

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

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE de Technologie
DEPARTEMENT Génie Mécanique
N° :



DOMAINE : science technologie
FILIERE : Génie Mécanique
OPTION : PRODUCTIQUE

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par :

Belaribi Abdelkarim

Saàdaoui Oussama

Intitulé :

**Etude du procédé de production des
pièces par injection des thermoplastiques**

Soutenu devant le jury composé de:

Benarioua. Y

Université M'sila

Président

Daudari. A

Université M'sila

Rapporteur

Bendjaima. T

Université M'sila

Examineur

Année universitaire : 2016 / 2017



REMERCIEMENT

Tout d'abord, nous devons remercier « ALLAH » le tout puissant de nous avoir donné tout le courage et la santé pour achever ce travail.

A Monsieur DOUDARI AMMER, pour nous avoir suivi durant notre travail dans le cadre de ce mémoire, pour ces conseils précieux, pour sa disponibilité et la compétence de son encadrement, qu'elle trouve ici notre reconnaissance et notre respect.

Un grand merci à Monsieur ROKBI MENSOUR, chef département de génie mécanique pour tous les conseils et l'encouragement...

Enfin nous remercions nos familles et nos amis pour leur soutien moral et leurs aides, ainsi que tous ce qui nous avaient soutenu et aidé tout au long de ce travail

dédicace

*À mes parents
À mon Cher frère
À mes chères sœurs
À la famille BELARIBI et la
Famille SAADAOU
A nos enseignants de l'école
Primaire jusqu'à l'université
À toutes nos cher(e)s ami(e)s
À toute la promotion Master
Mécanique
2016-2017
À tous ceux qui nous sont chers.*

*SAADAOU OUSSAMA
BELARIBI ABD ELKARIM*

MERCE A TOUTE

SOMMAIRE

Sommaire	I
Liste des figures	VI
Liste des tableaux	X

Introduction générale	1
-----------------------------	---

CHAPITRE I : PROCÉDE DE PRODUCTION

I.1.Introduction.....	2
I.2. production sans enlèvement de matière	3
I.2.1. Généralités sur le soudage	3
I.2.1.1. Soudage à l'arc électrique	3
I.2.1.2. Soudage à électrode enrobée.....	4
I.2.1.3. Soudage MIG – MAG	5
I.2.1.4. Soudage TIG.....	5
I.2.1.5. Soudage par résistance.....	6
I.2.1.6. Soudage par friction	7
I.2.3. D'emboutissage	8
I.2.4. Pliage	8
I.2.5. L'extrusion	9
I.2.6. Forgeage libre.....	9
I.2.7. Tréfilage	10
I.2.8. Estampage et matriçage.....	11
I.2.9. Laminage	11
I.2.10. La fonderie	12
I.2.10.1. Moulage en sable.....	13
I.2.10.2. Moulage par gravité	13
I.2.10.3. Le moulage basse pression.....	13
I.2.10.4. Le moulage sous pression	14
I.2.10.5. Moulage par centrifugation.....	14
I.2.10.6. Moulage par insert (ou surmoulage).....	14
I.3 production avec enlèvement de matière.....	15

I.3.1. Tournage.....	15
I.3.2. Fraisage	15
I.3.3. Perçage	15
I.3.4. Brochage.....	16
I.3.5. Électroérosion.....	16
I.3.6. Poinçonnage	17
I.3.7. Découpage	17
I.4.Conclusion	18

CHAPITRE II : GÉNÉRALITES SUR LES MATIERES PLASTIQUES

II.1. Introduction	18
II.2. Les Plastiques	19
II.3. Les polymères.....	19
II.3.1. Définition d'un polymère.....	19
II.3.2. Classification.....	20
II.3.3. Structures	21
II.3.4. Thermoplastiques	21
II.3.4.1. Polymères amorphes.....	21
II.3.4.2. Polymères cristallins.....	22
II.3.4.3. Polymères semi-cristallins	22
II.3.4.4. Avantages et désavantages des thermoplastiques.....	23
II.3.5. Thermodurcissables	23
II.3.5.1. Avantages et désavantages des thermodurcissables.....	24
II. 3.6. Les élastomères	24
II.3.7. Les différents états des polymères	24
II.4. Appellation et Symboles.....	25
II.5. Les caractéristiques des polymères synthétiques les plus utilisés	26
II.5.1. Le Polypropylène (PP)	26
II.5.2. Polyéthylène (PE bd)	26
II.6. Coloration des matières plastiques	26
II.6.1. Colorant à sec :.....	27
II.6.2. Colorants dans la masse	27
II.7. Recyclage.....	27

II.2.6. Propriétés mécaniques.....	27
II.3. Conclusion.....	28

CHAPITRE III : PROCEDE DE PRODUCTION PAR INJECTION THERMOPLASTIQUE

III.1. Introduction.....	29
III.2. Définition du procédé.....	30
III.3. Principe du procédé.....	30
III.4. Déroulement du cycle d'injection.....	30
III.4.1. Phases de moulage par injection.....	31
III.4.1.1. La phase de plastification.....	31
III.4.1.2. La phase de remplissage.....	32
III.4.1.3. La phase de compactage.....	33
III.4.1.4. La phase de refroidissement et d'éjection.....	33
III.5. Etude de la Presse à injection.....	35
III.5.1. Description d'une presse a injection.....	36
III.5.2. La structure de presse d'injection.....	37
III.5.3. Principe de fonctionnement.....	37
III.5.4. Caractéristiques des presses.....	38
III.6. Composants de la machine.....	38
III.6.1. Le bâti.....	38
III.6.2. L'unité de plastification/injection.....	39
III.6.2.1. L'unité d'injection.....	39
III.6.2.2. Pots d'injection.....	40
III.6.2.3. Les vis d'injection.....	40
III.6.2.4. Tracé de la vis.....	41
III.6.2.5. Les différentes phases de transformation de polymère dans le système vis-fourreau.....	43
III.6.2.6. La buse.....	43
III.6.2.6.1. Calcule des buses des presses d'injection.....	44
III.6.3. Position du point d'injection.....	46
III.6.3.1. Recherche de centre de gravite.....	46
III.6.4. seuil.....	47
III.6.5. Les colliers chauffants et les barres de fixations.....	47

III.7. Le moule.....	48
III.7.1. Définition.....	48
III.7.2. L'unité de fermeture	50
III.7.2.1. Force de fermeture	52
III.7.2.2. Course de fermeture ou d'ouverture	52
III.7.3. Dimension des plateaux	52
III.7.3.1. Passage entre colonne	53
III.7.3.2. Fixation sur plateaux.....	53
III.7.3.3. Rayon de portée de la buse	53
III.7.4. Canaux d'alimentation.....	53
III.7.5. Events d'évacuation de l'air	56
III.7.6 L'éjection.....	56
III.7.8. Refroidissement des moules	57
III.7.8.1 Rôle du refroidissement	57
III.7.8.2. Principe de refroidissement.....	58
III.7.9. La régulation thermique des moules.....	58
III.7.9.1. Circulation du fluide	58
III.8. Temps de refroidissement des pièces moulées.....	59
III.9. Dilatation thermique.....	61
III.10. Capacité thermique massique.....	61
III.11. Puissance de chaleur.....	62
III.12 Les conditions de moulage	62
III.12.1 Masse de matière mise en œuvre	62
III.12.2 Pression de moulage	62
III.12.3 Chauffage des moules et régulation de température.....	62
III.12.4. Puissance nécessaire à la mise en température	63
III.12.5 Puissance nécessaire au maintien de la température.....	64
III.12.6. Polymères injectés	65
III.12.7 Régime d'écoulement:.....	67
III.12.8. Temps de cycle	67
III.12.9. Poids de la pièce	67
III.13. Conclusion.....	68

CHAPITRE IV : SIMULATION DU MOULAGE DE L'HELICE

IV.1 Introduction.....	69
IV.2. Définition	70
IV.3. L'hélice de climatiseur	70
IV. 3. 1. Modèle 3D maillage associé.....	71
IV. 3. 2. Dessin finale de l'hélice avec SolidWorks.....	72
IV.3.3. La matière utilisée	73
IV.3.3.1. Caractéristique de base	73
IV.3.3.2. Caractéristique mécanique	73
IV.3.3.3. Caractéristique physique	74
IV.4. La presse d'injection plastique HAITEN SA 5300	74
IV.4.1. Spécification d'une presse HAITEN 5300	75
IV.5. La fabrication d'une hélice de climatiseur	77
IV.5.1. Etape 01 : chargé la trémie	77
IV.5.2. Etape 02 : phase de plastification	78
IV.5.3. Etape 03 : phase de remplissage	79
IV.5.4. Etape 04 : phase de compactage	81
IV.5.5. Etape 05 : le maintien et refroidissement de la pièce	83
IV.5.6. Etape 06 : l'éjection de la pièce.....	83
IV.6. Cas de l'article au cours de la simulation.....	84
IV.7. Conditions du processus.....	85
IV.8. Conditions de Refroidissement	85
IV. 9. Résultats de simulation	85
IV.10. Interprétation des Résultats	88
IV.11. Cycle de moulage pour une hélice thermoplastique	92
IV.12. Partie commande.....	93
IV.12.1. Mode manuel.....	93
IV.12.2. Étapes du cycle sont les suivantes	95
IV.12.3. Touches numériques opérationnels	95
IV.12.4. Touches moteur opérationnel	96
IV.13. Conclusion	97
Conclusion générale.....	98

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figuer (I.1): Cordon de soudure	3
Figuer (I.2): Soudage à l'arc électrique	4
Figuer (I.3): Soudage à électrode enrobée.....	4
Figuer (I.4) : Procédés de soudage MIG/MAG	5
Figuer (I.5) : Principe du procédé TIG.....	6
Figuer (I.6): Procédés de soudage par résistance électrique, a) soudage par point, b) soudage à la molette, c) soudage par bossage, et d) soudage par bossage pour un goujon	6
Figuer (I.7) : Principe du soudage par friction.....	7
Figuer (I.8) : Procédé d'emboutissage	8
Figuer (I.9) : Procède de pliage.....	8
Figuer (I.10) : Pliage a) en V b) en U c) en tombé de bord.....	9
Figuer (I.11) : Opération d'extrusion.....	9
Figuer (I.12) : Marteau ou marteau-pilon	10
Figuer (I.14): Schéma de principe du procédé de tréfilage.....	10
Figuer (I.15) : Estampage ou matriçage	11
Figuer (I.16) : Schéma des trains de laminoirs	12
Figuer (I.17) : Schéma de principe de laminage.....	12
Figuer (I.18) : Exemple d'obtention d'une pièce par moulage en sable.....	13
Figuer (I.19) : procédé d'injection sous pression	14
Figuer (I.20) : procède de tournage	15
Figuer (I.21) : procède de Fraisage.....	15
Figuer (I.22) : procède de Perçage	16
Figuer (I.23) : procède Brochage	16
Figuer (I.24) : procède d'électroérosion	17
Figuer (I.25): procède Poinçonnage	17

CHAPITRE II

Figuer (II.1) : Domaines d'application des plastiques	18
Figuer (II.2) : Répartition de la production mondiale de plastique.....	18
Figuer (II.3) : La constitution d'un polymère.....	20

Figuer (II.5) : Morphologie des thermoplastiques	22
Figuer (II.6) : Morphologie des thermodurcissables	23
Figuer (II.7) : États des polymères.....	24

CHAPITRE III

Figuer (III.1) : presse d'injection.....	30
Figuer (III.2) : Déroulement du cycle d'injection.....	31
Figuer (III.3) : phase de plastification	32
Figuer (III.4) : phase de remplissage.	32
Figuer (III.5) : phase de compactage.	33
Figuer (III.6) : phase de refroidissement et d'éjection de la pièce	34
Figuer (III.7) : Déroulement d'un cycle d'injection.....	34
Figuer (III.8) : Cycle du moulage par injection	35
Figuer (III.9): Presse à injecter les thermoplastiques.....	36
Figuer (III .10) : Cylindre de plastification et moule.....	36
Figuer (III.11): La structure de presse d'injection	37
Figuer (III.12): Schéma d'une presse à injecter électrique à vis de plastification.....	38
Figuer (III.13) : L'unité de plastification	39
Figuer (III.14) : L'unité d'injection	39
Figuer (III.15) : pots d'injection	40
Figuer (III 16) Vis de plastification.....	41
Figuer (III.17) : Schéma d'une mono-vis avec trois zones.....	42
Figuer (III.18) : les différentes phases de transformation de polymère dans le système vis- fourreau.....	43
Figuer (III.19) : la buse.....	44
Figuer (III.20) différents types des buses d'injection.....	45
Figuer (III.21) buses d'injection	45
Figuer (III.22) centre de gravité de la pièce.	46
Figuer (III.23) : Méthode de calcul.	46
Figuer (III.24) : seuil d'injection.....	47
Figuer (III.25) : Un des trois colliers chauffants spéciaux.....	48
Figuer (III.26) Présentation du moule. [25].....	49
Figuer (III.27) : Groupe de fermeture à genouillères	50

Figuer (III.28) : Groupe de fermeture à verrouillage hydraulique	51
Figuer (III.29) : Groupe de fermeture mixte.....	52
Figuer (III.30) : les plateaux de mole	53
Figuer (III.31) : Les différents types de canaux d'alimentation.....	54
Figuer (III.32) : canaux circulaire et demi-circulaire.....	54
Figuer (III.33) : Canaux Trapézoïdale.....	54
Figuer (III.34) : Canal principal et Canal Secondaire.	55
Figuer (III.35) : Système des Canaux.	55
Figuer (III.36) : Exemples de l'emplacement des canaux.....	56
Figuer (III.37) : Events sur le plan de joint.....	56
Figuer (III.38) Éjecteur en forme de soupape	57
Figuer (III.39) Circuit de refroidissement des plaques de moules	58
Figuer (III.40) : Montage en série	59
Figuer (III.43) Temps de refroidissement dans le moulage par Injection des thermoplastiques.....	60
Figuer (III.44) Allure du diagramme PVT d'un polymère Amorphe	65
Figuer (III.45) Allure du diagramme PVT d'un polymère semi-cristallin [17].....	65
Figuer (III.47) : Evolution de la pression moyenne et de la température moyenne dans le polymère au cours de l'injection.....	67

CHAPITRE IV

Figuer (IV .1) : Mise en plan de l'hélice	70
Figuer (IV.2) : modèles 3D maillés.....	71
Figuer (IV .3) : dessin de l'hélice par SolidWorks	72
Figuer (IV.4) : Machine HAITEN.....	74
Figuer (IV.5) : Réservoir de granulés	77
Figuer (IV.6) : Aspirateur	77
Figuer (IV.7) : Vis de la presse avec SolidWorks.....	78
Figuer (IV.8) : phase de plastification.....	78
Figuer (IV.9) : Coupe de vis moule avec SolidWorks.....	79
Figuer (IV.10) : Représentation de la résine dans la vis	79
Figuer (IV.11) : les collies chouffant	80

Figuer (IV.13) : Phase de compactage.....	82
Figuer (IV.14) : Les deux partie de moules.....	82
Figuer (IV.15) : la pièce après le refroidissement	83
Figuer (IV.16) : éjections la pièce	84
Figuer (IV.17) : viscosité du polymère en fonction du taux de cisaillement.....	85
Figuer (IV.18) : Volume spécifique du polymère en fonction de la température.....	86
Figuer (IV.19) : Pression Max d'entrée en fonction du temps.	86
Figuer (IV.20) : Débit d'entrée en fonction du temps.	86
Figuer (IV.21) : Coefficient de dilatation thermique en fonction de température.....	87
Figuer (IV.22) : Chaleur spécifique en fonction de température.....	87
Figuer (IV.23) : Conductivité thermique en fonction de la température.....	87
Figuer (IV.24) : Temps de remplissage.....	88
Figuer (IV.25) : Pression a la fin de remplissage	89
Figuer (IV.26) : La croissance de température à la fin du remplissage.....	89
Figuer (IV.27) : Contraint de cisaillement à la fin du remplissage	90
Figuer (IV.28) : Taux de cisaillement à la fin de remplissage.	90
Figuer (IV.29) : Retrait volumique à l'éjection.	91
Figuer (IV.30) : Temps de refroidissement.....	91
Figuer (IV.31) : Machine HAITEN et son tableau de commende	93
Figuer (IV.32) : chaine cinématique du cycle	95

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITER I

Tableau (II.1) : Date de commercialisation des principaux plastiques et exemples d'applications **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau (II.2): Représentation et dénomination des quatre polymères synthétiques les plus utilisés..... **Erreur ! Signet non défini.**

CHAPITER II

Tableau (II.3) : Avantages et Inconvénients des thermoplastiques **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau (II.5) : Avantages et Inconvénients des thermodurcissables..... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau (II.5) : Appellation et Symboles des matières plastiques **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau (II.6) : Propriétés mécaniques et thermiques du PP..... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau (II.7) : Propriétés mécaniques et thermiques du PE bd..... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau (II.8) : Caractéristiques mécaniques **Erreur ! Signet non défini.**

CHAPITER III

Tableau (III.3) : Paramètres d'injection de différents thermoplastiques.....61

CHAPITER IV

Tableau (IV.1) : Caractéristique de la matière pp **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau (IV.1) : Spécification d'une presse HAITEN 5300 **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau (IV.2) : représente la matière polypropelaine pp dans le moule..... **Erreur ! Signet non défini.**

INTRODUCTION GENERAL

Introduction générale

La révolution industrielle fut l'avènement de la fonte et de l'acier, nous vivons aujourd'hui dans un monde où les matières plastiques dominent. L'électrotechnique, l'électricité, la médecine, le bâtiment, le transport, l'agriculture, et font un usage de plus en plus courant

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

Son principe consiste à remplir le polymère thermoplastique fondu dans une cavité, appelée empreinte, à l'intérieure d'un moule. Lorsque celui-ci se refroidit, la pièce se solidifie tout en se contractant : le volume occupé par la pièce solidifiée est inférieur à celui de l'empreinte, on appelle ce phénomène le retrait. Lorsque la solidification est terminée, il y a ouverture du moule et éjection de la pièce.

Notre travail de recherche est divisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre a pour objectif de donner des généralités concernant les procédés de fabrication d'une pièce, avec et sans enlèvement de matière.

Le deuxième chapitre expose quelques généralités sur les matières plastiques, utilisées pendant le moulage par injection.

Dans le troisième chapitre, on présente la structure de la presse d'injection et on explique la conception du moule, ainsi que les paramètres de mise en œuvre du moulage par l'injection.

Dans le quatrième chapitre, on fait une étude sur le processus de production d'une pièce (hélice), c'est-à-dire ; de la matière première jusqu'au produit fini. Notre étude c'est faite essentiellement grâce au logiciel SOLIDWORKS.

CHAPITRE I

PROCEDE DE PRODUCTION

I.1.Introduction

Le procédé de fabrication est un ensemble de techniques pour obtenir une partie ou l'objet à travers la transformation des matières premières. Morceau désiré nécessite parfois l'utilisation de procédés de fabrication différents consécutifs. Techniques de l'Assemblée ne font pas partie du processus de fabrication, ils entrent une fois dans différentes parties ont parlé processus de fabrication fabriquées. On pour tous les objets.

Ces processus varient en termes de méthode de fabrication il y a la production dépendante sans enlèvement de matière (soudage, emboutissage, cintrage) ou enlèvement de matière (tournage, perçage, fraisage)

I.2 production sans enlèvement de matière

I.2.1. Généralités sur le soudage

Le soudage des métaux est une technique d'assemblage permanent qui établit la continuité métallique entre les pièces soudées. La soudure est le nom donné au joint formé par la fusion des bords des pièces à souder entre elles, avec ou sans adjonction d'un métal d'apport. La soudure peut donc être le résultat du seul mélange des métaux de base (les métaux à souder) ou du mélange des métaux de base et d'un métal d'apport. Beaucoup de métaux sont soudables moyennant des études préalables et la mise au point de modes opératoires spécifiques ; citons les aciers, le cuivre, l'aluminium, le nickel et leurs alliages [1]

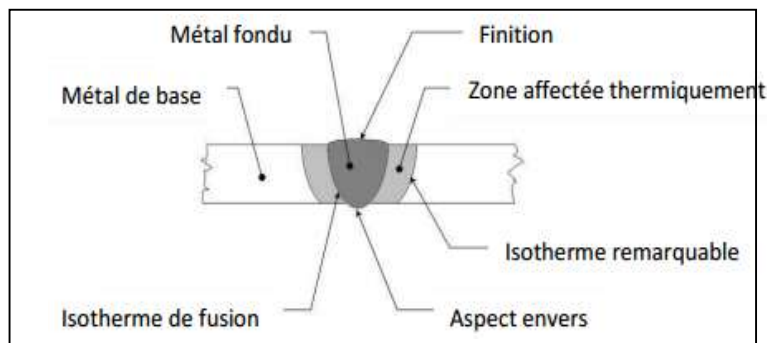


Fig (I.1): Cordon de soudure [1]

Les différentes techniques de soudage :

- ✓ Arc électrique
- ✓ électrode enrobée
- ✓ MIG – MAG
- ✓ TIG
- ✓ Par friction
- ✓ Par résistance

I.2.1.1. Soudage à l'arc électrique

Principe :

En soudage à l'arc, l'énergie calorifique est produite par un arc jaillissant entre une électrode et les pièces à assembler. Le métal d'apport est constitué de l'électrode elle-même ou par une baguette indépendante (dans ce cas, l'électrode est en matériau réfractaire)

Oxydation et protection :

A haute température, l'oxygène de l'air vient oxyder les matériaux soudés. Il faut donc protéger le cordon de soudure en l'isolant soit par un flux solide soit par une barrière gazeuse. [1]

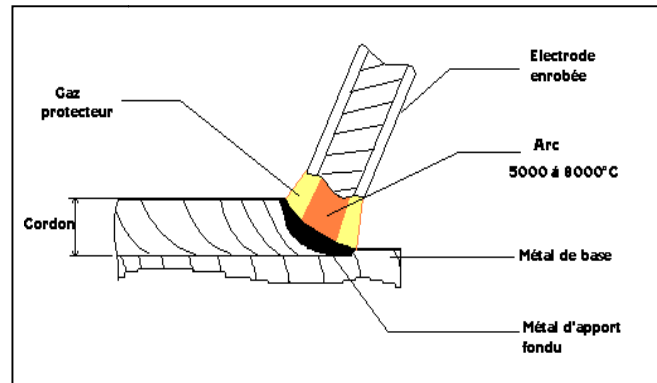


Fig (I.2): Soudage à l'arc électrique [1]

I.2.1.2. Soudage à électrode enrobée

C'est sans doute le procédé le plus largement utilisé : il nécessite un investissement faible, et est d'un usage relativement facile pour les assemblages courants. C'est un procédé exclusivement manuel, dans lequel l'électrode est constituée d'une âme métallique cylindrique autour de laquelle est pressé un enrobage

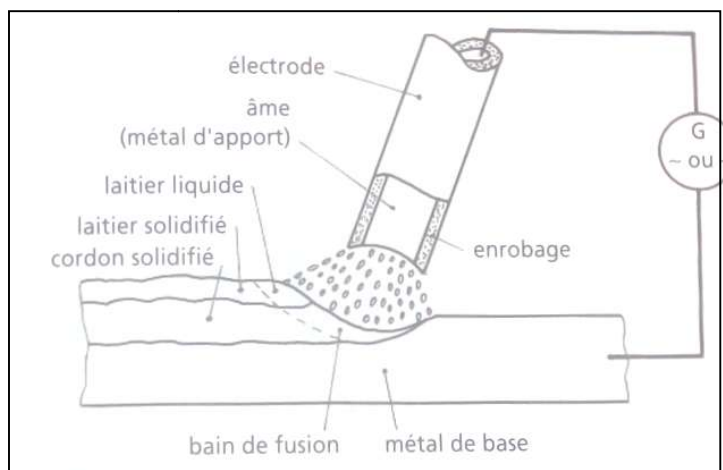


Fig (I.3): Soudage à électrode enrobée [6]

L'âme qui constitue le métal d'apport va fondre dans l'opération. L'enrobage entoure l'électrode et joue un triple rôle : électrique (stabilisation de l'arc), mécanique (guidage du métal lors du transfert de l'électrode vers le bain de fusion), et métallurgique (protection du métal d'apport pendant son transfert, et du métal fondu pendant son refroidissement). L'enrobage, après fusion, recouvre le cordon et prend le nom de laitier : ce dernier devra être soigneusement éliminé lorsque le métal sera refroidi. [6]

I.2.1.3. Soudage MIG – MAG

La fusion est obtenue grâce à un arc électrique s'établissant entre le fil-électrode, continu et fusible, et le métal de base (Fig I.4). Un gaz ou un mélange de gaz provenant d'une source externe assure la protection du bain de fusion contre la contamination atmosphérique durant le soudage. La chaleur que dégage l'arc provoque la fusion de l'extrémité du fil-électrode et du métal de base.

Différentes formes de gouttelettes de métal tel, projetées du fil-électrode vers le bain de fusion où elles se solidifient, produisent la soudure désirée. Le fil-électrode, généralement de petit diamètre (0,6 à 2,4 mm), est continuellement amené à l'arc de soudage, par un mécanisme de dévidage, où il fond sous l'effet de la chaleur qui y est générée. [1]

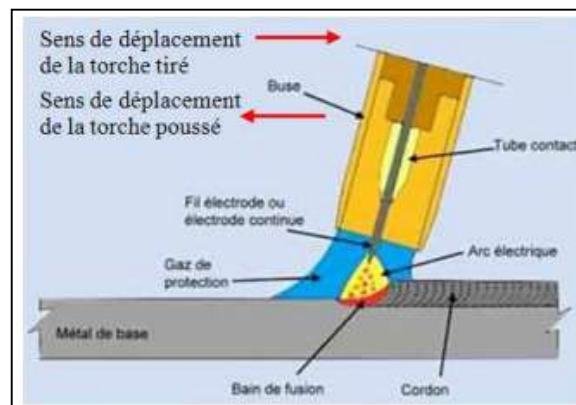


Fig (I.4) : Procédés de soudage MIG/MAG [1]

- **Le procédé MAG (Métal Active Gaz)** qui utilise un gaz actif. Il peut s'agir de gaz carbonique (CO₂), d'un mélange d'argon et de gaz carbonique (Ar-CO₂) ou d'un mélange d'argon et d'oxygène (Ar-O₂).
- **Le procédé MIG (Métal Inerte Gaz)** qui emploie un gaz inerte, à savoir de l'argon (Ar), de l'hélium (He) ou un mélange d'argon et d'hélium (Ar-He). [1]

I.2.1.4. Soudage TIG

Le procédé TIG (de l'anglo-saxon Tungstène Inerte Gaz) utilise une électrode réfractaire en tungstène qui sert à amorcer l'arc, et un gaz inerte (exclusivement argon ou hélium ou mélange des deux), pour protéger le métal à haute température. On peut souder avec ou sans métal d'apport : dans le premier cas, le fil sera amené extérieurement à la torche (fig I.5). [6]

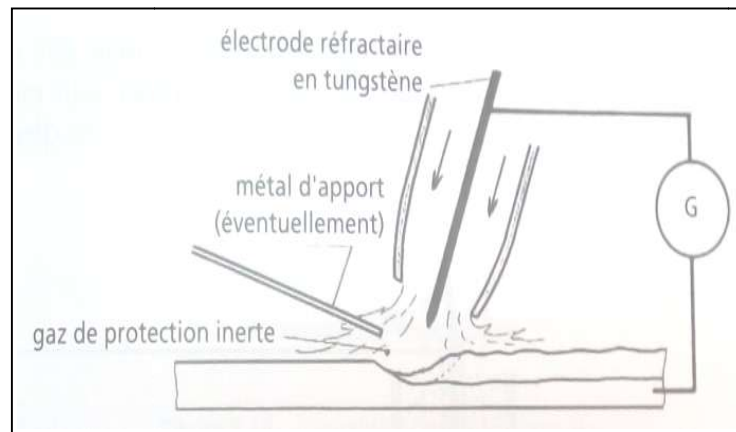


Fig (I.5) : Principe du procédé TIG [6]

I.2.1.5. Soudage par résistance

Le soudage par résistance est un procédé simple et rapide, qui produit la chaleur grâce à la résistance électrique à l'interface en appliquant un effort de serrage, et une forte intensité électrique. C'est un procédé de soudage sans atmosphère protectrice. [2]

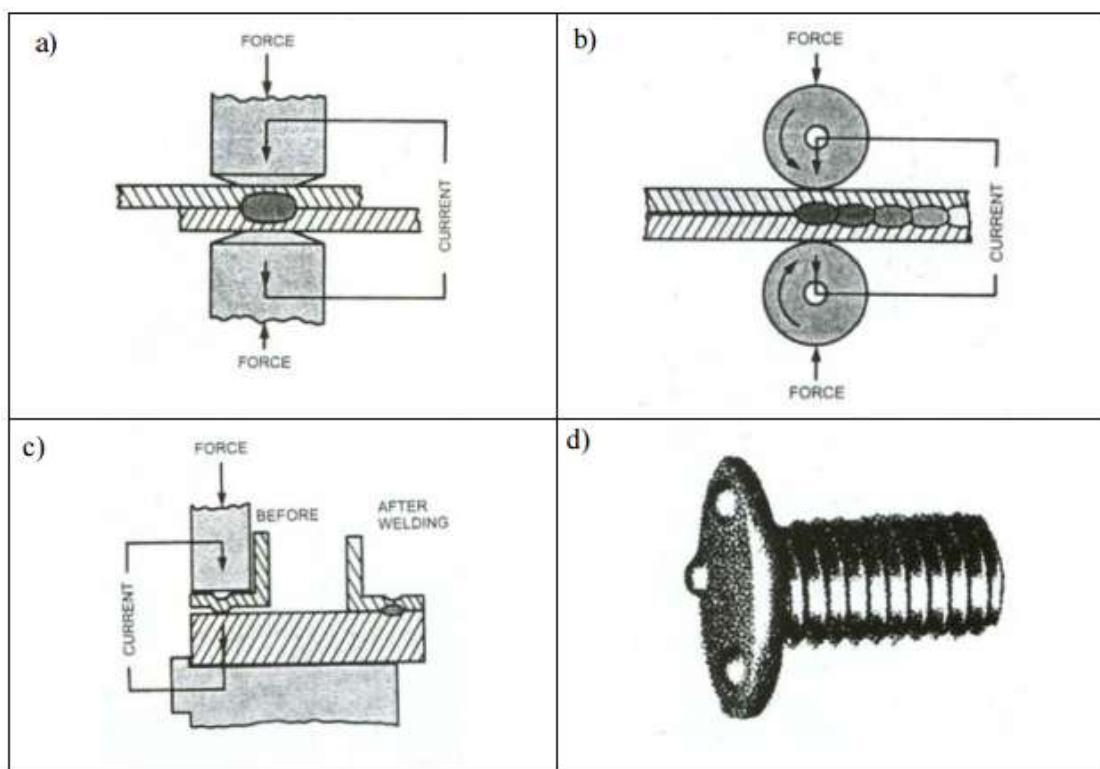


Fig (I.6): Procédés de soudage par résistance électrique, **a)** soudage par point, **b)** soudage à la molette, **c)** soudage par bossage, et **d)** soudage par bossage pour un goujon [2]

Les procédés de soudage par résistance électrique incluent le soudage par point, le soudage à la molette, et le soudage par bossage. Typiquement pour ces procédés, des électrodes en cuivre sont utilisées pour passer le courant et pour appliquer l'effort de serrage. Les paramètres de soudage sont l'intensité, le temps, l'effort, et l'électrode. La plupart de ces procédés se réalisent par

l'usage du courant AC monophasé avec une forte intensité, qui est l'ordre de dizaine de kilo-Ampère. Le courant DC "moyenne fréquence" s'envisage également dans la pratique.

I.2.1.6. Soudage par friction

Principe :

La rotation est le moyen presque exclusivement utilisé pour créer la friction (fig I.7). La pièce qui tourne est serrée dans un mandrin rotatif entraîné par un moteur ou un volant d'inertie ; aussi doit-elle présenter au moins dans la zone de soudage une symétrie de révolution.

Dans ce processus, les faces en contact s'échauffent et deviennent la source de chaleur qui, par diffusion, élève la température des extrémités des pièces. Celles-ci deviennent plastiques et un fluage se produit vers la périphérie en formant un bourrelet caractéristique, tandis que la chaleur continue de se diffuser. Lorsque la température de soudage est atteinte, la rotation est arrêtée et un effort de forgeage est appliqué pour former la soudure.

Dans la pratique, le soudage par friction s'applique de façon naturelle à des assemblages, selon leur axe commun, de deux pièces cylindriques, pleines ou creuses et de même section droite au niveau du joint. Les applications se rencontrent donc surtout dans la construction de pièces mécaniques. [8]

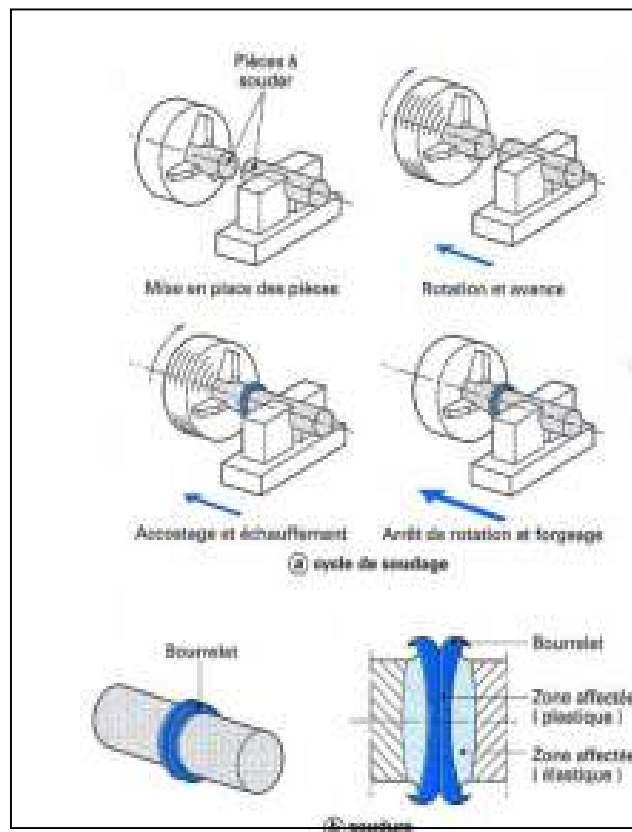


Fig. (I.7) : Principe du soudage par friction

I.2.3. D'emboutissage

L'emboutissage est un procédé de formage par de formation plastique à chaud ou à froid des métaux. Il transforme une feuille de métal appelée flan en une surface généralement non développable

L'opération de l'emboutissage de tôles nécessite une presse à emboutir de forte puissance munie d'outillages spéciaux qui comportent, trois pièces (Fig. I.8) :

- Un poinçon couissant suivant l'axe vertical, et déformant la tôle.
- Une matrice qui sert d'appui à la tôle et lui donne la forme extérieure finale.
- Un serre flan qui a le rôle de maintenir le flan afin d'assurer un écoulement homogène du métal et de prévenir les risques de plis ou autres défauts d'emboutissage. [5]

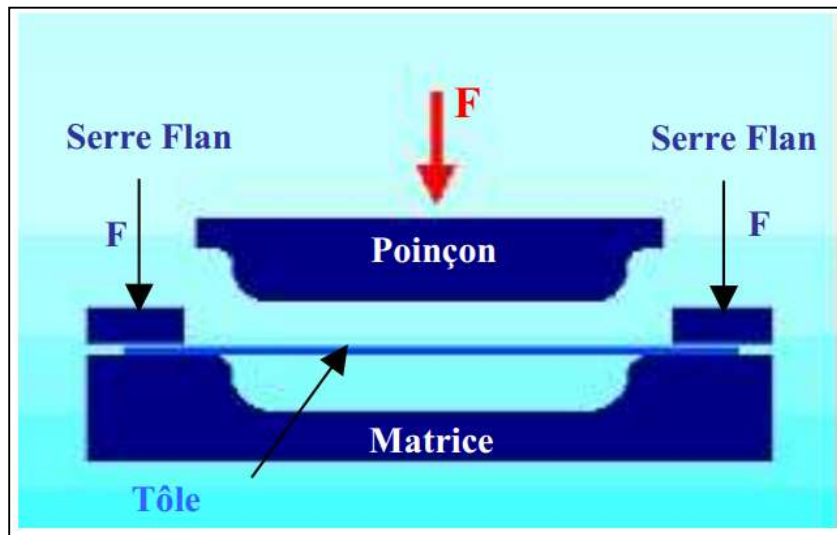


Fig (I.8) : Procédé d'emboutissage [5]

I.2.4.Pliage

Le pliage est la technique la plus utilisée dans la mise en forme. Une pièce pliée est formée par l'action verticale d'un poinçon rectiligne, sur une tôle supportée par une matrice (Fig I.9) dont les rayons d'attaque sont parallèles à l'arête du poinçon [5]

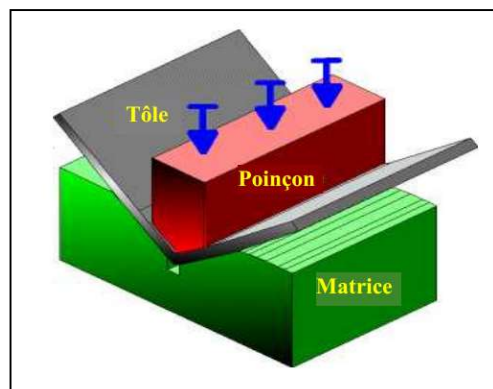


Fig (I.9) : Procède de pliage [5]

Il existe plusieurs types de pliage illustrés sur la (fig I.10) sur laquelle peuvent être distingués le pliage en V, le pliage en U et enfin le pliage par tombé de bord. C'est ce dernier cas de pliage qui sera retenu dans notre étude. [4]

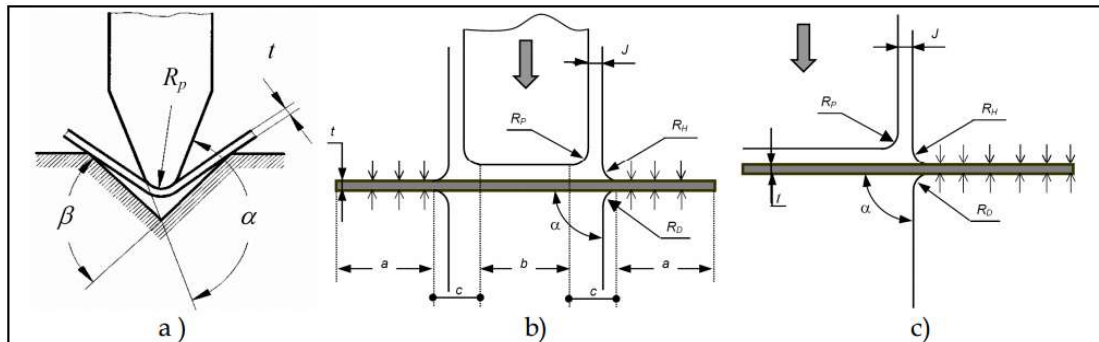


Fig (I.10) : Pliage a) en V b) en U c) en tombé de bord. [4]

I.2.5. L'extrusion

Est un procédé de filage assez récent, qui consiste à porter les métaux à une température adéquate, puis à les faire passer, sous une très forte pression, à travers une filière (matrice) dont les ouvertures définissent le profil recherché. [4]

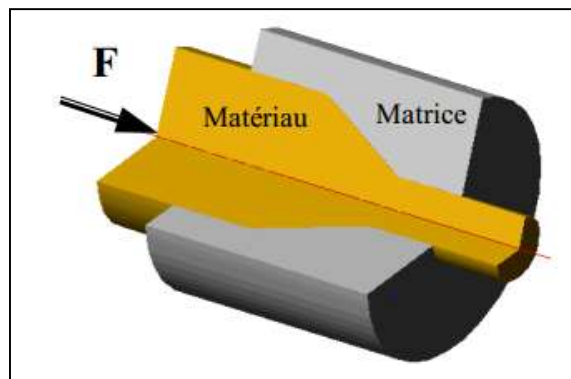


Fig (I.11) : Opération d'extrusion. [4]

Avantage :

- Meilleure précision que le matriçage ou l'estampage ;
- Bons états de surface ;
- Sections des profilés pouvant être creux et très complexes ;

Inconvénients :

- Nécessite beaucoup d'énergie (travail à chaud) ;
- Formes limitées à des « extrusions ». [4]

I.2.6. Forgeage libre

Le forgeage est le procédé le plus ancien de la mise en forme qui a survécu à ce jour. Le forgeage est l'ensemble des techniques permettant d'obtenir une pièce mécanique en appliquant une force importante sur une barre de métal, à froid ou à chaud, afin de la contraindre à épouser la forme voulue. Le forgeage implique un dispositif de frappe *marteau ou marteau-pilon* (Fig I.12), et un support *enclume ou matrice* (Fig I.13).

