

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté de Génie de la Construction
Département de Génie Mécanique



MEMOIRE
DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme académique Master en
Option : Maintenance industrielle

THEME :

Etude du processus d'injection plastique et maintenance des équipements

Proposé et dirigé par :

Mme. ARAR Ouiza

Co-encadreur:

Mr. HADJ RAMDANE Kamel

Présenté par :

MENACER Youcef

Devant le jury:

Mr. MOHELEBI Mouloud

Mr. SALHI Ahmed

2021/2022

Remerciements

Il m'est agréable de remercier les membres de jury, pour m'avoir fait l'honneur d'examiner ce mémoire, qu'ils trouvent ici l'expression de mon profond respect.

Je tiens aussi à exprimer mes vifs remerciements à mon promoteur Madame **ARAR Ouiza** pour avoir bien voulu m'encadrer et pour ses précieux conseils et orientation. Je la remercie pour sa disponibilité.

Un grand merci à Monsieur **HADJ RAMDANE Kamel** et à Monsieur **HAMOUDI Ziad** pour avoir su partager leur expérience et leur passion.

Enfin je remercie ma famille et mes amis pour leur soutien moral et leurs aides, ainsi que tous ceux qui m'avaient soutenu et aidé tout au long de ce travail.

Sommaire

Introduction générale.....	1
Présentation de l'entreprise.....	2

Chapitre I : Généralités sur les matières plastiques

I-1 Introduction.....	5
I-2 Généralités sur les polymères.....	5
I-2-1 Définition d'un polymère.....	6
I-2-2 Organique des polymères.....	6
I-2-2-a Les molécules.....	6
I-2-2-b Les atomes.....	6
I-2-2-c Les particules.....	7
I-2-2-d Les monomères.....	7
I-2-2-e Les polymères.....	7
I-3 Formation des polymères.....	7
I-3-1 Polymérisation.....	8
I-3-2 Polycondensation.....	8
I-4 Classification des différents polymères.....	8
I-4-1 Classement lié à la structure.....	8
I-4-1-1 Polymères linéaires.....	8
I-4-1-2 Homopolymères.....	9
I-4-1-3 Copolymères.....	10
I-4-1-4 Polymères ramifiés.....	10
I-4-1-5 Polymères à cycles dans la chaîne.....	11
I-4-1-6 Polymères tridimensionnels.....	11
I-4-2 Classement lié aux propriétés thermomécaniques.....	12
I-4-2-1 Les thermoplastiques.....	12
I-4-2-1-a Avantages des thermoplastiques.....	12
I-4-2-1-b Inconvénients des thermoplastiques.....	12
I-4-2-2 Les thermodurcissables.....	12
I-4-2-2-a Avantages des thermodurcissables.....	12
I-4-2-2-b Inconvénients des thermodurcissables.....	13
I-4-2-3 Les élastomères.....	13
I-4-2-3-a Avantages des élastomères.....	13
I-4-2-3-b Inconvénient des élastomères.....	13
I-5 Utilisation des polymères.....	14
I-6 Propriétés des polymères.....	14
I-6-1 Propriété mécanique.....	15
I-6-2 Transition vitreuse.....	15
I-6-3 Propriétés optiques.....	15
I-6-4 Propriétés électriques.....	15
I-6-5 Propriété électro-optiques.....	15
I-6-6 Propriété de protection physique et chimique.....	15
I-7 Comparatif des caractéristiques des principaux plastiques utilisés en injection.....	16
I-7-1 Le Polyéthylène basse densité – PEBD.....	16
I-7-2 Le Polyéthylène haute densité – PEHD.....	16

I-7-3 Le Polypropylène homo – PPH.....	17
I-7-4 Le Polypropylène copolymère – PPC.....	17
I-7-5 Le Polystyrène cristal – PS.....	17
I-7-6 Le Polystyrène choc - PS choc.....	18
I-7-7 L'Acrylonitrile-Butadiène-Styrène – ABS.....	18
I-7-8 Le Polyméthacrylate de Méthyle – PMMA.....	18
I-7-9 Le Polyéthylène Téréphtalate – PET.....	19
I-7-10 Le Polyamide 6 - PA6.....	19
I-7-11 Le Polyamide 6 chargé 30% fibres de verre - PA6 30%FV.....	19
I-7-12 Le Polyoxyde de Méthylène – POM.....	19
I-7-13 Le Polycarbonate – PC.....	20
I-7-14 Les thermoplastiques élastomères - TPE de type SEBS - copolymère bloc styrénique hydrogéné.....	20
I-7-15 Les Bioplastiques à base de ressources végétales.....	21
I-8 CONCLUSION.....	22

Chapitre II : Rhéologie des polymères

II-1 Introduction.....	23
II-2 Notions générales sur la rhéologie.....	23
II-3 Classification des fluides.....	24
II-3-1 Les fluides Newtoniens.....	24
II-3-2 Les fluides Non-Newtoniens.....	24
II-3-2-1 Les fluides Rhéofluidifiants.....	24
II-3-2-2 Les fluides Rhéoépaississants.....	24
II-3-2-3 Les fluides Rhéofluidifiants à seuil.....	24
II-4 Grandeurs étudiées en rhéologie.....	25
II-4-1 Contrainte de cisaillement.....	25
II-4-2 Gradient de vitesse.....	26
II-4-3 Déformation de cisaillement.....	26
II-4-4 Vitesse de cisaillement.....	27
II-4-5 Viscosité dynamique.....	27
II-4-6 Viscosité cinématique.....	27
II-5 Viscosité : un phénomène physique.....	28
II-5-1 Nature de l'écoulement.....	28
II-6 Paramètres influençant la viscosité.....	29
II-6-1 Température.....	29
II-6-2 Pression.....	29
II-7 Les rhéogrammes.....	30
II-8 Les différents modèles de viscosité.....	30
II-8-1 Modèle Newtonien.....	30
II-8-2 Modèle Pseudo-plastique.....	31
II-8-2-1 Loi Ostwald – de Waele.....	32
II-8-2-2 Loi de Cross.....	32
II-8-2-3 Loi de Carreau-Yasuda.....	33
II-8-2-4 Modèle de Herschel-Bulkley.....	34
II-8-2-5 Modèle de Bingham.....	34
II-8-2-6 Modèle d'Ellis.....	35
II-8-3 Modèle Pseudo-plastique thermo-dépendant.....	35
II-8-3-1 Loi de Williams, Landel et Ferry (WLF).....	36

II-8-3-2 Loi d'Arrhenius.....	36
II-8-3-3 Relation entre le poids moléculaire et la viscosité.....	37
II-8-3-4 Variation de la viscosité en fonction du cisaillement et de la température couplés.....	38
II-8-3-4-a Principe d'équivalence temps-température.....	38
II-8-3-5. Variation de la viscosité en fonction de la pression.....	39
II-9 Conclusion.....	39

Chapitre III : Etude du processus d'injection plastique

III-1 Introduction.....	40
III-2 Développement historique de la presse d'injection.....	40
III-3 Le procédé d'injection-moulage.....	41
III-3-1 Description d'une presse à injection hydraulique.....	42
III-3-2 Architecture des presses à injecter hydraulique.....	44
III-3-3 Circuit de refroidissement.....	45
III-3-4 Différentes presses d'injection.....	45
III-3-4-1 Presse horizontale.....	45
III-3-4-2 Presse verticale.....	46
III-3-5 Différentes parties de la presse à injection.....	46
III-3-5-1 L'unité de plastification/injection.....	47
III-3-5-1-1 La trémie d'alimentation.....	47
III-3-5-1-2 Le moteur hydraulique.....	48
III-3-5-1-3 Le fourreau.....	48
III-3-5-1-4 Les colliers chauffants.....	48
III-3-5-1-5 La buse.....	49
III-3-5-1-6 La vis de plastification.....	50
III-3-5-1-7 Vérin d'injection.....	51
III-3-5-1-8 Clapet anti-retour.....	51
III-3-5-2 Unité de fermeture.....	52
III-3-5-2-1 Fermeture hydraulique.....	52
III-3-5-2-2 Fermeture Mécanique.....	53
III-3-5-2-3 Fermeture Mixte.....	54
III-3-5-3 Le Moule d'injection.....	54
III-3-5-3-1 Les différents moules d'injection plastique.....	57
III-3-5-3-1-1 Moule à deux plaques.....	57
III-3-5-3-1-2 Moule à trois plaques.....	58
III-3-5-3-1-3 Moule à tiroir.....	58
III-3-5-3-1-4 Moule à coquilles.....	59
III-3-5-3-2 Refroidissement des moules.....	59
III-4 Le cycle de moulage par injection.....	61
III-4-1 La phase de plastification.....	61
III-4-2 La phase de remplissage.....	61
III-4-3 La phase de compactage.....	62
III-4-4 La phase de refroidissement et d'éjection.....	63
III-5 Fonctionnement de la presse à injection de marque TRIULZI.....	64
III-5-1 Présentation de la presse à injection TRIULZI.....	64
III-5-2 Fonctionnement semi automatique de la presse TRIULZI.....	65
III-5-2-1 Démarrage automatique.....	65

III-5-2-2 Fermeture du moule.....	65
III-5-2-3 Injection, rechargement de la vis et recul chariot.....	66
III-5-2-4 Ouverture du moule et éjection.....	67
III-6 Conclusion.....	69

**Chapitre IV : Etude AMDEC et Maintenance de la presse à injection de marque
TRIULZI.**

IV-1 Introduction.....	70
IV-2 Généralités sur la maintenance industrielle.....	70
IV-2-1 Définition de la maintenance.....	70
IV-2-2 Types de maintenance.....	70
IV-2-2-1 Maintenance préventive.....	70
IV-2-2-1-a Maintenance Systématique.....	71
IV-2-2-1-b Maintenance conditionnelle.....	71
IV-2-2-1-c Maintenance prévisionnelle.....	71
IV-2-2-2 Maintenance corrective.....	71
IV-2-2-2-a Maintenance palliative.....	71
IV-2-2-2-b Maintenance curative.....	72
IV-3 Généralités sur l'Etude AMDEC.....	72
IV-3-1 Définition.....	72
IV-3-2 Types d'AMDEC.....	72
IV-3-2-1 AMDEC organisation.....	72
IV-3-2-2 AMDEC produit ou projet.....	73
IV-3-2-3 AMDEC processus.....	73
IV-3-2-4 AMDEC moyen.....	73
IV-3-2-5 AMDEC service.....	73
IV-3-3 Mise en place de l'AMDEC machine.....	73
IV-4 Maintenance préventive des presses.....	74
IV-4-1 Maintenance hydraulique.....	74
IV-4-2 Maintenance mécanique.....	74
IV-4-3 Maintenance électrique.....	74
IV-4-4 Autres opérations de maintenances.....	75
IV-5 Démarche de l'étude AMDEC moyen.....	75
IV-5-1 Introduction.....	75
IV-5-2 Constitution du groupe de travail.....	75
IV-5-2-1 Les sources de bases.....	75
IV-5-3 Démarche AMDEC.....	76
IV-5-3-1 Initialisation.....	76
IV-5-3-2 Décomposition fonctionnelle.....	76
IV-5-3-3 La fiche AMDEC.....	77
IV-5-3-3-1 Les points estimés.....	77
IV-5-3-3-1-a La gravité.....	77
IV-5-3-3-1-b L'occurrence.....	77
IV-5-3-3-1-c La non-détection.....	77
IV-5-3-3-1-d La criticité.....	77
IV-5-3-3-2 La grille de cotation.....	77
IV-5-4 Analyse AMDEC de la centrale hydraulique.....	79
IV-5-4-1 Décomposition fonctionnelle de la centrale hydraulique.....	79
IV-5-4-1-a Stockage d'huile.....	79

IV-5-4-1-a-1 Analyse AMDEC de la partie stockage d'huile....	80
IV-5-4-1-b Pompage d'huile.....	81
IV-5-4-1-b-1 Analyse AMDEC de la partie pompage d'huile...81	
IV-5-4-1-c Distribution d'huile.....	82
IV-5-4-1-c-1 Analyse AMDEC de la partie distribution	
d'huile.....	82
IV-5-5 Analyse AMDEC de l'unité d'injection.....	83
IV-5-6 Analyse AMDEC de l'unité de fermeture.....	84
IV-5-7 Analyse AMDEC de l'armoire électrique.....	85
IV-6 Résultats de l'étude.....	85
IV-7 Conclusion.....	86
Conclusion générale.....	87
Annexes.....	88
Références bibliographiques.....	96

Liste des figures

Figure I-1-a : molécule.....	6
Figure I-1-b : atome.....	6
Figure I-2 : Constitution du polymère.....	7
Figure I-3: Différentes tacticités des polymères.....	9
Figure I-4 : Structure de Copolymères : a) séquencé, b) alterné, c) aléatoire.....	10
Figure I-5 : Structure de Polymère ramifié.....	10
Figure I-6: Structure de Polymère tridimensionnels.....	11
Figure I-7 : Classement des Principales matières plastiques.....	13
Figure I-8: Répartition des matières plastiques.....	14
Figure II-1 : Expérience de mouvement de cisaillement sur un fluide.....	25
Figure II-2 : Déformation de cisaillement.....	26
Figure II-3 : Rhéogramme d'un fluide newtonien.....	31
Figure II-4 : Modèle de Cross.....	33
Figure II-5 : Lois de comportements usuels.....	34
Figure II-6 : Modèle d'Ellis.....	35
Figure III-1: Alexander Parkes.....	41
Figure III-2 : processus d'injection plastique.....	42
Figure III-3 : Cylindre de plastification et moule.....	42
Figure III-4 : presse d'injection moulage.....	43
Figure III-5 : Architecture des presses à injecter hydraulique.....	44
Figure III-6 : Schéma du principe de circulation de l'eau réfrigérée.....	45
Figure III-7: Presse horizontale.....	46
Figure III-8 : Presse verticale.....	46
Figure III-9 : Dispositif d'une presse d'injection.....	47
Figure III-10 : Schéma d'un groupe de plastification.....	47
Figure III-11 : moteur hydraulique à pistons radiaux.....	48
Figure III-12 : collier chauffant.....	49
Figure III-13 : La buse.....	49
Figure III-14 : Profil d'une vis de plastification.....	51
Figure III-15 : Clapet anti retour.....	51
Figure III-16: Mécanismes de fermeture hydraulique.....	53
Figure III-17 : Fermeture à genouillères double.....	53
Figure III-18 : Fermeture Mixte.....	54
Figure III-19: Les différents éléments d'un moule d'injection.....	55
Figure III-20 : seuil d'injection.....	56
Figure III-21 : Les différents types de canaux d'alimentation.....	56
Figure III-22 : Events sur le plan de joint.....	57
Figure III-23 : Moule à deux plaques.....	58
Figure III-24 : Moule à trois plaques.....	58
Figure III-25 : Moule à tiroir.....	59
Figure III-26 : Moule à coquilles.....	59
Figure III-27 : Circuit de refroidissement des plaques de moule.....	60
Figure III-28 : Montage en série.....	60
Figure III-29 : Montage en parallèle.....	61
Figure III-30 : phase de plastification.....	61
Figure III-31 : phase de remplissage.....	62
Figure III-32 : phase de compactage.....	62
Figure III-33 : phase de refroidissement et d'éjection.....	63

Figure III-34 : Cycle d'injection.....	63
Figure III-35 : Chronogramme du cycle du procédé.....	64
Figure III-36 : Schéma topographique de l'installation électrique.....	65
Figure III-37 : Gracfet de fonctionnement automatique.....	68
Figure IV-1 : Les différentes méthodes de maintenance.....	72
Figure IV-2 : Décomposition fonctionnelle.....	76
Figure IV-3 : Arborescence de la partie stockage d'huile.....	79
Figure IV-4 : Arborescence de la partie pompage d'huile.....	81
Figure IV-5 : Arborescence de la partie distribution d'huile.....	82

Liste des tableaux

Tableau I-1 : formules semi-développées du motif monomère.....	11
Tableau I-2 : les caractéristiques des principales matières plastiques.....	22
Tableau II-1 : Exemple de paramètres pour la loi WLF.....	36
Tableau II-2 : Quelques énergies d'activation pour la loi d'Arrhenius.....	37
Tableau II-3 : Quelques exemples de coefficient de piézodépendance.....	39
Tableau III-1 : Transitions pour chaque étape du cycle.....	69
Tableau IV-1: Fiche AMDEC.....	77
Tableau IV-2: Grille de l'échelle de gravité.....	78
Tableau IV-3 : Grille de l'échelle de fréquence d'apparition.....	78
Tableau IV-4 : Grille de l'échelle de non-détection.....	78
Tableau IV-5 : Décomposition de la centrale hydraulique et ses fonctions.....	79
Tableau IV-6 : Fiche AMDEC de la partie stockage d'huile.....	80
Tableau IV-7 : Fiche AMDEC de la partie pompage d'huile.....	81
Tableau IV-8 : Fiche AMDEC de la partie distribution d'huile.....	82
Tableau IV-9 : Fiche AMDEC de l'unité d'injection.....	83
Tableau IV-10 : Fiche AMDEC de l'unité de fermeture.....	84
Tableau IV-11 : Fiche AMDEC de l'armoire électrique.....	85
Tableau IV-12 : programme d'entretien préventif de la presse à injecter.....	86

I. Présentation de l'entreprise :

L'entreprise SISCOPLAST (société d'injection plastique et de fabrication d'articles scolaires) occupe une grande place dans le marché local de l'industrie de la plasturgie, ses divers produits sont améliorés au fil des années grâce à l'apport considérable des compétences qui y travaillent, composées de techniciens et ingénieurs formés dans les différents instituts et universités algériennes. Depuis sa création en 1981, cette entreprise sise dans la zone industrielle de DRAA-EL-MIZAN qui s'étend sur une superficie qui avoisine 30 000 m², a pu maintenir le cap dans un marché concurrentiel ouvert contre d'autres produits importés et locaux, la capacité de production s'élève à plus de 2000 tonnes. L'entreprise SISCOPLAST est une filiale de groupe ENPC (entreprise nationale des plastiques et des caoutchoucs) qui regroupe quatre autres unités de production et de transformation de plastique sises respectivement à : CHLEF, SETIF, MEDEA, ALGER, même si le processus de sa privatisation n'a pas abouti, il faut dire que sa production ne cesse de croître en dépit des réalités non reluisantes du marché local et le rétrécissement du marché de l'exportation, surtout durant les années 90. Il est noté que les produits de cette filiale seront certifiés de la norme ISO 2000 prochainement ? Norme appliquée mondialement pour donner l'assurance de la capacité de répondre à des exigences de qualité et d'augmenter la satisfaction des clients dans les rapports clients-fournisseurs, ce qui lui permettra certainement de s'ouvrir d'une manière notable sur le marché international et ainsi de s'inscrire dans la durée parmi les entreprises algériennes qui participeront indubitablement dans la hausse des revenus des exportations de notre pays en dehors des hydrocarbures.

II. L'objectif de l'entreprise :

La politique du complexe est la satisfaction du marché national en articles en lieu, et l'exportation vers les pays africains et autre en second lieu, pour pouvoir fonctionner de façon harmonisée et sans interruption, elle doit se constituer de stocks et veiller à la reconstitution de ceux-ci avant l'épuisement totale pour les produits qu'elle utilise dans son processus de production, et veiller à l'amélioration de la qualité afin de maintenir et assurer une distribution satisfaisante.

III. Gamme générales des produits fabriqués :

L'entreprise SISCOPLAST se compose de trois secteurs de production :

⇒ Injection ;

⇒ Extrusion ;

⇒ Souple ;

1) Injection :

L'entreprise SISCOPLAST fabrique par le procédé d'injection plusieurs produits, entre autres :

- ⇒ Bouchons moubyd en PP ;
- ⇒ Les fusettes en PEHD injection ;
- ⇒ Articles de traçage (règles, équerres, etc.) en PS.
- ⇒ Couverts balais en PEHD injection ;
- ⇒ Semelles balais en PEHD injection.

2) Extrusion :

L'entreprise SISCOPLAST fabrique par le procédé d'extrusion principalement :

- ⇒ Les tubes PEHD (PE80 et PE100) pour l'alimentation en eau potable, caractérisés par des traits en longueur de couleur bleue.
- ⇒ Tubes en PEHD (PE80) pour irrigation caractérisés par des traits en longueur de couleur verte.
- ⇒ Des gaines pour circuits électriques.
- ⇒ Tiges pour balais.
- ⇒ Flexibles sur commandes des industriels.

3) Les souples :

Le dernier procédé concerne exclusivement :

- ⇒ Protèges cahier en PVC ;
- ⇒ Pochettes vignettes en PVC.

4) Les matières primaires utilisées :

- ⇒ PE 100
- ⇒ PE80
- ⇒ PE60

⇒ Polychlorure de vinyle (PVC)

⇒ Polypropylène (PP)

⇒ Polystyrène (PS)

⇒ Films en (PVC)

Introduction Générale

L'industrie du moulage par injection plastique a évolué au fil des années, réservée au départ à la production de peignes et boutons, elle est passée à la production d'une vaste gamme de produits pour de nombreuses industries à savoir : l'automobile, le médical, l'aérospatial, les produits de consommation, les jouets, la plomberie, l'emballage et la construction. L'industrie s'est développée rapidement dans les années 1940, suite à une demande énorme pour des produits peu coûteux.

Le principe de l'injection plastique est de ramollir une matière thermoplastique chaude présentée sous forme de petits granulés dépassant rarement les quelques millimètres. La matière rendue molle est malaxée puis injectée dans l'ensemble vis fourreau. La rotation de la vis sous forte pression introduit la matière dans un moule. Après refroidissement, l'objet prend la forme solide. Le procédé de moulage par injection permet de produire très rapidement (en une seule opération) des objets de qualité en grande quantité avec des formes complexes, dans des gammes de poids allant de quelques grammes à plusieurs kilogrammes.

L'objectif de ce mémoire est d'étudier le processus de l'injection moulage et la maintenance des équipements de production. Le travail a été réalisé au sein de l'entreprise SISCOPLAST (société d'injection plastique et de fabrication d'articles scolaires) spécialisée dans l'industrie de la plasturgie en particulier dans le domaine du moulage.

Ce mémoire est composé de quatre chapitres. Après une introduction générale, le premier chapitre traite les généralités sur les matières plastiques, leurs propriétés et leurs utilisations en passant par une description détaillée des principaux plastiques utilisés en injection.

Le chapitre II, s'intéresse aux grandeurs étudiées en rhéologie ainsi que la classification des différents fluides. Les différents modèles mathématiques et les paramètres qui régissent et influencent le comportement rhéologiques des polymères feront aussi l'objet de ce chapitre.

Le chapitre III porte sur le procédé d'injection moulage. Pour cela, nous présenterons tout d'abord le fonctionnement et le cycle décrivant les différentes unités de la presse à injection. Ensuite, nous allons présenter le fonctionnement électrique et hydraulique de la presse à injection de marque TRIULZI disponible au sein de l'entreprise SISCOPLAST.

Le chapitre IV présente quelques généralités sur la maintenance industrielle suivi d'une analyse des défaillances de la presse de marque TRIULZI par la méthode AMDEC. Cette méthode permet d'extraire les différents types d'anomalies et de déterminer la priorité de chacune au niveau des trois indices significatifs et descriptifs, permettant d'évaluer ses derniers et de proposer ensuite le plan d'action adéquat pour corriger les défaillances et à les prévenir. Le mémoire se termine par une conclusion générale et quelques perspectives.

Chapitre I

Généralités sur les matières plastiques

I-1 Introduction

Les matières plastiques font désormais partie de notre quotidien. Certains polymères ont été découverts fortuitement. Une matière plastique ou en langage courant un plastique est un mélange contenant une matière de base (un polymère) qui est susceptible d'être moulé, façonné, en général à chaud et sous pression, afin de conduire à un semi-produit ou à un objet. Les matières plastiques couvrent une gamme très étendue de matériaux polymères synthétiques ou artificiels. On peut observer aujourd'hui sur un même matériau des propriétés qui n'avaient jamais auparavant été réunies, par exemple la transparence et la résistance aux chocs. Généralement, les polymères industriels ne sont pas utilisés à l'état « pur », mais mélangés à des substances miscibles ou non dans la matrice polymère.

Ce chapitre a pour vocation de présenter en premier lieu les généralités sur les polymères, leur définition et leur formation en passant par leur organique. Ensuite, nous présentons les classifications des différents polymères ainsi que leurs utilisations et leurs propriétés. Enfin nous donnons un comparatif des caractéristiques des principaux plastiques utilisés en injection.

I-2 Généralités sur les polymères

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

Le plus souvent synthétiques, quelquefois naturels, ils doivent cet essor à leurs larges gammes de caractéristiques, durs, mous ou élastiques, transparents ou opaques, isolants et quelquefois conducteurs, plus ou moins résistants aux conditions agressives de leur usage, toujours légers. C'est la nature particulière de leurs molécules en forme de chaîne, ainsi que la variété des modes d'assemblage qu'elles adoptent, qui est à l'origine de cette diversité.

Les polymères sont constitués de macromolécules qui sont obtenues par adjonction de petites molécules appelées monomères. Lors d'une réaction de polymérisation, les monomères forment en général de longues chaînes qui peuvent se replier sur elles-mêmes et/ou s'enchevêtrer avec les macromolécules voisines.

Au début du XX^e siècle, Wilhelm Eduard Weber ou encore Henri Braconnot ont présagé la notion de macromoléculaire au moment où de nombreux chercheurs ne la voyaient que des agrégats ou micelles. Il faut attendre les années 1920 – 1930 pour que l'idée de macromolécule soit acceptée, notamment grâce aux travaux d'Herman Staudinger. Le développement consécutif de la science macromoléculaire a été accéléré, ils ont alors lancé un immense programme de recherche dans le but de trouver des substituts de synthèse.

I-2-1 Définition d'un polymère

Polymère est un mot venant du grec «Pollus» : plusieurs, et «Meros» : partie. Un polymère est une macromolécule, organique ou inorganique, constituée de l'enchaînement répété d'un même motif, le monomère (du grec « Monos » : un seul(e), et « Meros » : partie) reliés les uns aux autres par des liaisons covalentes.

Dans la macromolécule suivanteA-A-A-A-A-A-A..... = [-A-] n l'unité constitutive est A ; elle est formée d'un groupe d'atomes qui se répète. A l'échelle moléculaire, quelques centaines de nm, la plupart des macromolécules se présentent sous forme de « fils long et souples». Les réactions chimiques permettant de passer d'un monomère A à la macromolécule [-A-] n s'appellent polymérisation. Ainsi, l'éthylène CH₂=CH₂ (monomère) conduit par polymérisation par ouverture de la double liaison au polyéthylène (polymère) [-CH₂-CH₂-] n.

La macromolécule peut comporter jusqu'à 50 000 atomes de carbone, et pour de nombreux polymères commerciaux la masse molaire peut atteindre 1 000000 g. mol⁻¹. Certaines macromolécules deviennent ainsi visibles à l'œil nu (matériaux réticulés par exemple). [03]

I-2-2 Organique des polymères

La matière plastique obéit aux lois de la chimie organique, les matières plastiques sont toutes à base des dérivés du carbone, elles sont classées dans les composés organiques.

I-2-2-a Les molécules

La matière est composée d'éléments de base appelés - Molécules. La molécule est définie comme étant la plus petite partie du corps, c'est-à-dire la quantité minimale de matière présentant des propriétés physiques et chimiques de ce corps.

I-2-2-b Les atomes

Une molécule peut être décomposée en éléments plus petits appelés Atomes. Cette décomposition entraîne un changement des propriétés. L'atome est la plus petite partie d'un corps pur électriquement neutres.

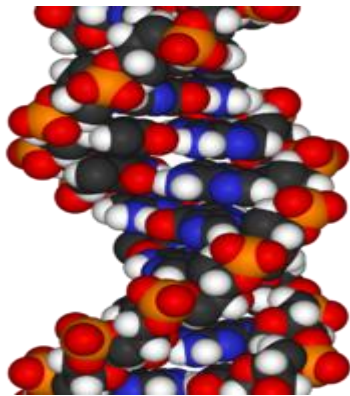


Figure I-1-a : molécule

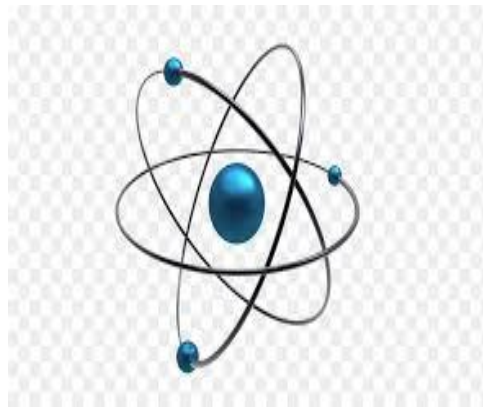


Figure I-1-b : atome

I-2-2-c Les particules

L'atome peut lui même être décomposé en particules électriquement chargées ou neutres. Ces particules sont indivisibles.

