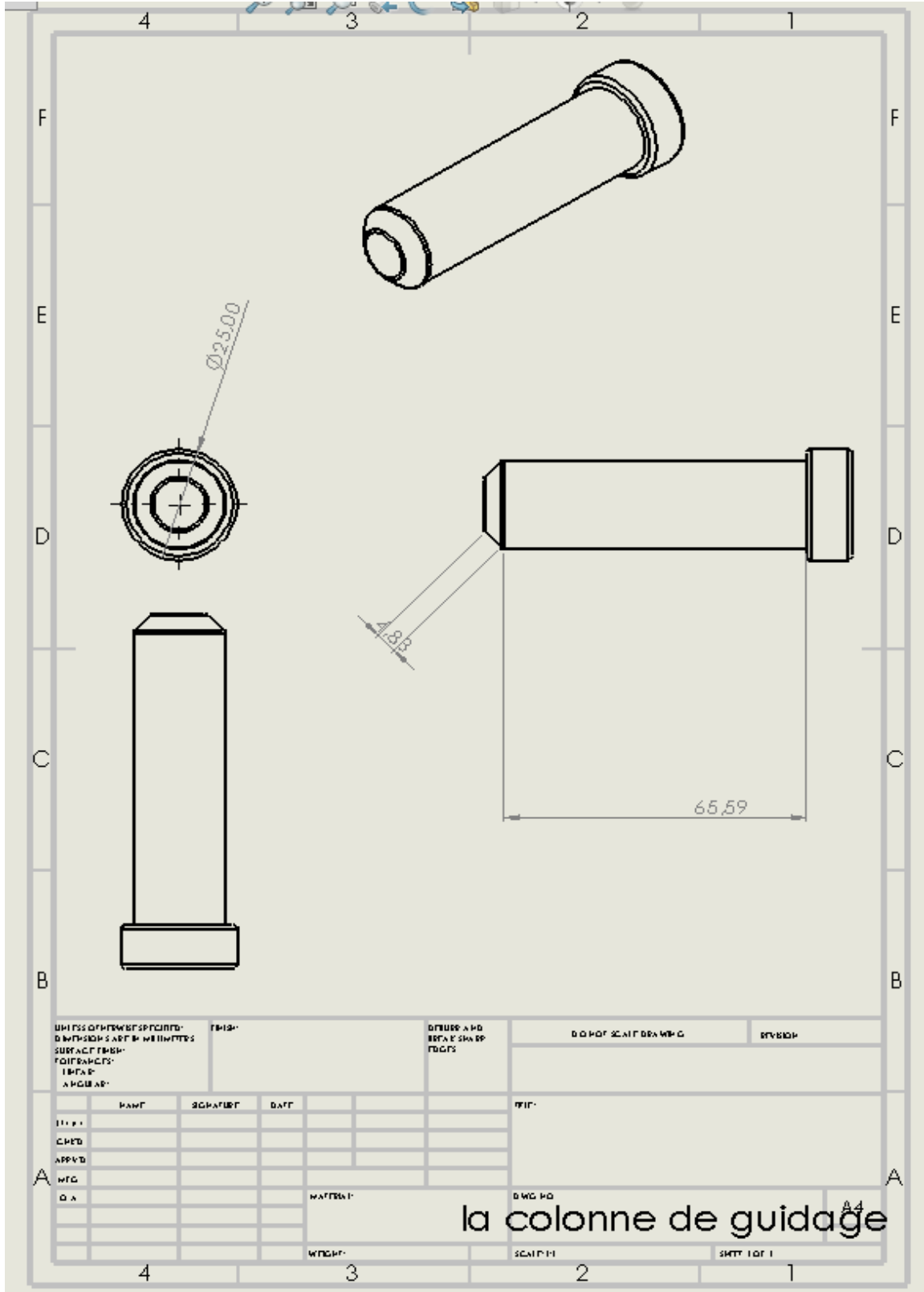
bage DT

A4

WEIGHT

SCALE

SHEET 1 OF 1



UNITS OF MEASURE: SI
 DIMENSIONS: PART IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH: TO BE SPECIFIED
 TOLERANCES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

FIG. NO.

FIGURE NO.
 REFERENCE SHEET
 FIGS.