Principe

Sous l'action d'une forte pression ou d'une succession de chocs, un bloc de métal chauffé (800 à 1200 °C) se déforme plastiquement vers les surfaces restées libres. Aucune matrice ne délimite la déformation du matériau, et la forme obtenue dépend fortement du savoir-faire de l'opérateur. [3]



Fig (I.12) : Marteau ou marteau-pilon

Fig (I.13) : Matrices d'outillages pour forgeage

I.2.7. Tréfilage

Le tréfilage est une opération de mise en forme son principe est basé sur la diminution de la section d'une barre ou un fil métallique par tirage mécanique sur une machine à tréfiler (tréfileuse). Cette technique utilise donc l'aptitude à la déformation plastique du métal. Les usines spécialisées dans le tréfilage sont nommées des tréfileries.

Le fil machine, sous forme de bobine, est posé sur un dévidoir. Il est enroulé sur un ou des cabestans, qui, par frottement, exercent une traction sur le fil. Le fil passe dans une filière, en amont du cabestan, qui impose au fil une déformation par réduction de section. La filière est abondamment lubrifiée, pour assurer le maintien d'un bon état de surface du fil métallique et pour assurer le refroidissement et contrer l'échauffement provoqué par l'écroutissage du métal (Fig I.14). [3]

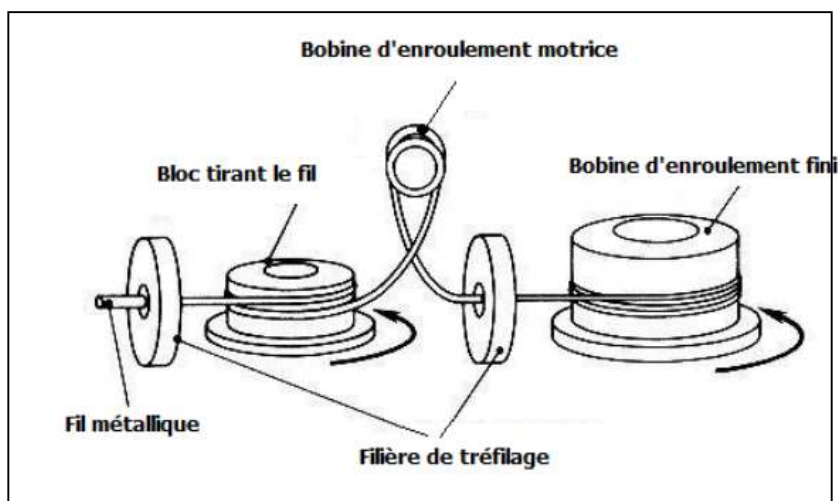


Fig (I.14): Schéma de principe du procédé de tréfilage. [3]

I.2.8. Estampage et matriçage

L'estampage est le forgeage mécanique des aciers, tandis que le matriçage est le forgeage mécanique des métaux non ferreux.

Principe :

Un lopin de métal chauffé et calibré (avec des dimensions précises) se déforme pour remplir les deux demi-empreintes de deux matrices appliquées l'une contre l'autre sous l'action d'une forte pression ou d'une série de chocs.

L'estampage et le matriçage sont adaptés à une production en série.

Avantage :

- Les mêmes que pour le forgeage libre, avec plus de rapidité et une meilleure précision.

Inconvénients :

- Nécessite beaucoup d'énergie (travail à chaud) ;
- Prix de revient élevé des matrices rapidement « usées ». [3]

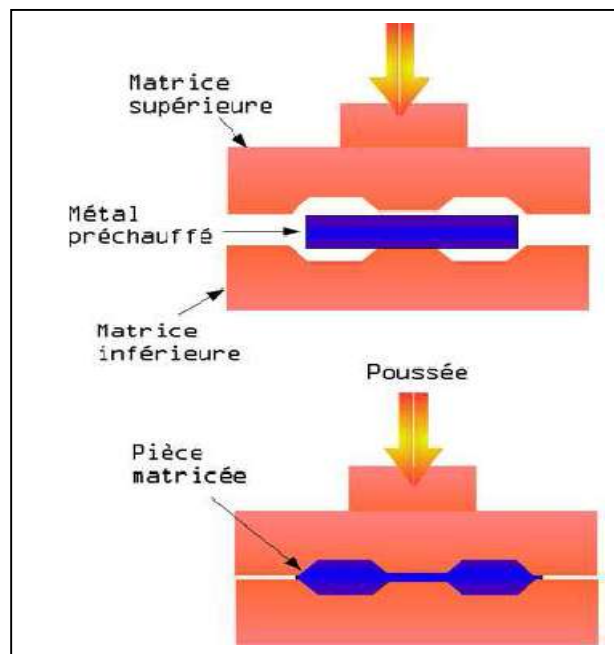


Fig (I.15) : Estampage ou matriçage

I.2.9. Laminage

Le laminage consiste à mettre en forme des alliages par étirage longitudinal et diminution d'épaisseur lors du passage de la matière entre deux cylindres parallèles et tournant en sens inverse. Lorsque le laminoir ne comporte que deux cylindres, il forme un duo (Fig .I.16 a), mais dans ce cas après une passe, il faut ramener la pièce au point de départ, pour procéder à une nouvelle passe, d'où perte de temps et de chaleur. C'est pourquoi on utilise de préférence un trio (3 cylindres en parallèles), (Fig .I.16 b) dans ce laminoir, le retour de pièces permet une opération de laminage. On peut également éviter le passage à vide en inversant le sens de rotation après chaque passe (laminoir réversible) [3]

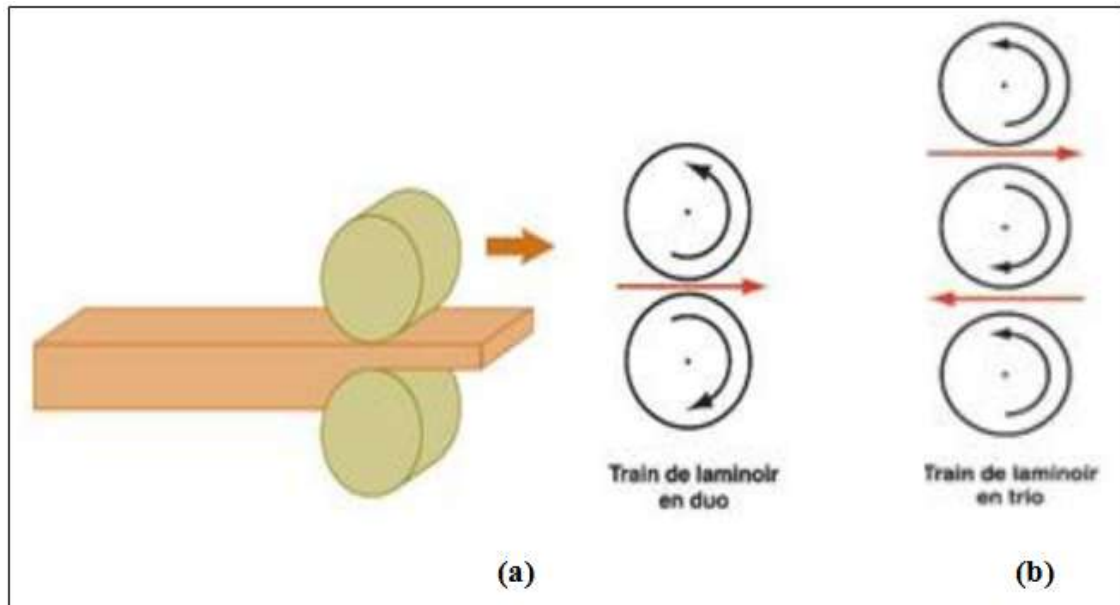


Fig. (I.16) : Schéma des trains de laminoirs [3]

Principe

Le laminage consiste à réduire l'épaisseur e_1 d'une tôle à une valeur e_2 sous l'action d'un effort d'écrasement w et d'un couple d'entraînement C (Fig. I.17). Le taux de réduction $(1 - e_2 / e_1)$ est une donnée essentiel du procédé, puisque un taux important signifie une gamme de mise en forme plus courte et moins couteuse [3]

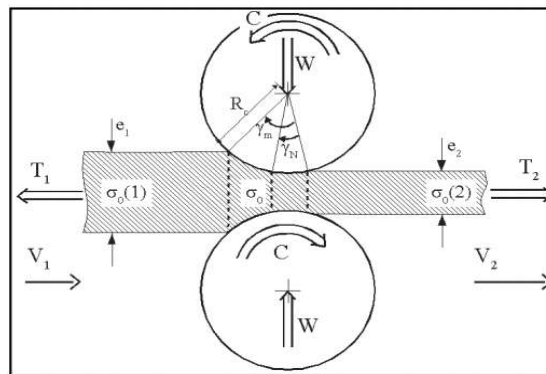


Fig (I.17) : Schéma de principe de laminage [3]

I.2.10. La fonderie

U fonderie consiste amener un alliage vers une forme désirée en passant par sa phase liquide le pièce obtenue doit répondre à des critères dimensionnels, esthétiques, d'état de surface, de résistance et de coût définis par un cahier des charges.

La forme est généralement obtenue par une empreinte située dans un moule. Les possibilités techniques sont nombreuses :

- coulée de pratiquement tous les alliages ;
- réalisations de pièces très complexes ;
- industrialisation très poussée ;
- automatisation facile des procédés ;

- diminution voire suppression de certains usinages ;
- délais très courts. [6]

I.2.10.1. Moulage en sable

Le démoulage s'effectue par destruction du moule. On doit donc fabriquer autant de moules que de pièces à fabriquer. Il existe plusieurs techniques d'obtention du moule en sable (sable humide ; durcissement thermique, chimique ou physique). Le moule en sable est obtenu à partir d'un modèle permanent (généralement en bois, en résine ou en métal) ou unique (en cire ou en polystyrène) dans le cas du moulage à modèle perdu.

L'intérêt de cette technique est que le sable est réfractaire (il résiste à la chaleur), et que le moule ne coûte pas cher à fabriquer. Par contre, l'état de surface ($Ra \approx 3,2 \mu\text{m}$) et la précision obtenus sont assez mauvais.

Cette technique convient bien pour des petites séries.

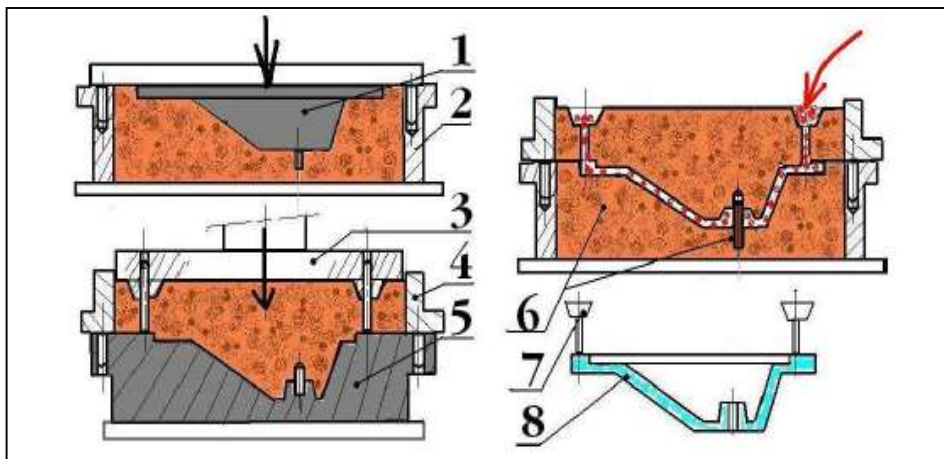


Fig (I.18) : Exemple d'obtention d'une pièce par moulage en sable. [7]

Exemple d'obtention d'une pièce par moulage en sable, à joint horizontal

- Le châssis inférieur (2) est rempli de sable, puis compressé par la plaque modèle face externe (1) ;
- Le châssis supérieur (4), posé sur la plaque modèle face interne (5), est rempli de sable pressé par la plaque (3) ;
- La plaque (3) est retirée, un noyau (6) est déposé dans la partie inférieure du moule (6), puis le châssis (4) est positionné sur le châssis (2), centré par les goujons. Le moule ainsi formé peut recevoir le métal en fusion.
- Après décochage, la pièce (8) est débarrassée des masselottes (7) et peut rejoindre le parachèvement [7]

I.2.10.2. Moulage par gravité

La pression est nulle, le matériau liquide est introduit par le haut et remplit le moule par gravité. L'état de surface ($Ra \approx 1,6 \mu\text{m}$) et la précision obtenus sont moyens.

Cette technique, dont l'outillage est moins coûteux que les suivantes, est adaptée pour les petites séries. [7]

I.2.10.3. Le moulage basse pression

Ce type de moulage se veut une amélioration du procédé gravitaire. Il consiste à injecter dans le moule permanent, généralement par le dessous, essentiellement un alliage d'aluminium liquide.

Le four se situe sous le moule métallique qui est préalablement thermo régulé. L'injection se fait à

l'aide d'une pression faible, de l'ordre de 0,2 bar. La mise en place de noyaux en sable est tout à fait possible. [6]

I.2.10.4. Le moulage sous pression

L'alliage est injecté sous très forte pression, pouvant atteindre 1 000 bars en fin de cycle. Le moule est en acier fortement allié réfractaire. Les moules subissant des efforts mécaniques et thermiques élevés sont montés sur des machines puissantes entièrement automatiques. Elles sont choisies suivant leur force de fermeture, c'est-à-dire leur résistance à l'ouverture pendant l'injection de l'alliage (fig I.19). [6]

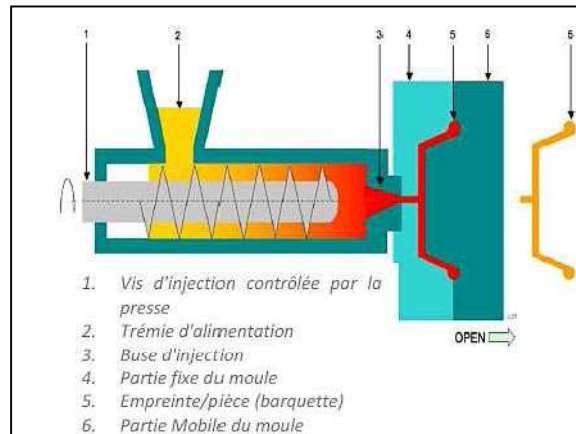


Fig (I.19) : procédé d'injection sous pression.

I.2.10.5. Moulage par centrifugation

Le moule est entraîné en rotation rapide. Le matériau liquide versé à l'intérieur se colle à la paroi par la force centrifuge et se solidifie

I.2.10.6. Moulage par insert (ou surmoulage)

Cette technique consiste à mouler un matériau (souvent en plastique) par-dessus une pièce, appelée insert (souvent en métal), insérée dans le moule. Il faut pour cela que le matériau à surmouler possède une température de fusion plus faible que le matériau de l'insert. [7]

I.3. production avec enlèvement de matière

Consiste à obtenir la forme finale par arrachements de petits morceaux de matière (copeaux).

I.3.1. Tournage (sur un tour classique ou à commande numérique CN)

En tournage, le mouvement de coupe est obtenu par rotation de la pièce serrée entre les mors d'un mandrin ou dans une pince spécifique, tandis que le mouvement d'avance est obtenu par le déplacement de l'outil coupant. Le tournage permet principalement d'obtenir des formes de révolution autour de l'axe de rotation de la pièce.



Fig (I.20) : procédé de tournage

I.3.2. Fraisage (sur une fraiseuse classique ou à commande numérique CN)

En fraisage, le mouvement de coupe est obtenu par rotation de l'outil (la fraise), tandis que le mouvement d'avance est obtenu par le déplacement de la pièce maintenue dans un étau. Le fraisage classique permet principalement d'obtenir des formes prismatiques, mais le fraisage par CN permet d'obtenir des formes pouvant être très complexes.

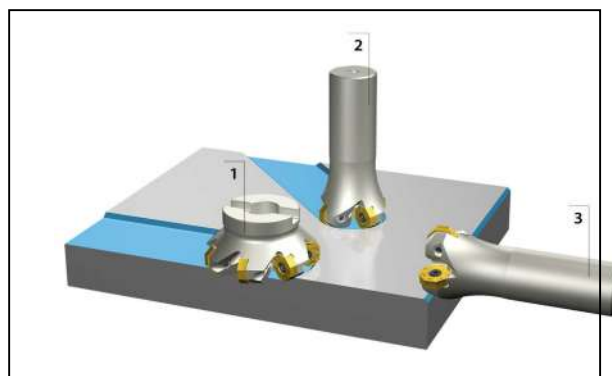


Fig (I.21) : procédé de Fraisage

I.3.3. Perçage (sur une perceuse)

Le terme perçage signifie « obtention d'un trou (borgne ou débouchant) par usinage ». Ce trou peut être effectué par un foret sur une perceuse, une mèche sur un vilebrequin (perceuse manuelle), découpe, électroérosion, etc.



Fig. (I.22) : procédé de Perçage

I.3.4. Brochage (sur une brocheuse)

Le brochage est un procédé d'usinage à l'aide d'un outil de forme à tranchants multiples appelé « broche ». L'outil broche possède des dents qui augmentent de hauteur progressivement, de sorte que chacune entaille plus profondément la pièce que celle qui la précède.

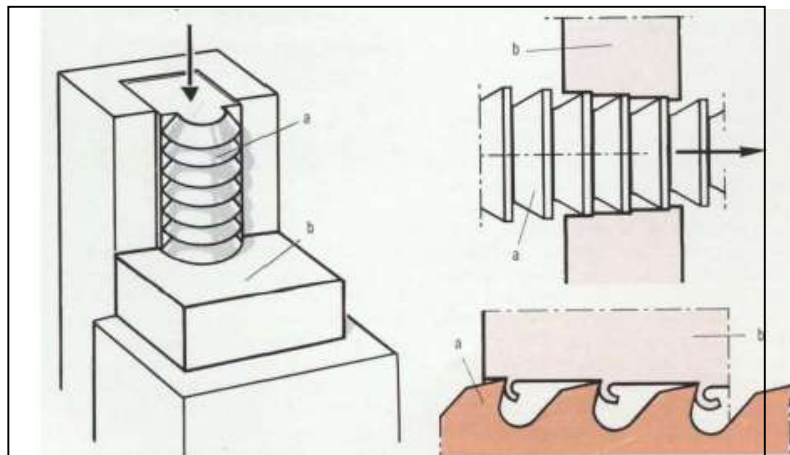


Fig (I.23) : procédé Brochage

I.3.5.Électroérosion

Principe :

L'enlèvement de matière est obtenu par des décharges électriques entre une électrode pièce et une électrode-outil.

Avantage :

- Usinage possible de matériaux trempés et durs, impossibles à usiner avec les procédés par enlèvement de copeaux ;
- Usinage de formes tridimensionnelles « démoûlés » (l'outil pénètre dans la pièce et y laisse sa forme complémentaire) et hélicoïdales (en donnant à l'outil un mouvement de rotation conjuguée avec son mouvement de translation) ;
- Bons états de surface ($Ra \approx 2 \mu m$) et précision ($\approx 20 \mu m$).

Inconvénients :

- Ce procédé ne s'applique qu'aux matières conductrices de l'électricité ;
- Coût du matériel (spécifique à chaque forme de pièce à obtenir) et usure de l'outil électrode.

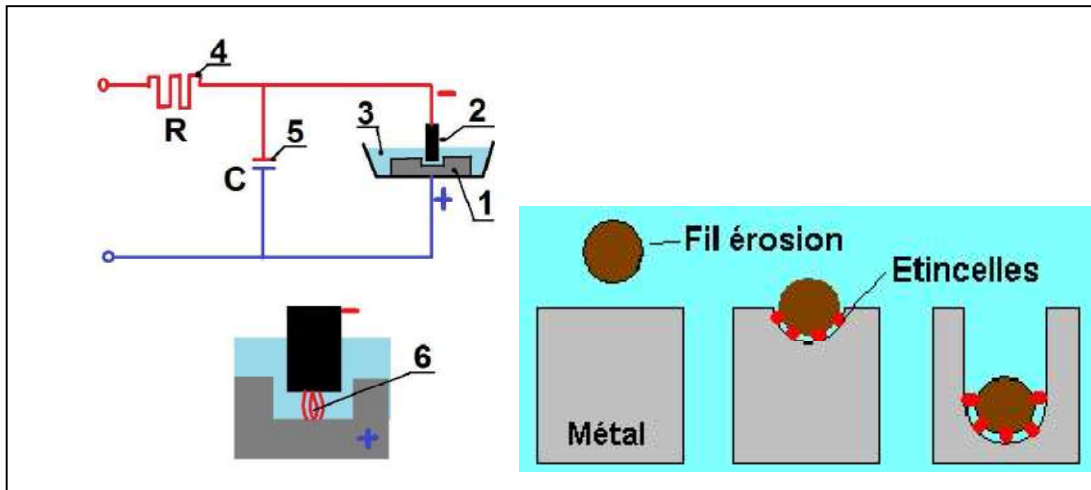


Fig (I.24) : procédé d'électroérosion

I.3.6. Poinçonnage

Le découpage est effectué par un poinçon ayant la forme de l'ajoura (Trou) à découper.

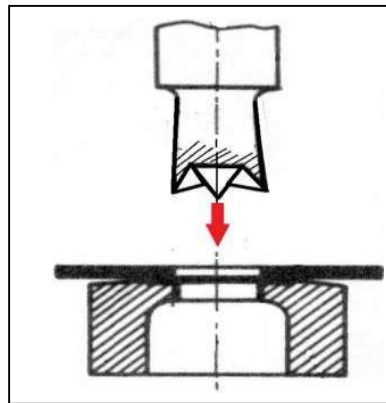


Fig (I.25): procédé Poinçonnage

I.3.7. Découpage :

On recense plusieurs techniques de découpages :

- **Découpage classique** (mécanique, par un outil tranchant de profil fermé déplacé par une Presse) ;
- **Oxycoupage** (jet d'oxygène pur sur un métal préalablement localement chauffé à sa Température de combustion) ;
- **Découpage laser** ;
- **Découpage par jet d'eau** (le jet d'eau doit posséder une finesse, une vitesse et une pression. Telles qu'il soit capable de couper la plupart des métaux sans les mouiller) ;
- **Découpage plasma** (apparenté au soudage TIG, mais avec des mélanges gazeux différents. Un arc électrique génère un jet de plasma qui provoque une fusion locale sur toute l'épaisseur du matériau à découper

I.4.Conclusion

Les procédés de production sans enlèvement de matière sont utilisés pour l'obtention des pièces de forme complexe et très précise par rapport à la production par enlèvement de matière, cette dernière est plutôt utilisée pour l'obtention des pièces de forme générale.

CHAPITRE II

GÉNÉRALITES SUR LES MATIÈRES PLASTIQUES

II.1. Introduction

Le qualificatif « plastique » peut s'appliquer à un grand nombre de matériaux, relativement à leur modelage et aux actions qui ont le pouvoir de donner la forme, souvent associées à des notions esthétiques, d'arts et de beauté. Il est alors très vite associé systématiquement à la « matière plastique », dont les premières synthétisées à cette époque à partir de polymères d'origine végétale, puis par polymérisation de synthons pour devenir le « plastique » de notre vocabulaire courant : « Matière synthétique constituée de macromolécules obtenues par polymérisation et qui peut être moulée ou modelée » (mais qui est souvent rigide après fabrication).

Ainsi, depuis sa première utilisation par Backeland vers 1909, le terme plastique sert dans le langage courant à désigner cette nouvelle classe de matériaux organiques qui se caractérisent par leurs excellents rapports propriété/poids et propriétés/prix.

Avec le développement des connaissances en synthèse organique et de son industrie, en particulier de la pétrochimie, de très nombreux plastiques ont été commercialisés au cours du vingtième siècle (Tableau II.1). Leurs multiples applications (Fig. II.1) les ont rendus omniprésents et indispensables aux sociétés industrialisées, au point que leur production est devenue un indice économique de développement (Fig. II.2) et que la demande croissante des pays émergents pose la question des ressources à l'échelle mondiale. Toujours en croissance quant à ses applications en ce début de vingt-et-unièmes siècles, et ayant donné lieu au développement de nouvelles technologies très élaborées à travers la plasturgie, aucun autre matériau n'a connu une telle expansion dans un laps de temps aussi court (moins de 100 ans). [13]

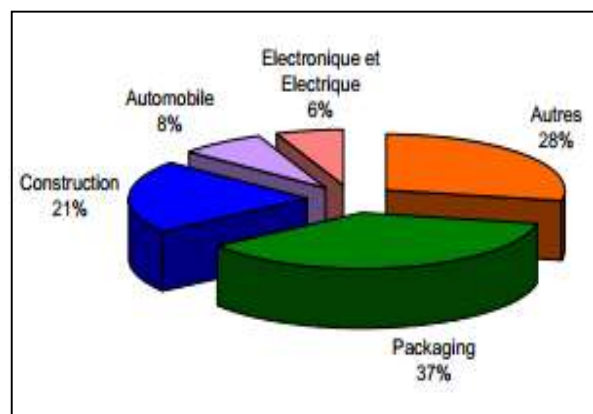


Fig. (II.1) : Domaines d'application des plastiques [13]

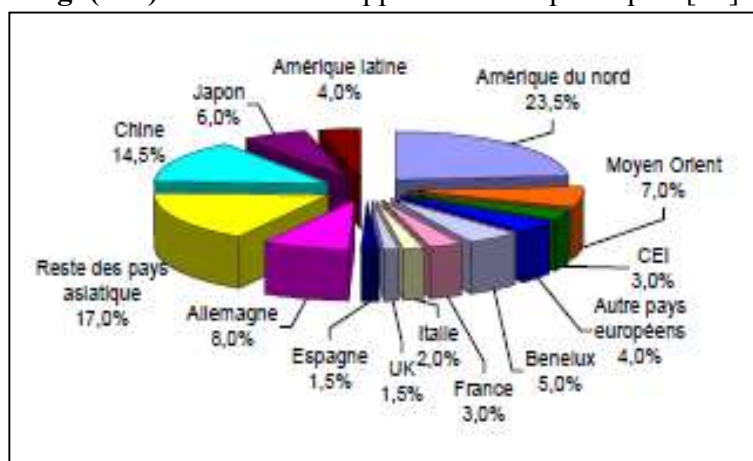


Fig. (II.2): Répartition de la production mondiale de plastique. [13]

Polymères	Date de première production	Applications
PS	1933 : mise en production en Allemagne par le docteur Wulff	Isolant pour poste TSF, stylos, capsules pour tubes, éléments de masques à gaz...
PE	1939 : première usine en Allemagne, production de quelques centaines de tonnes par an.	Isolation des câbles à haute fréquence des radars. En 1944 premier tube pour canalisation d'eau en Grande Bretagne.
PVC	1935 : première production à Ludwigshafen (Allemagne)	Isolation des câbles aux Etats-Unis
PP	1956 : Hoechst met en service le premier pilote de production du PP en Allemagne	En 1962 il est utilisé comme ficelle et film agricole en France. En 1963 production des premières pièces injectées (bouchons, peignes,...)
PUR	1940 : mise en production en Allemagne.	Isolation des sous marins et avions de combats.

Tab. (II.1) : Date de commercialisation des principaux plastiques et exemples d'applications [13]

II.2. Les Plastiques

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

- ✓ protéger le polymère lors de sa mise en œuvre (par exemple avec un antioxydant),
- ✓ aider à sa mise en œuvre par modification des caractéristiques rhéologiques du mélange à l'état visqueux (par exemple avec un plastifiant, ou un lubrifiant),
- ✓ conférer au produit fini certaines propriétés spécifiques (par exemple avec un principe actif, un agent de conduction, etc.).[13]

II.3. Les polymères

Les polymères sont les constituants de base des plastiques, qui leur confèrent l'essentiel de leurs propriétés physicochimiques. [13]

II.3.1. Définition d'un polymère

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

Dans la macromolécule suivante $\dots A-A-A-A-A-A-A \dots = [-A-]_n$ l'unité constitutive est A; elle est formée d'un groupe d'atomes qui se répètent. A l'échelle moléculaire, quelques centaines de nm, la plupart des macromolécules se présentent sous forme de « fils longs et souples ». Les réactions chimiques permettant de passer d'un monomère A à la macromolécule $[-A-]_n$ s'appellent polymérisation. Ainsi, l'éthylène $CH_2=CH_2$ (monomère) conduit par polymérisation par ouverture de la double liaison au polyéthylène (polymère). $[-CH_2 - CH_2-]_n$.

La macromolécule peut comporter jusqu'à 50 000 atomes de carbone, et pour de nombreux polymères commerciaux la masse molaire peut atteindre 1 000 000 g.mol. Certaines macromolécules deviennent ainsi visibles à l'œil nu (matériaux réticulés par exemple). La synthèse d'un polymère peut être assimilée à un jeu de construction dans lequel on dispose de pièces élémentaires mono, di fonctionnelles ou de fonctionnalité strictement supérieure à 2. On appelle fonctionnalité le nombre de liaisons que la pièce est capable d'établir avec une autre pièce. Quand les motifs associés sont identiques, on parle d'homopolymère. Sinon, ce sont des copolymères : bi-polymères, ter-polymères sont les plus communs. [12]

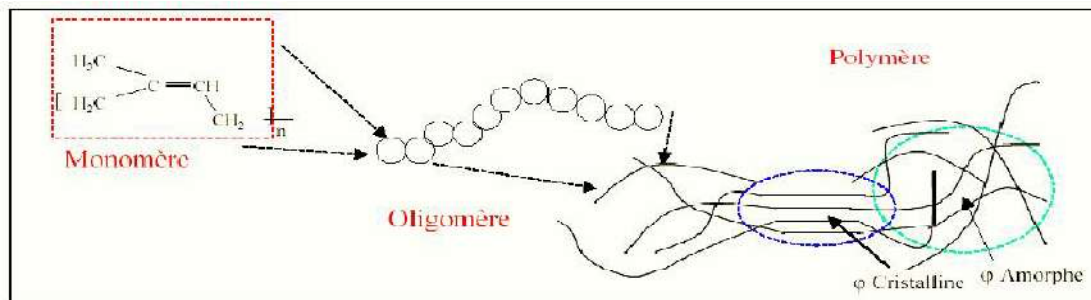


Fig. (II.3): La constitution d'un polymère [11]

Monomère	Polymère	Nom IUPAC	Nom courant	Abréviation
$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$	$\text{---}(\text{CH}_2\text{---CH}_2)_n\text{---}$	polyméthylène	polyéthylène	PE
$\text{H}_2\text{C}=\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}$	$\text{---}(\text{CH}_2\text{---}\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}})_n\text{---}$	poly(1-méthyléthylène)	polypropylène	PP
$\text{H}_2\text{C}=\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}$	$\text{---}(\text{CH}_2\text{---}\underset{\text{Cl}}{\text{CH}})_n\text{---}$	polychloroéthylène	Polychlorure de vinyle	PVC
$\text{H}_3\text{C}=\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}$	$\text{---}(\text{CH}_2\text{---}\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}})_n\text{---}$	poly(1-phényléthylène)	polystyrène	PS

Tab (II.2): Représentation et dénomination des quatre polymères synthétiques les plus utilisés. [13]

II. 3.2. Classification

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

- les copolymères alternés (chaîne A-B-A-B-A-....)
- les copolymères séquencés (chaîne A-A-A-B-B-B-....)
- les copolymères statistiques (chaîne A-B-B-A-B-A-B-A-A-....). [9]

II.3.3. Structures

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

Un polymère peut adopter trois structures moléculaires, présentées dans la (fig. II.4)

1- linéaire : La macromolécule se présente sous la forme d'une longue chaîne ;

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

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

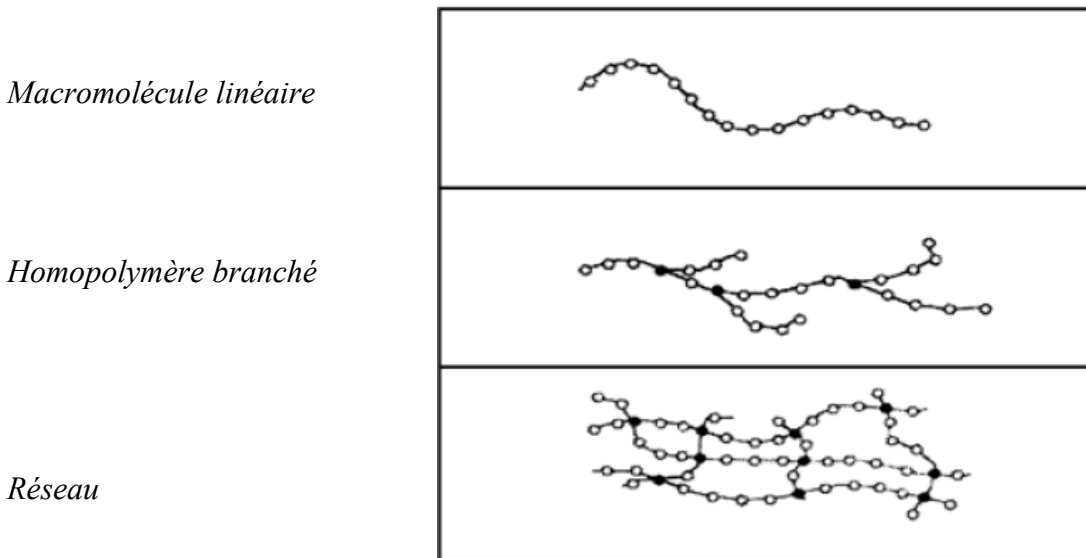


Fig. (II.4) : Structures des chaînes moléculaires. [10]

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

II.3.4. Thermoplastiques

Les thermoplastiques sont des solides généralement souples, formés de chaînes distinctes bien compactées et plus ou moins linéaires.

Ils présentent la particularité de s'écouler à la chaleur, ce qui facilite leur mise en forme. Ils sont repartis en trois grandes familles : les *amorphes*, *cristallins* et les *semi-cristallins*. Cette *morphologie* (fig. II.5) a une influence importante sur les propriétés des polymères thermoplastiques [10].

II.3.4.1. Polymères amorphes

Dans un polymère amorphe, les chaînes se présentent sous la forme de pelotes statistiques (fig. II.5). Les chaînes sont enchevêtrées et on note l'absence de structure ordonnée. Quand on chauffe un polymère amorphe, il subit une transition douce de l'état solide à l'état fluide, il n'y a donc pas de température de fusion. En effet, la structure des chaînes de macromolécule en pelote compacte et désordonnée empêche une transition brutale entre les états solide et liquide. Cependant, une brusque variation de mobilité moléculaire est observée à une température appelée température de transition vitreuse notée T_g . [10]

II.3.4.2. Polymères cristallins

Un polymère purement cristallin, quand à lui, présente des chaînes qui s'arrangent de façon ordonnée. Contrairement aux amorphes, les cristallins possèdent une température de fusion notée T_m . Cependant, un polymère totalement cristallin n'existe pas en réalité. Il reste toujours des défauts ou bien l'extrémité des chaînes qui ne peuvent adopter une structure cristalline. [10]

II.3.4.3. Polymères semi-cristallins

Les semi-cristallins présentent à la fois une partie amorphe où les chaînes moléculaires sont désordonnées et une partie cristalline ordonnée (fig. II.5). Ils présentent donc à la fois une température de transition vitreuse (correspondant à la mobilité de la phase amorphe) et une température de fusion (pour laquelle la phase cristalline se liquéfie). On a donc toujours $T_g < T_f$.