- Le proton : particule élémentaire chargée positivement.
- Le neutron : particule élémentaire électriquement neutre.
- L'électron : particule élémentaire chargée négativement.

I-2-2-d Les monomères

Les monomères sont les unités chimiques de base, ou molécules, des matières plastiques. Ils sont construits autour des atomes de carbone (C), et contiennent des atomes d'hydrogène (H), d'oxygène (O), d'azote (N), chlore (Cl), soufre (S), fluor (F), etc.

I-2-2-e Les polymères

Sous l'action de la pression, de la chaleur et d'un catalyseur, les molécules, ou monomères, se regroupent entre elles pour former de longues chaînes appelées polymères, ou macromolécules. Une macromolécule peut contenir plusieurs centaines à plusieurs millions de monomères.

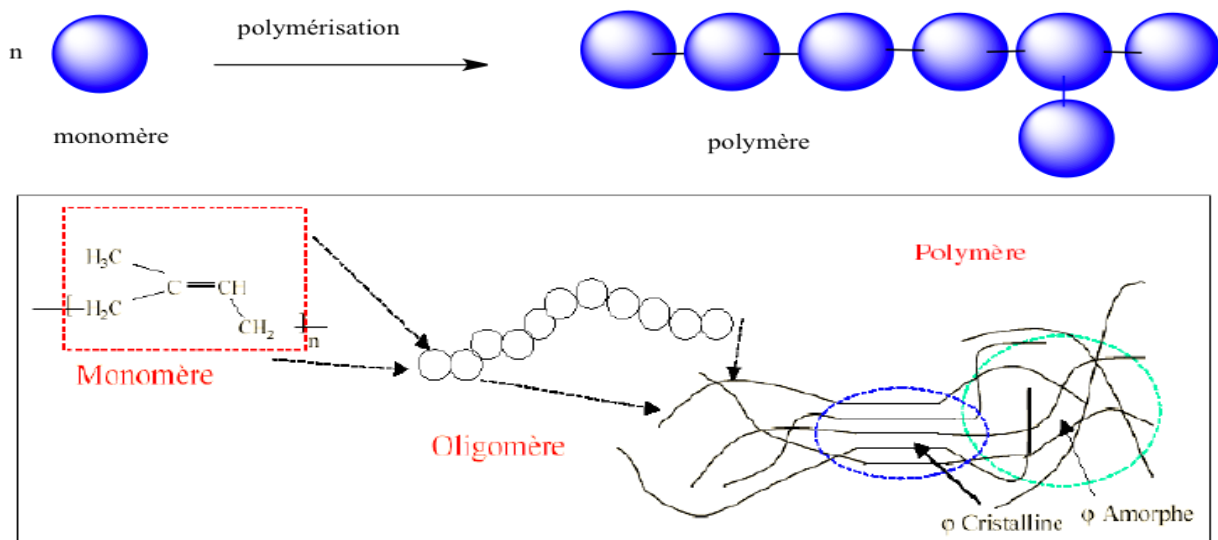


Figure I-2 : Constitution du polymère [8]

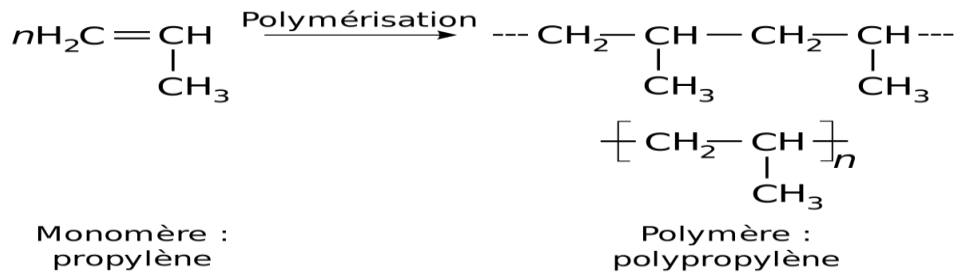
I-3 Formation des polymères

On distingue deux grandes catégories de réaction chimiques permettant la préparation des polymères.

I-3-1 Polymérisation

La polymérisation est une transformation à partir de molécules de bases identiques, sous pression et température, par amorçage, radicalaire ou ionique par rayonnement, avec utilisation des catalyseurs appropriés, ou sous l'effet conjugué de plusieurs de ses facteurs. [6]

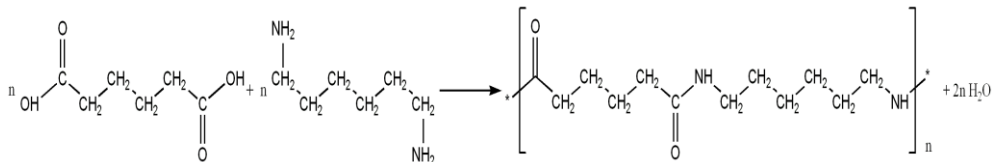
Exemple de polymérisation :



I-3-2 Polycondensation

Dans la polycondensation, le point de départ est une réaction qui a lieu sans amorçage, entre des molécules de bases différentes, elle est plus lente que la précédente (polymérisation), et donne un résidu qui est généralement de l'eau.[06]

Exemple de polycondensation :



I-4 Classification des différents polymères

Il existe diverses classifications de polymères, nous aborderons deux. La première est liée à la structure du polymère et la deuxième quant à elle est liée aux propriétés thermomécaniques du polymère.

I-4-1 Classement lié à la structure

I-4-1-1 Polymères linéaires

Pour les polymères linéaires, au niveau de la solubilité, il y a d'abord gonflement puis solubilité à une certaine température.

I-4-1-2 Homopolymères

L'homopolymère est l'enchaînement linéaire du même monomère : -A-A-A-A-A-A-A. Bien que ces polymères sont relativement simples, dès qu'il y a des substituants sur la double liaison, plusieurs possibilités de position pour les substituant existent : on parle alors de tacticité. Cette dernière est la position que prennent les substituants le long de la chaîne carbonée. Ces substituants, peuvent être soit du benzène, méthyle, etc.

Pour la détermination de la tacticité, tous les carbones de la chaîne sont mis dans un plan.

Si tous les substituants sont devant ou derrière le plan, le polymère est appelé isotactique (voir Figure.I-3-a) (l'isotacticité est défini pour deux monomères pour lesquels les carbones asymétriques (CH) ont la même configuration).

Par contre, si tous les substituants sont liés alternativement devant et derrière le plan (ou vice versa), la configuration du polymère est dite syndiotactique (Figure. I-3-b)

Dans le cas où les substituants sont disposés aléatoirement devant et derrière la chaîne carbonée, le polymère est dit atactique (voir Figure. I-3-c).

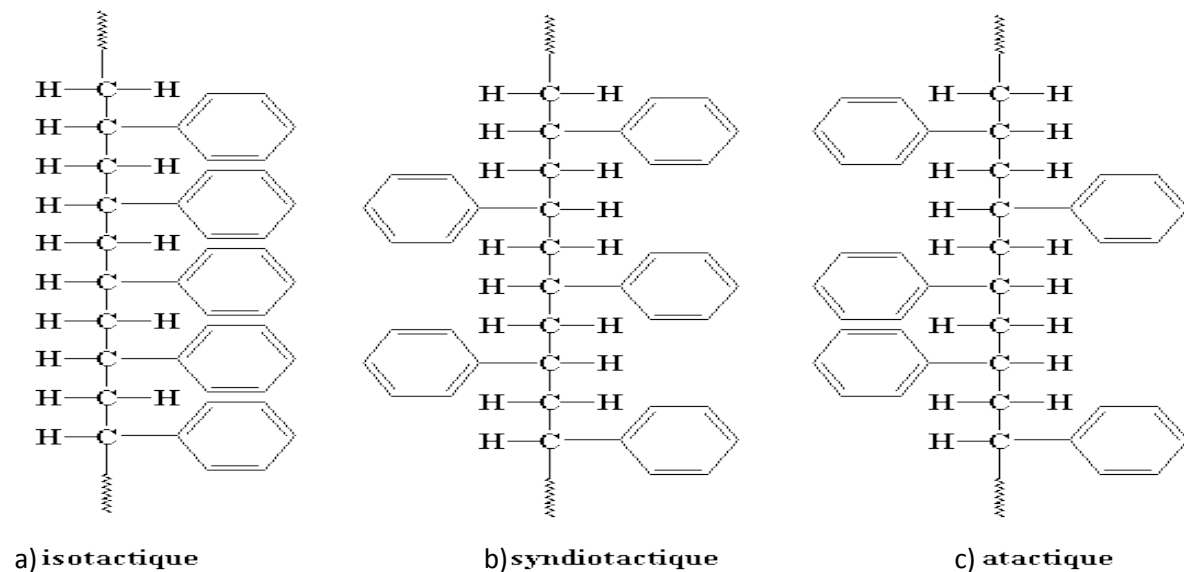


Figure I-3: Différentes tacticités des polymères

I-4-1-2-a Quelques propriétés dues à la tacticité

a-1. Polymères atactiques : Ils sont caractérisés par : une bonne solubilité, une température de fusion basse, une faible charge à la rupture et ils sont non ordonnés.

a-2. Polymères isotactiques : Ils ont une faible solubilité, une température de fusion élevée et une charge à la rupture plus grande.

I-4-1-3 Copolymères

Les copolymères sont obtenus par réaction de polymérisation avec des monomères différents. On distingue trois types de copolymères à savoir :

- Les copolymères alternés: A-B-A-B-A-B-A-B-
- Les copolymères séquencés: -A-A-A-A-B-B-B-B-
- Les copolymères statistiques: aléatoire (-A-B-B-B-A-A-)

Il est à noter que pendant la seconde guerre mondiale, on a utilisé le copolymère butadiène/styrène comme caoutchouc synthétique.

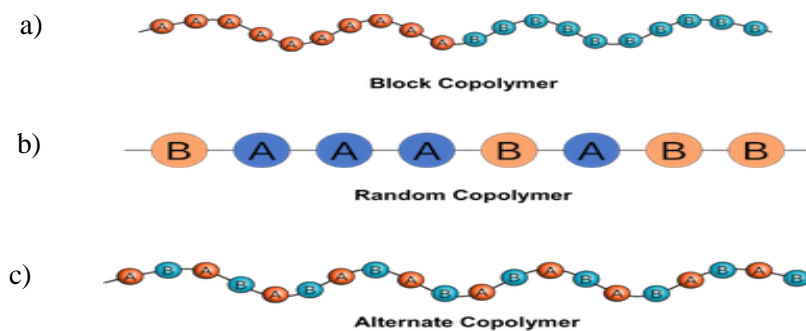


Figure I-4 : Structure de Copolymères : a) séquencé, b) alterné, c) aléatoire

I-4-1-4 Polymères ramifiés

Un polymère ramifié (ou branché) est un polymère présentant au moins un point de ramification entre ses deux groupes terminaux, un point de ramification (aussi appelé point de branchement) est un point d'une chaîne sur lequel est fixée une chaîne latérale aussi appelée branche (Figure I-5).

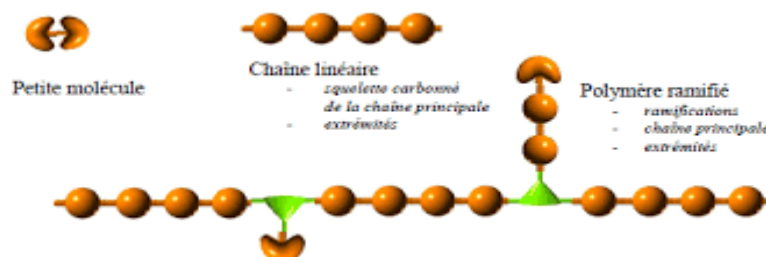


Figure I-5 : Structure de Polymère ramifié [08]

I-4-1-5 Polymères à cycles dans la chaîne

Les Polymères à cycles dans la chaîne sont très rigides et résistent très bien à très haute température. Dans certains cas, ils sont trop rigides ; on sépare alors les cycles par des chaînes que l'on nomme des chaînes charnières.

I-4-1-6 Polymères tridimensionnels

Un polymère tridimensionnel est constitué d'une seule macromolécule qui se développe dans les trois directions de l'espace. Au niveau de la solubilité, il y a d'abord gonflement puis solubilité partielle ; il y a donc gélification.

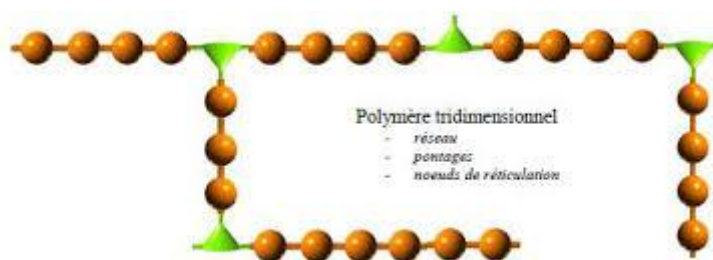


Figure I-6 : Structure de Polymère tridimensionnels [08]

Sur le tableau I-1 sont représentées les formules semi-développées du motif monomère.

Monomère	Formule semi-développée	Polymère	Motif
éthène (éthylène)	$\text{CH}_2 = \text{CH}_2$	Polyéthylène (PE)	$\left[\text{CH}_2 - \text{CH}_2 \right]$
propène (propylène)	$\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH}_2$	Polypropylène (PP)	$\left[\begin{array}{c} \text{CH} - \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]$
éthénylbenzène (styrène)	$\text{C}_6\text{H}_5 - \text{CH} = \text{CH}_2$	Polystyrène (PS)	$\left[\begin{array}{c} \text{CH} - \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right]$
monochloroéthène (chlorure de vinyle)	$\text{Cl} - \text{CH} = \text{CH}_2$	Polychlorure de vinyle (PVC)	$\left[\begin{array}{c} \text{CH} - \text{CH}_2 \\ \\ \text{Cl} \end{array} \right]$
Tétrafluoroéthène (tétrafluoroéthylène)	$\text{CF}_2 = \text{CF}_2$	Polytétrafluoroéthylène ou téflon (PTFE)	$\left[\text{CF}_2 - \text{CF}_2 \right]$

Tableau I-1 : formules semi-développées du motif monomère

I-4-2 Classement lié aux propriétés thermomécaniques

I-4-2-1 Les thermoplastiques

Les thermoplastiques sont des polymères qui deviennent malléables quand ils sont chauffés, ce qui permet leur mise en œuvre ; l'avantage de ces polymères est que dans l'état fondu, on peut les mouler dans la forme que l'on veut. C'est la famille la plus utilisée car ils représentent près de 90 % des applications des matières plastiques. Ils sont moins fragiles, plus faciles à fabriquer (machine à injecter et cadences élevées) et permettent des formes plus complexes que les thermodurcissables.

Ils existent sous forme rigide ou souple, compacte ou en faible épaisseur, sous forme de feuille très mince (film...), de revêtement, expansé ou allégé. [06]

I-4-2-1-a Avantages des thermoplastiques

Les thermoplastiques se ramollissent et se déforment sous l'action de la chaleur. Ils peuvent, en théorie, être refondus et remodelés un grand nombre de fois tout en conservant leurs propriétés ; ils sont comparables à la cire ou à la paraffine. Insensibles à l'humidité, aux parasites, aux moisissures (sauf polyamides) ils peuvent être fabriqués dans une gamme de couleurs très étendue.

I-4-2-1-b Inconvénients des thermoplastiques

Parmi les inconvénients des thermoplastiques : le Fluage élevé, coefficient de dilatation linéaire élevé entraînant un retrait important au moment du moulage, combustible, sensible aux ultraviolets.

I-4-2-2 Les thermodurcissables

Les thermodurcissables sont des polymères qui durcissent sous l'action de la chaleur ou par ajout d'un additif, ils sont également très employés pour fabriquer les pièces de structure thermostables, on les met en forme lorsqu'ils sont dans leur état mou, de la même manière que les thermoplastiques, avant qu'ils ne durcissent sous l'effet de la chaleur et des additifs chimique qui induisent la réaction de polymérisation.

Les thermodurcissables ne ramollissent pas et ne se déforment pas sous l'action de la chaleur. Une fois créés, il n'est plus possible de les remodeler par chauffage. Au moment de la mise en œuvre, ils ramollissent dans un premier temps, puis durcissent de manière irréversible sous l'action prolongée de la chaleur [06]

I-4-2-2-a Avantages des thermodurcissables

Les thermodurcissables présentent une bonne tenue aux températures élevées (> 200°C), aux attaques chimiques, une meilleure résistance au fluage que les thermoplastiques (conservent une meilleure stabilité dimensionnelle dans le temps), une bonne rigidité pour un prix de matière première peu élevé et faible retrait au moulage.

I-4-2-2-b Inconvénients des thermodurcissables

Parmi les inconvénients des thermodurcissables : la mise en œuvre moins pratique et plus lente que les thermoplastiques, pas de moulage par injection et cadences de fabrication assez faibles.

I-4-2-3 Les élastomères

L'élastomère aussi appelé caoutchouc est une sorte de polymère qui est déformable de manière réversible. Il est le seul matériau complètement élastique qui résiste à la température et une multitude de fluides. Grâce à ses propriétés, il est le matériau principal dans le secteur de l'étanchéité industrielle.

I-4-2-3-a Avantages des élastomères

Les élastomères présentent une remarquable élasticité, ils sont caractérisés par une large plage d'utilisation en température, une bonne résistance aux déchirements, aux coupures et ils sont aussi d'excellents combustibles.

I-4-2-3-b Inconvénient des élastomères

L'inconvénient majeur des élastomères est qu'ils ne sont pas recyclables en fin de vie.

Les figures I-7 et I-8 représentent respectivement le classement et la répartition des principales matières plastiques.

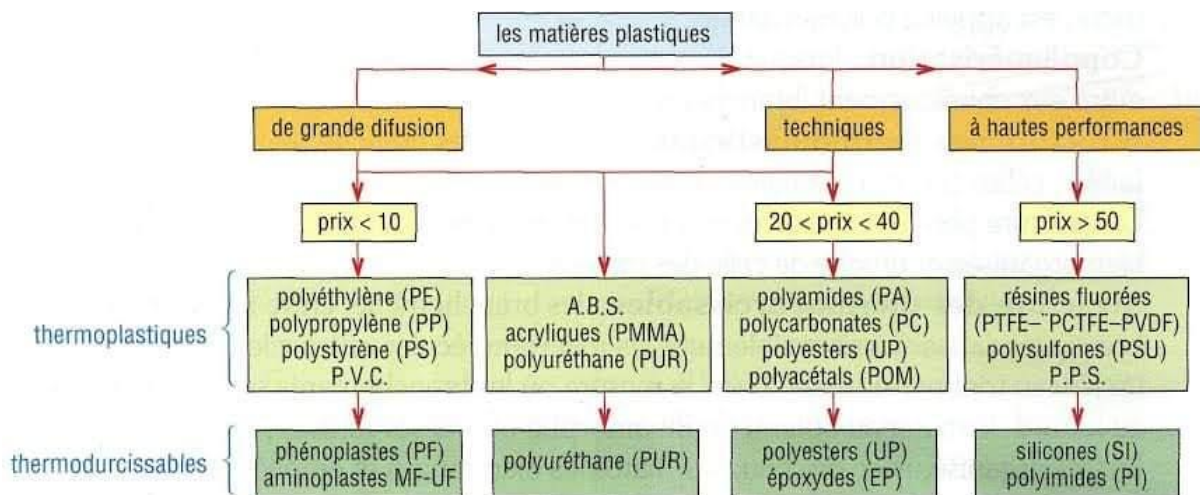


Figure I-7 : Classement des Principales matières plastiques

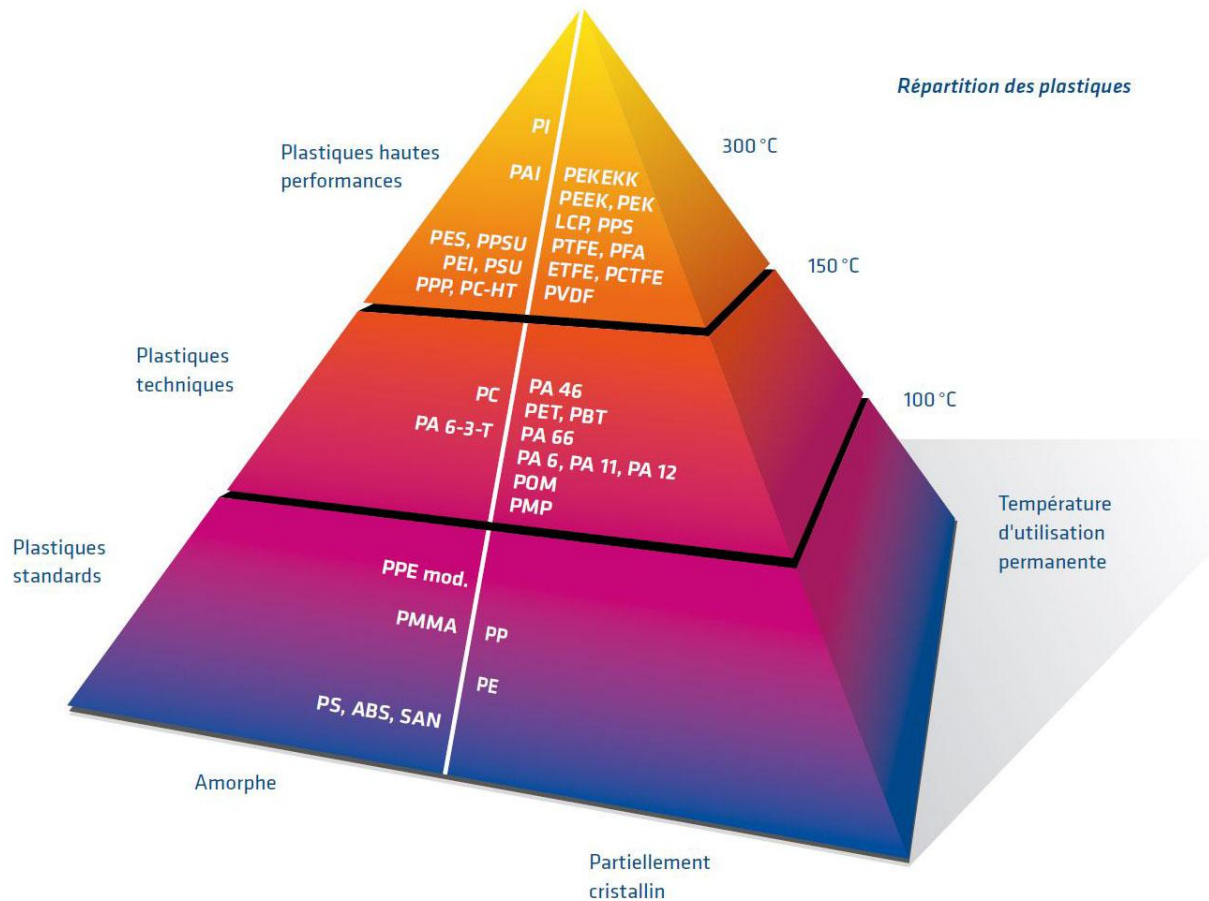


Figure I-8: Répartition des matières plastiques

I-5 Utilisation des polymères

Les polymères ont une large gamme d'utilisation dans tous les domaines ; dans l'industrie à titre d'exemple : pièces de structure pour les véhicules, dans les habitations comme les petits objets usuels, les appareils électroménagers, dans les établissements comme les écoles exemple (Tableau blanc), les hôpitaux exemple (seringue). Aussi, les polymères envahissent le marché de l'emballage des produits alimentaires, d'hygiène, agricole, etc.

Les caractéristiques chimiques et les différentes propriétés physique et mécanique de chaque polymère sont les facteurs qui imposent leur domaine d'utilisation.

I-6. Propriétés des polymères

Lorsqu'on parle de propriétés d'un matériau, on se refait à la façon dont il réagit à une sollicitation. Autrement dit, la sensibilité à cette dernière, ou bien son inverse, la stabilité et la résistance.

I-6-1 Propriété mécanique

Les propriétés mécaniques décrivent leur comportement vis-à-vis des sollicitations mécaniques telles que la pression, les étirements, la torsion, les frottements, les chocs et l'effet de la pesanteur. [05]

I-6-2 Transition vitreuse

Les thermoplastiques et les thermodurcissables sont soumis au phénomène de vitrification. Au-dessous de leur température de vitrification, ou transition vitreuse, ils deviennent durs et cassant comme du verre et au-dessus, ils sont plus souples. A l'extrême ils deviennent élastiques. [05]

I-6-3 Propriétés optiques

Les propriétés optiques des polymères se présentent sous forme de transparences, translucidité, opacité et coloration. [05]

I-6-4 Propriétés électriques

Les polymères sont largement utilisés comme isolants électriques, en particulier dans les circuits électroniques et les gaines de câbles électriques. Il existe aussi des polymères conducteurs, soit à l'état intrinsèque soit par ce qu'ils sont chargés de particules de carbone conductrices. [05]

I-6-5 Propriété électro-optiques

Certaines molécules de polymère, rigides et allongées, sont susceptibles de s'orienter sous l'effet d'un champ électrique. Cet effet est utilisé dans des dispositifs d'affichage comportant des polymères de structures cristal-liquide. Lorsque le champ n'est pas appliqué les molécules sont en désordre local, le matériau est opaque et d'apparence laiteuse. Lorsque le champ est appliqué, les molécules s'orientent dans la même direction que le champ, il laisse passer la lumière et le matériau devient transparent. [05]

I-6-6 Propriété de protection physique et chimique

Ces propriétés englobent des caractéristiques diverses : imperméabilité aux liquides et aux gaz, résistance chimique aux solvants, résistance aux rayons ultraviolets. [05]

I-7. Comparatif des caractéristiques des principaux plastiques utilisés en injection [01] [02] [03]

I-7-1 Le Polyéthylène basse densité – PEBD

Le Polyéthylène basse densité – PEBD est un thermoplastique souple semi-cristallin. Il est notamment utilisé pour la fabrication de film, de tuyau souple, de jouet, de flacon souple, etc.

Les avantages et les inconvénients des PEBD sont illustrés dans le tableau ci –dessous :

Avantages	inconvénients
-Grade Alimentaire	-Difficile à coller
-Grande inertie chimique	-Peu de résistance mécanique
-Incassable	-Se fissure facilement sous la contrainte
-Souple	-Mauvaise tenue à la chaleur
-Pas de reprise d'humidité	

I-7-2 Le Polyéthylène haute densité – PEHD

Le Polyéthylène haute densité – PEHD est un thermoplastique semi-rigide et semi-cristallin. Il est notamment utilisé pour la fabrication de bidon de produits chimiques, de jouet, de glissière, etc.

Avantages	inconvénients
-Identiques à celui de PEBD	-Identiques à celui de PEBD
-Meilleure rigidité que le PEBD	
- Anti-adhérent	
-Tenue chimique	

I-7-3 Le Polypropylène homo – PPH

Le Polypropylène homo –PPH est un thermoplastique rigide semi-cristallin. Il est principalement utilisé dans le secteur de la cosmétique, de la pharmaceutique, l'agroalimentaire, les bidons, l'électronique, salon de jardin, etc.

avantages	inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Bonne résistance aux hautes températures -Grande rigidité - Bonne résistance aux produits chimiques - Transparence - Bonne résistance à la flexion 	<ul style="list-style-type: none"> -Difficile à coller -Fragile à basse température -Soudage haute fréquence impossible

I-7-4 Le Polypropylène copolymère – PPC

Le Polypropylène copolymère –PPC est un thermoplastique très souple de la famille des semi-cristallins. Il est utilisé dans l'agroalimentaire, l'automobile et le médical.

