

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

MASTER

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : FABRICATION MÉCANIQUE ET PRODUCTIQUE

PAR :

M^r: BABAALI ROSTOM

M^r: KERNANI SOFIANE

Thème

**CONCEPTION D'UN MOULE D'INJECTION PLASTIQUE
POUR LES PIGNONS DROITS**

Soutenu le 28 Juin 2018 devant le jury composé de:

Melle.	HIMED	Président
Mr.	HAMRI	Rapporteur
Mr.	BENSAID	Examineur

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2017-2018

Dédicace

Je dédie ce travail

A mes parents,

A mes frères et mes sœurs,

A toute ma famille,

A tous mes amis et mes collègues de l'Université Abderrahmane Mira,

A tous ceux qui ont pu m'aider un jour.

A tous qui sont proches par le cœur et l'esprit

Sofiane

Je dédie ce modeste travail,

A mes très chers parents pour leurs sacrifices et leur endurance pour moi,

A mes frères et sœurs,

A toute ma famille,

*A tous mes chers amis du scout et spécialement à mon chef MATIAZ Hadj
Brahim,*

A tous mes chers amis de groupe Zenka,

A tous mes amis et mes collègues de l'Université Abderrahmane Mira,

A tous qui sont proches par le cœur et l'esprit

Rostom

Remerciements

Je remercie en premier lieu le dieu tout puissant de m'avoir donné la santé et le pouvoir d'accomplir ce modeste travail.

Je remercie mes parents pour leur patience, leurs encouragements et leurs soutient.

Je remercie vivement Mr. O.HAMRI d'avoir accepté de nous encadrer.

J'adresse également mes remerciements à tous les membres du jury qui ont pris le soin de consulter mon document.

Idem, je remercie l'ensemble de mes amis qui m'ont aidé à accomplir ce travail.

Liste des symboles et abréviations

μ : Viscosité dynamique.

τ : Contrainte de cisaillement.

γ : Taux de cisaillement.

K : Consistance du matériau.

m: Indice de pseudo plasticité.

λ : Temps caractéristique de l'enchevêtrement.

R : Constante des gaz parfaits.

Aref: Rapport de l'énergie d'activation et de R la constante des gaz parfaits.

I : tenseur identité.

σ : tenseur des contraintes.

u: vecteur vitesse.

P : Pression.

T : Température.

t: Temps.

Dc: Diamètre du canal.

E : Epaisseur nominale de la pièce.

v: Volume de la pièce.

E: Epaisseur nominale de la pièce.

D: Diamètre du canal d'alimentation menant à la pièce.

S: Section du canal d'alimentation menant à la pièce.

St : Section totale des orifices de sortie.

Dcarotte: Diamètre au bout de la carotte.

Ds: Etant le diamètre de seuil.

Qp : Chaleur dégagée par le polymère.

Qf : Chaleur évacuée par le fluide de refroidissement.

Tinj: Température d'injection de la pièce.

TM : Température surface du moule.

Cp : Capacité calorifique du thermoplastique.

ρ_p : Masse volumique du plastique.

Vtotal: La somme des volumes des empreintes et du système d'alimentation.

ΔT_f : Différence de température de fluide entre l'entrée et la sortie du moule.

Cf: Capacité calorifique du fluide de refroidissement.

ρ_f : Masse volumique du fluide.

qv_f: Débit volumique de l'écoulement du fluide caloporteur.

t_{ref}: Temps de refroidissement des pièces.

Re: Nombre de Reynold.

ν_f : Viscosité cinématique du fluide de refroidissement.

D_{sc}: Distance du plan de joint jusqu'à la surface du canal de refroidissement.

D_{cc}: Distancé d'un canal à l'autre.

Table des matières

Avant-propos

Introduction Générale

Chapitre I : Les Engrenages

Introduction

1. Définition.....	4
1.1. Les principaux avantages des mécanismes des engrenages.....	5
1.2. Inconvénients à prendre en considération dans les transmissions par roues dentées.....	6
2. Conditions d'engrènement.....	6
3. Polymères dans le domaine des engrenages.....	10
4. Fiches matières de PA et POM.....	12
5. Relation prix/propriétés mécaniques des principaux matériaux.....	15
Conclusion.....	15

Chapitre II : Injection Plastique

Introduction

1. Définition.....	16
2. La structure de presse d'injection.....	16
2.1. Le bâti.....	17
2.2. L'unité de fermeture.....	17
2.3. Le groupe de plastification.....	18
2.3.1. Les vis d'injection	19
3. Les étapes du procédé	20
4. Fonctions de la presse.....	23
5. Terminologie des moules.....	24
5.1. Les différentes familles des moules.....	25
5.1.1. Moule à deux plaques	26
5.1.2. Moule à trois plaques.....	28
5.1.3. Moule à tiroir.....	29
5.1.4. Moule à canaux chauds.....	31
5.2. Fonctions d'un outillage d'injection.....	31

5.2.1. La Fonction alimentation.....	32
5.2.2. Les différents types de buses moules.....	33
5.2.3. Forme des Canaux d'alimentation.....	33
5.2.4. Equilibrage des écoulements dans le canal.....	36
5.2.5. Types de seuil des canaux	37
5.3. Fonction mise en forme	39
5.3.1. Les dépouilles.....	39
5.3.2. Le retrait.....	39
5.3.3. L'éventation.....	40
5.4. Fonction éjection.....	41
5.4.1. Le rôle de l'éjection.....	42
5.5. Fonction régulation thermique (refroidissement).....	42
5.5.1. Les trous de refroidissement	43
5.5.2. Les rainures de refroidissement	43
5.6. Fonction guidage et positionnement	44
5.6.1. Centrage moule/presse	45
5.6.2. Centrage du plan de joint moule.....	45
5.6.3. Le guidage des parties fixe et mobile du moule.....	47
5.7. Fonctions manutention, stockage, sécurité et liaison machine.....	48
5.8. Les métaux des moules.....	50
6. Dimensionnement.....	51
6.1. Les efforts sur une presse.....	52
6.2. Calcul du nombre d'empreintes optimum dans un moule d'injection.....	53
Conclusion.....	54

Chapitre III : Conception de la pièce

1. Présentation du projet.....	55
1.1 Ressources informatique.....	55
1.1.1. Logiciel de simulation rhéologique.....	55
1.2. Présentation de la pièce.....	56
1.3. Matériau utilisé.....	57
2. Vérification de conception.....	58
2.1. Analyse des épaisseurs.....	58

2.2. Analyse de dépouille.....	59
2.3. Analyse des contre dépouille.....	60

Chapitre IV : Simulation D'injection

Introduction

1. Préparation de la simulation.....	61
1.1 Conception du système d'alimentation.....	61
1.1.1 Règles de conception	61
1.1.2. Pré-dimensionnement de l'alimentation.....	62
1.2. Conception de la régulation.....	63
2. Simulation du système d'alimentation.....	67
3. Simulation du système de régulation.....	68
3.1. Analyse thermique du moule.....	68
4. Simulation rhéologique finale.....	68
4.1. Analyse de remplissage.....	69
4.2. Temps de remplissage.....	70
4.3. Température au front d'écoulement.....	71
4.4. Retrait volumique.....	72
4.5. Emprisonnement d'air.....	72
4.6. Ligne de soudure.....	73
4.7. Estimation des retassures.....	74
4.8. Pression du circuit.....	75
4.9. Temps pour atteindre la température d'éjection.....	76
4.10. Indicateur de gauchissement.....	77
5. Résultats de la simulation.....	77
Conclusion	80

Chapitre V : Conception de moule

Introduction

1. Conception des éléments moulants.....	82
1.1 Préparation des pièces.....	82
1.2. Création du plan de joint.....	83
1.3. Conception le noyau et l'empreinte.....	84

1.4. Création des empreints.....	84
2. Système d'alimentation.....	85
3. Conception de la régulation.....	86
4. Conception du Système d'éjection.....	87
5. Constitution de la carcasse.....	88
6. Emplacement des points d'injections.....	91
7. Ajout des composants standard.....	92
8. Calcul du cout d'un outillage.....	94
9. Choix de la presse à injecter.....	96
10. Cahier des Charges de l'outillage de Validation.....	98
Conclusion Générale.....	101

Liste des figures

Figure I.1 : Nomenclature de base d'un engrenage droit.....	6
Figure I.2 : Géométrie des dentures.....	6
Figure I.3 : Théorie de l'engrènement.....	8
Figure I.4 :Début et fin des contacts réels et théoriques	9
Figure I.5 : Comparaison de la composition structurel des thermoplastiques amorphes et semi cristallin	10
Figure I.6 : Limite d'utilisation en température des polymères couramment employés pour les engrenages	11
Figure I.7 : Fiche technique de PA	12
Figure I.8 : Fiches technique de POM-C	13
Figure I.9 : Fiches technique de POM-H	14
Figure 10 : Relation prix/propriétés mécaniques des principaux matériaux utilisés dans les engrenages plastiques	15
Figure II.1 : La structure de presse d'injection.....	17
Figure II.2 : Schéma d'un groupe de plastification	19
Figure II.3 : Schéma d'une mono-vis avec trois zones	19
Figure II.4 : Les étapes du procédé d'injection-moulage des thermoplastiques	22
Figure, II.5 : Fonctions de presse.....	23
Figure II.6 : Une vue en 3D d'un moule d'injection plastique.....	24
Figure II.7 : Les différentes parties d'un moule d'injection plastique.....	25
Figure II.8 : Moule à deux plaques.....	27
Figure II.9 : Moule à trois plaques	28
Figure II.10 : Moule à tiroir	30
Figure II.11 : Moule multi-empreintes Alimentation mixte	31
Figure II.12 : Principe d'alimentation buse machine-buse moule.....	33
Figure II.13 : Composition d'un canal d'alimentation de moule.....	34
Figure II.14 : Les différents types de canaux d'alimentation et leurs usinages associés	34
Figure II.15 : disposition circulaire des empreintes dans un moule.....	36
Figure II.16 : Disposition linéaire des empreintes dans un moule.....	36

Figure II.17 : Types de seuil des canaux.....	38
Figure II.18 : Les Dépouilles qui faciliter le démoulage de la pièce choix et valeurs.....	39
Figure II.19 : Les problèmes d'éventation et les solutions d'échappement de l'air.....	41
Figure II.20 : Éjection par Bloc d'éjection ou pavé d'éjection et les défauts à éviter.....	42
Figure II.21 : Circuit de refroidissement des plaques de moules.....	43
Figure II.22 : Les rainures de refroidissement	44
Figure II.23 : Les centrages et les guidages à assurer sur une presse/moule	44
Figure II.24 : Bagues de centrage du moule choix et dimension.....	45
Figure II.25 : Centrage par le plan de joint incliné du moule	46
Figure II.26 : Centreur conique des moules choix et dimension	47
Figure II.27 : Colonnes et bague de guidage des parties fixe et mobile des moules.....	48
Figure II.28 : Anneau de levage des moules.....	49
Figure II.29 : Système de bridage des moules.....	48
Figure II.30 : Schéma des surfaces, pressions et forces sur une presse.....	52
Figure III.1 : Présentation de pièce.....	56
Figure III.2 : Analyse des épaisseurs.....	58
Figure III.3 : Analyse de dépouille.....	59
Figure III.4 : Présentation du résultat d'analyse de contre dépouille	60
Figure IV.1 : Zone de remplissage du POM.....	69
Figure IV.2 : Résultat Temps de remplissage.....	70
Figure IV.3 : Résultat Température au front d'écoulement	71
Figure IV.4 : Résultat retrait volumique	72
Figure IV.5 : Résultat emprisonnement d'air.....	72
Figure IV.6 : Résultat lignes de soudure	73
Figure IV.7 : Résultat estimation des retassures	74
Figure IV.8 : Résultat Pression du circuit.....	75
Figure IV.9 : Résultat température d'éjection	76
Figure IV.10 : Indicateur de gauchissement	77
Figure IV.11 : résultats de durée de cycle	79
Figure V.1 : Préparation de la pièce	82

Figure V.2 : Positionnement des Plans de joint	83
Figure V.3 : Le noyau et l’empreinte	84
Figure V.4 : la fonction « addLayout ».....	84
Figure V.5 : la fonction « gate designer – addgate »	85
Figure V.6 : la fonction « addgate component».....	86
Figure V.7 : Conception de la régulation	87
Figure V.8 : Système d’éjection.....	88
Figure V.9 : Eléments constitutifs de la carcasse.....	89
Figure V.10 : la fonction« moldbase designer - thickness ».....	90
Figure V.11 : Carcasse du moule	91
Figure V.12 : Bague de centrage	92
Figure V.13 : Vue en coupe de la buse d’injection	93
Figure V.14 : presse d’injection DK H 200-500.....	97

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Classification générale des roues dentées et engrenages	5
Tableau I.2 : Tableau des principales caractéristiques d'un engrenage à denture droite.....	7
Tableau II.1 : Critères de choix des différents types de canaux	34
Tableau II.2 : Classification et des métaux pour la construction des moules	51
Tableau III.1 : Dimension et cotes nominales de la pièce	57
Tableau IV.1 : L'analyse du système d'alimentation	67
Tableau IV.2 : Résultat d'analyse thermique du moule	68
Tableau V : Caractéristiques de la presse d'injection	97

Avant-propos

L'objectif que nous nous sommes fixés à travers notre étude est de proposer une démarche pour la Conception d'un moule d'injection plastique pour les pignons droits. Cette démarche systématique et analytique est destinée principalement aux « bureaux d'études » spécialisés dans la conception des moules qui offrent des solutions indispensables à l'industrie du plastique à grande échelle.

D'autre part, nous souhaitons que les lecteurs du Département Génie Mécanique puissent trouver dans notre étude de cas pratique, une application méthodologique des concepts théoriques propres à l'Ingénierie Mécanique Assistée par Ordinateur dont nous avons utilisé des outils reconnus universellement comme des standards de la simulation et la modélisation 3D tel que SoliWorks ©.Autodesk ©.

Pour atteindre notre objectif, nous avons scindé notre mémoire en une partie théorique et une autre pratique.

Dans la première partie, que nous avons divisé en deux principaux chapitres respectivement les Engrenages, l'Injection Plastique, nous avons abordé divers notions essentielles à la compréhension du procédé d'injection plastique. Un aperçu des matières plastiques et leurs diverses propriétés sont abordés avec les différentes méthodes utilisées pour leur transformation. Les presses à injection sont d'abord exposées pour comprendre les mécanismes et principes fondamentaux du procédé d'injection plastique. Ensuite, nous développerons l'architecture des moules avec leur différentes fonctions.

Dans la deuxième partie, que nous avons divisé également en trois principaux chapitres à savoir le model CAO des pièces à réaliser, la Simulation Rhéologique des systèmes d'alimentation et de régulation du moule et la Conception du moule. . Nous avons ainsi mis en évidence l'apport des logiciels suscité pour l'esquisse, la modélisation, la simulation et enfin la validation des calculs pour enfin concevoir notre moule. Il est important de noter que toutes ces phases sont réalisées dans un environnement virtuel par opposition aux méthodes traditionnelles qui exigent plus de ressources temporelles, matériels et financières.

Enfin pour orienter les lecteurs désireux de s'informer et d'explorer d'autres branches de l'injection plastique, nous avons inclus à la fin du présent document : une bibliographie, une liste des abréviations utilisées, une liste des figures et tableaux représentant des extraits des résultats des simulations et calculs, et enfin des annexes reproduisant des plans en 2D des composants du moule à réaliser.

Introduction générale

« Le moulage » qui permet la reproduction en série d'une forme préalablement conçue est devenu la clé dans la production de masse. Sous sa forme la plus primitive, le moulage était fait avec du sable, de la cire perdue ou des moules rigides. Aujourd'hui, avec l'avancée technologique considérable qu'a connue l'humanité, le moulage par « injection » et le procédé de prédilection utilisé par les industriels et « l'injection plastique » est la plus répandue grâce au cout minime qui en découle et les propriétés du matériau utilisé qui permettent d'avoir un produit fini très variable en forme et en dimension. Ces qualités ont permis la substitution des anciens matériaux comme l'acier et le bois par le plastique dans les domaines de l'emballage, la construction et l'industrie automobile, notamment.

Dans cet ordre, nous nous intéressons dans ce travail à l'étude et à la conception d'un moule à injection plastique pour pignon ou. Pour ce faire, nous avons abordé dans les deux premiers chapitres les notions théoriques de base liées à notre sujet. Dans le premier chapitre, nous avons présenté les engrenages, Ensuite, au deuxième chapitre, on présente la presse d'injection et les différents procédés d'injection aussi que la technologie de l'injection.

Enfin, on consacre les trois principaux chapitres à savoir le model CAO des pièces à réaliser (chapitre 3), la Simulation Rhéologique des systèmes d'alimentation et de régulation du moule (chapitre 4) et la Conception du moule (chapitre 5).

Nous avons mis en évidence les conditions optionnelles en termes de détection des défauts sur le produit final et aussi le temps du cycle d'injection.

Le procédé d'injection plastique permet de produire à grande cadence, avec une grande régularité, et de façon automatique, des pièces en plastiques de formes complexes, d'où le sujet de cet exposé. Nous allons voir le mode opératoire de l'injection plastique qui englobe ses phénomènes, ses éléments de fonctions et la maitrise du logiciel de conception ainsi que les différentes architectures du moule.

Afin d'atteindre la perfection requise du produit final qui déterminera son succès commercial, le concepteur doit passer par l'étape de la « simulation numérique ». Cette dernière et par opposition aux méthodes traditionnelles tel que l'expérimentation, les essais et le maquetage donc le cout est élevé et le temps est long, elle offre une meilleure analyse des phénomènes physiques mis en jeu lors du procédé, lorsque la simulation numérique est bien sûre couplée avec une validation expérimentale.

Chapitre I:

Les engrenages

Introduction

Une transmission est un dispositif mécanique permettant de transmettre un mouvement d'une pièce à une autre. Cet élément de la chaîne d'énergie a pour fonction l'adaptation du couple et de la vitesse entre l'organe moteur et l'organe entraîné. La transmission du mouvement est l'une des fonctions les plus courantes des éléments de la mécanique générale, c'est-à-dire des dispositifs mécaniques destinés à remplacer la main de l'homme [1]. Il existe différents type de transmission du mouvement. Nous présentons ici les plus courants mais cette liste n'est pas exhaustive.

- Les engrenages
- Poulies et courroies
- Chaîne et roues dentées

On s'intéresse dans notre étude à la transmission par engrenages. Le but principal de ces mécanismes est de modifier la fréquence de rotation entre les arbres menant et mené. Dans les mécanismes à roues dentées, le rapport de transmission varie avec les nombres de dents des roues formant l'engrenage. Il est invariable en moyenne si l'on néglige les erreurs géométriques toujours présentes dans un engrenage réel [2].

1. DEFINITION

Un engrenage est un mécanisme élémentaire composé de deux roues dentées mobiles autour d'axes de position relative invariable. L'une des roues entraîne l'autre par l'action des dents successivement en contact.

La roue qui a le plus petit nombre de dents est appelée «**pignon**».

Suivant la position relative des axes des roues, on distingue [3] :

- Engrenage à axes parallèles ;
- Engrenage concourant ;
- Engrenage gauche ;

Chapitre I:Les engrenages



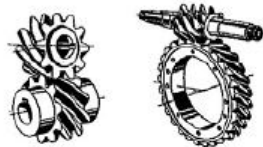
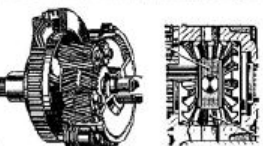
CLASSE		PARTIE PRINCIPALE			DOMAINE D'UTILISATION						APPENDICE
Forme des corps	Type	No	Forme des roues	EXEMPLES DE DISPOSITION	Puissance	Rendement	Niveau	Précision de	Usure	Coût	Remarques et divers
					Fréquence	mécanique	sonore	montage		d'exécution	
Cylindre	Engrenage parallèle	1	Cylindrique		< 20 000 kW < 1 000 t/s	$i = 0,05 \text{ à } 20$ $\eta = 96 \text{ à } 99\%$	moyen à grand	moyenne	faible	moyen	Recommandé - grande vitesse - grand couple
Cône	Engrenage concurrent	2	Conique		< 400 kW 0,1 à 50 t/s	$i = 0,2 \text{ à } 6$ $\eta = 92 \text{ à } 96\%$	moyen à grand	sensible aux erreurs d'axe	faible	grand	Forme des ilans droits cuvilligne
Hyperboloïde	Engrenage gauche	3	Cylindrique Conique		< 400 kW 0,1 à 50 t/s	$i = 0,2 \text{ à } 100$ $\eta = 30 \text{ à } 98\%$	faible à moyen	moyenne à grande	faible à moyenne	moyen	Roue hypotaïde Vis cylindrique Vis globique
Cylindre Cône	Train planétaire	4	Cylindrique Conique		< 2 000 kW 0,1 à 50 t/s	$i = 0,1 \text{ à } 30$ $\eta = 30 \text{ à } 98\%$	moyen à grand	exigeante	faible	moyen à grand	Difficultés : Répartition de la charge

Tableau I.1 : Classification générale des roues dentées et engrenages [2]

Train d'engrenages : C'est une combinaison d'au moins deux engrenages ;

Train planétaire simple : c'est un train d'engrenages comportant trois éléments ;

1.1. Les principaux avantages des mécanismes à roues dentées et des engrenages

1. la possibilité de transmettre entre deux arbres des mouvements de rotation et des couples, donc des puissances des plus faibles aux plus élevées.

2. d'assurer un rapport de transmission constant entre les deux arbres indépendamment de la charge appliquée. Exception : les mécanismes à roues elliptiques dont le but est justement d'obtenir un rapport de transmission variable.

3. de pouvoir disposer les axes des roues d'une manière quelconque dans l'espace. Toutefois, la transmission par engrenages à axes parallèles est la meilleure des solutions possibles.

4. d'obtenir une grande sécurité en service et une durée de vie élevée même en présence d'efforts très variables.

Chapitre I:Les engrenages

5. un entretien relativement restreint, un encombrement modeste et un prix de revient acceptable surtout par l'utilisation de réducteurs de catalogue.

1.2. Inconvénients à prendre en considération dans les transmissions par roues dentées.

Parmi ceux-ci, citons :

1. un niveau sonore parfois gênant.
2. une transmission presque rigide entre l'arbre d'entrée et l'arbre de sortie, l'amortissement des à-coups restant peu efficace lors de variations brusques de couple ou de vitesse.
3. un prix de revient relativement élevé pour toute transmission en exécution particulière ou à très hautes performances techniques.
4. Une interchangeabilité entre roues ou engrenages le plus souvent limitée [2].

2. Conditions d'engrènement

Les éléments les plus courants et importants d'un engrenage droit sont :

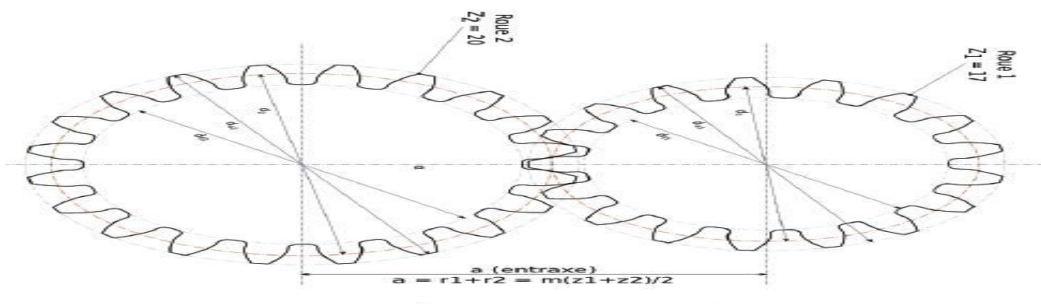


Figure I.1 : Nomenclature de base d'un engrenage droit [4]

- La roue et le pignon doivent avoir le même module et le même pas.
- La roue et le pignon doivent être montées en respectant l'entraxe de l'engrenage à contact extérieur par $a=r1+r2$.

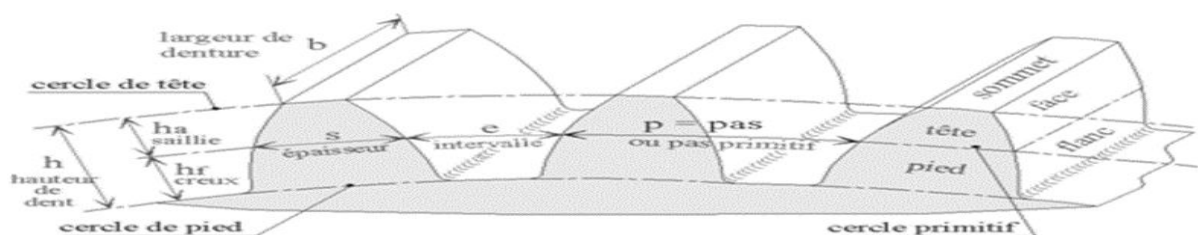


Figure I.2 : Géométrie des dentures [5]

	Symbole	Valeur	Définition
Module	m		Paramètre dimensionnel générateur relatif à la périodicité des dents donc à leur taille
Nombre de dents	Z		Nombre de dent de la roue dentée, a calculer en fonction de la taille de la roue voulue et du rapport de réduction souhaité
Hauteur de dent	h	$h = 2.25m$	Hauteur totale d'une dent, entre le pied et la tête de la dent.
Diamètre primitif	d	$d = m \times Z$	
Diamètre de tête	d_a	$d_a = m(Z+2)$	Diamètre extérieur de la roue dentée
Diamètre de pied	d_f	$d_f = m(Z-2.5)$	Diamètre du fond des dents de la roue
Entraxe de l'engrenage	a	$a = (d_1 + d_2) / 2 = m (Z_1 + Z_2)$	Distance entre le centre de chaque roue
Angle de pression	α	Selon le standard, α vaut 20° en Europe, 25° aux US et $14,5^\circ$ pour les anciens engrenages	
Rapport de réduction	u	Z_2/Z_1	

Tableau I.2 : Tableau des principales caractéristiques d'un engrenage à denture droite [4]

-Angle de pression (α)

Angle aigu entre le rayon du cercle primitif passant par le point où le profil coupe le cercle primitif et la tangente au profil de ce point.

-Le nombre de dent.

Le nombre de dent est noté « Z ». C'est à dire « Z1 » pour l'élément « 1 » et « Z2 » pour l'élément « 2 ». Dans un engrenage nous appelons :

- **Pignon**, l'élément comportant le plus petit nombre de dent.
- **Roue**, l'élément comportant le plus grand nombre de dent.

-Module(m)

Le module est le quotient du pas exprimé en millimètres par le nombre π

$$m = 2,34 \sqrt{\frac{\|F_t\|}{k \cdot R_{pe}}}$$

$\|F_t\|$ = force tangentielle en newtons.

Chapitre I:Les engrenages

k = coefficient de largeur de denture, valeur choisie entre 6 et 10.

R_{pe} = résistance pratique à l'extension du matériau de la dent en mégapascals [3].

-Ligne d'action :

Dans un engrenage, le mouvement est transmis d'une roue à l'autre par l'intermédiaire d'une paire ou de plusieurs dents se touchant uniquement sur une ligne. Le contact est considéré comme sur un point P (**Figure I.3**) qui se déplace le long de la normale commune aux deux cercles de base, aussi appelé la « ligne d'action ».

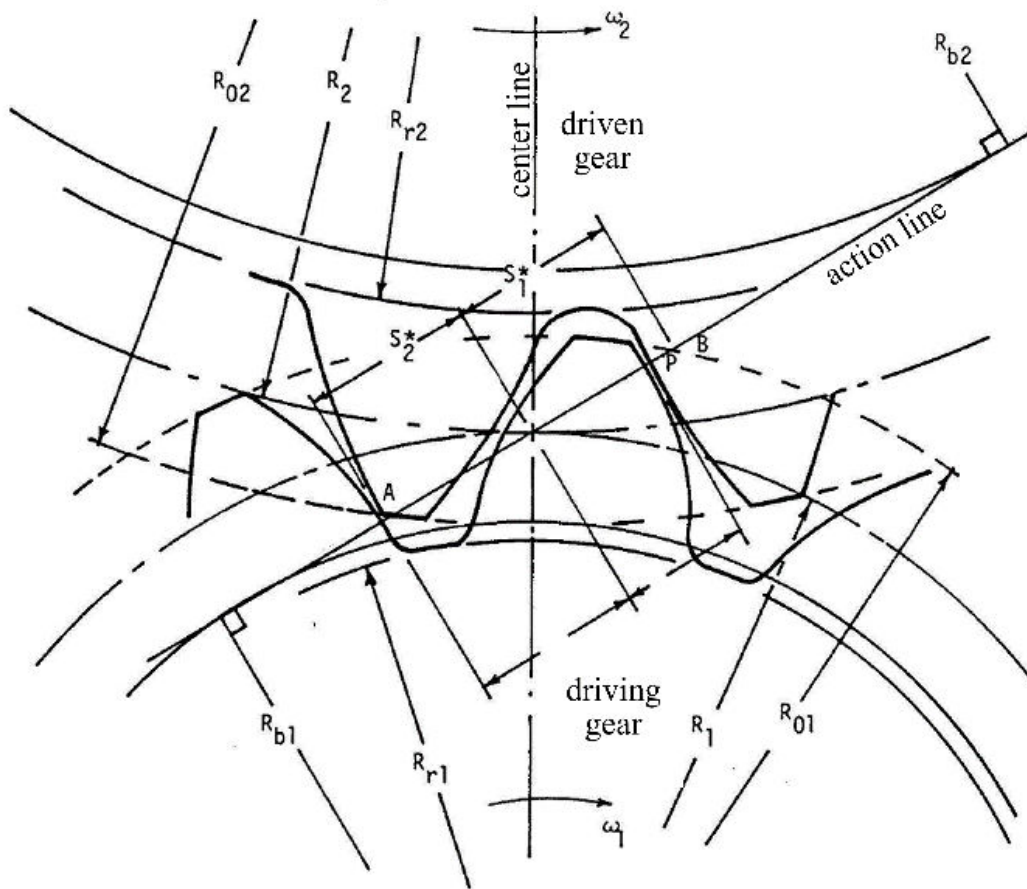


Figure I.3 : Théorie de l'engrènement.

On applique ce concept lorsque les engrenages en contact sont considérés comme rigides et géométriquement parfaits (Koffi 1988, Koffi, Yelle et al. 2000). C'est l'approximation qui est généralement faite pour l'engrenage métallique. Toutefois, lorsque les engrenages sont faits dans une matière thermoplastique, le contact cesse d'être situé exclusivement sur la ligne d'action (**Figure I.4**) à cause de la flexibilité. Plusieurs auteurs ont mis en évidence ce

comportement caractéristique (Koffi, Yelle et al. 1987, Mao 2007, Hoskins, Dearn et al. 2014).

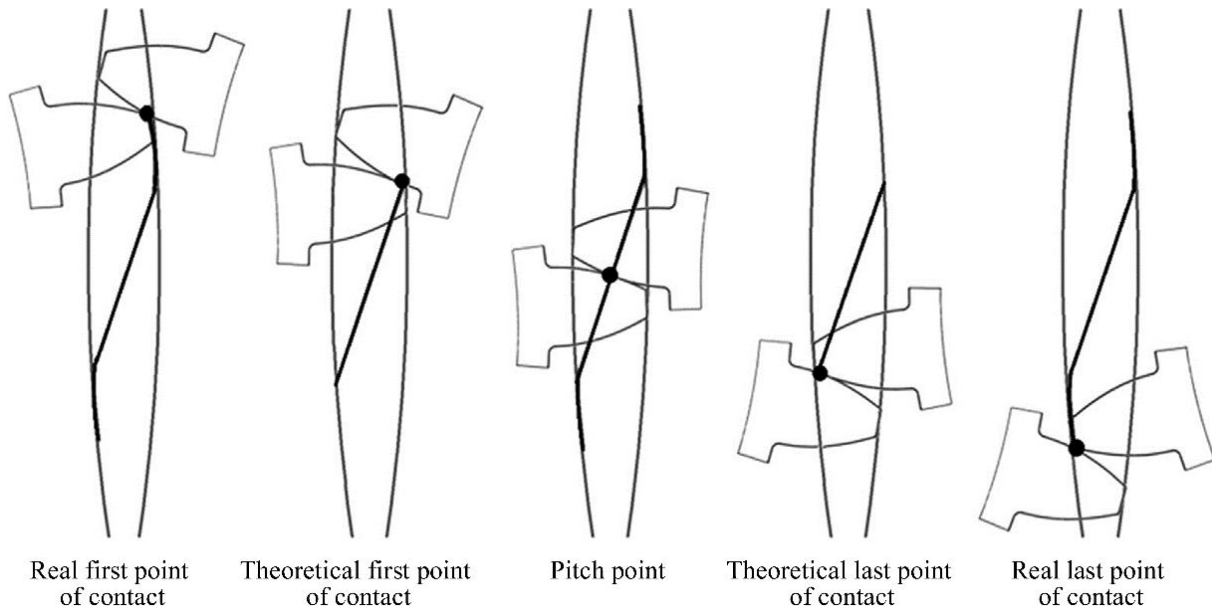


Figure I.4 : Début et fin des contacts réels et théoriques (Hoskins, Dearn et al. 2014).