Les polymères semi-cristallins peuvent être caractérisés par leur taux de cristallinité ce qui représente la fraction massique ou molaire d'unités structurales cristallisées par rapport à la totalité des unités présentes. [10]

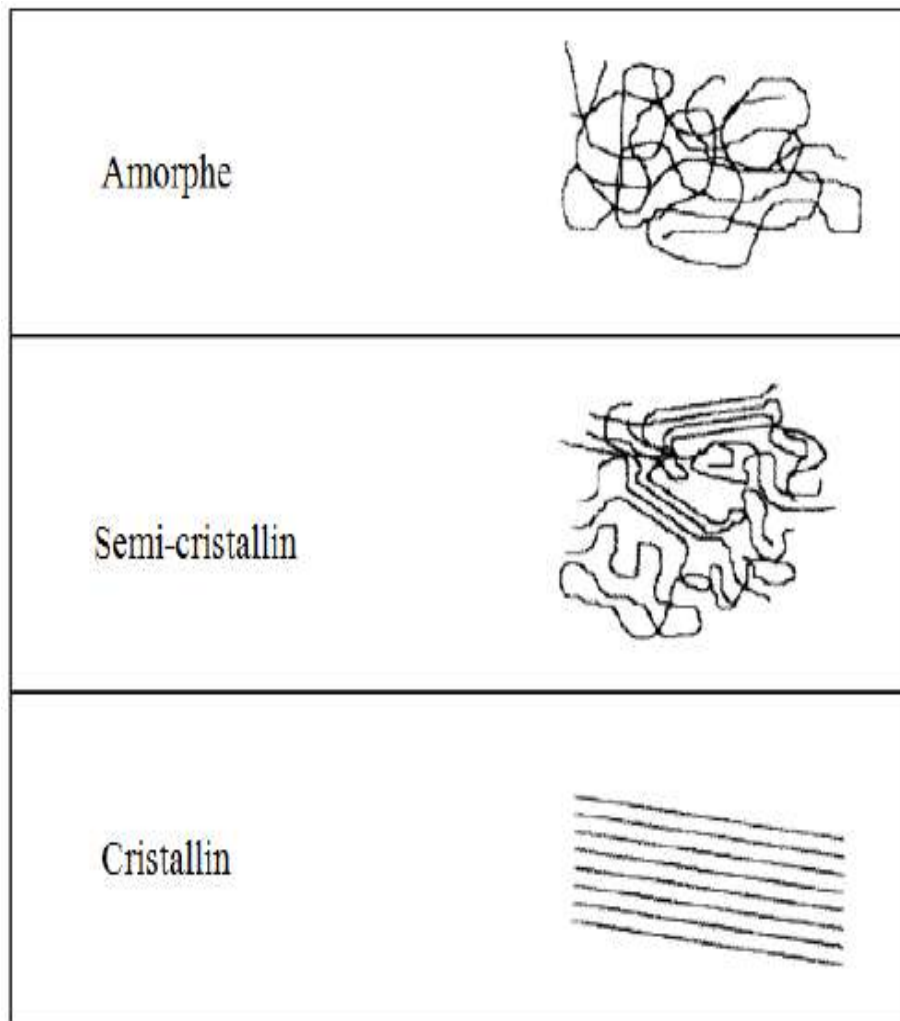


Fig. (II.5) : Morphologie des thermoplastiques [10]

II.3.4.5. Avantages et désavantages des thermoplastiques

Le tableau (II.3) montre les avantages et les inconvénients des thermoplastiques

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

Tableau (II.3): Avantages et Inconvénients des thermoplastiques [9]

II.3.5. Thermodurcissables

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

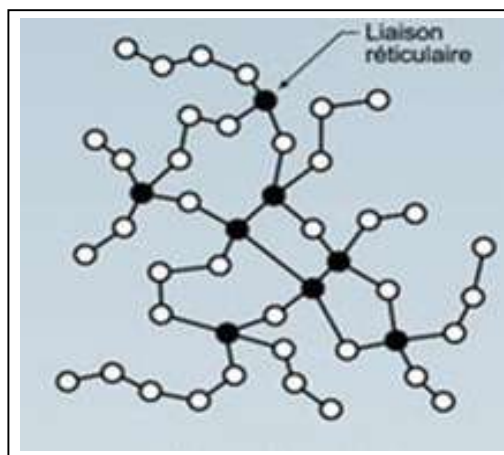


Fig. (II.6) : Morphologie des thermodurcissables

II.3.5.1. Avantages et désavantages des thermodurcissables

Le tableau (II.5) montre les avantages et les inconvénients des thermodurcissables

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

Tab (II.5) : Avantages et Inconvénients des thermodurcissables [9]

II.3.6. Les élastomères

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

II.3.7. Les différents états des polymères

En fonction de la température, un polymère peut se présenter dans trois états différents qui correspondent à un accroissement des volumes libres intermoléculaires avec la température et une diminution des forces de liaisons.

On peut repérer ces états en suivant le graphe de la masse volumique ou du module d'élasticité E en fonction de la température. La température ambiante pouvant se trouver dans l'une des trois zones selon le polymère considéré [10]

➤ **L'état vitreux (A)**

Les verres organiques n'admettent que de très faibles déformations.

➤ **L'état de transition (B)**

On rencontre les polymères linéaires thermoplastiques et les polymères réticulés dont la décomposition chimique se produit avant la fusion.

➤ **L'état caoutchouteux (C)**

Les élastomères sont formés de très longues molécules reliées entre elles par des points de jonction relativement rares.

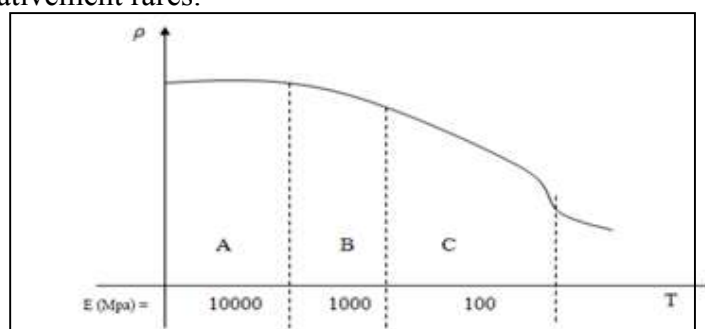


Fig. (II.7) : États des polymères [10]

II.4. Appellation et Symboles

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

Ces appellations sont souvent remplacées par des symboles utilisés par l'ensemble des outilleurs et des plasturgistes. [14]

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

Tab (II.5) : Appellation et Symboles des matières plastiques [14]

II.5. Les caractéristiques des polymères synthétiques les plus utilisés

II.5.1. Le Polypropylène (PP)

Exemple de caractéristique de deux matières plastiques (PP)		
POLYPROPYLENE (PP)	Origine : Propylène Structure : Cristalline Retrait : 1 à 2.8 % Densité : 0.9 Mise en œuvre : injection, Extrusion, estampage, thermoformage. Températures : -de moulage : 210 à 300 °C -du moule : 20 à 90 °C -de fusion : 64 °C -d'Utilisation : 0 à 120 °C	Avantages : -Bonne résistance à la flexion. -Bonne propriétés électriques. -Bonne Résistance mécanique. -Bonne résistance aux produits chimiques Inconvénients : -inserts métalliques à basse de cuivre déconseillés. -Fragile à basse température. -retrait non homogène

Tab(II.6) : Propriétés mécaniques et thermiques du PP [14]

II.5.2. Le Polyéthylène (PE bd)

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

Tab (II.7) : Propriétés mécaniques et thermiques du PE bd [14]

II.6. Coloration des matières plastiques

Les matières plastiques sont colorées à différents stades de leur élaboration suivant la couleur demandé par le client.

Les résines issues des polymères sont teintées en fonction de leur couleur naturelle. Les

résines naturelles foncées sont en (noir, rouge, bleu).

Les résines naturelles claires sont colorées claire ou pastel (jaune, Orange). Colorants : 11 existe deux types de colorant. [14]

II.6.1. Colorant à sec

Les granulés vierges sont mélangés dans le tambour avec le colorant choisi. Un lubrifiant peut être ajouté pour faciliter l'écoulement de la matière dans le moule.

II.6.2. Colorants dans la masse

Les granulés sont colorés à sec et pour réaliser une bonne dispersion de la couleur, ils sont extrudés en filament, puis broyés par granulation.

II.7. Recyclage

Certaines fabrications de produits dont le recyclage est envisagé ; sont traitées avec des colorants fluorescents pour une identification ultérieure (parc, chocs, tableaux de bord). Les déchets de fabrication ainsi que les pièces usées peuvent être rebroyées pour être mélangées avec un pourcentage de 10 à 15%

II.8. Propriétés mécaniques

Les matières plastiques ont une structure interne différente à des métaux et des alliages ; leur comportement sous l'action des efforts est donc différent. En fonction des utilisations envisagées ; il est nécessaire de mouler des éprouvettes et de réaliser des essais (Essai de traction, Essai de flexion, Essai de chocs... etc.) afin de déterminer des contraintes maximales admissibles [14]

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

Tab (II.8) : Caractéristiques mécaniques [14]

II.9. Conclusion

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

CHAPITRE III

PROCEDE DE PRODUCTION PAR INJECTION THERMOPLASTIQUE

III.1. Introduction

Dans la fabrication des pièces mécaniques il existe plusieurs procédés d'usinage, parmi ce procédé on a l'injection thermoplastique.

L'injection est aujourd'hui l'un des procédés les plus utilisés pour la mise en forme des polymères avec l'extrusion et le soufflage (30% des polymères transformés). Il est généralement utilisé pour la production de très grandes séries pour l'automobile ou l'électroménager par exemple ou pour des séries plus réduites en aéronautique. Le procédé d'injection permet d'obtenir une productivité élevée avec une très bonne reproductibilité des pièces. [19]

De ce fait, le principe du procédé de moulage par injection consiste à injecter et transformé une matière de polymères thermoplastiques, préalablement chauffée est injectée dans un moule. Le polymère se solidifiant dans le moule créera un solide épousant la forme et les dimensions de l'empreinte du moule.

L'objectif de ce chapitre est présenter le procédé d'injection des thermoplastiques, et leur déroulement de cycle d'injection plus les caractéristiques d'une presse et la construction de structure. Et la façon dont nous de contrôle dans les paramètres de procédés d'injection.

III.2. Définition du procédé :

Le procédé d'injection est un procédé de mise en forme des thermoplastiques par moulage permettant la production de pièces minces jusqu'à quelques millimètres d'épaisseur. Ce procédé est très répandu pour les productions de grandes séries comme l'automobile, l'électroménager ou l'électricité. [19]

III.3. Principe du procédé :

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

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

Une nouvelle injection est réalisée quand l'outillage est à nouveau fermé. [19]

III.4. Déroulement du cycle d'injection :

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

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

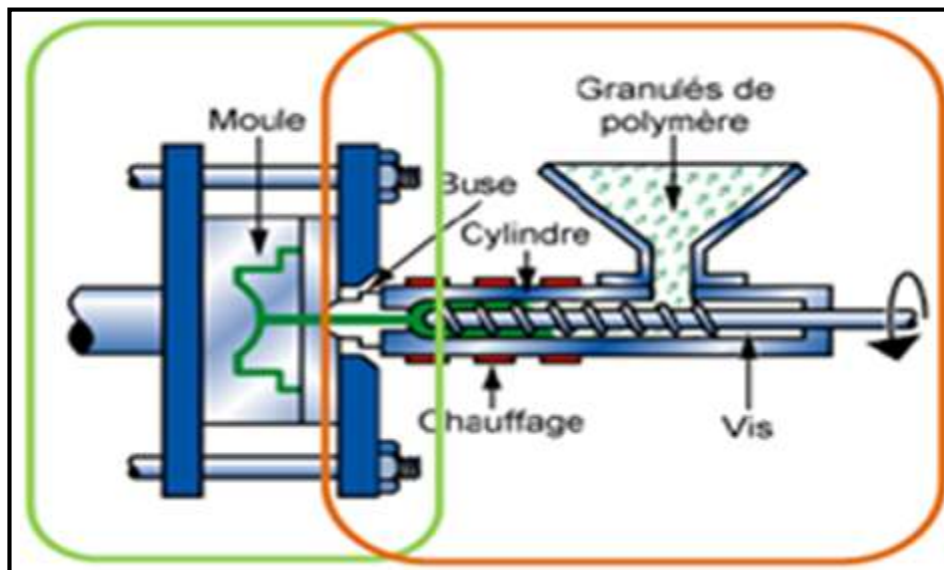


Fig. (III.1) : presse d'injection. [19]

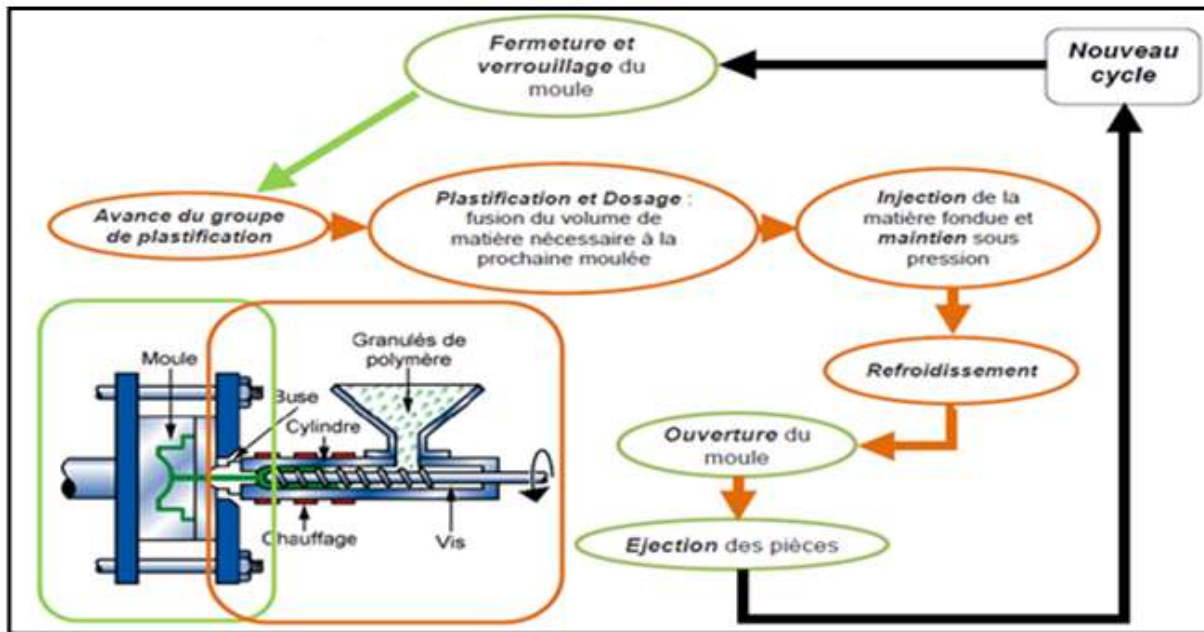


Fig. (III.2) : Déroulement du cycle d'injection. [19]

III.4.1. Phases de moulage par injection :

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

III.4.1.1. La phase de plastification:

La phase de plastification a pour objectif de faire passer le polymère de l'état initial (Sous forme de granulé) à l'état fondu. On peut dire que cette transformation commence au début par l'ensemble vis fourreau dont la fonction est de broyer et de chauffer le granulé pour l'amener peu à peu à l'état fondu. Pour cela, la vis de l'unité possède un mouvement de rotation pour permettre l'auto échauffement de la matière par malaxage, et de translation pour stocker à l'avant du fourreau la quantité de matière à injecter dans la cavité du moule Le dosage est contrôlé par la course de la vis qui recule, en s'appuyant sur la matière, pendant sa rotation. La matière plastifiée est transportée dans l'espace à l'avant de la vis (Fig.III.3). [26]

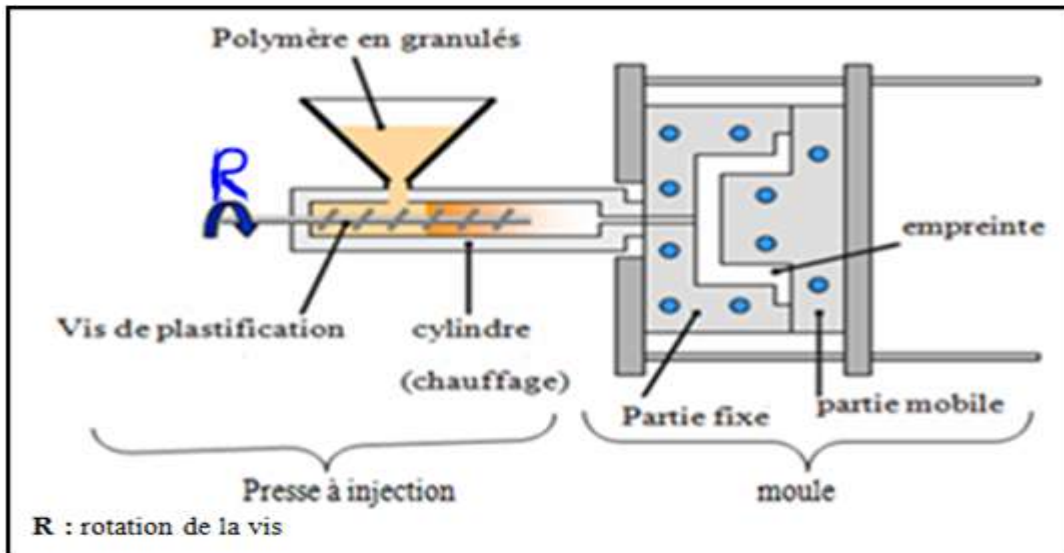


Fig. (III.3) : phase de plastification [26]

III.4.1.2. La phase de remplissage:

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

Le débit d'injection est fonction du volume de remplissage sur la durée de remplissage correspondant à l'épaisseur de la pièce. [26]

$$Q = \frac{V_{rt}}{\text{Durée de remplissage}} = \frac{[cm^3]}{[s]} = \frac{[l]}{[s]} \dots\dots\dots(III.1)$$

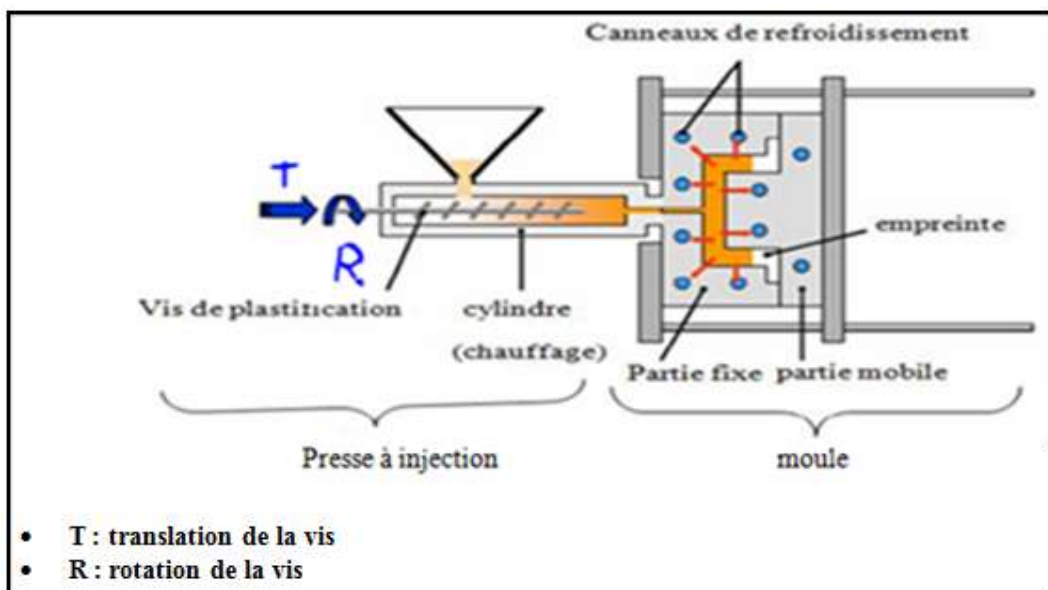


Fig. (III.4) : phase de remplissage. [26]

III.4.1.3. La phase de compactage :

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

En général, on choisit de commuter au moment où l'empreinte est complètement remplie. Cet instant est notifié par la présence d'un pic de pression d'injection prononcé. Cet événement est alors utilisé pour déclencher la commutation. Dès lors où la commutation est enclenchée, la presse applique au niveau du bloc d'injection une consigne de pression de maintien. Ceci a pour objectif de maintenir la matière dans la cavité pour compenser les phénomènes de retrait volumique dus au refroidissement de la matière (Fig.III.5). [20]

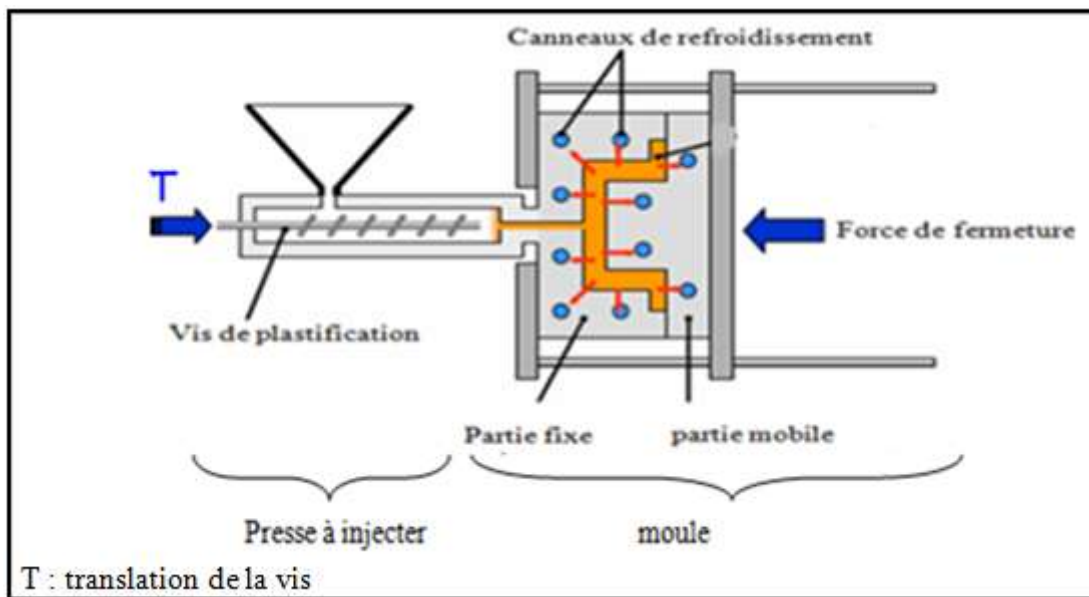


Fig. (III.5) : phase de compactage. [26]

III.4.1.4. La phase de refroidissement et d'éjection :

En parallèle de la phase de maintien, le polymère débute au contact de parois refroidies de l'outillage son retour à l'état solide. Cette phase appelée phase de refroidissement perdure jusqu'à ce que le polymère atteigne sa température de démoulage (Fig.III.6), après le refroidissement l'éjecteur pousser la pièce. [10]

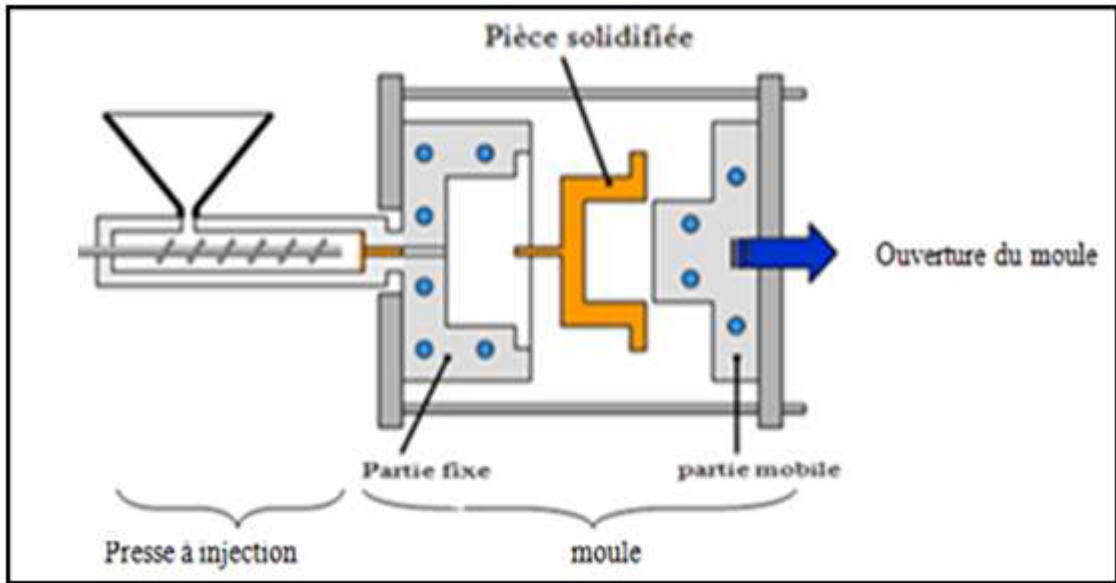


Fig. (III.6) : phase de refroidissement et d'éjection de la pièce [26]

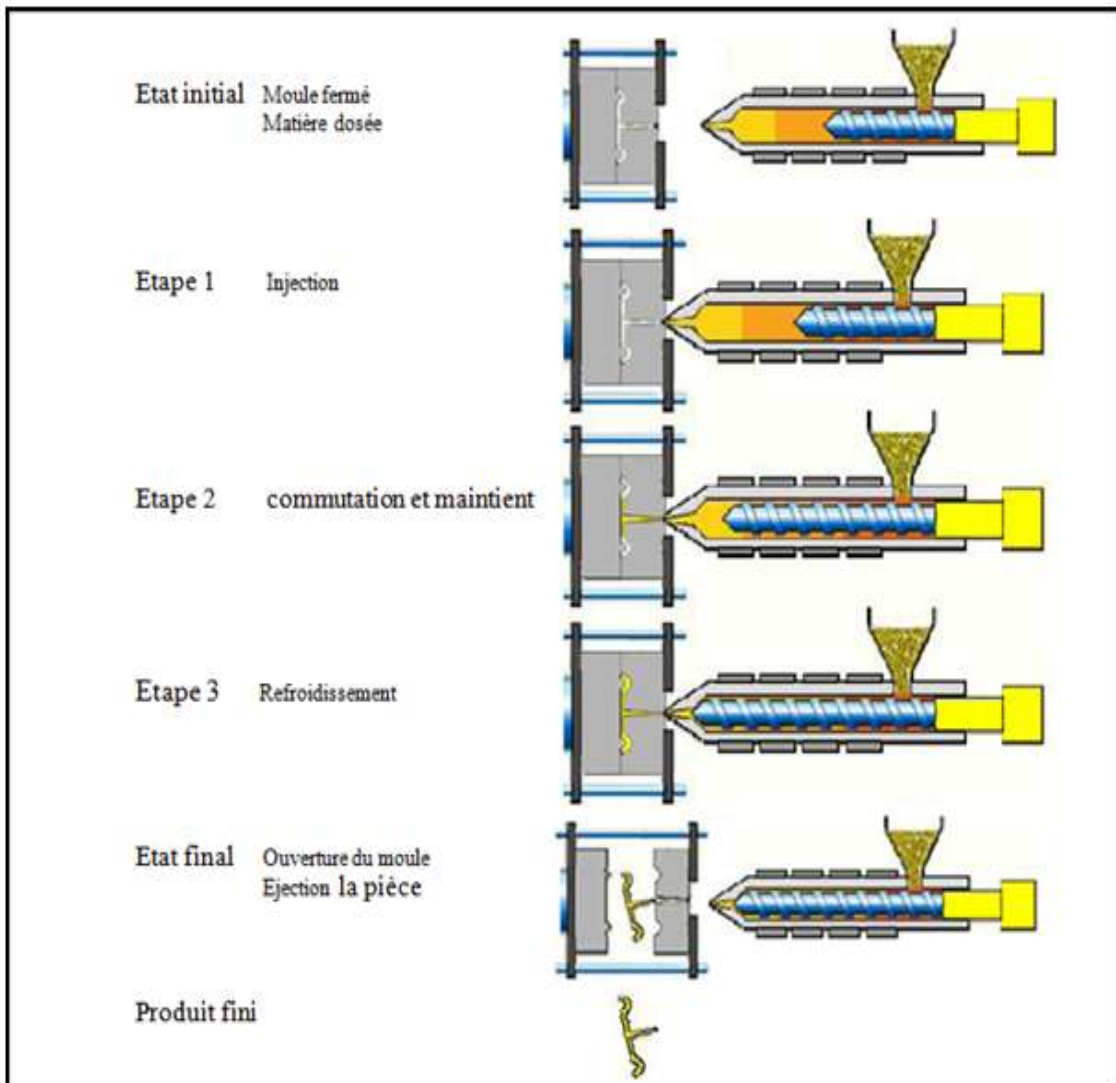


Fig. (III.7) : Déroulement d'un cycle d'injection [17]

Le cycle de moulage déroule de la façon suivante :

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

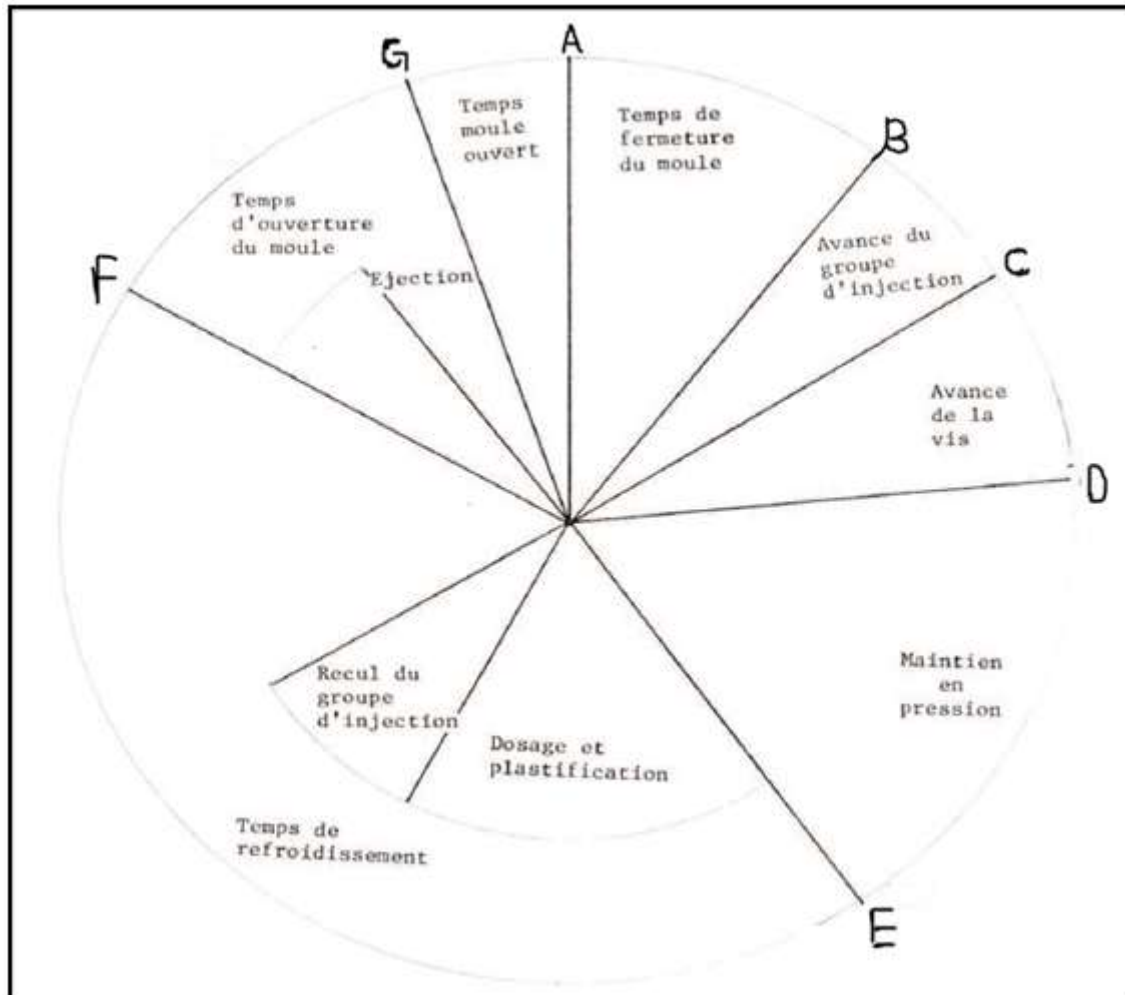


Fig. (III.8) : Cycle du moulage par injection. [25]

III.5. Etude de la Presse à injection :

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

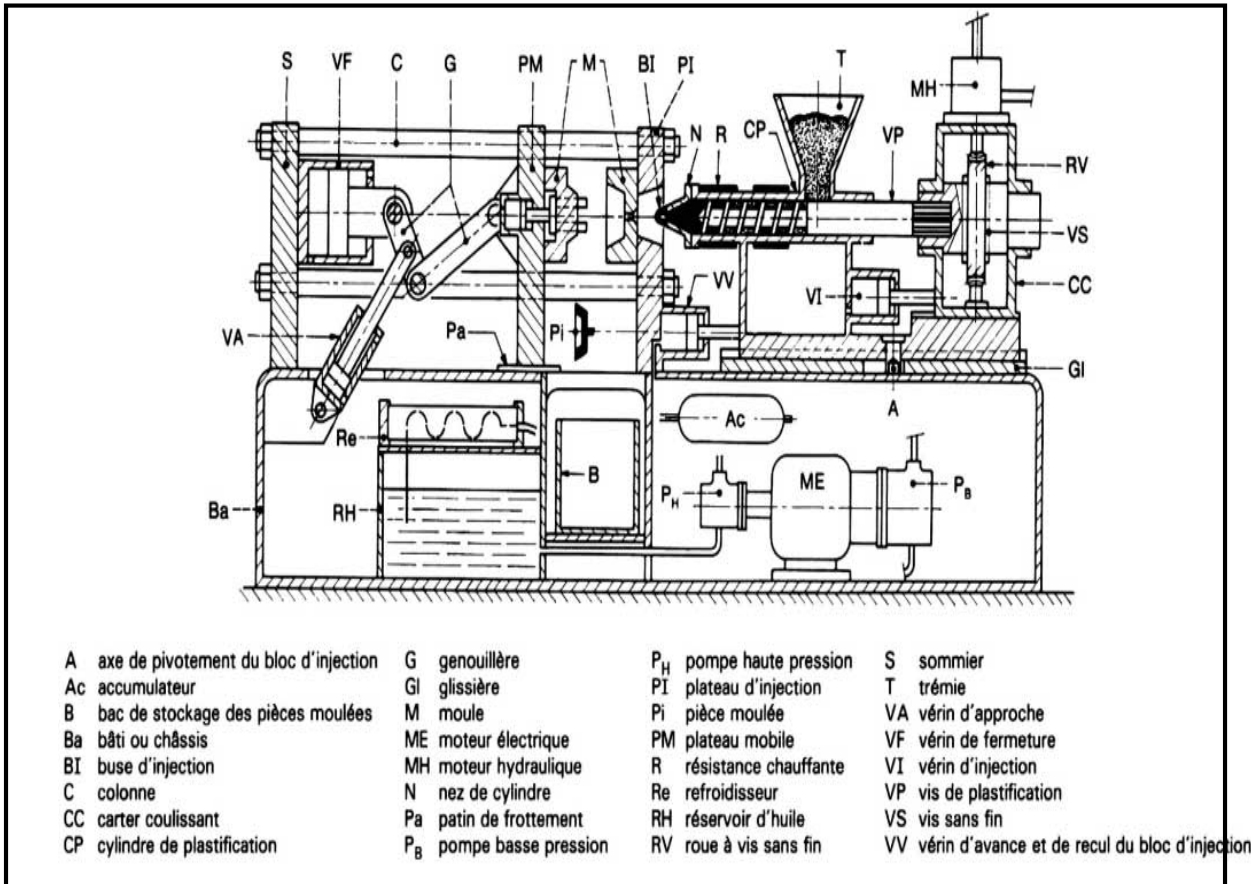


Fig. (III.9): Presse à injecter les thermoplastiques. [25]

III.5.1. Description d'une presse a injection :

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

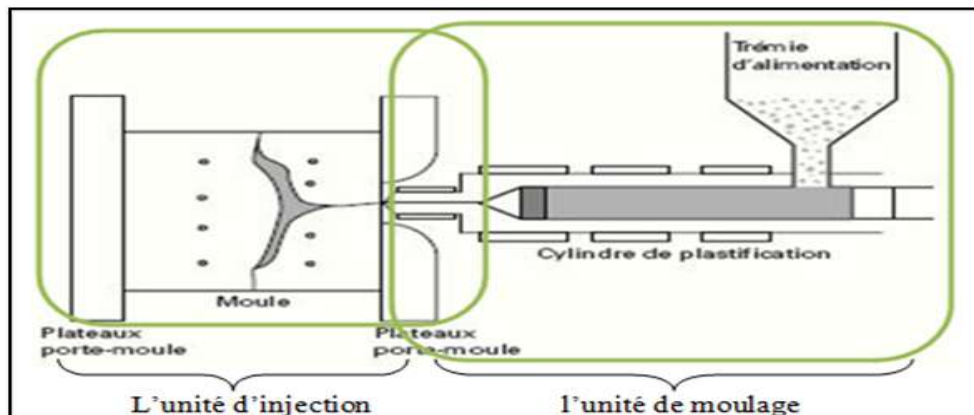


Fig. (III .10) : Cylindre de plastification et moule. [11]

III.5.2. La structure de presse d'injection:

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. L'unité de plastification, qui transforme les granulés solides en polymère fondue pour l'injecter en suite dans le moule. Et une unité de fermeture, à laquelle le moule est fixé. La (fig.III.11) illustre les parties principales d'une presse à injection. Dans le cas des thermoplastiques, le moule est régulé généralement à une température voisine de la température ambiante afin de figer la matière plastique le plus vite possible. [26]

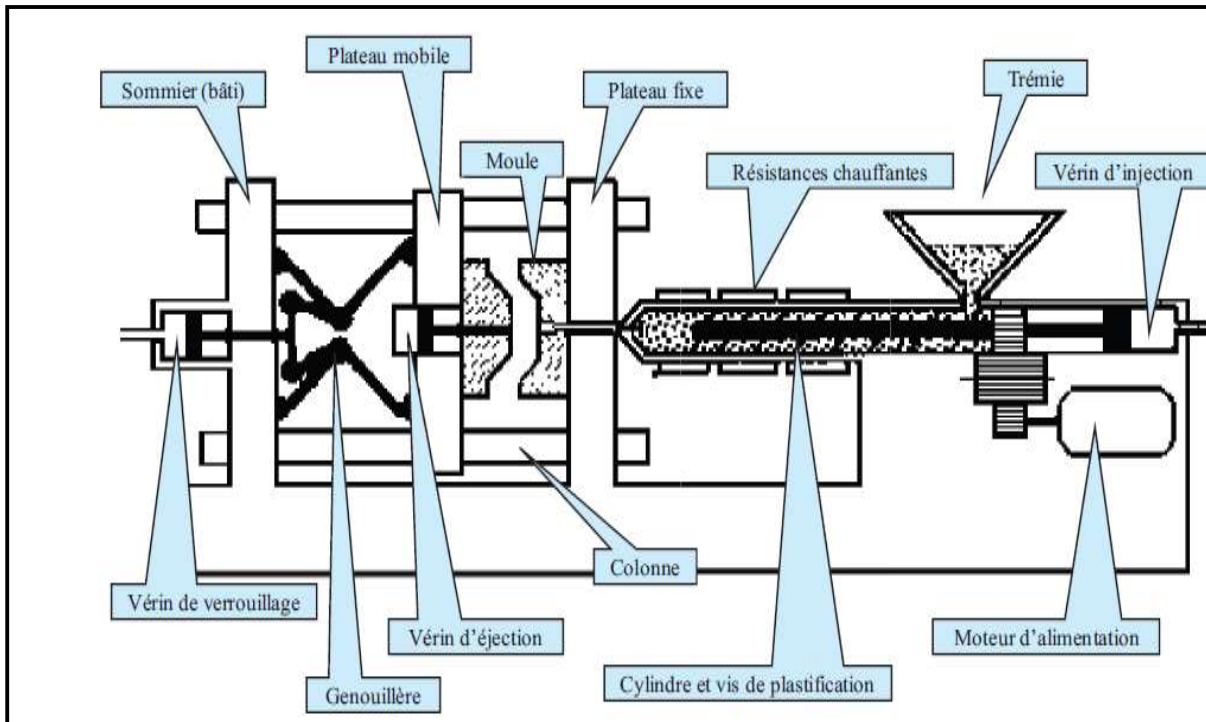


Fig. (III.11): La structure de presse d'injection. [26]

III.5.3. Principe de fonctionnement :

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

Ensuite, elle agit comme un piston pour injecter la matière fondue dans un moule. Ce dernier, généralement régulé 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. [11]

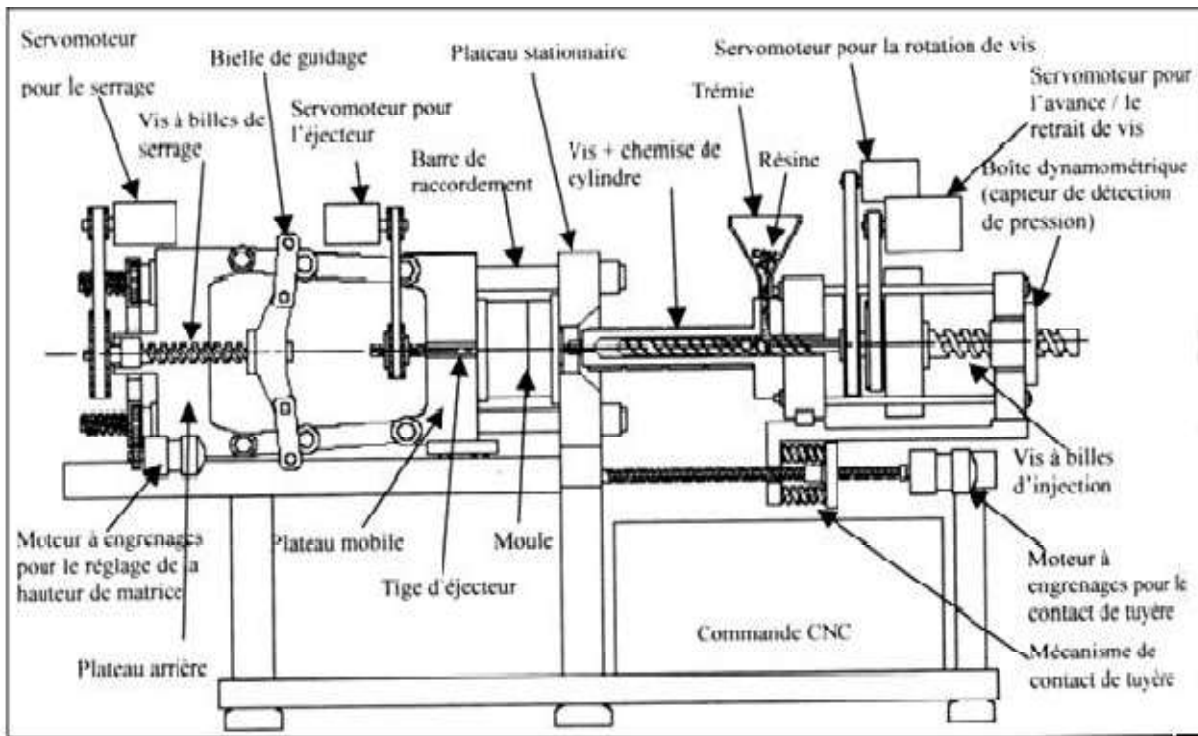


Fig. (III.12): Schéma d'une presse à injecter électrique à vis de plastification. [11]

III.5.4. Caractéristiques des presses :

Une machine d'injection (moulage) se caractérise généralement par sa capacité maximum d'injection et sa force de fermeture. La première caractéristique peut être donnée en masse de polymère ou en volume (cm^3). La capacité d'injection réelle est comprise entre 30 et 70% de cette capacité maximale, ceci en fonction du comportement en phase fondue de la matière à transformer (étape de compactage). La force de fermeture est généralement exprimée en tonne, et correspond à la force de fermeture maximale du moule que peut maintenir la presse avant, pendant et après le remplissage du moule par la matière fondue. Toutefois, de nombreux autres critères peuvent être précisés pour définir au mieux une presse à injecter. Ils sont d'autant plus importants qu'ils seront nécessaires au choix d'une machine parfaitement adaptée à une gamme d'objets à fabriquer : par exemple les distances entre plateaux et entre colonnes doivent être de dimensions compatibles avec celles du moule. [11]

III.6. Composants de la machine:

III.6.1. 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 [26].