Avantages	inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> -Identiques à celui de PPH -Transparence - Bonne résistance aux chocs 	<ul style="list-style-type: none"> - Identiques au PPH

I-7-5 Le Polystyrène cristal – PS

Le Polystyrène cristal – PS est un thermoplastique transparent avec une structure amorphe. Il est particulièrement utilisé pour la vaisselle jetable, les éléments décoratifs, le boitage économique, etc.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> -Bonne rigidité mais cassant -Aspect brillant -Surface dure -Coût réduit 	<ul style="list-style-type: none"> -Très mauvaise résistance chimique -Mauvaise tenue température -Cassant

I-7-6 Le Polystyrène choc - PS choc

Les caractéristiques du polystyrène choc sont identiques au Polystyrène cristal – PS mais résistant aux chocs et opaque.

I-7-7 L'Acrylonitrile-Butadiène-Styrène – ABS

L'Acrylonitrile-Butadiène-Styrène – ABS est un thermoplastique de la famille des amorphes, c'est l'un des plastiques les plus utilisés pour les pièces d'aspect. Il est notamment utilisé dans l'ameublement, la décoration, l'automobile. Electroménager, l'extrusion, les revêtements de réfrigérateurs, etc.

Avantages	Inconvénients
-Facilité de marquage	-Mauvaise résistance chimique
-Bonne résistance à la rayure et aux chocs	-Mauvaise tenue aux ultraviolets
-Aspect brillant	-Opaque
-Bonne rigidité	-Electrostatique

I-7-8 Le Polyméthacrylate de Méthyle – PMMA

Le Polyméthacrylate de Méthyle – PMMA est un thermoplastique amorphe. Couramment appelé Plexiglas, il est apprécié pour sa très bonne transparence. Ses utilisations sont principalement dans l'optique, l'automobile, la menuiserie, le médical, etc.

Les avantages et les inconvénients du PMMA sont illustrés dans le tableau ci –dessous :

Avantages	Inconvénients
-Bonne tenue aux ultraviolets	-Mauvaise résistance aux rayures
-Aspect brillant	-Mauvaise tenue à la chaleur
-Bonne dureté	-Fragile
-Transparence	

I-7-9 Le Polyéthylène Téréphtalate – PET

Le Polyéthylène Téréphtalate – PET est un thermoplastique semi-cristallin transparent. Il est utilisé dans de nombreux secteurs dont: les bouteilles d'eau, les emballages agroalimentaire, la cosmétique, etc.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> -Bonne résistance à la déchirure -Bonne résistance chimique - Transparence -Bonne rigidité 	<ul style="list-style-type: none"> -Soudage haute fréquence impossible -Tenue à la température faible

I-7-10 Le Polyamide 6 - PA6

Le Polyamide 6 - PA6 est un thermoplastique semi-cristallin. Couramment appelé Nylon, le PA6 est utilisé dans la pièce technique nécessitant une bonne résistance. Ainsi il se retrouve dans l'automobile, la pièce mécanique dans l'industrie, le photovoltaïque.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> -Bonne résistance thermique -Bonne rigidité -Bonne isolation électrique -Coefficient de frottement réduit 	<ul style="list-style-type: none"> -Forte sensibilité aux ultraviolets -Opacité -Faible résistance aux acides -Fragile à sec

I-7-11 Le Polyamide 6 chargé 30% fibres de verre - PA6 30%FV

Le PA6 30%FV est un PA6 avec un ajout de fibres de verre. Il a ainsi les mêmes caractéristiques que le PA6 (Nylon) et grâce à sa charge une meilleure rigidité.

I-7-12 Le Polyoxyde de Méthylène – POM

Le Polyoxyde de Méthylène – POM est un thermoplastique de la famille des semi-cristallins. Ce matériau aux excellentes propriétés techniques a de nombreuses applications notamment dans l'automobile, la pièce technique pour l'industrie, le sport, etc.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> -Bonne résistance aux hydrocarbures -Bonne résistance aux frottements -Grande dureté et rigidité -Bonne élasticité 	<ul style="list-style-type: none"> -Sensibilité aux ultraviolets -Opacité -Combustible

I-7-13 Le Polycarbonate – PC

Le Polycarbonate – PC est un thermoplastique transparent de structure amorphe. Ce plastique est notamment utilisé dans l'électroménager, l'automobile, les boîtiers pour l'électronique.

Les avantages et les inconvénients du PC sont illustrés dans le tableau ci –dessous :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> -Bonne isolation électrique -Plastique alimentaire -Bonne tenue à la température -Transparent 	<ul style="list-style-type: none"> -Faible résistance aux produits chimiques -Mauvaise résistance à la fissuration

I-7-14 Les thermoplastiques élastomères - TPE de type SEBS - copolymère bloc styrénique hydrogéné

Les thermoplastiques élastomères sont déclinés en une multitude de références et de duretés différentes suivant les applications. Il remplace dans de nombreux cas le caoutchouc. Ces plastiques sont utilisés dans de nombreux secteurs d'activités comme l'automobile, l'alimentaire, l'industrie, etc.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> -Bonne tenue à la température et aux UV -Plastique alimentaire -Grande étendue de dureté -Possibilité de surmoulage sur d'autres plastiques rigides 	<ul style="list-style-type: none"> -Prix assez élevé -Faible résistance à la déchirure -Opacité

I-7-15 Les Bioplastiques à base de ressources végétales

A titre d'exemple, le PLA – Poly Acide Lactique, qui est une résine thermoplastique issue de ressources végétales renouvelables et est certifiée compostable. (Issus de maïs, pomme de terre, etc.)

Les domaines d'Application des bioplastiques à base de ressources végétales sont emballage, médical, horticulture, industrie, etc.

Avantage	Inconvénient
-Matériaux renouvelables	-Prix assez élevé

Le Tableau I-2 résume les caractéristiques des principales matières plastiques.[07]

Principales matières plastiques																			
	symbole	(1) aspect	densité	températures limites (°C)	caractéristiques mécaniques				résistance chimique				solvants	huiles	usinage	moulage	(3) exemples d'emploi		
					R _r (daN/mm ²)	E (daN/mm ²)	A% chocs IZOD entaillés	acides		bases alcalis									
								(2) forts	(2) faibles	(2) forts	(2) faibles								
thermoplastiques	polyéthylène	basse densité	PE-LD	TRL-OQ	0,92	100	0,5-3	20-40	200-600	ne casse pas	F	B	B	B	B	B	B	① ②	
		haute densité	PE-HP	TRL-OQ	0,96	120	2-4	80-180	20-80		F	B	B	B	B	B	B	③ ④	
	polypropylène	PP	TRP-OQ	0,91	130	3-5	140-200	250-600	7-25	F	B	B	B	B	B	B	B	① ③ ⑥	
	polychlorure de vinyle	rigide	PVC	TRP-OQ	1,38	70	4-6	150-350	5-80	2-100		B	B	B	S	B	B	B	① ③
		souple		TRP-OQ	1,20	70	1-3	1-4	150-450										①
	polystyrène	PS	TRL-OQ	1,05	80	3-5	200-320	5-75	3-20	F	B	B	B	S	B	F	B	① ② ③ ⑥	
	ABS*	ABS	TRL-OQ	1,10	110	1,7-6	200	10-50	10-50	F	B	B	B	S	B	B	F	① ② ③	
	poly (méthacrylate de méthyle)	PMMA	TRP-OQ	1,20	85	5-8	220-320	4-10	2-3	F	B	S	F	F	B	B	S	② ③ ⑤ ⑥	
	acétate de cellulose	CA	TRP-OQ	1,30	90	3-6	80-250	20-50	6-45	S	F	F	F		B	B	B	① ② ③ ⑤	
	polyamide	PA	TRP-OQ	1,15	160	5-10	90-280	15-300	3-50	S	B	B	B	B	B	B	B	① ③ ④	
	polycarbonate	PC	TRP-OQ	1,20	130	5-7	240	80-120	65-100	F	B	S	F	F	B	B	B	① ② ⑤	
	polyoxyméthylène	POM	TRL-OQ	1,40	90	6-7	300	35-75	5-15	S	B	F	F	B	B	B	B	① ③ ④	
polytétrafluoroéthylène	PTFE	OQ	2,20	+260 -200	2-4	35-80	250-500	16	B	B	B	B	B	B	B	B	-	④ ⑥	
thermodurcissables	phénoplastes**	PF	TRP-OQ	1,3	190	3-6	270-480	750		S	F	S	S	S		B	B	① ②	
	polyesters	UP	TRP-OQ	1,2	190	5-15	280-400	250-1500	8-100	S	F	S	F	F		F	B	② ③	
	polyépoxydes	EP	TRL-OQ	1,5	280	2-12		250	2-50	F	B	F	B	B	B	B	B	② ③ ⑥	
	polyimides	PI		1,6	250	2-4		750		B	B	B	B	B	B	B	B	① ⑦	
	silicones	SI	OQ	1-2	230	1				F	B	F	F	F	F	F	F	B	⑦

(1) TRL : translucide
TRP : transparent
OQ : opaque

(2) B : bon
F : faible à moyen
S : mauvais (soluble)

(3) ① : pièces mécaniques (engrenages, cames, rotors)

② : petits carter, boîtiers, jouets, petit-outillage

③ : grands bâtis, cuves, containers, réservoirs, coques

④ : pièces de frottement (coussinets, paliers, glissières)

⑤ : pièces pour l'optique (vitres, luminaires, diffuseurs)

⑥ : applications chimiques, thermiques

⑦ : enrobage, étanchéité, isolant

* acrylonitrile styrène acrylate
** résine phénol formaldéhyde

Tableau I-2 : Caractéristiques des principales matières plastiques [07]

I-8 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons rappelé quelques notions de base sur les polymères à savoir leurs propriétés leur formation, leur organique et leurs domaines d'utilisations. Ensuite, nous avons fait un inventaire des différents polymères utilisés en injection tout en citant leurs avantages et inconvénients. Dans le chapitre suivant nous nous intéresserons à la rhéologie des polymères.

Chapitre II

Rhéologie des polymères

II-1 Introduction

La rhéologie est la science qui étudie la déformation ou l'écoulement des corps sous l'effet des contraintes appliquées en tenant compte du temps. Plus généralement, elle étudie la relation entre la contrainte et la déformation en fonction du temps dans le matériau. [9]

L'étymologie du mot rhéologie vient du grec (« rhéo » : couler et « logos » : étude). Le mot rheology (en anglais) a été introduit en 1929 par Eugen Bingham et c'est en 1943 que le mot rhéologie a été introduit en français. [10]

La rhéologie permet de déterminer les propriétés mécaniques macroscopiques à partir d'une étude basée sur la structure micro ou nanoscopique du matériau, par exemple, elle nous renseigne sur la taille moléculaire, l'architecture d'un polymère en solution, ou encore la distribution de taille de particules dans une suspension. [11]

Dans ce chapitre, nous présentons les généralités et les grandeurs étudiées en rhéologie ainsi que la classification des différents fluides. Ensuite, nous explicitons les différents modèles mathématiques et les paramètres qui régissent et influencent le comportement rhéologiques des polymères.

II-2 Notions générales sur la rhéologie

D'une manière générale, la rhéologie suppose que :

- Le matériau est continu (pas de vide dans le matériau).
- Chaque point du corps se déplace de façon continue.
- Deux points du corps infiniment voisins avant la déformation le sont encore après la déformation.
- Les propriétés physiques du corps varient d'une façon continue d'un point à un autre.

La rhéologie se décompose en plusieurs axes d'études :

- a- **La rhéologie expérimentale** : Elle détermine expérimentalement le comportement entre les contraintes et la vitesse de déformation.
- b- **La rhéologie structurale** : Elle explique le comportement du matériau à partir de sa structure.
- c- **La rhéologie théorique** : Elle fournit des modèles mathématiques en nombre limité des comportements indépendamment de la structure microscopique. [12]

L'objet de la rhéologie est la compréhension de la réponse des fluides à une contrainte imposée. La viscosité est la résistance à l'écoulement d'un fluide soumis à une contrainte tangentielle. Lorsque la viscosité augmente, la capacité du fluide à s'écouler diminue. Pour un liquide, la viscosité tend généralement à diminuer lorsque la température augmente.

Dans le cas des polymères les paramètres du procédé d'élaboration ou de transformation (la température, la pression, le gradient de vitesse appliqué, le temps de traitement) influent sur la viscosité.

II-3 Classification des fluides

En fonction de leur comportement rhéologique, les fluides sont classés :

II-3-1 Les fluides Newtoniens

Les fluides Newtoniens sont des fluides pour lesquels il y a proportionnalité à tout instant entre les contraintes et les taux de cisaillement ou les gradients de vitesse. Dans ce type de fluide la viscosité reste constante, cela signifie que le fluide continue à s'écouler indépendamment des forces extérieures qui agissent sur lui. Par exemple, l'eau est un fluide newtonien parce qu'elle continue à montrer la même viscosité quelle que soit la vitesse à laquelle elle est agitée. Les solutions aqueuses et les huiles de faibles viscosités, la plupart des solvants, l'air, de nombreux gaz, sont des exemples de fluides newtoniens. Pour un fluide newtonien, la viscosité ne dépend que de la température et de la pression. Si le fluide newtonien n'est pas un corps pur, sa viscosité dépend aussi de la composition chimique. [11]

II-3-2 Les fluides Non-Newtoniens

Les fluides non-Newtoniens sont des fluides pour lesquels la relation contraintes taux de cisaillement (ou gradients de vitesse) n'est pas linéaire et peut dépendre de la manière de l'écoulement. La viscosité n'est pas constante et dépend des contraintes et du taux de cisaillement, on parle alors de viscosité apparente. Ces fluides peuvent être :

II-3-2-1 Les fluides Rhéofluidifiants (ou pseudo-plastiques)

Les fluides Rhéofluidifiants s'écoulent même sous une contrainte faible mais ils ont une viscosité apparente qui diminue lorsque la contrainte croît. Comme exemple de ce type de fluide on trouve les suspensions diluées de particules solides ou de polymères.

II-3-2-2 Les fluides Rhéoépaississants (ou dilatants)

Les fluides Rhéoépaississants sont des liquides dont la viscosité augmente avec la contrainte appliquée. On trouve ce type de fluides dans les suspensions concentrées ou encore le sable mouillé.

II-3-2-3 Les fluides Rhéofluidifiants à seuil (ou plastiques)

Les fluides Rhéofluidifiants à seuil sont des fluides pour lesquels il n'y a pas d'écoulement tant que la contrainte appliquée ne dépasse pas une valeur critique (T_c). Leur viscosité

diminue si une contrainte supérieure au seuil est appliquée. À titre d'exemple, les boues de forage pétrolier.

En outre, dans un fluide non-newtonien, la mise en rotation provoque soit l'apparition d'un creux qui se comble graduellement au fil du temps telle que les crèmes, les suspensions d'amidon et les plastisols, soit une ascension du fluide autour de l'agitateur, phénomène dit « effet Weissenberger » à cause de la thixotropie. [14]

Notons que, dans le cas des fluides newtoniens il y a creusement de la surface libre à cause des forces centrifuges.

II-4 Grandeurs étudiées en rhéologie

II-4-1 Contrainte de cisaillement

Un écoulement est dit laminaire lorsqu'il est régulier (il présente peu de variations spatiales ou temporelles), il est appelé aussi stationnaire. La viscosité stabilise et régularise les écoulements de façon générale. Un fluide présentant une viscosité importante s'écoulera de façon laminaire. [13]

Un écoulement est caractérisé par son nombre de Reynolds, qui permet de se faire une idée sur la nature de l'écoulement. Quand ce nombre est faible, l'écoulement est laminaire. Par contre s'il dépasse une certaine valeur, l'écoulement est en général instable et turbulent. [15]

On considère l'expérience suivante où il y a un mouvement de cisaillement que peut subir le fluide.

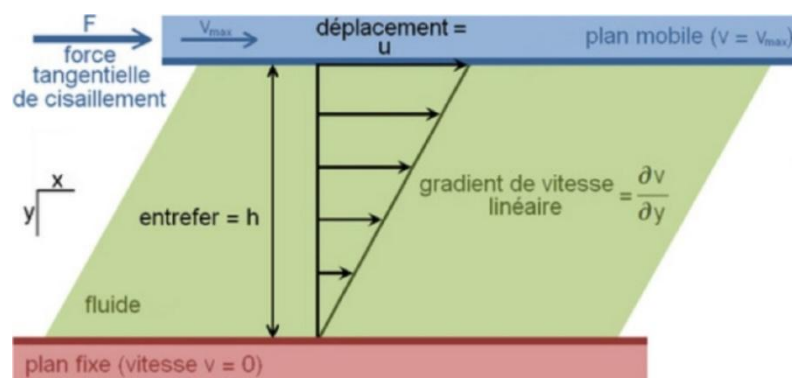


Figure II-1 : Expérience de mouvement de cisaillement sur un fluide

On tire sur une feuille d'aluminium qui se trouve au-dessus d'un fluide afin que celle-ci soit animée de la vitesse maximale V_{\max}

On montre que V_{\max} augmente avec F et h et diminue avec S .

où :

F est la force appliquée.

h est la hauteur de l'entrefer.

S est la section.

La contrainte de cisaillement est la force exercée par unité de surface du fluide elle est donnée par :

$$\tau = \frac{F}{S} : \text{L'unité est Pascals (Pa) ou } (N/m^2)$$

II-4-2 Gradient de vitesse

Dans l'expérience précédente, que se passe-t-il au sein du fluide ?

Si la vitesse initiale V_0 n'est pas trop grande, les molécules du fluide visqueux en contact avec la feuille d'aluminium sont entraînées à la vitesse V_{\max} , par tranche de couche mince.

Les forces de Van der Waals permettent de transférer une partie de l'énergie cinétique de cette couche aux molécules en dessous qui sont à leur tour entraînées mais à une vitesse moins forte. Plus ces forces d'interactions sont fortes, plus le fluide est visqueux et plus la vitesse décroît rapidement quand on s'éloigne de la couche qui est en contact avec la feuille d'aluminium. Le mouvement se propage alors en s'atténuant au sein du liquide, il est nul au contact de la plaque support qui est fixe.

Le gradient de vitesse traduit l'évolution de la vitesse au sein du fluide il est donné par :

$$\overrightarrow{grad}v = \frac{dv}{dz} \text{ (unité en } s^{-1}\text{)}$$

Cette grandeur dépend de la contrainte de cisaillement appliquée et de la nature du fluide. [16]

II-4-3 Déformation de cisaillement

Considérons un petit élément de surface d'une nappe du fluide dS situé à l'endroit z à l'instant $t = 0$. A l'instant t , elle aura parcouru une distance x qui dépend de z et de t . A l'endroit $z + dz$, elle aurait parcouru $x + dx$ comme le montre la figure II-2.

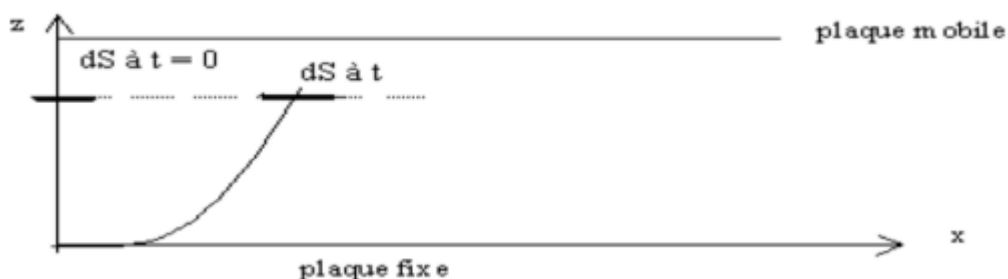


Figure II-2 : Déformation de cisaillement

La déformation de cisaillement traduit la variation de la distance parcourue par l'élément de surface dS en fonction de son éloignement par rapport à la plaque support qui est fixe. Elle est donnée par :

$$\gamma = \frac{dx}{dz} \quad (\text{II-1})$$

γ est une grandeur sans dimension.

La déformation est la variation de déplacement lorsqu'on passe d'une couche à une couche infiniment voisine, cette variation caractérise un mouvement de cisaillement pour lequel les différentes couches ont des déplacements relatifs les unes par rapport aux autres. [17]

II-4-4 Vitesse de cisaillement

La vitesse de cisaillement est définie comme étant la variation de la déformation au cours du temps. Elle est donnée par:

$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dz} \right) = \frac{d}{dz} \left(\frac{dx}{dt} \right) = \frac{dv}{dz} \quad (\text{II-2})$$

Cette grandeur est identique au gradient de vitesse, spécialement dans le cas simple d'un mouvement laminaire plan traité dans notre cas.

Il est à noter que, dans la rhéologie on cherche à établir une fonction d'état qui relie entre la contrainte τ et la déformation γ .

II-4-5 Viscosité dynamique

Dans l'expérience précédente, lorsqu'on augmente la force F , la contrainte τ augmente au sein du fluide. Lorsqu'on augmente V_0 , la déformation γ augmente. La viscosité dépend de la façon dont τ varie en fonction de γ [15]

On symbolise la viscosité dynamique par:

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} : \text{L'unité (Pa.s) ou poiseuille (PI) dans le système international.}$$

Unité usuelle : le poise (1 poise (P0)= 1/ 10 PI).

II-4-6 Viscosité cinématique

La viscosité cinématique est le quotient de la viscosité dynamique par la masse volumique du fluide. Elle représente la capacité de rétention des particules du fluide et quantifie sa capacité à se répandre.

La viscosité cinématique est donnée par :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} : \text{D'unité dans le système international Pa.s.kg}^{-1} \cdot \text{m}^3 \text{ ou encore } \text{m}^2 \text{ s}^{-1}.$$

Où :

ρ est la masse volumique du fluide,

L'unité usuelle est : 1 stokes ($St = 10^{-4} m^2 s^{-1}$) ou son sous-multiple, les centistokes.

Cette dernière unité est pratique pour des fluides de viscosités proches de celle de l'eau, qui possède une viscosité de 1 centistoke.

II-5 Viscosité : un phénomène physique

La viscosité se manifeste lorsque les couches voisines d'un même fluide sont en mouvement relatif, c'est à dire lorsqu'il s'établit un gradient de vitesse. Autrement dit, la viscosité est la mesure du frottement de fluide. La force de frottement peut être représentée par l'énergie nécessaire pour déplacer un objet qui frotte sur un autre ou bien le frottement interne qui résulte du glissement d'une couche de fluide sur une autre. Un liquide très visqueux est un liquide qui présente un frottement interne élevé.

En considérant l'expérience précédente dans laquelle le liquide adhère à la plaque supérieure et est entraîné par elle (voir Figure II-1), on constate que, dans ce cas particulier, la vitesse varie proportionnellement à la cote y . L'expérience montre aussi qu'un mouvement stationnaire s'établit où la vitesse u_0 de la plaque supérieure est constante.

-Interprétation " mécanique " :

Le rapport $\tau = \frac{F}{S}$ qui a la dimension d'une pression est appelé pression d'entraînement ou force de cisaillement. Ce terme indique la force surfacique nécessaire pour produire le cisaillement. Quant au gradient de vitesse $D = \frac{\partial v}{\partial z}$, il indique la mesure de la vitesse à laquelle les différentes couches se déplacent les unes par rapport aux autres, ce rapport représente le cisaillement auquel le liquide est soumis. On le désigne sous le nom de taux de cisaillement.

Le terme cisaillement traduit l'analogie formelle qui existe entre frottement liquide et frottement mécanique.

II-5-1 Nature de l'écoulement

La définition de la viscosité implique l'existence de ce qu'on appelle l'écoulement laminaire (ou écoulement lamellaire) dans lequel le mouvement ou le glissement d'une couche du liquide sur l'autre s'effectue sans transfert de matière. La viscosité étant définie comme le frottement entre ces couches. Il y a une certaine vitesse maximale, dite vitesse critique, dont la valeur dépend d'un certains nombres de facteurs (vitesse, viscosité, densité, forme du récipient), au-delà de laquelle le mouvement relatif d'une couche de liquide ne peut pas se faire sans qu'il y ait transfert de matière de l'une à l'autre. Au-delà de cette vitesse se trouve l'écoulement turbulent.

Les molécules ou les particules plus grandes passent alors d'une couche à l'autre et le phénomène absorbe une quantité d'énergie considérable. Il en résulte qu'une quantité d'énergie beaucoup plus grande que celle d'un écoulement laminaire est nécessaire pour maintenir cet écoulement turbulent. L'augmentation de l'énergie nécessaire se reflète par l'existence d'un effort de cisaillement apparent beaucoup plus grand. Ainsi, la valeur calculée de la viscosité η sera beaucoup plus élevée en écoulement turbulent qu'en écoulement lamellaire.

II-6 Paramètres influençant la viscosité

II-6-1 Température

La viscosité dépend fortement de la température et pour conserver un sens à la mesure, il est nécessaire de préciser la température à laquelle elle soumise.

Dans un liquide, la viscosité décroît rapidement en fonction de la température suivant la loi [18] :

$$\eta = \eta_0 \times \left(\frac{1}{1 + \alpha T + \beta T^2} \right) \quad (\text{II-3})$$

où :

η_0 est la viscosité à 0 C°.

α , β sont des constantes quelconque

II-6-2 Pression

L'action de la pression est inverse. La viscosité dynamique η croît proportionnellement avec la pression entre 2000 à 3000 atmosphères puis elle augmente rapidement. Pour les liquides, la masse volumique ρ est pratiquement indépendante de la pression. Les résultats précédents s'appliquent également à la viscosité cinématique ν . En pratique, on ne tient pas compte de ces variations qui sont petites par rapport à celles dues à la température.

La viscosité est un paramètre très important dans l'étude de l'écoulement du polymère. Cette dernière qui est d'environ 10^6 à 10^8 fois celle de l'eau, est fonction de certains paramètres qui sont:

- a- Le poids moléculaire du polymère.
- b- La température.
- c- La pression.
- d- Le taux de cisaillement.

Etudions le comportement d'un fluide newtonien dont la viscosité ne dépend pas de la vitesse de cisaillement soumis à une contrainte. Le liquide est contenu entre deux plateaux (le plateau inférieur est fixe) selon la figure II-1. Le déplacement du plateau supérieur

entraîne une partie du fluide dans son mouvement. La translation du plateau supérieur à la vitesse U_1 nécessite l'application d'une force F_1 (voir Figure II-1). Si on augmente (en multipliant par 2) la vitesse du plateau supérieur ($U = U_2$), il est nécessaire d'appliquer une force F_2 égale au double de la force F_1 .

II-7 Les rhéogrammes

Les rhéogrammes sont des courbes qui traduisent le comportement mécanique des fluides sous l'effet de cisaillements. Le comportement d'un fluide peut être différent si on change la façon de le cisailer (si la contrainte appliquée varie, il peut en son sein se déformer différemment, sa viscosité peut donc varier). Les relations reliant la contrainte de cisaillement, la vitesse de cisaillement et la viscosité sont donc des fonctions d'état du fluide. [19]

II-8 Les différents modèles de viscosité

S'il existe de nombreux modèles rhéologiques, quelques lois « classiques » reviennent principalement dans la littérature consacrée aux écoulements des polymères, et donc aux aspects plutôt pseudo-plastiques. Beaucoup de ces lois découplent les dépendances de la viscosité avec le cisaillement et la température, se focalisant sur un seul aspect. Le lien peut toutefois être rétabli par l'utilisation du principe d'équivalence temps-température.

Nous allons commencer par rappeler quelques-unes de ces lois les plus classiques.

II-8-1 Modèle Newtonien

La viscosité a été définie par Newton comme le coefficient de proportionnalité entre la contrainte de cisaillement et la vitesse de cisaillement.

Rappelons qu'un fluide est newtonien si sa viscosité est indépendante de la contrainte appliquée. On dit que le fluide est parfait ou linéaire.

Reprenons le cas d'un fluide newtonien contenu entre deux plateaux selon la figure II-1.

La force F nécessaire pour animer le plateau supérieur d'une vitesse u est proportionnelle à cette vitesse elle s'exprime par :

$$F = Ku.$$

Avec :

$$\vec{u} = \begin{cases} u = \gamma \cdot y \\ v = 0 \\ w = 0 \end{cases} \quad \text{Sont les composantes du vecteur vitesse } u$$

Cette force rapportée à la surface sur laquelle elle s'exerce est la contrainte de cisaillement qui est donnée par:

$$\tau = \frac{F}{S} = \eta \dot{\gamma} \text{ qui est proportionnelle à la vitesse de cisaillement } (\dot{\gamma} = \frac{u}{h})$$

Le coefficient de proportionnalité entre τ et $\dot{\gamma}$ s'appelle la viscosité dynamique η donné par la relation :

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \text{ (Loi de Newton)}$$

Pour une substance newtonienne quelconque, on trace le graphe représentant la contrainte de cisaillement en fonction du gradient de vitesse ou de la vitesse de cisaillement, on obtient une droite qui passe par l'origine. Ce graphe est un rhéogramme tel que le montre la figure II-3a.