Ainsi, lorsque les engrenages sont considérés comme rigides, la paire de dents est en contact au point de contact « A », à partir du moment où le cercle théorique de tête de la dent de l'engrenage mené coupe la ligne d'action, et le contact cesse sur le point « B », où le cercle théorique de tête de l'engrenage menant coupe la ligne d'action (Figure I.3) [6].

-Le rapport de réduction

Le rapport de transmission, symbole i , est égal au rapport de la vitesse angulaire de la partie menante ω_1 à celle de la partie entraînée ω_2 . C'est également le rapport des fréquences de rotation de la partie menante n_1 et de la partie menée n_2 :

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Afin de maintenir les relations de calcul aux expressions les plus simples, la fréquence de rotation s'exprime en tours par seconde. La vitesse angulaire ω se définit alors par le produit de la fréquence de rotation n par 2π , soit [2] : $\omega = 2\pi n$

3. Polymères dans le domaine des engrenages

Une grande famille de polymère est celle des thermoplastiques. Les thermoplastiques sont constitués de longues chaînes moléculaires non réticulées entre elles. Leurs propriétés mécaniques sont fortement influencées par la température.

Les thermoplastiques peuvent être totalement amorphe ou semi cristallins. A l'état amorphe, les chaînes sont complètement désorganisées, et en fonction de leur longueur, plus ou moins enchevêtrées (cf. Figure I.5.a). Lorsqu'une partie des chaînes peut s'organiser en domaine cristallin, les autres restants à l'état amorphe, on dit que le thermoplastique est un semi cristallins (cf. Figure I.5.b).

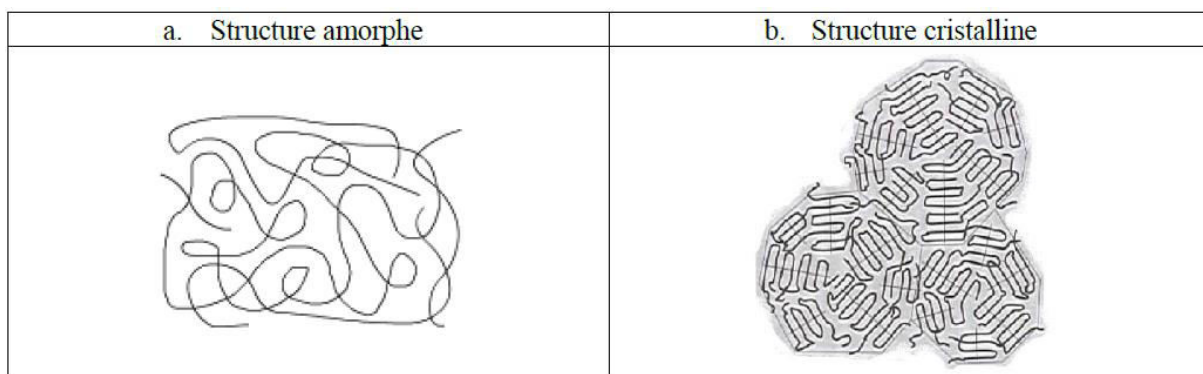


Figure I.5 : Comparaison de la composition structurel des thermoplastiques amorphes et semi cristallin

A la température de transition vitreuse notée T_g , correspond une chute de la raideur du matériau. Les polymères amorphes sont généralement utilisés pour des températures inférieures à la transition vitreuse. A cause de leur plage de température d'utilisation limitée, on ne les retrouve pas dans le domaine des engrenages.

Dans le cas de thermoplastique semi-cristallin, pour une température comprise entre T_g et la température de fusion des cristallites, la phase amorphe est molle, alors que la phase cristalline reste rigide. Cette matière a donc un comportement intermédiaire entre le comportement d'un amorphe visqueux et d'un élastomère. Elle est donc relativement ductile et rigide.

En raison de ces propriétés les polymères semi cristallins sont donc particulièrement appropriés pour le domaine des engrenages plastiques, où ils peuvent être utilisés sur une large plage de température (Figure I.6).

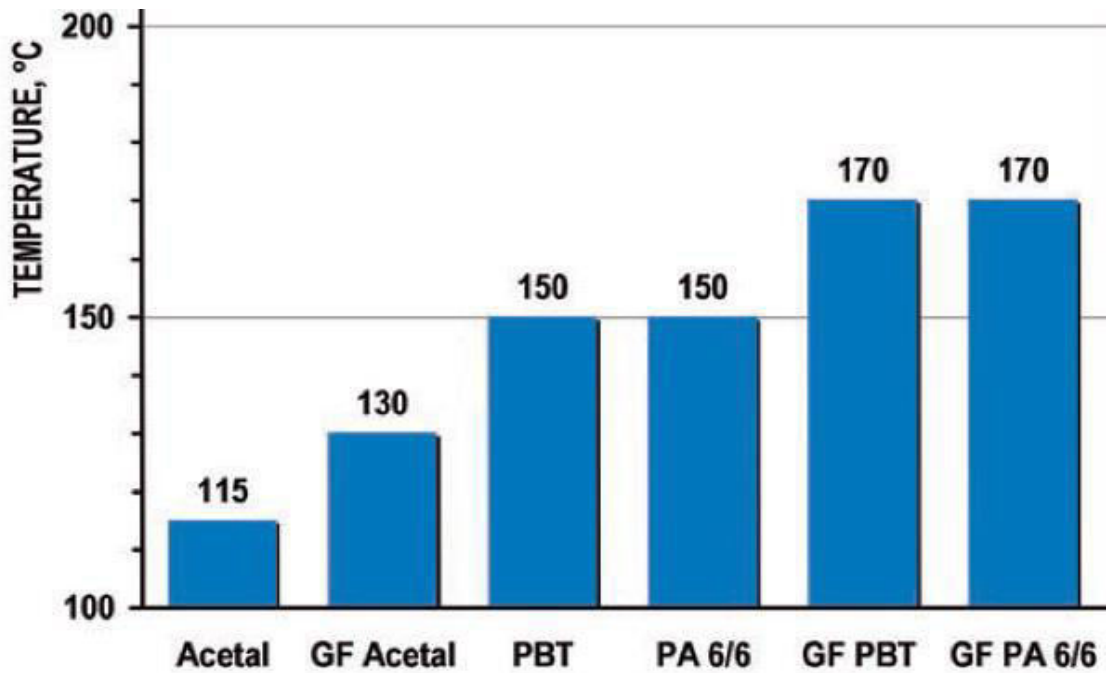


Figure I.6 : Limite d'utilisation en température des polymères couramment employés pour les engrenages

Les matériaux semi cristallins sont souvent pourvus d'une bonne résistance à l'usure par rapport aux amorphes, ce qui augmente leur intérêt. Cependant, tous les thermoplastiques semi-cristallins ne sont pas utilisés dans le domaine de la production d'engrenages en grande série. Le moulage par injection, qui est à l'origine du succès des engrenages plastique, n'est pas possible pour le Polyimide (PI) et le Polytétrafluoroéthylène (PTFE). Leur prix très élevé explique aussi leur faible utilisation. D'autres polymères comme le Polyéthylène (PE) ou le Polyphénylène sulfide (PPS) ne sont pas utilisés en raison de leur mauvais comportement à l'usure, due à une faible résistance en température.

D'après Tsukamoto, 85% de la production d'engrenages plastiques est dominée par deux matériaux le Polyoxyméthylène (POM) et le Polyamide (PA). Le reste se compose pour l'essentiel du Polypropylène (PP), du Polytéraphthalate de butylène (PBT) et du Polyétheréthercétone (PEEK) [7].

Chapitre I: Les engrenages

4. Fiches matières de PA et POM [8] :

Polyamide 6			PA 6																	
Famille : Polyamides	S/cristallin	Translucide	Densité : 1,15	Retrait : 1,8 %																
Étuvage : Dessiccateur conseillé Durée : 4 h minimum T° : 80 °C maximum			Prix (kg) : 3 à 5 €																	
			Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,8 m/s																	
T° d'injection : 230 à 260 °C		T° outillage : 60 à 100 °C		T° veille : 220 °C																
Catégorie ISO 58 000 : 3		T° démoulage : 140 à 180 °C		KΔV : 0,80																
T° / Produits de dégradation : 300 °C / Faiblement toxiques																				
<p style="text-align: center;"> Temps de refroidissement (en secondes) vs Ép. (mm) T° moule/matière 60/230 ——— 70/230 80/240 - - - - 90/240 - · - · - 100/250 - · · - 100/260 ——— </p>																				
Recyclage : 30 % maximum			Jeu d'infiltration : 0,02 mm																	
Particularités de moulage : – Le démontage de la buse machine ou de systèmes de canaux chauds doit s'effectuer avec un masque et des gants de protection car le PA 6, lorsqu'il se dégrade, fait des projections de matière fondue. – Le dosage parfois irrégulier se corrige par une contre-pression adaptée et une vitesse de rotation réduite. En dernier ressort on peut utiliser un profil décroissant de température du fourreau. – Contre-cône de buse indispensable. – La combustion dégage des gaz très toxiques.																				
Quelques noms commerciaux : <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 25%;">Akulon K et S</td> <td style="width: 25%;">Ultramid B</td> <td style="width: 25%;">Trogamid</td> <td style="width: 25%;">Latamid 6</td> </tr> <tr> <td>Capron</td> <td>Durethan B, C, K</td> <td>Sniamid A</td> <td>Technyl</td> </tr> <tr> <td>Orgamid</td> <td>Bergamid B</td> <td>Toplamid</td> <td>Shulamid</td> </tr> <tr> <td>Grilon</td> <td></td> <td>Nilatron</td> <td></td> </tr> </table>					Akulon K et S	Ultramid B	Trogamid	Latamid 6	Capron	Durethan B, C, K	Sniamid A	Technyl	Orgamid	Bergamid B	Toplamid	Shulamid	Grilon		Nilatron	
Akulon K et S	Ultramid B	Trogamid	Latamid 6																	
Capron	Durethan B, C, K	Sniamid A	Technyl																	
Orgamid	Bergamid B	Toplamid	Shulamid																	
Grilon		Nilatron																		
Identification sommaire Flamme grise à base pétillante. Odeur de corne brûlée.																				

Figure I.7 : Fiche technique de PA 6

Polyoxyméthylène copolymère			POM	
Famille : Polyacétal	S/cristallin	Translucide	Densité : 1,42	Retrait : 2 %
Étuvage : Inutile		Prix (kg) : 2 à 4 €		
Durée : T° : 70 °C maximum		Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,15 m/s		
T° d'injection : 180 à 205 °C	T° outillage : 60 à 120 °C		T° veille : Purge immédiate	
Catégorie ISO 58 000 : 3	T° démoulage : 100 à 140 °C		KΔV : 0,81	
T° / Produits de dégradation : 190 °C / Très irritants				
<p>Temps de refroidissement (en secondes)</p> <p>T° moule/matière</p> <ul style="list-style-type: none"> 60/180 ——— 70/185 (pointillés) 80/190 - - - - (tireté) 90/195 - · - · - (tireté-pointillé) 100/200 - · - · - · - (tireté-triple) 120/205 ——— (plein épais) <p>Ép. (mm)</p>				
Recyclage : 100 %		Jeu d'infiltration : 0,03 mm		
Particularités de moulage :				
<ul style="list-style-type: none"> - Purge immédiate en cas d'arrêt de plus de 5 minutes. - Le POM dégage un gaz très irritant lors de sa dégradation. - Lors du réglage, vérifier constamment que la vis ne recule pas d'elle-même. Dans ce dernier cas, purger la presse plusieurs fois en se protégeant d'éventuelles projections. - Post-retrait important, attendre 24 heures avant la stabilisation des dimensions. - Contre-cône de buse indispensable. - Mesure de la température matière en sortie de buse conseillée. 				
Quelques noms commerciaux :				
Hostaform		Celcon		
Ultraform		Duracon		
Tenac		Meraform		
Identification sommaire				
Matière rigide au toucher gras. Flamme bleue, comme lorsque l'on brûle de l'alcool, difficile à éteindre. Odeur violente de formol : la combustion dégage un gaz très irritant.				

Figure I.8 : Fiches technique de POM-C

Polyoxyméthylène homopolymère			POM							
Familie : Polyacétal	S/cristallin	Translucide	Densité : 1,42	Retrait : 2 %						
Étuvage : Inutile Durée : T° : 70 °C maximum		Prix (kg) : 2 à 4 € Vitesse de rotation vis : 0,1 à 0,15 m/s								
T° d'injection : 195 à 215 °C	T° outillage : 60 à 130 °C		T° veille : Purge immédiate							
Catégorie ISO 58 000 : 3	T° démoulage : 100 à 150 °C		KΔV : 0,81							
T° / Produits de dégradation : 190 °C / Très irritants										
Recyclage : 100 %		Jeu d'infiltration : 0,03 mm								
Particularités de moulage : <ul style="list-style-type: none"> - Purge immédiate en cas d'arrêt de plus de 5 minutes. - Le POM dégage un gaz très irritant lors de sa dégradation. - Lors du réglage, vérifier constamment que la vis ne recule pas d'elle-même. Dans ce dernier cas, purger la presse plusieurs fois en se protégeant d'éventuelles projections. - Post-retrait important, attendre 24 heures avant la stabilisation des dimensions. - Contre-cône de buse indispensable. - Mesure de la température matière en sortie de buse conseillée. 										
Quelques noms commerciaux : <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">Delrin</td> <td>Ultraform</td> </tr> <tr> <td>Kematal</td> <td>Celcon</td> </tr> <tr> <td>Sniatal</td> <td>Duracon</td> </tr> </table>					Delrin	Ultraform	Kematal	Celcon	Sniatal	Duracon
Delrin	Ultraform									
Kematal	Celcon									
Sniatal	Duracon									
Identification sommaire Matière rigide au toucher gras. Flamme bleue, comme lorsque l'on brûle de l'alcool, difficile à éteindre. Odeur violente de formol : la combustion dégage un gaz irritant.										

Figure I.9 : Fiches technique de POM-H

5. Relation prix/propriétés mécaniques des principaux matériaux :

Nous savons que pour des engrenages en plastique « à toute épreuve » utilisés aujourd'hui, les principaux matériaux utilisés sont le nylon et l'acétal. Par contre, ces matériaux, en plus d'avoir un aspect écologique très limité, ont un prix d'acquisition assez élevé (Figure I.10) [6].

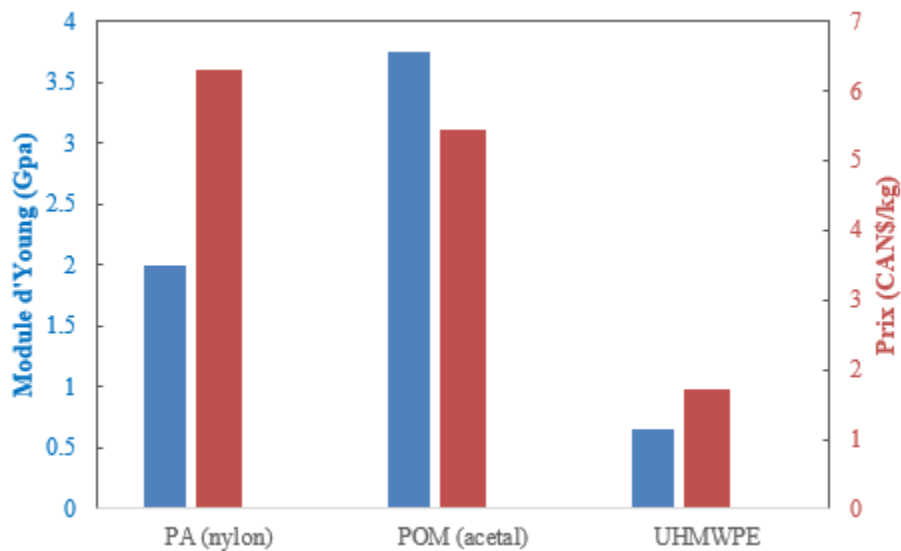


Figure I.10 : Relation prix/propriétés mécaniques des principaux matériaux utilisés dans les engrenages plastiques. Adapté de (Mijiyawa, Koffi et al. 2014).

Conclusion :

Le POM a été choisi dans le cadre de cette thèse. Ceci pour plusieurs raisons évoquées précédemment : son faible coût, sa large utilisation, son bon comportement tribologique et thermique.

Chapitre II :

L'injection

Plastique

Introduction

Depuis la fin des années 1800 et l'invention de la première machine d'injection par les frères John et Isiah Hyatt, le procédé d'injection-moulage n'a pas cessé d'être perfectionné pour devenir actuellement le procédé de fabrication de pièces plastiques le plus utilisé au monde. Il peut en effet s'adapter autant à l'élaboration de pièces imposantes (plusieurs kilogrammes) qu'à la production d'objets beaucoup plus petits, de l'ordre du gramme. L'avantage principal de ce procédé réside dans la possibilité d'obtenir des géométries de pièces très complexes tout en ayant des temps cycles très rapides, permettant une production à très haute cadence.

1. Définition :

Une machine d'injection-moulage comprend une unité de plastification, une unité de fermeture (dans laquelle est fixé le moule) et une unité de commande. Son principe de fonctionnement 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 fondre des granulés de polymère, de les mélanger et de convoier 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.

2. La structure de presse d'injection :

La presse d'injection comprend une unité de plastification, qui transforme les granulés solides en polymère fondue pour l'injecter ensuite dans le moule. Et une unité de fermeture, à laquelle le moule est fixé. La (figure. II.1) 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. [9]

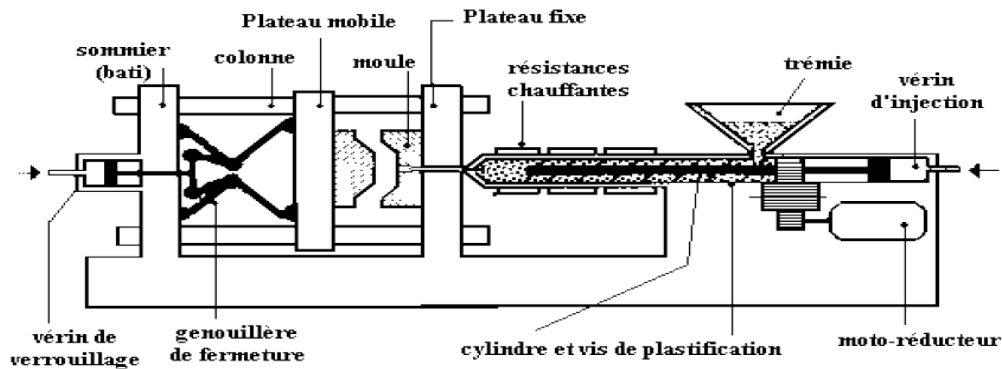


Figure II.1 : La structure de presse d'injection

2.1 Le bâti :

C'est ce qui supporte l'ensemble des organes nécessaires, moteur électrique, pompe hydraulique, réservoir d'huile, les canalisations, toutes les électrovannes et les distributeurs. La forme et la position du bâti, on distingue trois types de presse :

Presse horizontale, Presse verticale, Presse universelle.

2.2. L'unité de fermeture :

Cet ensemble permet la fermeture, l'ouverture et le verrouillage de la partie mobile de la presse, sur la partie fixe. C'est un organe très important qui doit s'opposer à l'effort d'injection. Elle supporte le système d'éjection. Ainsi, cette unité peut être manœuvrée de plusieurs manières

A. Unité de fermeture mécanique :

Bien que les mouvements soient assurés par un vérin, elle est appelée mécanique, car l'effort de verrouillage est assuré par les genouillères (arc-boutement).

B. Unité de fermeture hydraulique :

Les mouvements du plateau mobile sont assurés par un gros vérin central qui a pour but de faire l'approche du plateau mobile jusqu'au plateau fixe et d'un vérin plus petit qui assure le verrouillage dans la phase finale de la fermeture.

Chapitre II : L'injection Plastique

C. Unité de fermeture mixte :

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

2.3. Le groupe de plastification :

Le groupe de plastification (Figure II.2) assure le passage de la matière de l'état solide à l'état liquide. Les principaux éléments constitutifs de ce groupe sont :

- La trémie d'alimentation : située à l'arrière du groupe, elle approvisionne l'unité de plastification en matière première (sous forme de poudre ou de granulés), en général par simple gravité.
- L'ensemble vis-fourreau : la vis est située dans un fourreau cylindrique, mis en température à l'aide de résistances électriques ou colliers chauffants. Leur rôle est de contribuer à l'apport d'énergie nécessaire à la plastification des polymères. La régulation de la température des résistances est assurée par une boucle de contrôle utilisant le plus souvent des thermocouples.
- Le moteur : Il assure la mise en rotation de la vis par des systèmes électriques ou hydrauliques.
- Le système de vérin hydraulique : il permet le déplacement transversal de la vis. La force nécessaire à l'injection du polymère dans le moule est développée en imposant une pression hydraulique sur le cylindre d'injection.
- Le clapet "anti-retour" : il est fixé à l'avant de la vis, et permet d'éviter le reflux de matière pendant la phase d'injection proprement dite.
- La buse d'injection : elle effectue la liaison entre le pot d'injection et le moule

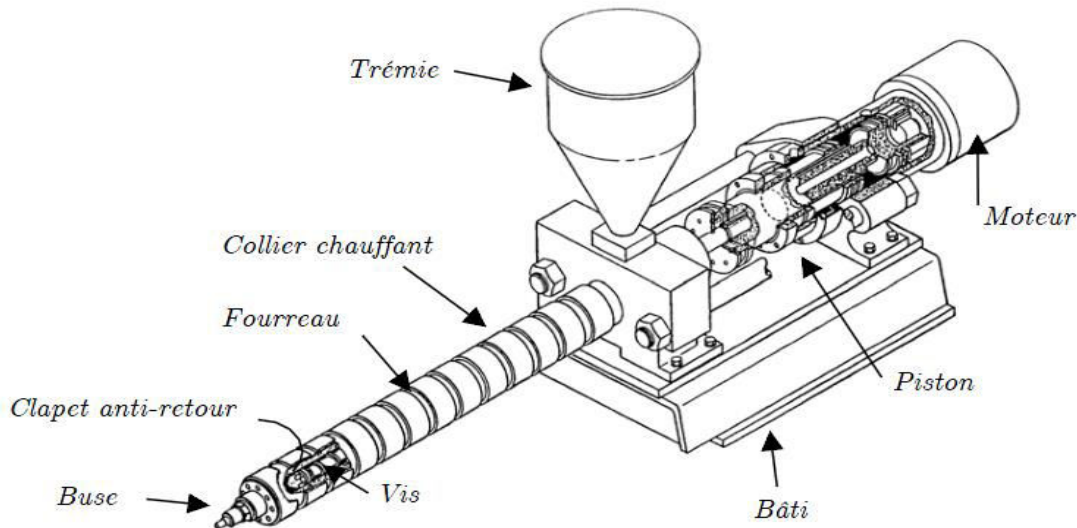


Figure II.2 : Schéma d'un groupe de plastification [10]

2.3.1. Les vis d'injection :

La mono vis standard d'injection comprend en général trois zones (Figure II.3)

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

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

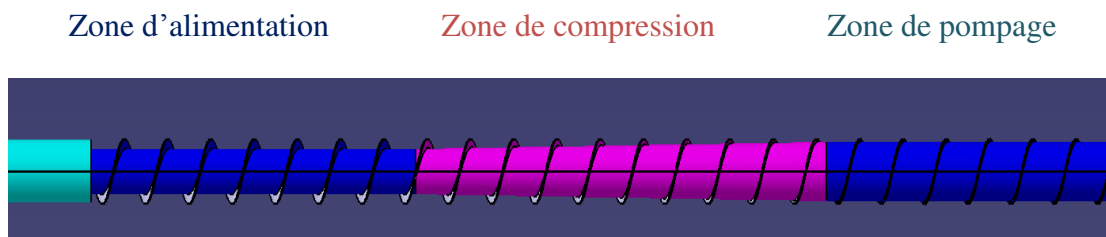


Figure II.3 : Schéma d'une mono-vis avec trois zones

Chapitre II : L'injection Plastique

Les différents paramètres permettant de caractériser une vis sont :

- **La longueur de la vis** : une vis est généralement définie par le rapport entre sa longueur fixée (L) et son diamètre nominal (D). En général ce rapport oscille autour de $20L/D$. Les vis d'injection sont plus courtes qu'en extrusion ($30/35D$).
- **La profondeur du chenal** : une vis relativement profonde permet d'avoir une capacité de convoyage importante et réduit le cisaillement dans la matière, géométrie souhaitée pour les polymères sensibles à ce paramètre. Cependant, la vis serait plus sensible à la contre-pression.
- **Le taux de compression** : c'est le rapport entre la profondeur du chenal dans la zone d'alimentation et celle de la zone de pompage. Il varie entre 2 et 4 pour la majorité des vis industrielles. Une vis avec un faible taux de compression convient aux matières dont la plastification est aisée, comme les matières visqueuses, et inversement.
- **Pas de la vis** : la plupart des vis d'injection utilisent un pas « carré », ce qui signifie que le pas de l'hélice est égal au diamètre de la vis. Ce pas est proche de l'optimum pour le convoyage solide, mais peut être plus grand pour la partie fondue [11].

3. Les étapes du procédé :

Le procédé d'injection se déroule en cinq étapes :

Etape 1 (Figure II.4.a) : la phase de dosage. Les granulés de polymère tombent depuis une trémie dans un ensemble vis-fourreau. Ils sont ensuite fondus progressivement par actions conjuguées des colliers chauffant le fourreau, du cisaillement de la matière, provoqué par la rotation de la vis et la friction des granulés (entre eux et contre les parois du fourreau et de la vis). La matière fondue est alors convoyée en avant de la vis (via un clapet anti-retour), dans l'espace créé par le recul progressif de cette dernière lors de sa rotation.

Etape 2 (Figure II.4.b) : la phase d'injection. Grâce à un mouvement de translation de la vis, le polymère fondu est transféré du réservoir à un moule via des canaux. Ce mouvement de translation est généré par un vérin, à travers le clapet anti-retour qui, dans cette phase, empêche la matière de rebrousser chemin.

Etape 3 (Figure II.4.c) : la phase de compactage. Le moule est composé de deux parties, une fixe et une mobile. Durant le compactage, le moule est maintenu sous pression pour rester fermé, pendant que la matière est compactée par la vis. Pendant cette phase, le polymère

Chapitre II : L'injection Plastique

fondu continue à être injecté pour compenser le rétrécissement, ou retrait, de la matière qui refroidit.

Étape 4 (Figure II.4.c) : la phase de refroidissement. Lorsque le polymère est entièrement figé au niveau du ou des seuils d'injection, il n'est plus nécessaire d'appliquer une pression de maintien, et la pièce continue de se refroidir jusqu'à ce qu'elle soit complètement solidifiée. La vis reprend son cycle de rotation à l'étape 1.

Étape 5 (Figure II.4.d) : la phase d'éjection. Le moule s'ouvre, et la pièce formée est éjectée du moule.

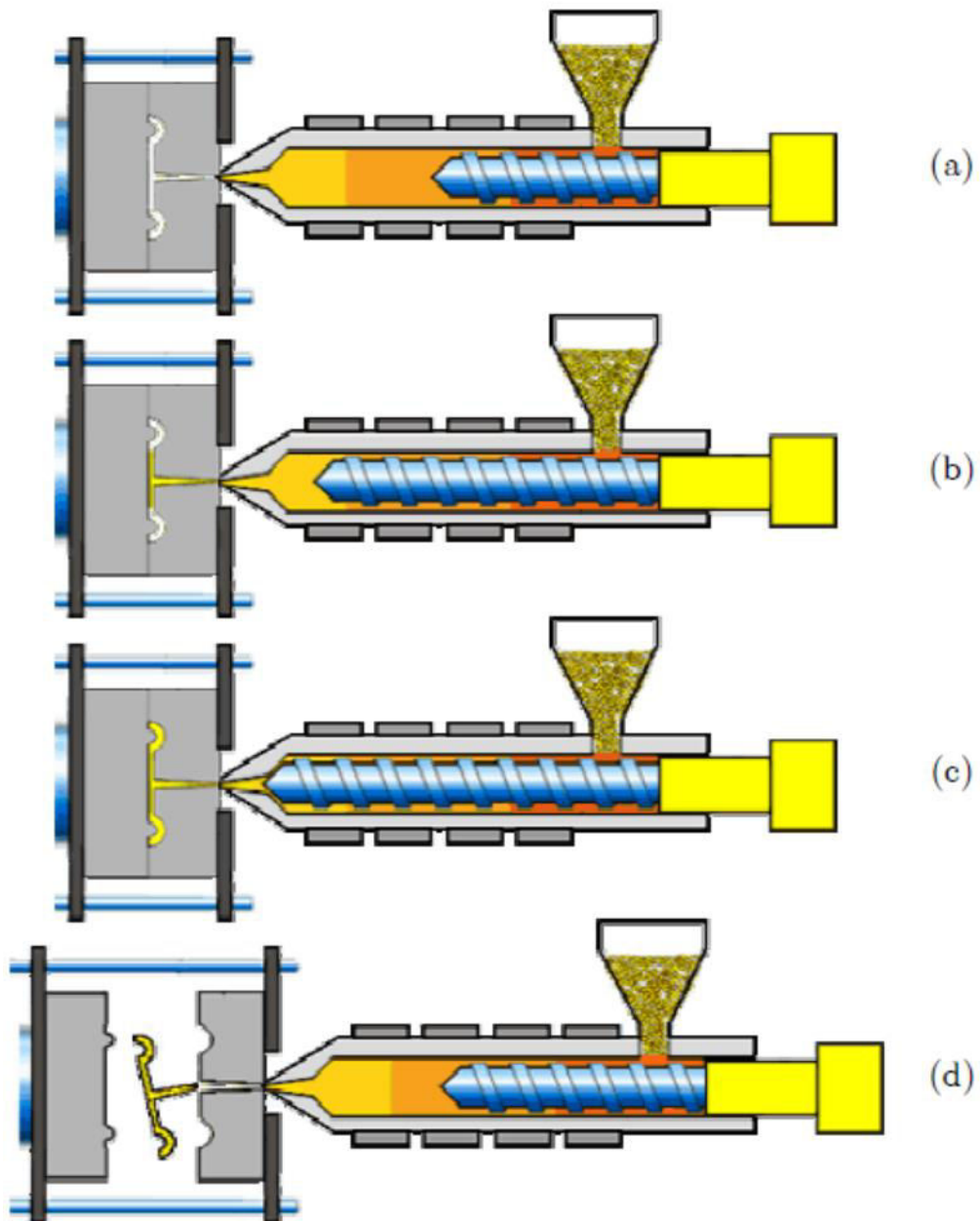


Figure II.4 : Les étapes du procédé d'injection-moulage des thermoplastiques

4. Fonctions de la presse :

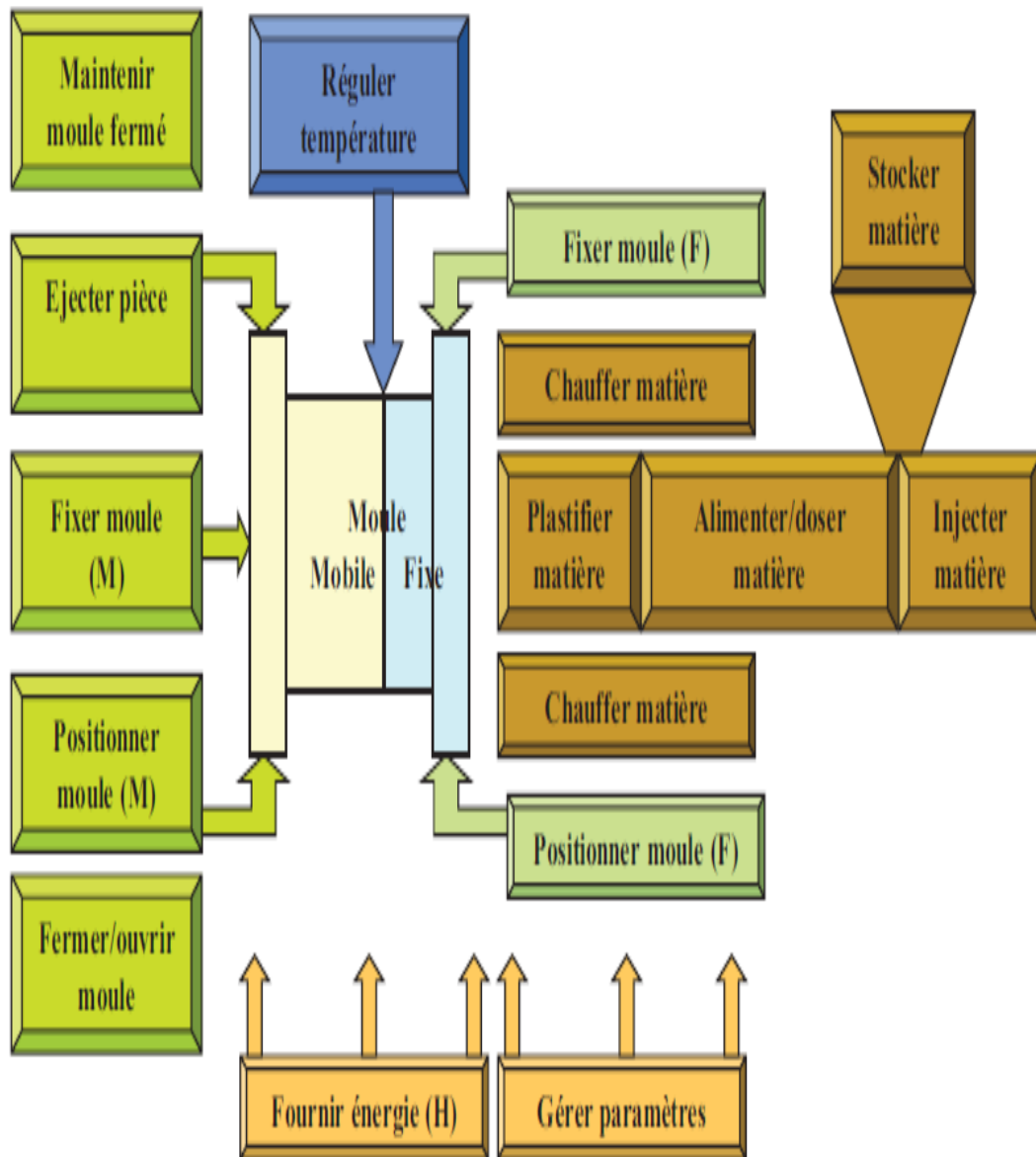


Figure II.5 : Fonctions de presse

Chapitre II : L'injection Plastique

5. Terminologie des moules :

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 :