III.6.2. L'unité de plastification/injection:

Sous cette désignation on comprend la partie de l'unité d'injection, qui est en contact direct avec la matière plastique à transformer et avec le moule. Ses rôles sont de ramollir la matière plastique de l'homogénéiser de la doser et de l'injecter dans le moule. [26]

1 – Granulés, 2 – Vérin d'injection, 3 – Moteur de d'alimentation, 4 – Vis sans fin, 5 – Foureau chauffant, 6 – Buse d'injection, 7 – Clapet, 8 – Trémie

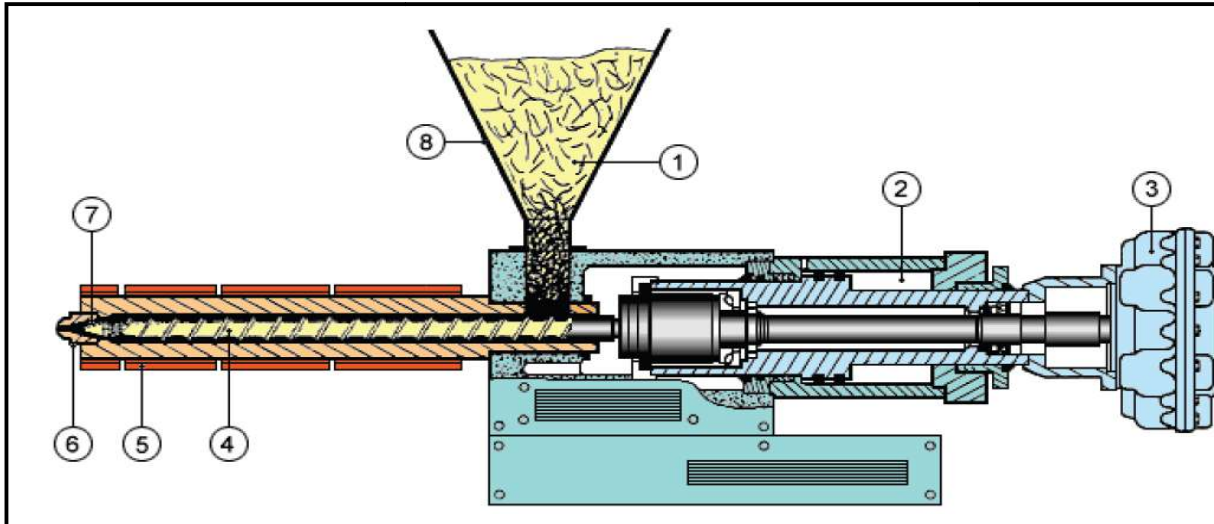


Fig. (III.13) : L'unité de plastification. [26]

III.6.2.1. L'unité d'injection:

Le groupe d'injection comprend l'unité de plastification, le vérin d'injection, le groupe d'entraînement de la vis, la buse, ... l'unité est montée sur une glissière à colonnes pour un guidage précis, robuste et avec peu d'entretien. L'ensemble de la glissière est déplacé à l'aide de deux vérins produisant l'effort de contact buse/moule. [26]

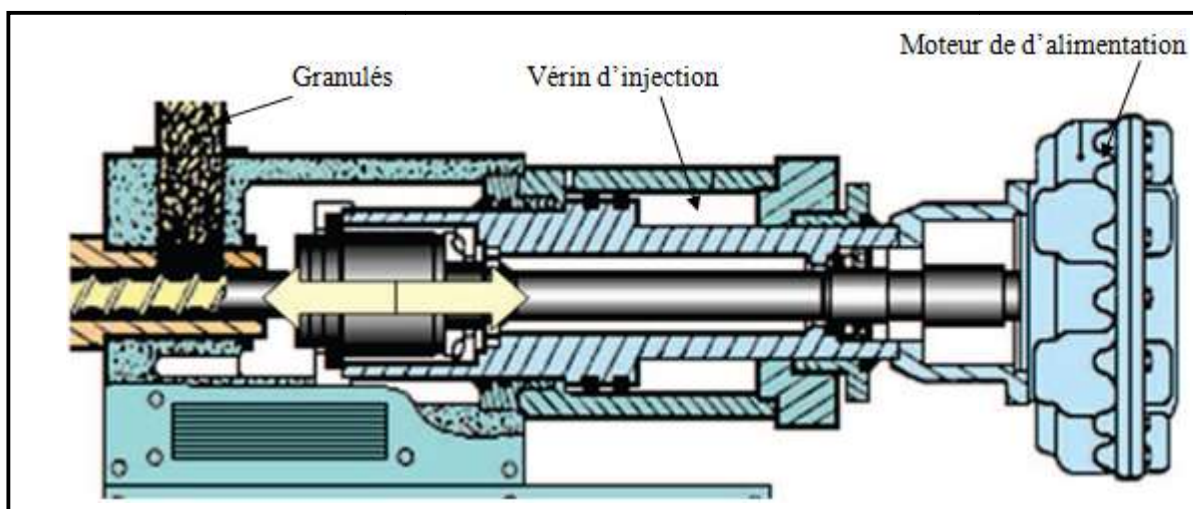


Fig. (III.14) : L'unité d'injection. [26]

III.6.2.2 Pots d'injection :

Les presses à pot d'injection ont presque totalement disparu, sauf dans le cas des très faibles capacités d'injection (quelques grammes à 20 g), et elles sont alors très simplifiées, le dispositif de plastification se limitant à un cylindre chauffé, équipé d'un piston de refoulement.

Le pot d'injection avait comme rôle essentiel de diviser les masses de granulés à plastifier, pour accélérer leur mise en température. En outre leur conception devait éviter les formes donnant des angles morts, favorisant la stagnation de la matière, celle-ci étant susceptible de se décomposer à la longue, et de se détacher des parois pour venir altérer l'aspect de surface des objets moulés. Il fallait rechercher un chauffage rapide ; le démontage devait être aisé en vue de faciliter le nettoyage ; les pertes de charge devaient rester acceptables, mais étaient inévitablement importantes (50 à 70 % de la pression en bout de piston d'injection ou pression d'injection). [25]

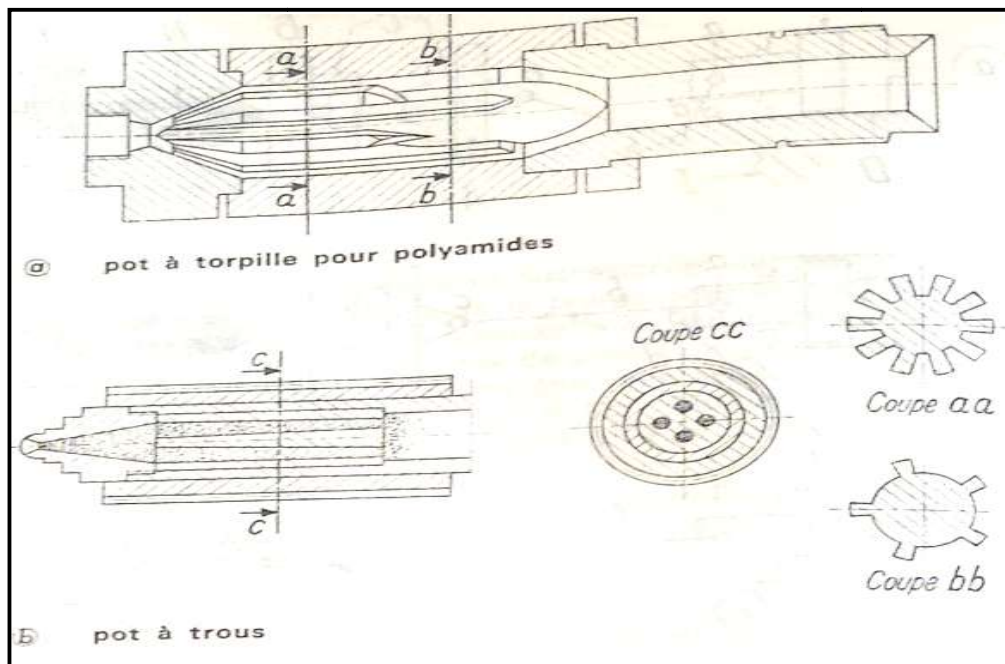


Fig. (III.15) : pots d'injection. [25]

III.6.2.3. Les vis d'injection

Pour obtenir un rendement optimal, il serait souhaitable d'étudier la forme de la vis en fonction de chaque matière moulée (III.16. a, b) Pour des raisons économiques la tendance est à la fabrication de vis plus ou moins universelles.

Une vis de plastification doit :

- opérer la translation de plastique depuis la trémie jusqu'à l'extrémité du cylindre de plastification.
- participer à la plastification et la faciliter, par un malaxage combiné avec une mise sous pression de la matière fondue en bout de cylindre, ceci ayant pour effet de provoquer le recul de la vis au fur et à mesure de l'accumulation de plastique fondu à l'avant du cylindre.

La matière plastique arrivant sur la vis possède, une densité apparente de 0,4 à 0,6 mais parvient en bout de vis à la densité normale correspondant à un état compact et fondu. La vis doit donc présenter une section de passage du polymère fondu de plus en plus réduit, au fur et à mesure de la progression de la plastification, afin d'éviter l'apparition de vides au sein de la matière. [25]

Le taux de compression est une caractéristique importante d'une vis et correspond au quotient de la section de passage utile en zone d'arrivée des granulés par la section de passage utile

en extrémité de vis ; il représente approximativement la variation de volume de la matière moulée.

La translation vers l'avant de celle-ci est assurée si son coefficient de frottement au contact du cylindre est supérieur à son coefficient de frottement au contact de la vis. Dans le cas contraire la vis entrainerait le plastique en rotation, par adhérence, sans le transférer vers l'avant. Le résultat est acquis si la température de la vis est assez faible ; cela n'exige cependant pas un refroidissement artificiel de cet organe si on limite sa vitesse de rotation.

La pression nécessaire au cheminement du plastique le long de la vis est obtenue si le taux de compression prévu est adapté à la matière traitée ; la pression en bout de cylindre qui en résulte n'est pas suffisante pour obtenir un moulage correct par transfert direct dans le moule. Cette dernière opération doit être effectuée en faisant fonctionner la vis comme un piston, grâce à un mouvement de translation fourni par un vérin hydraulique. [25]

III.6.2.4. Tracé de la vis :

Dans un premier temps, la matière entraînée par la vis avance sans changement important de volume et l'on peut adopter un tracé avec noyau cylindrique (fig. III.16 a).

Lorsque la température du plastique croît, on entame la phase de compression et l'échauffement s'accélère ; l'on donne alors au noyau de vis une forme tronconique réduisant progressivement la section d'écoulement. Dans cette zone, l'air et les gaz véhiculés sont refoulés vers la trémie, grâce à l'élévation de la pression.

Les proportions de la figure 16 a correspondent à une vis pour polyamides. Avec le polyéthylène basse densité, une zone de compression de longueur $D/2$ convient bien, mais l'on peut également utiliser une vis dont le noyau est tronconique sur toute sa longueur (fig. III 16 b).

Le pas de la vis est généralement constant et à un seul filet. Les petits pas assurent le travail mécanique le plus élevé et donnent les plus fortes pressions, mais aussi les plus petits débits. A égalité de pas, une vis à plusieurs filets fournit une pression plus élevée, mais un débit plus réduit car les filets supplémentaires occupent une partie du volume disponible. Par contre, la surface d'échange thermique est accrue est la résistance mécanique de la vis est améliorée. [25]

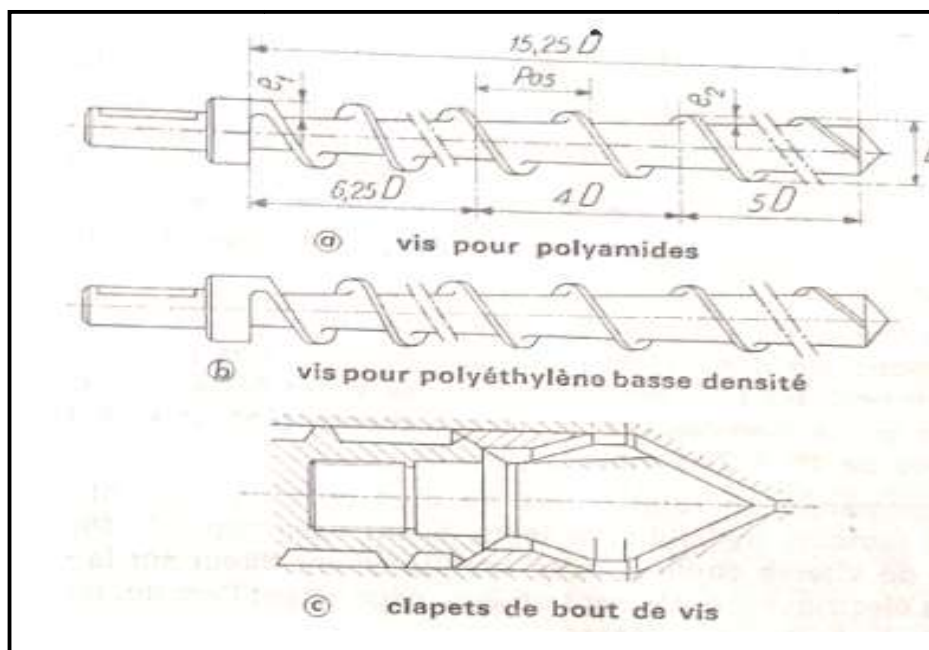


Fig.III 16 Vis de plastification. [25]

Une faible profondeur de filet accroît les pertes par frottement et augmente les échanges thermiques entre plastique et cylindre mais le débit est amoindri ; on l'utilise pour les fortes pressions et les matières rigides. Les fortes profondeurs de filet conduisent à des pressions plus faibles et des débits importants ; elles conviennent pour les plastiques souples (polyéthylène basse densité). Le débit peut encore être augmenté par une vitesse de rotation plus élevée et une vis plus longue. Avec des plastiques à faible coefficient de conductivité, il faut faire appel aux filets peu profonds.

Le chemin parcouru par le plastique est proportionnel au diamètre et à la longueur de la vis. Plus la vis est longue, plus le travail mécanique cédé au plastique sous forme de chaleur est important ; cependant une vis trop longue peut amener la décomposition de la matière et, si elle est trop courte, le malaxage est insuffisant et la température obtenue non homogène. On utilise couramment des longueurs de vis de 15 à 20 diamètres et plus.

Les taux de compression varient de 2 à 4 selon la nature des matières. Les vitesses de rotation des vis s'étaient entre 10 et 500 rpm (révolution par minute) le plus souvent. Avec des plages de 10 à 100 rpm pour les plus gros diamètres de vis et 50 à 500 rpm, pour les plus petits diamètres. Les vis actuellement en service ont des diamètres de 18 à 220 mm.

La commande en rotation est de plus en plus souvent réalisée par des moteurs hydrauliques lents, ayant l'avantage de fournir un réglage de vitesse continu, avec accouplement direct sur la vis. Les moteurs électriques, également utilisés, nécessitent l'emploi de réducteurs ou de boîtes de vitesses. [25]

La mono vis standard d'injection comprend en général trois zones (Fig.III.17)

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

- **Une zone de pompage** : dans cette dernière partie la profondeur demeure constant, le polymère est mis en pression et s'homogénéise.

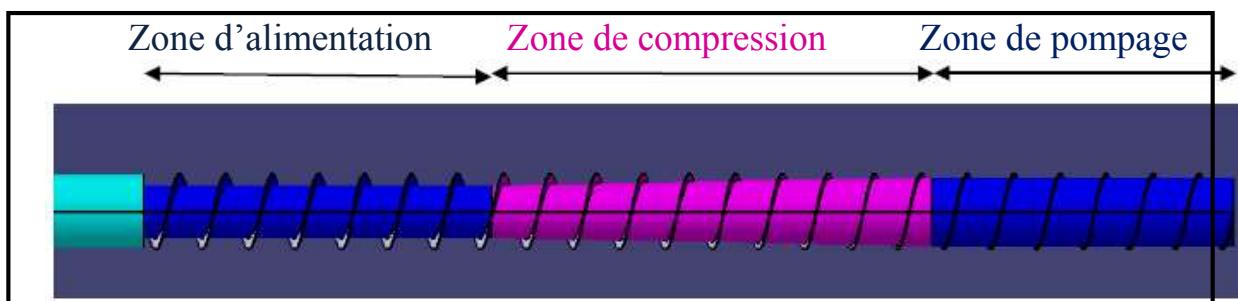


Fig. (III.17) : Schéma d'une mono-vis avec trois zones

- **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 L/D. [25]

III.6.2.5. Les différentes phases de transformation de polymère dans le système vis-fourreau :

Dans le système vis fourreau on a une transformation du granulé de l'état initial à l'état proche en représenté comme suit :

La première fenêtre est située dans la zone d'alimentation de la vis, nous voyons bien les granulés de polymère gardant leurs formes solides. Le polymère commence à fondre à l'interface polymère – fourreau à partir de la seconde fenêtre, par conduction thermique et cisaillement entre le polymère et le fourreau. Bien que la qualité des images ne soit pas parfaite, nous pouvons tout de même voir l'apparition d'un film très fin de polymère fondu collé aux parois de la fenêtre. Le lit solide du polymère a été filmé à la troisième et quatrième fenêtre.

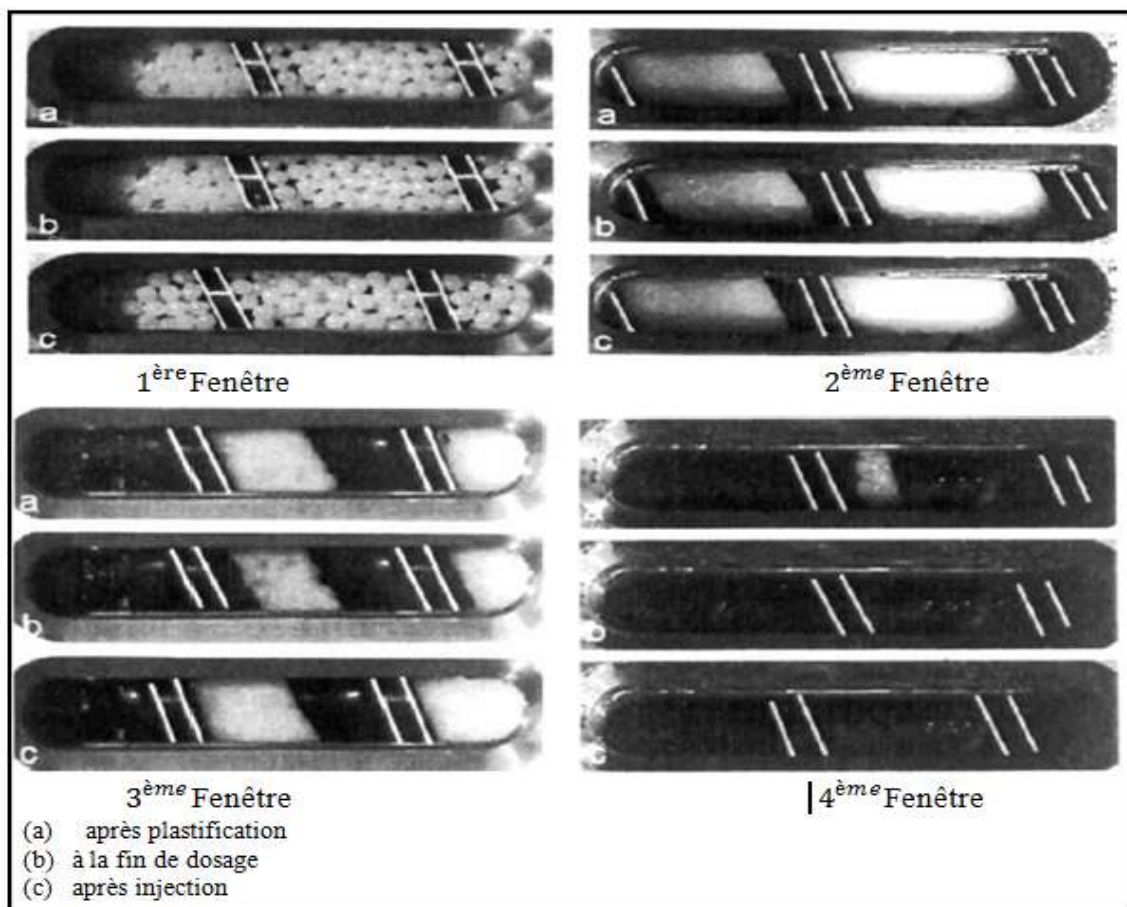


Fig. (III.18) : les différentes phases de transformation de polymère dans le système vis-fourreau.

[22]

III.6.2.6. La buse:

Le refoulement de la matière plastique dans un moule relativement froid et à travers des sections d'écoulement relativement faible (afin de limiter les déchets) doit s'effectuer dans un temps relativement court, en vue d'éviter une solidification prématurée, cela exige l'emploi d'une pression élevée et l'on définit la pression d'injection comme étant la pression maximale atteinte à l'extrémité du cylindre de plastification pendant que la vis piston refoule le plastique dans les cavités de moule.

Une fois plastifiée, la matière est introduite avec une très grande vitesse dans le moule. [22]

Elle doit assurer un contact étanche avec le moule durant l'injection, son est généralement sphérique ou tronconiques ou plans. Elle doit également présenter une surface de contact réduite avec le moule afin de limiter le refroidissement.

- A – Buse d’injection
- B – Collier chauffant
- C – Nez de presse
- D – Clapet
- E – Siège de clapet
- F – Passage matière
- G – Vis
- H – Pointe clapet
- I – Fourreau

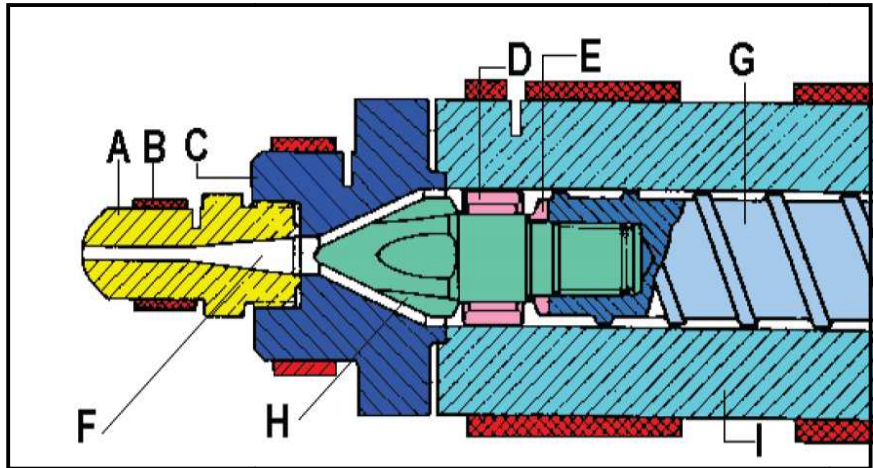


Fig. (III.19) : la buse. [22]

III.6.2.6.1. Calcul des buses des presses d’injection :

Contacte buse moule dur (un acier traité genre 40 CN15 s’impose).

Présenter un diamètre de trou de sortie variable selon le volume de matière à débiter lors de chaque injection, et aussi avec la nature de cette matière ; plus elle est visqueuse à la température de moulage, plus la pièce moulée est importante, et plus grand doit être l’orifice de buse.

Pour un volume à injecter de P(cm³) , à la vitesse d’écoulement V (cm /s) et pour tems d’écoulement t (s), on peut utilise la relation :

$$P= SVt = \frac{\pi d^2 Vt}{4} \dots\dots\dots(III.3)$$

Soit $d = \sqrt{\frac{P}{0,785 Vt}}$ si d (cm) est le diamètre de l’orifice.

- Vt= 2,5 cm pour le polystyrène
- 2,25cm pour l’acétate de cellulose
- 2,1 cm pour le polyméthacrylate de méthyle
- 5 cm pour les polyamides nylon.

La figure 21a à représente une buse ouverte classique répondant à ces divers critères. [25]

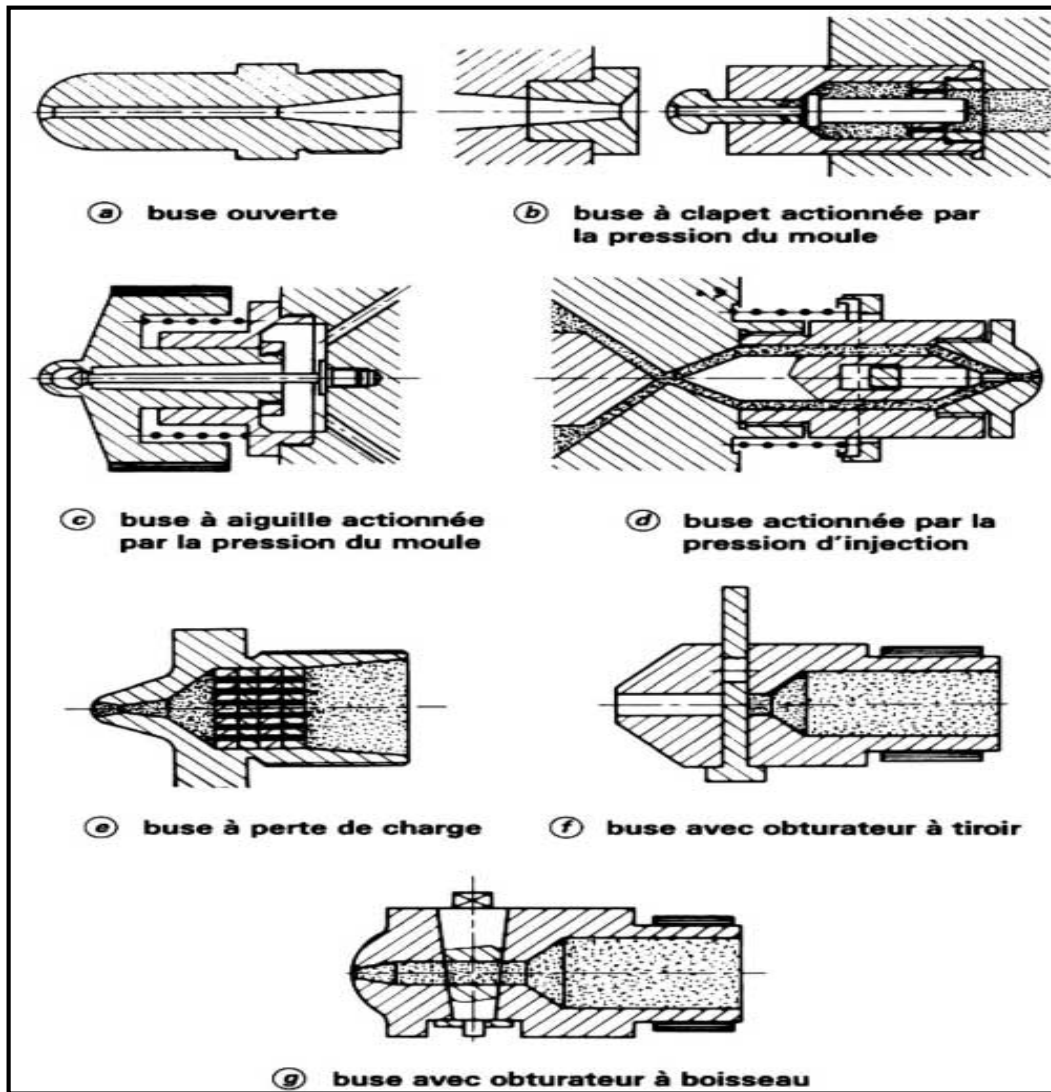


Fig. (III.20) différents types des buses d'injection. [25]



Fig. (III.21) buses d'injection

III.6.3. Position du point d'injection :

La bonne réalisation d'une pièce est conditionnée par un bon écoulement de la matière, ainsi que la bonne fermeture de l'outillage.

L'équilibre des forces dans un outil doit être réalisé avec soin et l'injection de la matière placée au point d'équilibre.

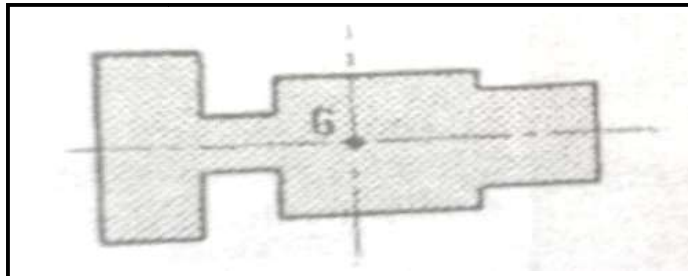


Fig. (III.22) centre de gravité de la pièce. [25]

Le point d'équilibre idéal est le centre de gravité de l'empreinte.

L'équilibre des forces dans un outil doit être réalisé avec soin et l'injection de la matière placée au point d'équilibre.

III.6.3.1. Recherche de centre de gravité :

Le point d'injection est situé au centre de gravité des surfaces à pièce d'être fabriqués.

$$X = \frac{S_1X_1 + S_2X_2 + S_3X_3 + S_4X_4}{\sum S} \dots\dots\dots(III.4)$$

X= position par rapport à l'empreinte

$$\sum S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4$$

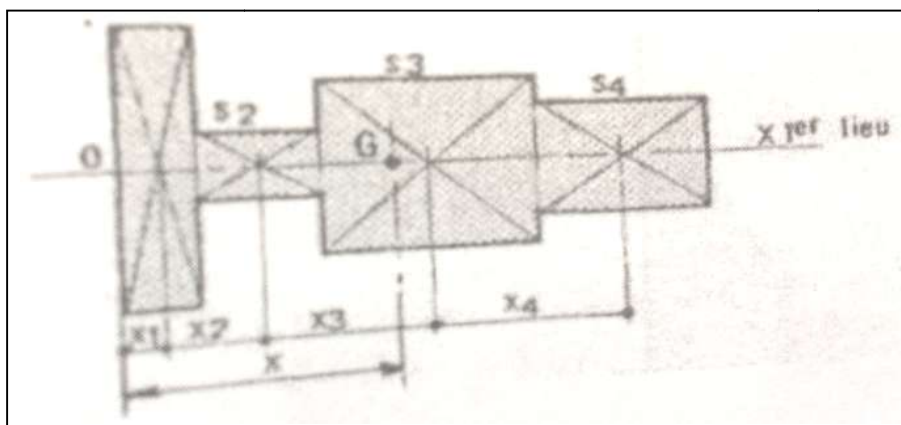


Fig. (III.23) : Méthode de calcul. [14]

III.6.4. seuil

Le seuil est le passage par lequel la matière pénètre dans l'empreinte. La forme, la position et la dimension des seuils influent sur l'écoulement et sur l'orientation qui conditionne la résistance aux sollicitations mécaniques et les risques de déformation au refroidissement.

-les formes les plus utilisées sont : alimentation capillaire (pin point), section rectangulaire, section V en demi-cercle.

Beaucoup de moules présentent des sections très voisines de celle calculées à l'aide de la formule de SOMER FIELD.

$$S = 0.35 \times M$$

Avec S (mm²) section des entrées

M (g) masse de matière injectée dans l'empreinte

La longueur des seuils doit être la plus petite possible. [11]

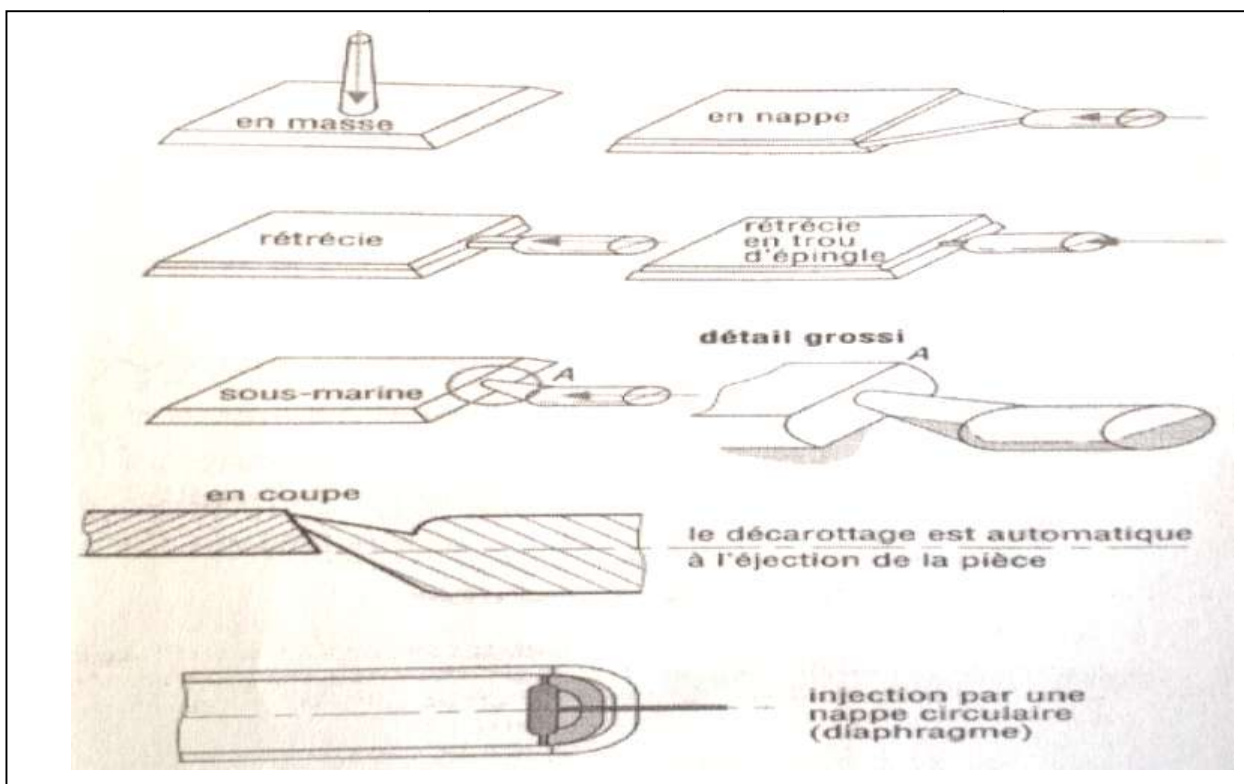


Fig. (III.24) : seuil d'injection

III.6.5. Les colliers chauffants et les barres de fixations

Dans l'ensemble de vis-fourreau, les colliers chauffants servent à chauffer par conduction et réguler l'ensemble du système à la température de travail du polymère utilisé. Ils ont des formes circulaires, qui permettent d'entourer le fourreau cylindrique. Pour fonctionner, ils sont reliés directement au système électrique de la presse. Il existe plusieurs types de colliers chauffants correspondant aux puissances demandées. En général, pour les fourreaux des presses à injection, on utilise souvent les colliers de type céramique, ou bien de type mica.