La viscosité représentée en fonction du gradient de vitesse ou vitesse de cisaillement donne une droite parallèle à l'axe des abscisses comme l'indique la figure II-3b.

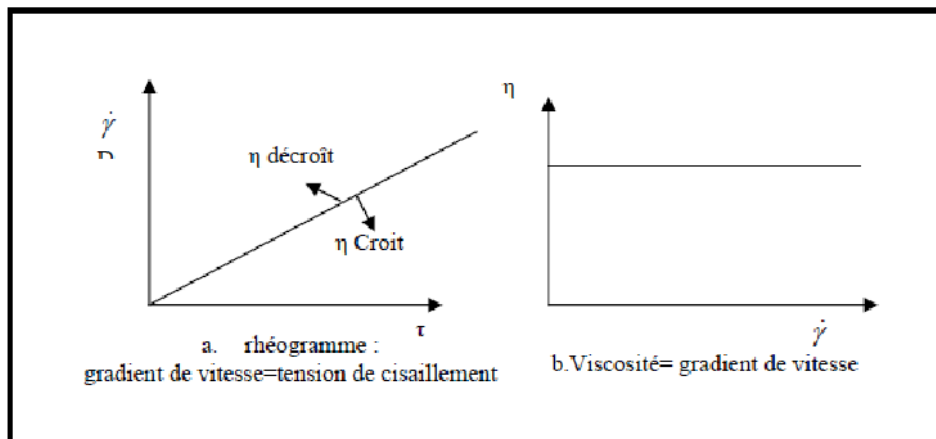


Figure II-3 : Rhéogramme d'un fluide newtonien

On constate que la force F nécessaire pour animer le plateau supérieur d'un mouvement de translation n'est pas proportionnelle au déplacement U mais à la vitesse u du plateau supérieur.

II-8-2 Modèle Pseudo-plastique

La plupart des polymères n'ont pas un comportement newtonien car leur viscosité n'est pas indépendante de la vitesse de cisaillement mais décroît en fonction de cette dernière. La pseudo-plastique est la propriété d'un matériau qui exprime le fait que la viscosité soit une fonction décroissante du taux de cisaillement [20]. Les fluides rhéofluidifiants (ou pseudo-plastiques) ont ce comportement car plus on cisaille vite, plus ces particules s'orientent dans le sens de l'écoulement et leurs interactions de frottement diminuent. C'est le cas du sang, des polymères liquides à longue chaîne, des jus de fruits.

Les fluides rhéofluidifiants peuvent être modélisés par une loi de puissance dite loi d'Ostwald-de waele. [18]

II-8-2-1 Loi Ostwald – de Waele

La loi d'Ostwald de Waele est une loi de puissance reliant les contraintes de cisaillement au taux de cisaillement, elle permet de modéliser facilement des fluides non-Newtoniens. [18] Cette loi est donnée par:

$$\eta = K \left| \dot{\gamma} \right|^{(m-1)} \quad (II - 4)$$

K est la consistance du matériau son unité est $Pa.s^m$

m est l'indice de pseudo-plasticité ($m = 0$ pour un fluide newtonien, $m = 1$ pour un corps rigide plastique).

L'inconvénient majeur de cette loi est qu'elle ne présente pas de plateau newtonien à faible taux de cisaillement. Elle est donc souvent complétée par une valeur de viscosité seuil, pour des faibles taux de cisaillement. En revanche, cette loi est bien adaptée au taux de cisaillement élevé.

II-8-2-2 Loi de Cross

La loi de Cross a l'avantage de présenter le plateau newtonien à faible taux de cisaillement. [18]: Cette loi est donnée par :

$$\eta - \eta_{\infty} = \frac{\eta_0 - \eta_{\infty}}{1 + \lambda \dot{\gamma}^m} \quad (II - 5)$$

où :

λ est le temps caractéristique de l'enchevêtrement.

η_0 est la viscosité du palier newtonien à faible taux de cisaillement.

m est l'indice de loi de puissance

η_{∞} est la viscosité d'un deuxième plateau newtonien à taux de cisaillement élevé. Ce dernier n'ayant jamais été observé pour un polymère fondu. On prendra $\eta_{\infty} = 0$. Ce qui donne

L'équation (II-5) prend la forme :

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \lambda \dot{\gamma}^m} \quad (II - 6)$$

La figure II-4 représente l'évolution de la viscosité en fonction du taux de cisaillement selon le modèle de Cross.

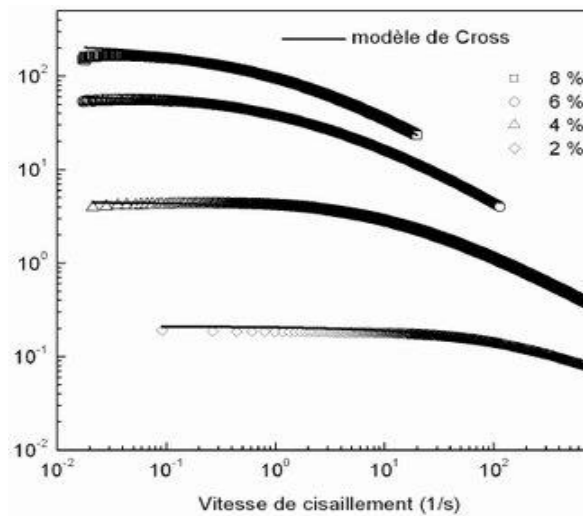


Figure II-4 : Modèle de Cross

II-8-2-3 Loi de Carreau-Yasuda

Le modèle de la loi de puissance s'applique sur une plage limitée de la courbe de viscosité. En réalité à des faibles taux de cisaillement les polymères ont un comportement newtonien, c.-à-d. que la viscosité est indépendante du taux de cisaillement. Carreau a développé un modèle qui représente complètement la courbe de viscosité et qui prend en charge ce plateau. Son modèle s'écrit comme suit:

$$\eta = \eta_0 \times \left(1 + (\lambda \dot{\gamma})^a\right)^{(m-1)/a} \quad (II - 7)$$

Où :

λ est le temps caractéristique de l'enchevêtrement défini dans la loi de Cross.

Le paramètre a sert à ajuster la transition plus ou moins rapide entre le plateau newtonien et la partie loi puissance. La loi de Carreau correspond à la valeur $a = 1$. Les modèles d'Ostwald-de Waele, Carreau-Yasuda et Cross représentent des comportements sans contrainte seuil. Dans le cas des "fluides à seuil" on ajoute la contrainte seuil (τ_0).

Notons que, si la contrainte appliquée reste inférieure à cette valeur critique (τ_0), le matériau se comporte comme un solide. Dans le cas contraire, le matériau retrouve le comportement d'un fluide. Les deux modèles les plus utilisés pour caractériser les fluides à seuils sont, respectivement, le modèle de Herschel-Bulkley et le modèle de Bingham.

II-8-2-4 Modèle de Herschel-Bulkley

Le modèle de Herschel-Bulkley est un modèle générale qui décrit le comportement rhéologique d'une large gamme de fluides viscoplastiques. Le modèle de Herschel-Bulkley est décrit par la loi suivante:

$$\tau = \tau_0 + k \times (\dot{\gamma})^n \quad (II - 8)$$

Où :

k est la consistance du fluide.

n L'indice d'écoulement, si $n < 1$ le fluide est rhéofluidifiant, si $n > 1$ le fluide est rhéoépaississant.

II-8-2-5 Modèle de Bingham

Le modèle de Bingham a été introduit en 1922, il permet de caractériser des fluides à seuils, comme les gels par exemple. L'équation qui régit le comportement d'un fluide de Bingham est :

$$\tau = \tau_0 + \eta_{pl} \times \dot{\gamma} \quad (II - 9)$$

Où η_{pl} est la viscosité plastique, k est la consistance du fluide et n l'indice d'écoulement.

Ces deux modèles permettent de représenter le comportement rhéologique de beaucoup de fluides au-delà de la contrainte seuil.

La figure II-5, représente les rhéogrammes $\tau = f(\dot{\gamma})$ pour les différents fluides cités précédemment.

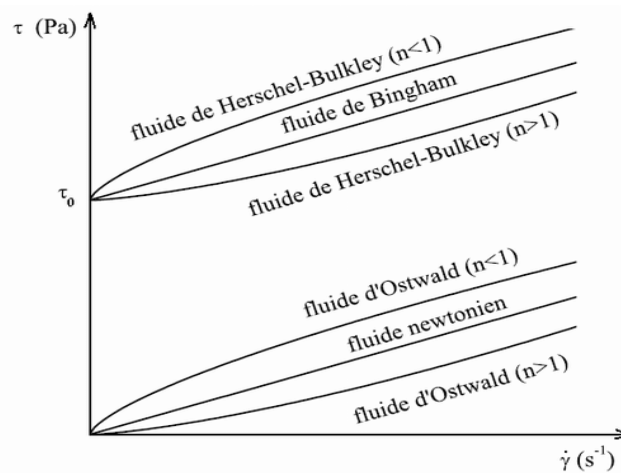


Figure II-5 : Lois de comportements usuels

II-8-2-6 Modèle d'Ellis

Le modèle d'Ellis exprime la viscosité en fonction du taux de cisaillement. Ce modèle est plus difficile à utiliser que la loi de puissance. Cependant, elle prédit un plateau Newtonien à faible cisaillement. L'équation régissant le modèle d'Ellis est la suivante:

$$\frac{\eta_0}{\eta(\tau)} = 1 + \left(1 + \frac{\tau}{\tau_{1/2}}\right)^{\alpha-1} \tag{II - 10}$$

η_0 est la viscosité à cisaillement nul.

$\tau_{1/2}$ est le taux de cisaillement à $\eta_0/2$.

$\alpha - 1$ est la pente de $\log [(\eta_0 / 2) - 1]$ en fonction de $\log (\tau / \tau_{1/2})$.

Avec :

$$\tau = \eta(\tau) \times \dot{\gamma} \tag{II - 11}$$

Sur la figure II-6 est représentée l'évolution de la viscosité logarithmique en fonction du taux de cisaillement logarithmique selon le modèle d'Ellis.

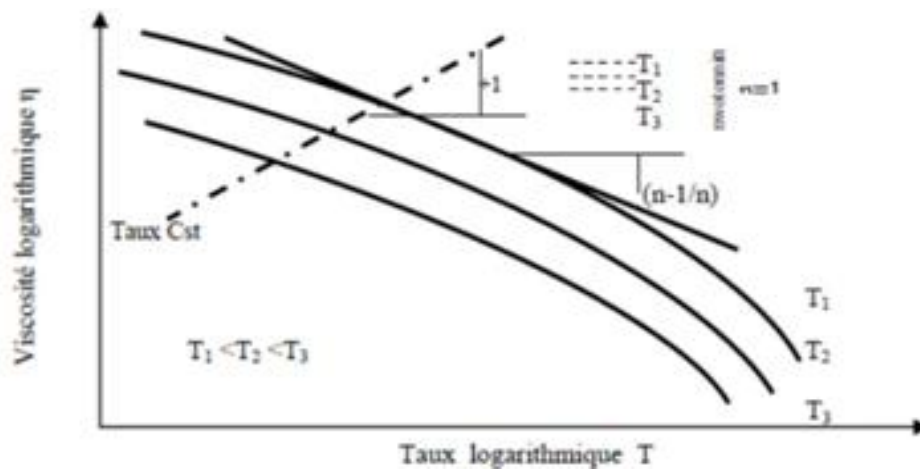


Figure II-6 : Modèle d'Ellis

II-8-3 Modèle Pseudo-plastique thermo-dépendant

Le modèle pseudo-plastique thermo-dépendant tient compte de la variation de la viscosité en fonction du taux de cisaillement et de la température. Une augmentation de température résulte en une diminution de la viscosité due à l'augmentation de mobilité des chaînes de polymères. En règle générale, la viscosité des polymères amorphes est plus sensible aux variations de la température que la viscosité des polymères semi-cristallins.

II-8-3-1 Loi de Williams, Landel et Ferry (WLF) [WLF, 1955]

La loi de Williams, Lande et Ferry a été introduite en 1955, elle est décrite comme suit :

$$\eta = \eta_0 \times T_{ref} \times \left[\exp\left(\frac{-C(T - T_{ref})}{D + T + T_{ref}}\right) \right] \times (\dot{\gamma})^{m-1} \quad (II - 12)$$

C et D sont deux paramètres caractéristiques du matériau étudié. En pratique, cette loi est applicable entre la température de transition vitreuse T_g et $T_g + 100$. C'est pourquoi la loi d'Arrhenius est préférable. Dans la mise en forme des matières plastiques, d'Agassant et al, il est précisé quelques valeurs de C et D pour certains polymères à une température définie dans le tableau II.1 :

Polymères	Tg (K)	C	D(K)
Polystyrène	373.15	14	50
Polyacétate de vinyle	405.15	16	47
Polyméthacrylate de méthyle	388.15	32	80
Caoutchouc naturel	200.15	17	54
SBR	213.15	20	26

Tableau II-1 : Exemple de paramètres pour la loi WLF [18]

Dans le cas où les paramètres C et D sont inconnus, [Bird et al. 1977] suggèrent l'utilisation des valeurs suivantes : $C = 17.44$ et $D = 51.6$ K (si la température de référence est prise à T_g)

II-8-3-2 Loi d'Arrhenius

La loi d'Arrhenius est donnée comme suit :

$$\eta = \eta_0 e^{\frac{A}{T}} \quad (II - 13)$$

On trouve aussi la formule équivalente suivante :

$$\eta = \eta_0 \times T_{ref} \times e^{A_{ref} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right)} \quad (II - 14)$$

A est le rapport de l'énergie d'activation et R la constante des gaz parfaits. Les températures sont exprimées en *Kelvin* [Agassant et al, 1996]

A_{ref} Correspond à la valeur de A pour une température T_{ref} de référence.

Nous reprenons quelques lignes du tableau récapitulatif d'Agassant, qui donne les ordres de grandeurs des énergies d'activation pour des polymères fondus :

Polymère	Energie d'activation en kJ/mol à 100 K au dessus de la température de transition vitreuse.
PEHD	24-28
PEBD	61-67
PEBD linéaire	29-32
Polypropylène	36-50
Polystyrène	96

Tableau II-2 : Quelques énergies d'activation pour la loi d'Arrhenius [18]

II-8-3-3 Relation entre le poids moléculaire et la viscosité

Le poids moléculaire, la polymolécularité, le taux de ramifications et la nature chimique des polymères affectent directement le comportement rhéologique. La variation de la viscosité newtonienne avec la masse molaire d'un polymère suit une loi de puissance de Fox et Flory, dont l'exposant change de façon assez brutale au passage de la masse critique (à l'apparition des enchevêtrements).

Cette loi est décrite comme suit :

$$\eta_0 = A(T)M_w \quad \text{Pour } M_w < M_c \quad (II - 15)$$

$$\eta_0 = A(T)M_w^a \quad \text{Pour } M_w > M_c \quad (II - 16)$$

η_0 est la viscosité Newtonienne (viscosité constante aux faibles fréquences ou à cisaillement nul)

$A(T)$ est une constante dépendant de la température

M_w est la masse moléculaire

M_c est la masse critique

Pour les polymères de haute masse moléculaire on prend $a = 3,4$.

L'influence des modifications de la structure moléculaire qui peuvent se manifester par de faibles différences de masses moléculaires, peuvent entraîner d'importants changements de viscosité, étant donné la puissance affectée à la masse.

Ainsi, les variations de viscosité permettent de mettre en évidence les variations de longueur des chaînes macromoléculaires, sachant qu'une petite variation de masse moléculaire moyenne engendrera une variation de viscosité de grande amplitude.

La viscosité est plus élevée dans les substances dont les forces intermoléculaires sont plus grandes parce que si les molécules sont plus fortement attirées les unes aux autres, elles ne s'écoulent pas entre elles aussi librement.

II-8-3-4 Variation de la viscosité en fonction du cisaillement et de la température couplés

[Bowers, 1986] propose un développement en série tel que [18] :

$$\ln(\eta(\dot{\gamma}, T)) = \sum_{i,j} a_{i,j} T^i (\ln \dot{\gamma})^j \quad (II - 17)$$

II-8-3-4-a Principe d'équivalence temps-température

L'observation physique montre que les comportements en fonction de la température et de la fréquence de sollicitation sont liés. On observe ainsi que de hautes fréquences de sollicitation amènent à un comportement équivalent à celui observé à basses températures. De même, les basses fréquences sont équivalentes à des températures élevées. On résume cette observation par le principe d'équivalence temps-température.

Ce principe peut être utilisé pour la construction d'une courbe « maîtresse » à partir des translations de courbes expérimentales obtenues à différentes températures. Cette courbe maîtresse permet par la suite de déduire la propriété étudiée du polymère pour toute température et toute fréquence de sollicitation, dans les limites de validité du modèle.

[Blair et al. 2002] s'appuyant sur les ouvrages de [Bird et al. 1987] traduit ce principe d'équivalence temps-température par le tracé des courbes d'écoulement (viscosité μ en fonction du taux de cisaillement $\dot{\gamma}$) sous la forme réduite $\frac{\eta}{A\eta}$ en fonction de $A_T \cdot \dot{\gamma}$ en définissant

A_η et A_T comme suit :

$$A_\eta = \frac{\eta_0(T, \rho)}{\eta_0(T_{ref}, \rho_{ref})} \quad (II - 18)$$

$$A(T) = \frac{A\eta(T_{ref}, \rho_{ref})}{T\rho} \quad (II - 19)$$

L'indice 0 se rapporte à un régime newtonien et l'indice *ref* correspond à une valeur de référence, choisie dans le but de réduire les données.

II-8-3-5 Variation de la viscosité en fonction de la pression

Le raisonnement présenté par [Agassant et *al.*] peut se résumer par une loi de piézodépendance décrite comme suit :

$$\eta = \eta_0 e^{\chi} \quad (II - 20)$$

Où :

χ est le coefficient de piézodépendance.

Le Tableau II-3 représente quelques exemples de coefficient de piézodépendance.[18]

Polymère	T (K)	χ en 10^{-8} Pa^{-1}
PVC	453.15	6
	463.15	4
	473.15	3
PEHD	463.15	2.31

Tableau II-3 : Quelques exemples de coefficient de piézodépendance

II-9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons rappelé les notions fondamentales de la rhéologie pour comprendre le comportement des polymères et des fluides visqueux en général. Nous avons défini dans un premier temps les grandeurs étudiées en rhéologie telles que : les contraintes de cisaillement, vitesse de cisaillement et la viscosité. Ensuite, nous avons exposé les différents modèles de viscosité à savoir le modèle newtonien et pseudo-plastique tout en citant les lois décrivant chaque modèle.

Chapitre III

Etude du processus d'injection plastique

III-1 Introduction

L'injection moulage 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. [21]

De ce fait, le principe du procédé de moulage par injection consiste à injecter et transformer 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 de présenter le procédé d'injection moulage, son principe de fonctionnement et son cycle de déroulement après avoir préalablement décrit les différentes unités de la presse à injection. Ensuite nous allons présenter le fonctionnement électrique et hydraulique de la presse à injection de marque TRIULZI. Nous concluons ce chapitre avec un grafcet de fonctionnement automatique de niveau 1 de la presse à injection.

III-2 Développement historique de la presse d'injection

Le premier plastique synthétique a été inventé en Grande-Bretagne en 1851 par Alexander Parkes [22]. Il l'a démontré publiquement à l'exposition internationale de 1862 à Londres, appelant le matériel qu'il a produit « Parkesine ». Dérivée de la cellulose, la parkesine peut être chauffée, moulée et conserver sa forme lorsqu'elle est refroidie. Il était cependant coûteux à produire, sujet à la fissuration et hautement inflammable

L'inventeur américain John Wesley Hyatt a breveté la première machine de moulage par injection en 1872. Cette machine était relativement simple par rapport aux machines en usage aujourd'hui: elle fonctionnait comme une grande aiguille hypodermique, en utilisant un plongeur pour injecter du plastique à travers un cylindre chauffé dans un moule. A l'époque on produisait surtout des colliers, boutons et peignes.

En 1919, Arthur Einchengrün a développé la première presse de moulage par injection qu'on peut considérer comme la première machine à injection moderne. Quelques années après, en 1926 Eckert et Ziegler font breveter la première presse à injecter ayant des caractéristiques commerciales. Dans les années 1930 voit l'apparition des premières presses à injecter en France. C'est le début des articles ménagers et jouets en plastiques sur le marché de consommation.

L'industrie s'est développée rapidement dans les années 1940, suite à une demande énorme pour des produits peu coûteux, produits en série. En 1946, l'inventeur américain James

Watson Hendry construit la première machine avec vis à injection, permettant un contrôle beaucoup plus précis sur la vitesse d'injection et la qualité des articles produits. Cette machine permettait d'ajouter du plastique coloré ou recyclé à la matière vierge avant d'être injecté. Aujourd'hui les machines avec vis d'injection représentent la grande majorité de toutes les machines d'injection.

De nos jours, de nombreux développements dans cette technologie se concentrent sur l'automatisation des systèmes de contrôle (Gerd et Walter, 1995). L'automatisation d'un système de contrôle a rendu la technologie d'injection hautement sophistiquée et autocontrôlée. En outre, la précision de la production de pièces, la possibilité de fabriquer des profilés complexes, des cadences de production élevées et la facilité d'ajustement de différents 16 paramètres pour différents types de polymères thermoplastiques sont les caractéristiques de ces machines de moulage par injection nouvellement mécanisées. [22]

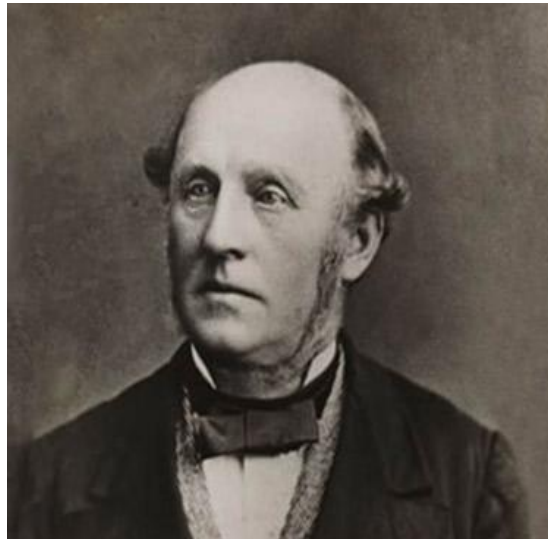


Figure III-1: Alexander Parkes

III-3 Le procédé d'injection-moulage

Le moulage par injection est une technique de fabrication de pièces en grande ou très grande série. Il concerne avant tout les matières plastiques et les élastomères (caoutchoucs) mais aussi divers métaux et alliages à point de fusion relativement bas à savoir les alliages d'aluminium, de zinc ou encore de laiton. L'avantage principal de ce procédé réside dans la possibilité d'obtenir des géométries de pièces très complexes tout en ayant des temps de cycles très rapides permettant une production à très haute cadence.

Une machine d'injection-moulage comprend une unité de plastification, une unité de fermeture (dans laquelle est fixé le moule) et une unité de commande. Son principe de fonctionnement est le suivant : Dans l'unité de plastification, la vis est placée dans un fourreau cylindrique, chauffé par conduction. Elle peut être entraînée soit en rotation, soit en

translation. Lorsqu'elle tourne, sa fonction est tout d'abord de faire fondre des granulés de polymère, de les mélanger et de convoier la matière à l'entrée de l'unité de fermeture.

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

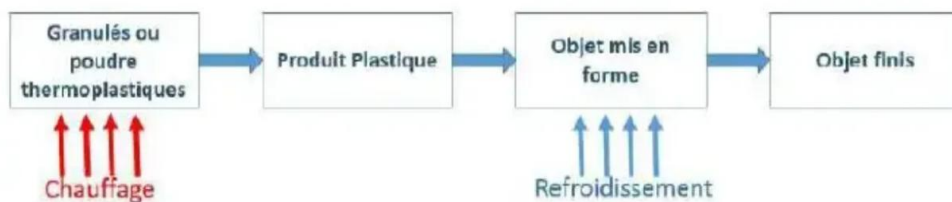


Figure III-2 : processus d'injection plastique

III-3-1 Description d'une presse à injection hydraulique

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) (voir figure III-3). 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.

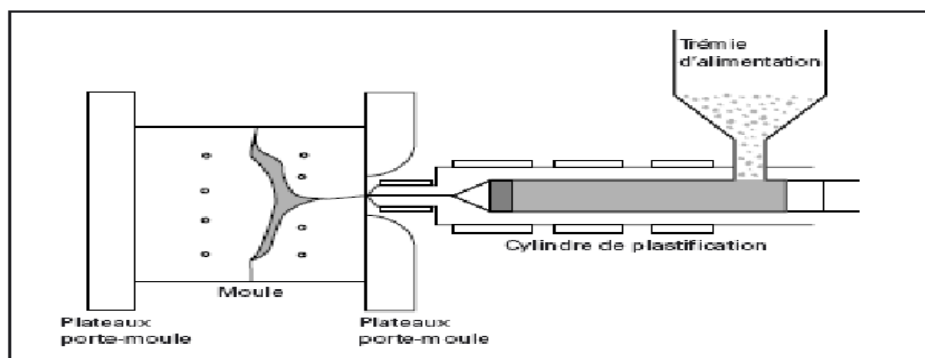


Figure III-3 : Cylindre de plastification et moule

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 polystyrène standard 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 et des limites de sécurité machine (étape de compactage). La force de fermeture est généralement exprimée en tonne, et correspond à la force de fermeture maximum 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, le rapport longueur / diamètre de la vis de plastification, la régulation thermique du fourreau et de la base de la trémie, la longueur et la géométrie de la buse d'injection sont autant de caractéristiques à prendre en compte pour la fusion de la matière sans dégradation de celle-ci.

La figure III-4 montre les éléments essentiels d'une machine d'injection moulage.

Les considérations essentielles à retenir dans le cas des thermoplastiques techniques sont les suivantes:

- a- Disposition suffisante d'évents, pour permettre l'évacuation de l'air en avant du front de matière pénétrant dans le moule.
- b- Transfert thermique soigneusement calculé pour contrôler le refroidissement et la solidification des pièces moulées.
- c- Ejection facile et uniforme des pièces moulées.

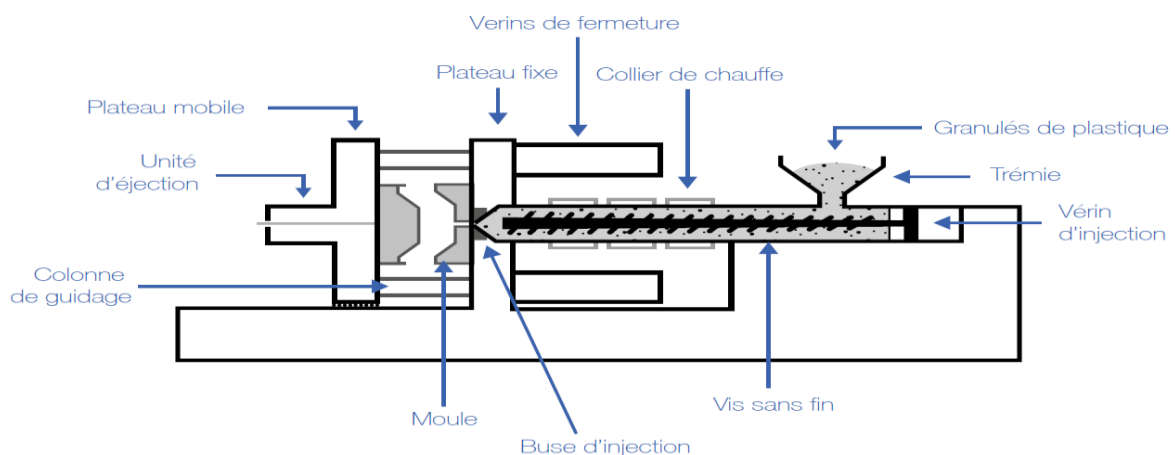


Figure III-4 : presse d'injection moulage

III-3-2 Architecture des presses à injecter hydraulique

La figure III-5 montre une presse horizontale à fermeture à genouillères avec blocage hydraulique du moule. Les genouillères sont actionnées par un vérin VA et l'éjection est également assurée hydrauliquement.