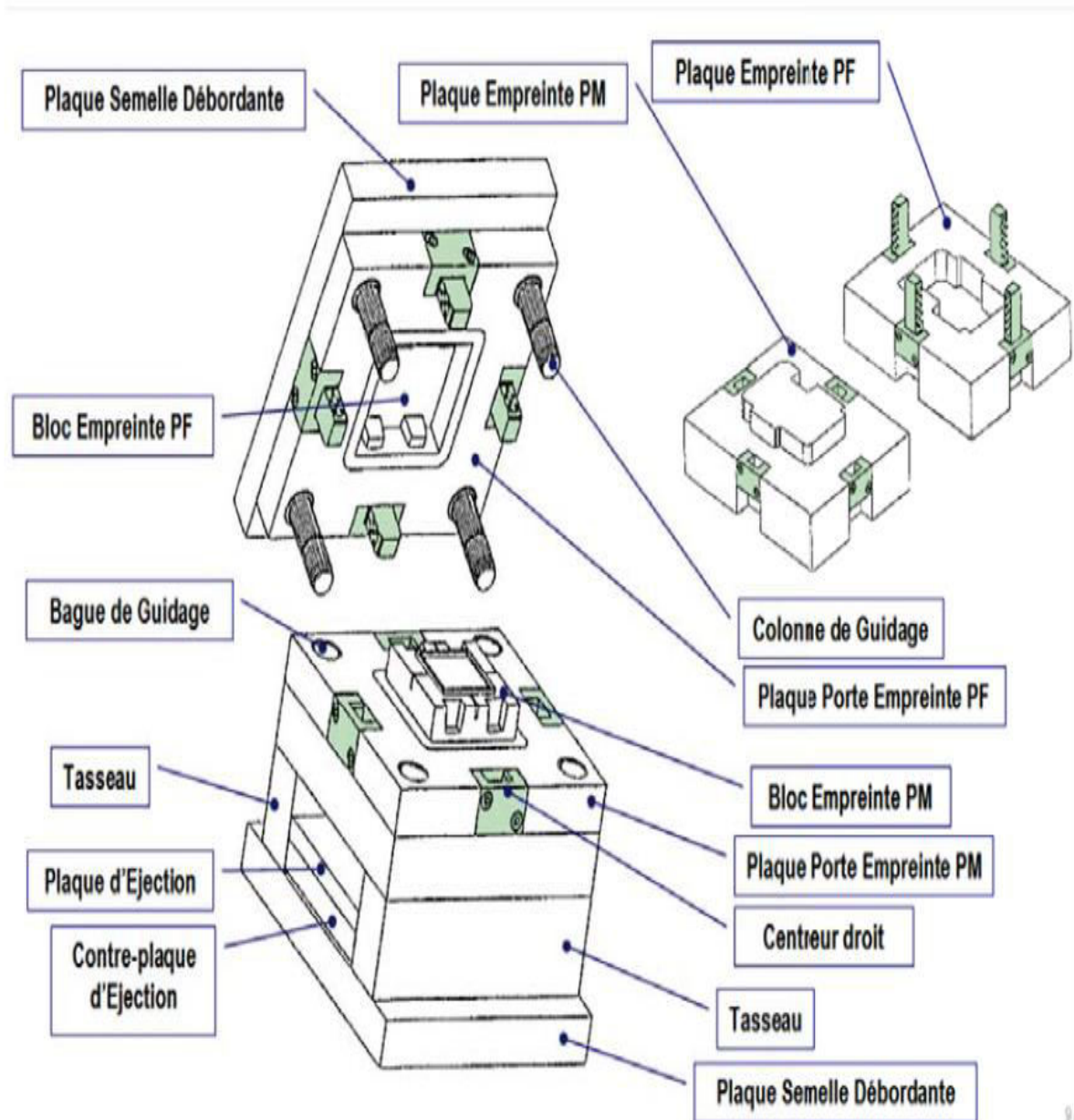


Figure II.6 : Une vue en 3D d'un moule d'injection plastique

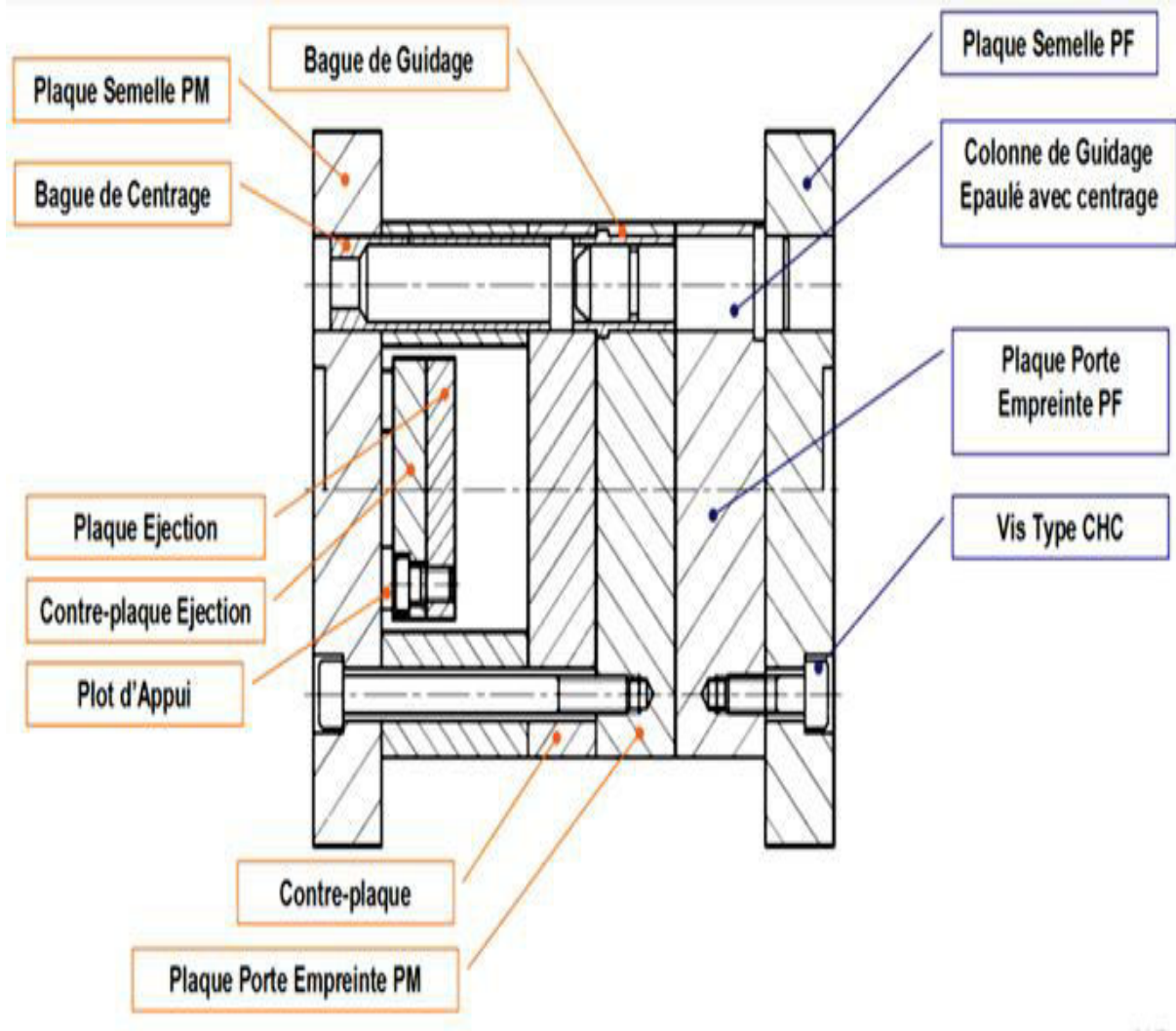


Figure II.7 : Les différentes parties d'un moule d'injection plastique [12]

5.1. Les différents familles des moules :

Un moule doit généralement remplir des fonctions, de moulage, éjection, guidage et refroidissements, plusieurs familles de moules trouvent leurs justifications en fonction du :

- Le nombre d'empreintes (1, 2, 4, 8, 16, 32 ...). [13]
- Son architecture : nombre de plaques, tiroirs, coquilles
- Le système d'alimentation : carotte perdue, canaux chauffants
- Le type d'alimentation des empreintes : pin point, en masse, en parapluie, sous-marine, en ligne, en "n" points
- L'éjection des pièces (par éjecteur, bloc d'éjection ou autres)
- La régulation de la température

Chapitre II : L'injection Plastique

- La durée de vie (choix des matériaux)

En fonction de ces paramètres on site les grandes familles de moules sont :

- Moule standard (cylindrique ou cubique)
- Moule 3 plaques, Moule multi plaque
- Moule à dévêtissage
- Moule à tiroir, Moule à coins

5.1.1. Moule à deux plaques :

Le tableau suivant illustre le fonctionnement d'un moule à deux plaques, par les schémas associés.

Chapitre II : L'injection Plastique

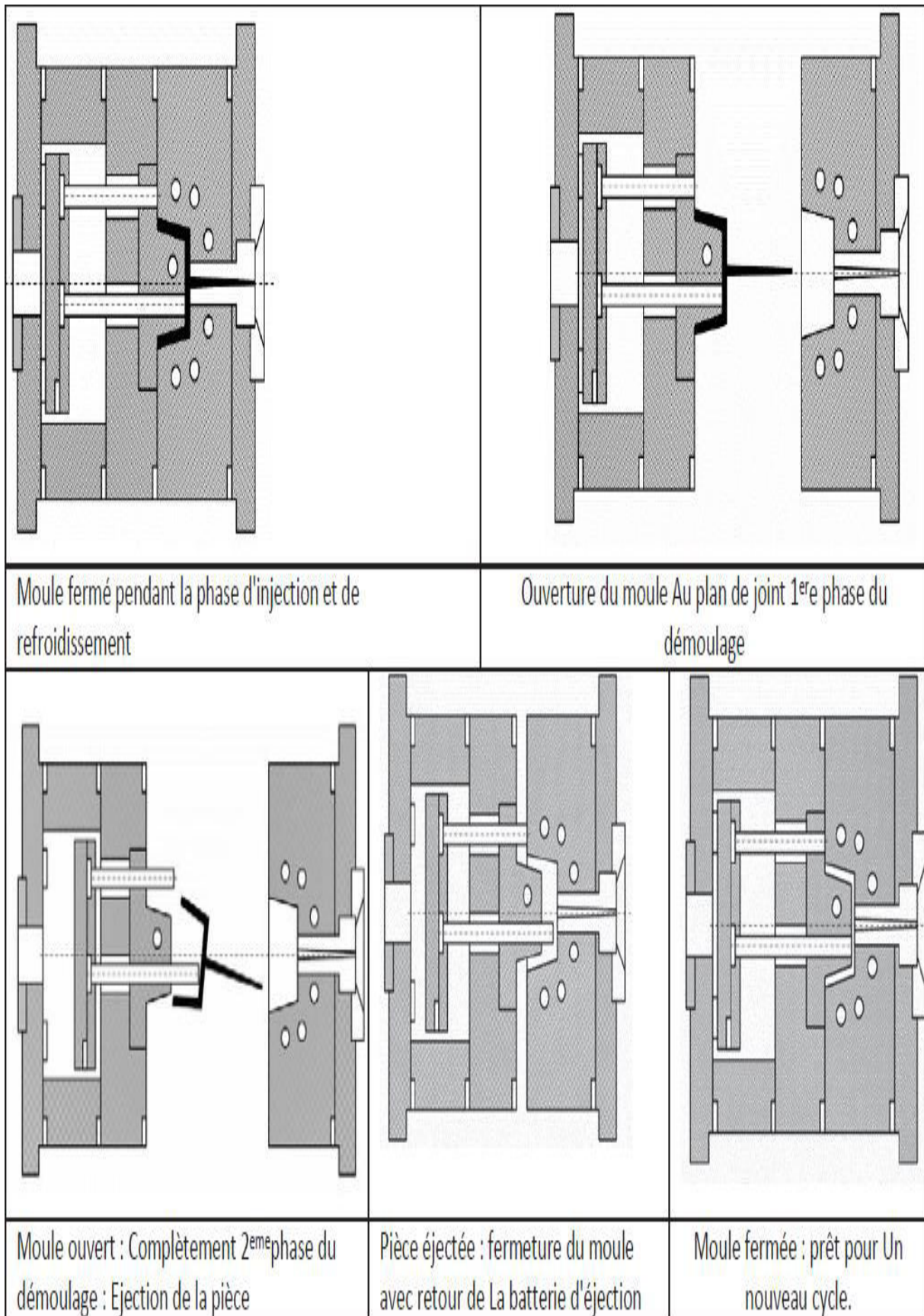
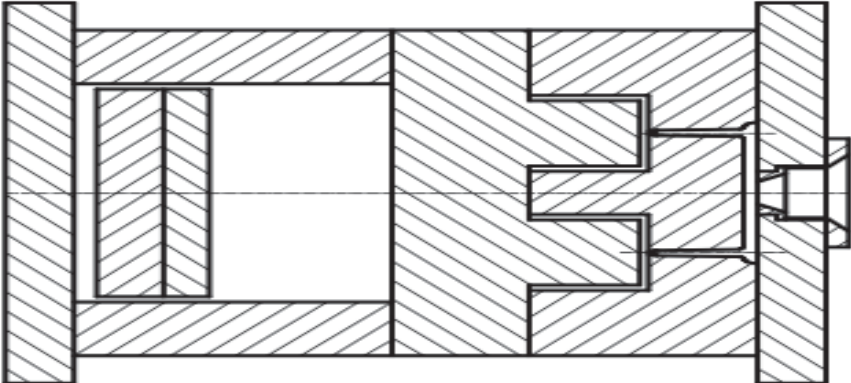
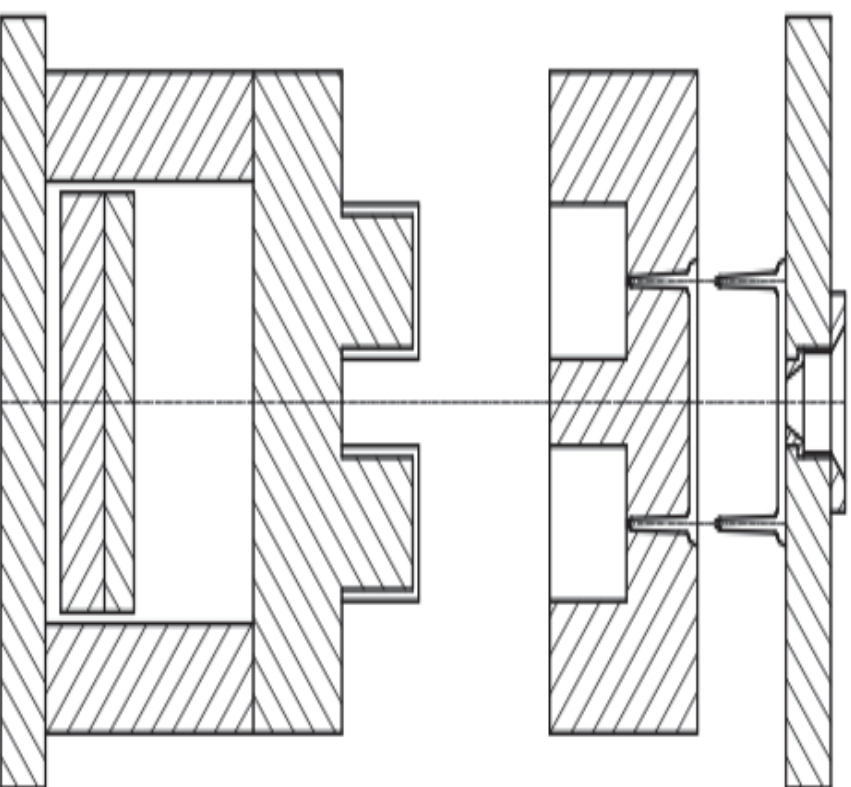


Figure I.8 : Moule à deux plaques

Chapitre II : L'injection Plastique

5.1.2. Moule à trois plaques :

Le tableau suivant illustre le fonctionnement d'un moule à trois plaques, également on rencontre dans l'industrie des moules à plusieurs plaque utilisant le même principe, la chronologie des ouvertures, se fait les priorités définis par le concepteur, principalement on a un plan de joint carottes et un plan de joint pièce. [12]

<p>le moule à 2 plans de joint :</p> <p>1 plan de joint pour la carotte</p> <p>1 plan de joint pour la pièce.</p>	
<p>1ère ouverture au niveau du plan de joint carotte (impératif pour une bonne casse du point d'injection)</p> <p>2ème ouverture au niveau du plan de joint pièce</p>	

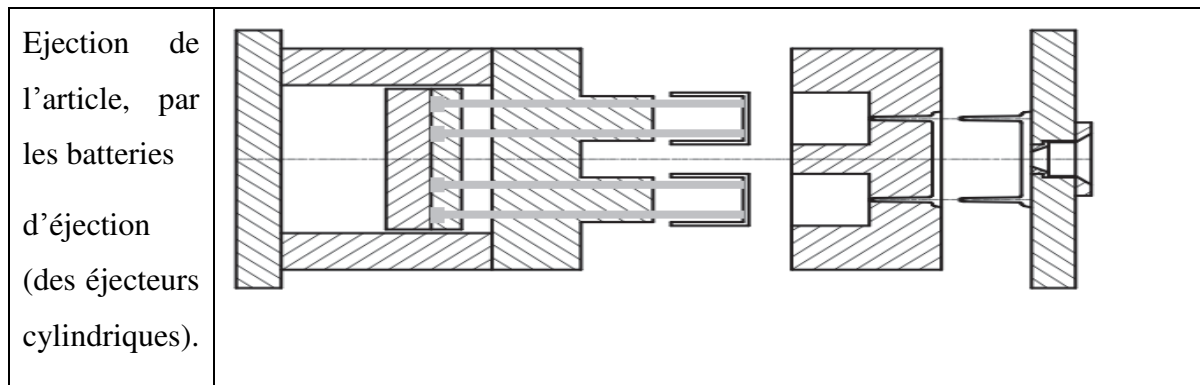
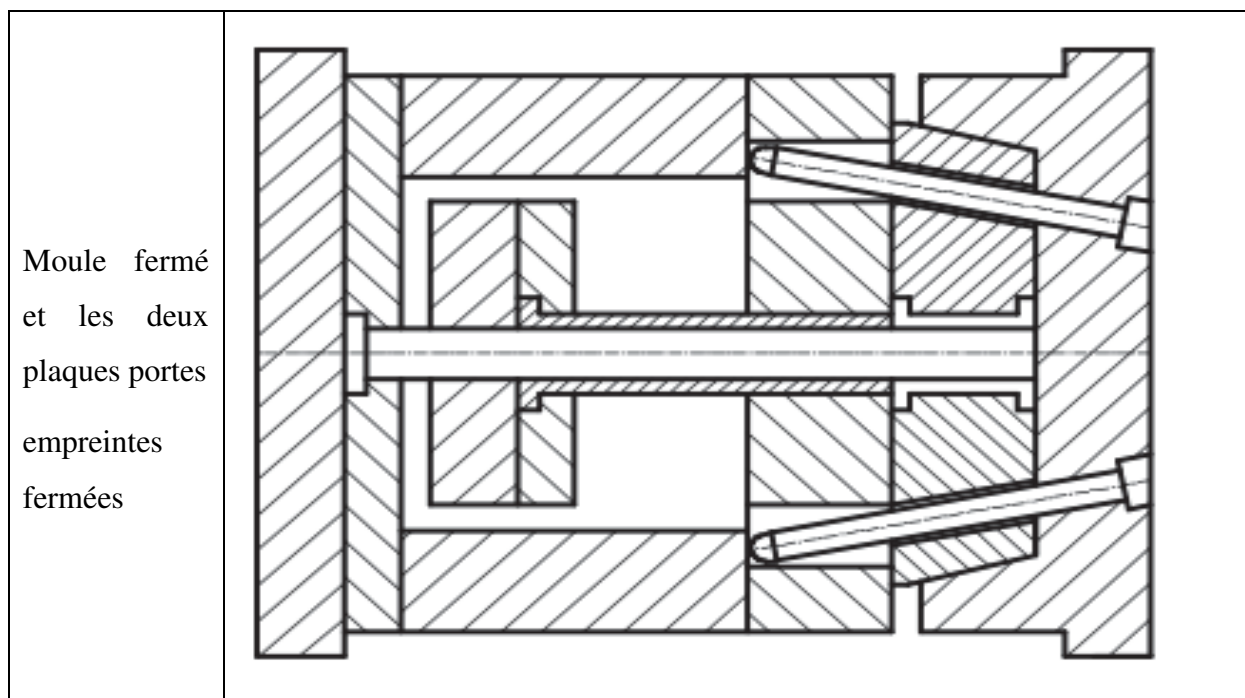


Figure I.9 : Moule à trois plaques

5.1.3. Moule à tiroir :

Les moules à tiroir et à les moules à coins forment des solutions particulières pour permettre d'injecter des pièces présentant des contre dépouilles, leur fonctionnement est présenté par le tableau suivant [12].



Chapitre II : L'injection Plastique

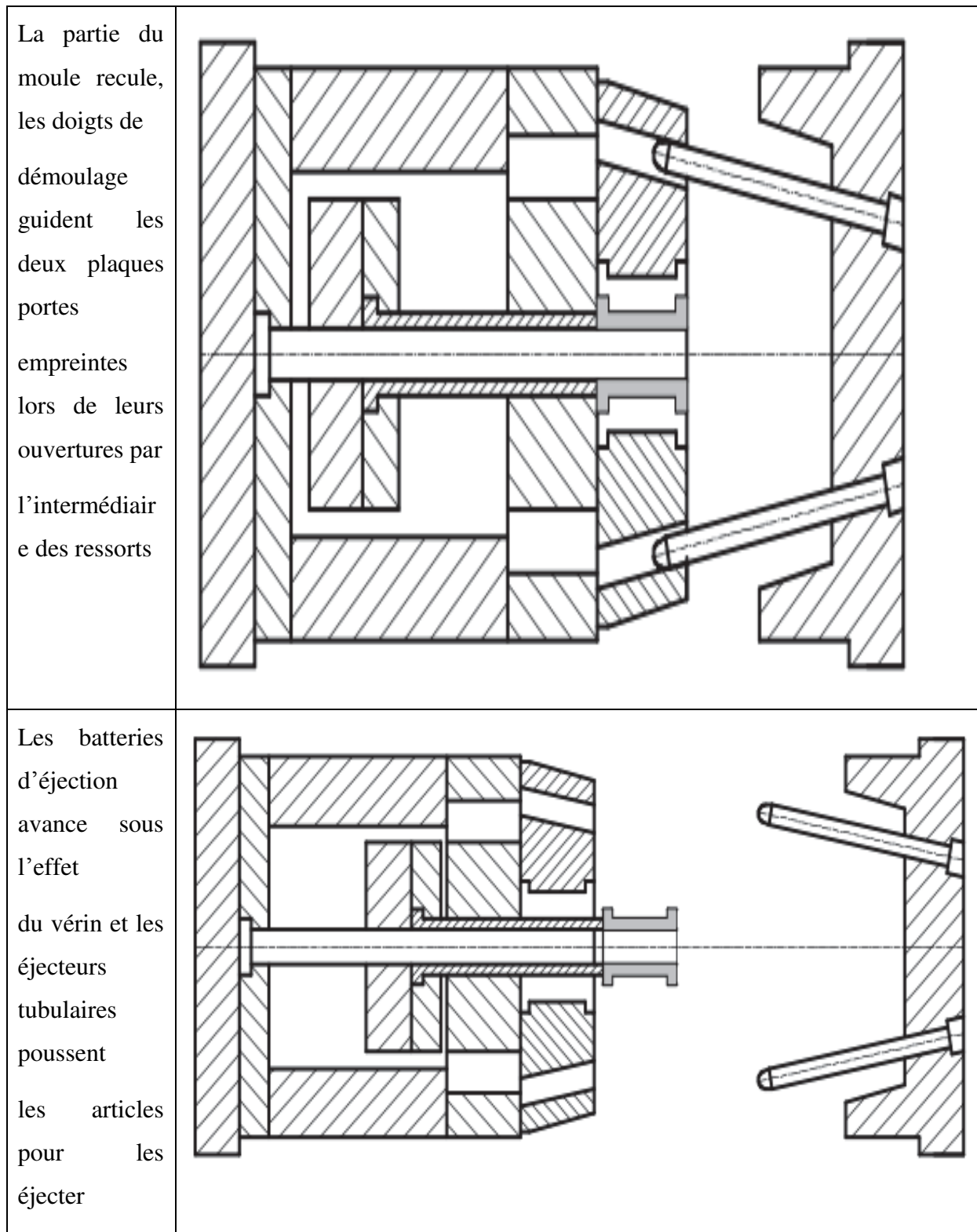


Figure I.10 : Moule à tiroir

5.1.4. Moule à canaux chauds :

La matière dans les canaux de transfert reste à la température de moulage jusqu'à l'entrée de l'empreinte, ce qui se traduit par une diminution des pertes de matière et un gain de productivité, en effet le temps de solidification de la matière n'est plus que celui propre de la pièce, de même que l'on gagne le temps de remplissage du système d'alimentation. [14, 15]

Dans cette technique une partie des éléments de transfert garde la matière chaude tandis qu'une autre solidifie des petits canaux (cas des petites pièces ou d'injections latérales décalées de l'axe de la machine). Ce compromis permet de limiter les investissements, notamment sur les busettes. Les petits canaux ne produisant que peu de déchet, ne perturbent pas le temps de refroidissement.

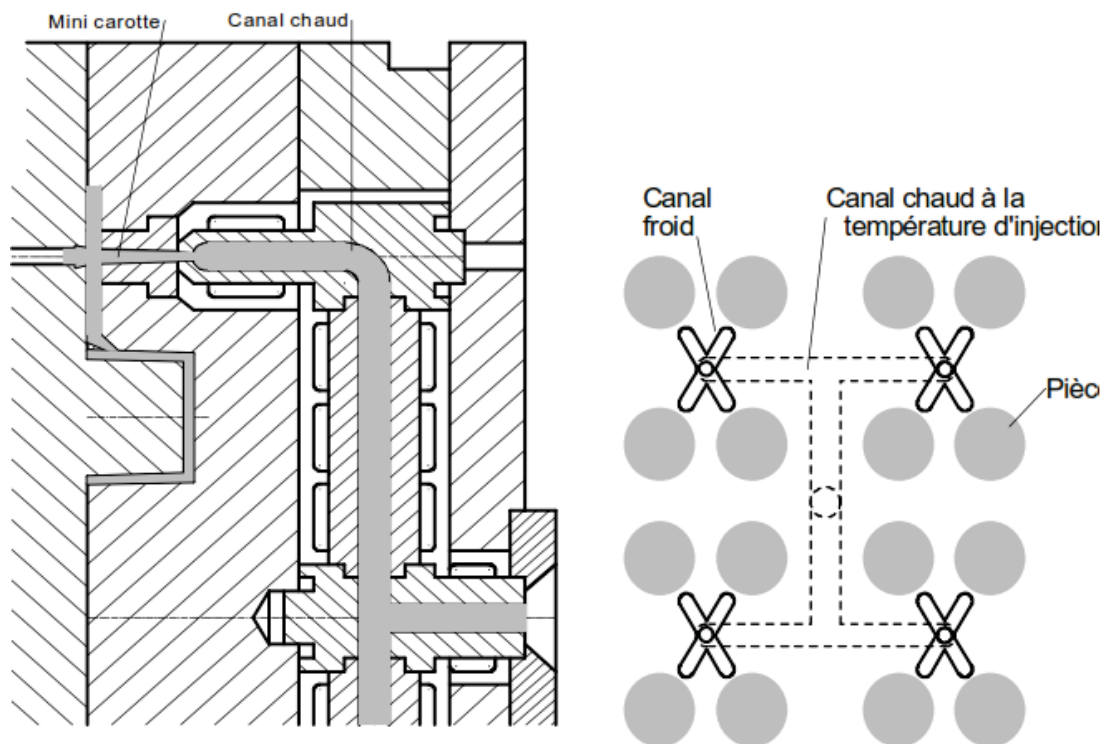


Figure II.11 : Moule multi-empreintes Alimentation mixte : canaux chauds + canaux froids.

5.2. Fonctions d'un outillage d'injection :

La majorité des moules sont fabriqués à partir des éléments standard vendus dans le marché par différents constructeurs comme DME, HASCO, RABOURDIN, STRACK, etc.

Chaque moule, quel que soit son type, se compose ou fait appel à un certain nombre de sous-ensemble fonctionnel pour remplir les fonctions suivantes [15, 16].

Chapitre II : L'injection Plastique

- **Fonction alimentation** : Le moule doit conduire la matière en fusion depuis la buse de presse jusqu'à l'empreinte.
- **Fonction mise en forme** : C'est la forme et les dimensions des parties moulantes qui déterminent la forme et les dimensions de la pièce plastique.
- **Fonction éjection** : Pour démouler les pièces plastiques, il faut souvent faire des mouvements plus ou moins complexes puis l'éjecter pour sortir la pièce de l'outillage.
- **Fonction régulation thermique** : La matière entre en fusion dans les parties moulantes. Il faut donc la refroidir pour qu'elle se solidifie. C'est souvent le refroidissement qui est le temps le plus important dans un cycle de moulage.
- **Fonction guidage / positionnement** : Le moule étant composé de plusieurs parties séparées par le plan de joint, à la fermeture du moule celui-ci doit être guidé et recentrer pour que les parties moulantes de la pièce soit en correspondance entre les différentes parties du moule.
- **Fonctions manutention, stockage, sécurité et liaison machine** : Ces fonctions assure la relation correcte entre la presse et les différents périphériques ainsi que le stockage et la manutention des moules.

5.2.1. La Fonction alimentation :

Elles assurent le transfert de la matière fondue sortie de l'unité de plastification par la buse « machine » jusqu'à la pièce par la buse « Outillage » soit directement ou par un canal d'alimentation.

Pour certains cas, la buse outillage est directement remplacé par la buse machine (suppression de la carotte, généralement pour les outillages 3 plaques). Pour certains cas particulier, la buse outillage ou buse directe, est définie par la matière injectée.