Fig. (III.25) : Un des trois colliers chauffants spéciaux

III.7. Le moule

III.7.1. Définition :

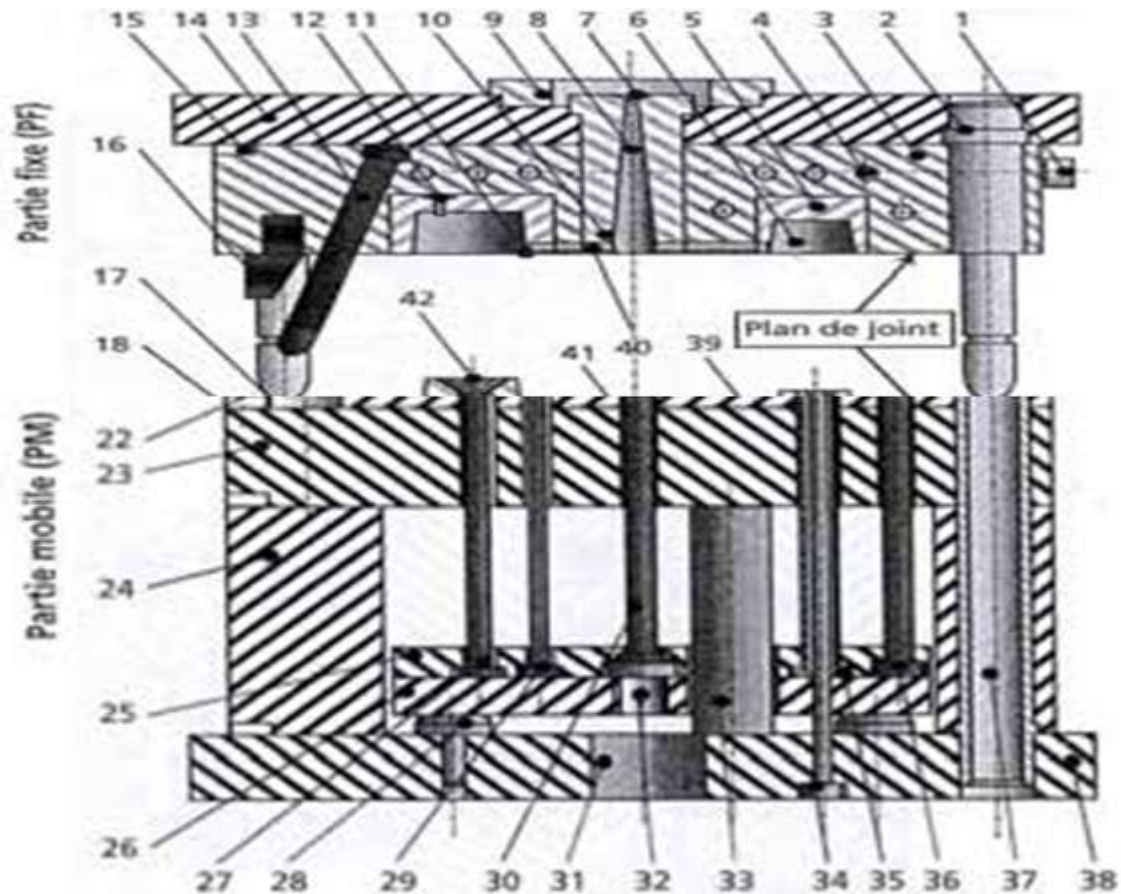
Le moule est l'outil utilisé en injection des matières plastiques, qui remplit plusieurs fonctions et il a pour but de donner à la matière une forme finale nommée pièce ou article. Un moule est constitué principalement de composants illustrés par les figures suivantes :

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

Les matériaux utilisés pour la fabrication des moules d'injection de thermoplastiques sont principalement des aciers choisis selon le procédé de fabrication retenu pour le moule et les conditions d'utilisation (sollicitations, interactions avec les polymères...). [18]

La conductivité thermique des aciers dépend de la composition et de la charge en éléments d'alliages [F] et varie environ entre 15 et 40W.m⁻¹.K⁻¹. Le choix des aciers pour moules d'injection ne doit cependant pas dépendre uniquement des propriétés thermiques mais aussi de la résistance mécanique et à la corrosion. L'augmentation des propriétés mécaniques se traduit par l'ajout d'éléments d'alliage qui peuvent être nuisibles aux propriétés thermiques (par exemple le chrome utilisé pour la résistance à la corrosion a tendance à faire diminuer la conductivité thermique).

A la fin de l'injection du polymère fondu dans la cavité du moule, on obtient la pièce sous sa forme complète. Pour l'éjecter, on doit actionner l'arbre d'éjection (*Fig.III.26*), qui porte le plateau, cette dernière porte la pièce vers l'arrière en retrouvant sa position initiale.



- | | |
|---|--|
|  Guidage et positionnement |  Carcasse |
|  Éjection |  Refroidissement |
|  Mise en forme de la matière |  Mouvements auxiliaires |

- | | |
|--|--|
| 1. Embout de régulation (raccord rapide) | 22. Bloc empreinte de partie mobile |
| 2. Colonne de guidage | 23. Plaque intermédiaire de PM |
| 3. Plaque porte-empreinte de partie fixe | 24. Tasseau (ou entretoise) |
| 4. Circuit de régulation | 25 et 26. Batterie d'éjection ¹ : contre-plaque d'éjection (25) et plaque d'éjection (26) |
| 5. Bloc empreinte de partie fixe | 27. Éjecteur porte-soupape |
| 6. Empreinte de partie fixe | 28. Repos d'éjection |
| 7. Portée de buse moule | 29. Éjecteur |
| 8. Cheminée de buse | 30. Éjecteur arrache-carotte |
| 9. Rondelle de centrage | 31. Passage d'éjection |
| 10. Buse moule | 32. Système d'attelage d'éjection |
| 11. Seuil d'injection | 33. Pillier (ou chandelle) |
| 12. Broche | 34. Broche centrale d'éjecteur tubulaire |
| 13. Doigt de démoulage | 35. Éjecteur tubulaire |
| 14. Plaque semelle de partie fixe | 36. Rappel d'éjection (ou RAZ) |
| 15. Prise de pince | 37. Douille de guidage |
| 16. Verrou de tiroir | 38. Plaque semelle de partie mobile |
| 17. Tiroir (ou chariot) | 39. Joint torique |
| 18. Plaquette d'usure du tiroir | 40. Canal d'alimentation |
| 19. Rainure de guidage du tiroir | 41. Arrache-carotte |
| 20. Bonhomme à bille (ou verrou à bille) | 42. Soupape d'éjection |
| 21. Plaque porte-empreinte de PM | |

Fig. (III.26) Présentation du moule. [25]

III.7.2. L'unité de fermeture:

Cet ensemble permet la fermeture, l'ouverture) et le verrouillage de la partie mobile de moule, 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). Comme le montre la figure, le sommier est relié au plateau fixe par quatre colonnes sur lesquelles le plateau mobile se déplace.

Nous verrons plus loin que ce sont elles qui va assurer la force de fermeture. La (Fig. III.27) montre comment les genouillères développent la force de fermeture.

Les éléments de genouillère G sont représentés dans la position où les plans de joint du moule se rencontrent. Dans cet état, le plateau mobile ne peut plus avancer et les éléments de genouillère en mouvement occupent. On peut se rendre compte que les genouillères remplissent parfaitement le rôle d'un levier qui multiplie les forces. En effet le vérin continue à pousser. Ce qui va provoquer un faible allongement des quatre colonnes. Pour les contraintes et déformations exercées, le comportement mécanique des colonnes sera élastique et ces dernières interviendront comme des ressorts pour exercer la force de fermeture du moule. [25]

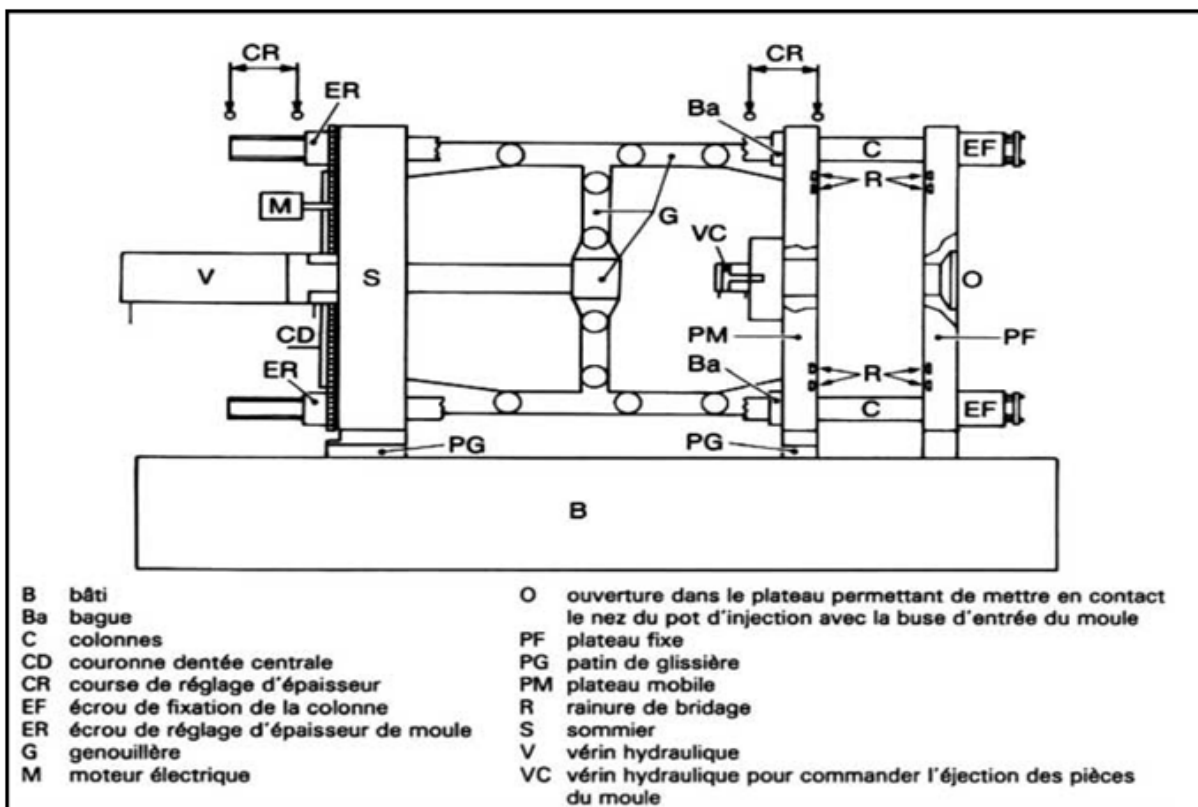


Fig. (III.27) : Groupe de fermeture à genouillères. [25]

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.

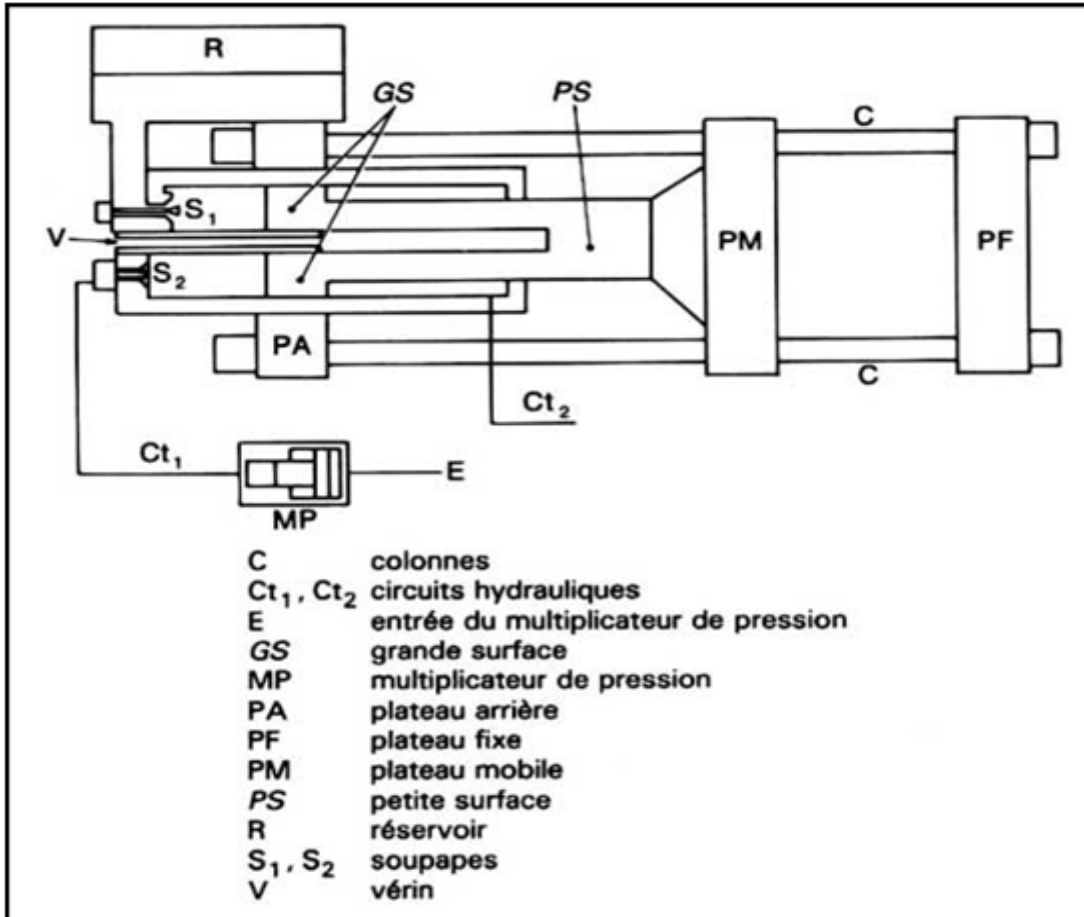


Fig. (III.28) : Groupe de fermeture à verrouillage hydraulique. [25]

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.

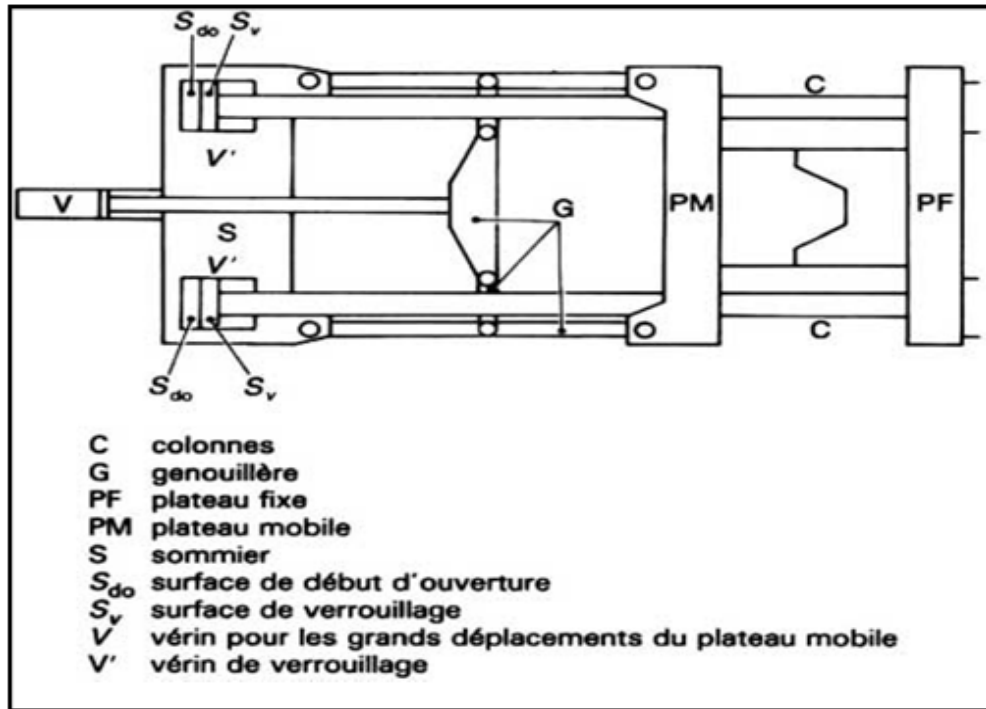


Fig. (III.29) : Groupe de fermeture mixte. [25]

III.7.2.1. Force de fermeture :

Elle détermine la capacité maximale, en surface frontale ou surface projetée des pièces moulées et de leurs canaux d'alimentation, sur un plan parallèle à celui des plateaux. Si F est la force de fermeture, S la surface frontale, P_m la pression moyenne régnant à l'intérieur de l'outillage, il faut respecter l'inégalité :

$$F \geq P_m S \text{ d'où } S \leq \frac{F}{P_m} \dots \dots \dots (III.5)$$

Pour S maximal, la pression moyenne admissible est de l'ordre de 25 à 30 MPa. [19]

III.7.2.2. Course de fermeture ou d'ouverture :

Elle conditionne la profondeur maximale des pièces modulables. La course d'ouverture doit être au moins égale au double de cette profondeur. [19]

III.7.3. Dimension des plateaux :

Elles fixent les valeurs extrêmes possibles pour l'une des dimensions transversales du moule. Par exemple presse billion 90-50 diamètres de centrage du moule sur le plateau Φ 100 H7.

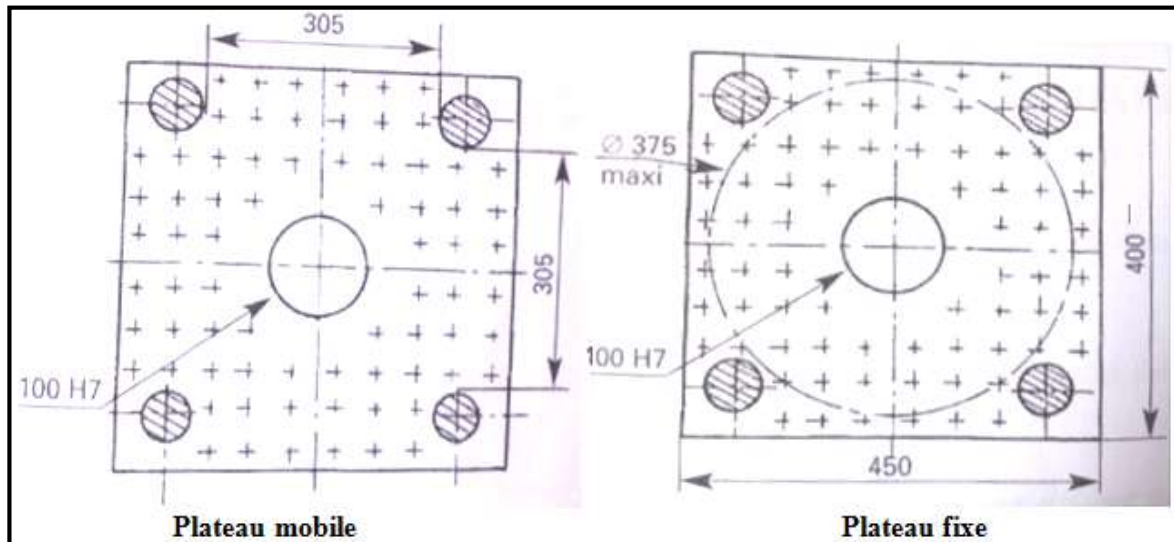


Fig. (III.30) : les plateaux de mole [14]

III.7.3.1. Passage entre colonne

La charge de l'outillage doit être inférieure à la distance horizontale entre les colonnes de la presse dans le cas où le moule verticalement.

Cotes maxi 280*280 ou Φ 375. [14]

III.7.3.2. Fixation sur plateaux

Prévoir dès le début de la conception du moule de la fixation de celui-ci sur les plateaux par bridage ou vise dans les plateaux. [14]

Exemple

Diamètres des trous lisses ou taraudés.

Trou Φ 14 profondeurs 39 mm, Trou M 12 profondeurs 35 mm

III.7.3.3. Rayon de portée de la buse

De presse et son diamètre de passage de la matière plastique si nécessaire adapter les équipements.

III.7.4. Canaux d'alimentation :

Comme dans le cas des buses et pour les mêmes raisons, la section des canaux est un compromis. Sommerfeld indique que la section des canaux doit être 3 fois la section des seuils. [25]

Beaucoup de moules en service sont équipés de canaux dont la section est 2/3 ou 1/2, Sommerfeld propose qu'il est important de prévoir des canaux de section plus faibles est de les agrandir après essai pour la réalisation du moule.

a) Forme de la section des plans des canaux

Les figures ci-contre illustrent ces choix.

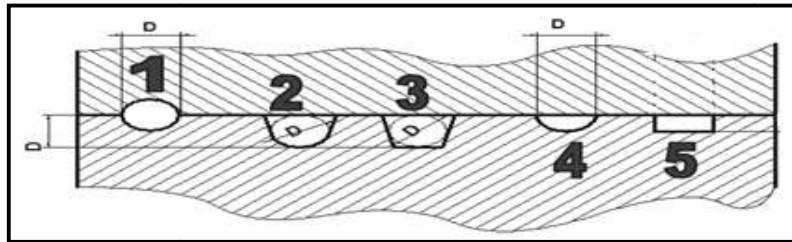


Fig. (III.31) : Les différents types de canaux d'alimentation. [25]

La longueur des canaux ne doit pas dépasser 100 mm.

La forme la mieux adaptée est la section circulaire les demis circulaire

La surface doit être parfaitement polie pour éviter le collage.

b) Canaux a section circulaire

Ils garantissent un débit maximal, de matière et un temps de refroidissement minimal.

L'état de surface doit être de bonne qualité pour réduire les pertes de charge.

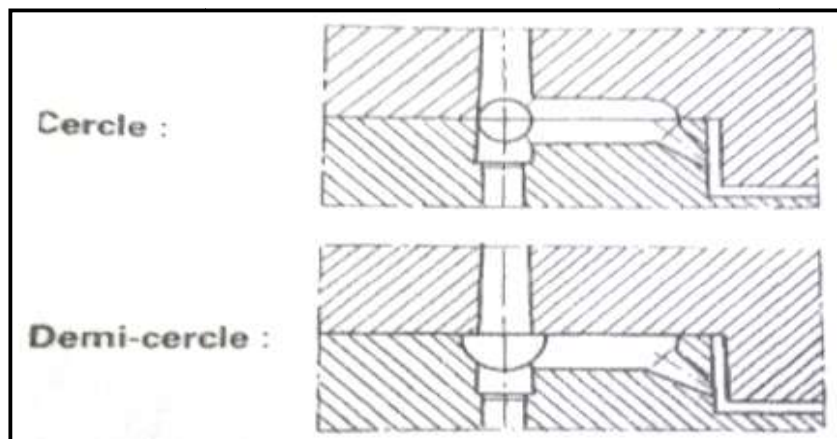


Fig. (III.32) : canaux circulaire et demi-circulaire. [25]

c) Canaux a section trapézoïdale

Ils garantissent un débit moyen et un refroidissement plus rapide.

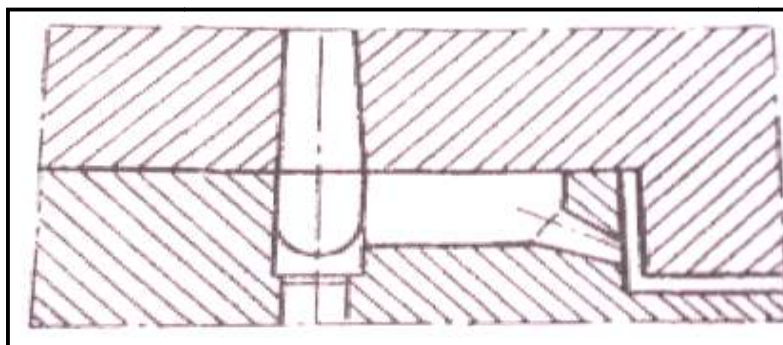


Fig. (III.33) : Canaux Trapézoïdale. [25]

d) Dimensions des canaux

Canal principal	Canal secondaire
L = longue des canaux en (mm) D = Diamètre du canal $D = 6L_1 = 75$ mm maxi $D = 8L_1 = 75$ à 250 mm $D = 10L_1 = 250$ mm maxi	d = diamètre de canal $d = 6$ mm, $L_2 = 75$ mm maxi

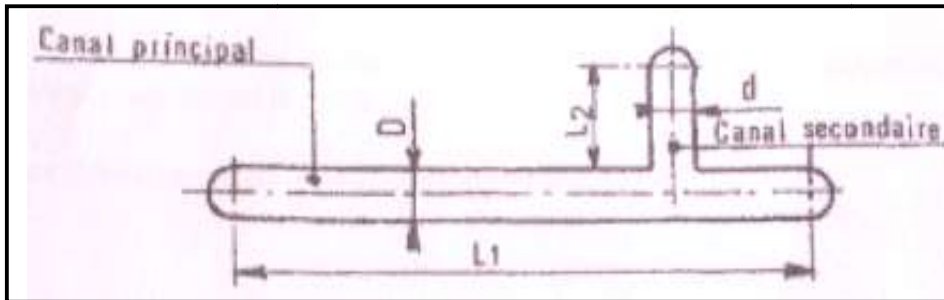


Fig. (III.34) : Canal principal et Canal Secondaire. [25]

e)Système des canaux

Dans les moules à plusieurs empreintes alimentés par un canal principal doit se prolonger au-delà du point de dérivation du canal secondaire pour constituer un point à goutte froide. Il faut réduire au minimum la longueur des canaux pour diminuer les pertes de charge. [19]

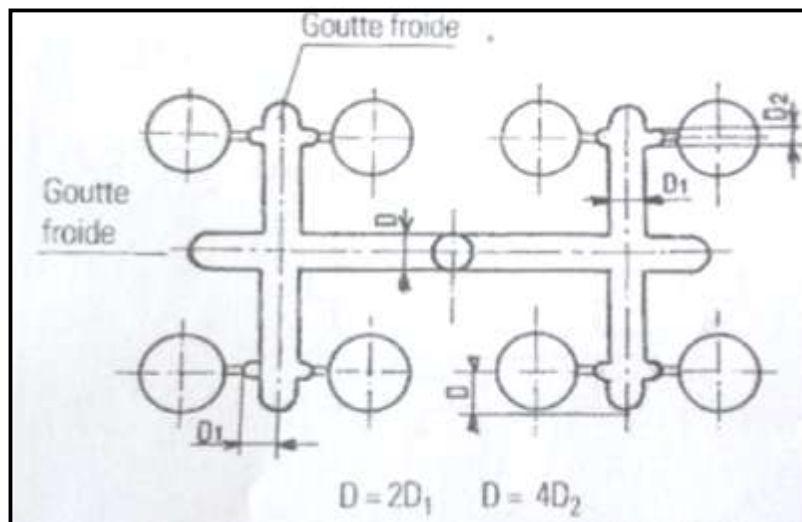


Fig.III.35 : Système des Canaux. [25]

f) Implantation des canaux

L'implantation des canaux se fait en fonction des empreintes et du nombre de pièces produites par le moule.

Les pièces, les canaux et la carotte forment une grappe.

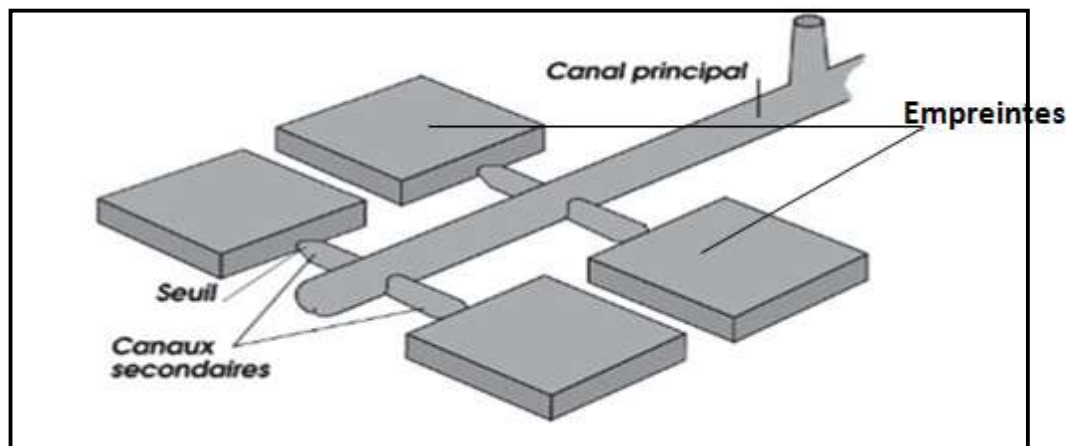


Fig. (III.36) : Exemples de l'emplacement des canaux. [25]

III.7.5. Events d'évacuation de l'air

Un moule doit pouvoir expirer. En effet, l'air et les gaz (vapeur d'eau, etc.) emprisonnés dans les empreintes peuvent s'opposer au cheminement du flux de matière. Les pièces présentent alors des porosités, les gaz portés à haute température peuvent même provoquer des brûlures à la surface des pièces. Pour faciliter l'évacuation des gaz, il est bon de prévoir des événements généralement disposés dans les plans de joint ou le long de broches. Ils ont généralement les dimensions suivantes :

- profondeur 10 à 100 μm ;
- largeur 5 à 10 μm .

Les événements sont généralement usinés après les premiers essais du moule. L'état de surface doit permettre l'évacuation facile de la matière au moment du démoulage ; sans cela, les événements cessent d'être efficaces.

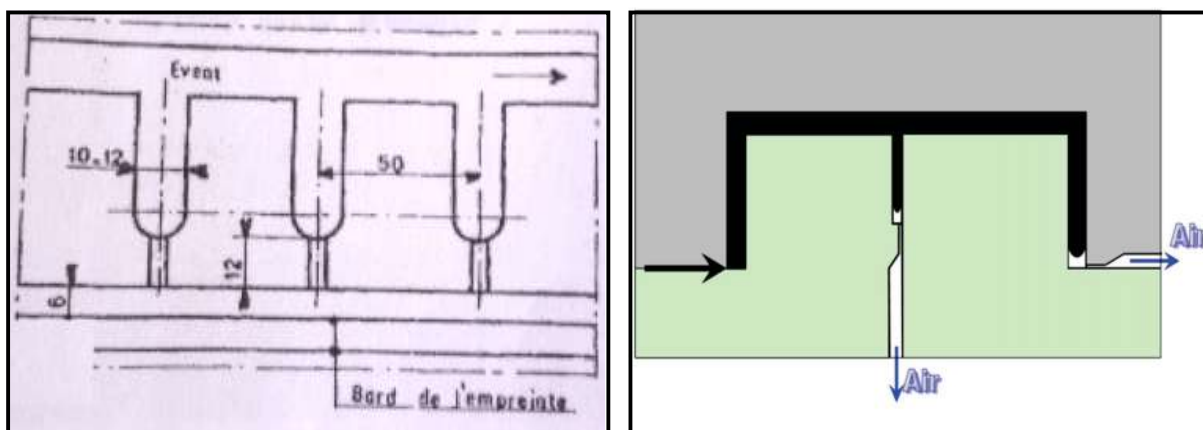


Fig. (III.37) : Events sur le plan de joint. [25]

III.7.6 L'éjection

Pour assurer un bon démoulage, les empreintes doivent présenter un angle de dépouille de l'ordre de 10° , mais il est en général nécessaire d'avoir recours à des éjecteurs. Lors de l'ouverture du moule, la pièce peut rester soit sur le piston, soit dans l'empreinte. C'est généralement le retrait qui plaque la pièce sur l'une des deux parties du moule. Il est parfois possible de faire rester la pièce

d'un côté plutôt que de l'autre, pour faciliter l'action des éjecteurs, en modifiant l'angle de dépouille ou en pratiquant de légères encoches dans le moule sur les faces non visibles de la pièce. Les éjecteurs sont généralement des tiges cylindriques de petit diamètre (par exemple 5 à 6 mm).

Des éjecteurs trop longs ou de trop faible diamètre peuvent se déformer. Les tiges doivent être bien ajustées pour empêcher les fuites, mais également pour éviter le grippage et limiter l'usure.

Généralement, les éjecteurs sont regroupés sur une plaque dite **plaque d'éjection**, dont les mouvements sont commandés par les déplacements des plateaux de presse. Le rappel des éjecteurs peut être assuré par des ressorts.

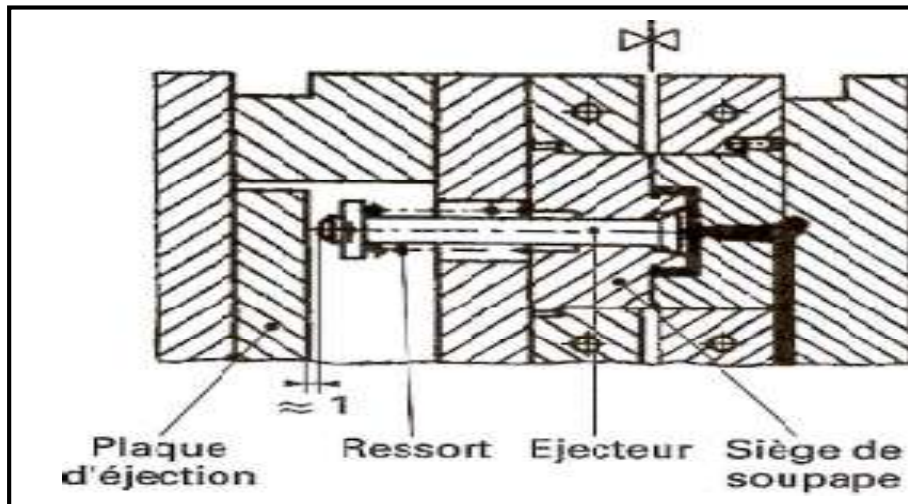


Fig. (III.38) Éjecteur en forme de soupape [27]

III.7.8. Refroidissement des moules :

La pièce moulée en, se refroidis, cède sa chaleur à l'outillage. Ce dernier à son tour l'évacue très partiellement par rayonnement est convection dans l'air environnant, car la plus grande partie de la chaleur à éliminer est absorbée par un fluide réfrigérant (généralement de l'eau).

Dans la production des pièces injectées, le temps de refroidissement constitue le plus souvent la phase la plus longue de cycle de moulage ; c'est donc en améliorant les conditions de refroidissement des pièces moulées que l'on peut encore faire des progrès sensible sur le plan de la productivité.

Les circuits de refroidissement des moules fonctionnent avec un simple réglage manuel de débit de l'eau.

La température de la matière plastique doit rester à la sortie de la buse de la presse jusqu'à l'empreinte du moule. Il faut donc procéder au refroidissement des zones qui entourent l'empreinte.

III.7.8.1 Rôle du refroidissement

Le refroidissement des moules est une nécessité technique et économique, une pièce moulée ne peut être extraite sans dommage l'outillage qui la produit si elle n'a pas acquis une rigidité suffisante pour résister aux efforts d'éjection.

La vitesse de refroidissement influence aussi la structure et les propriétés physiques et mécaniques des matières plastiques. Il faut s'efforcer d'obtenir une vitesse de refroidissement uniforme par aboutir à une structure homogène, cela nécessite la création de condition de refroidissement identique en toute région du moule.

III.7.8.2. Principe de refroidissement

A l'équilibre, deux corps en contact thermique (qui en toutes possibilités d'échange de chaleur) atteignent une même température. L'énergie existant sous forme de chaleur, s'exprime en joule (J) [19]

La température «T» s'exprime soit :

- En degrés Celsius C°, l'origine étant 0 C° température de la glace fondante.
- En Kelvin «K», l'origine étant 0 K absolu avec la relation

$$T = \Theta + 273 \dots\dots\dots (III.6)$$

Θ étant la température en degrés Celsius C°.

III.7.9. La régulation thermique des moules

Dans la plupart des cas, la régulation des moules d'injection est assurée par circulation d'un fluide caloporteur dans des canaux percés dans le moule. Un circuit complet peut être fabriqué par perçage de canaux rectilignes et l'utilisation de bouchons pour fermer le circuit (figure 1.13). Ce système est très efficace pour le refroidissement de plaque plane et rectangulaire puisque les canaux peuvent être repartis régulièrement à une distance constante de la pièce. Un refroidissement quasiment uniforme sera donc assuré. Par contre, l'utilisation de canaux rectilignes ne permet pas d'obtenir un refroidissement uniforme de pièces circulaires ou non planes (figure 1.14)

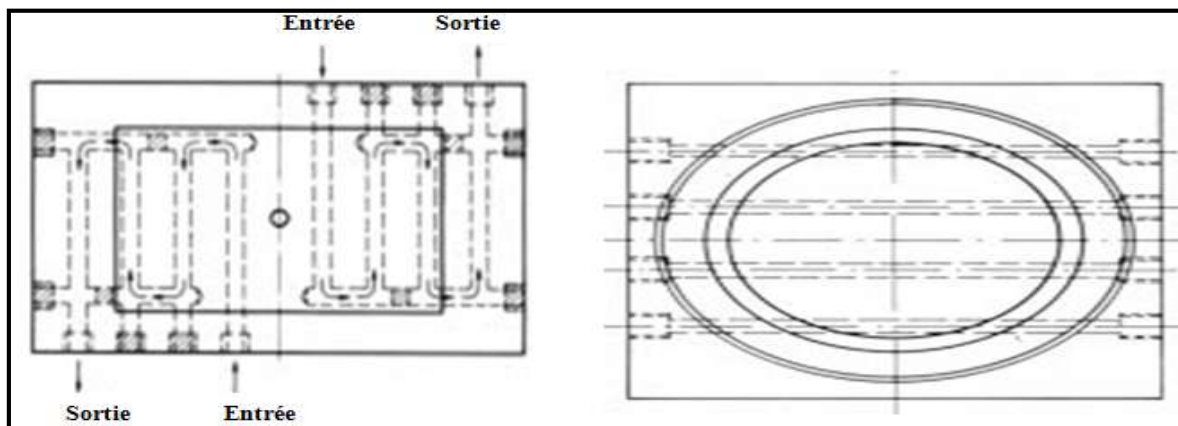


Fig. (III.39) Circuit de refroidissement des plaques de moules

Pour des zones très chaudes mais disposant de peu d'espace pour permettre la mise en place d'une circulation de fluide (par exemple les noyaux étroits), le refroidissement peut être effectué en utilisant des fontaines ou des inserts de matériaux très conducteurs (cuivre, bronze ou béryllium par exemple) en contact à l'autre extrémité avec un canal éloigné de la surface [18].