Le bloc de plastification est équipé d'une buse ouverte ; la rotation de la vis est obtenue grâce à un moteur hydraulique MH transmettant son mouvement de rotation à la vis par l'intermédiaire d'un couple roue et vis sans fin (RV et VS). Un vérin VI commande l'avance de la vis lors de l'injection et le vérin VV déplace l'ensemble du bloc d'injection. Le circuit hydraulique est équipé avec un accumulateur Ac, et les pompes basse PB et haute pression PH, entraînées par le moteur électrique ME, fournissent huile sous pression. Le volume huile nécessaire au bon fonctionnement du circuit est stocké dans le réservoir RH et le refroidissement à circulation d'eau Re maintient la température du fluide à une valeur acceptable.

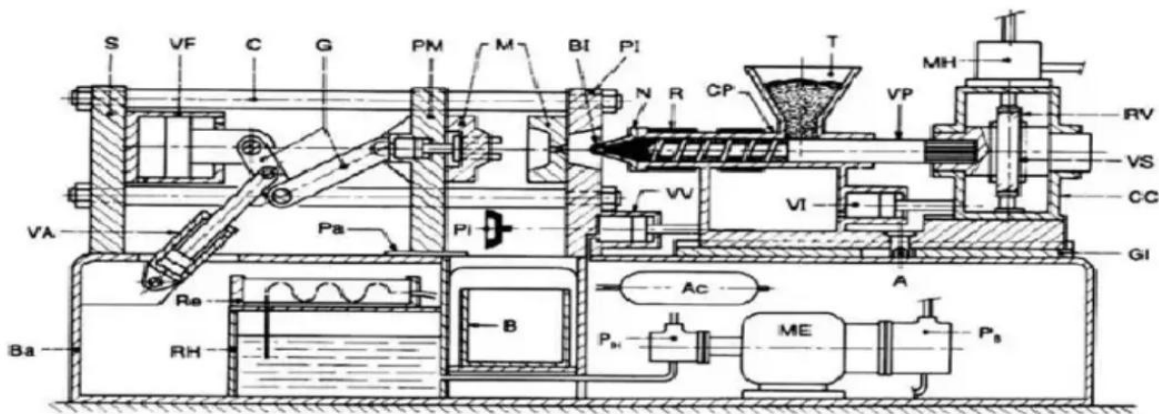


Figure III-5 : Architecture des presses à injecter hydraulique

A : axe de pivotement du bloc d'injection	C : colonne
G : genouillères	ME : moteur électrique
PH : pompe haute pression	B : bac de stockages des pièces moulées
VI : vérin d'injection	M : moule
S : sommier	PI : pièce moulée
R : résistances chauffantes	PM : plateau mobile
AC : accumulateur	CP : cylindre de plastification
Ba : bâti ou châssis	PB : pompe basse pression
VS : vis sans fin	RV : roue à vis sans fin
N : nez de cylindré	VV : vérin d'avance et de recul du bloc d'injection
Re : refroidisseur	VA : vérin d'approche
VP : vis de plastification	BI : buse d'injection
CC : carter coulissant	MH : moteur hydraulique
Pa : patin de frottement	T : trémie
RH : réservoir d'huile	
VF : Vérin de fermeture	
GI : glissière	
PI : plateau d'injection	

III-3-3 Circuit de refroidissement

Une source de refroidissement est indispensable au fonctionnement d'un atelier de production. Les presses utilisent de l'eau réfrigérée pour éviter un réchauffement progressif de la goulotte et pour refroidir l'huile hydraulique. Les outillages sont aussi régulés grâce à ce circuit, soit en raccordant directement à la boîte à eau, soit par l'intermédiaire d'un thermorégulateur. La figure III-6 illustre le schéma du principe de circulation de l'eau réfrigérée.

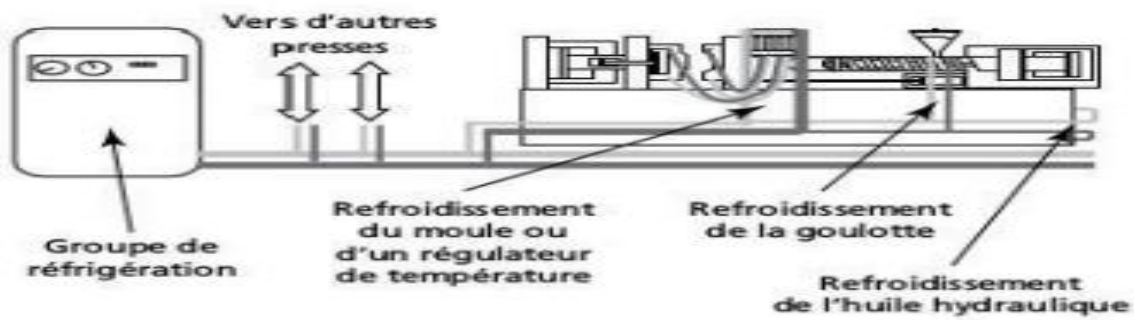


Figure III-6 : Schéma du principe de circulation de l'eau réfrigérée

III-3-4 Différentes presses d'injection

Il existe plusieurs presses d'injection plastique, mais on distingue deux configurations.

III-3-4-1 Presse horizontale

La machine de moulage par injection horizontale est le type le plus courant. Sa partie de serrage de moule d'injection se trouve à la même position horizontale au centre de la ligne et son moule s'ouvre horizontalement. Ses caractéristiques sont :

Facilité d'utilisation et de réparation. Son barycentre est bas et son installation est stable. Suite à la confection du produit, on peut utiliser la force gravitationnelle pour le faire descendre automatiquement, ainsi l'éjection immédiate de la pièce. Opération entièrement automatisée facilement réalisable. Les inconvénients de la machine de moulage par injection horizontale sont :

L'installation de moule est plutôt difficile, la surface d'occupation de sol est plutôt grande. A présent, de nombreuses machines de moulage par injection sur le marché utilisent cette forme. La Figure III-7 présente la presse horizontale.



Figure III-7: Presse horizontale

III-3-4-2 Presse verticale

Elle a un encombrement au sol limité mais la hauteur peut devenir gênante et la stabilité laisse à désirer. La mise en place du moule est difficile, le chargement de la trémie peu commode et les organes supérieurs sont peu accessibles. Les cadences élevées de production ne sont guère possibles, l'automatisation est plus difficile car les pièces ne tombent plus d'elles mêmes. Pratiquement ce type de machine garde son intérêt dans les fabrications de pièces avec insertions, car le moule est très accessible et les prisonniers métalliques tiennent souvent en place par gravité. Les surmoulages sont également faciles ainsi que la fabrication de certaines pièces de précision [24]. La figure III-8 présente la presse verticale.



Figure III-8 : Presse verticale

III-3-5 Différentes parties de la presse à injection

Les presses à injection comportent un groupe d'injection et un groupe de fermeture positionnés sur le bâti comme l'illustre la figure III-9.

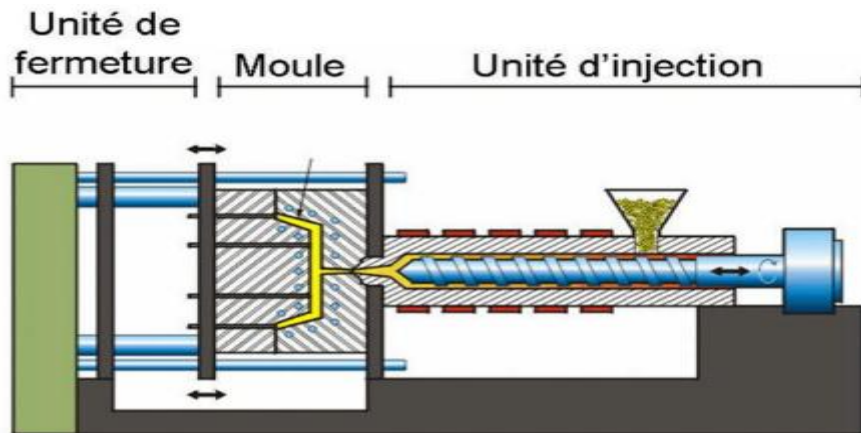


Figure III-9 : Dispositif d'une presse d'injection

III-3-5-1 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. (Voir figure III-10)

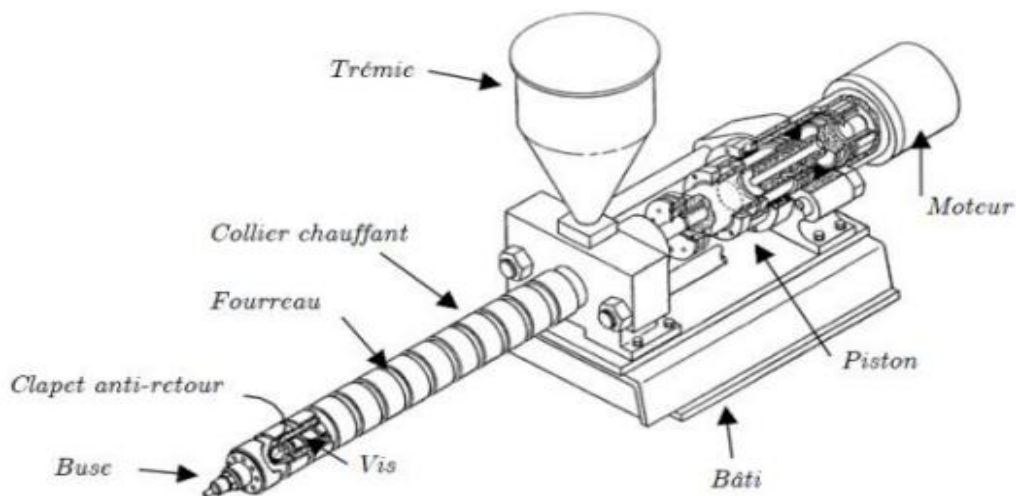


Figure III-10 : Schéma d'un groupe de plastification

III-3-5-1-1 La trémie d'alimentation

La trémie d'alimentation est située à l'arrière du groupe, elle approvisionne l'unité de plastification en matière première (sous forme de poudre ou de granulés), en général par simple effet de gravité.

III-3-5-1-2 Le moteur hydraulique

Le moteur hydraulique assure la mise en rotation de la vis. (Voir figure III-11)

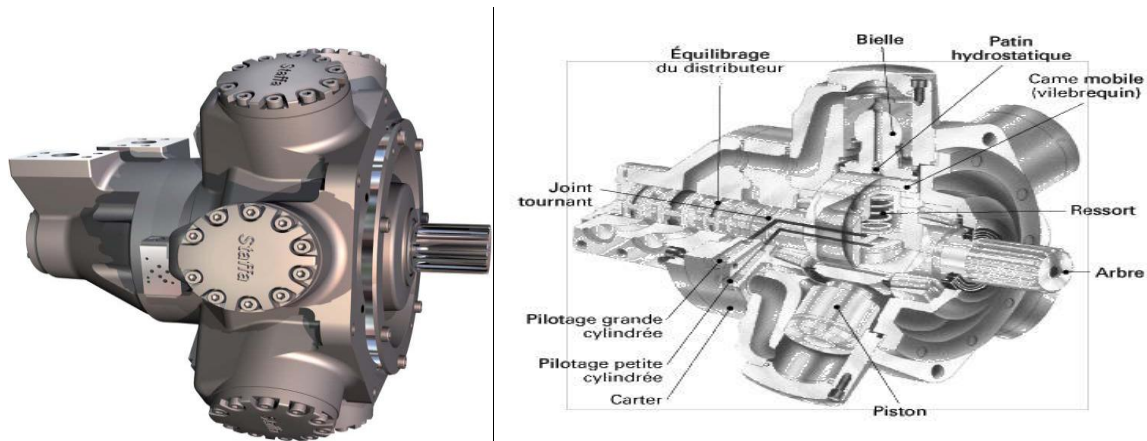


Figure III-11 : moteur hydraulique à pistons radiaux

III-3-5-1-3 Le fourreau

Les thermoplastiques peuvent être moulés parce qu'ils fondent lorsqu'ils sont chauffés. La première condition requise pour permettre le processus d'injection est d'avoir une source de chaleur. Ceci est réalisé à travers un long cylindre d'acier appelé le fourreau. La trémie est au dessus du fourreau et alimente la matière première nécessaire au processus.

III-3-5-1-4 Les colliers chauffants

Un certain nombre de colliers chauffants sont disposés le long du fourreau. Ceux-ci sont connectés à des instruments de contrôle, sur lesquels s'effectue le réglage des températures imposées. Une chauffe suffisante est appliquée pour atteindre et maintenir la température réglée. La température du fourreau est mesurée par des thermocouples. Ceux-ci sont situés dans des trous, percés dans le fourreau. La régulation de la chauffe tient compte des températures mesurées par les thermocouples au sein de chaque zone. 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.



Figure III-12 : collier chauffant

III-3-5-1-5 La buse

Un élément appelé buse est vissé en bout de fourreau et permet de faire le lien entre le fourreau et le moule. La buse sera équipée de ses propres colliers chauffants et instruments de régulation. Elle doit assurer un contact étanche avec le moule durant l'injection, elle est généralement sphérique, tronconique ou planes. Elle doit également présenter une surface de contact réduite avec le moule afin de limiter le refroidissement.

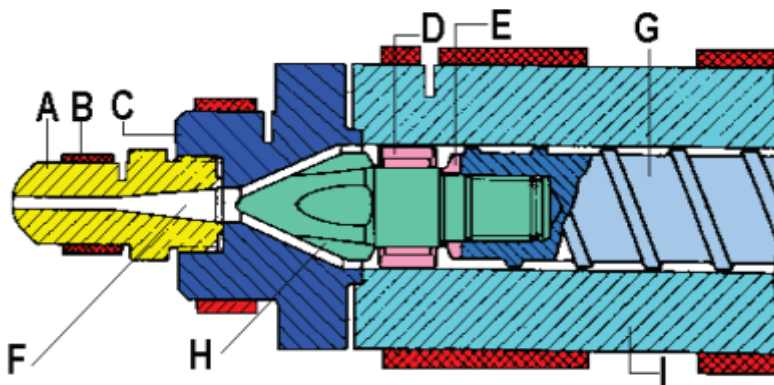


Figure III-13 : La buse [26]

A – Buse d'injection

G- Vis

E – Siège de clapet

D- clapet anti-retour

B – Collier chauffant

H- pointe du clapet

F – Passage matière

I-fourreau

C – Nez de presse

Remarque :

-Le contact buse moule doit être en 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 la buse.

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

$$P = SVT = \frac{\pi d^2 V t}{4} \quad (\text{III.1})$$

S est la section de l'orifice de la buse, elle est donnée par :

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad d: \text{ est le diamètre de l'orifice}$$

III-3-5-1-6 La vis de plastification

La vis située dans le fourreau, elle permet de transporter la matière à travers les zones chauffées. Elle doit être capable d'effectuer deux types de mouvements, la rotation pour malaxer, compresser et homogénéiser la matière en fusion, la translation dans les deux sens pour l'injection et le rechargement de la matière. Elle est réalisée en acier et sa surface subit différents traitements qui augmentent sa dureté, diminuent son coefficient de frottement et améliorent sa résistance chimique. Pour obtenir une plastification parfaite, la vis doit être conçue en fonction de la matière à transformer. En injection, les changements de matière est très fréquent, on utilise des vis universelles dites standard aux performances moindres mais adaptés à la majorité des matières plastiques. [25]

III-3-5-1-6-a Caractéristiques de la vis standard

a1-Diamètre nominal : c'est le diamètre de la vis au sommet des filets.

a2-longueur : elle s'exprime en nombre de diamètre, c'est le rapport de la longueur de la zone filetée et du diamètre nominal. Ainsi, une vis de diamètre 30mm et de longueur filetée 600mm s'appelle vis de diamètre 30 de longueur 20D (20 fois le diamètre). Les vis d'injection mesurent de 18 à 28 D. On note que le pas d'une vis de plastification est sensiblement égal à son diamètre nominal.

a3-Le taux de compression : il caractérise la capacité de la vis à malaxer la matière. Il est compris entre 1,6 et 2,2 pour les vis standard, plus le taux de compression est élevé plus la matière subira un travail important. On le calcul à partir de la formule suivante :

$$TC = \frac{D^2 - De^2}{D^2 - Ds^2} \quad (\text{III.2})$$

Avec D le diamètre nominal, De le diamètre du noyau de la vis à la goulotte et Ds le diamètre du noyau à l'avant de la vis.

a4-Le profil : c'est la dimension relative des zones de la vis ; sur une vis standard le profil est : un tiers de zone d'alimentation, un tiers de zone de compression et un tiers de zone d'homogénéisation (Voir figure III-14)



Figure III-14 : Profil d'une vis de plastification [25]

III-3-5-1-7 Vérin d'injection

L'entraînement à vis est généralement un entraînement par moteur hydraulique, bien que les unités d'entraînement électriques soient de plus en plus courantes. Cependant, il s'agit simplement de convertir l'énergie hydraulique (ou électrique) en énergie mécanique pour faire tourner la vis.

L'entraînement à vis effectue certaines fonctions supplémentaires qui ont une incidence sur l'efficacité du processus et la qualité de la fonte. L'entraînement par vis peut exercer une pression vers l'avant (ou une résistance à son mouvement vers l'arrière) pendant que la vis tourne, provoquant un mouvement de mélange et de cisaillement plus important à l'intérieur du canon. Cette pression vers l'avant appelée contre-pression est fréquemment utilisée pour aider à fondre le plastique.[23]

III-3-5-1-8 Clapet anti-retour

Pendant la rotation, la matière plastique accumulée à l'avant de la vis va ouvrir le clapet anti-retour, autorisant le passage de la matière. La matière peut alors s'écouler devant la vis et forcer celle-ci à reculer sous la pression. Quand une quantité de matière suffisante pour remplir le moule est accumulée en bout de vis, la position de la vis active un capteur de fin de course. La vis s'arrête alors de tourner et de reculer. La machine d'injection est alors prête à injecter la matière plastique fondue dans le moule. [25]

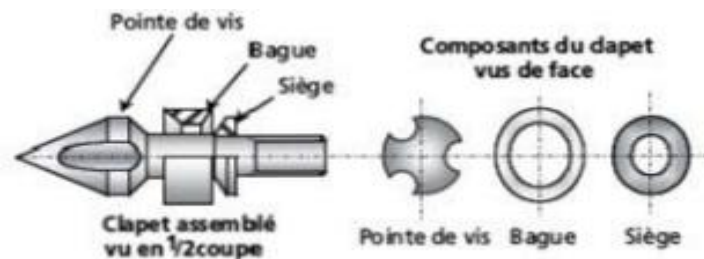


Figure III-15 : Clapet anti-retour [25]

III-3-5-2 Unité de fermeture

Les forces de fermeture des presses à injection industrielles s'échelonnent de quelques tonnes à plusieurs milliers de tonnes. Le choix d'une presse impose le contrôle de la conformité des caractéristiques de la fermeture avec le type de production envisagé. Il faut vérifier les points suivants :

- a- Dimensions maximales et minimales des moules acceptés par le système de fermeture.
- b- Course maximale d'ouverture qui est généralement comprise entre 1,5 et 2,5 fois l'épaisseur maximale du moule.
- c- Force maximale de fermeture et d'ouverture.
- d- Vitesse des mouvements qui se définit par la mesure de la durée d'un cycle réalisé sans injection (temps de cycle à vide).
- e- Caractéristiques de l'éjection.

Ce système assure les fonctions, fermeture, verrouillage, ouverture et démoulage. Le dispositif de manœuvre des plateaux porte-moule doit assurer l'ouverture, la fermeture et le verrouillage du moule avec une force suffisante pour s'opposer à l'ouverture du moule pendant l'injection. Ce groupe comprend deux plateaux : l'un est mobile, l'autre est fixe. La force de fermeture est la force nécessaire pour maintenir les deux parties du moule fermées pendant son remplissage sous haute pression. Ces fonctions importantes peuvent être assurées de différentes manières soit mécanique, hydraulique ou mixte. [25]

III-3-5-2-1 Fermeture hydraulique

La partie mobile du moule est montée sur le plateau de presse se déplaçant sur les colonnes de guidage. Ce plateau est solidaire d'un vérin hydraulique. La pression exercée sur le piston du vérin va entraîner l'ouverture et la fermeture du moule. Si A est l'orifice d'admission et B l'orifice d'échappement de l'huile, le piston se déplace vers la droite fermant le moule. (Voir figure III-16)

A l'ouverture du moule, l'opération est inversée. L'admission d'huile s'effectue par l'orifice B et l'échappement en A. La différence de pression entre les deux chambres du vérin force le déplacement du piston vers la gauche et entraîne donc l'ouverture du moule. Le système de fermeture hydraulique (verrouillage direct) s'adapte automatiquement à l'épaisseur du moule. Les presses avec une fermeture hydraulique ont une épaisseur de moule minimale à respecter. Si l'épaisseur de moule est trop faible, le piston viendra en butée contre le joint d'étanchéité du vérin, causant l'endommagement du système.

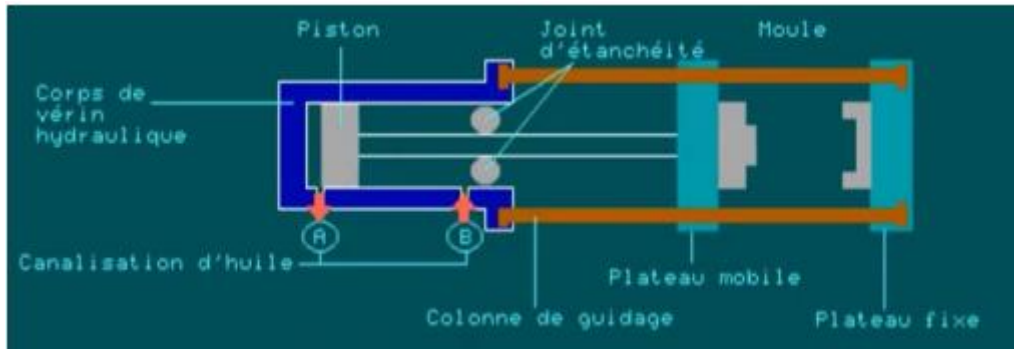


Figure III-16: Mécanismes de fermeture hydraulique.

Ci-dessous les avantages et les inconvénients d'une presse avec fermeture hydraulique.

Les avantages	Les inconvénients
-Contrôle direct de la force de verrouillage. -Effort de verrouillage central qui entraîne une bonne répartition des pressions.	-Taille importante des pièces en mouvement. -Volumes d'huile déplacés importants. -Mouvements de fermeture/ouverture lents.

III-3-5-2-2 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.

La fermeture double genouillère utilise deux bielles reliées au piston d'un vérin hydraulique. Lorsque le piston rentre, les bielles se redressent et le moule se ferme. A cause de la géométrie du mécanisme, la vitesse initiale de fermeture du moule est élevée. Elle diminue à mesure que les bielles se redressent. Lorsque les deux moitiés du moule se rencontrent, une force de verrouillage intense se développe allongeant les colonnes de guidage de la presse par les genouillères (arc-boutement).

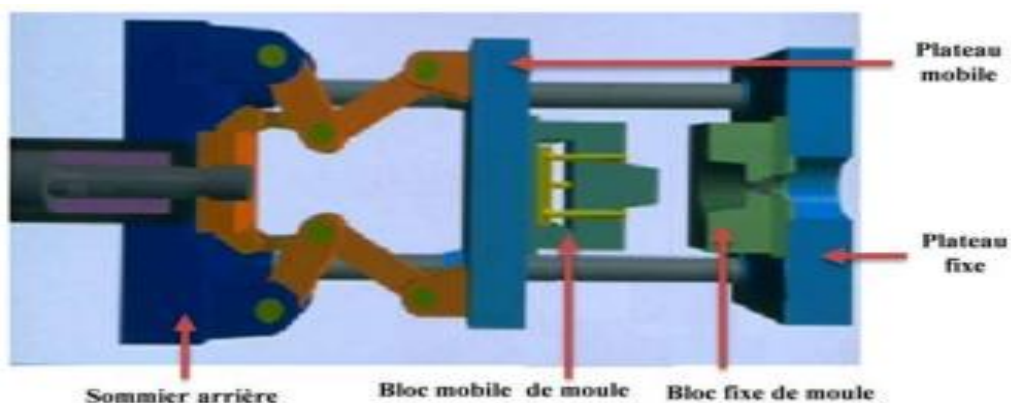


Figure III-17 : Fermeture à genouillères double.

Les avantages	Les inconvénients
-Vitesse de Fermeture /ouverture élevée. - Déformations axiales faibles.	-Contrôle difficile de la force de verrouillage. -Chocs sur le plan de joint. -Fatigue mécanique des articulations. -Flexion du plateau mobile.

III-3-5-2-3 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. Ce type de fermeture dite mixte, présente d'excellentes performances malgré sa complexité.

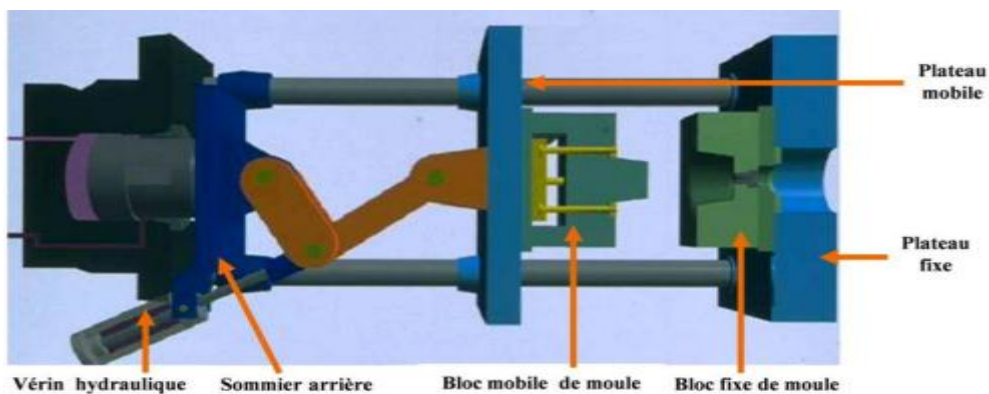


Figure III-18 : Fermeture Mixte

Les avantages	Les inconvénients
-La vitesse de fermeture/ouverture élevée. -Faible consommation d'huile. -Contrôle direct de la force de fermeture.	-force de verrouillage limité -encombrement élevé.

III-3-5-3 Le Moule d'injection

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 la figure III-19.

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

Les matériaux utilisés pour la fabrication des moules d'injection de thermoplastiques sont principalement des aciers choisis selon le procédé de fabrication retenu pour le moule et les conditions d'utilisation (solllicitations, interactions avec les polymères...). [28]

La conductivité thermique des aciers dépend de la composition et de la charge en éléments d'alliages et varie environ entre 15 et $40 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. 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 qui porte le plateau, cette dernière porte la pièce vers l'arrière en retrouvant sa position initiale.

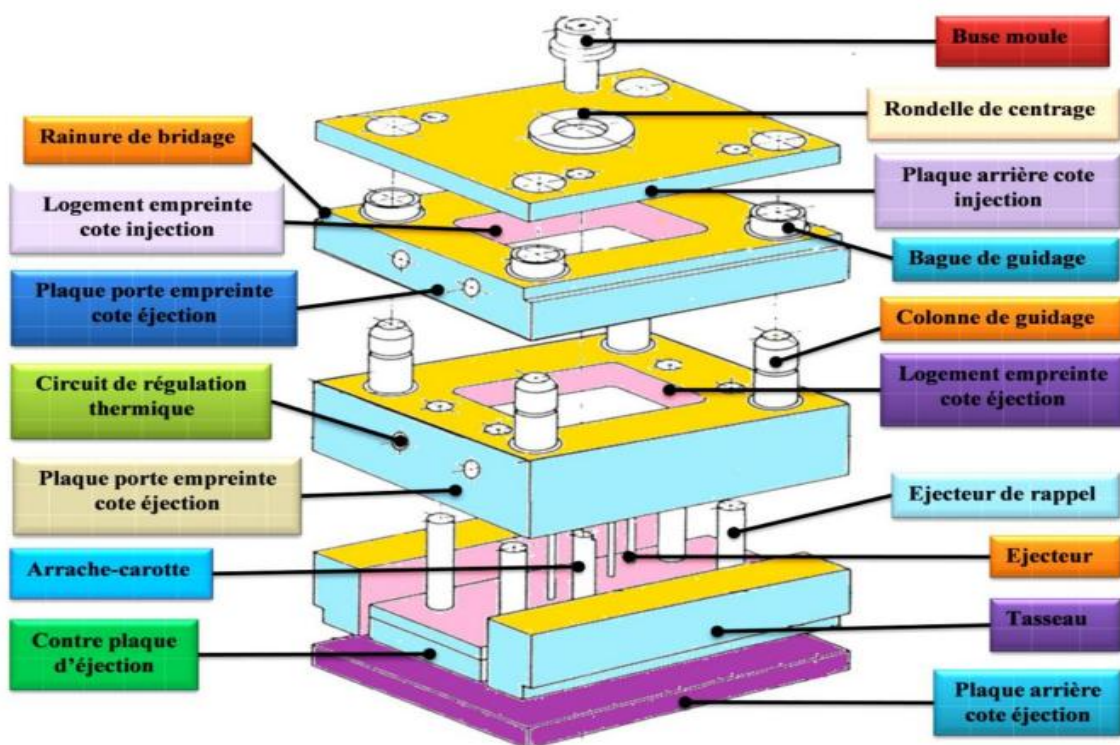


Figure III-19: Les différents éléments d'un moule d'injection

Plusieurs dispositifs du moule sont dignes de mention spéciale :

A)-Le seuil : Petit orifice reliant le canal à la cavité qui habituellement se solidifie en premier. La forme, la position et la dimension des seuils influent sur l'écoulement et sur l'orientation qui conditionne la résistance aux sollicitations mécanique et les risques de déformation au refroidissement. Les formes les plus utilisées sont : alimentation capillaire (pin point), section rectangulaire, section V en demi-cercle.