Le transfert peut se faire au plus proche de la pièce grâce à des systèmes dit :

« BLOC CHAUD »

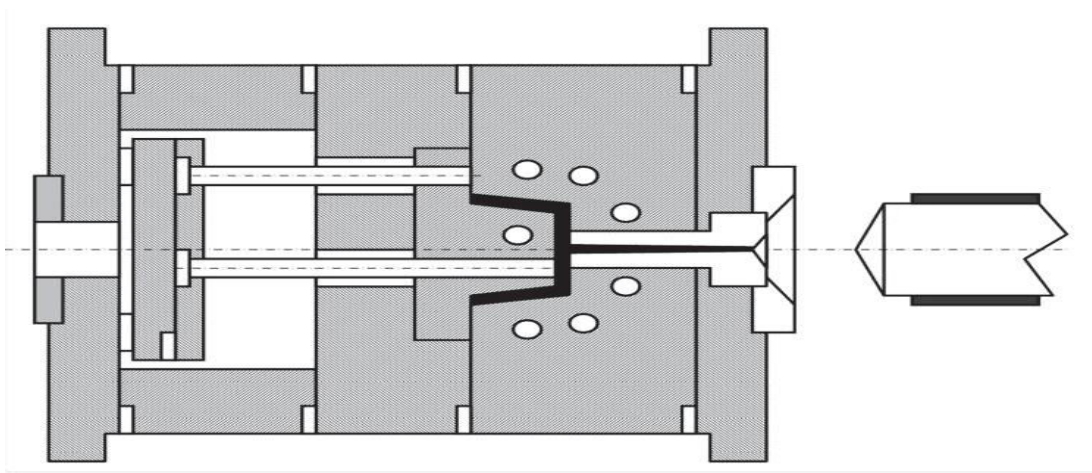


Figure II.12 : Principe d'alimentation buse machine-buse moule

5.2.2. Les différents types de buses moules :

On distingue plusieurs types de buse moule en fonction de la pièce, la matière et le moule.

- Buses Directes
- Buses Chauffantes Directes.
- Buses Chauffantes à Obturation.
- Blocs Chauds et Busettes d'alimentation directes
- Blocs Chauds et Busettes à Obturation

5.2.3. Forme des Canaux d'alimentation :

Le canal d'alimentation est composé principalement de [12] :

- La carotte
- Le canal principal
- Les canaux secondaires
- Les seuils

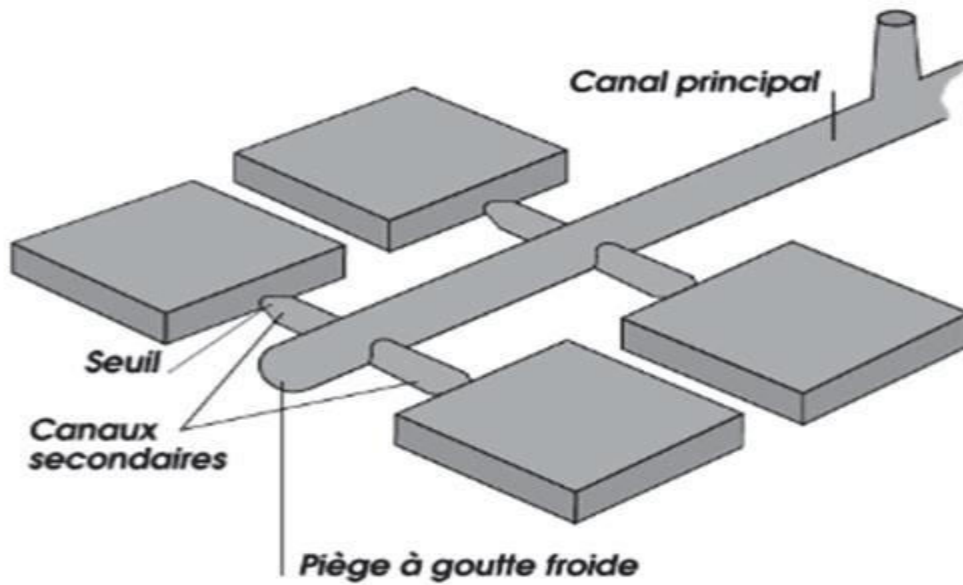


Figure II.13 : Composition d'un canal d'alimentation de moule

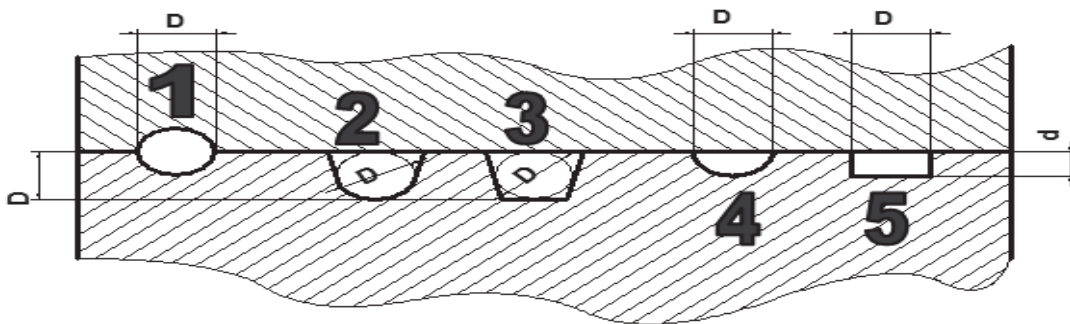


Figure II.14 : Les différents types de canaux d'alimentation et leurs usinages associés

		Avantages	Inconvénients
1		<p>C'est le canal le plus performant,</p> <p>Il offre une section d'écoulement maximale pour</p>	<p>Usinage sur 2 plaques du moule.</p> <p>Cependant avec les machines à commande numérique cet inconvénient</p>

Chapitre II : L'injection Plastique

	Canal cylindrique	un périmètre minimal.	disparaît. Utilisation difficile avec les moules 3 plaques. Impossibilité dans le cas de canaux sous chariot
2	Canal cylindrique plus dépouille pour déporter le plan de joint	Usinage sur une seule plaque Utilisation avec les moules 3 plaques. Idéal pour le choix de canaux sous chariot	Difficulté pour la réalisation de l'outil spécial : affutage délicat. Obligation d'utilisation d'outil non standard Perte de matière par rapport au canal rond
3	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 Obligation d'utilisation d'outil non-standard
4	Canal cylindrique 1/2	Simplicité d'usinage	Mauvais écoulement
5	Canal rectangulaire	Facilité d'exécution	Mauvais démoulage Mauvais écoulement

Tableau II.1 : Critères de choix des différents types de canaux

5.2.4. Equilibrage des écoulements dans le canal :

Les caractéristiques des canaux d'alimentations sont :

- Le canal principal doit être supérieur au \varnothing d'entrée de la buse outillage pour faciliter la phase maintien lors de l'injection.
- La dimension des canaux dépend généralement du \varnothing du seuil.
- On utilise $2x$ à $3x$ \varnothing seuil pour le \varnothing du canal d'alimentation du seuil.
- Pour limiter l'effet des pertes de charges, le ratio entre le canal principal et les canaux secondaires doit être de :
- \varnothing Principal = 1.3 à 1.5 x \varnothing Secondaires

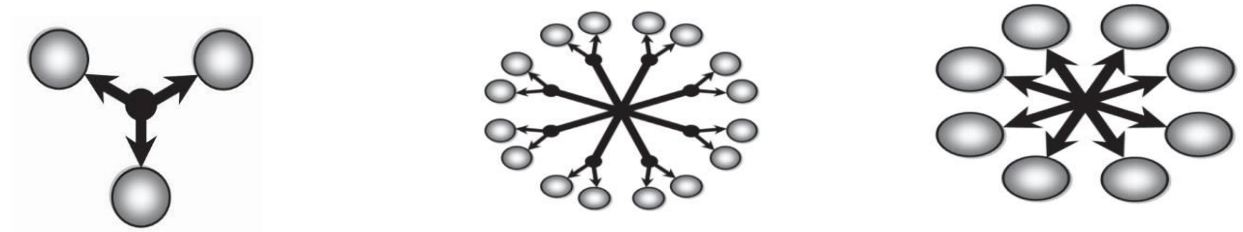


Figure II.15 : disposition circulaire des empreintes dans un moule

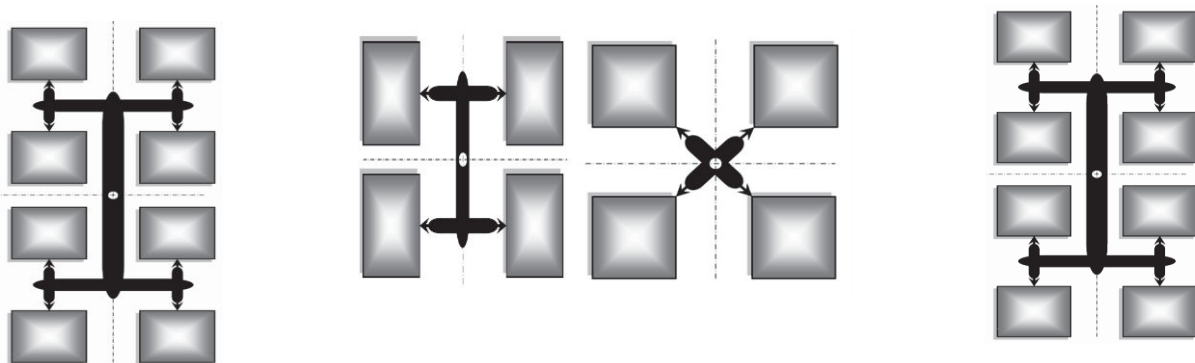
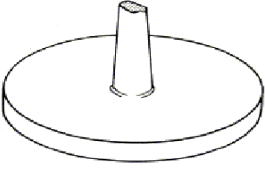
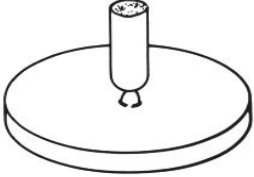
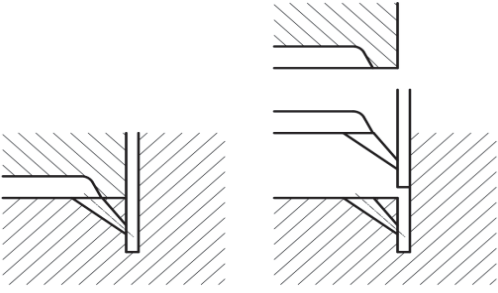





Figure II.16 : Disposition linéaire des empreintes dans un moule

Chapitre II : L'injection Plastique

5.2.5. Types de seuil des canaux :

Nous pouvons distinguer plusieurs types de seuil :

Type de seuil	Schéma associé
Seuil direct	
Seuil Capillaire	
Seuil dit Sous-marin	
Seuil dit en Courge	
Seuil dit en Toile	<div style="text-align: center;">  <p>Seuil en Esotte Variante du diaphragme pour pièces de révolution de diamètre intérieur important. Permet un décarottage plus facile en maintenant une bonne concentricité mais introduit des lignes de soudure.</p>  <p>Seuil à Couronne Intérieure Variante du diaphragme pour pièces de révolution de diamètre intérieur important. Permet de réduire la proportion de chutes.</p> </div>

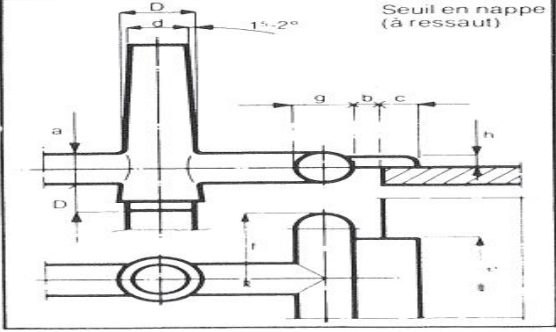
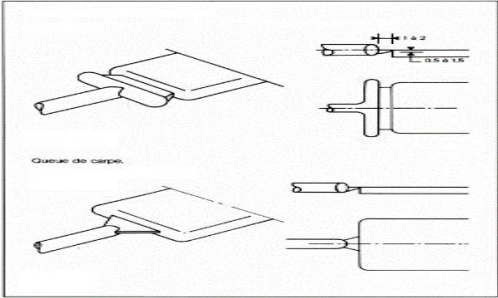
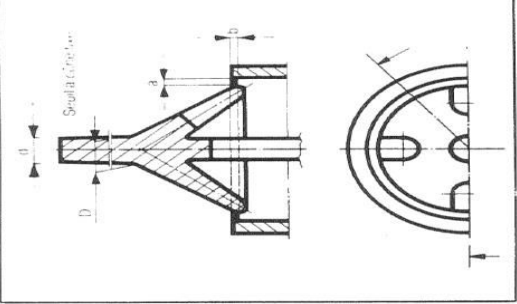
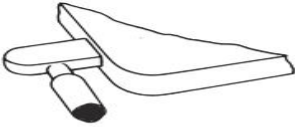
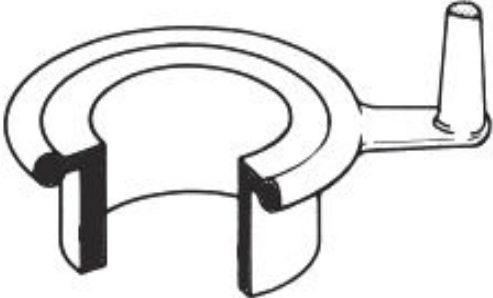
<p>Seuil dit en Nappe</p>	
<p>Seuil dit en queue de carpe</p>	
<p>Seuil dit Entrée Conique</p>	
<p>Seuil dit Indirect</p>	 <p style="text-align: center;">Seuil à Patte</p> <p>Utile pour éliminer les jets et arrachements lorsque d'autres modes d'injection ne peuvent être utilisés et que l'on désire un seuil de petites dimensions. Permet de réduire les contraintes au voisinage du seuil.</p>
<p>Seuil annulaire</p>	

Figure II.17 : Types de seuil des canaux

5.3. Fonction mise en forme :

Les formes de la pièce, sa disposition dans l'outillage, orientent sur les dépouilles nécessaires au démoulage correcte de la pièce. Dans certains cas, le démoulage ne se fait pas naturellement et ces contre-dépouilles nécessitent un élément rapporté particulier. Ces éléments mobiles par rapport au reste de l'empreinte sont réalisés soit mécaniquement, soit hydrauliquement. Ces mouvements permettent de classifier l'outillage suivant un type (cales montantes, noyaux, etc.).

II.5.3.1. Les dépouilles :

Pour faciliter le démoulage de la pièce, le moule doit avoir des dépouilles qui doivent être intégrées dans la forme de la pièce. La dépouille dépend essentiellement de l'état de surface de la pièce et de la précision de la géométrie des surfaces (grainage, poli glace, planéité, rectitude...). Dans une moindre mesure la dépouille dépend aussi de l'élasticité du thermoplastique. [14]

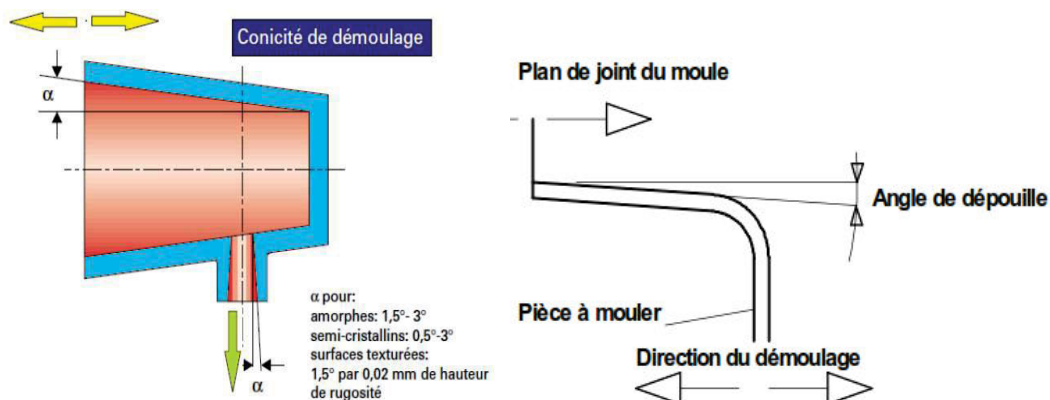


Figure II.18 : Les Dépouilles qui faciliter le démoulage de la pièce choix et valeurs

5.3.2. Le retrait :

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

Le retrait exerce une influence directe sur les dimensions d'une pièce moulée par injection. Un retrait différentiel provoque des déformations (gauchissement ou voilage).

Chapitre II : L'injection Plastique

Lors de la conception des pièces on doit appliquer un coefficient de correction des dimensions de l'empreinte qui tiennent compte du retrait de la matière.

La représentation schématique du retrait de moulage R_m , du post-retrait Pr et du retrait total R_t

Le retrait de moulage est indiqué en %
$$R_m = \frac{M_f - L}{M_f} \times 100$$

La diminution de volume de la pièce moulée n'est pas encore terminée. Le retrait se poursuit dans le temps et tend vers une valeur "définitive" d'autant plus vite atteinte que la température de stockage est élevée. [12]

Ce phénomène, essentiellement dû à une post-cristallisation, est appelé Post-retrait Pr .

Selon la norme DIN 53464, on entend par post-retrait la différence calculée entre la cote L de la pièce moulée et la cote L_1 de cette même pièce après un traitement ultérieur à une température donnée.

Le post-retrait est indiqué en %
$$Pr = \frac{L - L_1}{L} \times 100$$

Le post-retrait des matières plastiques partiellement cristallines est toujours inférieur au retrait de moulage.

La somme du retrait de moulage et du post-retrait est appelé retrait total R_t .

$$R_t = R_m + Pr$$

5.3.3. L'éventation :

Le remplissage de la cavité, par le polymère, chasse l'air qui s'y trouve. Sans possibilité d'échappement de celui-ci, l'air sous pression s'échauffe. La température atteinte peut provoquer des brûlures sur la pièce (effet diesel). Il est donc nécessaire de réaliser des mises à l'air libre des empreintes et de tous les endroits de fin de remplissage (nervures, clips, etc.) que l'on souhaite remplir correctement. Les éléments rapportés permettent également d'éventer l'outillage.

Un jeu de 0.02-0.03 est étanche au passage du polymère mais pas à l'air. [14]

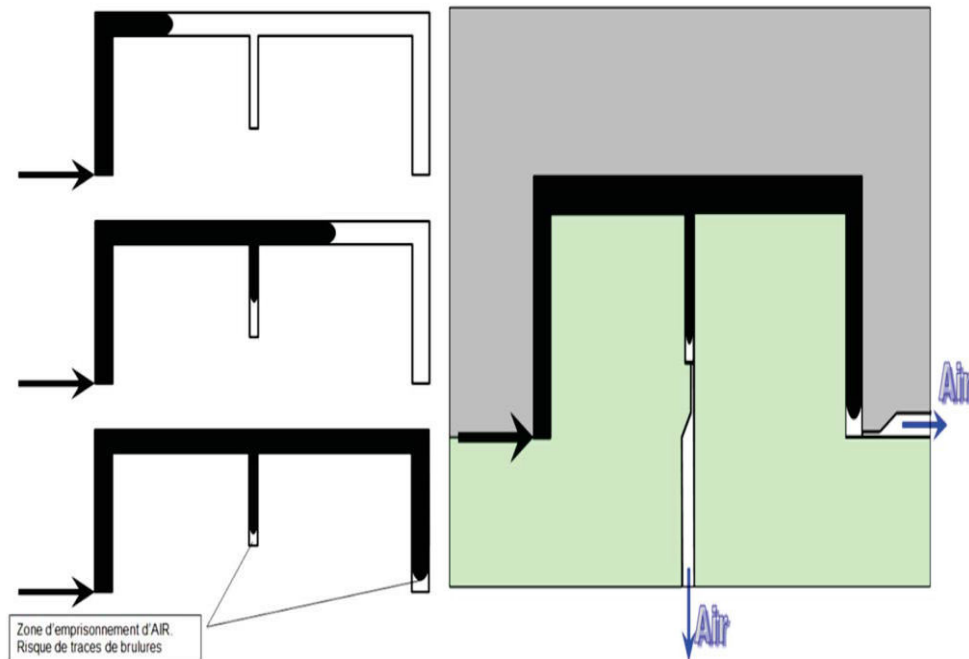


Figure II.19 : Les problèmes d'éventation et les solutions d'échappement de l'air

5.4. Fonction éjection :

Cette fonction assure l'extraction correcte des pièces et suivant besoin de leur système d'alimentation hors de l'outillage. L'étude des plans de joint et du sens de démoulage détermine la partie de l'outillage sur laquelle s'opérera la retenue globale de la pièce. Cette partie est dans la plupart des cas la partie mobile où sont implantés les dispositifs d'éjection de pièce :

- Hydraulique
- Pneumatique
- Mécanique

Grace à l'action de la presse ou par un système indépendant. Il peut arriver de devoir positionner l'éjection coté fixe. Il est aussi possible de faire de séquence d'éjection avec multi-batterie d'éjection pour éjecter la carotte avant la pièce ou inversement ou bien d'autres possibilités existent. Cette fonction prend en compte les paramètres suivants :

- Les possibilités mécaniques du polymère :
- Un calcul d'effort d'éjection peut être fait faisant entrer en compte :
- Les formes et dimensions des zones de retenues :

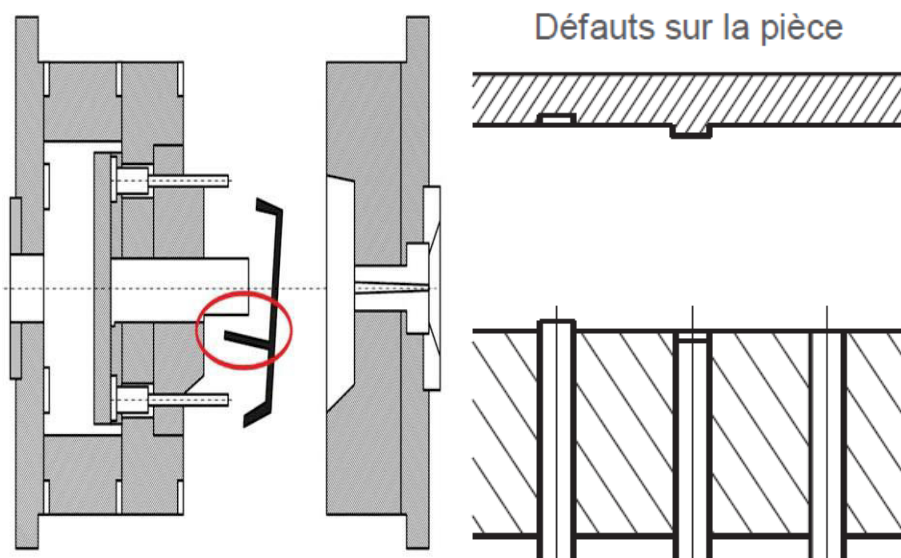


Figure II.20 : Éjection par Bloc d'éjection ou pavé d'éjection et les défauts à éviter

5.4.1. Le rôle de l'éjection :

Les fonctions associées aux éjecteurs peuvent être :

- Démouler la pièce après ouverture du plan de joint.
- Remise à zéro des plaques d'éjection.
- De démoulage de la carotte par un arrache carotte.
- De retenir la carotte lors de la séparation des plaques.
- D'évents ou de Soupape.
- D'accroche lors de mouvement latéraux.

5.5. Fonction régulation thermique (refroidissement) :

Assurer la régulation de l'outillage pour permettre une solidification correcte du polymère.

Cette fonction est nécessaire pour obtenir une structure optimale du polymère injecté et un temps de production minimum. Ces deux objectifs sont généralement contradictoires. La réalisation de cette fonction est assurée par la circulation dans l'outillage (circuits de régulations) d'un fluide caloporteur.

5.5.1. Les trous de refroidissement :

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. Les diamètres couramment utiliser vont de Ø6, Ø8, Ø10, Ø12 au-delà les diamètres créés un flux laminaire néfaste à l'absorption des calories. L'importance du standard des raccords de raccordement peut aussi jouer sur le dimensionnel.

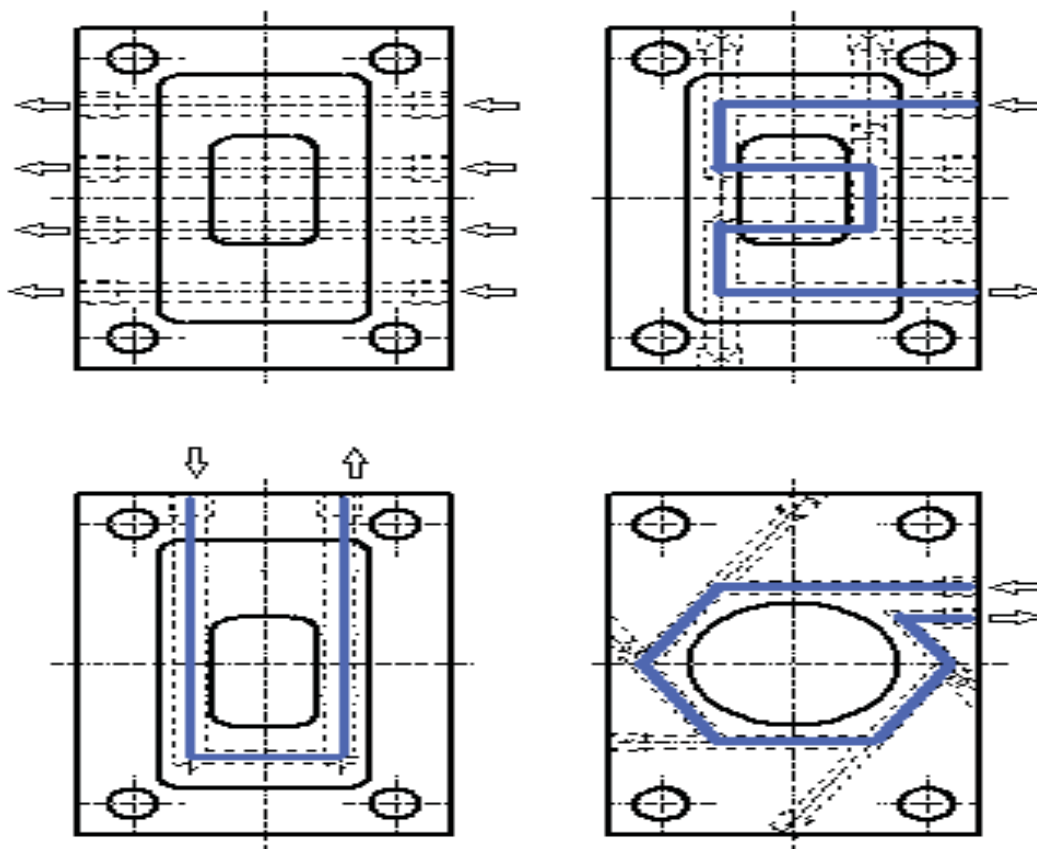


Figure II.21 : Circuit de refroidissement des plaques de moules

5.5.2. Les rainures de refroidissement :

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

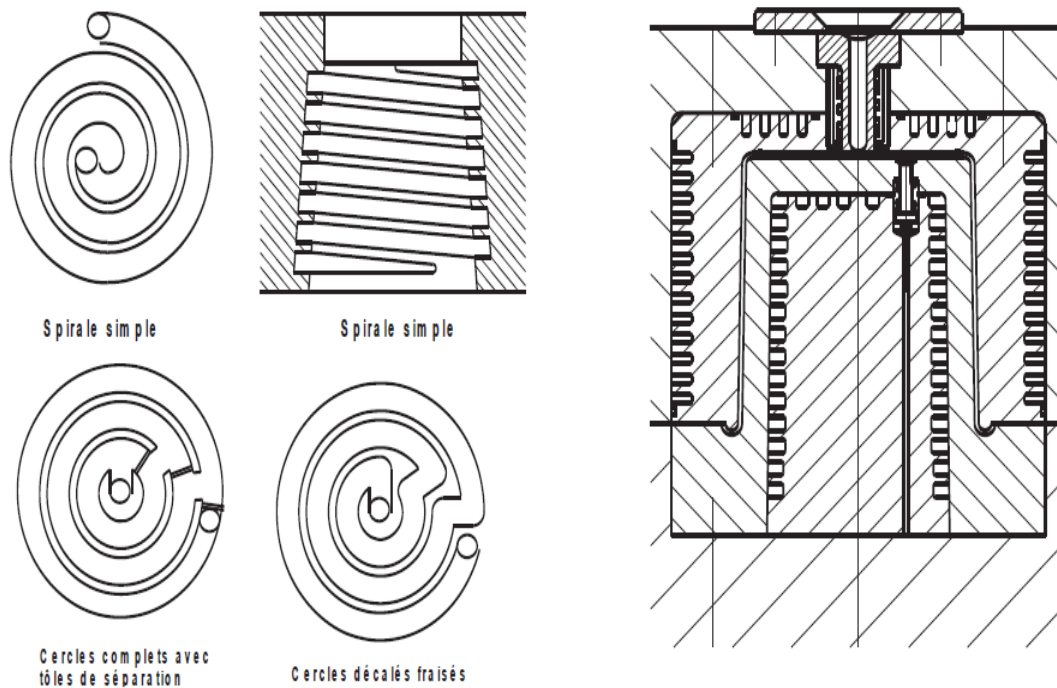


Figure II.22 : Les rainures de refroidissement

5.6. Fonction 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. Cette fonction assure le guidage et le positionnement de la partie mobile de l'outillage par rapport à la partie fixe. [12, 14]

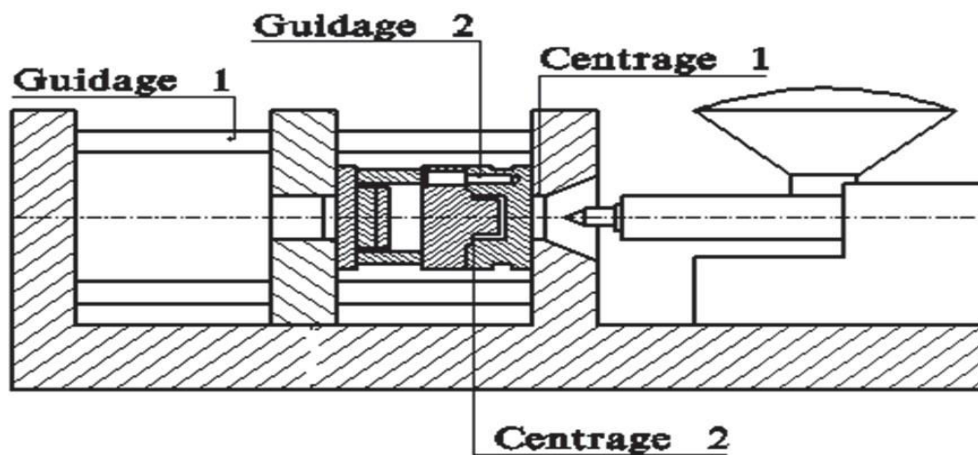


Figure II.23 : Les centrages et les guidages à assurer sur une presse/moule

Chapitre II : L'injection Plastique

Bilan des centrages et des guidages :

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

5.6.1. Centrage moule/presse :

Présentation des formes de Bague de centrage sans épaulement et Bague de centrage épaulée.

Elle est propre à la configuration de la presse.

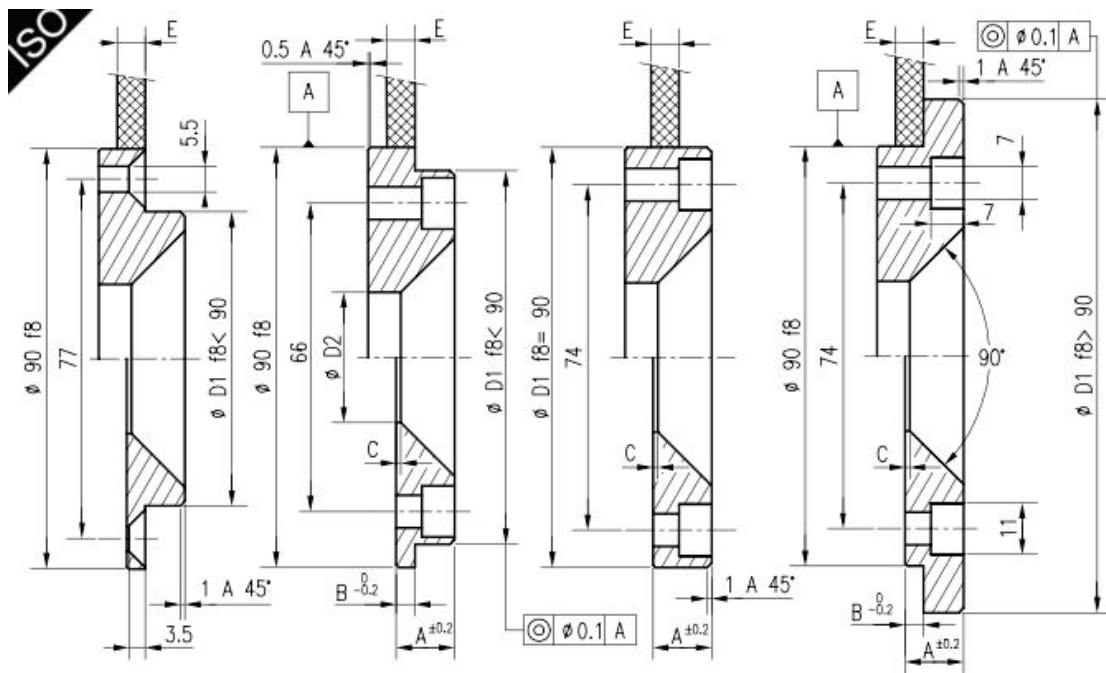


Figure II.24 : Bagues de centrage du moule choix et dimension

5.6.2. Centrage du plan de joint moule (Partie Mobile / Partie Fixe) :

Chapitre II : L'injection Plastique

La pression dans l'empreinte peut entraîner un glissement entre la partie fixe et la partie mobile.