III.7.9.1. Circulation du fluide

Le fluide circule dans les canaux, la réalisation de ce circuit est peu coûteuse, les canaux sont réalisés par perçage. On a deux différents de montage :

- Montage en série

- Montage en parallèle

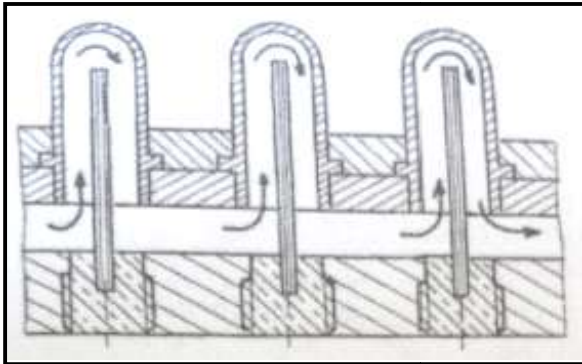


Fig. (III.40) : Montage en série

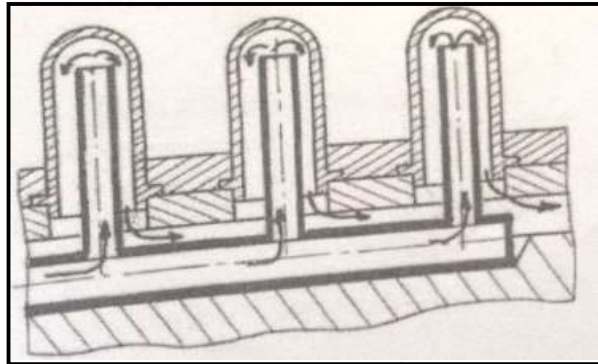


Fig. (III.41) : Montage en parallèle

III.8. Temps de refroidissement des pièces moulées

Le temps de refroidissement à l'intérieur du moule, d'un objet en matière plastique représente presque toujours la phase, la plus longue de cycle de production, en particulier pour les épaisseurs de pièces courantes, de 1.5 à 3 mm.

Pour une pièce d'épaisseur régulière, située dans les limites indiquées et présentant des surfaces latérales internes et externes. Telle que celle schématisée sur le graphique de la fig.

Les temps de refroidissement dépendent directement du rapport du volume de la pièce moulée à la surface totale de refroidissement (V/S), rapport très voisin de la moitié de l'épaisseur e et conduisent à la relation.

Pour les types de pièces considérées. [19]

$$\frac{t}{e^2} = \frac{4\rho c}{k} = Cte \dots\dots\dots (III. 7)$$

- Avec t : Temps de refroidissement
 e : Epaisseur
 ρ : Masse volumique
 c : capacité thermique
 k : Coefficient de conductibilité calorifique.

Le rapport $\rho c/k$ est diffusivité thermique dont la valeur est connue par des températures voisines de la température ambiante, et même au-delà pour certaines matières. [19]

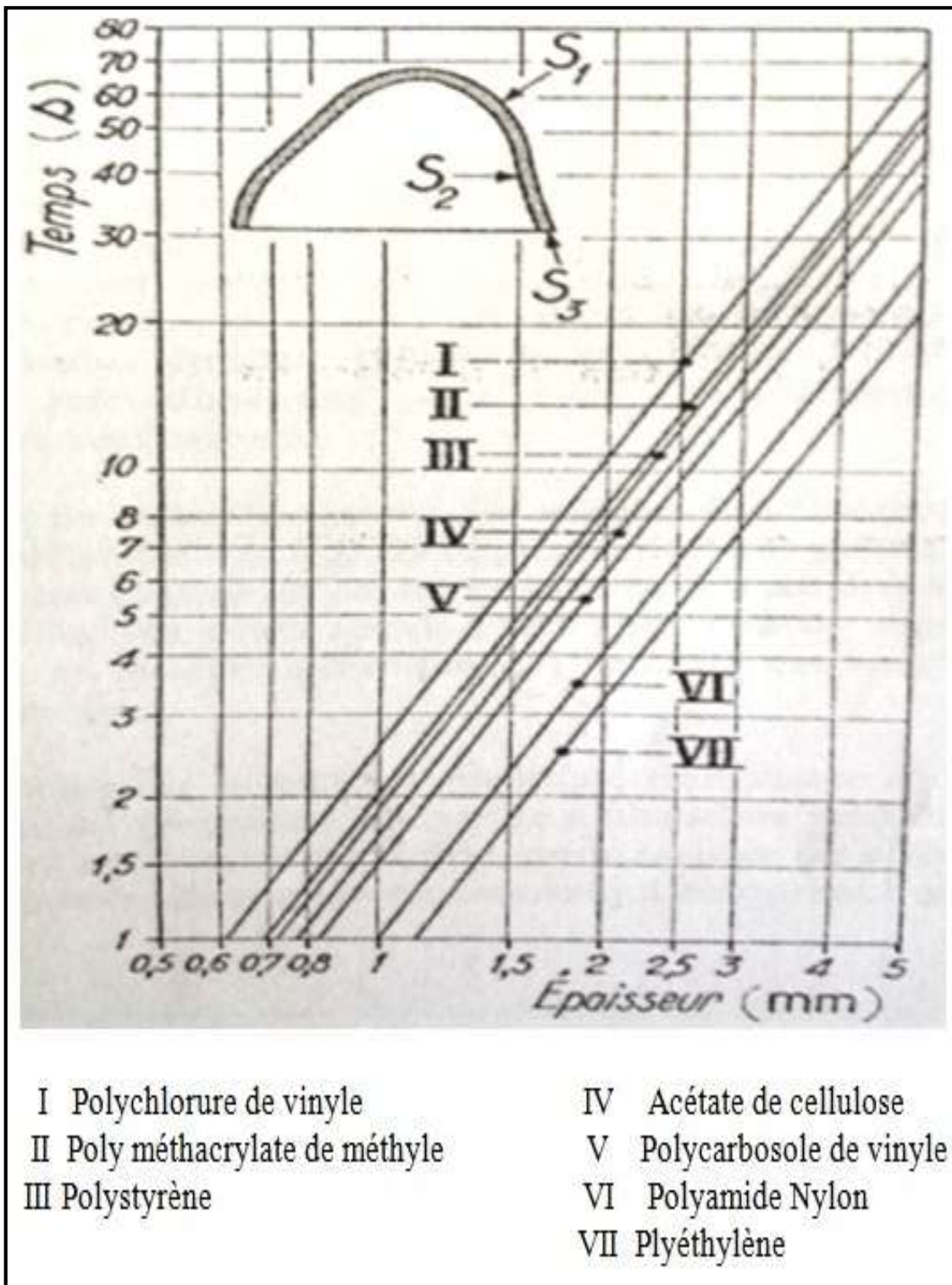


Fig. (III.43) Temps de refroidissement dans le moulage par Injection des thermoplastiques. [19]

$\Delta\theta$ = Variation de température (C° ou K)

III.11. Puissance de chaleur

Sachant que Q est une énergie égale au produit de la puissance P (Watt) par temps t.

La capacité massique c'est la fonction du matériau Acier : C 0.136 Wh/kg.k

$$P = \frac{m C \Delta\theta}{t} \dots\dots\dots (III.10)$$

P = puissance watt [w].

Exemple

Donner la puissance électrique nécessaire pour chauffer 130 kg d'acier en 30 min de 20° à 160° ?

30 min = 0.5 h

$$\text{AN: } P = \frac{130 \times 0.136 \times 140}{0.5}$$

$$P = 4950.4 \text{ [w]}$$

III.12 Les conditions de moulage :

III.12.1 Masse de matière mise en œuvre

Masse de matière = (volume de l'objet × masse volumique de la matière) + perte.

La perte doit être déterminée expérimentalement pour chaque moule et pour chaque matière.

III.12.2 Pression de moulage

$$\text{Pression de moulage} = \frac{\text{force totale appliquée sur le moule}}{\text{surface totale de moulage}} \dots\dots\dots (III.11)$$

Surface totale de moulage = surface de 1 empreinte × nombre d'empreintes.

III.12.3 Chauffage des moules et régulation de température

Les moules peuvent être chauffés par circulation de fluide (vapeur, eau, huile). La méthode de chauffage la plus simple et la mieux adaptée est **le chauffage par résistances électriques**. Les résistances électriques sont des colliers ou des éléments soit logés dans des plateaux chauffant, soit, mieux encore, incorporés dans le moule. Dans ce dernier cas, il est bon, pour diminuer les pertes de chaleur par conduction, d'isoler le moule des plateaux. Le chauffage de chaque partie du moule doit être contrôlé par une régulation de température efficace : régulation électronique commandée par des thermocouples logés dans les parties correspondantes du moule. Il est cependant nécessaire de vérifier régulièrement (au moins une fois par jour) la température des surfaces moulantes à l'aide de sels fusibles ou d'un pyromètre parfaitement étalonné.

III.12.4. Puissance nécessaire à la mise en température

La puissance théorique P_1 nécessaire à la mise en température d'un moule dépend de la capacité thermique massique du matériau constituant le moule ; elle est proportionnelle à sa masse et à l'élévation de température :

$$P_1 = \frac{C_1 m_1 (\theta_2 - \theta_1)}{3600} \dots \dots \dots (III.12)$$

Avec P_1 (w) puissance,

C_1 (J/kg.K) capacité thermique massique du moule ; pour l'acier $C_1 = 4.18 \times 10^2$

J/kg.k soit 0.1 cal/g.K ;

m_1 (kg) masse du moule,

θ_2 (°C) température de moulage,

θ_1 (°C) température initiale de moulage,

3600s temps nécessaire pour chauffer le moule.

A la puissance théorique P_1 nécessaire à la mise en température, il convient d'ajouter la puissance P_2 nécessaire pour compenser les pertes par conduction, convection et rayonnement. Il est possible de diminuer les pertes par convection, conduction et rayonnement en entourant le moule de plaques isolantes (amiante).

La puissance $P_{2,1}$ dissipée par conduction est, donnée par la formule :

$$P_{2,1} = \frac{\lambda S (\theta_2 - \theta_1)}{e} \dots \dots \dots (III.13)$$

Avec $P_{2,1}$ (W) puissance.

λ (W/m.K) conductivité thermique,

θ_2 (°C) température de moulage,

θ_3 (°C) température à l'extrémité opposée des surfaces en contact avec le moule.

e (m) épaisseur de la paroi en contact avec le moule.

La puissance $P_{2,2}$ dissipée par convection est suivent la formule de Fishendem et O.A.Saunders :

$$P_{2,2} = \frac{K \times 1.66 \times 4.18 \times 10^3 S (\theta^2 - \theta^1)^{\frac{5}{4}}}{3600} \dots \dots \dots (III.14)$$

La puissance $P_{2,3}$ dissipée par rayonnement est suivant la loi de Stefan-Boltzmann :

$$P_{2,3} = \sigma S (T_2^4 - T_1^4) \alpha \dots \dots \dots (III.15)$$

Avec $P_{2,3}$ (W) puissance.

σ constante de Stefan : $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2.\text{K}^4$

S (m^2) surface rayonnante.

T_1 (K) température thermodynamique du moule : $T_2 = (273 + \Theta_2)$.

T_1 (K) température thermodynamique de l'atelier : $T_1 = (273 + \Theta_2)$.

α pouvoir émissif de la surface du moule : $\alpha = 0.8$.

la puissance P_2 totale dissipée est : $P_2 = P_{2,1} + P_{2,2} + P_{2,3}$(II.16)

La puissance totale P nécessaire à la mise en température du moule est : $P = P_1 + P_2$

III.12.5 Puissance nécessaire au maintien de la température :

La puissance P_3 nécessaire au maintien de la température du moule, en régime de moulage, est égale à la somme des puissances suivantes [1]:

$$P_3 = P_2 + P_{3,1} + P_{3,2}$$
.....(II.17)

Avec P_2 puissance nécessaire pour compenser les pertes par conduction, convection, rayonnement ;

$P_{3,1}$ puissance dissipée par la matière à mouler ;

$P_{3,2}$ puissance dissipée par l'ouverture du moule.

La puissance dissipée par la matière est :

$$P_{3,1} = \frac{C_2 m_2 (\Theta_2 - \Theta_1) n}{3600}$$
.....(II.18)

Avec C_2 (J/kg.K) capacité thermique massique de la matière à mouler, dans le cas des phénoplastes $C_2 = 1.46 \times 10^3 \text{ J/kg.k}$ soit 0.35 cal/g.K

m_2 (kg) masse de l'objet moulé

Θ_2 température du moule.

Θ_1 température de la matière au moment de son introduction dans le moule.

n nombre de moulées à l'heure.

La puissance dissipée par l'ouverture de moule est :

$$P_{3,2} = \frac{C_1 m_1 \Delta\Theta n}{3600}$$
..... (II.19)

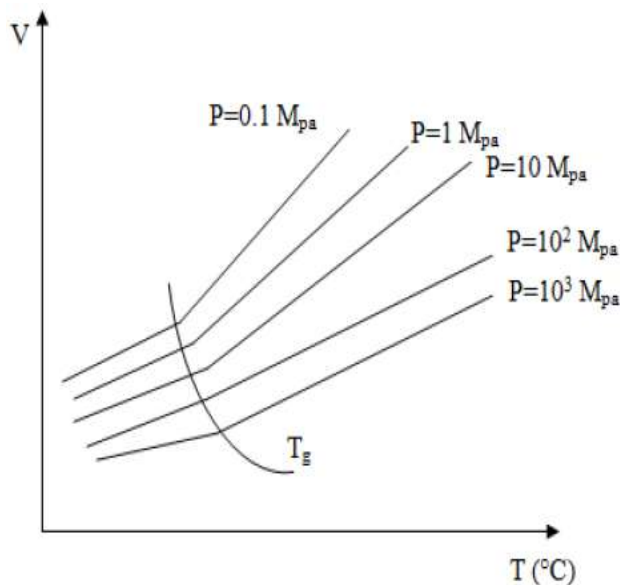
C_1 capacité thermique massique du moule.

m_1 chute de température qui se produirait pendant l'ouverture s'il n'y avait pas compensation.

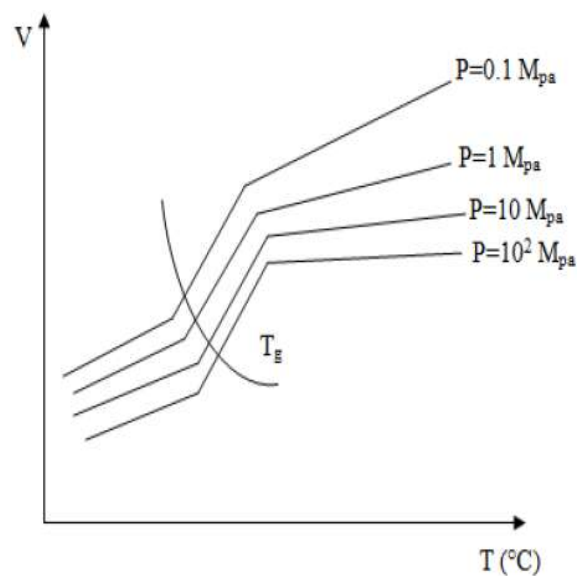
III.12.6. Polymères injectés

Polymères amorphes et semi-cristallins L'observation des évolutions du volume spécifique des polymères lors du refroidissement en fonction de la pression fait apparaître deux types de comportements représentés sur les diagrammes PVT (Pression - Volume - Température) des (figures III.44 et III.45) :

- les polymères amorphes restent à un état surfondu jusqu'à la température de transition vitreuse T_g qui marque le passage de l'état liquide à l'état solide vitreux amorphe.
- les polymères semi-cristallins restent surfondus jusqu'à la température de fusion puis subissent brutalement une diminution du volume lors de leur cristallisation à la température T_c .



(Fig.III.44) Allure du diagramme PVT d'un polymère Amorphe [17]



(Fig.III.45) Allure du diagramme PVT d'un polymère semi-cristallin [17]

L'état amorphe vitreux correspond à un état moléculaire désordonné avec une structure de liquide figé hors équilibre dans lequel les chaînes moléculaires n'ont pas pu se réarranger. Cet état peut être dû à un refroidissement trop rapide ou au polymère lui-même dont les chaînes sont complexes et ne peuvent se réorganiser.

L'état cristallin correspond à un état ordonné et compact des chaînes moléculaires. Cet état est caractérisé par l'absence de transition vitreuse mais l'existence d'un point de fusion. La cristallisation n'est jamais complète en pratique (irrégularités structurales, lenteur du réarrangement, enchevêtrement des chaînes de la phase amorphe). Les polymères semi-cristallins présentent donc un taux de cristallinité X qui est fonction de la vitesse de refroidissement et du polymère lui-même ($0 \leq X \leq X_{\text{max}}$) et peuvent présenter un comportement amorphe si la vitesse de refroidissement est suffisamment élevée.

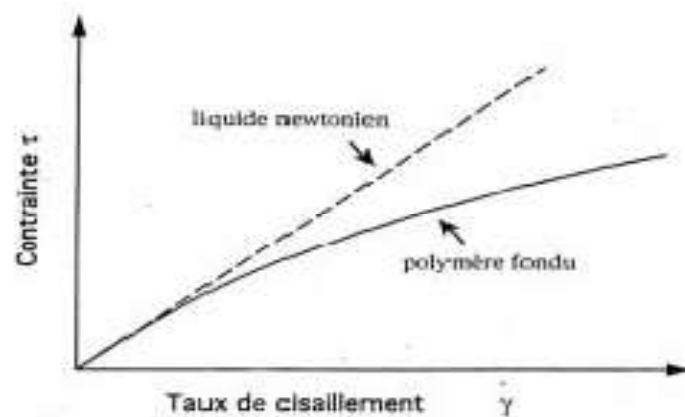
La cristallisation est une réaction exothermique et les polymères présentent une enthalpie de la fusion. De plus, les polymères semi-cristallins présentent un retrait plus important (la compacité dans l'état cristallin ordonné est supérieure à celle de l'état amorphe).

Rhéologie des polymères Les polymères à l'état fondu sont des fluides visqueux. La viscosité

_ caractérise le rapport entre contrainte et vitesse de déformation. En particulier, en cisaillement, on a $\sigma = \eta \dot{\gamma}$, où $\dot{\gamma}$ est la vitesse de cisaillement et σ la contrainte. La viscosité dépendra de la température, de la pression et de la vitesse de déformation. Pour décrire le comportement des polymères, différents modèles de comportement sont disponibles [23] :

- le comportement newtonien,
- le comportement non-newtonien,
- le comportement viscoélastique.

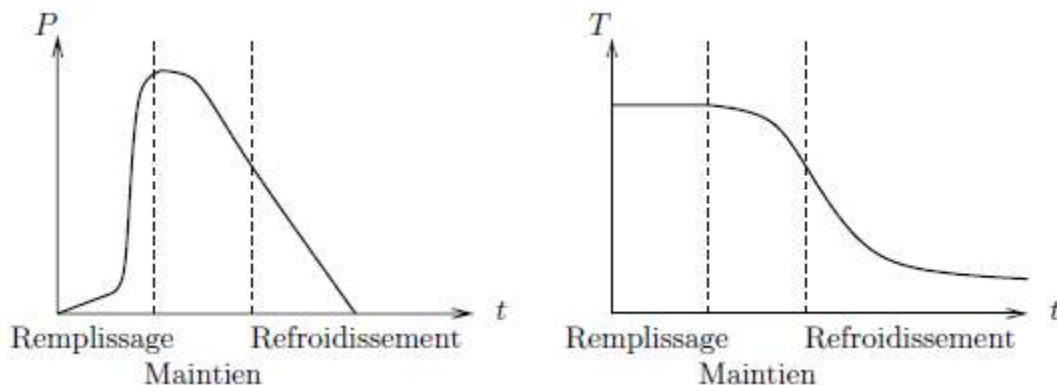
Pour un comportement newtonien, la dépendance de la viscosité avec la vitesse de déformation est négligée. La viscosité newtonienne est donc suffisante pour caractériser le polymère. Au contraire, lorsqu'un comportement non-newtonien est considéré, on introduit un adoucissement de la contrainte lorsque le taux de cisaillement augmente (figure III.46).



(Fig.III.46) : Évolution de la contrainte de cisaillement en fonction de taux de cisaillement pour des fluides newtoniens et non-newtoniens (polymère fondu) [15]

Suivi de l'injection sur un diagramme PVT

Les évolutions de la pression et de la température moyennes dans le polymère au cours des différentes phases de l'injection sont représentées de manière schématique sur la (figure III.47)



(Fig.III.47) : Evolution de la pression moyenne et de la température moyenne dans le polymère au cours de l'injection. [24]

III.12.7 Régime d'écoulement:

Afin de savoir le d'écoulement dans les canaux d'alimentation en applique l'expérience de Reynolds :

$$R_e = \frac{V d}{\nu} \dots\dots\dots (III.20)$$

R_e : Nombre de Reynolds (sans unité)

V : Vitesse moyenne d'écoulement à travers la section considérée en (mm/s)

d : Diamètre de la conduite ou largeur de la buse en (mm).

ν : Viscosité cinématique du fluide (m²/s).

Si $R_e < 2000$ l'écoulement est laminaire

Si $R_e > 2000$ e R l'écoulement est turbulent :

- Lisse si $2000 < R_e < 100000$

- Rugueux si $R_e > 100000$

III.12.8 Temps de cycle

Une formule généralement admise relie, pour les matières thermoplastiques renforcées de fibres de verre, le temps total de cycle t (en secondes) à l'épaisseur e (en millimètres) de la pièce : [25]

$$t \approx 2.5 e^2 \dots\dots\dots (III.21)$$

III.12.9 Poids de la pièce

Le Poids de la pièce est fonction de la masse de la pièce sur la masse volumique. On peut déterminer le poids de la pièce matière plastique

$$V' : \text{volume pièce [cm}^3 \text{]} = \frac{\text{masse de la pièce [g]}}{\text{masse volumique [g/cm}^3 \text{]}} \dots\dots\dots (III.22)$$

$$V' = \frac{m'}{\rho} = \frac{m}{\rho} \Rightarrow m = V\rho \dots\dots\dots (III.23)$$

III.12. Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons étudié la presse d'injection avec indication de ses composants et son mode de fonctionnement. Nous avons découvert la procédure de fabrication des pièces plastiques, en notant le déroulement du cycle d'injection.

Dans le prochain chapitre de ce mémoire on va suivre comment fabriquer une pièce par injection thermoplastique par une presse d'injection.

CHAPITRE IV

SIMULATION DU MOULAGE DE L'HELICE

IV.1 Introduction

La fabrication des pièces par injection thermoplastique passe par plusieurs étapes pour obtenir un produit fini que nous avons proposé dans le chapitre précédent (chapitre III).

La qualité des pièces réalisées est conditionnée par les paramètres de moulage et la technologie de leur mise en forme pour satisfaire cette nouvelle exigence.

Après avoir fait un stage pratique en société **SPA CONDOR ELECTRONICS** (*zone d'activité Route de M'sila ilot 70, section 161, BBA 34000*). Dans ce chapitre on explique comment fabriquer une pièce thermoplastique par une machine d'injection **HITEN** avec la réalisation des conditions et des paramètres.

IV. 2. Définition

Le climatiseur est un dispositif utilisé dans les lieux publics et privées, afin de maintenir une certaine température. Se compose par plisseur élément, mention de ce qui l'hélice.

IV. 3. L'hélice de climatiseur

L'hélice de climatiseur est une pièce plastique de forme complexe, ce compose à trois coulisses est utiliser pour respiration et introduction d'aire à l'intérieur de moteur.

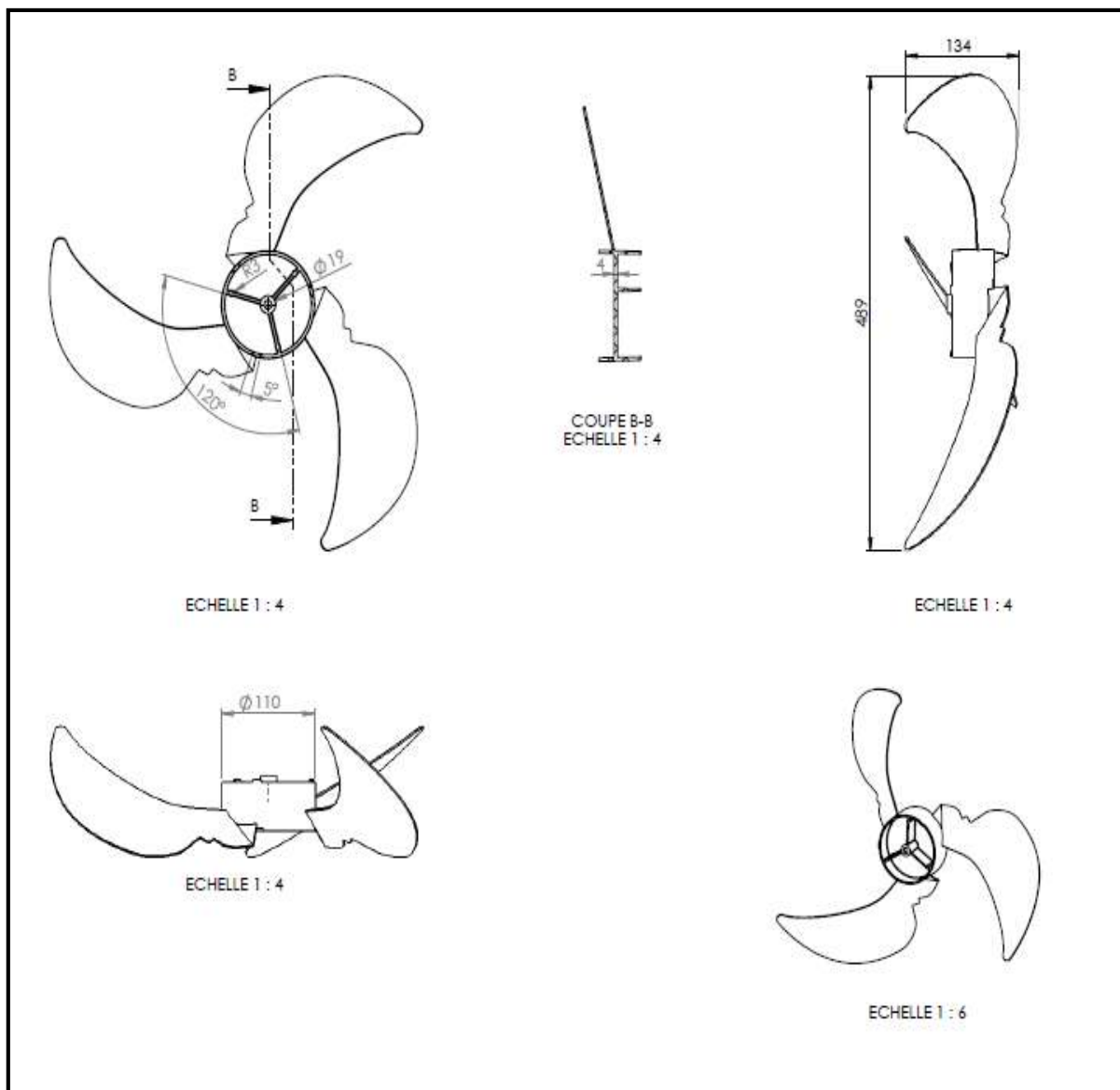


Fig. (IV .1) : Mise en plan de l'hélice

IV. 3. 1. Modèle 3D maillage associé

Le modèle 3D représente la prothèse de l'hélice. Les éléments de maillage choisis sont des triples, qui sont les éléments les plus adaptés pour une telle géométrie. Ainsi la prothèse de l'hélice est composée de 23265 éléments et de 11634 nœuds.

HELICE (Défaut<<Défaut>...



Éléments 23265
Nœud 11634

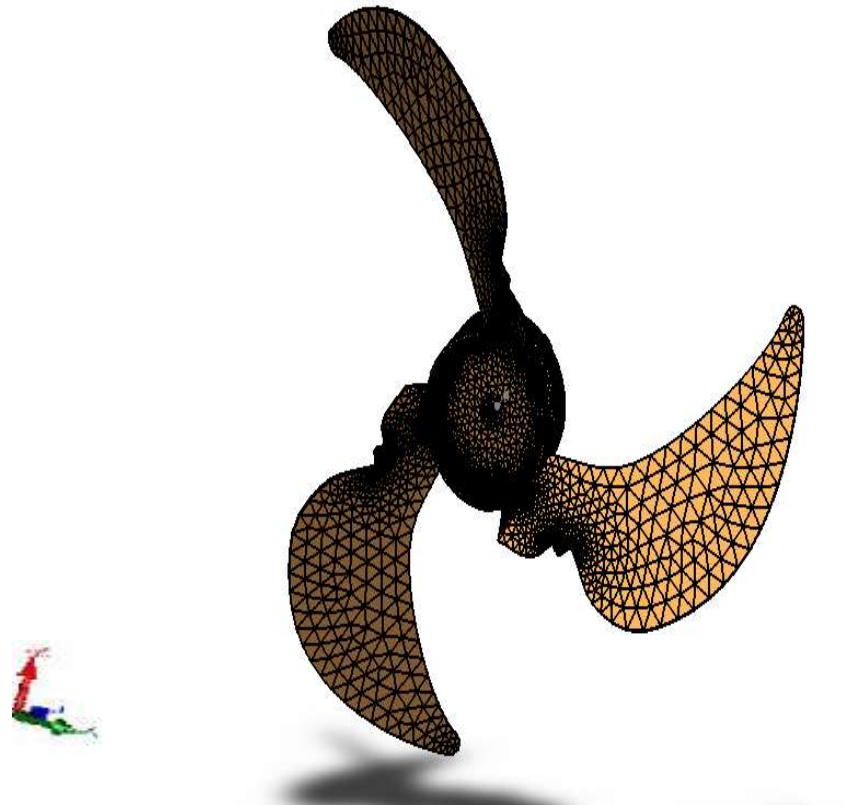


Fig. (IV.2) : modèles 3D maillés

IV. 3. 2. Dessin finale de l'hélice avec SolidWorks

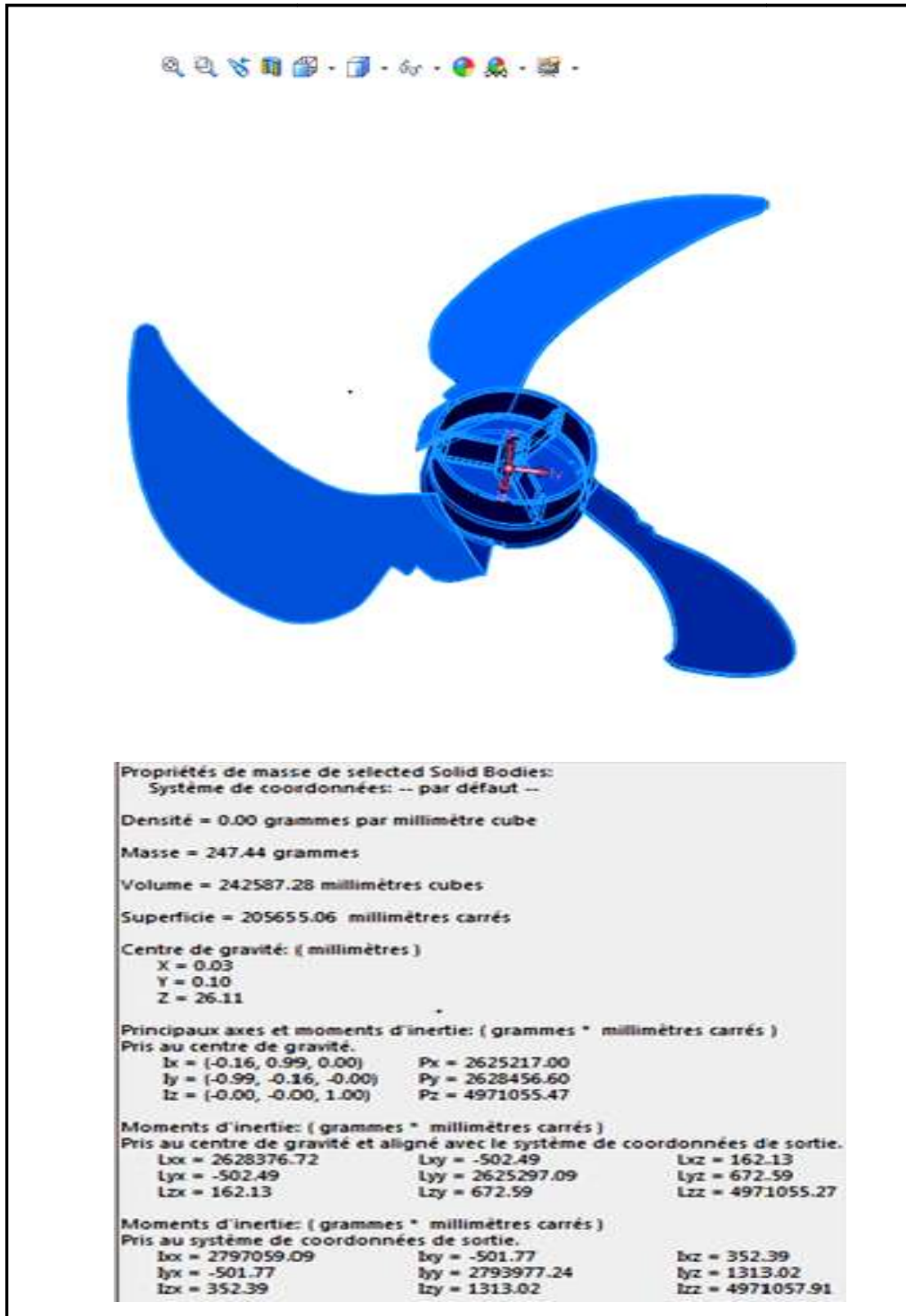


Fig. (IV .3) : dessin de l'hélice par SolidWorks

IV.3.3. La matière utilisée

Pour fabriquer une hélice de climatiseur on utilise la matière polymère Polypropylène (pp). puis plusieurs caractéristiques comme

- Produit Recyclable jusqu'à 5 fois
- copolymère hétérophasique nucléé
- contient un agent antistatique
- Excellent équilibre de bonne rigidité impact avec fluidité moyenne

IV.3.3.1. Caractéristique de base

Caractéristiques	Critères	Unité	Norme de référence
Densité	0.905	g/cm ³	ISO 1183
Débit de matière fondue (230°C/2.16kg)	21	g/10-min	ISO 1183
le débit volumique à l'état fondu (230°C/2.16kg)	28	Cm ³ /10-min	ISO 1183
Température de fusion	190 - 260	°C	ISO 294
Vitesse d'injection	240	mm/s	ISO 294
Température de séchage	80	°C	
Masse volumique	900	(kg. m ⁻³)	ISO

IV.3.3.2. Caractéristique mécanique

Caractéristiques	Critères	Unité	Norme de référence
Module de traction	1.550	MPa	ISO 527-1,-2
Contrainte de traction à un rendement	27	MPa	ISO 527-1,-2
contrainte de traction à la rupture	>50	%	ISO 527-1,-2
contrainte de traction au rendement	5	%	ISO 527-1,-2
Module d'élasticité longitudinal	1200	(Mpa)	
Allongement à rupture	20 à 400	%	
Coefficient de dilatation thermique	9.10 ⁻⁵	°C ⁻¹	ISO 11359

Tab. (IV.1) : Caractéristique de la matière pp

IV.3.3.3. Caractéristique physique

-module de Young : 1,1 à 1.6 GPa

-retrait : 1 à 2.5 %

Code d'identification de la racine pp

PROCEDE DE TRAITEMENT

-Moulage par injection

Composons chimique : $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$

IV.4. La presse d'injection plastique HAITEN SA 5300

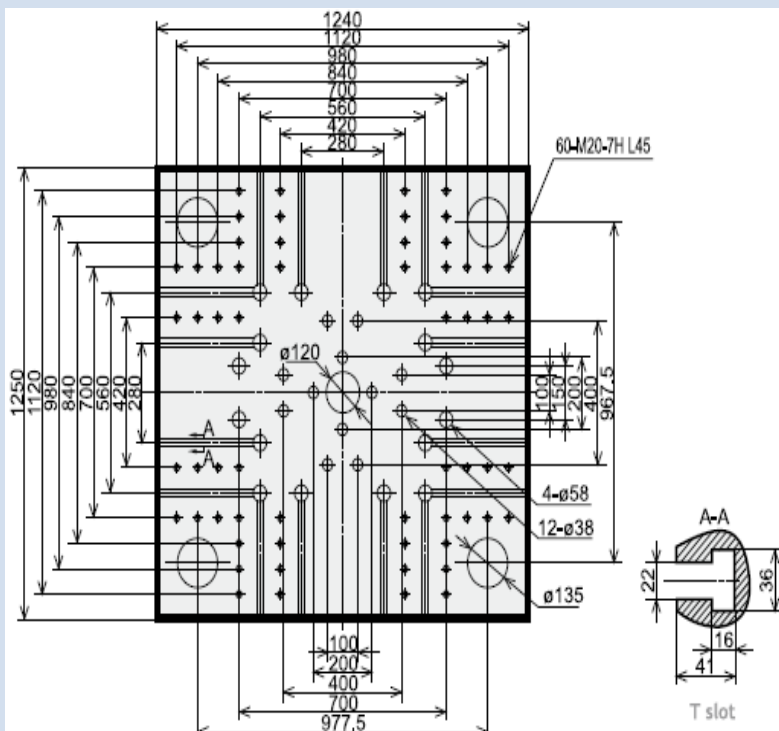


Fig. (IV.4) : Machine HAITEN

IV.4.1. Spécification d'une presse HAITEN 5300

		MA 5300			
Unité d'injection		A	B	C	D
Vis de diamètre	mm	80	85	90	100
Rapport de la vis L/D	L/D	22	20.7	19.6	17.6
Taille (théorique)	cm ³	2212	2497	2799	3456
Poids d'injection	g	2013	2272	2547	3145
Taux d'injection	g/s	448	505	567	700
Pression d'injection	MPa	205	182	162	131
Capacité plastifiant	kg/h	211.32	235.44	258.48	311.4
Vitesse de vis	rpm	149			
Unité de serrage					
Tonnage de serrage	kN	5300			
Coup de basculer	mm	850			
Dimension de plateau moule	mm	1240 x 1250			
Espace entre les colonnes	mm	840 x 830			
Hauteur de moule MAX	mm	850			
Hauteur de moule MIN	mm	350			
Coup de moule ouverture	mm	1700			
Coup d'éjecteur	mm	220			
Force d'éjecteur	kN	158			
Nombre d'éjecteur	pcs	17			
Autre					
Chauffe-puissance	kW	44.45			
Ajusté de pression	MPa	16			
Puissance pompe de moteur	kW	55			
Dimension de machine (l*w*h)	m	9.23 x 2.2 x 2.66			
Poids de la machine	t	26			
Capacité de trémie	kg	100			
Réservoir d'huile capacité	l	1040			

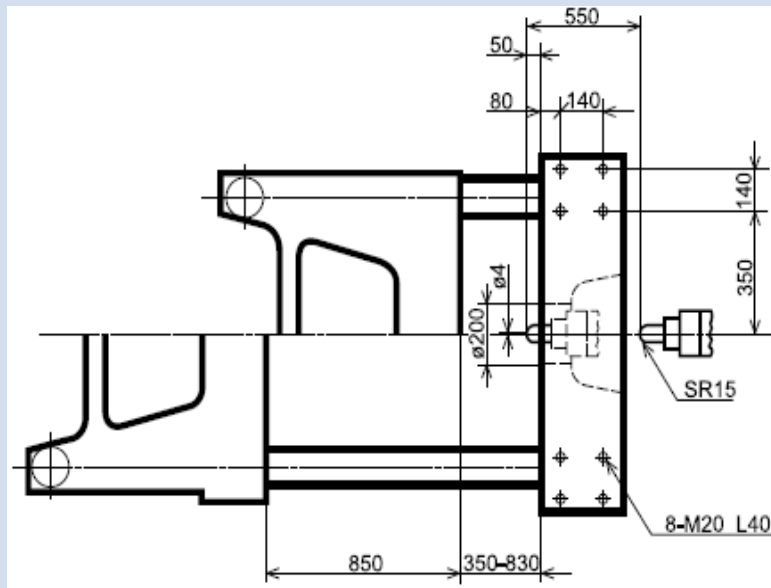
Dimension de plateau
Plateau mobile



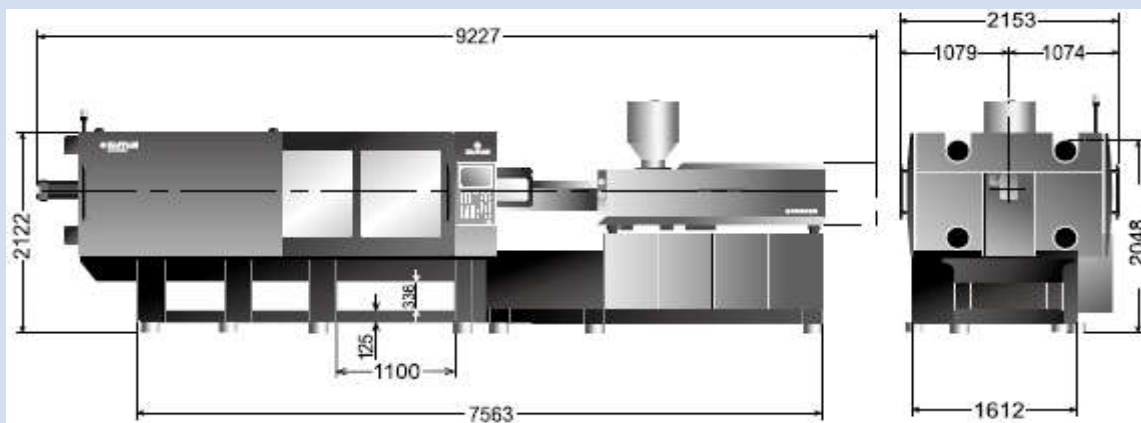
Dimension de plateau

Trou de montage pour robot

Sélecteur de vue de dessus de fixe plateau



Démentions de la machine



Tab. (IV.1) : Spécification d'une presse HAITEN 5300

IV.5. La fabrication d'une hélice de climatiseur

Le procédé de mise en œuvre par injection plastique se présente généralement comme suit:

IV.5.1. Etape 01 : chargé la trémie

La matière plastique avant transformation se présente sous forme de granules dépassant rarement quelques millimètres. Ces granules servent à alimenter la trémie de la presse par un aspirateur réglé (l'aspirateur charge la trémie après l'arrivée de commande du capteur. le temps de charge $t = 14$ s).