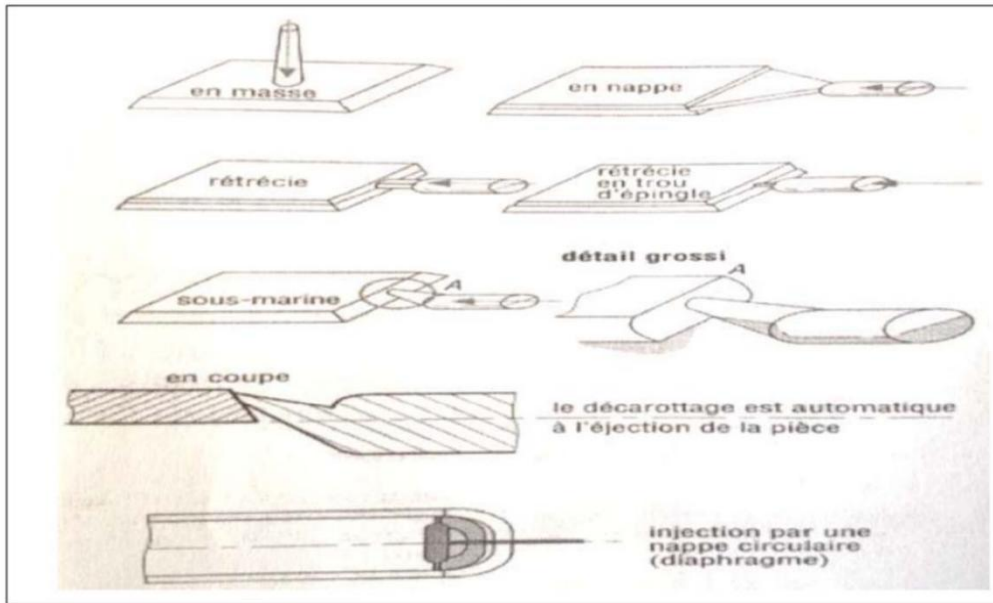


Figure III-20 : seuil d'injection

B)- Le canal : C'est le chemin d'écoulement suivi de polymère fondu.

La figure III-21 illustre la forme de la section de différents canaux.

La longueur des canaux ne doit pas dépasser 100 mm. La forme la mieux adaptée est la section circulaire et les demis circulaires. La surface doit être parfaitement polie pour éviter le collage.

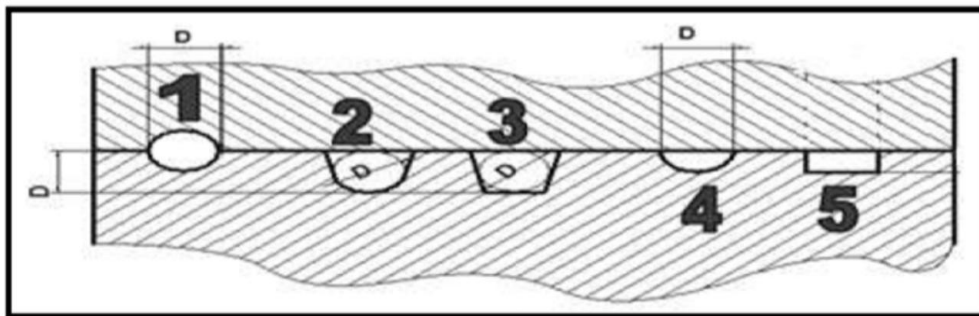


Figure III-21 : Les différents types de canaux d'alimentation [5]

C)-Evacuation de l'air de l'empreinte :

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 évents généralement disposés dans les plans de joint. (Voir Figure III-22).

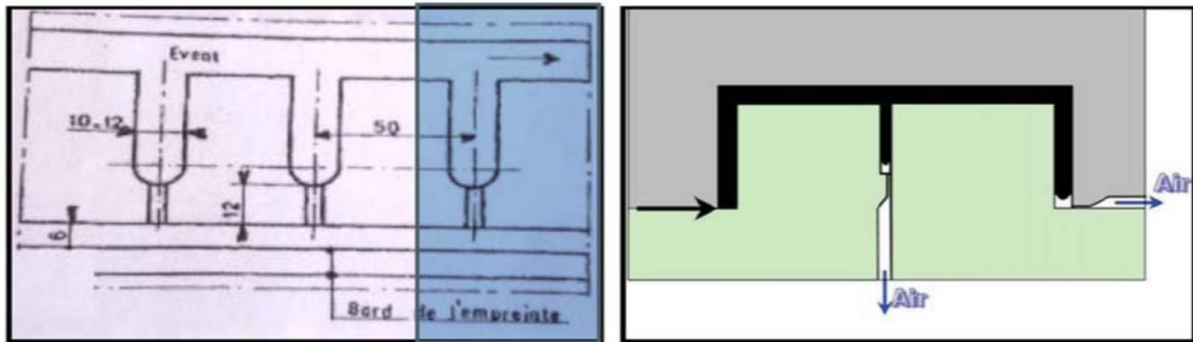


Figure III-22 : Events sur le plan de joint [5]

III-3-5-3-1 Les différents moules d'injection plastique

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

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

Parmi les modèles les plus utilisés, on cite:

III-3-5-3-1-1 Moule à deux plaques

La figure III-23 montre le fonctionnement d'un moule à deux plaques, par les schémas associés.

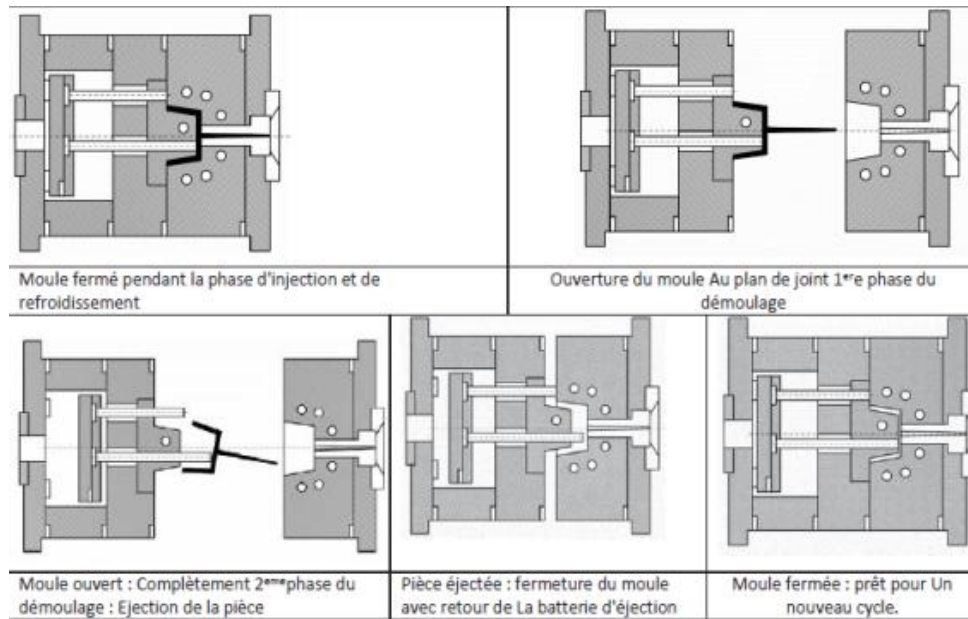


Figure III-23 : Moule à deux plaques [29]

III-3-5-3-1-2 Moule à trois plaques

La figure III-24 illustre le fonctionnement d'un moule à trois plaques. On rencontre dans l'industrie des moules à plusieurs plaques utilisant le même principe, généralement on a un plan de joint carottes et un plan de joint pièce.

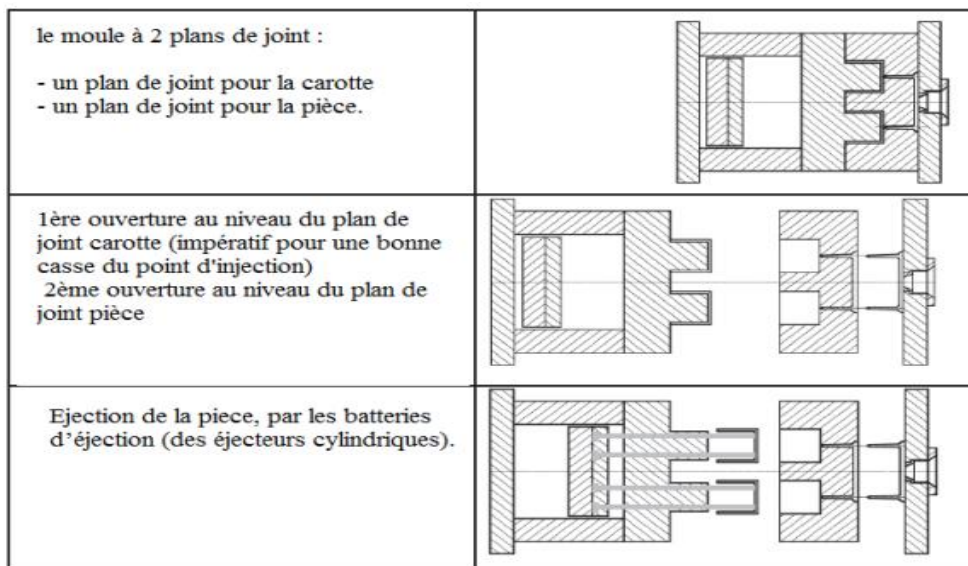


Figure III-24 : Moule à trois plaques [29]

III-3-5-3-1-3 Moule à tiroir

Les moules à tiroir forment des solutions particulières pour permettre d'injecter des pièces présentant des contre dépouilles, la figure III-25 montre leur fonctionnement.

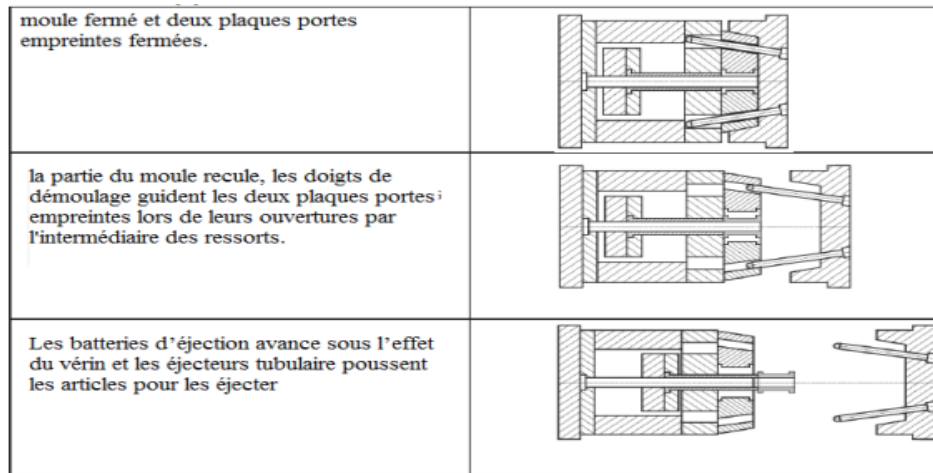


Figure III-25 : Moule à tiroir [29]

III-3-5-3-1-4 Moule à coquilles

Ce moule permet de réaliser les contre dépouilles extérieures, mais il est toujours demandé de prendre soin de la fermeture du moule et surveiller la fermeture de la machine.

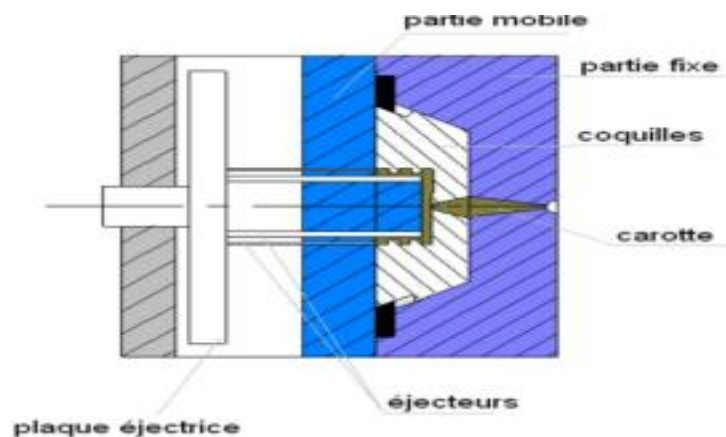


Figure III-26 : Moule à coquilles

III-3-5-3-2 Refroidissement des moules

En se refroidissant, la pièce moulée cède sa chaleur à l'outillage. Ce dernier à son tour l'évacue très partiellement par rayonnement et par 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.

La régulation thermique 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. 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.

La Figure III-27 illustre le circuit de refroidissement des plaques du moule.

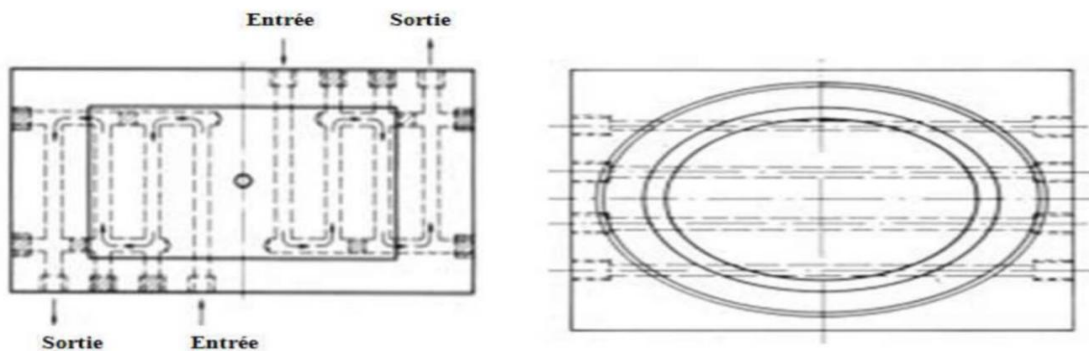


Figure III-27 : Circuit de refroidissement des plaques de moule [29]

Le fluide circule dans les canaux selon deux montages différents à savoir le montage en série et le montage en parallèle (voir figures III-28 et III-29)

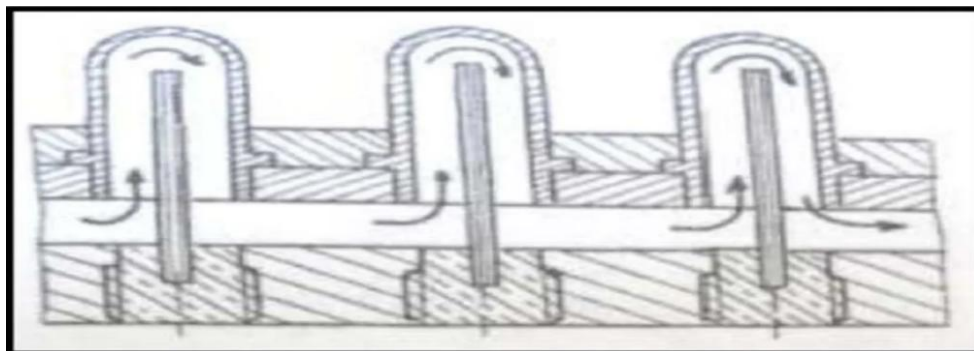


Figure III-28 : Montage en série [29]

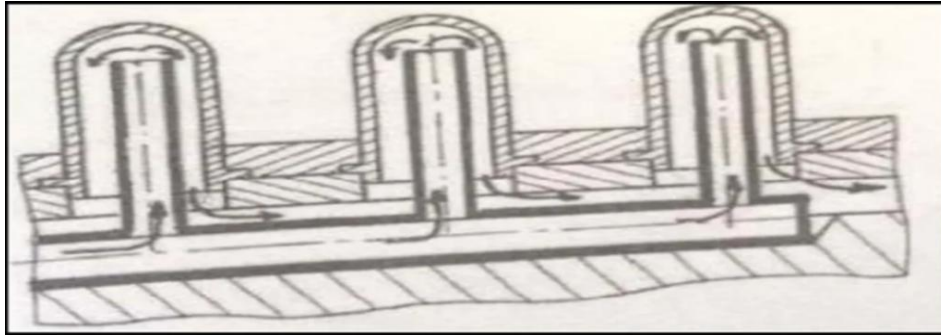


Figure III-29 : Montage en parallèle [29]

III-4 Le cycle de moulage par injection

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

III-4-1 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. [27]

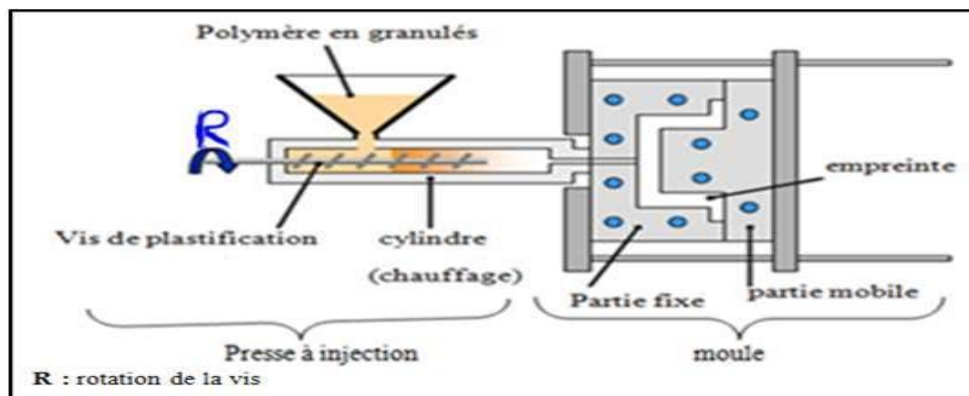


Figure III-30 : phase de plastification [27]

III-4-2 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. L'avancée de la vis est réglée en débit ou en pression pour maîtriser la vitesse d'injection du thermoplastique dans l'empreinte. Ce remplissage a une

durée très courte, par rapport à celle de la phase de refroidissement. Le débit d'injection est fonction du volume de remplissage sur la durée de remplissage correspondant à l'épaisseur de la pièce. [27]

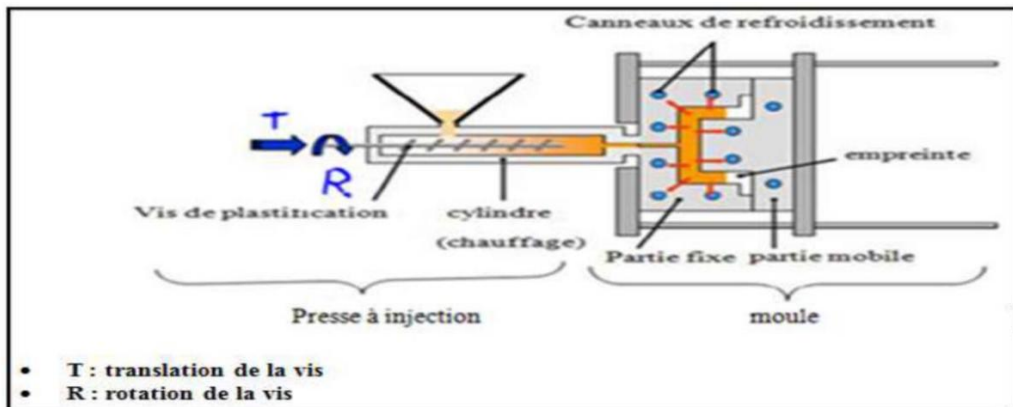


Figure III-31 : phase de remplissage [27]

III-4-3 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. [27]

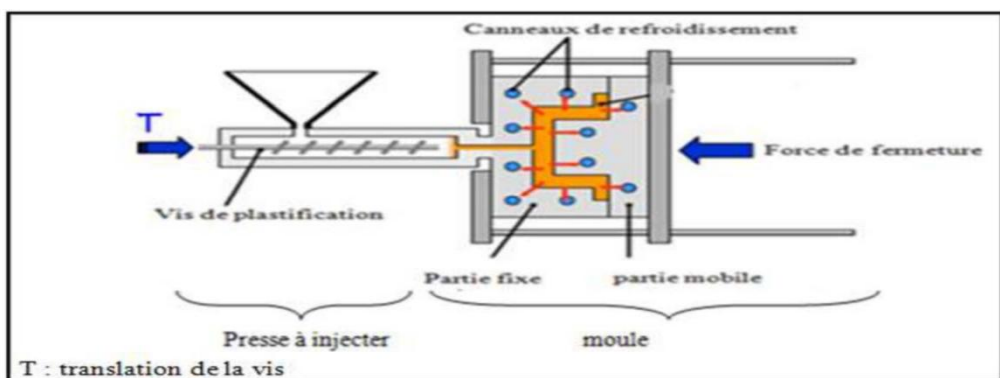


Figure III-32 : phase de compactage [27]

III-4-4 La phase de refroidissement et d'éjection

En parallèle avec 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. Après le refroidissement, l'éjecteur pousse la pièce et rejoint sa position initiale. [27]

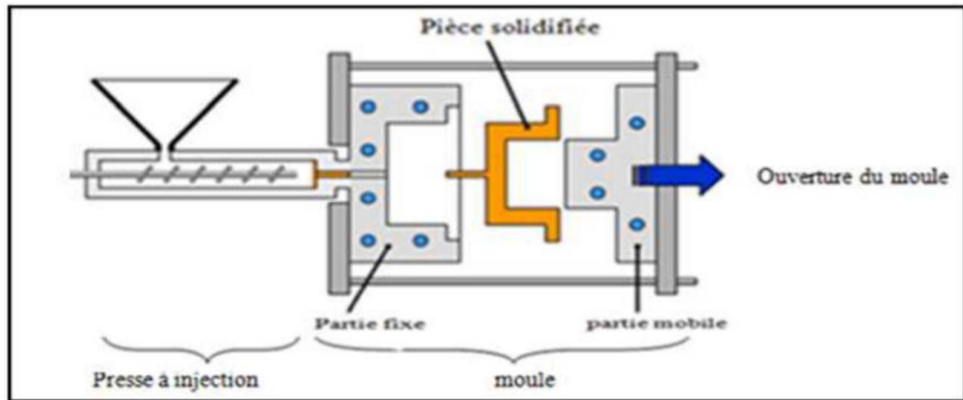


Figure III-33 : phase de refroidissement et d'éjection [27]

Les figures III-34 et III-35 représentent respectivement le cycle d'injection et le chronogramme du procédé.

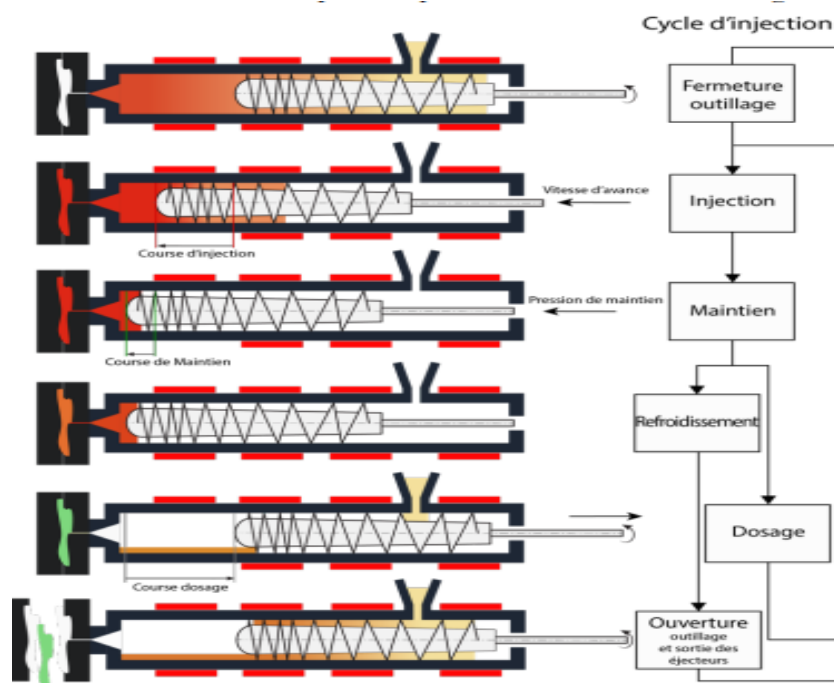


Figure III-34 : Cycle d'injection

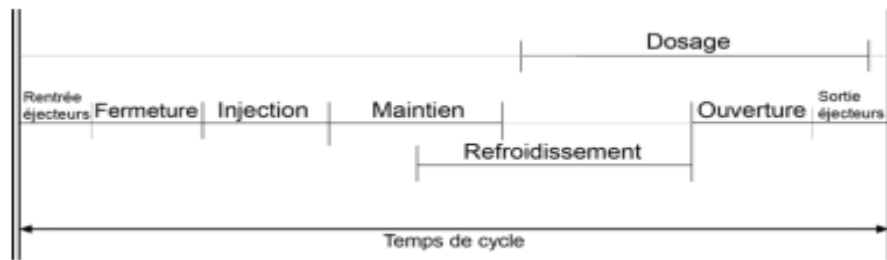


Figure III-35 : Chronogramme du cycle du procédé

III-5 Fonctionnement de la presse à injection de marque TRIULZI

III-5-1 Présentation de la presse à injection TRIULZI

Une machine d'injection de marque TRIULZI de type PP200/110, utilisée dans la fabrication des organes et des accessoires plastiques, à des dimensions LLH (5,15 m, 1 m, 1,70 m), La source d'alimentation alternative de 380V 50Hz distribue sur les trois phases, un moteur asynchrone triphasé de 22KW entraîne une pompe à huile de 16 KW. Une pompe de graissage assure la lubrification en aspirant l'huile d'un petit réservoir de 3 litres. Un réservoir de capacité de 230 litres fonctionne sous pression 60atm min, et 140atm max. L'huile hydraulique est de type TERESSO 47 ou similaire (on peut utiliser une huile ISO VG 46 d'une viscosité cinématique de 30 centistokes à 50 degrés Celsius). Le système de refroidissement de cette installation est assuré par un échangeur thermique pour stabiliser la température d'huiles entre 25 et 60 C°.

Le système de sécurité de la machine est intégré dans le circuit de commande, assuré par les fins-courses sur les portes de la machine.

L'échauffement des résistances des colliers chauffants est assuré par le bloc d'alimentation, le contrôle de consigne de la température de ces colliers est assuré par les thermocouples qui se placent au niveau de zone de fourreau. Le schéma du circuit d'alimentation électrique est représenté sur l'annexe 1.

Le refroidissement de température de moule et de la goulotte est assuré par le chiller qui fonctionne séparément de l'organe de la machine d'injection.

Concernant l'unité de fermeture, elle est de type mécanique (fermeture à genouillères double) qui développe une force de fermeture de 140 tonnes. Et les dimensions minimales du moule est de 230 cm².

La figure III-36 représente le schéma topographique de l'installation électrique.

Le schéma hydraulique général de la machine est représenté dans l'annexe 2.