Le centrage évite le glissement entre les deux parties du moule.

Les formes de l'empreinte dans le moule peuvent faire s'excentrées la partie mobile de la partie fixe sous l'effet de la pression matière.

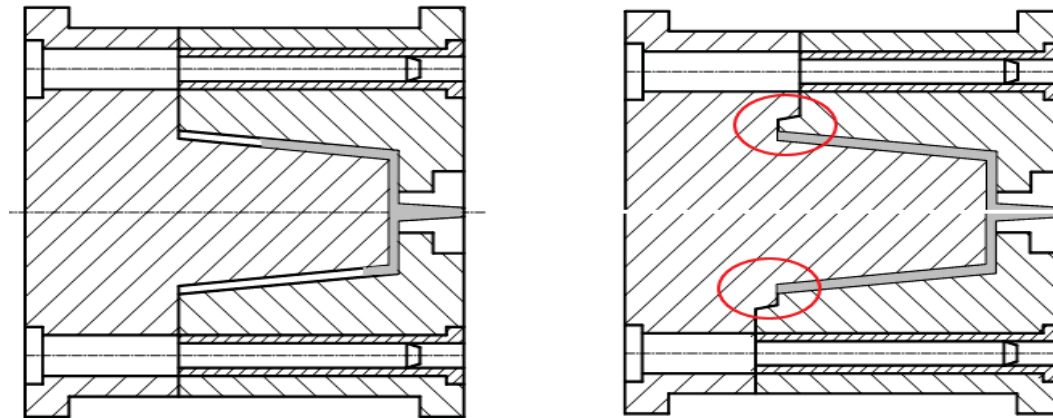
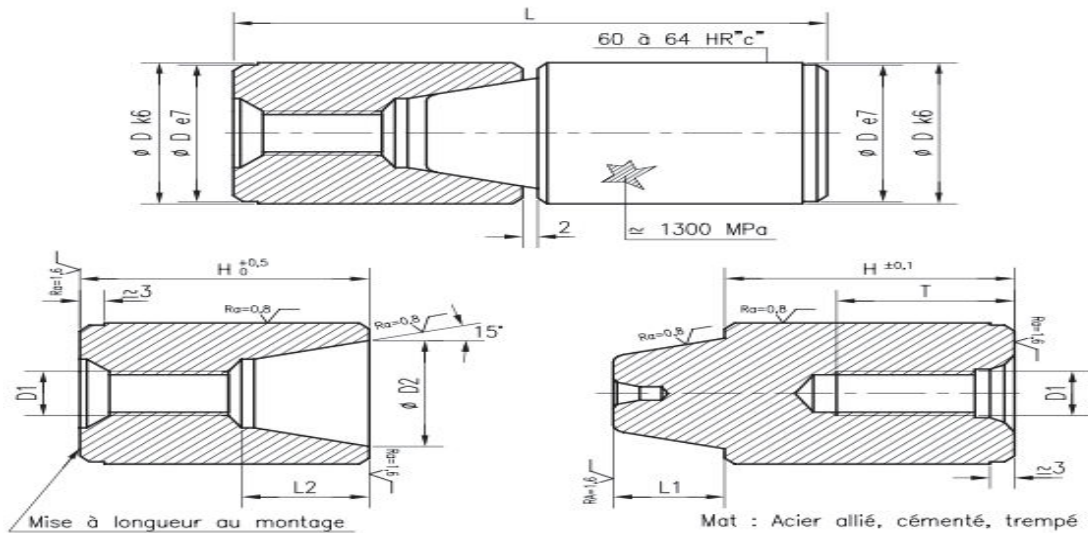


Figure II.25 : Centrage par le plan de joint incliné du moule

Pour éviter une excentration des deux parties du moule, on procède à un recentrage :

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

Chapitre II : L'injection Plastique



GAMME DISPONIBLE							
T	12	13	20	20	24	24	24
L2	8	10	14	15	21	26	26
L1	5	8	10	12	15	20	20
D2	8	11	14	18	24	30	40
L	40	50	64	64	80	100	100
H	19	24	31	31	39	49	49
D1	M4	M5	M8	M8	M10	M10	M12
D	12	16	20	25	32	40	50
REF. 611							

Figure II.26 : Centreur conique des moules choix et dimension

5.6.3. Le guidage des parties fixe et mobile du moule :

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

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

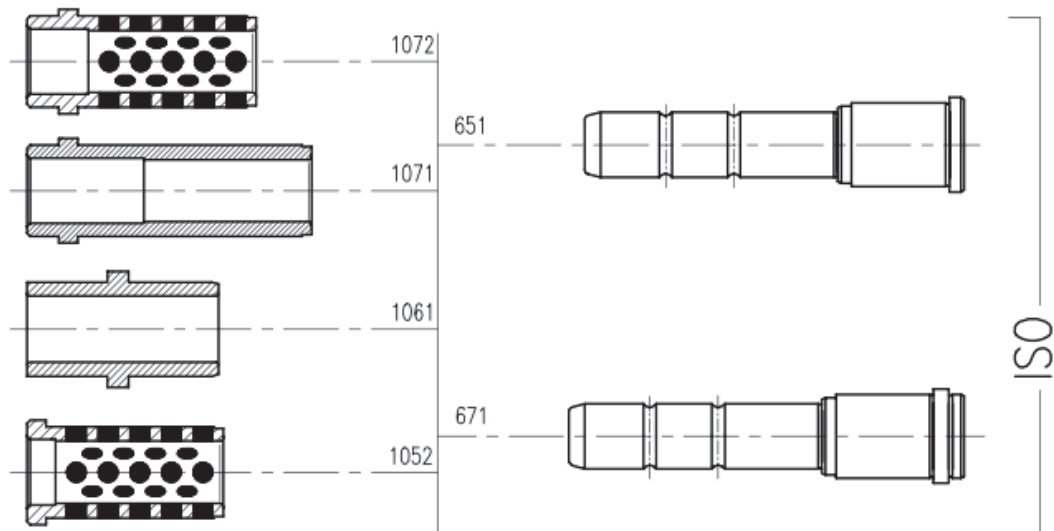


Figure II.27 : Colonnes et bague de guidage des parties fixe et mobile des moules

5.7. Fonctions manutention, stockage, sécurité et liaison machine :

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

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

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

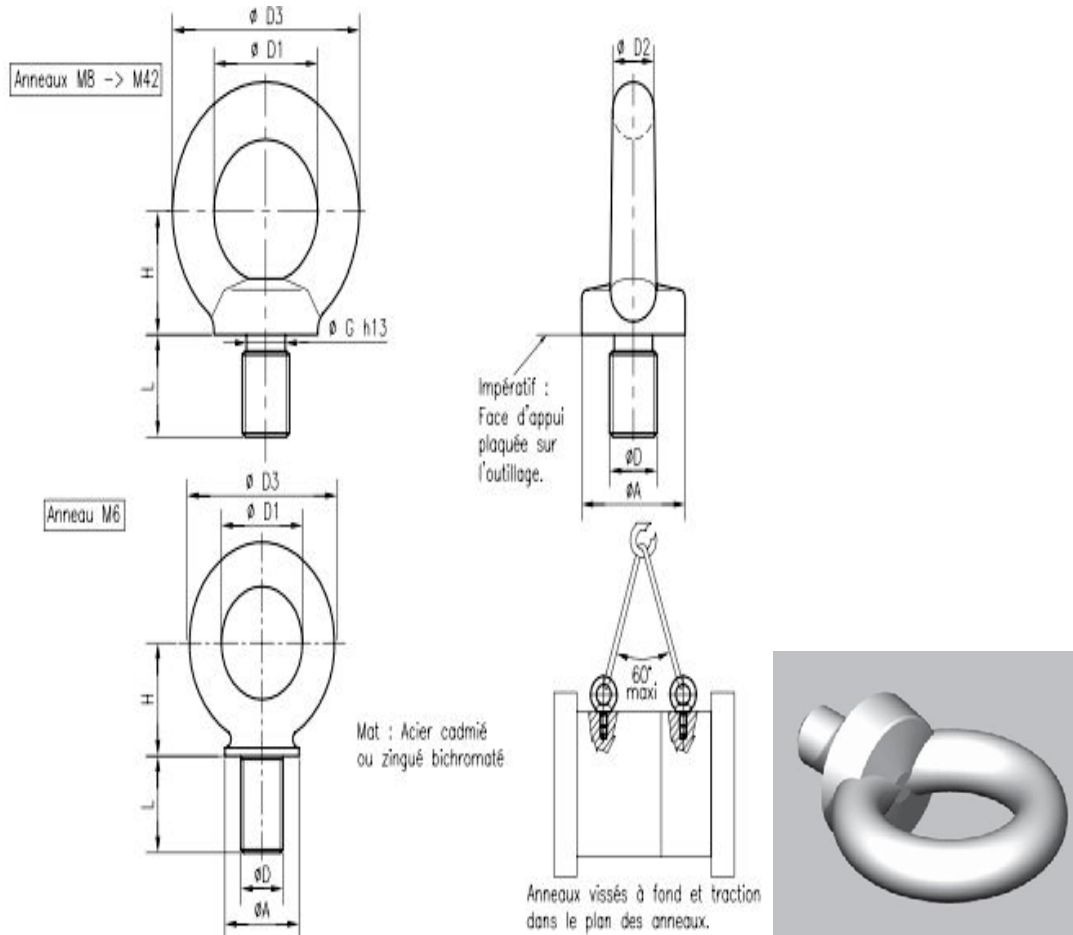


Figure II.28 : Anneau de levage des moules

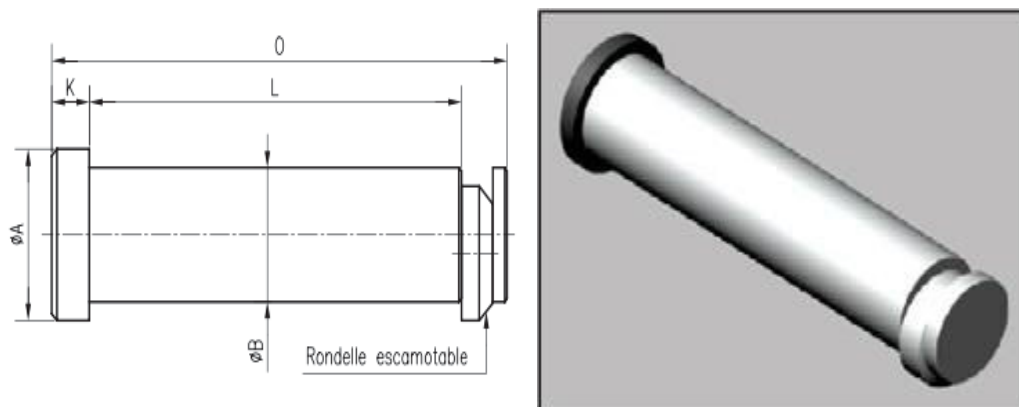


Figure II.29 : Système de bridage des moules

Chapitre II : L'injection Plastique

5.8. Les métaux des moules :

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

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

Certains types de matières plastiques peuvent également être à l'origine de sollicitations par corrosion.

Les différentes matières plastiques et les différents procédés de transformation nécessitent que l'acier à outils présente certaines propriétés définies, par exemple :

Application	Matériaux	État	Résistance ou Dureté	Observation
Carcasse et cales diverses	C 45 XC 38 XC 48	Trempe ou revenu	85-105 daN/mm ²	Traité pour les plaques formant le plan de joint et grandes séries.
Empreintes	40CMD8 35NCD16 Z50CDV5 Z200C12	Trempe Cémentation	80-180 daN/mm ²	Bonne résistance Haute limite élastique
Tiroirs	Z50CDV5 80Mn8 55Ni Cr7	Trempe	80-180 daN/mm ²	Ou acier sulfurisé Pré-traité
Plaques porte empreintes Plaques dévétisseuses	40CMD8 42CD5	Trempe Revenue	100-120 daN/mm ²	Pré-traité
Éléments mobiles	16NC6 100 C 6 40Ni Cr15 45Si Cr Mo6 35Ni Cr 6	Trempe Nitruration Cémentation	100-200 daN/mm ²	Pièce de commerce Bonne résistance à l'usure

Tableau.II.2 : Classification et des métaux pour la construction des moules [18]

Chapitre II : L'injection Plastique

6. Dimensionnement :

Lors de la conception d'un moule, il convient de passer par des opérations de calcul, pour déterminer les pressions à manipuler, ainsi que les efforts, la quantité de matière plastique injectable dans le but de choisir la presse. On détermine aussi le nombre des empreintes dans le moule et on choisit les autres paramètres pour bien concevoir le moule [16].

6.1. Les efforts sur une presse

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

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

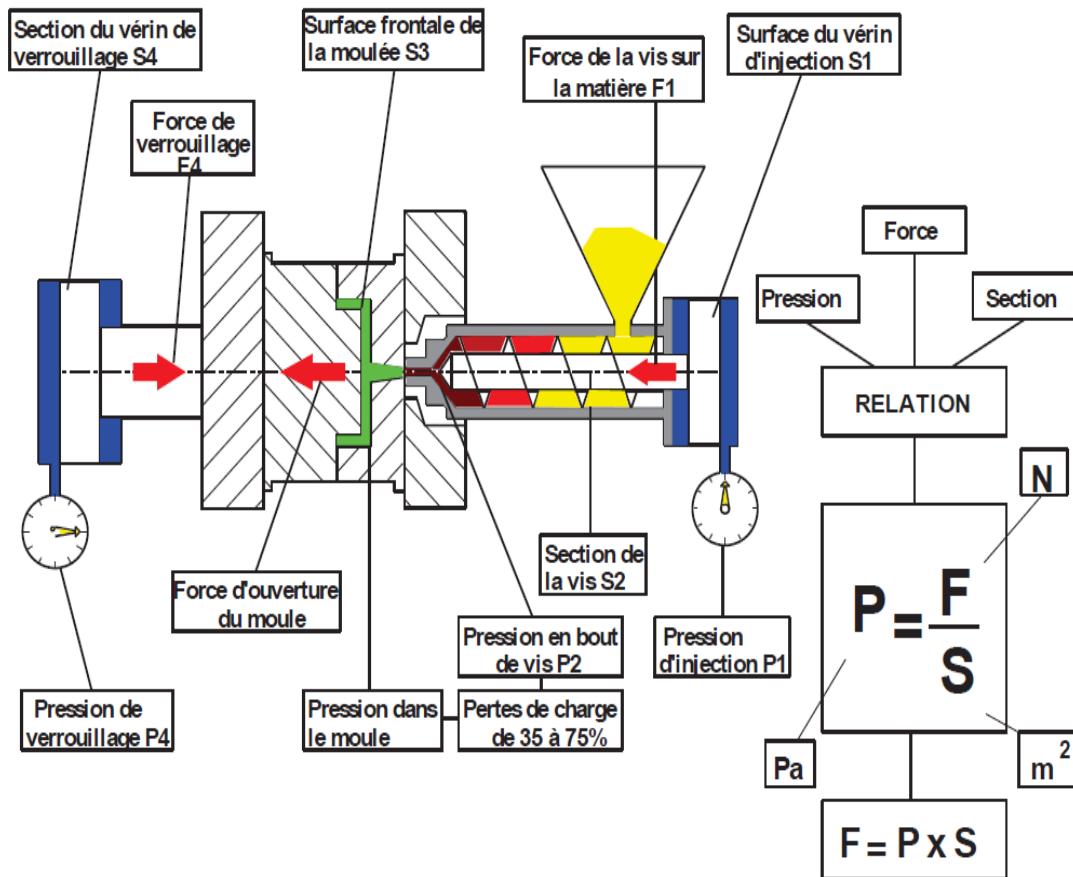


Figure II.30 : Schéma des surfaces, pressions et forces sur une presse

6.2. Calcul du nombre d'empreintes optimum dans un moule d'injection

Le calcul est nécessaire chaque fois que l'on aura le choix du nombre d'empreintes à disposer dans un moule d'injection sans que celui-ci modifie notablement l'architecture générale du moule ou le choix de la presse. Les données de calcul sont :

- **X** : le prix du moule à 1 empreinte
- **Y** : le coût de l'empreinte additionnelle
- **Q** : le coût horaire de la presse
- **S** : le coût horaire des salaires
- **N** : le nombre total de pièces à fabriquer
- **T** : la durée du cycle
- **n** : le nombre d'empreintes recherché

Chapitre II : L'injection Plastique

La démarche de calcul :

Coût du moule pour n empreintes : $C_n = X + Y (n-1) = (X - Y) + Yn$

Coût du fonctionnement de la presse : $Q_u = (Q_t / 60n)$

Coût du salaire par pièce : $S_u = S_t/60n$

Coût du moule par pièce : $C_u = C_n / N$

En remplaçant C_n par sa valeur : $C_u = ((X-Y) + Yn) / N$

Coût de moulage d'une pièce : $C_{um} = Q_u + S_u + C_u$

En remplaçant Q_u , S_u et C_u par leurs valeurs :

$$C_{um} = (Q_t/60n) + (S_t/60n) + ((X-Y)/N) + Yn/N$$

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

Si l'on trace la courbe des points représentant le coût de moulage fonction du nombre d'empreintes, on s'aperçoit que cette courbe passe par un minimum.

Pour trouver la valeur de ce nombre d'empreintes nous donnant le coût minimum, nous procédons à la dérivée de la fonction, puis nous égalons à zéro pour trouver son minimum.

Dérivons donc par rapport à n et Egalons à zéro :

$$dC_{um} / dn = ((-t/ (60n^2)) (Q+S)) + Y/N \text{ ou } ((-t/ (60n^2)) (Q+S)) + Y/N = 0$$

$$D'où : n^2 = ((Q+S)/60) t (N/Y) \text{ d'où } n = \sqrt{[(Q+S) t N]/ (60Y)}.$$

Conclusion

Pour conclure, le procédé de fabrication de l'injection plastique peut être viable dans certains cas d'utilisation en revanche, ce procédé de fabrication a des limites contraignantes, notamment pour des pièces sur lesquelles on ne peut pas agir

Chapitre III :
Conception de
la pièce
(pignon)

1. Présentation du projet

Il s'agit de concevoir un moule multi empreintes, qui produira par cycle quatre (04) pièces.

Dans ce projet la conception est divisée en deux parties :

- La première consiste à concevoir les modèles géométriques de la pièce.
- La deuxième partie : La conception des éléments du moule.

1.1 Ressources informatiques :

Tout au long du projet, l'utilisation des ressources informatiques ainsi que des techniques spécifiques à la conception des moules d'injection est indispensable.

C'est afin d'aboutir à un résultat qui satisfera le cahier de charge de la pièce moulée.

1.1.1 Logiciel de conception et simulation mécanique :

➤ **Le logiciel SolidWorks 2014 :**

SolidWorks est un logiciel de conception mécanique 3D paramétrique qui tire profit de l'interface graphique Microsoft® Windows®

Grâce à cet outil, les ingénieurs en mécanique peuvent produire des modèles et des mises en plan précises, les avantages de celui-ci sont :

- ✓ Possède une large gamme d'outils de CAO pour la conception mécanique.
- ✓ Permet de valider les conceptions.
- ✓ Permet de faire la gestion des données techniques.

Nous allons utiliser ce logiciel pour la conception et la vérification des pièces.

➤ **Le logiciel I-MOLD v13 :**

C'est un modèleur 3D utilisant la conception paramétrique intégré dans SOLIDWORKS. Ainsi que des fonctions propres au moulage, qui permet la conception intégrale des moules à injection plastique.

1.1.2. Logiciel de simulation rhéologique :

➤ **AUTODESK SIMULATION Moldflow v2019 :**

Le logiciel de simulation de moulage par injection des pièces en plastique AUTODESK Moldflow, intègre des outils de validation et d'optimisation des conceptions des moules, à travers plusieurs types d'analyse s'appliquant au processus de moulage par injection de

Chapitre III : Conception de la pièce (pignon)

matières plastiques. L'objectif de l'utilisation de ces simulateurs est de réduire le recours au prototypage et les essais expérimentaux coûteux.

Moldflow permet de :

- Simuler l'écoulement des matières plastiques fondues dans les moules, afin d'optimiser les conceptions et de réduire les problèmes de moulage.
- Modéliser et optimiser les systèmes de canaux chauds et froids et les configurations de seuils d'injection.
- Améliorer l'efficacité du système de refroidissement des moules.
- Simuler les processus de moulage des matières plastiques.
- Améliorer la précision de la simulation à l'aide de données de matériaux précises.

1.2. Présentation de la pièce :

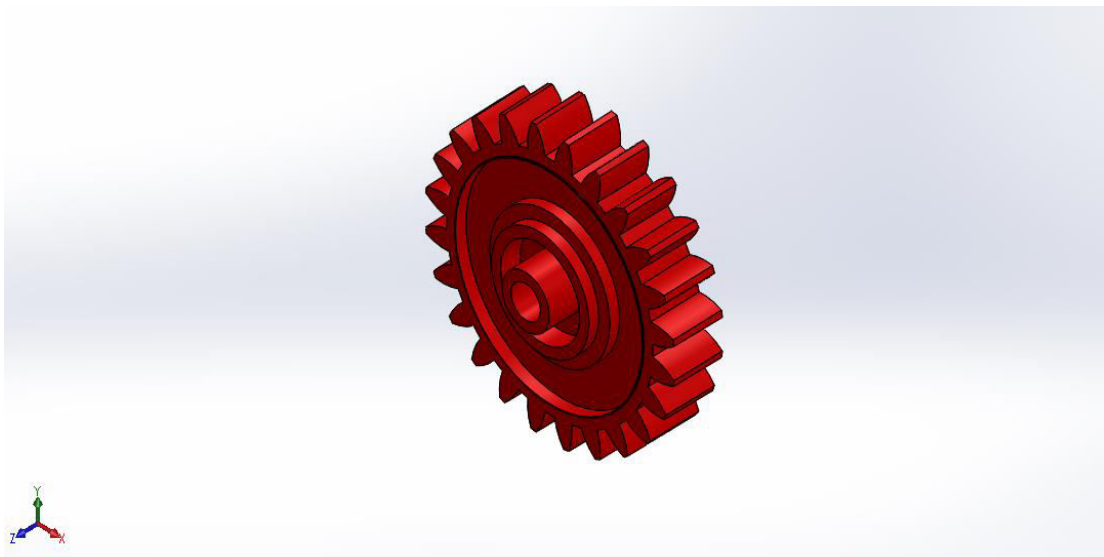


Figure III.1 : Présentation de la pièce sur SolidWorks

Chapitre III : Conception de la pièce (pignon)

Le tableau suivant récapitule les dimensions nominales de la pièce :

Volume	1911 millimètres cubes
Superficie	2247 millimètres carrés
Masse	2.66 grammes
Epaisseur nominal	2 millimètres
Diamètre nominal	13 millimètres

Tableau III.1 : Dimension nominales de la pièce

1.3. Matériau utilisé :

Le POM a été choisi dans le cadre de ce projet. Ceci pour plusieurs raisons évoquées précédemment : son faible coût, sa large utilisation, son bon comportement tribologique et thermique.

2. Vérification de conception :

2.1. Analyse des épaisseurs :

L'analyse des épaisseurs nous permet de déterminer les épaisseurs dans toutes les zones de la pièce et de détecter les zones épaisses, pour les modifier en cas de nécessité.

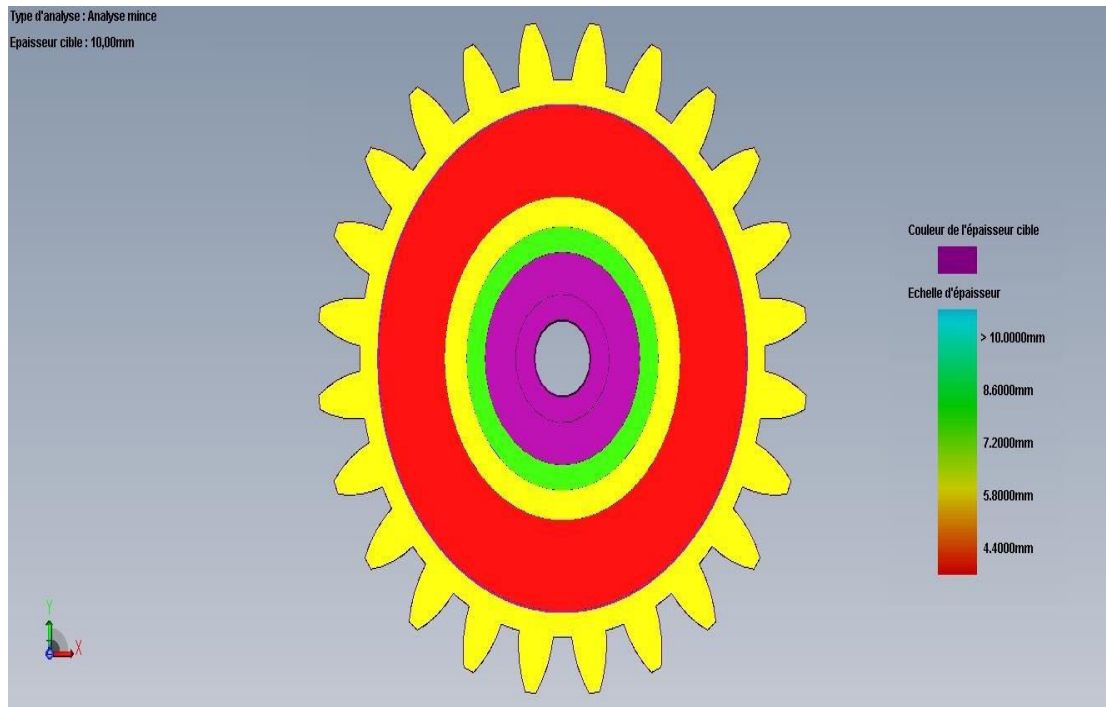


Figure III.2 : Analyse des épaisseurs

2.2. Analyse de dépouille :

Pour faciliter le démoulage et l'injection de la pièce, et éviter ainsi sa déformation, un angle de dépouille de 0.25 à 3 est nécessaire sur toute face.

Dans notre cas nous avons opté pour un angle de 0.5.

Les résultats sont représentés à la (Figure III.3) suivante :

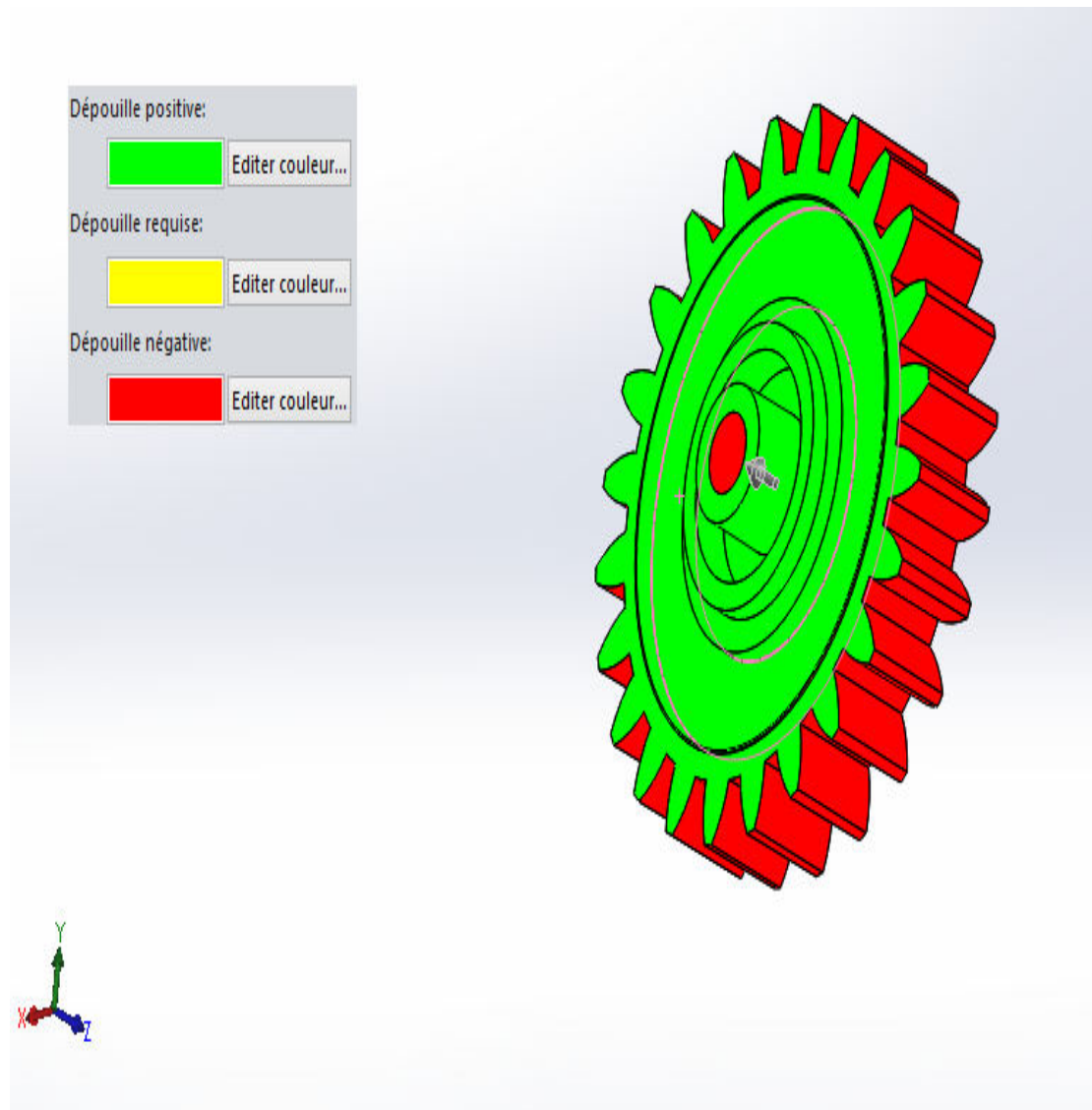


Figure III.3 : Analyse de dépouille

2.3. Analyse des contre dépouille :

Cette figure montre le résultat d'analyse de contre dépouille

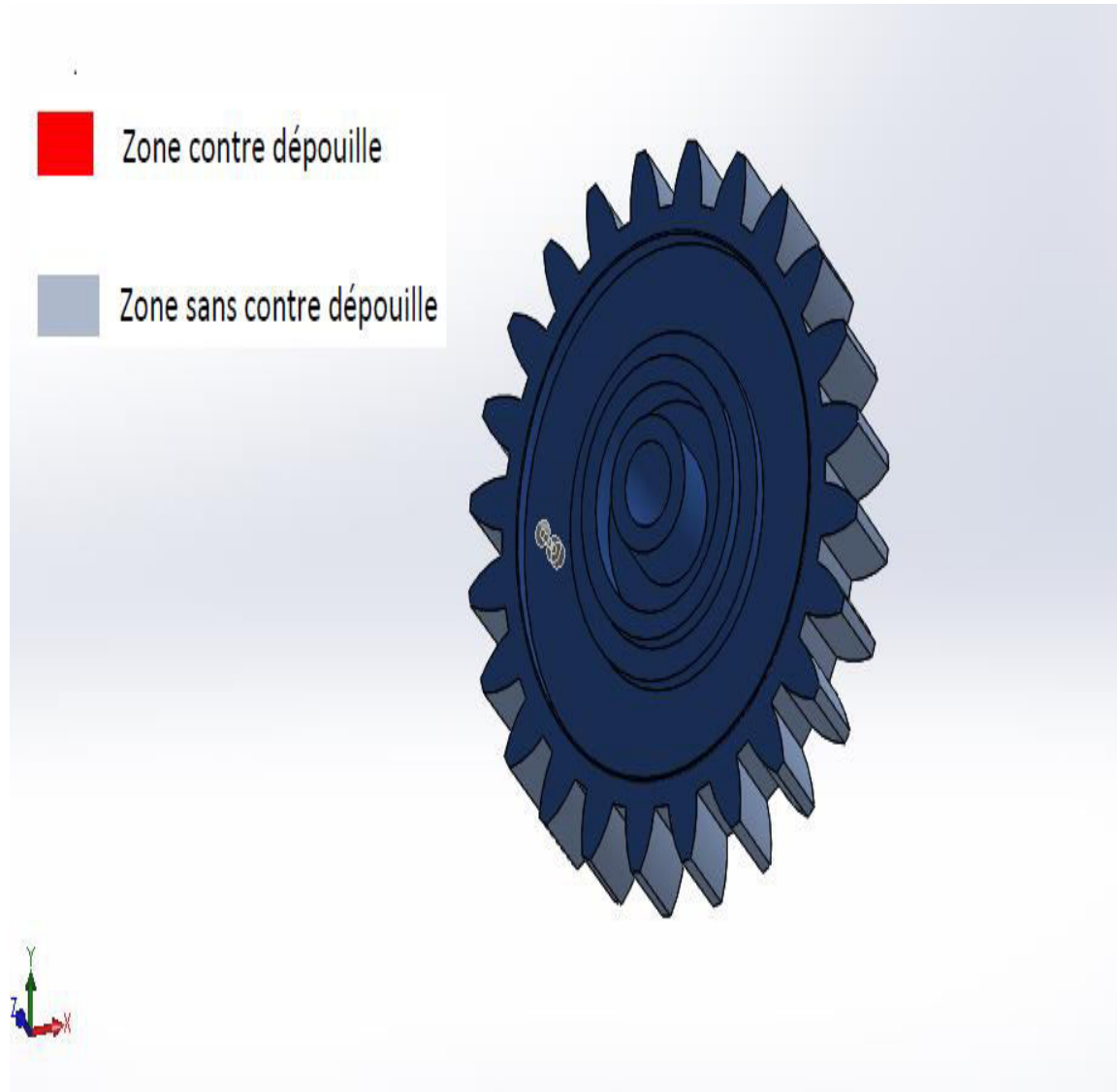


Figure III.4 : Présentation du résultat d'analyse de contre dépouille

Interprétation

Une contre-dépouille négative, alors on parle de dépouille. Celles-ci ont besoin d'un système de Moule en dépouille adapté pour pouvoir permettre l'éjection de la pièce

Chapitre IV :

Simulation

d'injection

Introduction :

Pour accomplir la démarche de conception d'un moule, la simulation du processus d'injection est incontournable, ce qu'il nous amène à suivre les étapes suivantes :

1. Préparation de la simulation rhéologique :
 - Pré-dimensionnement du système d'alimentation
 - Pré-dimensionnement du système de régulation.
2. Modélisation de l'alimentation, puis la vérification (équilibrage + condition de remplissage).
3. Modélisation de la régulation, puis simulation thermique des circuits.
4. La simulation de l'ensemble (pièce + alimentation + régulation + interaction).
5. Interprétation des résultats, puis validation ou proposition de solution jusqu'à avoir les résultats souhaités.