Fig. (IV.5) : Réservoir de granulés



Fig. (IV.6) : Aspirateur

IV.5.2. Etape 02 : phase de plastification

La trémie alimente la vis de plastification des granulés en 8s.

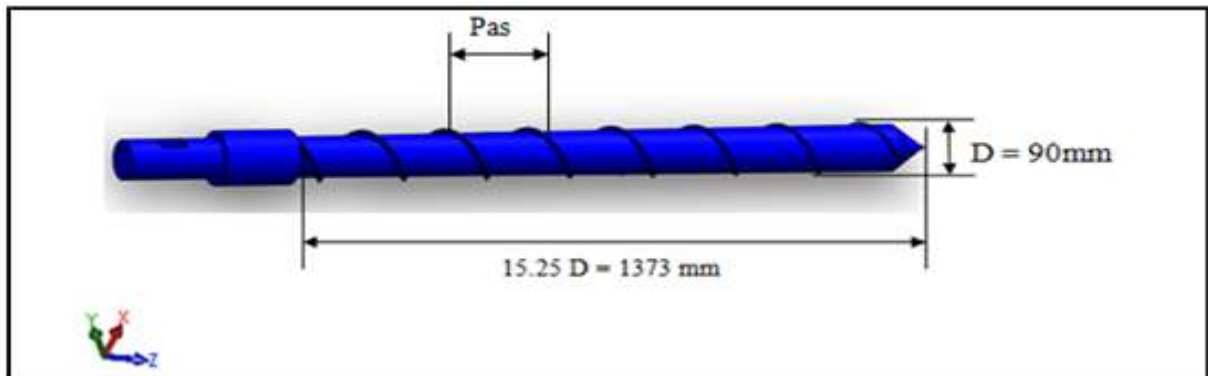


Fig. (IV.7) : Vis de la presse avec SolidWorks

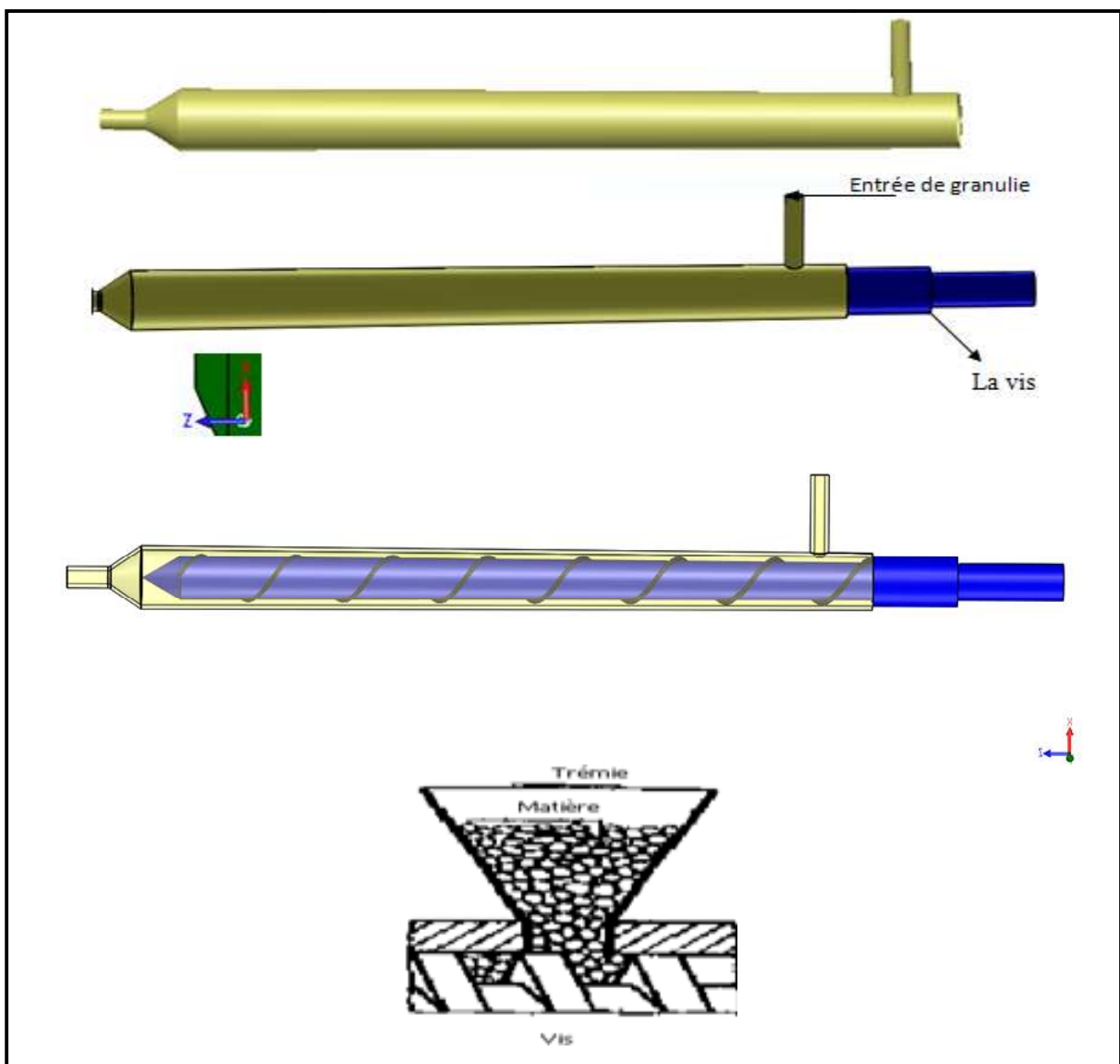


Fig. (IV.8) : phase de plastification

IV.5.3. Etape 03 : phase de remplissage

Le remplissage (préparation d'une dose à injecter dans le moule) s'effectue par rotation et translation de la vis.

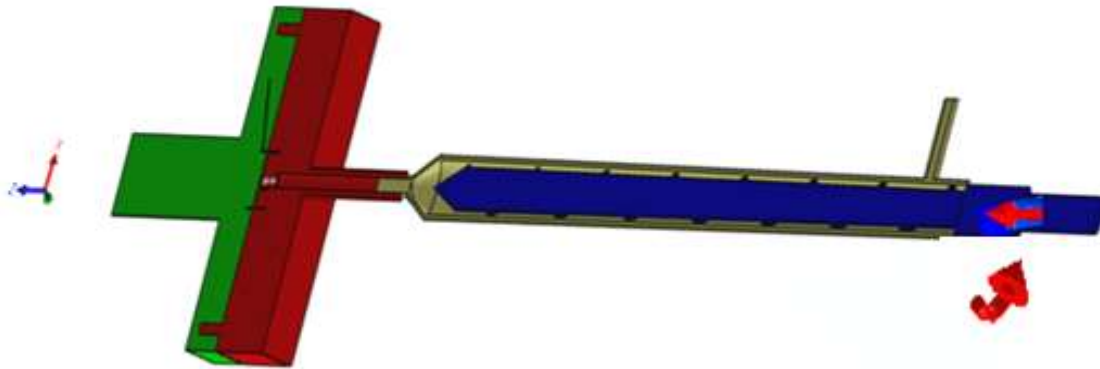


Fig. (IV.9) : Coupe de vis moule avec SolidWorks

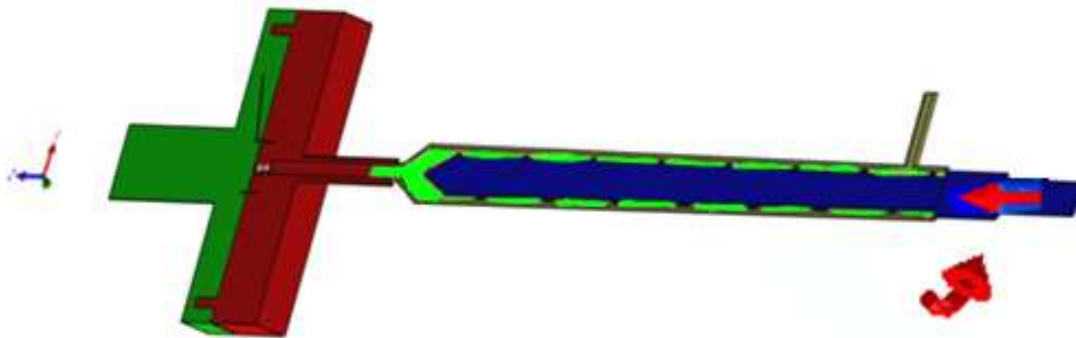
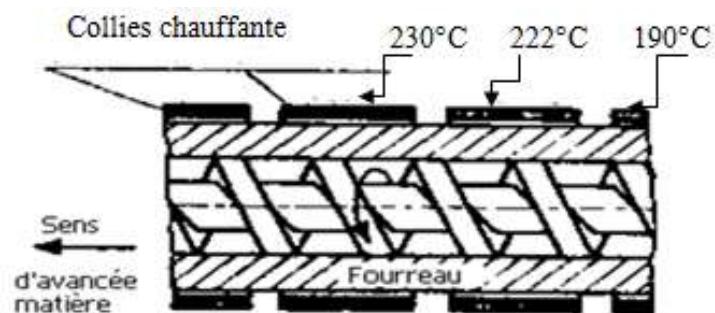


Fig. (IV.10) : Représentation de la résine dans la vis

Cette vis en tournant permet d'amener la matière dans le fourreau par vitesse 350 tr/min. Les colliers chauffants et l'action mécanique de la vis vont faire fondre et malaxer les granulés. (Les températures des colliers chauffants 190°C, 222°C, 230°C, 240°C, 250°C, 260°C.)



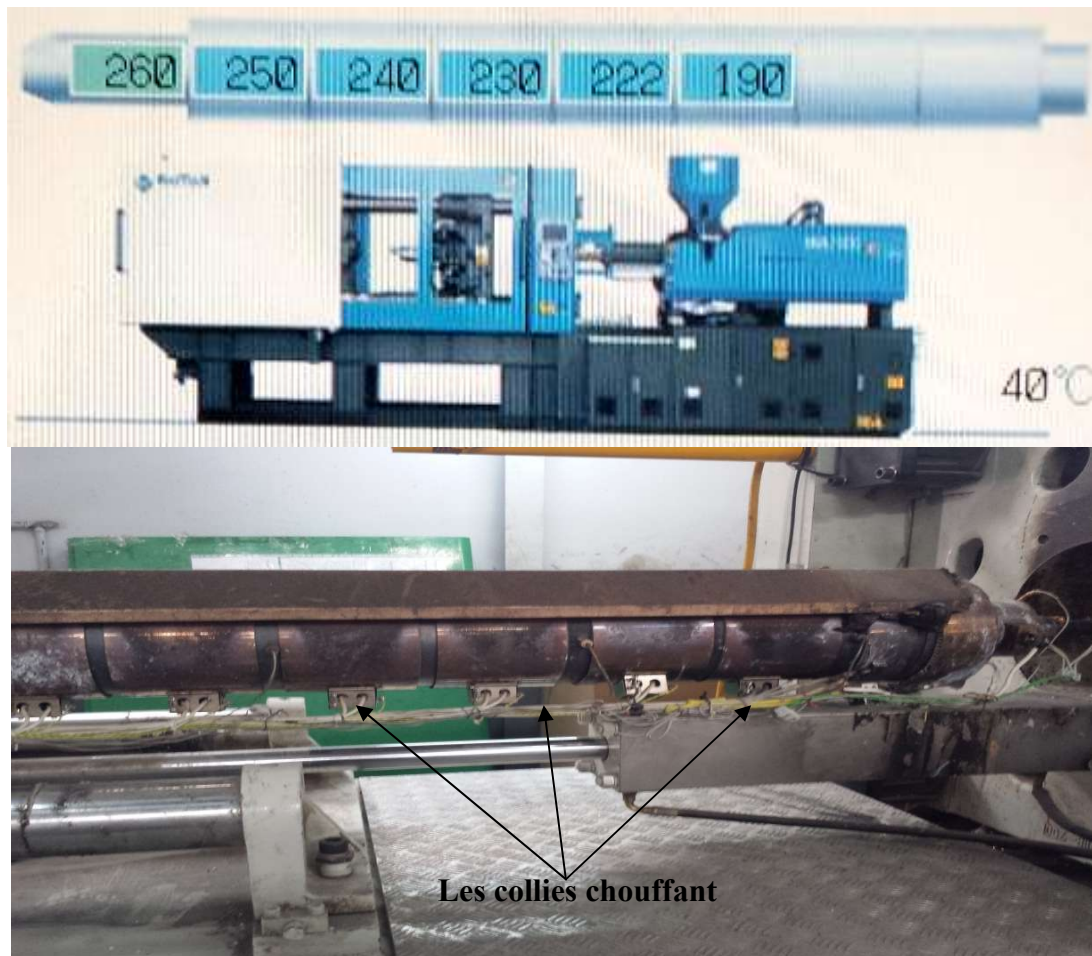
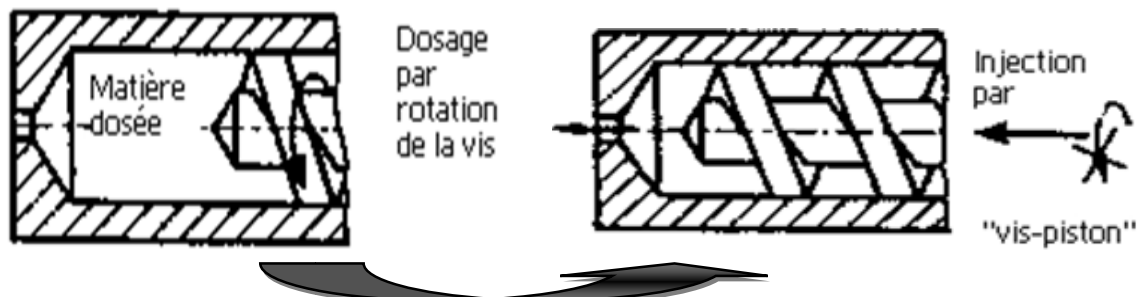


Fig. (IV.11) : les collies chauffant



Avec vitesse de translation $V_t = 11 \text{ mm/s}$ et $V_r = 350 \text{ tr/min}$ la vis remplit la résine dans l'empreinte de moule.

Le temps de remplissage : 9s

$$\text{Le débit } Q = \frac{V_{rt}}{\text{Durée de remplissage}} = \frac{[cm^3]}{[s]} = \frac{[l]}{[s]}$$

$$\text{Pression de moulage} = \frac{\text{force totale appliquée sur le moule}}{\text{surface totale de moulage}}$$

La pression de moulage = 140 bar.

Surface totale de moulage = surface de 1 empreinte × nombre d'empreintes.

Dilatation thermique

$$L = L_0 (1 + \alpha_L \Delta\Theta)$$

IV.5.4. Etape 04 : phase de compactage

La matière pénètre dans le moule et vient remplir les empreintes en passant dans la carotte, les canaux d'injection et les seuils

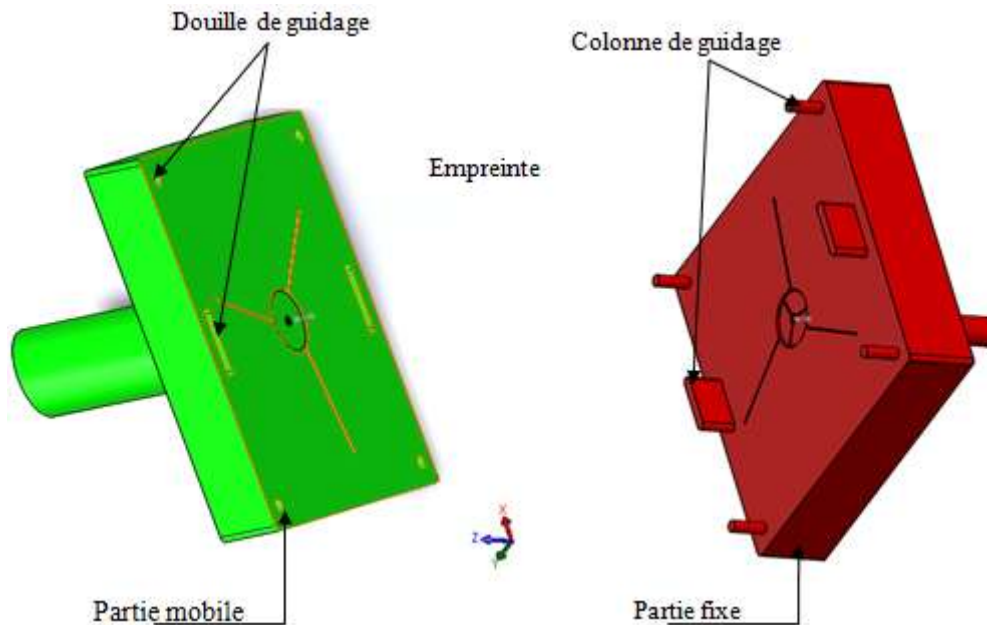


Fig. (IV.12) : La mole

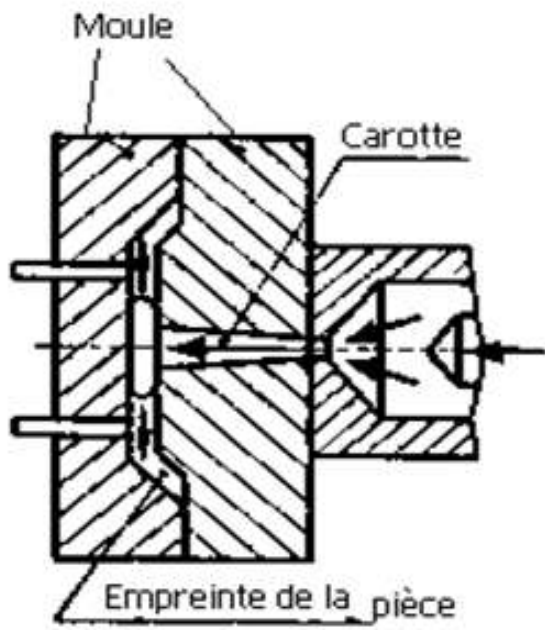


Fig. (IV.13) : Phase de compactage



Fig. (IV.14) : Les deux partie de moules

IV.5.5. Etape 05 : le maintien et refroidissement de la pièce

Le moule reste fermé pendant un laps de temps, pour permettre à la matière de se solidifier. Pendant ce temps, la vis recule tout en tournant pour effectuer un nouveau dosage en amenant de la matière fondue au-devant de la buse

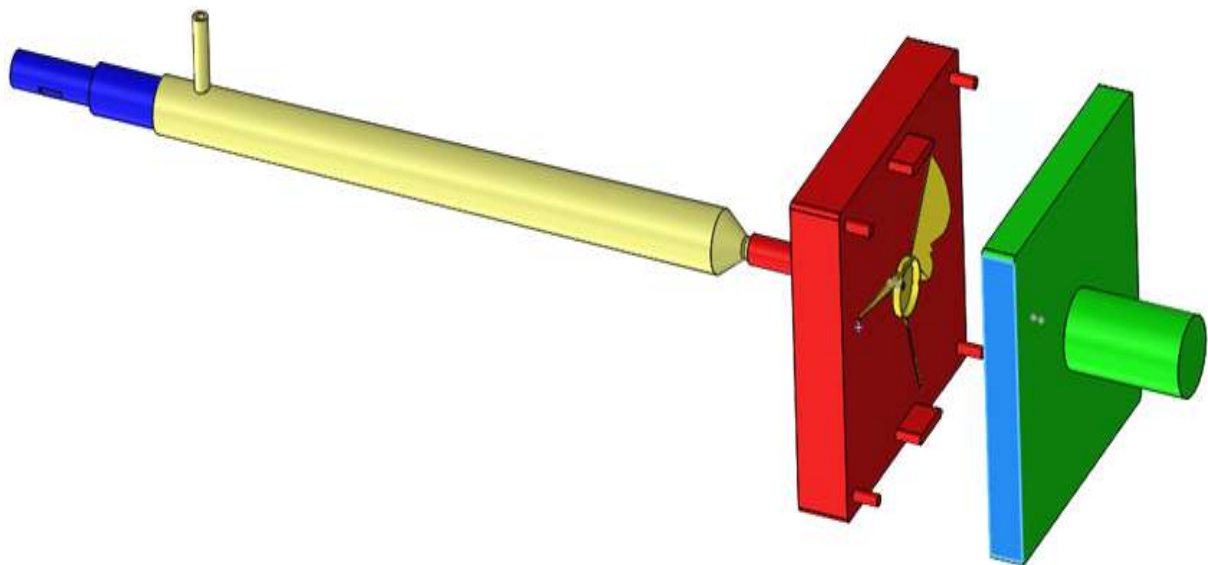


Fig. (IV.15) : la pièce après le refroidissement

IV.5.6. Etape 06 : l'éjection de la pièce

L'unité d'injection recule alors pour ne pas rester en contact avec le moule, la partie mobile du moule recule afin d'ouvrir le plan de joint et les éjecteurs vont sortir pour éjecter la pièce de l'empreinte. Le moule va ensuite se refermer, les éjecteurs vont rentrer, l'unité va avancer et la buse va venir à nouveau en contact avec l'outillage pour effectuer une nouvelle injection.

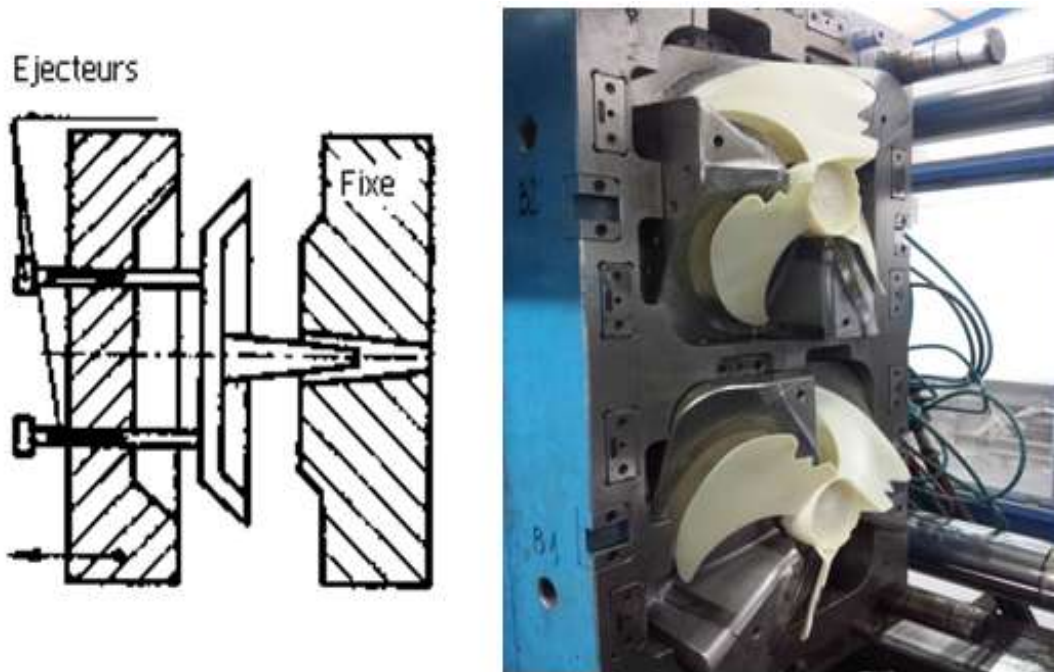


Fig. (IV.16) : éjections la pièce

IV.6. Cas de l'article au cours de la simulation

Viscosité	Volume Spécifique		Chaleur Spécifique	
Conductivité Thermique	Module d'Elasticité		Coeff de Poisson	
Coeff de Dilatation Thermique	Module de Cisaillement	Modèle Réticulation	Paramètres Matériau	
PP : "(P) Generic material / Generic material of PP"				
Température de matière	230 °C			
Température Matière Max.	280 °C			
Température Matière Min.	200 °C			
Température du moule	50 °C			
Température Moule Max.	80 °C			
Température Moule Min.	20 °C			
Température d'éjection	95 °C			
Température de Transition vitreuse	135 °C			
Viscosité : 7-Parameters Modific	4.44489e+015	263.15	0	32.7 51.6 262600 0.272
Volume Spécifique : Modified Tait	1.2023	0.00092	8.8e+008	0.00482 1.107 0.00051 1.63e+
Chaleur Spécifique : Constant	3100 J/(Kg-K)			
Conductivité Thermique : Constan	0.15 W/(m-K)			
Module d'Elasticité : Constant	1.35e+010	1.35e+010		
Coeff de Poisson : Constant	0.4	0.4		
Coeff de Dilatation Thermique : Cc	9.05e-005	9.05e-005		
Module de Cisaillement : 5-Pararr	1e+007	1e+010	1.06e+009	1.06e+008 1.08e+007 0.01
Modèle Réticulation : Not Availabl	NULL			
Température Non-Ecoulement	NULL			
Indice de fluidité à chaud (MFR)	20	cm3/10min		
% Fibres	NULL			
Taux de Cisaillement Max.	100000	1/s		
Contraintes de Cisaillement Max.	250000 Pa			
Coefficient de contraintes optique	NULL			

Tab. (IV.2) : représente la matière polypropelaine pp dans le moule

IV.7. Conditions du processus

Le temps de remplissage = 9.3 sec
 Température Principal de matériaux de fusion = 230 °C
 Pression d'Injecter (Machine) Max = 250 MPa
 Débit d'Injecter (Machine) Max = 100 cc/s

IV.8. Conditions de Refroidissement

Température de fusion d'entrée= 2 °C
 Température de l'air= 20 °C
 Temps d'ouverture du Moule = 2.5 sec
 Débit moyen du liquide de refroidissement= 112 cc/s
 Température d'injection = 250 °C
 Temps de refroidissement = 36.6 sec
 Température de l'eau d'entrée = 5°C
 Température de l'eau sortie = 13°C

IV. 9. Résultats de simulation

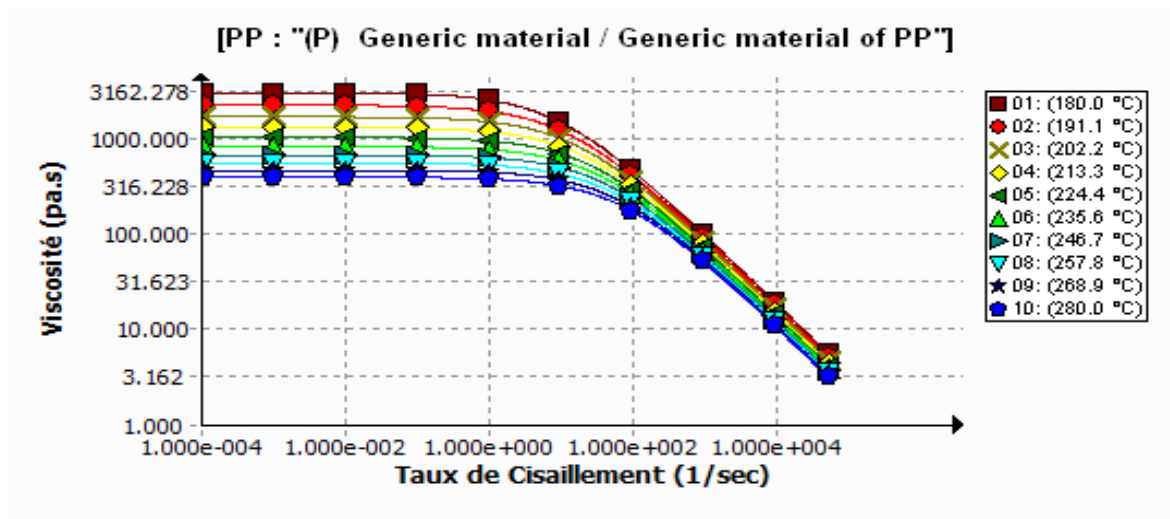


Fig. (IV.17) : viscosité du polymère en fonction du taux de cisaillement.

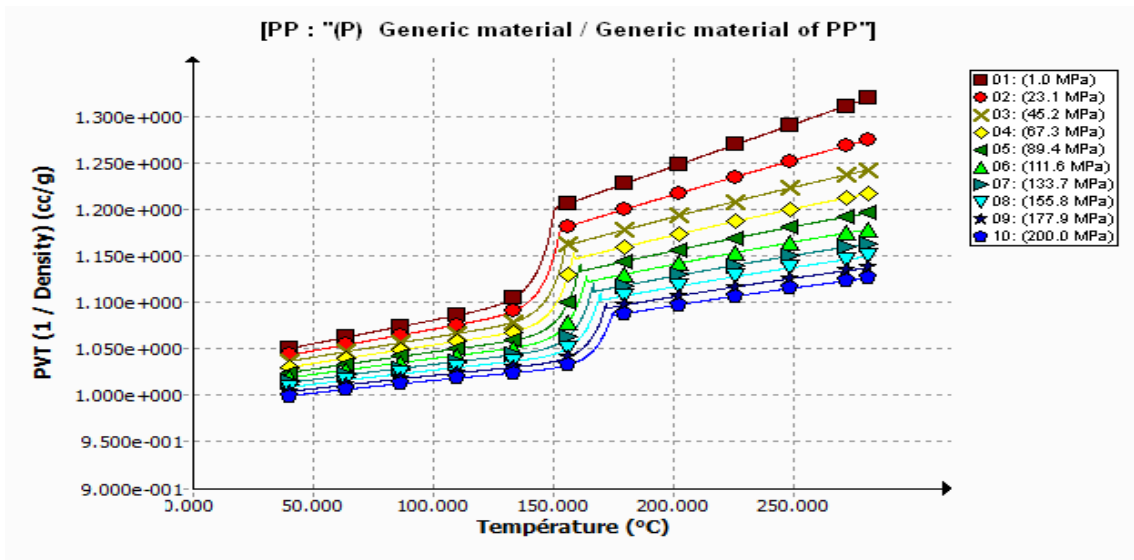


Fig. (IV.18) : Volume spécifique du polymère en fonction de la température.

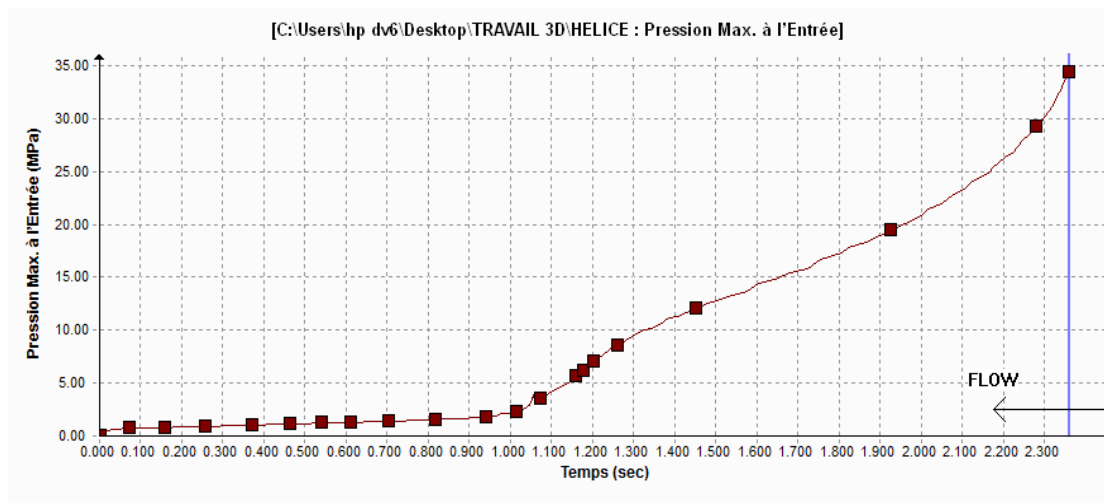


Fig. (IV.19) : Pression Max d'entrée en fonction du temps.

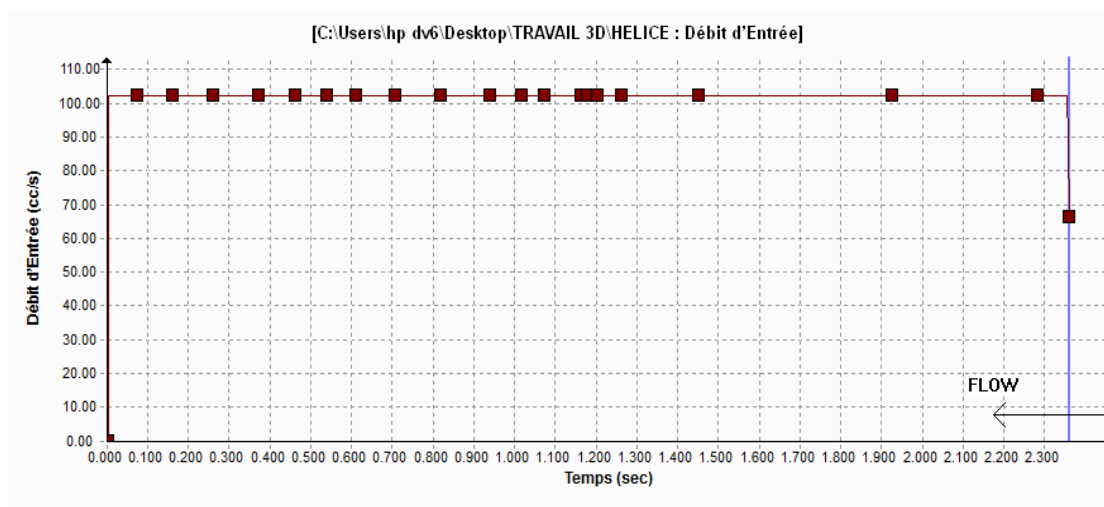


Fig. (IV.20) : Débit d'entrée en fonction du temps.