DATE OF SCALE DRAWING

REVISION

NO.	NAME	SIGNATURE	DATE
1	DESIGNER		
2	CHECKED		
3	APPROVED		
4	MFG.		
5	D.A.		

NO.	DESCRIPTION
1	
2	
3	
4	
5	

MATERIAL

DWG. NO.

la colonne de guidage ^{A4}

WEIGHT

SCALE

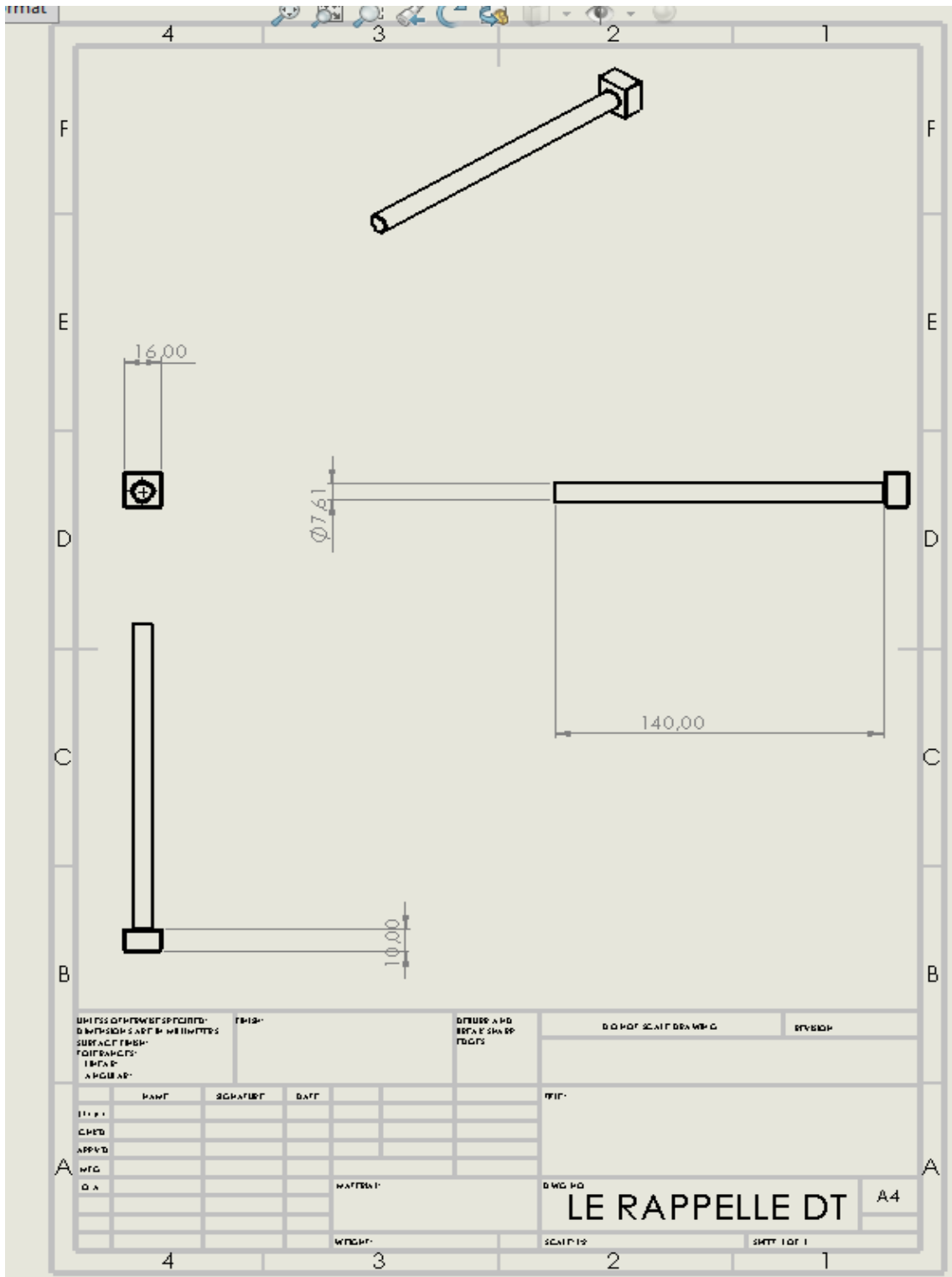