1. Préparation de la simulation :

La préparation se fait par un pré-dimensionnement du système d'alimentation, ainsi que celui de la régulation.

Après simulation ces derniers seront ajustés d'une façon à résoudre les problèmes rencontrés.

Les résultats obtenus après correction vont permettre de modéliser ces systèmes.

1.1 Conception du système d'alimentation

1.1.1 Règles de conception

A. La carotte :

Sa conception est régie par les règles suivantes :

- Les carottes doivent être aussi courtes que possible, avec un fini de surface très lisse.
- L'extrémité coté canal doit être bien évasée pour éviter que la résine ne subisse un cisaillement excessif au passage.
- Une cheminée de forme conique est croissante (8°).
- Rayon Buse Moule > Rayon Buse Presse pour éviter les bavures.
- Diamètre de base > Largeur canal primaire ou épaisseur maxi de la pièce.

Chapitre IV : Simulation d'injection

- Il faut que le tire-carotte soit suffisamment long mais mince pour se solidifier avant la fin du cycle.

B. Canaux d'alimentation :

Sa conception est régie par les règles suivantes :

- Le point d'injection doit être situé dans la section la plus épaisse.
- Une zone soumise à des chocs ou à des flexions ne doit pas être retenue comme emplacement du point d'injection.
- Le point d'injection ne doit pas entraîner la formation d'une ligne de soudure dans une zone critique.
- Le seuil doit être placé d'une façon à ne pas nuire à l'aspect de la pièce.
- L'emplacement du seuil doit assurer un remplissage rapide et homogène.
- Le seuil doit permettre la séparation de la pièce et de l'alimentation.
- La section du seuil doit assurer un compactage optimal.

1.1.2 Pré-dimensionnement de l'alimentation

- **Pré-dimensionnement des canaux**

Le diamètre du canal D_c doit être égal à l'épaisseur nominale de la pièce (E) plus 1.5mm [20].

C'est-à-dire : $D_c = E + 1.5\text{mm}$

A.N : $D_c = 2 + 1.5$

Donc $D_c = 3.5\text{mm}$

Par la suite, nous calculons : S , avec :

S : section du canal d'alimentation menant à la pièce

$$S = 3.14 * D_c * D_c/4$$

A.N: $S = 3.14 * 3.5 * 3.5/4 = 9.6163 \text{ mm}^2$

- **Pré-dimensionnement de la carotte**

On en déduit le diamètre minimal à appliquer au bout de la carotte D_{carotte} :

$$D_{\text{carotte}} = \sqrt[2]{(S/3.14)} * 2$$

Nous obtenons $D_{\text{carotte}} = 3.5\text{mm}$

Chapitre IV : Simulation d'injection

-Choix et pré-dimensionnement des seuils d'injection

-Choix :

On a opté pour un seuil conique circulaire, comme un seuil sous-marin (en tunnel, à trépan).

-Justification du choix :

Un seuil conique circulaire est un seuil automatiquement ajusté, et cassera ou se cisailera quand l'outil de montage sera ouvert pour éjecter la pièce.

-Pré-dimensionnement des seuils

D_s , étant le diamètre de seuil :

$$D_s = n * c * \sqrt[4]{S}$$

$$C = 0.206 * \sqrt{E}$$

$n = 0.7$ pour POM

d = diamètre du seuil ;

n = constante du matériau ;

S = surface de la cavité

E = épaisseur de paroi au droit du seuil

Nous obtenons : **$D_s = 1.40 \text{ mm}$**

La longueur de chaque canal est fixée à 10cm, qui est une contrainte imposé par la taille de l'ensemble pièce.

La longueur de la carotte est fixée à 10cm, qui est une contrainte imposé par l'épaisseur de la plaque porte empreinte (n'est pas définitive).

1.2. Conception de la régulation :

La conception de la régulation peut se faire en suivant les étapes suivantes :

- Estimation du temps de refroidissement :

Cela se fait soit par :

- L'utilisation des abaques, en fonction de l'épaisseur de la pièce chose qui n'est pas faisable.

Chapitre IV : Simulation d'injection

Ou :

- Un calcul analytique, se basant sur l'estimation des contraintes interne en fonction du temps de refroidissement, chose qui n'est pas évident car les géométries sont complexes

Ou :

- l'utilisation d'un logiciel de calcul rhéologique, qui résout les mêmes modèles thermo mécaniques avec la méthode éléments finis.

Dans notre cas on a opté pour la troisième méthode, le temps proposé par la simulation est de 8.892 s

$$T_{ref} = 8.892 \text{ s}$$

Etablissement d'un bilan thermique :

Cela se fait par l'émission de certaines hypothèses simplificatrices :

- La chaleur apportée par le polymère est évacuée du moule par convection avec le liquide de refroidissement, c'est-à-dire qu'on néglige les échanges (conductifs, convectifs et radiatifs) avec son environnement
- La résistance thermique du matériau du moule est négligée.

Donc la chaleur dégagée par le polymère doit être évacuée par le fluide de refroidissement :

$$Q_p = Q_f$$

Or

$$Q_p = (T_{inj} - T_M) \times C_p \times \rho_p \times V_{total}$$

Avec :

T_{inj} : température d'injection de la pièce, elle dépend que de la matière plastique utilisée, la valeur est prise dans un intervalle proposé par le fabricant.

T_M : température surface du moule, elle est aussi proposé par le fabricant de la matière.

C_p : capacité calorifique du thermoplastique.

P_p : masse volumique du plastique.

V_{total} : égal à la somme des volumes des empreintes et du système d'alimentation.

Chapitre IV : Simulation d'injection

$$Q_f = \Delta T_f \times C_f \times \rho_f \times q_v \times t_{ref}$$

Avec :

ΔT_f : différence de température de fluide entre l'entrée et la sortie du moule.

C_f : capacité calorifique du fluide de refroidissement.

ρ_f : masse volumique du fluide.

q_v : débit volumique de l'écoulement du fluide caloporteur.

t_{ref} : temps de refroidissement des pièces, définie comme le temps supplémentaire requis à la fin du compactage jusqu'à l'éjection.

En général, la matière dans la partie centrale de la paroi de la pièce atteint la température de solidification (point Vicat) et se solidifie durant la phase de refroidissement.

La durée de refroidissement représente environ 80% de la durée totale du cycle. On dit que le temps de refroidissement est atteint que lorsque, plus de 80% du volume de la pièce atteint une température inférieure à la température d'éjection, donc on aura à la surface de la pièce une température égale à celle de la surface du moule ; ce que il justifie l'utilisation de la température de la surface du moule dans le calcul précédent.

Pour assure un bon échange de chaleur l'écoulement doit être turbulent

Donc Re (nombre de Reynold) doit être supérieur à 4000.

Sachant que :

$$Re = \frac{4 \times q_v}{3.14 \times \nu_f \times D_c}$$

Avec :

ν_f : viscosité cinématique du fluide de refroidissement.

D_c : diamètre du canal de refroidissement.

On en déduit :

$$D_c = \frac{4 \times (T_{inj} - T_M) \times C_p \times \rho_p \times V_{total}}{\Delta T_f \times C_f \times \rho_f \times Re \times 3.14 \times \nu_f \times t_{ref}}$$

Chapitre IV : Simulation d'injection

C'est l'équation qui permet de déterminer le diamètre maximale que l'on peut utiliser pour le canal de refroidissement.

Liquide de refroidissement :

On a dimensionné par rapport au liquide de refroidissement le plus utilisé qu'est l'eau pure.

Le débit du liquide de refroidissement est calculé à partir de la loi le reliant au nombre de Reynold et le diamètre du canal.

La température du liquide est choisie d'une manière à avoisiner la température de la surface du moule désiré (un écart de 10 à 15°C est préconisé). Donc environ 60°C.

A.N :

$T_{inj}=200^{\circ}C$, $T_M=100^{\circ}C$

$C_p=1248 J/Kg.C$, $\rho_p =1198.6Kg/m^3$, $V_{total}= 1911.31 \times 10^{-6}m$

$\Delta T_f=1^{\circ}C$, pour assurer un refroidissement uniforme, il faut maintenir l'écart de température entre l'entrée et la sortie dans une plage de 1 à 3°C.

$C_f=4180JKg.C$, $v_f=10^{-6}m^2s$, $t_{ref}= 8.982 s$,

$Re=6000$, c'est choisi pour assurer un écoulement turbulent et non laminaire, lors d'un écoulement laminaire, la chaleur est uniquement transférée par conduction, d'une couche à l'autre.

En revanche, lors d'un écoulement turbulent, le transfert de masse dans la direction radiale permet le transfert de chaleur par conduction et par convection à la fois. Il en résulte une efficacité considérablement améliorée.

On aura comme résultat :

$$D_c = 14.52 \text{ mm}$$

Maintenant pour vaincre la résistance thermique de matériau du moule :

On va placer de part et d'autre du plan de joint un système de plusieurs canaux,

Donc on va encore diviser le diamètre :

$D_{cmax}=14.52/4$,

Donc :

$D = 3.63 \text{ mm}$

Chapitre IV : Simulation d'injection

Pour assurer un refroidissement uniforme, les canaux doivent se situer à une distance D_{sc} du plan de joint, et distancé l'un de l'autre d'une distance D_{cc} .

$$D_{sc} = 2.5 * D$$

$$D_{cc} = 3 * D [17]$$

On obtient : **$D_{sc} = 9.075 \text{ mm}$, $D_{cc} = 10.89 \text{ mm}$**

Le nombre de canaux, sera celui qui permet de couvrir la géométrie de la pièce

Le débit calculé est de : **$q_{vf} = 10.0 \text{ L/min}$**

Les résultats de ce calcul seront modélisés dans le logiciel de calcul rhéologique.

2. Simulation du système d'alimentation :

C'est une analyse partielle, faite sur AUTODESK SIMULATION MOLDFLOW ADVISER (ASMA) :

C'est une analyse qui permet d'optimiser la conception de l'alimentation, ayant pour objectif de réduire le maximum de volume matière, tout en gardant un écoulement plastique adéquat ; c'est-à-dire : pas de réchauffement excessif de matière, pas de taux de cisaillement dépassant la valeur permise par le thermoplastique.

L'analyse a dégagé les résultats suivants :

L'élément	Taille originale		Taille conseillé
Carotte (conique)	\emptyset	3.5 mm	3.5 mm
	L	56.15 mm	56.15 mm
Canaux	\emptyset	3.5 mm	3.5 mm
	L	81.67 mm	81.67 mm
Seuil	\emptyset	1 et 1.40 mm	1.40 mm
	L	5 mm	5 Mm

Tableau IV.1 : L'analyse du système d'alimentation

Chapitre IV : Simulation d'injection

Les valeurs retrouvées pour la carotte et les canaux et les seuils vont être appliqué directement sur le modèle.

3. Simulation du système de régulation

Pour vérifier l'efficacité des circuits de régulation, on procède à une analyse thermique du moule SOUS AUTODESK SIMULATION MOLDFLOWADVISER (ASMA).

3.1. Analyse thermique du moule

C'est une analyse qui ne s'intéresse qu'aux échanges thermique entre l'ensemble pièces, alimentation, les circuits de refroidissement et le milieu extérieur, lors du cycle d'injection.

L'analyse adopte plusieurs hypothèses simplificatrices.

Les résultats de cette analyse sont récapitulés dans ce tableau :

Résultat	Valeur
Pression du circuit	32.29 KPa
Température de liquide de refroidissement	25c°
Température pièce	54. c°
Temps de refroidissement pièces	9 s

Tableau IV.2 : Résultat d'analyse thermique du moule.

4. Simulation rhéologique finale :

La simulation rhéologique finale prend en charge l'interaction entre tous les phénomènes qui prennent lieu lors du cycle, elle est faite sur AUTODESK SIMULATION MOLDFLOW ADVISER 2019.

Elle comporte plusieurs volets :

Analyse de remplissage et compactage ;

Analyse thermique ;

Analyse de gauchissement.

Chapitre IV : Simulation d'injection

Avant de passer à l'analyse, et bien sûr après modélisation de l'ensemble, on a paramétré le process :

Température d'injection : 200 c°.

Température surface du moule : 100 c°.

4.1. Analyse de remplissage :

- **Zone de remplissage du POM :**

Ce résultat, permet de détecter les zones non remplies des pièces :

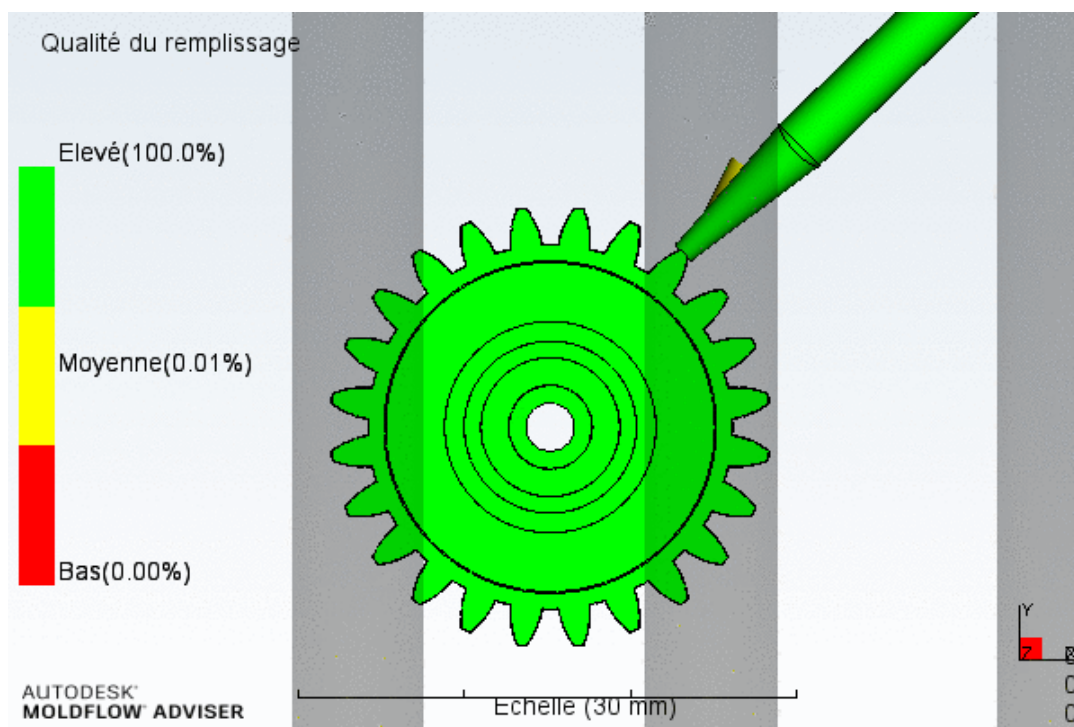


Figure IV.1 : Zone de remplissage du POM

4.2. Temps de remplissage :

Ce résultat permet d'indiquer le temps de remplissage en tout point du polymère :

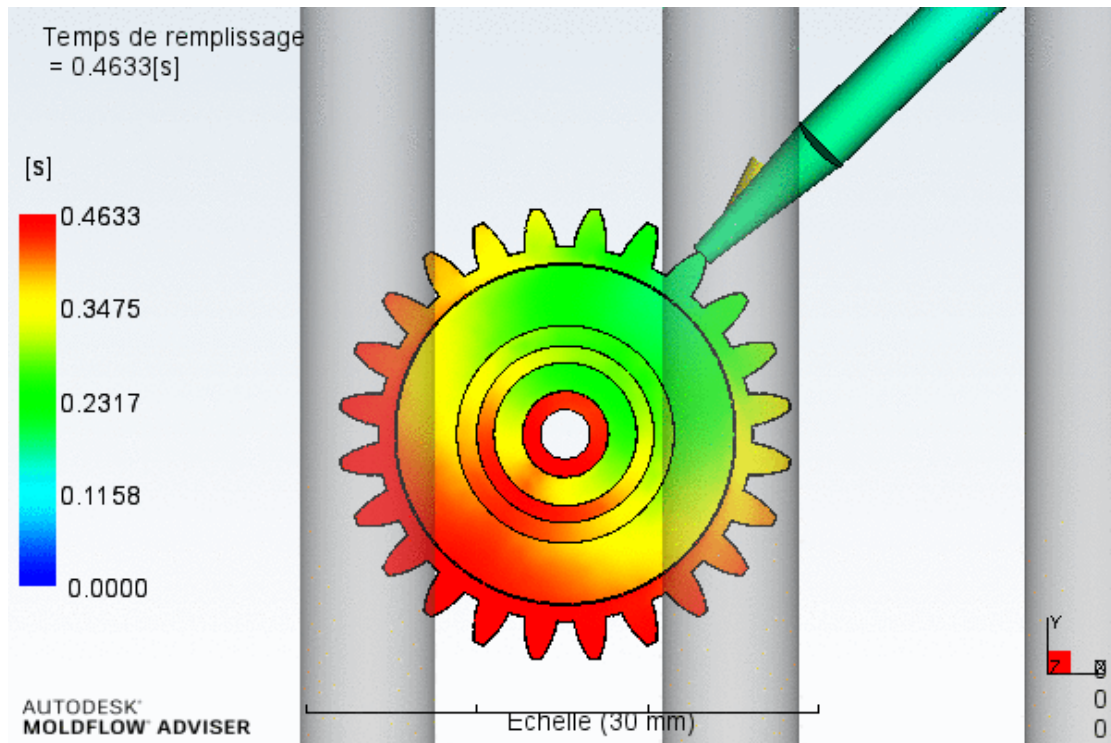


Figure IV.2 : Résultat Temps de remplissage

Le temps maximal constaté est de 0.4633s, valeur qui sera appliqué sur la presse.

4.3. Température au front d'écoulement :

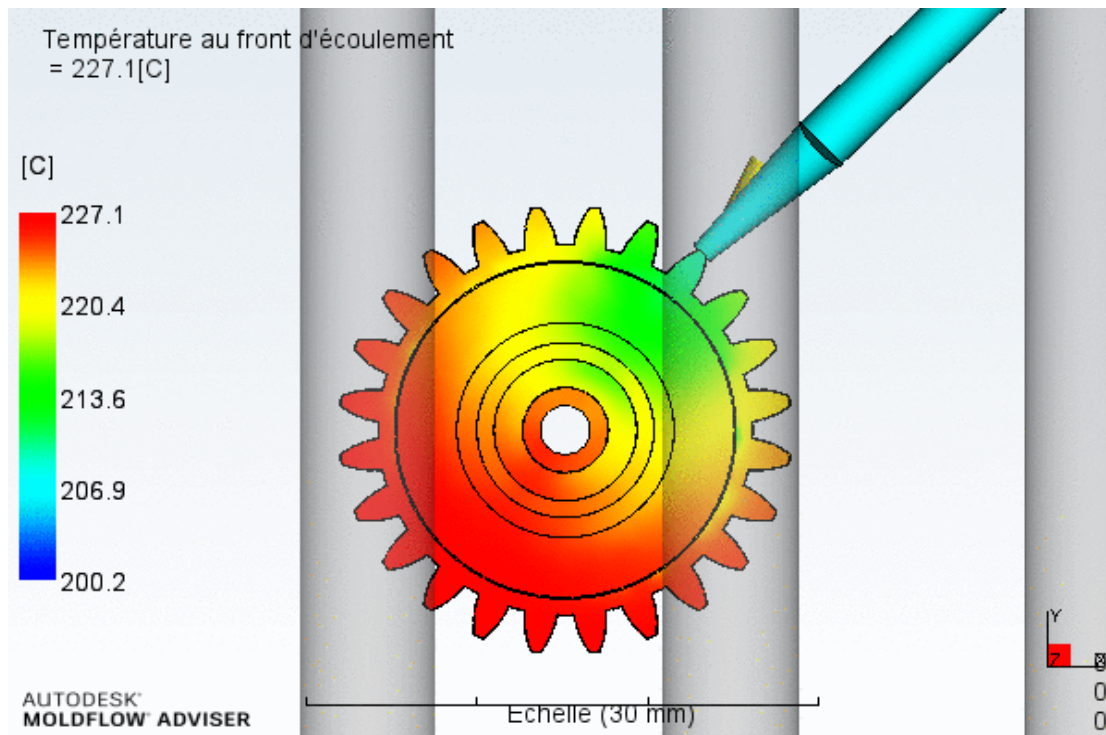


Figure IV.3 : Résultat Température au front d'écoulement.

L'intervalle de température est : $[200.2^{\circ}, 227.1^{\circ}]$, donc y a aucun risque de détérioration.

4.4. Retrait volumique :

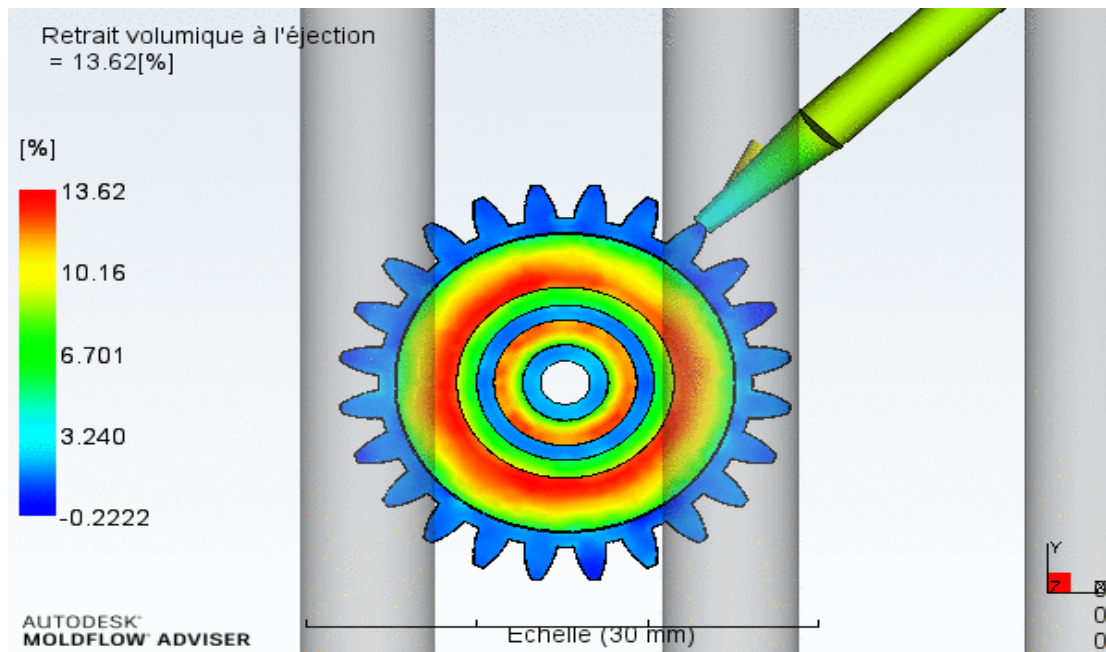


Figure IV.4 : Résultat retrait volumique.

4.5. Emprisonnement d'air :

Ce résultat nous indique l'emplacement des événements (Figure IV.5).

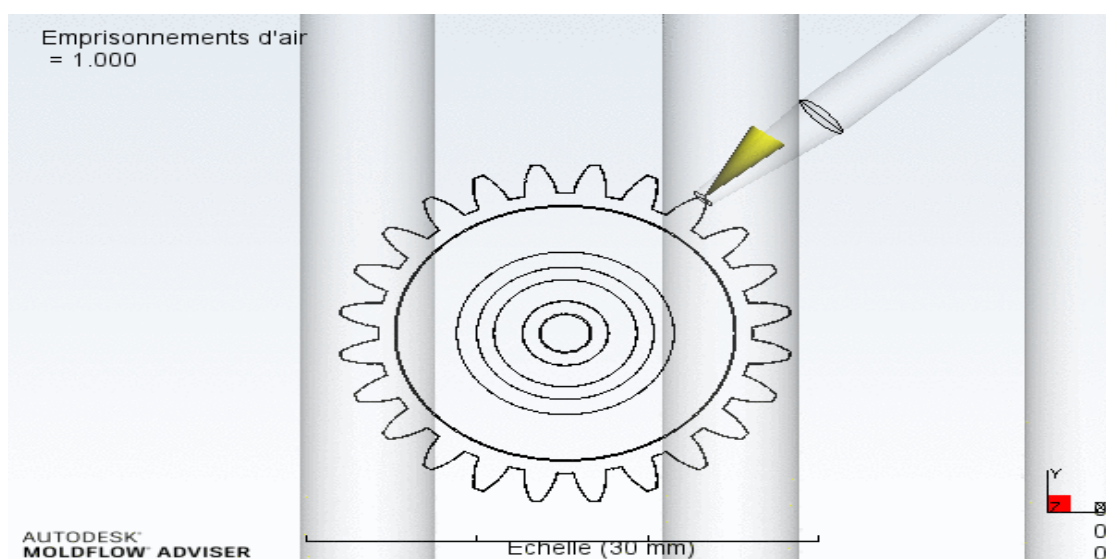


Figure IV.5 : Résultat emprisonnement d'air

4.6. Ligne de soudure :

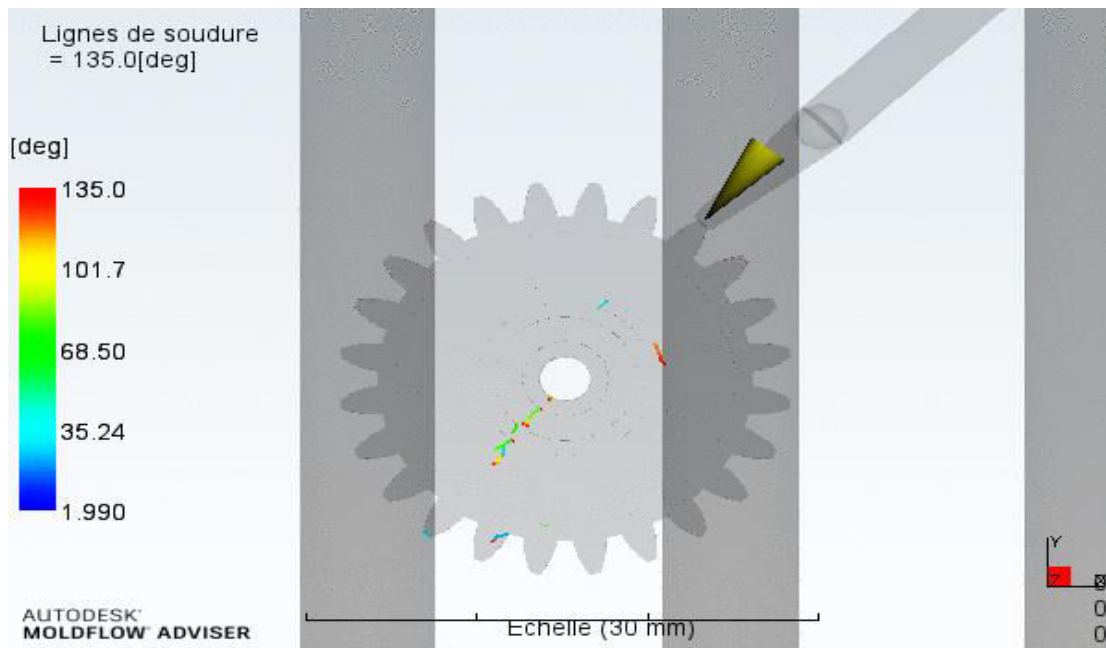


Figure IV.6 : Résultat lignes de soudure.

On remarque bien que les lignes de soudure n'ont aucune influence sur l'aspect et les propriétés mécaniques des pièces.

4.7. Estimation des retassures :

On remarque que la valeur des retassures est entre 0.005 mm et 0.01mm, résultat qui est très positive. (Voir Figure IV.7)

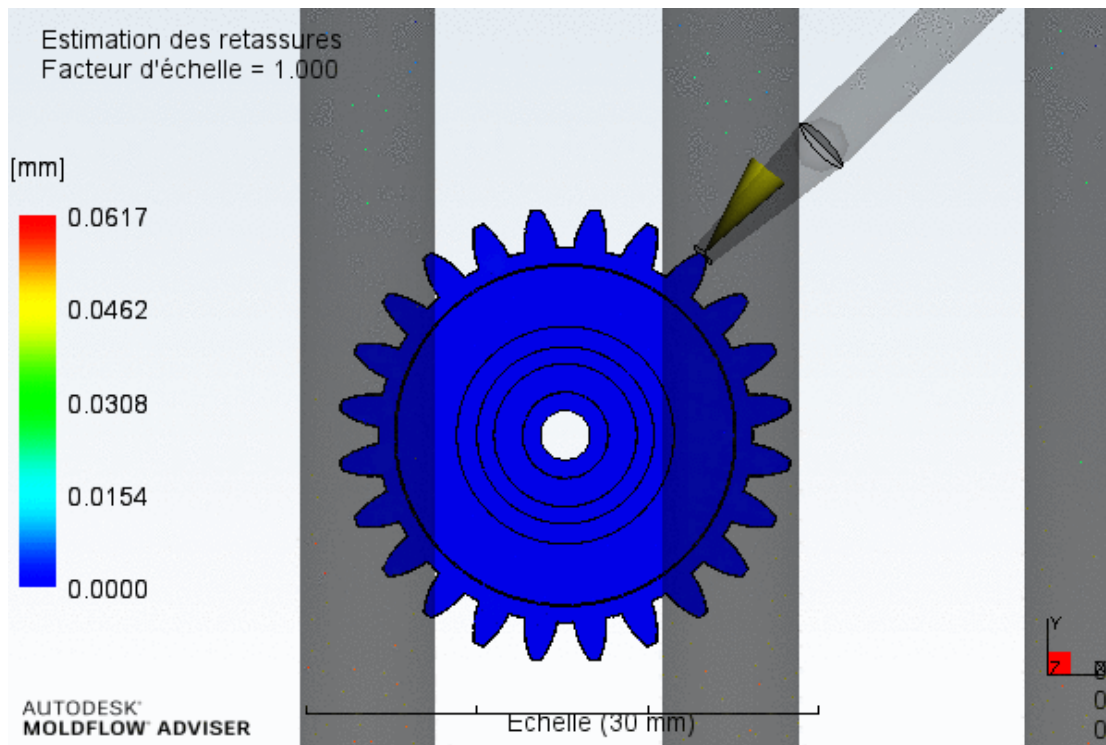


Figure IV.7 : Résultat estimation des retassures.

4.8. Pression du circuit :

C'est la pression nécessaire pour faire écouler le fluide caloporteur dans les circuits.