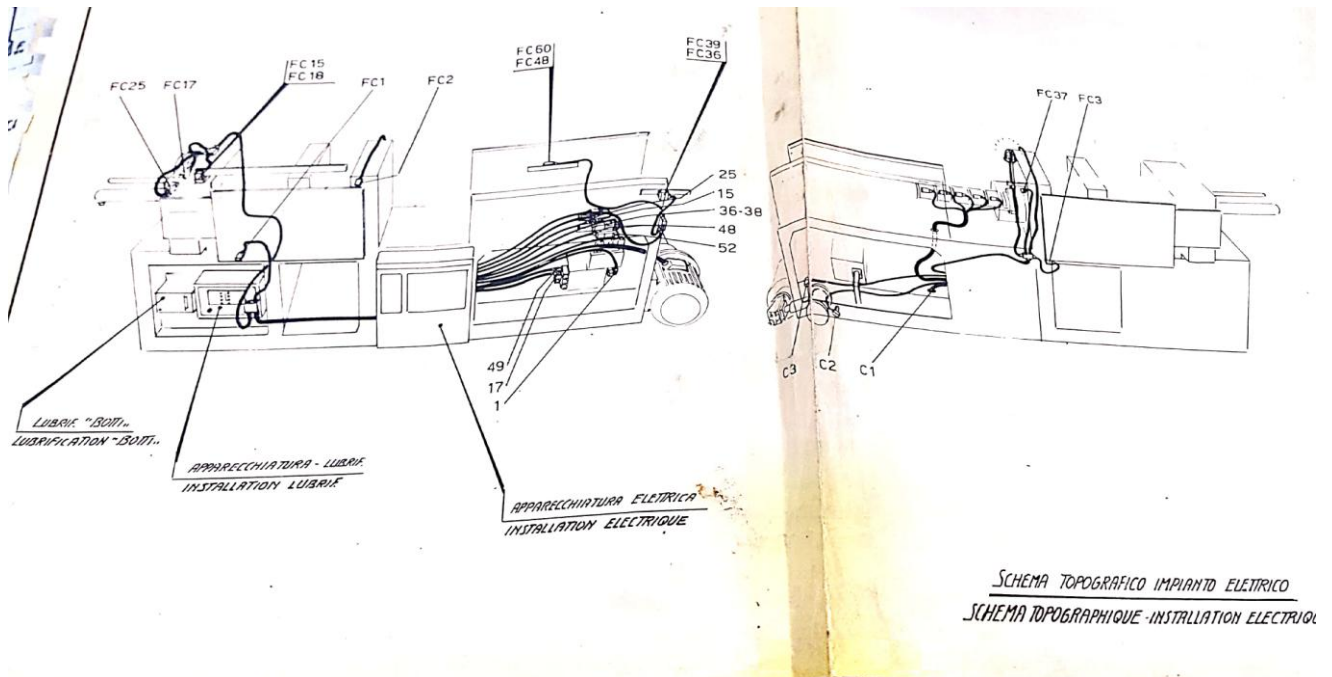


Figure III-36 : schéma topographique de l'installation électrique

III-5-2 Fonctionnement semi automatique de la presse TRIULZI

III-5-2-1 Démarrage automatique

Après avoir fermé les interrupteurs IG, IC, (interrupteur général et interrupteur des commandes) réglé les commutateurs CO et CTR, (commutateur du cycle et commutateur tréfilerie) sur la position « automatique » et le commutateur CI (commutateur injection) sur la position « machine fermée », appuyer sur le bouton poussoir PMP (poussoir de marche de la pompe) pour causer l'excitation des relais TPe et TPL : on obtient ainsi une connexion à « e » des phases du moteur qui, au moyen d'un joint commande la pompe.

Pendant la phase de démarrage le distributeur AG (distributeur 4/2 excité par S1) au repos, permet que le débit de la pompe arrive directement au réservoir à travers la soupape AB. Un temporisateur réglable RIT1 (temporisateur de démarrage) cause la commutation avec la mise au repos du relais TPe et excitation du relais TPt avec allumage de la lampe LSP de signalisation de pompe en fonction.

Le schéma électrique de démarrage du moteur de la pompe hydraulique est représenté sur l'annexe 3.

III-5-2-2 Fermeture du moule

La phase de démarrage s'étant écoulée, la commande de commencement du cycle est causée par la fermeture du capot au moyen des fins de courses FC1 et FC2, qui excitent le solénoïde

S25 du distributeur AL (distributeur 4/3 excité par S25 lors de la fermeture moule et S15 lors de son ouverture).

En même temps, la fermeture du capot excite le solénoïde S1 du distributeur AG : comme la pompe ne peut plus décharger librement dans le réservoir, elle met en pression l'installation à 140atm contrôlée par la soupape AB. Le débit de la pompe se met donc en contact avec la partie postérieure du cylindre de fermeture en causant la sortie du piston relatif avec vitesse réglable par le robinet Z. Cette machine est équipée avec un système de basse pression pour la sécurité des moules du plateau mobile, par son mouvement actionne le fin de course FC17 qui excite le solénoïde S17 du distributeur AD qui cause la réduction de la pression de fermeture à la valeur de la soupape AQ. Ensuite, à plateau rapproché le fin de course FC17 est relâché : il y'a retour de la pression maximale pour obtenir le blocage du moule.

Le schéma électrique de fermeture du moule est représenté sur l'annexe 4.

III-5-2-3 Injection, rechargement de la vis et recul chariot

A moule fermé on actionne le fin de course FC25 (Fin de course fermeture moule) qui excite le solénoïde S39 du distributeur EB (distributeur 4/3 excité par S39 lors de l'avancement chariot et par S36 lors de son recul). Il y'a le déplacement de la tête d'injection via le cylindre relatif jusqu'à ce qu'elle touche la partie postérieure du moule avec vitesse contrôlée par le robinet EH.

Quand la buse est en contact avec le canal d'injection du moule, on actionne le fin de course FC39 (fin de course tête d'injection) qui insère le temporisateur T3 (Temporisateur injection) et excite le solénoïde S48 du distributeur EC (distributeur 4/3 excité par S48 lors de l'injection et par S52 lors du rechargement de la vis) : la vis est donc poussée en avant en injectant la matière fondue.

Le déplacement de la vis actionne le fin de course FC48 (fin de course d'ajustement de la pression d'injection), avec excitation du solénoïde S49 : le distributeur AD se déplace dans la direction opposée et par conséquent la pression d'injection se réduit jusqu'à la valeur de la soupape EM. A la fin du temps fixé par le temporisateur T3, on insère le temporisateur T2 (Temporisateur de la tête d'injection, maintien/compression), en outre, on désexcite les solénoïdes S48 et S49 et on excite le solénoïde S52. Ce dernier commande le déplacement du distributeur EC et permet au fluide de se diriger vers le moteur hydraulique. La vis, en tournant, entasse la matière devant elle et est ensuite poussée en arrière en déchargeant le fluide du cylindre d'injection à travers la soupape CU qui a pour but de contrôler la pression de rechargement de la matière.

Pendant le mouvement de recul de la vis on actionne le fin de course FC60 (fin de course rechargement de la vis, dosage) qui désexcite le solénoïde S52 avec mise au repos du distributeur EC, le moteur hydraulique s'arrête et ainsi, le fin de course FC60 a dosé le rechargement de matière.

Le temps du temporisateur T2 échoué, il y'a l'insertion du temporisateur T1 (temporisateur moule, temps de refroidissement), la désexcitation du solénoïde S39 et l'excitation de S36 : le distributeur EB réglé en direction opposée, commande le recul de la tête d'injection.

Lorsque la tête d'injection est suffisamment reculée le fin de course FC36 se désexcite et le distributeur EB relatif à l'injection se met au repos.

Le schéma électrique de l'injection et du rechargement de la vis est représenté sur l'annexe 5, tandis que le schéma du recul chariot est représenté sur l'annexe 6.

III-5-2-4 Ouverture du moule et éjection

Le temps du temporisateur T1 écoulé (pause de refroidissement à moule fermé de la pièce moulée), le solénoïde S25 se désexcite tandis que le solénoïde S15 s'excite : le réglage en sens contraire du distributeur AL commande l'ouverture du moule. Le recul du plateau mobile actionne le fin de course FC15 (fin de course ouverture moule) qui désexcite le solénoïde S15 et excite le solénoïde S63 du distributeur BQ (distributeur 4/2) : il y'a la sortie de l'éjecteur central.

Le fin de course FC63 responsable de la commande de la sortie de l'éjecteur cause la désexcitation du solénoïde S63 avec le retour de l'éjecteur à sa position initiale.

En ouvrant le capot, les fins de course FC1 et FC2 se relâchent, les temporisateurs T1, T2 et T3 sont dés-insérés et la machine est prête pour un nouveau cycle.

Les schémas électriques de l'ouverture du moule et de l'éjection sont représentés respectivement sur l'annexe 7 et sur l'annexe 8.

La figure III-37 représente le Gracfet de fonctionnement automatique de la presse à injection.

Le tableau III-1 représente les transitions pour chaque étape du cycle.

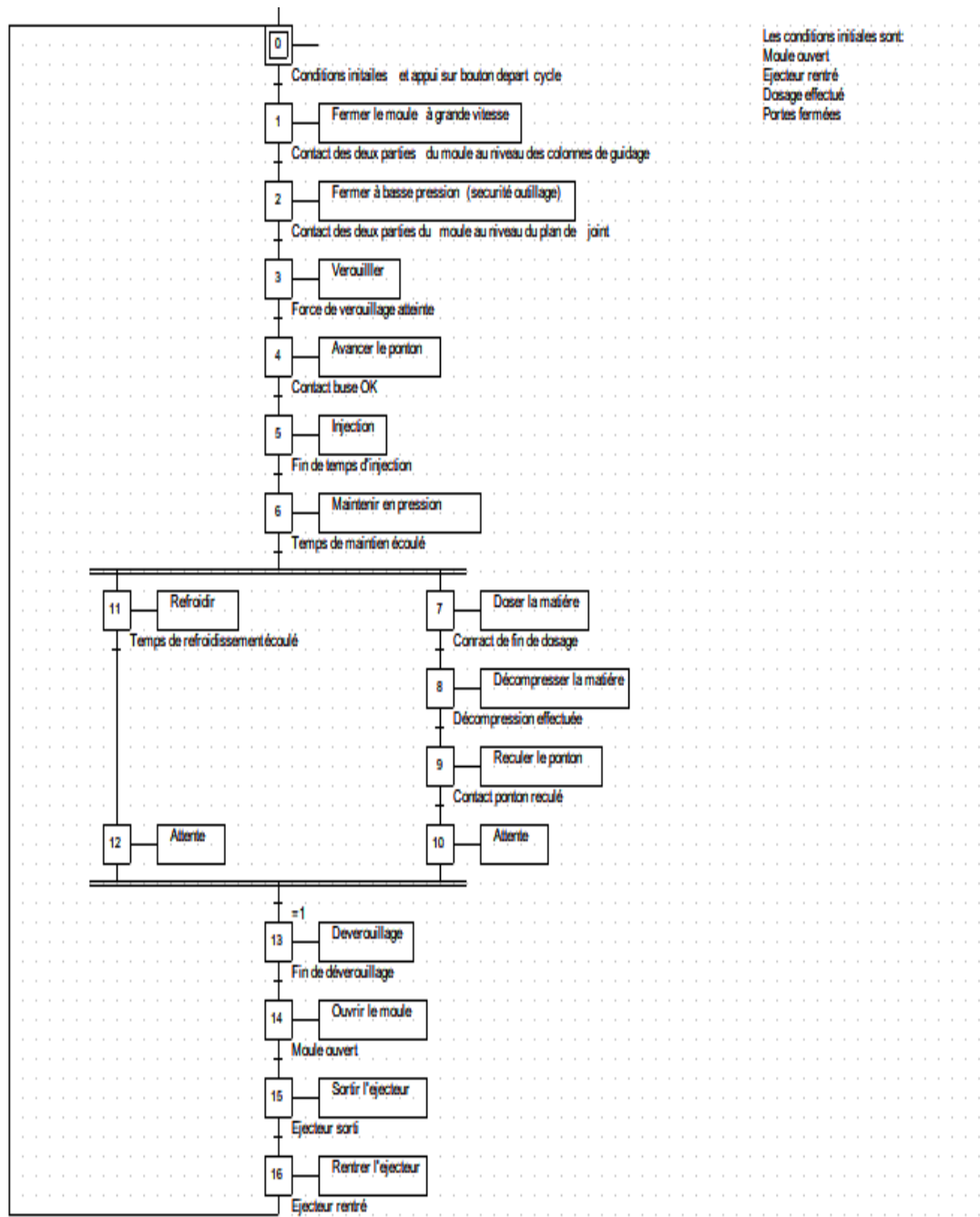


Figure III-37 : Gracfet de fonctionnement automatique

Type de transition Nature de l'étape	Course	Temps	Pression	Autres
Fermeture du moule				Conditions de départ et cycle automatique
Verrouillage du moule	Passage en haute pression			
Approche du groupe d'injection	Position 0 du moule	Délai de verrouillage	Pression de verrouillage	
Injection (remplissage)	Contact buse	Délai d'approche	Pression dans les vérins d'approche	
Maintien	Position de commutation	Temps de remplissage	Pression de commutation	
Dosage		Temps de maintien		
Décompression	Course de dosage			
Recul du groupe d'injection	Course de décompression			
Refroidissement		Temps de maintien		
Ouverture du moule	Course de dégagement ET Temps de refroidissement			
Éjection	Course de commande d'éjection			
Rentrée d'éjection	Éjection sortie ET Durée d'éjection			
Pause entre cycles	Éjection rentrée			

Tableau III-1 : Transitions pour chaque étape du cycle [25]

III-6 Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons étudié dans un premier temps la presse d'injection avec indication de ses composants et son mode de fonctionnement en notant le déroulement du cycle d'injection. Nous avons aussi présenté dans un second temps le fonctionnement électrique et hydraulique de la presse d'injection de marque TRIULZI.

Chapitre IV

Etude AMDEC et maintenance de la presse à injection de marque TRIULZI

IV-1 Introduction

Quelque soient les efforts entrepris au stade de la conception et la fabrication des machines pour assurer leur sûreté de fonctionnement, des défaillances apparaissent au cours de leur exploitation, les causes d'apparition de ces défaillances sont variables. Elles vont du coût de simple remplacement d'une pièce détériorée à d'importants frais d'immobilisation pour la machine donnée, elles peuvent aussi provoquer de graves accidents corporels.

C'est pourquoi on fait appel à la maintenance à fin de maintenir en état les machines et rétablir leur performance après défaillance.

La maintenance implique un certains nombres de mesures organisationnelles, techniques et économiques. Après avoir démontré sa rentabilité la maintenance représente une fonction principale dans beaucoup d'entreprises industrielles et de services.

Dans ce chapitre, nous allons présenter dans un premier temps les généralités sur la maintenance industrielle. Ensuite nous allons effectuer une analyse des défaillances de la presse de maque TRIULZI par la méthode AMDEC moyen qui va nous permettre d'extraire les différents types d'anomalies, ainsi de déterminer la priorité de chacune au niveau des trois indices significatifs et descriptifs, permettant d'évaluer ses derniers et de proposer ensuite le plan d'action adéquat pour corriger les défaillances et à les prévenir.

IV-2 Généralités sur la maintenance industrielle

IV-2-1 Définition de la maintenance

D'après la norme AFNOR: X60-010/ décembre 1994. La maintenance est l'ensemble des activités destinées à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. Ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de management. Ce qui implique une large polyvalence.

Le terme « maintenir » contient la notion de surveillance et de prévention sur un bien de fonctionnement normal. Le terme « rétablir » contient la notion de correction après perte de fonction (remise à niveau).

IV-2-2 Types de maintenance

IV-2-2-1 Maintenance préventive

La maintenance préventive est une maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un rendu, les activités correspondantes sont déclenchées selon:

- Un échancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage.
- Et / ou des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou de service.

Cette politique de maintenance s'adresse aux machines provoquant une perte de production ou des coûts d'arrêts imprévisibles classés comme important pour l'entreprise. Telle est le cas des machines des chantiers de forages. Il convient donc d'organiser un système de maintenance visant à minimiser ces arrêts souvent trop onéreux. Ainsi, on aura à pratiquer trois formes de maintenance dite préventive.

IV-2-2-1-a Maintenance Systématique

La maintenance préventive systématique est effectuée selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage.

La mise en pratique de cette maintenance nécessite de décomposer les machines en éléments maintenables. Ces éléments doivent être visités ou changés régulièrement.

La périodicité de ces visites s'établit par l'étude des lois de durée de vie. On harmonisera ces périodicités de façon à les rentres multiple les unes des autres. Des gammes d'entretien seront élaborées de façon à préciser le travail à exécuter par l'équipe de maintenance, un rapport sera rédigé mettant en relief les résultats des diverses mesures et les observations.

L'intérêt de cette méthode est de diminuer les risques de défaillance. Ceux-ci restants néanmoins possible entre deux visites.

IV-2-2-1-b Maintenance conditionnelle

La maintenance préventive conditionnelle est subordonnée au franchissement d'un seuil prédéterminé significatif de l'état de dégradation du bien. Le franchissement du seuil peut être mis en évidence par l'information donnée, par un capteur ou par tout autre moyen.

IV-2-2-1-c Maintenance prévisionnelle

La maintenance préventive prévisionnelle est subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée des paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions.

IV-2-2-2 Maintenance corrective

La maintenance corrective est l'ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien, ou la dégradation de son fonctionnement, pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement.

La maintenance corrective comprend en particulier la localisation de la défaillance et son diagnostic, la remise en état avec ou sans modification et le contrôle du bon fonctionnement.

IV-2-2-2-a Maintenance palliative

La maintenance corrective palliative englobe les activités destinées pour permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou une partie d'une fonction requise. Appelée couramment

"dépannage", la maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui devront être suivies d'actions curatives.

IV-2-2-2-b Maintenance curative

La maintenance corrective curative englobe les activités ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des activités réalisées doit présenter un caractère permanent, ces activités peuvent être:

- Des réparations.
- Des modifications ou améliorations ayant pour objet de supprimer la (ou les) défaillance (s).

Le diagramme suivant synthétise les différentes méthodes de maintenances.

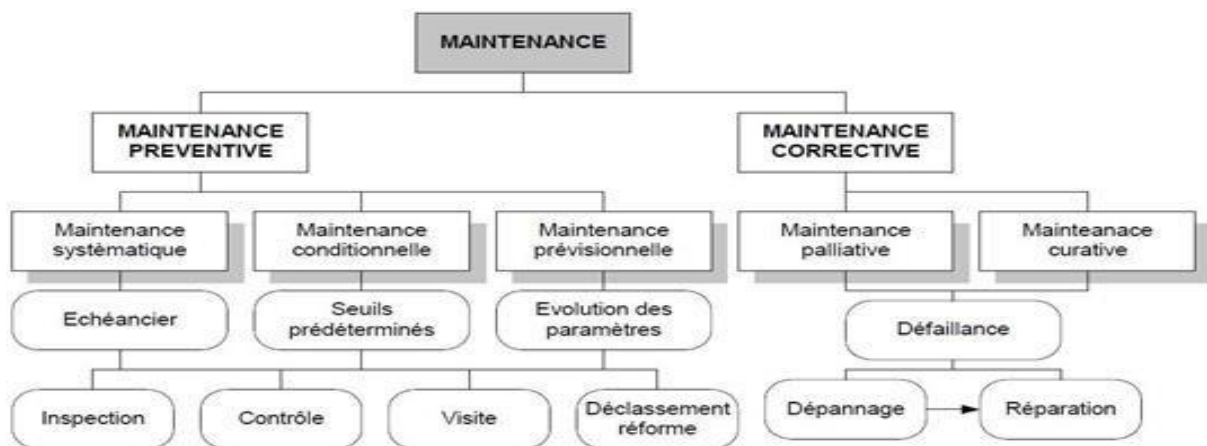


Figure IV-1 : Les différentes méthodes de maintenance

IV-3 Généralités sur l'Etude AMDEC

IV-3-1 Définition

AMDEC est l'acronyme d'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticités ou, en anglais FMECA/FMEA : Failure Mode Effects and Criticality Analysis.

L'AFNOR (Association Française de Normalisation) définit l'AMDEC comme étant une méthode inductive qui permet de réaliser une analyse qualitative et quantitative de la fiabilité ou de la sécurité d'un système.

La méthode AMDEC est avant tout une méthode d'analyse de systèmes statiques, s'appuyant sur un raisonnement inductif (causes-conséquences), pour l'étude organisée des causes, des effets des défaillances et de leurs criticités.

IV-3-2 Types d'AMDEC

IV-3-2-1 AMDEC organisation

L'AMDEC organisation s'applique aux différents niveaux de processus principaux de l'entreprise : du premier niveau qui englobe les processus de gestion, d'information, de production, de gestion du personnel et le processus marketing, jusqu'au dernier niveau comme l'organisation d'une tâche de travail.

IV-3-2-2 AMDEC produit ou projet

L'AMDEC produit ou projet est utilisée pour étudier en détail la phase de conception du produit ou d'un projet. Si le produit comprend plusieurs composants, on applique des AMDEC sur les composants.

IV-3-2-3 AMDEC processus

L'AMDEC processus s'applique à des processus de fabrication. Elle permet d'analyser et évaluer la criticité de toutes les défaillances potentielles d'un produit engendrées par son processus. Elle peut être utilisée pour les postes de travail.

IV-3-2-4 AMDEC moyen

L'AMDEC moyen s'applique à des machines, outils, équipement et appareils de mesure, des logiciels et systèmes de transports internes.

IV-3-2-5 AMDEC service

L'AMDEC service s'applique pour vérifier que la valeur ajoutée réalisée dans le service correspond aux attentes des clients et que le processus de réalisation de service n'engendre pas de défaillances.

IV-3-3 Mise en place de l'AMDEC machine

ETAPE I : Initialisation

-Description de l'équipement à étudier.

ETAPE II : Décomposition fonctionnelle

-Découpage de l'équipement à étudier

ETAPE III : Analyse AMDEC

- a-** Identification des modes de défaillances.
- b-** Recherche des causes et des effets.
- c-** Evaluation de la criticité.
- d-** Hiérarchisation de défaillances.
- e-** Recherches des actions correctives.

ETAPE IV : Synthèse

- a-** Liste des points critiques.
- b-** Recommandations.

IV-4 Maintenance préventive des presses

IV-4-1 Maintenance hydraulique

L'état de colmatage des filtres doit donner lieu à un contrôle périodique. Selon les modèles de presses, les indicateurs de colmatage sont soit des témoins lumineux, soit des indicateurs mécaniques placés de part et d'autre du porte-filtre. Sur des matériels anciens, un bruit de pompe anormalement fort est le seul indicateur de colmatage des filtres. Le changement des filtres est une opération simple, mais des consignes de sécurité et de propreté doivent être respectées, il faut donc se reporter à la documentation du constructeur.

-les filtres d'aspirations(ou crépines) qui sont installées en amont des pompes, leur colmatage génère un fort bruit par effet de cavitation.

-les filtres de refoulement (filtres de haute pression) situés en aval de la pompe, leur colmatage provoque une baisse de la pression dans le circuit hydraulique. Un fort colmatage de ces filtres peut conduire à leur éclatement.

-les filtres spéciaux places en amont d'éléments hydrauliques sensibles aux impuretés (servovalve) ; leur fonction est de protéger l'élément hydraulique en cas de passage d'une impureté, et non de filtrer l'huile.

IV-4-2 Maintenance mécanique

Le graissage des genouillères donne lieu, sur les presses mécaniques et hydromécaniques, à un contrôle visuel hebdomadaire, ainsi qu'à la vérification du niveau d'huile de graissage.

Le graissage des glissières et des bagues de guidage doit être vérifiée chaque semaine, le passage du doigt sur les surfaces graissées doit laisser une empreinte nettement visible. Les principaux points de graissages sont :

-les bagues de guidage des plateaux sur les colonnes (plateaux fixes et plateaux intermédiaires).

-les glissières de guidages du plateau mobile, du plateau intermédiaire et du sommier.

-les glissières de guidage du groupe d'injection.

- les plateaux de fixation qui doivent être nettoyés, séchés et huilés lors de chaque changement d'outillage.

IV-4-3 Maintenance électrique

La maintenance préventive électrique des presses à injecter donne lieu à l'entretien de l'armoire de commande, les actions à mener sont :

- a- Vérification de toutes fonctions et organes électriques.
- b- Vérifier les colliers chauffants.
- c- Vérifier le serrage des connexions dans l'armoire électrique.

- d- Vérifier les éléments électriques : bouton poussoir, commutateur, bobines, fin de course, contacteurs, régulateur de température et temporisateurs.
- e- Nettoyage de l'armoire électrique.

IV-4-4 Autres opérations de maintenances

Il faut un nettoyage hebdomadaire de la presse et des périphériques. Lors de chaque démarrage, on vérifie la bonne circulation d'eau dans le système de refroidissement de l'huile hydraulique dans système de refroidissement de la goulotte. On vérifie aussi l'état des flexibles hydrauliques et de leurs attaches de sécurité.

IV-5 Démarche de l'étude AMDEC moyen

IV-5-1 Introduction

Après avoir étudié le fonctionnement général de la machine, nous avons décidé d'établir une étude AMDEC moyen de la machine d'injection plastique de marque TRIULZI. Afin d'éclaircir les anomalies susceptibles de constituer des arrêts dus aux pannes qu'elles engendrent, et en guise d'apporter des remèdes pour s'en défaire. Ainsi pour faciliter le diagnostic et s'aider par la suite à définir un plan d'action d'amélioration.

IV-5-2 Constitution du groupe de travail

L'objectif de cette phase est de former une cellule de travail faisant appel à plusieurs corps de métiers. L'échange entre les membres de ce groupe conduit à cerner toutes les anomalies que connaît la machine et mettre en place des solutions pertinentes pour les défaillances décelées. En plus de moi-même, le groupe fut composé de :

Mr HADJ RAMDANE Kamel Chef de service maintenance.

Mr HAMOUDI Ziad Chef d'équipe TFP du service de production.

IV-5-2-1 Les sources de bases

Les différentes sources qui nous ont aidés à remplir la fiche AMDEC sont :

- a- Les documents techniques et les préconisations des constructeurs.
- b- L'expérience de chacun.

IV-5-3 Démarche AMDEC

IV-5-3-1 Initialisation

L'étude porte sur une presse d'injection des thermoplastiques de marque TRIULZI. Elle touche principalement le circuit hydraulique, l'unité d'injection, l'unité de fermeture et l'armoire électrique.

IV-5-3-2 Décomposition fonctionnelle

Le but consiste à la décomposition de la presse à injection en sous blocs logiques pour atteindre les organes internes.

La Figure IV-2 illustre la décomposition fonctionnelle de la presse à injection de marque TRIULZI.