SHEET 1 OF 1

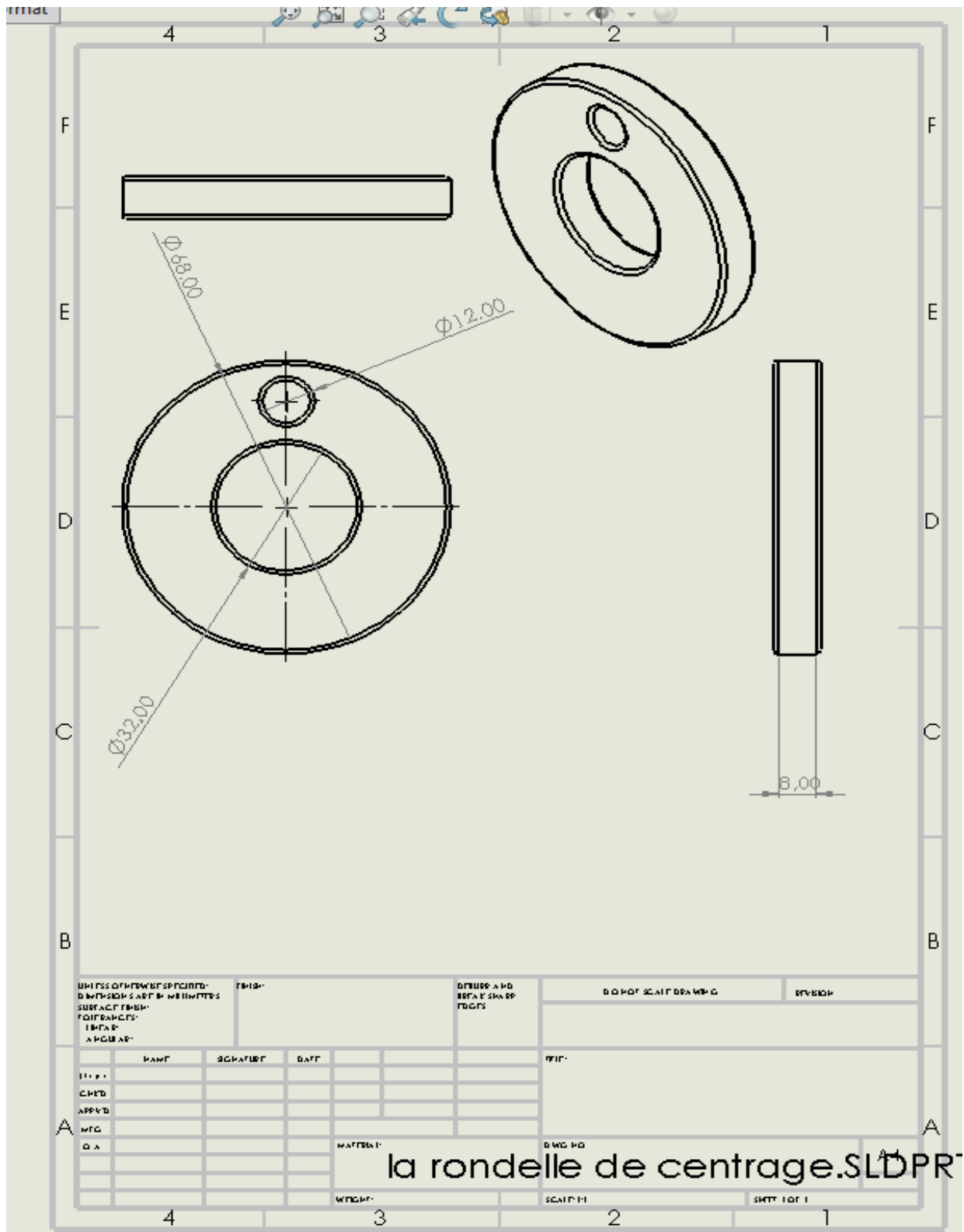
4

3

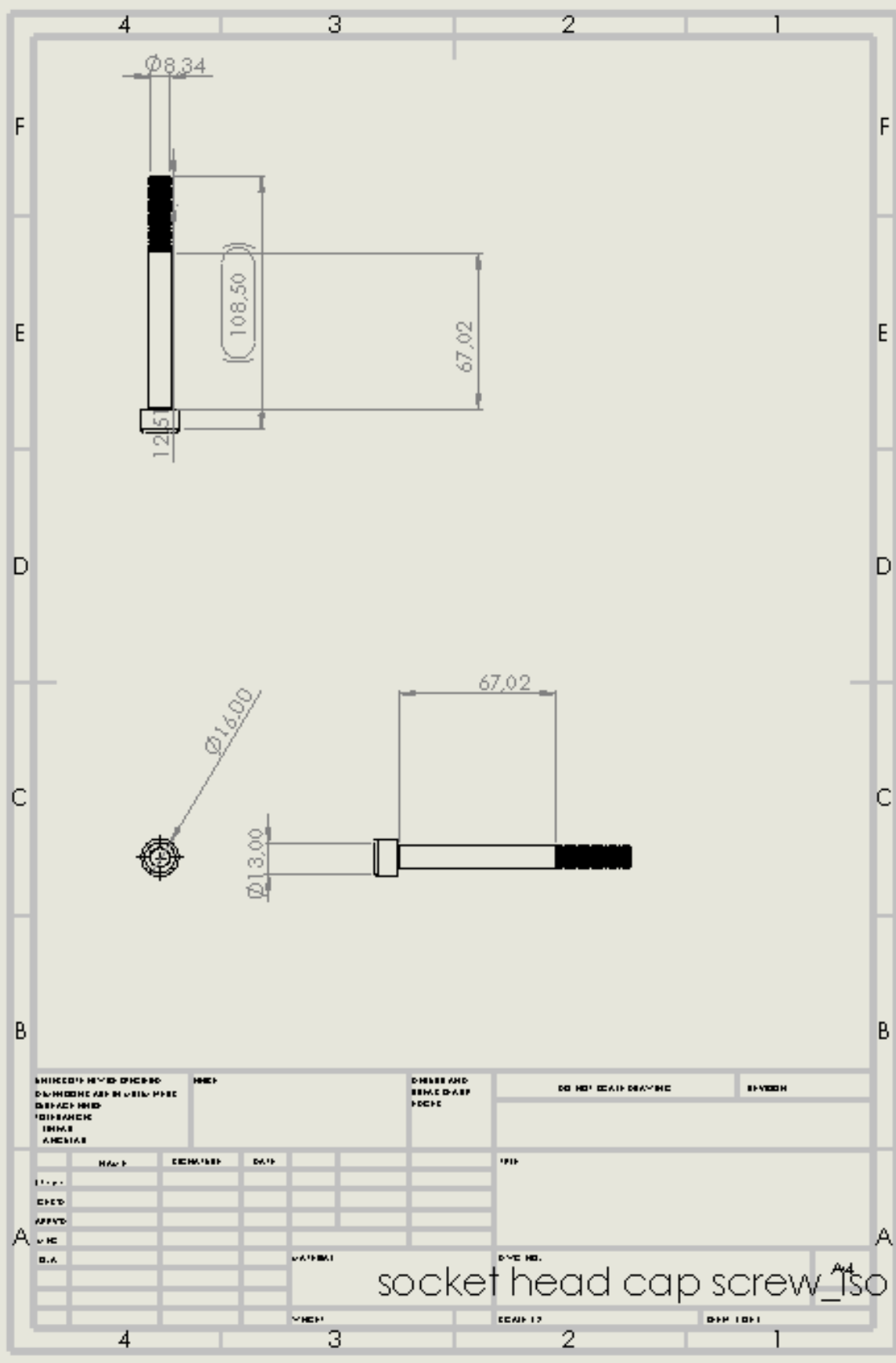
2

1





la rondelle de centrage.SLDPR



SHIKOPI HED DICEBO DUMHONCE AB BI UBIH PHEC DIFRANIK IHNIS ANEIAS		HED HED	DIMAS AND BENE D-AB FOCIE	DE NOI DEAI DEAYNE BAYEON
NAME DES APPD V-IC D.A	DES/ISS DATE	DATE	DATE	DATE
socket head cap screw_Iso		DATE NO.	DATE NO.	DATE NO.
DATE NO.		DATE NO.	DATE NO.	DATE NO.

socket head cap screw_Iso