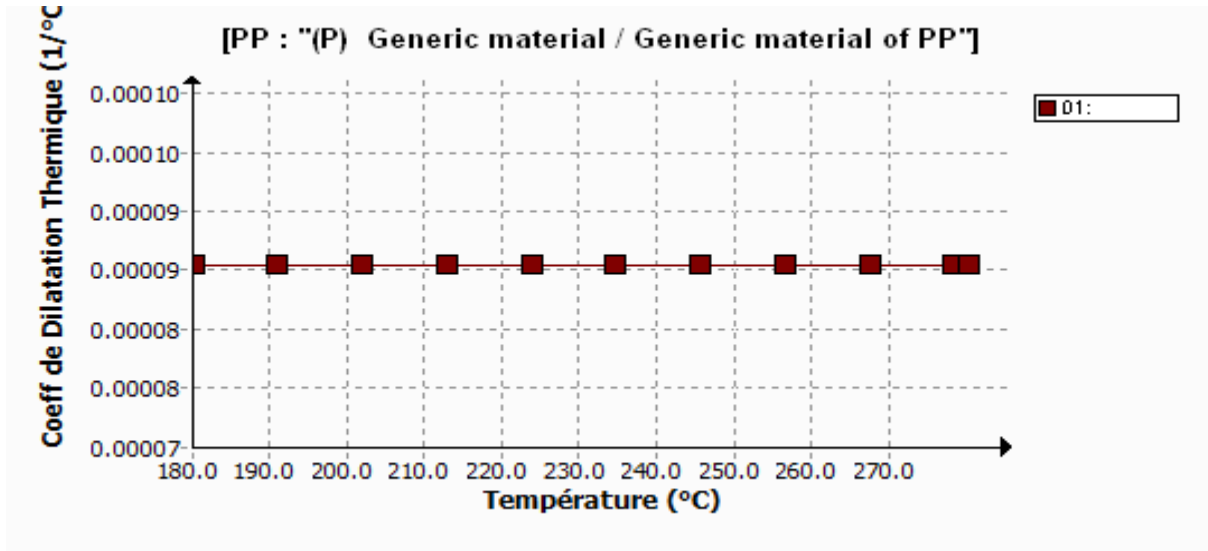


Fig. (IV.21) : Coefficient de dilatation thermique en fonction de température

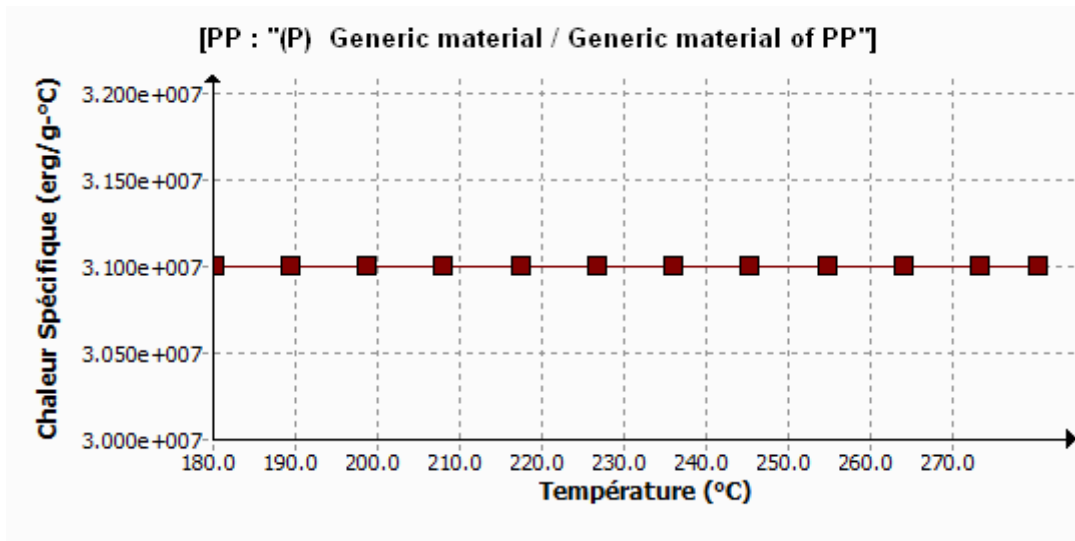


Fig. (IV.22) : Chaleur spécifique en fonction de température

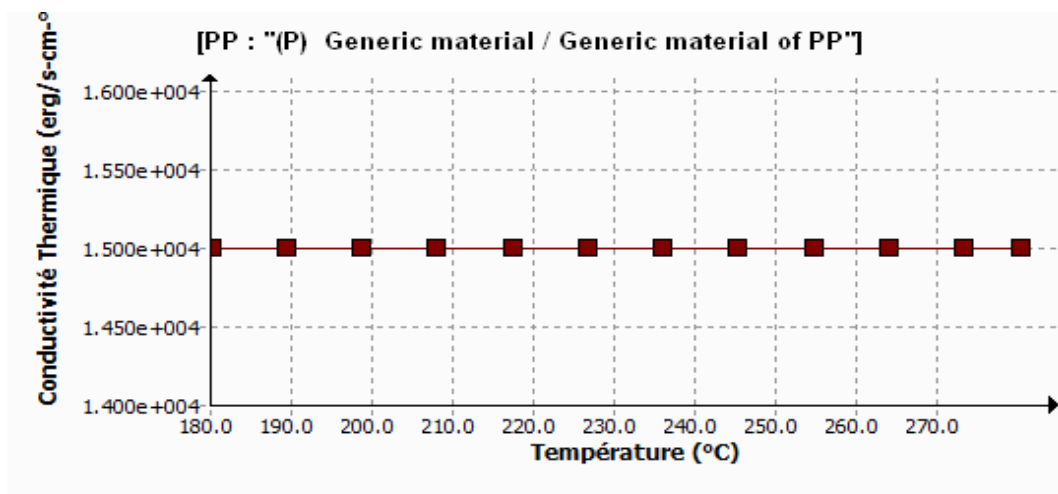


Fig. (IV.23) : Conductivité thermique en fonction de la température

IV.10. Interprétation des Résultats

D'une manière générale, on a montré qu'il existait en principe une viscosité du polypropylène à respecter en fonction du taux de cisaillement. Ces données sont représentées sur la courbe de la (Figure IV.17). Ainsi,

- dans l'intervalle $1.000 e^{-004} \geq \tau \geq 1.000 e^{000}$ (pa.s); la valeur de la viscosité reste constante $\nu = 1000$ pa.s.
- à partir de $\tau = 1.000 e^{+004}$ (pa. s) ; la viscosité diminue jusqu'à $\nu = 10$ pa.s.

La Figure IV.18 représente la variation du volume spécifique en fonction de la température.

- Entre 50°C et 150°C, on note une augmentation progressive et lente du volume spécifique. Au début le volume spécifique dans l'intervalle $50 \geq T \geq 150$ (°C) a augmenté doucement.

La pression d'entrée max du polymère évolue exponentiellement en fonction du temps comme on peut le noter sur la courbe de (la figure VI.19).

- la pression d'entrée de grille augmente depuis la surface de contact du fluide avec la cavité.
- la valeur du débit d'injection de la machine reste constant pendant au cours du remplissage $t = 2.380$ (s) (figure VI.20).

Les figures (IV.21, IV.22, IV.23) respectivement, représentent le Coefficient de dilatation thermique et la Chaleur spécifique et la conductivité thermiques en fonction de température

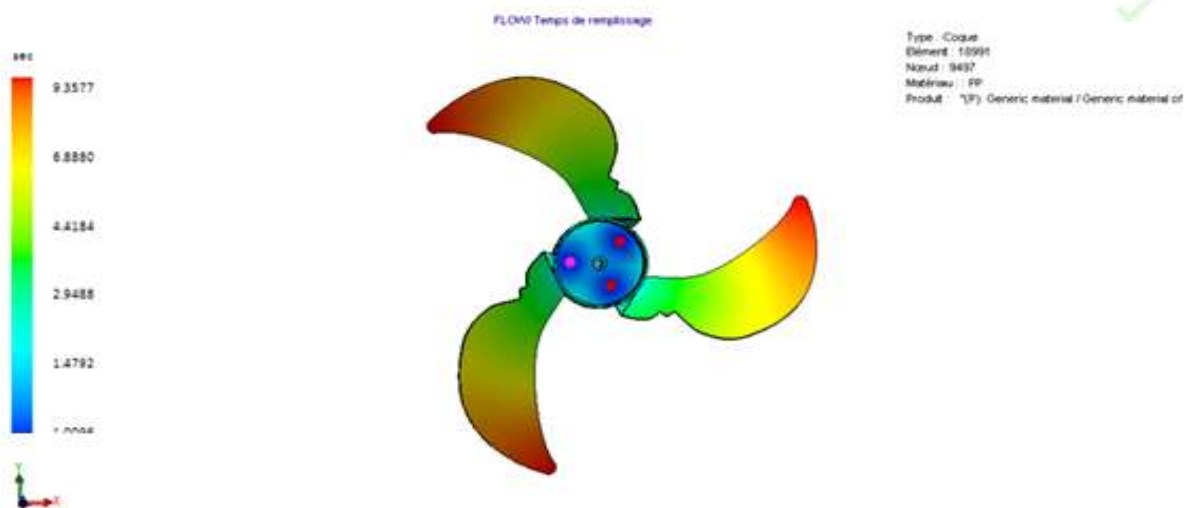


Fig. (IV.24) : Temps de remplissage.

La (fig. VI.24) montre la position du fond de la matière pendant l'écoulement du fluide à des intervalles réguliers. Les mêmes régions front d'écoulement sont de la même couleur. Les régions bleues indiquent le début de l'injection et les régions rouges signifient la fin de l'injection.

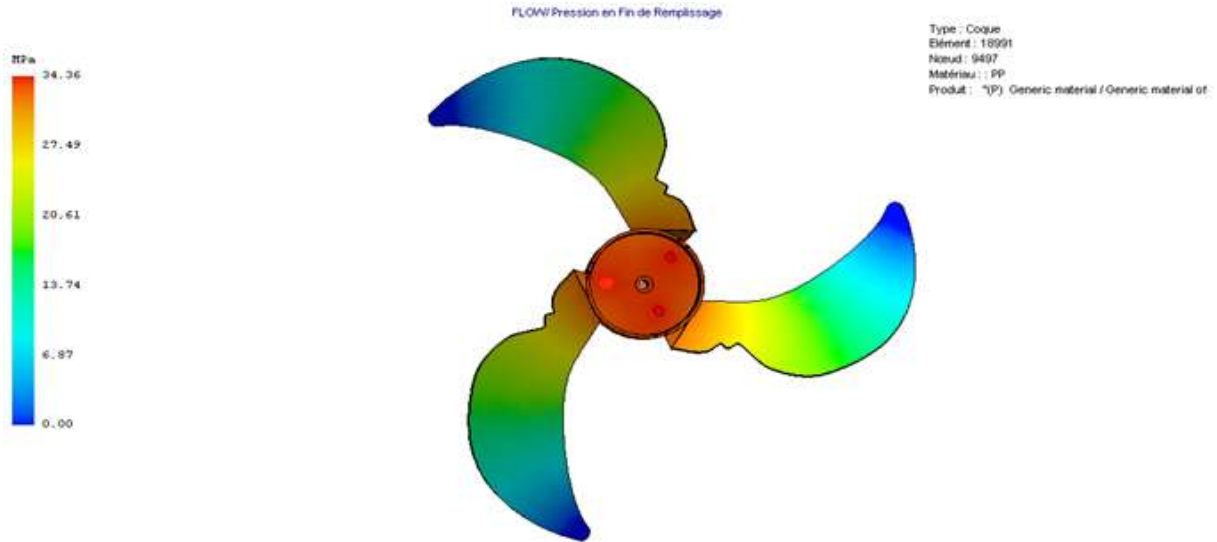


Fig. (IV.25) : Pression a la fin de remplissage

Pendant la phase de remplissage, la force d'injection appliquée par une vis est utilisée pour pousser le matériau fluide dans la cavité. La force se propage par l'intermédiaire du fluide et se traduit par une répartition de la pression dans la cavité (fig. IV.25). Le profil de pression, présentant la diminution de la pression de la porte d'entrée à la position en aval depuis la longueur d'écoulement augmente dans la direction d'écoulement. Il est à noter que la pression est nulle de la position de front d'écoulement est depuis le contact front d'écoulement de l'air. Pour un débit constant, la pression d'entrée de grille augmente avec le temps écoulé. La pression maximale est atteinte à l'emplacement de grille et commencé à baisser à jusqu'à la position en aval, comme l'indique la (fig. IV.25).

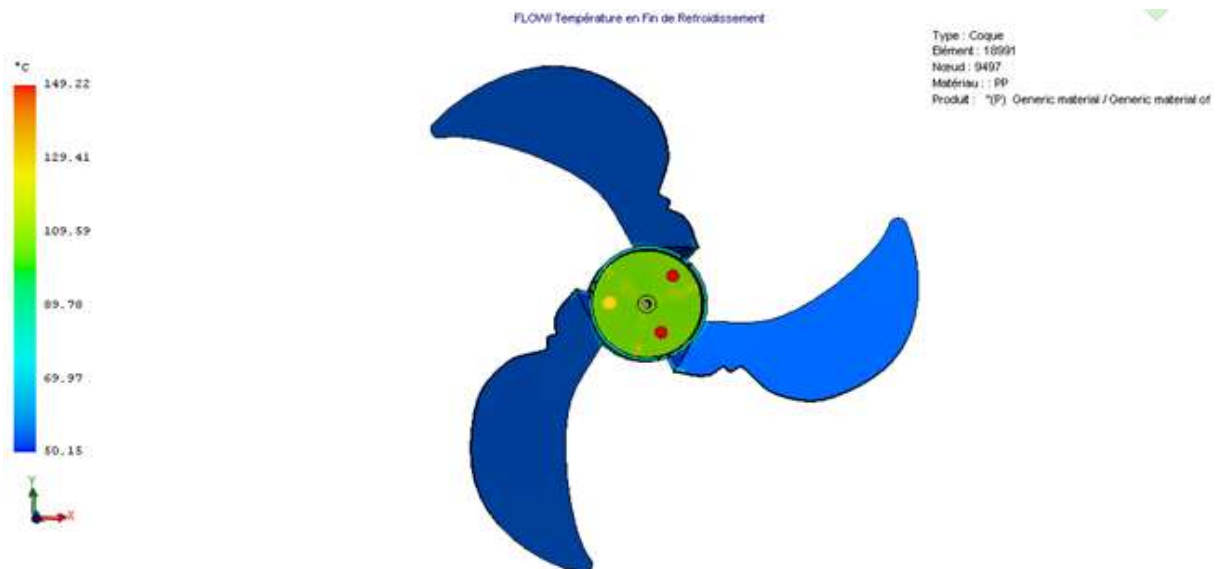


Fig. (IV.26) : La croissance de température à la fin du remplissage.

Dans le processus actuel, le polymère fondu subit la chaleur de cisaillement pendant la phase de remplissage. La température de la cavité peut être plus élevée que la température de fusion d'entrée.

La température en fin de remplissage diminue jusqu'à 50 °C, a la fin de remplissage.

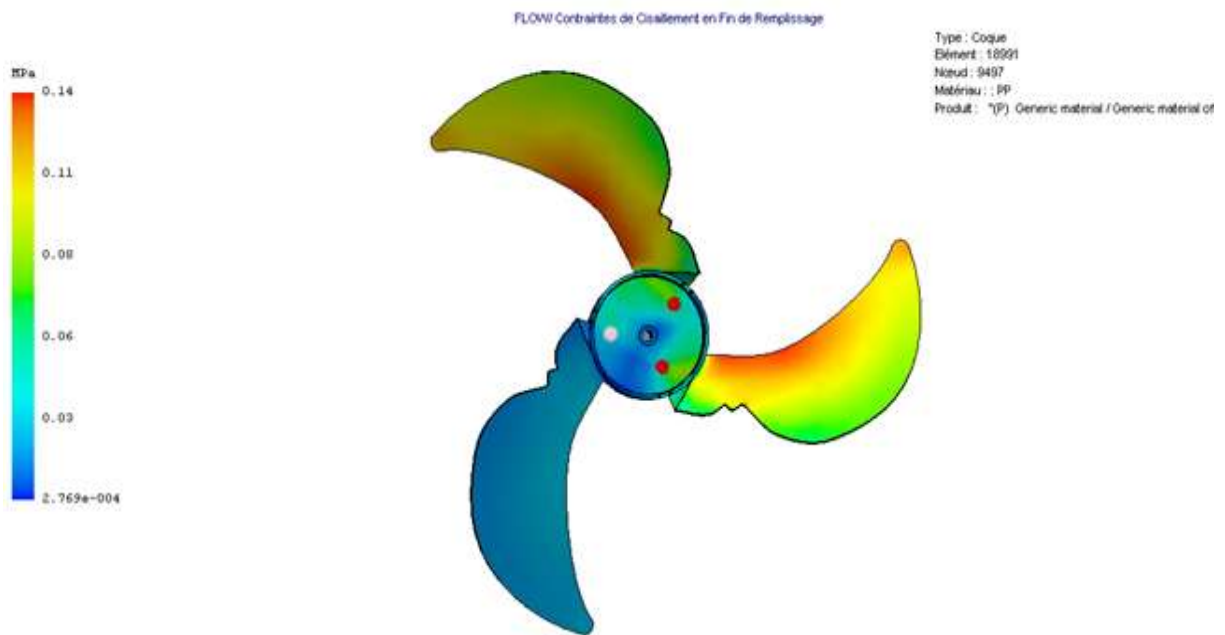


Fig. (IV.27) : Contraint de cisaillement à la fin du remplissage

La contrainte de cisaillement est définie comme la force de cisaillement par unité de surface, La direction de la force de cisaillement est parallèle au plan forcé. Cette répartition de la contrainte de cisaillement présente la contrainte de cisaillement à la paroi d'une partie entière à la fin du remplissage.

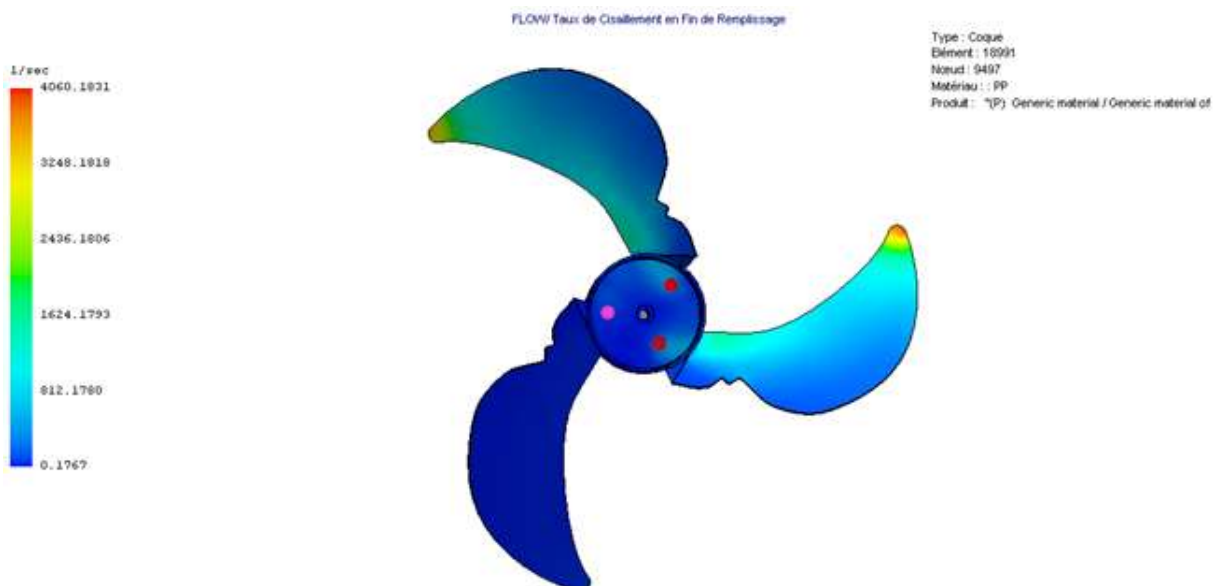


Fig. (IV.28) : Taux de cisaillement à la fin de remplissage.

Le taux de cisaillement est défini comme la variation de la contrainte de cisaillement par unité de temps.

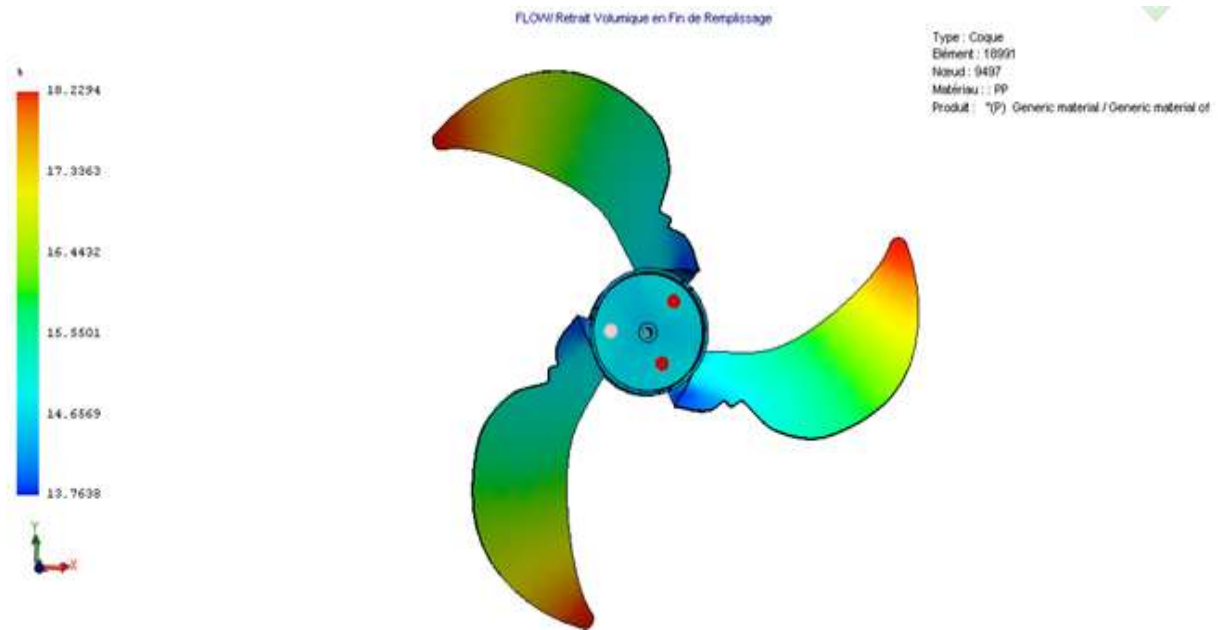


Fig. (IV.29) : Retrait volumique à l'éjection.

Le matériau polymère est compressible et le volume spécifique du matériau est fonction de la pression et de la température (fig. IV.29). La température de la pièce se réduit à la température ambiante après l'éjection, de sorte que la répartition de la densité de la pièce est modifiée.

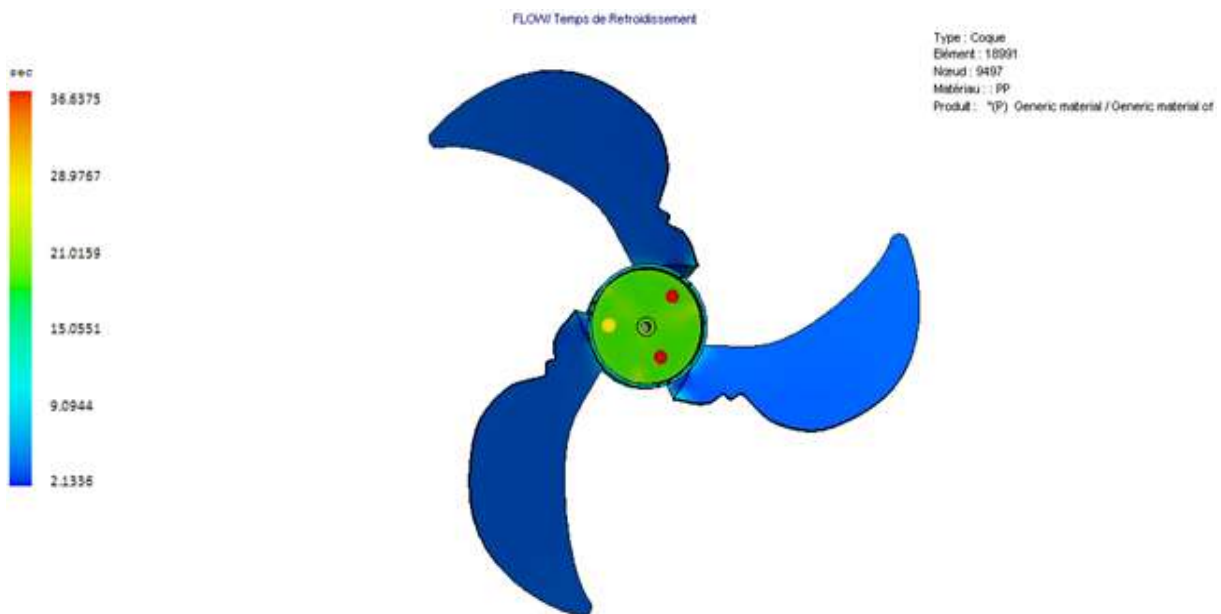


Fig. (IV.30) : Temps de refroidissement

Le temps de refroidissement est basé sur la température que chaque emplacement est au dessous de la température d'éjection et c'est jusqu'à 90% du volume de la température partie inférieure à la température d'éjection (Fig. IV.30).

IV.11. Cycle de moulage pour une hélice thermoplastique

Temps de fermeture du moule	2.5s
Temps de plastification	8s
Temps de remplissage	9s
Temps de maintien et refroidissement	36.6s
Temps d'ouverture de la mole	2.5s
Temps d'éjection la pièce	2s
Cycle total	60.6s

IV.12. Partie commande

Controller panel description :



Fig. (IV.31) : Machine HAITEN et son tableau de commande

IV.12.1. Mode manuel



Opération manuelle



Opération Semi-automatique



Auto opérationnelle





moules-ajuster opérationnels clés

Manuel des moules d'ajuster en avant



Manuelle moules-ajuster en arrière  Auto- ajustement du moule 

 Zéro touche d'accueil opérationnelle : En vertu de cette mode, toutes les actions travailler en basse pression et à basse vitesse courir pour entrer dans la situation d'ajustement.

 Touche SOS : Lorsque l'alarme est donnée, appuyez sur ce bouton, la description de la manière de traiter la situation sera affichée à l'écran.

 Alarme off touche

Manuel Opérationnel Touches



En mode manuel, manuel, les touches d'exploitation peuvent fonctionner d'une action du cycle de l'action tout entière.

IV.12.2. Étapes du cycle sont les suivantes

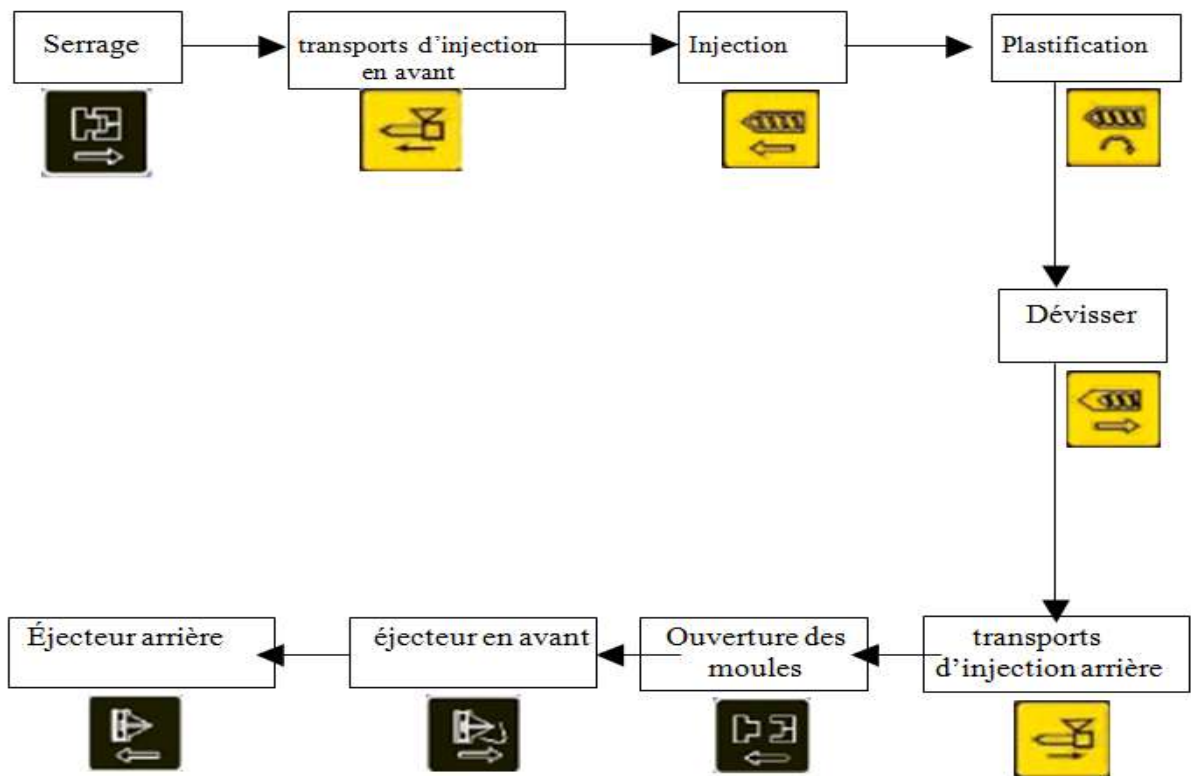


Fig. (IV.32) : chaîne cinématique du cycle

IV.12.3. Touches numériques opérationnels

- 0** : "0".
- 1** : "1" Ou alphabets " S " " T " " U ".
- 2** : "2" Ou alphabets " V " " W " " X "
- 3** : "3" Ou alphabets " Y " " Z " " _ ".
- 4** : "4" Ou alphabets " J " " K " " L ".
- 5** : "5" Ou alphabets " M " " N " " O "
- 6** : "6" Ou alphabets " P " " Q " " R ".
- 7** : "7" Ou alphabets " A " " B " " C ".
- 8** : "8" Ou alphabets " D " " E " " F ".





: "9" Ou alphabets " G " " H " " I ".



: Le curseur se déplace vers le haut, vers le bas, vers la gauche ou vers la



: "Ouvrir" ou " fermer " ou de chiffres plus "1".



: "Ouvrir" ou " fermer " ou des chiffres moins "1".



: Confirmation de l'entrée chiffres



: L'annulation de l'entrée chiffres



: Reconfirmations des données



: passer à la menu des opérations.

IV.12.4. Touches moteur opérationnel



: appuyez sur ce bouton pour allumer le moteur. Lumière LED en haut à gauche de ce bouton sera allumé si le moteur fonctionne normalement. Ce bouton fonctionne uniquement en mode manuel, pas sous le mode automatique.



: appuyez sur ce bouton pour arrêter le moteur

IV.13. Conclusion

Ce travail a pour objectif d'étudier la faisabilité de produire une hélice en matière plastique par le procédé d'injection.

L'étude et la conception d'une hélice a été réalisée à l'aide du logiciel (Solidworks) qui, dispose de l'atelier « Flow simulation » permettant ainsi d'étudier le comportement de la matière injectée et le suivi des variations de la température et de la pression dans le moule.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Dans La domaine des industries, le monde recherche toujours le meilleur produit avec le moindre cout c-a-d augmenter la production, minimiser le cout avec une grand fiabilité. Par conséquent dans le domaine du cette règle s'applique aussi comme tous les autres industries

Ce travail a pour objectif d'étudier la presse d'injection et la faisabilité de produire des pièces plastiques. Dans ce sens nous avons fait l'étude et la conception d'une hélice de climatiseur par le procédé d'injection, et étudier l'influence de certains paramètres sur la forme du produit

L'étude et la conception d'une hélice a été réalisée à l'aide du logiciel puissant «SOLIDWORKS», et pour la simulation nous avons utilisé le complément de Flow simulation « SOLIDWORK PLASTICS ».

La qualité des pièces injectées en matière plastique est liée directement à son état mécanique et à la précision de ses côtes après 'injection. Cet état en fin de cycle du moulage dépend totalement des conditions techniques du procédé d'injection et notamment de la matière tels que le débit, le temps de remplissage, la pression d'injection, la température d'injection, etc....,car la mise en forme des pièces en thermoplastique dépend de plusieurs paramètres géométriques, thermomécanique et technologique liés au paramètre d'injection.

Dans le cadre de la continuité de ce travail, on propose de concevoir un modèle avec une étude très précise des caractéristiques d'hélice (dimensions, forme, matière et conception...)

Bibliographie

- [1] **Emilie LE GUEN**, «Etude du procédé de soudage hybride laser/MAG : Caractérisation de la géométrie et de l'hydrodynamique du bain de fusion et développement d'un modèle 3D thermique »THÈSE / UNIVERSITÉ DE BRETAGNE-SUD, 4 Novembre 2010
- [2] **Chainarong Srikunwong**, « Modélisation du procédé de soudage par points ». Mécanique [physics.med-ph]. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2005. Français.
- [3] **Chenafi Messaoud**, «Etude de l'évolution des propriétés des fils tréfilés d'alliage AGS» mémoire de master, département de mécanique, université de Biskra, 2014.
- [4] **Eric Gildemyn**. « Caractérisation des procédés de fabrication de pièces de sécurité automobile. Optimisation multi objectifs de la mise en forme ». Sciences de l'ingénieur [physics]. Arts et Métiers Paris Tech, 2008. Français.
- [5] **Daniel Lepadatu**. « Optimisation des procédés de mise en forme par approche couplée plans d'expériences, éléments finis et surface de réponse ». Sciences de l'ingénieur [physics]. Université d'Angers, 2006. Français.
- [6] **Michel Colombié Jean-Pierre Cordebois et coll**, «FABRICATION PAR USINAGE», 2^e édition DUNOD, Paris, 2003,
- [7] **Christian Eloy**, «fabrication en construction mécanique», collection (aide-mémoire) édition DUNOD.
- [8] **Technique de l'ingénieur**, « méthode d'assemblage » DOC (A3755)
- [9] **DJABALLAH Abdelmalek**, « Contribution à l'étude de la phase post remplissage du moulage par injection », mémoire de magister, département de mécanique, université de Biskra, 2012.
- [10] **HADEF Saddek**, « Étude de l'influence des conditions d'injection sur la qualité des pièces injectées en matière plastique », mémoire de magister, département de mécanique, université de Biskra, 2012.
- [11] **HEDDAR Djamel Eddine**, « ETUDE ET CONCEPTION A L'AIDE DE L'OUTIL CAO D'UN MOULE A INJECTION PLASTIQUE » mémoire de magister, département de mécanique, université de Biskra, 2014.
- [12] **Thomas Giroud**. « Mesure et calcul des contraintes résiduelles dans les pièces injectées en thermoplastiques avec et sans fibres de renfort ». Mécanique [physics.med-ph]. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2001. Français.

- [13] **Julien HUMBERT**, « Conception, élaboration et production d'agrocomposite à partir de tourteau de tournesol : étude du procédé d'extrusion-formulation-granulation Et d'injection-moulage », DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, 2008 Français.
- [14] **AHMED HAMADI**, « Conception générale des moules pour injection plastique », mémoire du diplôme d'ingénieur, département de mécanique, université de M'sila, 2003.
- [15] **Trotignon.P.J Et Dobraczynski.A – Piperaud.M.** «Matières Plastiques: Structures-Propriétés, Mise en œuvre, Normalisation». Editions Nathan, Paris 1996
- [16] Université de Bretagne-Sud, cite web.univ-ubs.fr/base du moule, 2005.
- [17] **J-P. Trotignon, J. Verdu, A. Dobracginsky, and M. Piperaud.** Précis de Matières plastiques : Structures-Propriétés, Mise en oeuvre, Normalisation. AFNOR, 1996, FRA
- [18] **G. Menges and P. Mohren.** How to make injection molds. Hanser Publishers, 1993.
- [19] **E. Mathey**, « Optimisation numérique du refroidissement des moules d'injection de thermoplastiques basée sur la simulation des transferts thermiques par la méthode des éléments frontières », Thèse de doctorat, l'Université Toulouse III, 2004
- [20] **Gonei Kasmir.** «Développement d'un outil de design pour la buse thermique des moules a canaux chauds », Thèse de doctora, Ecole polytechniques de montré canada, 1999.
- [21] Documents French, séminaire technique de mesure, 1988.
- [22] **R.Nunn**, « The reciprocating screws process », injection Molding Handbook, 1986
- [23] **J-F. Agassant, P. Avenas, J-P. Sergent, B. Vergnes, and M. Vincent.** « La mise en forme des matières plastiques». Technique & Documentation, 3eme édition, 1996.
- [24] **P. Devos.** « L'injection sous haute pression des polymères thermoplastiques». Cours Ecole des Mines d'Albi, 2000
- [25] **Technique de l'ingénieur**, «Injection des thermoplastiques : les presses» **Laszlo MUZSNAY**, Doc (A 3690)
- [26] **Gassou Mostafa et Rahmani Ahmed**, «Etude de la qualité des pièces fabriquées en moulage par injection», mémoire master professionnel, département de mécanique, UKM Ouargla, 2013
- [27] **Technique de l'ingénieur**, «Injection des thermoplastiques : Les moules» *par* **Michel CHATAIN et Alexandre DOBRACZYNSKI**, Doc (A 3680)

Résumé

L'injection thermoplastique est très répandue dans le domaine de la plasturgie car elle permet de fabriquer des pièces techniques de manière contrôlée et avec des cadences élevées.

Dans ce travail on a étudié la fabrication des pièces par procédé d'injection thermoplastique. A l'aide du logiciel SOLIDWORKS comportant l'atelier SOLIDE-PLASTICS le complément de flux simulation on a réalisé une hélice de climatiseur avec indication des changements de paramètres durant le processus d'injection.

Mots clés :

Presse d'injection, polymères thermoplastique, simulation, usinage.

ملخص

إن حقن البلاستيك الحراري واسع الانتشار في مجال البلاستيك وهذا لتمييزه بصناعة قطع دقيقة. في هذا العمل لقد درسنا كيفية إنتاج قطع ميكانيكية عن طريق حقن البلاستيك و بمساعدة SOLIDWORKS مع SOLIDE-PLASTICS و حققنا محاكاة التدفق في صناعة مروحة مكيف الهوائي مع التوضيح تغيرات شروط الحقن.

كلمات مفتاحيه:

آلة حقن صب، والبوليمرات الحرارية، والمحاكاة، وتصنيع الآلات.

Abstract

Injection thermoplastic is widespread in the field of plastics as it can make technical parts controlled manner and with rates high.

In this works were studied the manufacture of pieces by process injection thermoplastic. Using software SOLIDWORKS with the workshop SOLIDE-PLASTICS the addition to flow simulation was made a propeller air condition with indication changes settings during the injection process.

Keywords:

Injection molding machine, thermoplastic polymers, simulation, machining.