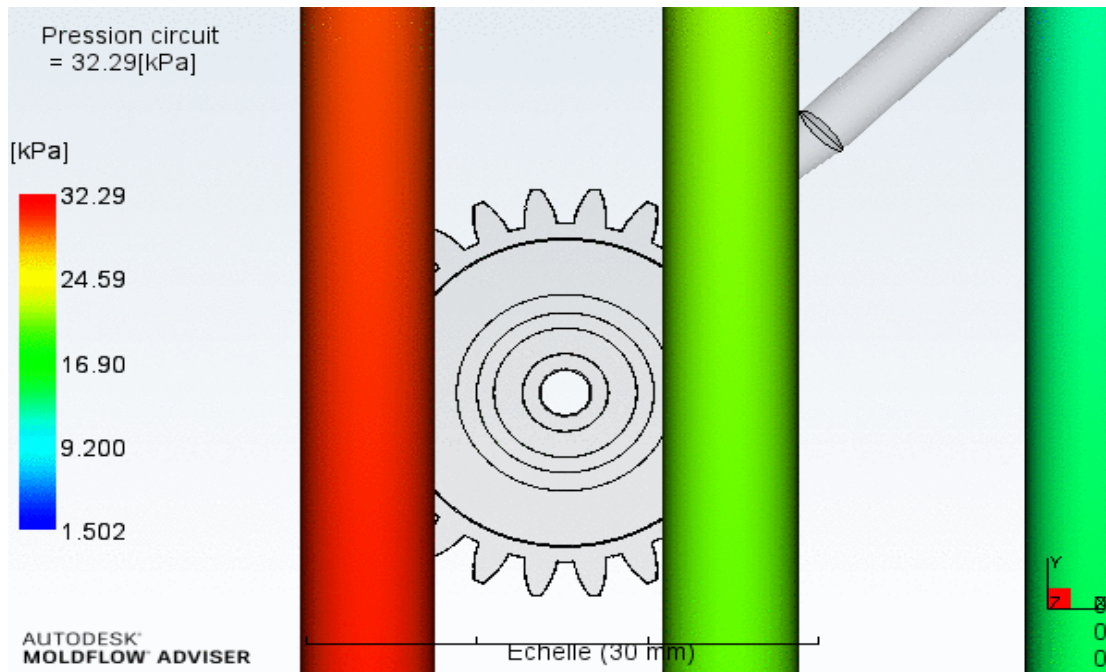


Figure IV.8 : Résultat Pression du circuit

Elle nous permet de valider le choix de la presse.

Dans notre cas, la pression est de : 32.29 KPa.

4.9. Temps pour atteindre la température d'éjection :

Ce résultat (**Figure IV.9**) représente le temps nécessaire pour atteindre la température d'éjection, à partir de début du cycle.

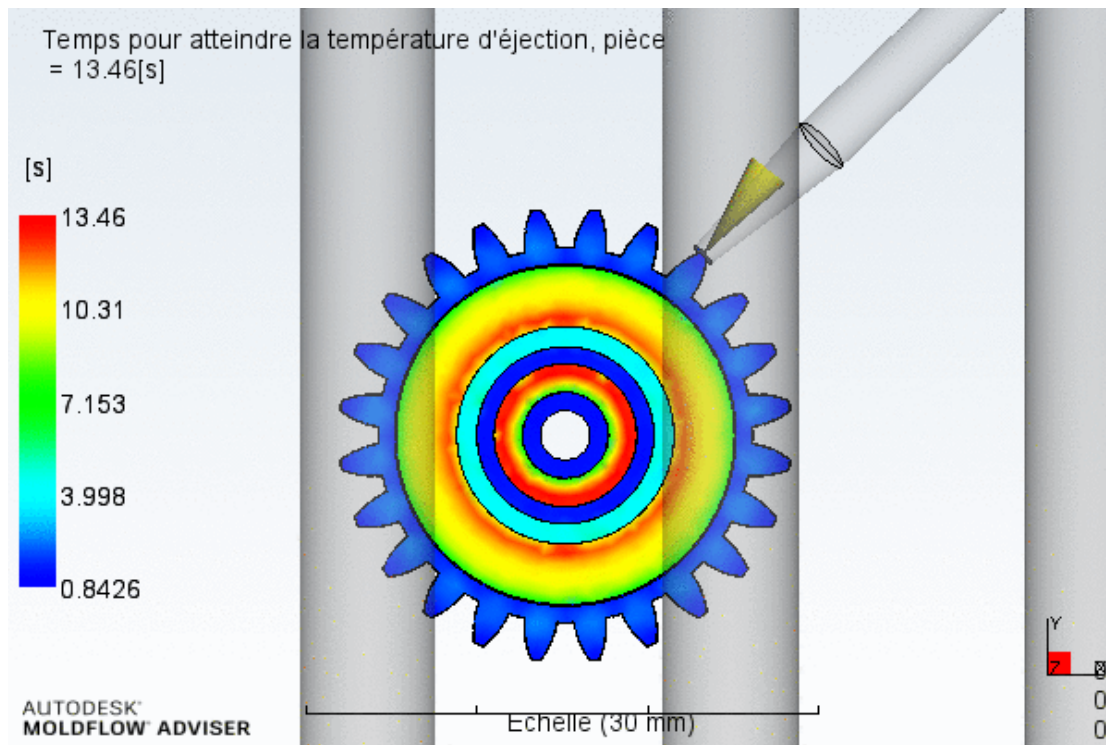


Figure IV.9 : Résultat température d'éjection.

4.10. Indicateur de gauchissement :

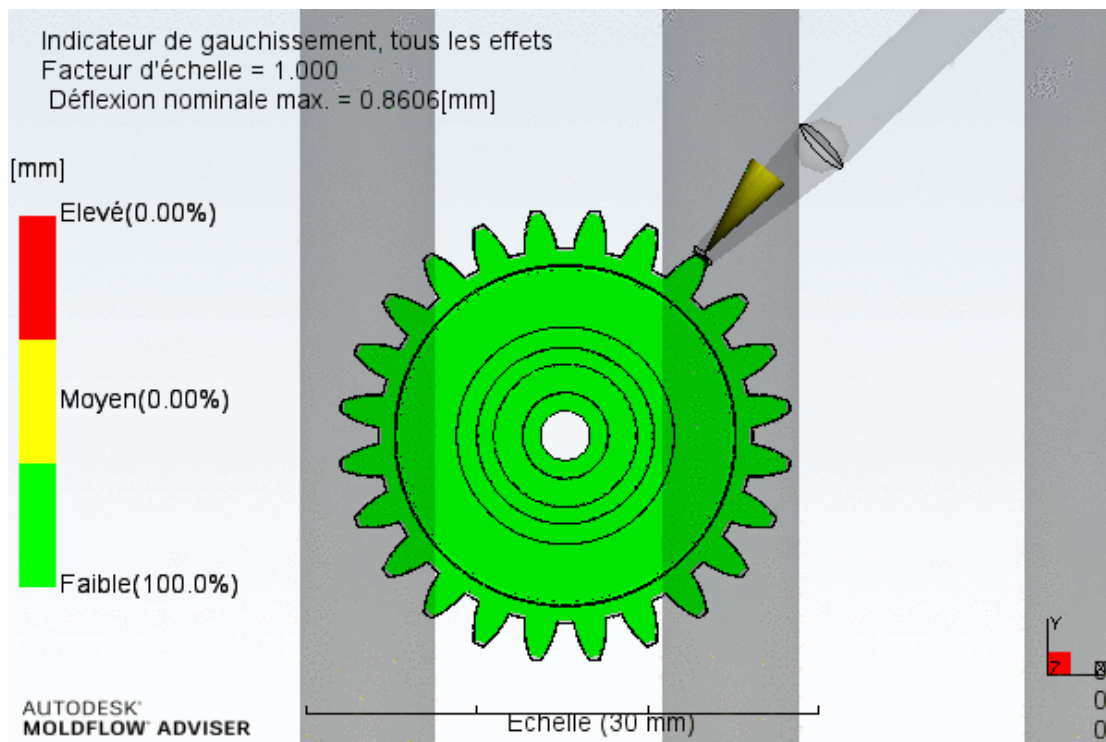


Figure IV.10 : Indicateur de gauchissement

5. Résultats de la simulation :

Après avoir pris en considération tous les paramètres essentiels, nous avons obtenu les résultats suivants :

Les caractéristiques de la matière plastique utilisée :

- Fabricant de la matière: Generic Shrinkage Characterised Material
- Nom commercial de la matière: Generic POM
- Code d'identification de la résine du matériau: 7
- Indicateur d'utilisation de l'énergie du matériau: 3
- Température matière: 200.0 (C)
- Température du moule: 100.0 (C)
- Points d'injection: 1
- Pression d'injection machine max.: 180.000 (MPa)
- Temps d'injection sélectionné: Automatique
- Point de commutation: Automatique

Chapitre IV : Simulation d'injection

Profil de compactage :

Durée (s) : 10.0

% de pression de fin du remplissage : 80.0

- Temps de refroidissement : Automatique
- Temps d'ouverture du moule : 5.00 (s)

Matériau de moule :

- Fabricant de la matière : Generic
- Nom commercial de la matière : Tool Steel P-20

Carotte :

- Froid, Conique circulaire.
- Diamètre de début : 0.71 mm
- Diamètre de fin : 3.50 mm

Canaux d'alimentation : Froid, Circulaire, Diamètre (3.50 mm).

Seuils : Froid, Conique circulaire, Diamètre de début (3.50 mm), Diamètre de fin (1.40 mm).

Circuit de refroidissement :

- Liquide de refroidissement : L'eau (pure)
- Température : 25.0 (C)
- Débit : 10.0 (l/min)
- Tuyau, Diamètre (10.00 mm)
- Circuit, Circulaire, Diamètre (8.00 mm)

Les conditions du processus d'injection :

- Temps de remplissage réel: 0.46 (s)
- Pression d'injection réelle: 13.22 (MPa)
- Surface soumise à la force de fermeture: 7.4898 (cm²)
- Force de fermeture max. durant le remplissage: 1.057 (tonne)
- Point de commutation au % volume: 98.98 (%)
- Point de commutation au temps: 0.46 (s)
- Poids total de la pièce à la fin du remplissage: 2.461 (g)
- Volume d'injection: 2.9897 (cm³)

Chapitre IV : Simulation d'injection

- Volume de l'empreinte: 1.9818 (cm³)
- Volume du système d'alimentation: 1.0079 (cm³)

Temps de cycle :

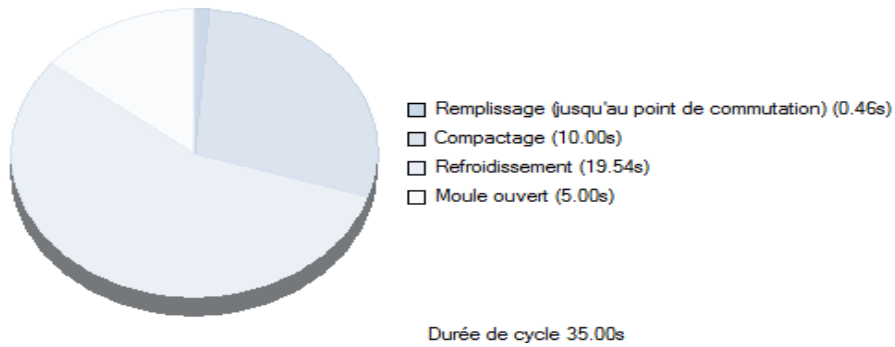


Figure IV.11 : résultats de durée de cycle

Conclusion

Grâce à la simulation, nous avons obtenu des résultats très positifs nous permet de conception le moule sans problèmes et aussi nous avons obtenu des résultats négatifs et sont :

- notre pièce risque d'être difficile à remplir et sa qualité pourrait se révéler inacceptable.
- La pièce présentera de graves problèmes de refroidissement pouvant entraîner des problèmes d'éjection.

Ces résultats nous permettent de :

- Améliorer la qualité des pièces.
- Eviter et canaliser les défauts des pièces
- Optimiser le temps du cycle.
- Réduire le nombre d'essai et de prototypage.
- Réduire au mieux la consommation d'énergie.

Chapitre V :

Conception de

moule

INTRODUCTION :

Après avoir validé les paramètres du processus d'injection, ainsi que les paramètres des fonctions alimentation et régulation, nous passons à la réalisation du model géométrique du moule.

Ce travail va suivre le cheminement suivant :

- Conception des éléments moulants : empreintes, noyaux, nez de coulisseaux.
- Conception de l'alimentation.
- Conception des circuits de régulation.
- Conception des éjecteurs.
- Conception de la carcasse.
- Conception des autres composants.
- Vérification de la conception.

1. Conception des éléments moulants :

1.1 Préparation des pièces

La préparation des pièces se fait selon le cheminement suivant :

- Orienter les pièces correctement.
- Appliquer un coefficient de retrait pour le moule, dans notre cas (PA66.FV30), le coefficient est de 1.006.
- Création des lignes de séparation.
- Création des surfaces de séparation.
- Affectation des surfaces : noyau empreinte.

Le résultat de préparation est présenté dans la figure suivante :

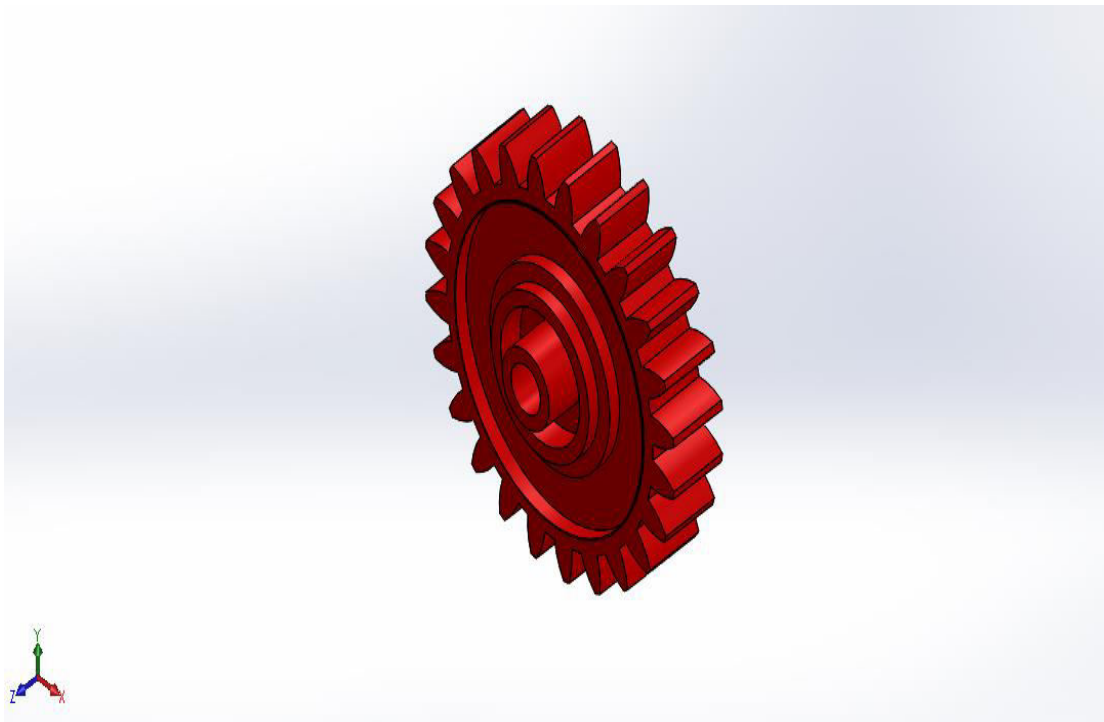


Figure V.1 : Préparation de la pièce.

Dans ce travail nous réaliser les empreintes fixe et mobile et ensuite nous les placerons dans le moule.

Pour leur réalisation nous utiliserons les logicielle « solidworks et imold »

1.2. Création du plan de joint :

La création du plan de joint joue un rôle prépondérant dans la réussite de la conception d'un moule d'injection. S'il est correctement généré, la conception adéquate du noyau et de l'empreinte est garantie et la pièce en plastique peut être extraite du moule aisément.

En utilisant la fonction « parting lines » pour créer le plan de joint.

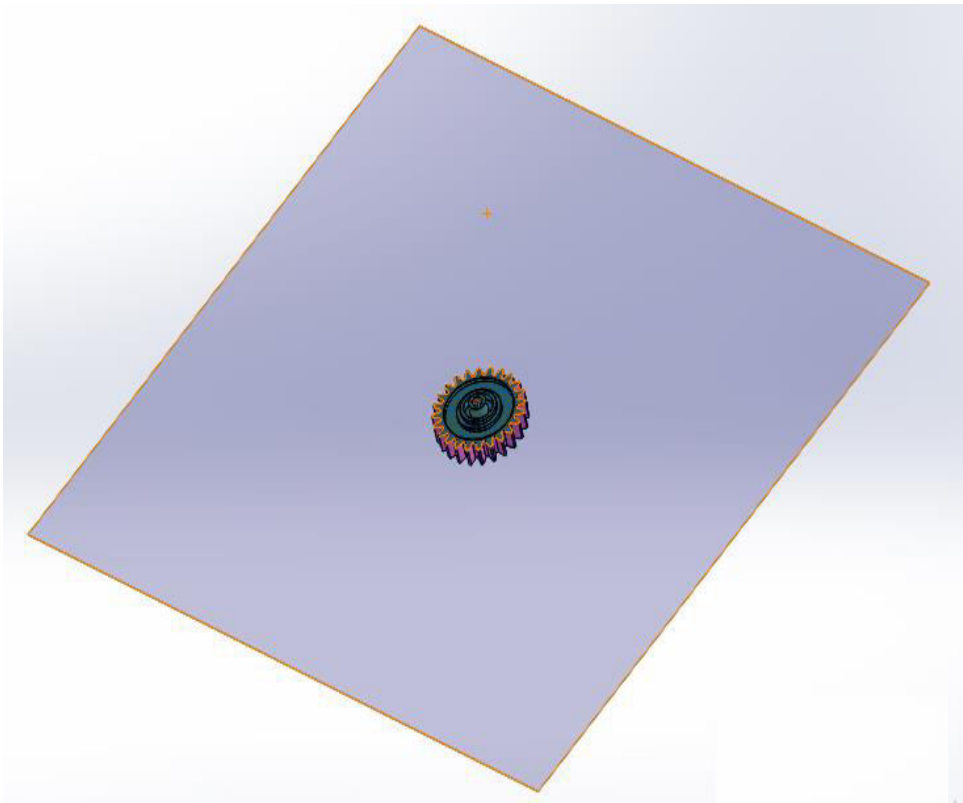


Figure V.2 : Positionnement des Plans de joint.

1.3. Conception le noyau et l'empreinte :

En utilisant la fonction « core -cavity » une épaisseur de 60 mm correspondant à l'épaisseur des deux empreintes assemblées (une empreinte à une épaisseur de 24.90mm et un noyau à une épaisseur de 35.10mm).

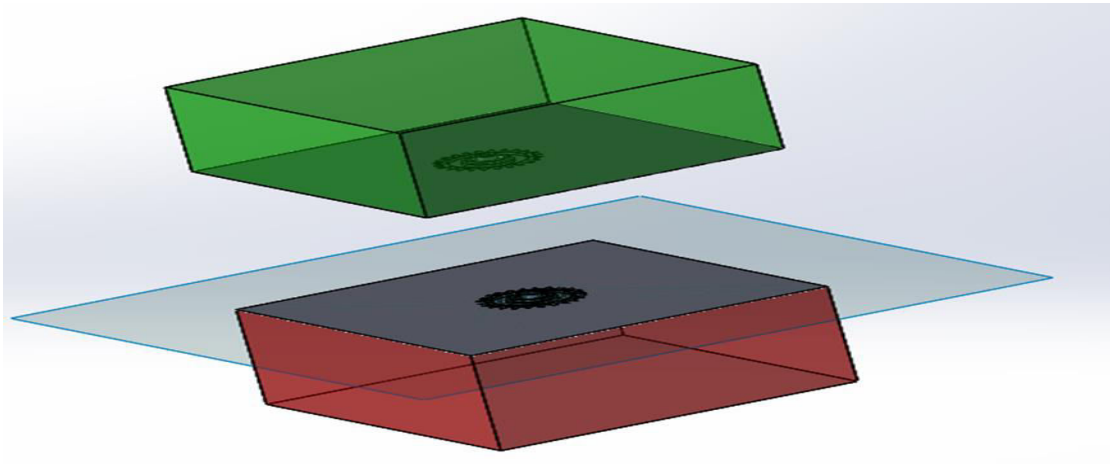


Figure V.3 : Le noyau et l'empreinte

1.4. Création des empreints :

En utilisant la fonction « add Layout » pour créa 4 empreints séparai

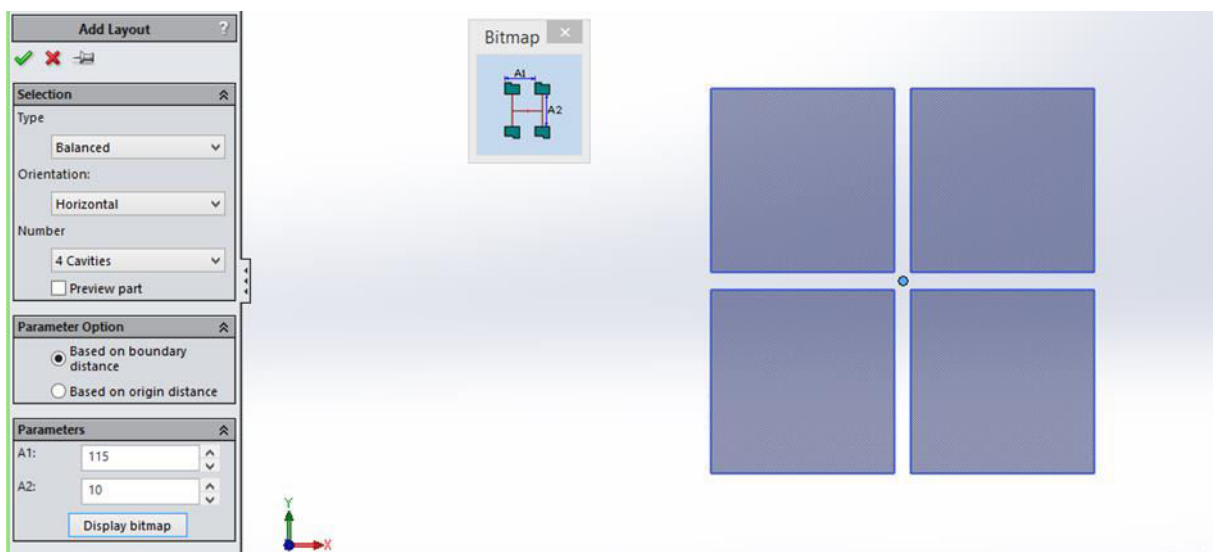


Figure V.4 : la fonction « add Layout »

2. Système d'alimentation :

Le système d'alimentation répartit uniformément le plastique fondu, du nez de la machine vers les empreintes du moule

Création Système d'alimentation en utilisant la fonction « gate designer – add gate » et « add gate component » pour la buse.

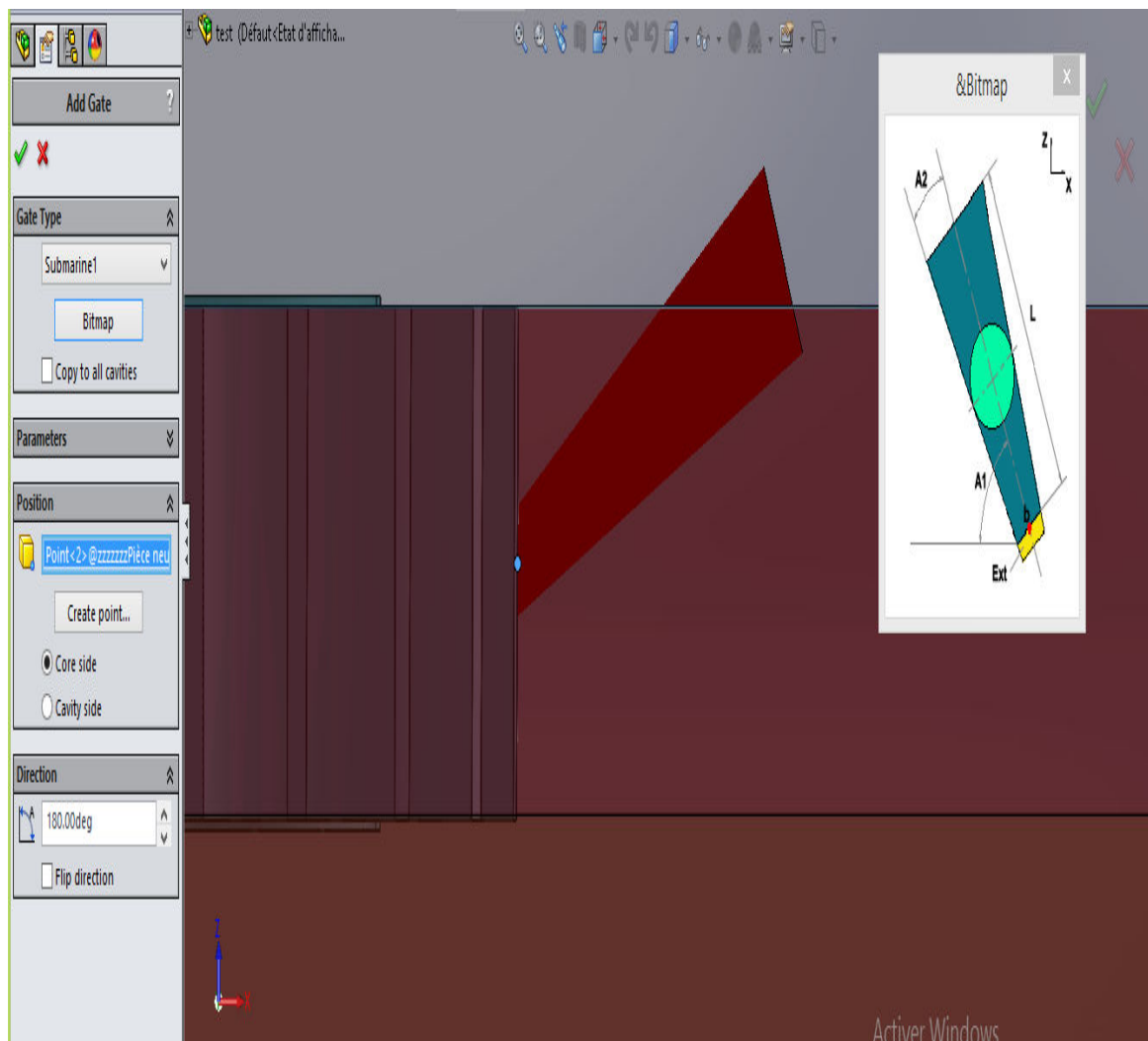


Figure V.5: la fonction « gate designer – add gate »

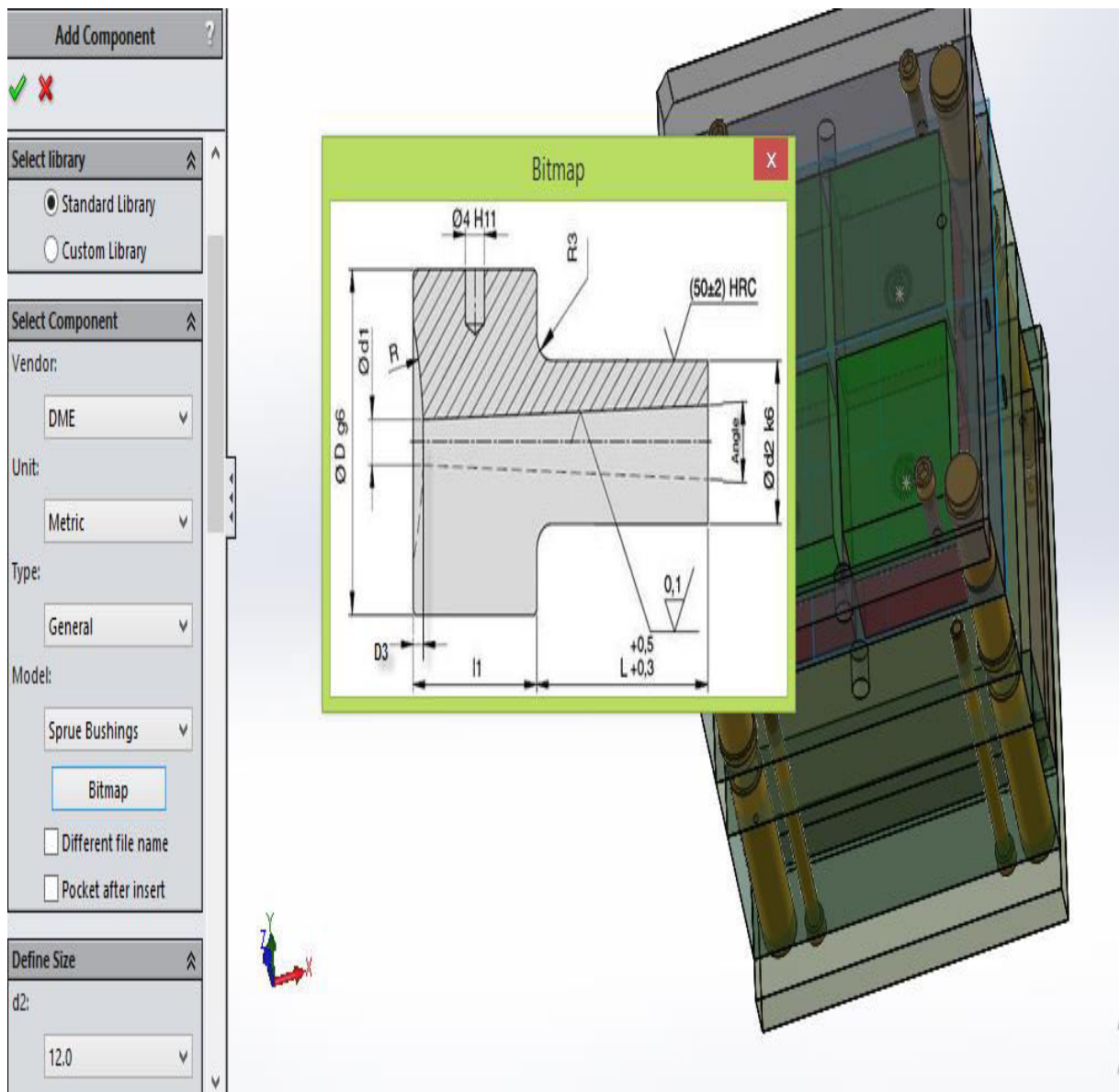


Figure V.6 : la fonction « add gate component »

3. Conception de la régulation :

Comme le refroidissement est la fonction qui détermine la qualité des pièces, nous avons donné toute l'importance à ce circuit.

Le système conçu est le suivant :

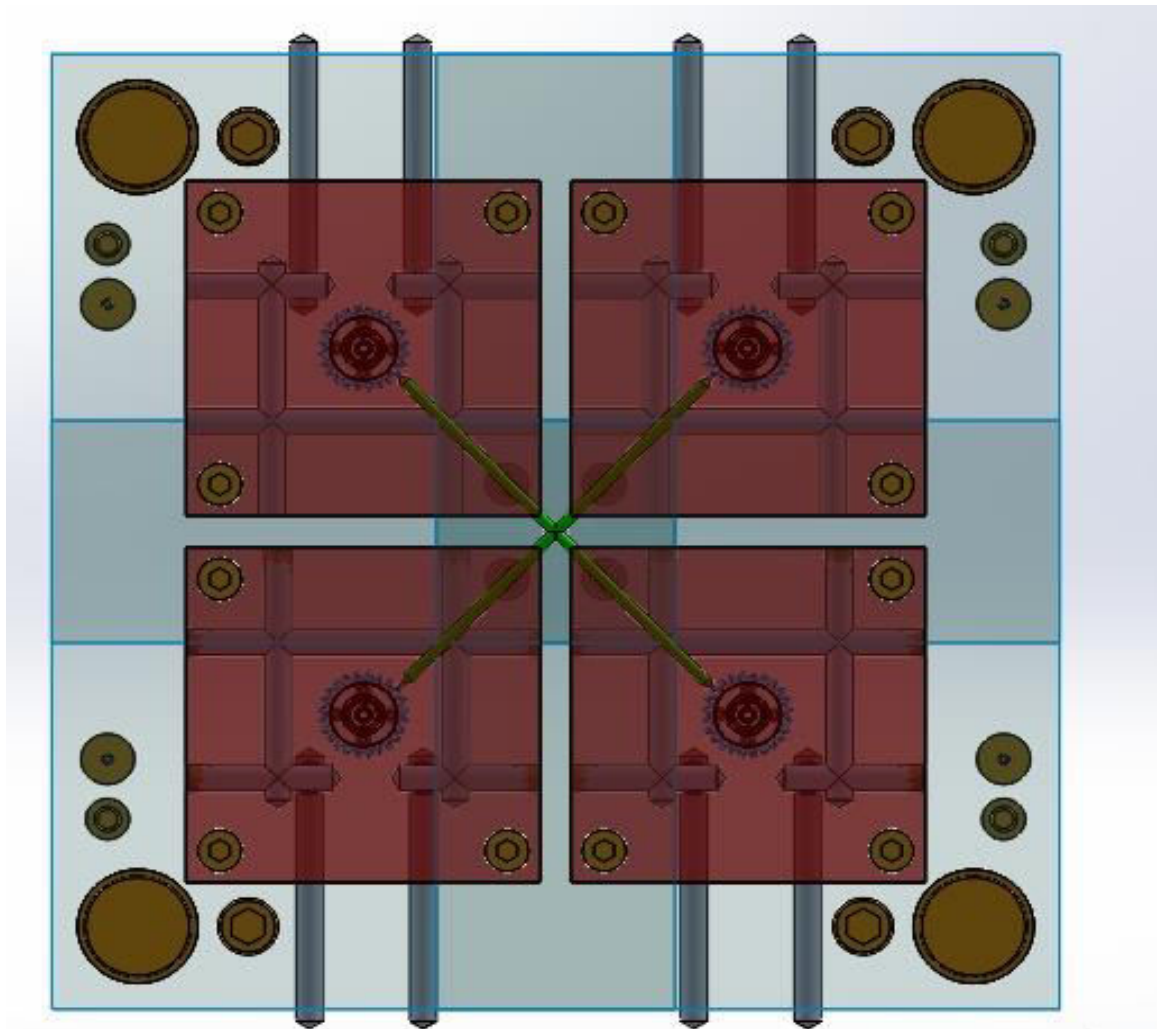


Figure V.7 : Conception de la régulation.

4. Conception du Système d'éjection :

Les éjecteurs sont sensé dégager les pièces de leurs logement (coté noyau), d'une façon à minimiser les déformations et cacher les marques d'éjecteur.

Pour cela il faut :

- Placer le maximum possible d'éjecteur ;
- Repartir les éjecteurs d'une façon symétrique.

Dans notre cas, nous avons utilisé quatre éjecteurs pour chaque pièce. Il s'agit d'éjecteurs cylindriques de 02 mm de diamètre.

Chapitre V : Conception de moule

La figure suivante présente le système d'éjection utilisé pour chaque pièce :

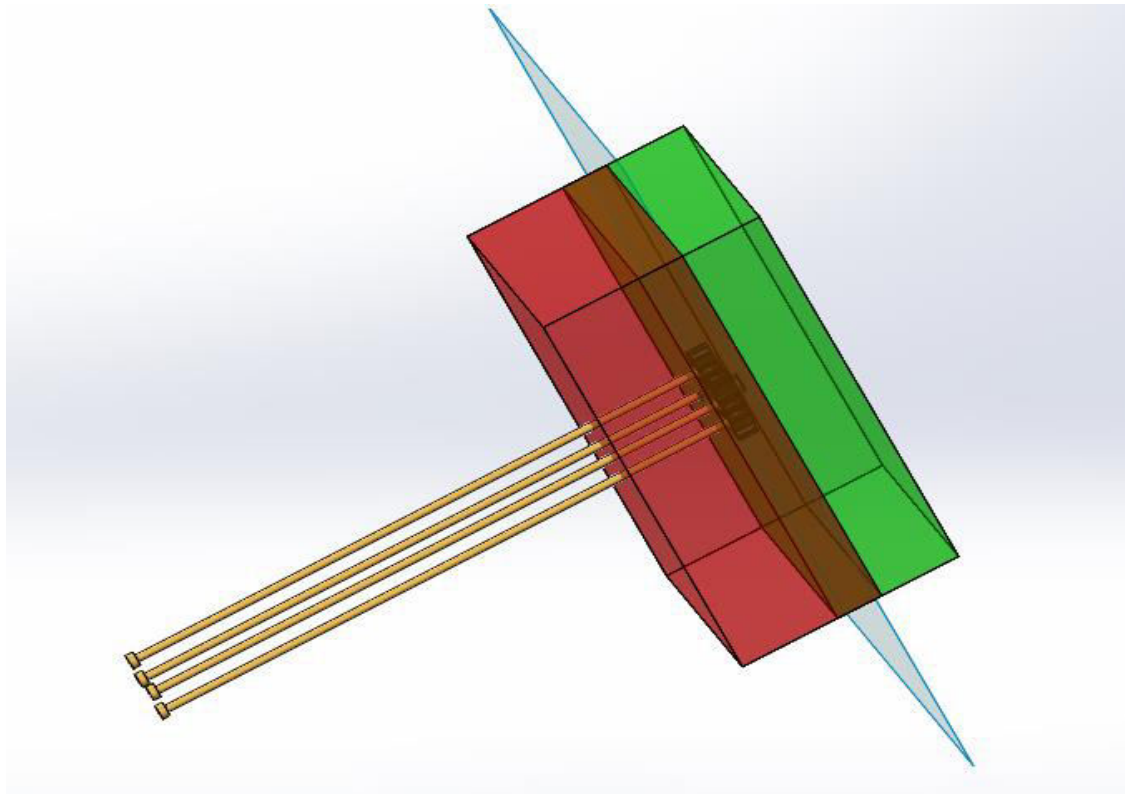


Figure V.8: Système d'éjection

5. Constitution de la carcasse :

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

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

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

A. Eléments constitutifs de la carcasse :

➤ Les éléments fixes se divisent :

- plaque ou bloc porte-matrices ou porte-empreintes
- bloc porte-poinçons
- contreplaque
- plaques de fixation

➤ Les plaques mobiles sont :

- la plaque d'éjection et la contre-plaque
- les plaques de dévissage et les plaques flottantes qui possèdent généralement un guidage à billes. Les plaques fixes ou mobiles, empilées, doivent avoir leurs bords chanfreinés et des fraises dans leur plan de joint pour faciliter si nécessaire leur séparation.

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

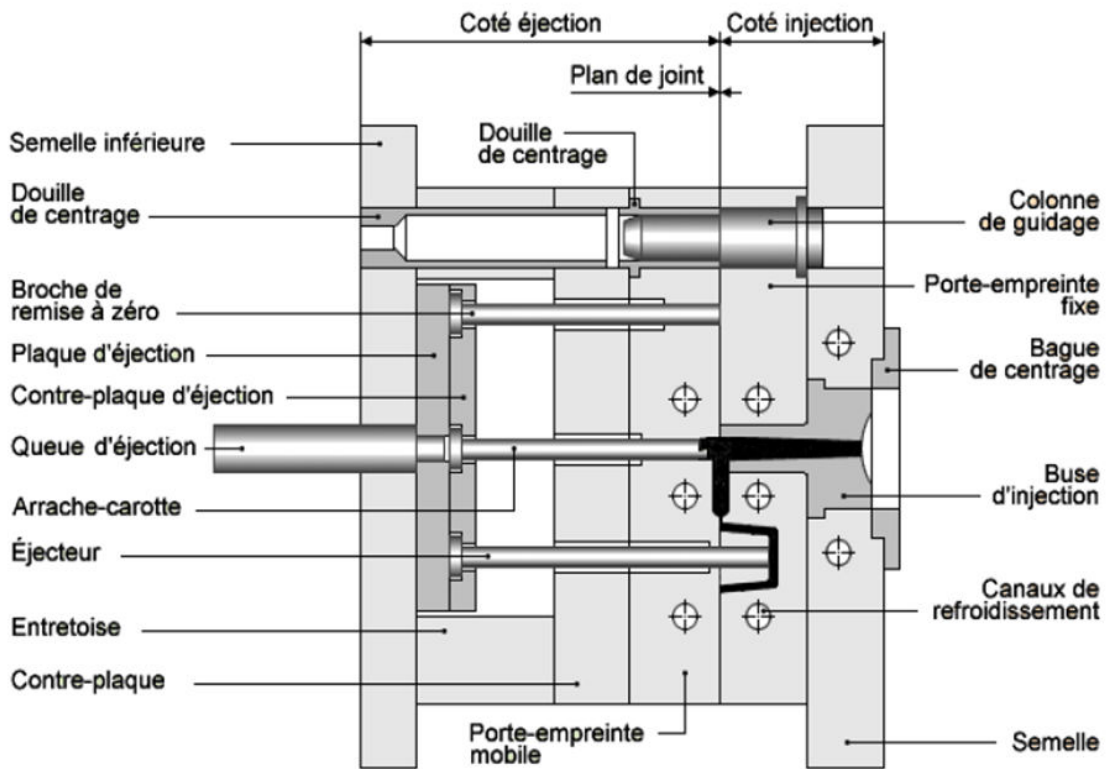


Figure V.9 : Eléments constitutifs de la carcasse

B. Conception de la carcasse du moule :

Création de l'épaisseur de corps en utilisant la fonction « moldbase designer - thickness » :

Épaisseur = 278.00mm.

Chapitre V : Conception de moule

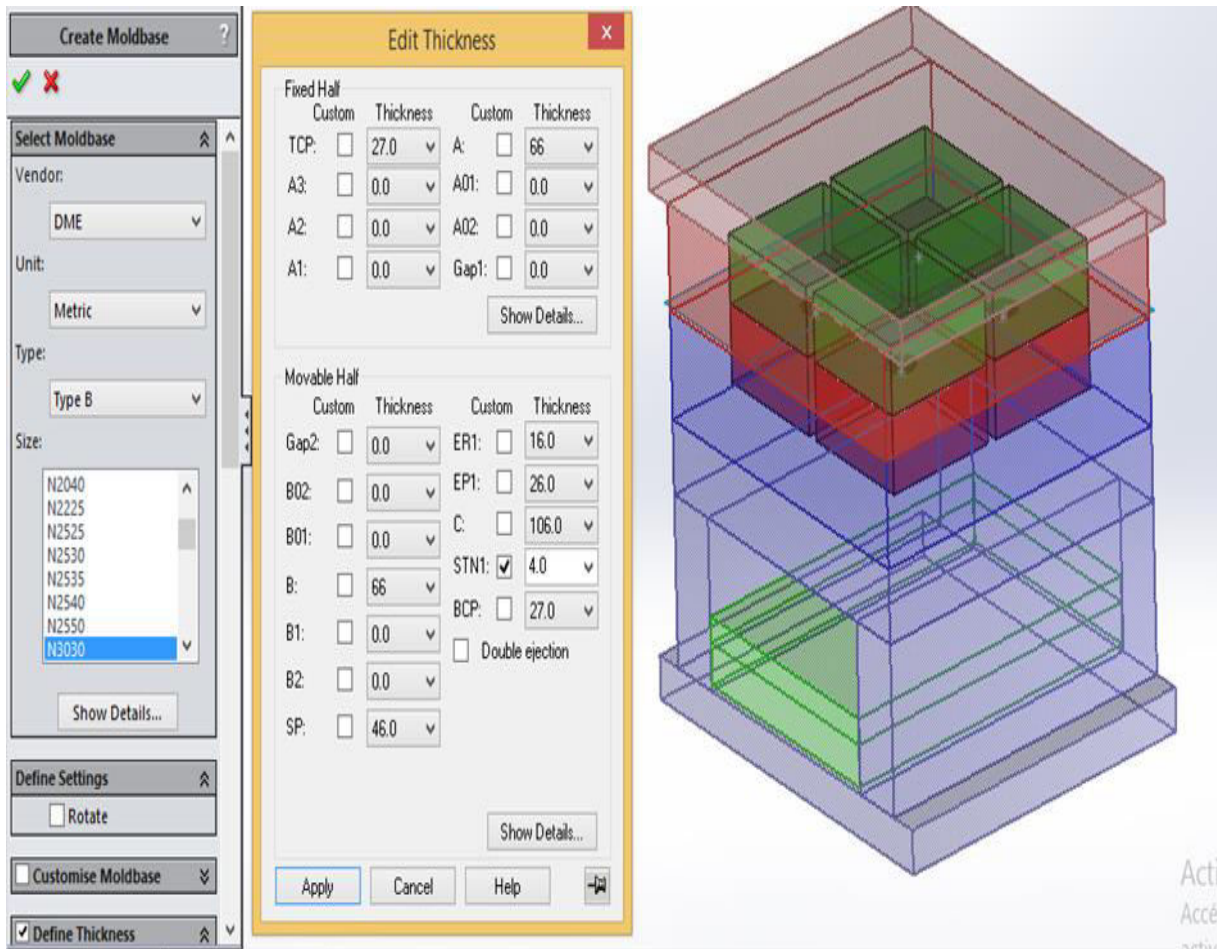


Figure V.10 : la fonction « moldbase designer - thickness »

Nous avons insérer une carcasse standard du fabricant DME qui couvre toute la géométrie des éléments déjà conçus : 30 x 30 cm

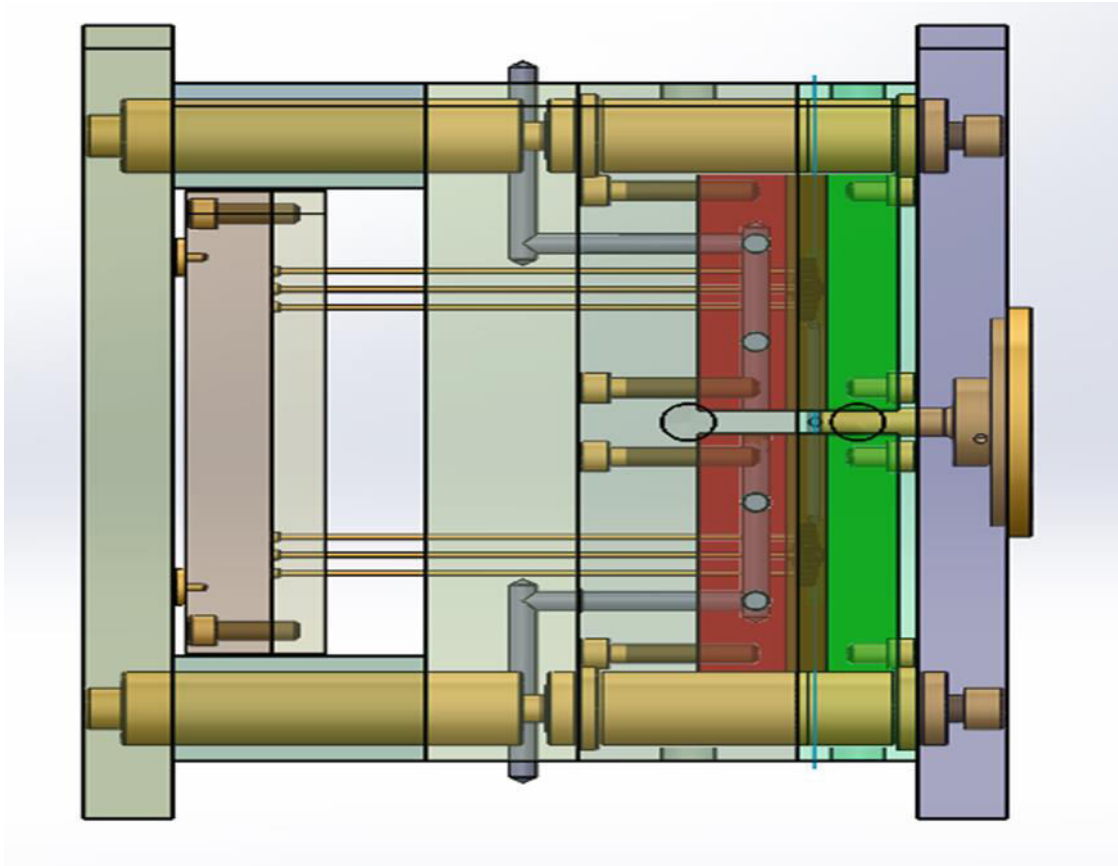


Figure V.11 : Carcasse du moule.

6. Emplacement des points d'injections :

Les points d'injection permettent de connecter le système d'alimentation au moule et de transférer le plastique fondu du système d'alimentation à l'empreinte du moule.

Le plastique est injecté sous haute pression dans l'empreinte, de sorte à remplir complètement l'empreinte et créer un produit compact et propre. La taille, la précision, le nombre et l'emplacement des points d'injection ont une incidence sur la qualité de la pièce en plastique finie.

Comme les canaux d'alimentation rétrécissent au niveau des points d'injection, concevez le système d'injection en même temps que le système d'alimentation. Avant de créer un point d'injection, identifiez un emplacement de point d'injection. Après avoir créé des systèmes d'alimentation

Les emplacements de points d'injection correspondent à des coordonnées sur la surface de la pièce moulée qui indiquent où les points d'injection physiques sont placés.

7. Ajout des composants standards :

Il s'agit de la bague de centrage et la buse d'injection

La bague de centrage :

Le composant est représenté dans la figure suivante :

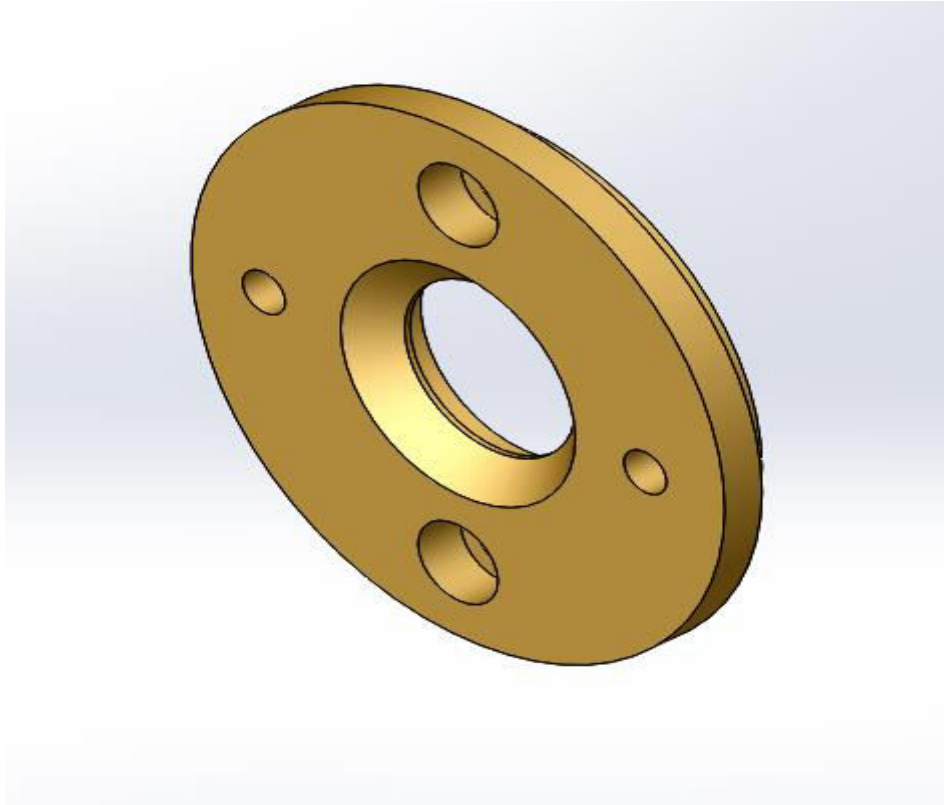


Figure V.12 : Bague de centrage.

La buse d'injection :

La buse est choisie de telle sorte que son diamètre intérieur corresponde au diamètre voulu de la carotte.

Le rayon de la buse doit être supérieur à celui de la buse d'injection de la presse.

Le rayon extérieur de la buse doit être égal au diamètre intérieur de la bague de centrage.

La buse est représentée dans cette (**figure V.13**) :

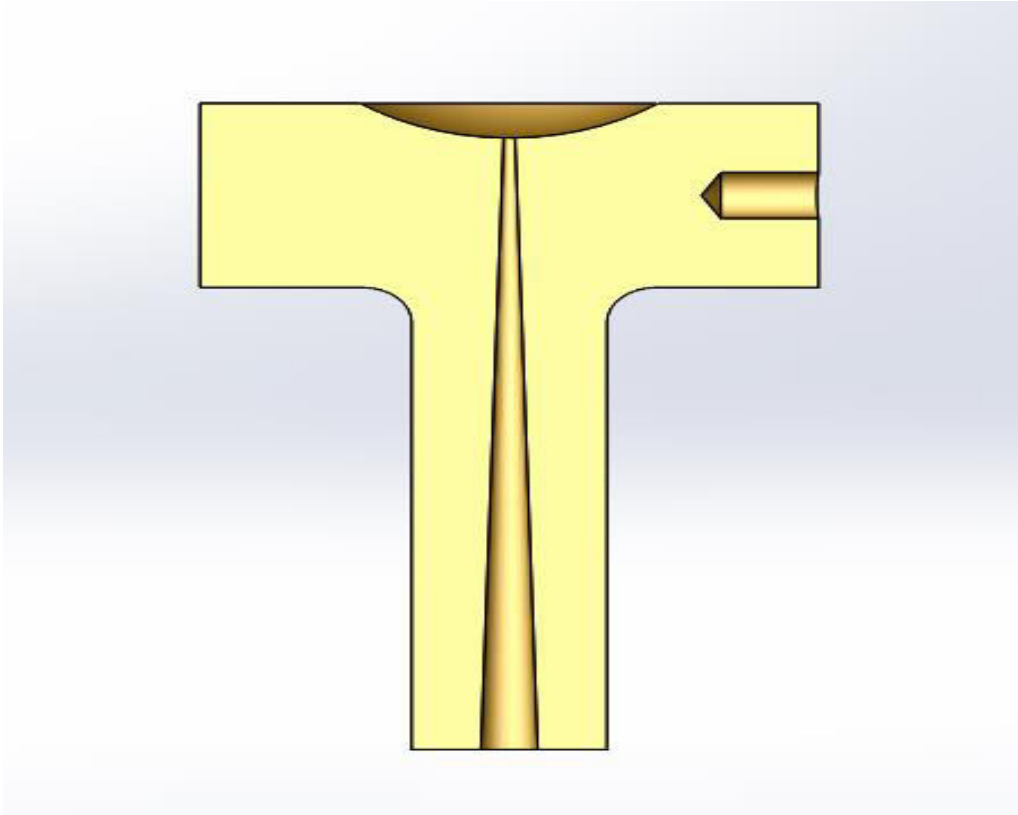


Figure V.13 : Vue en coupe de la buse d'injection.

Chapitre V : Conception de moule

8. Calcul du cout d'un outillage

Remarque : ce calcul nous permet de connaître l'investissement outillage I_0 qui entre dans le calcul du prix de revient de la pièce moulée. Il peut être réalisé à partir de valeurs estimées, pour le chiffrage du moule ou tenir compte des prix et temps réels de fabrication pour la vérification du coût réel de l'outillage.

Données :

- Corps de moule 30x30 cm, usiné et équipé (buse, arrache carotte, éjecteurs de rappel et de carotte) : 136.300,00 DA
- Moule à 4 empreintes
- Matériau empreintes et contreplaque : alliage d'aluminium
- Matériau plaque éjection : acier C35
- Coût alliage aluminium : 136,30 DA HT / kg
- Coût C35 : 545,20 DA / kg
- Composants standard : 16 éjecteurs simples (408,90 DA HT pièce)
- Etude de l'outillage (conception, CAO) : 24 h.
- Coût horaire étude : 5.452,00 DA
- Préparation barrettes (blocs empreintes bruts) : usinage, contrôle : 4 h
- Usinage bloc empreinte PF : 8 h
- Usinage bloc empreinte PM : 8 h
- Usinage Plaque éjection : 4 h
- Usinage Contreplaque : 4 h
- Découpe des éjecteurs : 2 h
- Contrôle sur MMT : 4 h
- Montage et ajustage moule : 4 h
- Essai sur presse : 4 h
- Coût horaire usinage CN et MMT : 9.541,00 DA
- Coût horaire ajustage : 5.452,00 DA
- Coût horaire réglage presse à injecter : 6.815,00 DA

Chapitre V : Conception de moule

1. Coût étude :

Comprend la recherche de solutions, les calculs, la CAO et le dossier de définition outillage (plans, nomenclature).

$$C_{\text{étude}} = 24 \times 5.452,00 = 130.848,00 \text{ DA}$$

2. Coût matériel :

Comprend le corps de moule et les éléments standards achetés dans le commerce : 16 éjecteurs simples.

$$C_{\text{matériel}} = 136.300,00 + 16 * 408,90 = 142.842,40 \text{ DA}$$

3. Coût matière :

Comprend la matière achetée pour les usinages. Remarque : pour un moule plus complexe, il faudrait rajouter les noyaux, la plaque de fixation des broches de tubulaires ...

- Blocs empreintes :

994,99 DA

- Contreplaque

858,69 DA

- Plaque d'éjection :

640,61 DA

Total :

3.516,54 DA

4. Coût fabrication et mise au point :

- FAO et usinage CN :

$$T_{CN} = 4 + 8 + 8 + 4 + 4 + 2 = 30h$$

286.230, 00 DA

Chapitre V : Conception de moule

- Contrôle sur MMT :

$$T_{MMT} = 4h$$

38164,00DA

- Ajustage, montage du moule :

$$T_{ajust.} = 4h$$

21808, 00 DA

- Essais sur presse :

$$T_{essais} = 4h$$

27260, 00 DA

Total :

373462, 00 DA

Bilan :

Investissement initial de l'outillage :

$$I_0 = 650.968.8, 00 \text{ DA}$$

Environ : 650.000,00 DA

Remarque : il s'agit ici d'un moule de validation de conception simple. Pour un moule série, il y aurait certainement plusieurs empreintes (carcasse plus grande), du traitement de surface et la conception serait plus complexe (circulation d'eau ...).

9. Choix de la presse à injecter :

Le moule étant un moule deux plaques

$$\text{Diamètre de la pièce} = 2 \text{ mm}^3$$

$$\text{Surface} = 2247.01 \text{ mm}^3$$

$$\text{La pression maximale} = 132.2 \text{ MPa}$$

$$\text{Pertes de charges} = 50 \%$$

$$\text{Force de verrouillage} = 1.1 * 0.5 * 132.2 * 2247.01 = 163,38 \text{ kN}$$

Chapitre V : Conception de moule

Volume total des pièces et des canaux : $7,9272 + 4,0316 = 11,9588 \text{ cm}^3$

Matière semi cristalline : température de fusion = 227 °C

Prise en compte de la dilatation de la matière : $C = 0.7$

Prise en compte du matelas : $k = 1.1$

Volume à doser = $(11,9588 / 0.7) * 1.1 = 18,7924 \text{ cm}^3$

Le choix de la presse : DK H 200-500

	DK H 200-500	Besoin
Volume dosage	641 cm ³	18,7924 cm ³
Force de verrouillage	2500 kN	163,38 kN
Epaisseur moule	640 : 220 mm	278.00 mm
Pression maximale d'injection	145 MPa	13,22MPa

Tableau V.1 : Caractéristiques de la presse d'injection



Figure V.14 : presse d'injection DK H 200-500

10. Cahier des Charges de l'outillage de Validation

Fonctions

Pièce :

Pignon plastique 24 dents pour applications diverses : robotique, modélisme, petits automatismes ludiques, etc...

Outillage : Le moule sera construit à l'aide d'empreintes rapportées dans un corps de moule standard.

Il permettra d'obtenir la pièce en vraie matière et en vrai procédé afin de déboucher sur la rédaction du cahier des charges de l'outillage de production.

Caractéristiques technico-économiques

Quantité : La série prévue pour le produit est : 100.000 ensembles sur 5 lancements.

Mode d'obtention : Compte tenu des formes, dimensions et des fonctions de la pièce, le procédé choisi est : Moulage par injection thermoplastique.

Matière : La pièce sera moulée en : POM.

Prix : Le coût de revient pièce en version série est limité à : 10 DA

Spécifications techniques : suivant Plan de définition de la pièce.

Moyens disponibles

Logiciels :

- Simulation d'injection : MoldFlow Plastics Advisers
- CAO produit : SolidWorks
- CAO produit et outillage : SolidWorks, Imold,
- FAO mécanique : Power-Mill
- Bureautique : Microsoft Office

Machines-outils :

- Centres d'usinage 5 axes : Stama MC15 (5 axes)
- Fraiseuse CN : Wirth &Gruffat
- Centre d'Usinage : Realmeca C200

Chapitre V : Conception de moule

- Tour CN : Realmeca T20
- Mesure d'outils : EZ set – Fournel KM1
- Electroérosion à fil : Charmilles Robofil 290
- Electroérosion par enfonçage : Charmilles Roboform
- Presse à injecter : Arburg 220S

Conclusion Générale

Conception un moule est un travail très compliqué qui nous à demander un effort intensif jusqu' au dernière minutes.

Durant la période du projet, on a appris plusieurs notions dans le domaine du simulation et conception nous a permis de bien comprendre le concept des logiciels.

Grace au travail collectif, on a aboutie à la fin du projet à modéliser la pièceréelle au 3D.

Dans le logiciel de conception SolidWorks. La simuler dans le logiciel Moldflow, dimensionner les divers parties du moule, interpréter les résultats et les comparées.

Le travail effectué n'est pas aboutie au bout, le problème qu'on a rencontréétait au niveau de la simulation de l'injection ce qui nous a rendu la tâche plutôt irréalisable à Cause le logiciel ne faire pas le plein d'excellente qualité et à cause de manque total de documentation concernant ce domaine.

Par ailleurs, ceci nous a pas démotivé, par contre, on va foncer vers l'avant jusqu'à la fin du projet.

Bibliographie

- [1] Wikipedia, Transmission: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Transmission_\(m%C3%A9canique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Transmission_(m%C3%A9canique))
- [2] conception et calcul des éléments de machines, volume 3, CHAPITRE 18, GÉOMÉTRIE DES ENGRENAGES ET ROUES DENTÉES, p1/402
- [3] Chevalier guide du dessinateur industriel p297/338
- [4] Carrefour-numérique, mécanique:engranches_denture_droite,http://carrefour-numerique.citesciences.fr/fablab/wiki/doku.php?id=ressources:meccanique:engranches_denture_droite
- [5] Wikimeca , Les_engrenages :http://wikimeca.org/index.php?title=Les_engrenages
- [6] ALENCAR BRAVO DOCTORAT PRÉSENTÉ À L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES, "ÉTUDE DE L'ENDOMMAGEMENT THERMOMÉCANIQUE DES PIÈCES EN BIOPLASTIQUES ET COMPOSITES DE FIBRES NATURELLES : APPLICATION AUX ENGRENAGES" Page 65-67
- [7] Julien CATHELIN THÈSE "MODÉLISATION DU COMPORTEMENT MECANIQUE"
- [8] Jean-François Pichon et Christophe Guichou, Aide-mémoire "INJECTION DES MATIÈRES PLASTIQUES" 4 édition
- [9] Djoudi Tarek, Djemal Hocine, "Étude de la phase de remplissage du moulage par injection dans le cas d'un moule secteur", mémoire d'ingénieur, université Mohamed khider BISKRA, 2001.
- [10] R. Nunn, "The reciprocating screws process", Chapter 8, p. 56-88, Injection Moulding Handbook, 1986
- [11] C. Rauwendaal, "Polymer extrusion", Munich, Hanser, 4th edition, 2001
- [12] C F P, concevoir un produit injecté, Lyon : Centre de Formation de la Plasturgie, 2002.
- [13] M. Carrega, Aide mémoire matières plastiques, 2007 : Dunod.
- [14] J. F.Pichon, Aide mémoire- injection des matières plastique, 2001 : Dunod.
- [15] RABOURDIN INDUSTRIE, composants standards de moule, Paris France : RABOURDIN, 2014.

[16] C. Corbet, *Mémotech en matières plastiques*, Paris : educalivre, 2001.

[17] Eliette Mathey, *Optimisation numérique du refroidissement des moules d'injection*

[18] conceptec-net , conceptec.net

Résumé :

Le présent mémoire s'intéresse à la conception d'un moule à injection plastique pour les engrenages (24 dents) qui est utilisé dans le domaine de la robotique et en appareils électroniques (ordinateur, imprimante, machine à laver...).

Pour cela, nous avons utilisé logiciel SolidWorks la validation de la conception de la pièce.

Deuxièmement, une série de simulation numérique a été faite pour le coulé de la matière plastique (POM) dans le moule et pour améliorer la qualité de pièces produites, cela à l'aide de logiciel de simulation MoldFlow.

Troisièmement, un moule à injection plastique a été conçu à l'aide du logiciel SolidWorks-Imold, le modèle accompagné avec cahier de charge et le choix de la presse d'injection et les couts de moule.

Abstract:

The present work concern the design of a plastic a injection mold of a Gear (24 teeth)

Which is used in used in robotics and electronics (computer printer, washing machines...)

For this, we used the SolidWorks Software to validate the design of Gear.

Secondly, a series of numerical simulation has been made to the cast in the plastic material of the wheel, to improve the quality of the parts, for this we are used the MoldFlow Software.

Thirdly, injection mold plastic was designed using software Imold accompanied with notebook support and the choice of the injection press and the mold cost.

ملخص

إن العمل الذي قمنا به في الأطروحة هو تصميم قالب لحقن البلاستيك خاص بـ « المسنن الصغير » (24 سن) والذي يستخدم في مجال الروبوتات والأجهزة الإلكترونية (الكمبيوتر، الطابعة، الغسالة)

أولاً قمنا بتصميم المسنن باستعمال برنامج Solidworks

ثانياً قمنا بسلسلة من المحاكاة الرقمية لسكب البلاستيك داخل القالب وذلك لتحسين نوعية القطع المنتجة وهذا باستخدام برنامج moldflow adviser

ثالثاً قمنا بتصميم شكل القالب وذلك باستعمال برنامج solidworks imold كما قمنا بإرفاقه بدفتر الشروط مع اختيار آلة الحقن المناسبة مع حساب التكاليف الكلية لصنع القالب