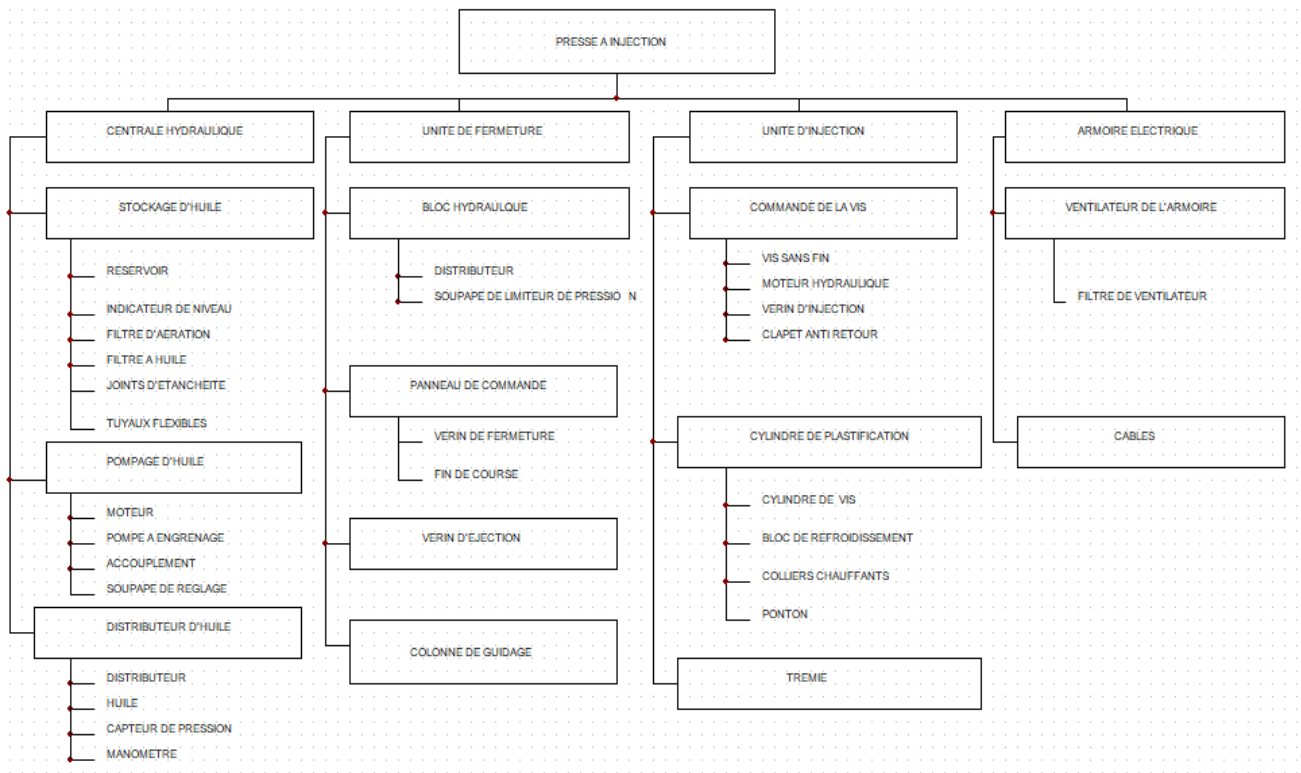


Figure IV-2 : Décomposition fonctionnelle

Le but de cette décomposition est de déterminer pour chaque organe qu'elles sont :

- a- Les modes de défaillances : Ils sont relatifs à une fonction et caractérise la manière dont un organe commence à ne plus remplir sa fonction.
- b- Les causes : Les causes de la défaillance sont des anomalies initiales susceptibles de conduire au mode de défaillance.
- c- Les effets : Les effets de la défaillance concrétisent la conséquence et ils sont relatifs à un mode de défaillance.

d- Les actions envisagées : Ce sont les actions pour empêcher le mode de défaillance.

IV-5-3-3 La fiche AMDEC

La fiche AMDEC regroupe tous les éléments concernant la défaillance comme le montre le tableau IV-1.

Element	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Criticité				Actions envisagées
					G	F	D	C	

Tableau IV-1: Fiche AMDEC

IV-5-3-3-1 Les points estimés

IV-5-3-3-1-a La gravité

L'indice de gravité G évalue l'effet de chaque défaillance sur l'utilisateur. Pour l'AMDEC moyen l'indice est coté de 1 à 4.

IV-5-3-3-1-b L'occurrence (ou fréquence)

L'indice de fréquence F est lié au risque d'apparition d'une défaillance pour une cause donnée, il correspond à la notion de probabilité de défaillance. Pour l'AMDEC moyen l'indice est coté de 1 à 4.

IV-5-3-3-1-c La non-détection

L'indice de non détection D représente la probabilité qu'une défaillance apparue, atteigne l'utilisateur malgré les contrôles. Pour l'AMDEC moyen l'indice est coté de 1 à 4.

IV-5-3-3-1-d La criticité

La criticité C est évaluée, à partir des trois indices précédents, par l'indice de priorité de risques IRP avec : $IRP = G \times F \times D$

L'étendue de l'IRP pour l'AMDEC moyen est cotée de 1 à 64.

Les actions prioritaires sont généralement déterminées en comparant l'IRP à un seuil. On choisit souvent, pour l'AMDEC moyen un IRP supérieur ou égal à 16.

Ces seuils peuvent être modifiés en fonction d'exigences particulières ou des habitudes de l'entreprise.

IV-5-3-3-2 La grille de cotation

La criticité des défaillances de tous les équipements sera évaluée suivant une même échelle de cotation, à partir de trois critères indépendants : la gravité G. La probabilité d'occurrence ou

la fréquence d'apparition F et la probabilité de non-détection D. A chaque critère on associe une échelle de cotation définie selon quatre niveaux en s'appuyant sur l'expérience du personnel et diverses recherches. Ainsi on a pu dresser les tableaux IV-2, IV-3 et IV-4.

Gravité	
Note	Critère
1	Pas d'arrêt de production
2	Arret ≤ 1 heure
3	1 heure < Arret ≤ 1 jour
4	Arret > 1 jour

Tableau IV-2: Grille de l'échelle de gravité

Fréquence	
Note	Critère
1	Une à deux fois par an
2	Au moins une fois par 6 mois
3	Au moins une fois par 3 mois
4	Au moins une fois par mois

Tableau IV-3 : Grille de l'échelle de fréquence d'apparition

Détection	
Note	Critère
1	Détéction automatisée complète
2	Détéction humaine
3	Détéction aléatoire
4	Aucun moyen de détection

Tableau IV-4 : Grille de l'échelle de non-détection

La réalisation des fiches AMDEC nécessite l'existence d'une base de données des défaillances survenues sur les équipements dans une période définie. Dans notre cas, nous l'avons effectué en s'appuyant sur la démarche du « Brainstorming », pour ainsi dire, nous nous sommes basés sur l'expérience des membres de l'équipe de travail, et diverses recherches extérieures.

IV-5-4 Analyse AMDEC de la centrale hydraulique

Ensemble	Sous-ensemble	Fonction
Centrale hydraulique	Stockage d'huile	Traiter et contrôler le fluide hydraulique en termes de température et de niveau de remplissage.
	Pompage d'huile	Réguler la quantité et la pression du fluide nécessaire pour le déplacement d'alimentation à débit suffisant.
	Distribution d'huile	Diriger l'huile sous pression aux unités de commande.

Tableau IV-5 : Décomposition de la centrale hydraulique et ses fonctions

IV-5-4-1 Décomposition fonctionnelle de la centrale hydraulique

La partie hydraulique peut être découpée en blocks fonctionnel sous la forme arborescente suivante :

IV-5-4-1-a Stockage d'huile

La figure IV-3 illustre la décomposition fonctionnelle de la partie stockage d'huile.

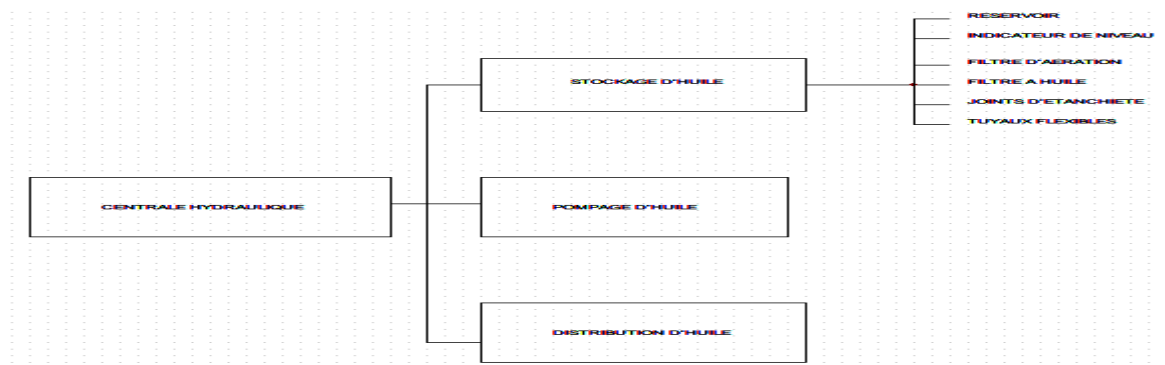


Figure IV-3 : Arborescence de la partie stockage d'huile

IV-5-4-1-a-1 Analyse AMDEC de la partie stockage d'huile

La fiche AMDEC de la partie stockage d'huile est représentée ci-dessous.

Element	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Criticité				Actions envisagées		
					G	F	D	C			
Réservoir d'huile hydraulique	Stocker le fluide hydraulique	Manque d'huile	Fuite d'huile due à:	Manque de puissance hydraulique, arrêt de production	2	1	2	4			
			fatigue des flexibles sous l'effet de la pression							Remplacer les flexibles avec serrage des raccords	
			Détérioration des joints d'étanchéité							Changer les joints d'étanchéité	
					fuite au niveau du réservoir	2	1	2	4	Vérifier l'état du réservoir, inspection et appoint	
		Pollution de l'huile	Mélange de l'huile avec la poussière due à la non fermeture du	Pollution de l'huile	Huile de mauvaise qualité	Influence la durée de vie du fluide, blocage des vannes, usure du groupe hydraulique.	1	2	2	4	Vérifier la fermeture du réservoir
					Vidange retardée						Choisir l'huile de bonne qualité
					Mélange d'huile avec l'eau lié à l'éclatement de l'échangeur de chaleur						Effectuer la vidange après l'analyse de l'huile
					Mélange des particules des tuyaux avec l'huile à cause de l'érosion						Remplacer l'échangeur de chaleur
											Changer la qualité des tuyaux
		Echauffement de l'huile	Dysfonctionnement du système de refroidissement du à:	Echauffement de l'huile	L'eau qui provient du chiler n'est pas froide	Arrêt de la machine	2	1	1	2	Vérifier la température de fonctionnement du chiler
					Filtre d'eau colmaté (débit d'eau insuffisant)						Nettoyer la cartouche filtrante
					Electrovanne d'arrivée d'eau dans le système est bloquée						débloquer ou remplacer l'electrovanne
					Fuite liée au desserrage des raccords de tuyauterie						Contrôle des éventuelle présence de fuite
		Indicateur de niveau d'huile	contrôle du niveau d'huile	Disfonctionnement	casse	Rien	1	1	1	1	Changer l'indicateur
Filtre d'aération	Protéger le réservoir		Colmatage	Poussieres dans l'air	Aération insuffisante, Arrêt de la machine	1	1	2	2	Nettoyer, changer la cartouche ou remplacer le filtre	
Filtre à huile	Filter l'huile		Colmatage	Impureté au sein de l'huile	Couper la pompe, Arrêt de la machine	2	1	2	4	Contrôle du filtre, le remplacer si nécessaire	
Joint d'étanchéité	Empêche le passage d'huile vers l'extérieur	Usure	Fatigue	Fuite d'huile, arrêt de la machine	3	1	2	6	Changement des joints		
tuyaux flexibles	Permet le passage ou bien la distribution de l'huile hydraulique	fuite	Mauvais serrage des éléments de fixation	Perte de fluide	3	1	2	6	Vérifier le serrage des raccords, remplacer les flexibles		
				Fuites, colmatage des filtres, coupure	3	1	2	6	Changer la qualité des flexibles		

Tableau IV-6 : Fiche AMDEC de la partie stockage d'huile

IV-5-4-1-b **Pompage d’huile** : La décomposition fonctionnelle de la partie pompage d’huile est illustrée par la figure IV-4

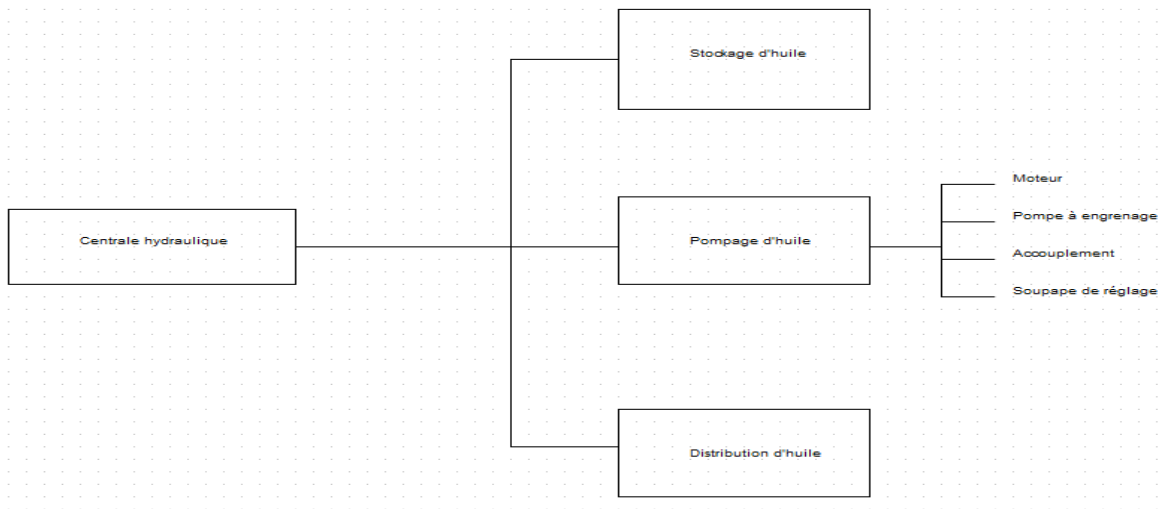


Figure IV-4 : Arborescence de la partie pompage d’huile

IV-5-4-1-b-1 **Analyse AMDEC de la partie pompage d’huile**

La fiche AMDEC de la partie pompage d’huile est représentée ci-dessous.

Element	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de la défaillance	Criticité				Actions envisagées
					G	F	D	C	
Moteur 22KW 380V	Transforme l'énergie électrique en énergie mécanique (actionner la pompe)	Grillage d'enroulements du Stator	Surcharge (tension élevée)	Arret de la machine	4	1	2	8	contrôler le bobinage du moteur(Rembobinage)
		Fonction irrégulière du rotor	Usure des enroulements	Arret de la machine	4	1	2	8	contrôler le bobinage du moteur(Rembobinage)
		Manque de phase	Problème dans les relais thermique	Problème dans les relais thermique	2	1	1	2	Changer les relais thermique
Pompe à engrenage 16KW	Débiter l'huile sous pression, générer la puissance hydraulique	Baisse de débit	Usure abrasive des engrenages	Arret de la machine	3	1	1	3	Vérifier l'étanchéité des tuyaux d'aspiration, changer les engrenages
		Vibration	Defaut de déalignage ou defaut de fixation	Rupture de l'arbre	3	1	2	6	Réaligner les arbres et vérifier la fixation
Accouplement	Faire la liaison entre le moteur et la pompe	Usure de l'étoile d'accouplement	Fatigue, accident	Accouplement endommagé	3	1	2	6	Changer l'accouplement
Soupape de réglage	Limite la pression du système et protège les tuyaux souples contre la surpression	Obturation	Défaut dans le circuit hydraulique	Arret de la machine	2	1	2	4	Vérifier l'état de l'huile et nettoyer les orifices
		Blocage en position ouverte/fermée	Usure des composants (clapet,tiroir,siège,ressort)	Arret de la machine	2	1	2	4	Vérifier le bon état des composants, Reparer ou remplacer

Tableau IV-7 : Fiche AMDEC de la partie pompage d’huile

IV-5-4-1-c Distribution d'huile

La figure IV-4 illustre la décomposition fonctionnelle de la partie distribution d'huile

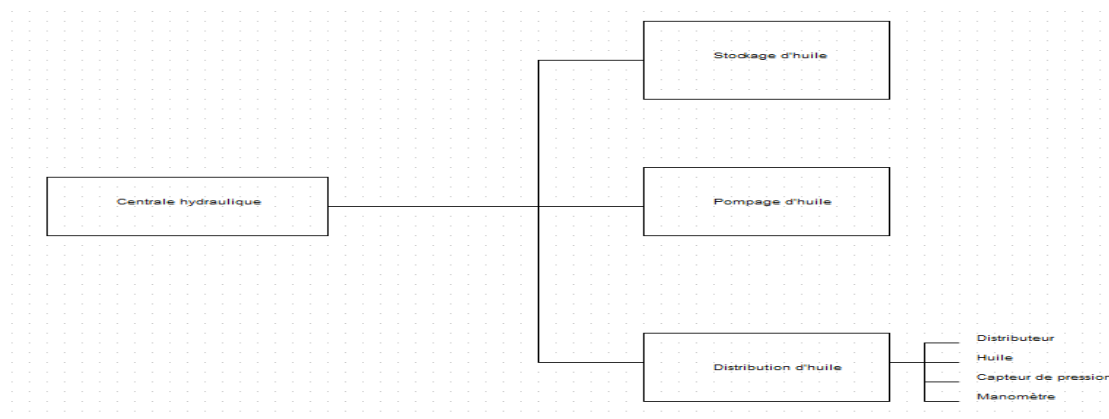


Figure IV-5 : Arborescence de la partie distribution d'huile

IV-5-4-1-c-1 Analyse AMDEC de la partie distribution d'huile

La fiche AMDEC de la partie distribution d'huile est représentée ci-dessous.

Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de la défaillance	Criticité				Actions envisagées
					G	F	D	C	
Distributeur	Commander la direction de l'huile pour actionner le vérin	Grillage des solénoïdes	Court circuit ou surtension	Le distributeur ne bascule pas quand il est commandé. (Arrêt de la machine)	3	1	2	6	Vérifier le bobinage du distributeur, changement si nécessaire
		Blocage des tiroirs	Usure, impureté; pression de pilotage des tiroirs trop faible		3	1	2	6	Effectuer un nettoyage et vérifier que les tiroirs sont en bon état
		Obturation	huile contaminée	Arrêt de la machine	3	1	2	6	Nettoyer les orifices et vérifier que l'huile est en bon état
		Fuite d'huile	Usure des joints, mauvais serrage	Arrêt de la machine	3	1	2	6	Changer les joints détériorés
Huile	Assurer la compression	Diminution de la viscosité	Durée de vie	Usure des pièces, diminution de la pression , augmentation de la température de fonctionnement	3	1	2	6	Analyser l'huile et effectuer la vidange
Capteur de pression	Transformer une grandeur physique (pression) en grandeur électrique (tension)	Court circuit	Détérioration des cables de connexions	Non-detection de la pression exacte, pas de signaux	1	1	1	1	Vérifier , remplacer pour la cas échéant
Manomètre	Indiquer la valeur de la pression	Le manomètre n'indique aucune pression	Déserrage du raccord du manomètre, manomètre défectueux	Mauvaise indication de la pression	1	1	1	1	Remplacer le manomètre

Tableau IV-8 : Fiche AMDEC de la partie distribution d'huile

IV-5-5 Analyse AMDEC de l'unité d'injection

La fiche AMDEC de l'unité d'injection est représentée ci-dessous.

Partie	Fonction	Ensembles	Element	Fonction	Mode de défaillance	Caude de défaillance	Effet de la défaillance	Criticité				Actions envisagées
								G	F	D	C	
Unité d'injection	Recevoir la matière première,plastifier d'une manière homogène, établir le contact entre le moule et l'unité d'injection,injecter la matière plastifiée	Commande de la vis	Vis sans fin,Commandé par S48 et S49,tournée par S52	Assure l'alimentation,la compression et l'homogénéisation de la matière	Usure	Durée de vie	Perte de performance	4	1	2	8	Extraire la vis, la nettoyer ou changer la qualité de la vis
				Vis bloquée ou cassée	Solidification de la matière	Arret de production	4	1	2	8	S'assurer que la matière est totalement purgée	
			Moteur hydraulique, commandé par le distributeur EC, excité par S52	Faire torner la vis	Fonctionnement bruyant	Implosion des bulles	Cavitation(lorsque le fluide n'occupe pas entièrement l'espace du moteur)	3	1	2	6	S'assurer que le débit entrant dans pompe est suffisant
				Blocage des pistons	Fluide contaminé	Arret moteur	3	1	2	6	Vérifier l'état de l'huile	
			Vérin d'injection, commandé par le distributeur EB Excité par S39 et S36	Transformer l'énergie hydraulique en énergie mécanique	Fuite d'huile entre les deux chambres du vérin	Fatigue des joints du piston	Arret de production	3	1	2	6	Changer les joints du piston
					Pas de mouvement ou mouvement trop lent	Vérin bouché, débit insuffisant(fuite au niveau des joints)	Blocage tête d'injection ou mouvement trop lent	3	1	2	6	Changer les joints du vérin , vérifier l'aspect de l'huile
		Fin de course FC25, FC39, FC48, FC60	Transformer l'énergie mécanique en énergie électrique	Blocage ou court circuit	Actionneur ou commutateur bloqué, fil ou conducteur endommagé	Blocage tête d'injection ou mouvement trop lent	2	1	2	4	Vérifier l'emplacement des fins de courses, les remplacer dans le cas échéant	
		Cylindre de plastification	Clapet anti retour	Faire passer la matière vers l'avant durant l'injection, enpecher le refoulement de matière vers l'arrière	Usure	Durée de vie	Perte de performance	4	1	2	8	Réparation, choisir une qualité résistant mieux à ce type de matière
				Blocage ou endommagement	Solidification de la matière	Arret de production	4	1	2	8	S'assurer que la matière est totalement purger	
			Bloc de refroidissement de la goulotte	Refroidissement de la zone de remplissage vis fourreau	Non respect des températures	L'eau réfrigérée n'est pas assez froide(problème du chiller)	Accumulation de la matière fondue, blocage de la circulation de la matière	2	1	2	4	Vérifier que le chiler est bien en marche, contrôler la température de réfrigération
						Filtre d'eau colmaté		2	1	2	4	Nettoyer ou changer la cartouche filtrante
						vanne de l'arrivée d'eau bloquée		2	1	2	4	Vérifier l'aspect de l'eau,réparer ou remplacer la vanne
	Débitmètre défectueux(boite à eau)					2		1	2	4	Remplacer le débitmètre	
	Colliers chauffants	Chauffer la matière	Défaillance des sondes d'échauffement	Surtension, défaillance circuit électrique	Arret de la machine, accumulation de la matière	2	3	2	12	Controler l'état des sondes et vérifier le circuit électrique		
			Détérioration des colliers chauffants	Fuite de la matière	Remplissage incomplet de l'empreinte	2	3	2	12	Controler qu'on a pas de fuite de matière		
	Ponton	Déplacer l'unité d'injection	Mauvais ajustement et positionnement du cylindre de plastification	Problème au niveau des fin de course FC36 et FC39	Remplissage incomplet de l'empreinte	2	2	2	6	Vérifier le bon emplacement des fins de courses		

Tableau IV-9 : Fiche AMDEC de l'unité d'injection

IV-5-6 Analyse AMDEC de l'unité de fermeture

La fiche AMDEC de l'unité de fermeture est représentée ci-dessous.

Partie	Fonction	Ensemble	Element	Fonction	Mode de défaillance	Cause défaillance	Effet de la défaillance	Criticité				Actions envisagées
								G	F	D	C	
Unité de fermeture	Deployer la force de fermeture et centrer les deux parties du moule.	Bloc hydraulique	Distributeur AL, commandé par S25 pour la fermeture moule et par 15 pour l'ouverture moule	Commander la direction du fluide, actionner les vérins relatifs pendant la fermeture et l'ouverture du moule	Grillage des solénoïdes S25 et S15	Court circuit , surtension	Le distributeur de bascule pas quand il est commandé	2	1	2	4	Vérifier le bobinage du distributeur et changement si nécessaire
					Blocage des tiroirs	Usure, impureté, pression de pilotage des tiroirs trop faible		2	1	2	4	Effectuer le nettoyage et vérifier si les tiroirs sont en bon état
					Obturation	Fluide contaminé	L'huile ne peut pas passer (blocage du moule)	2	1	3	6	Nettoyer les orifices et s'assurer que l'huile est en bon état
					Fuite	Usure des joints ou mauvais serrage	Arret de la machine	2	1	2	4	Changer les joints
		Soupape de limite de pression AS	Limite la pression du système et protège les conduites contre la surpression	Obturation	Défaut dans le circuit hydraulique (usure des joints)	Conduites endommagées (arret de la machine)	2	1	3	6	Vérifier l'état de l'huile et nettoyer les orifices	
				Blocage en position ouverte/fermée	Détérioration des composants (clapet,tiroir,siège,ressort)	Arret de la machine	2	1	3	6	Après demontage et nettoyage des pièces, vérifier le bon état des composants,les traces légères sur les tiroirs peuvent etre adoucies, remplacer pour le cas échéant	
		Bloc de commande	Vérin de fermeture	Transformer l'énergie hydraulique en énergie mécanique	Fuite d'huile entre les deux chambres du vérin	Fatigue des joints du piston	Arret de la machine	3	1	2	4	Changer les joints du piston
					Pas de mouvement ou mouvement trop lent	Vérin bouché, débit insuffisant(fuite au niveau du joint)	Blocage du moule, mouvement trop lent du plateau porte moule mobile	3	1	2	6	Vérifier l'aspect de l'huile, changer les joints du vérin
			Fin de course F25 et F15	Transformer une grandeur physique en grandeur électrique	Blocage ou court circuit	Actionneur ou commutateur bloqué, fil ou conducteur endommagé	Blocage du moule	2	1	3	6	Vérifier l'emplacement des fins de courses, les remplacer pour le cas échéant
		Vérin d'éjection, commandé par le distributeur BQ, excité par le solénoïde S63 avec fermeture du fin de course FC63	Transformer l'énergie hydraulique en énergie mécanique	Fuite d'huile entre les deux chambres du vérin	Fatigue des joints du piston	Mauvais rendement	3	1	2	6	Changer les joints du piston	
				Pas de mouvement, ou mouvement trop lent	Vérin bouché, débit insuffisant(fuite au niveau du joint)	Blocage de l'éjecteur ou mouvement trop lent	3	1	2	6	Changer les joints du vérin	
		Colonne de guidage	Permet la translation de la partie mobile du moule	Perte de performance	Manque de graissage	Blocage du moule	2	1	2	4	Graisser le guidage du plateau porte moule,graisser le chariot de guidage	

Tableau IV-10 : Fiche AMDEC de l'unité de fermeture

IV-5-7 Analyse AMDEC de l'armoire électrique

La fiche AMDEC de l'armoire électrique est représentée ci-dessous.

Fonction	Ensembles	Element	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Criticité				Actions envisagées
							G	F	D	C	
Protéger les dispositifs électriques et distribuer le courant vers différents appareillages et systèmes branchés sur le réseau électrique	Ventilateur de l'armoire de commande	Filtre du ventilateur	Protéger le ventilateur	Colmatage du filtre	Poussière dans l'air	Dysfonctionnement ou arrêt des composants électriques du à l'augmentation de la température(Arrêt de production)	4	1	2	8	Nettoyer le filtre de l'armoire de commande, changer si nécessaire
	Cables		Transmission d'électricité	Débranchement ou échauffement	Surtension,surintensité	Pas de transmission d'électricité	1	1	2	2	

Tableau IV-11 : Fiche AMDEC de l'armoire électrique

IV-6 Résultats de l'étude

A partir des fiches AMDEC pour les différents blocs fonctionnels de la presse TRIULZI, nous avons pu hiérarchiser les causes des défaillances pertinentes selon leurs criticités. Nous remarquons, sur ce type de presse à injection, une amplification de la dangerosité des défaillances du au critère de non-détection élevé. Notamment, les résultats obtenus montrent une dangerosité maximale pour les colliers chauffants.

En effet, nous avons fixé le seuil de criticité supérieur ou égal à 6, au-delà duquel nous caractérisons les défaillances dangereuses.

Une politique de maintenance en se basant sur les actions d'amélioration de l'analyse AMDEC est préconisée permettant la mise en œuvre d'un plan de maintenance préventive.

Le tableau ci-dessous représente le programme d'entretien préventif de la presse à injecter établi par le constructeur.

Actions	Désignation des travaux	Fréquence	Elec	méc/hydr	autre
A1	Vérification et serrage de tuyauterie d'huile de commande	Tous les jours		X	
	Contrôle niveau et température d'huile				
	Contrôle de circulation d'eau de refroidissement			X	
	Contrôle de la pression d'exercice de l'installation				
A2	Vérification de toutes fonctions et organes mécaniques et hydrauliques	Une fois par 3 mois		X	
	Vérifier les éléments hydrauliques: distributeurs, vérins hydrauliques, vannes de pression				
	Serrage des vis et plus particulièrement de celles relatives aux brides maintenant les joints hydrauliques				
	Nettoyage du filtre d'aspiration d'huile				
A3	Nettoyage du réservoir et circuit hydraulique	Une fois par an		X	
	Vidange et changement d'huile hydraulique				
	Contrôle de l'usure des colonnes et de la vis, réglage éventuel des jeux				
A4	Vérification de toutes fonctions et organes électriques	Une fois par 3 mois	X		
	Vérifier les colliers chauffants				
	Vérifier le serrage des connexions dans éléments électrique: bouton poussoir, commutateurs, bobines, fin de course, contacteurs, temporisateurs				
	Nettoyage de l'armoire électrique				
A5	Nettoyage général de la machine	Une fois par an			X

Tableau IV-12 : Programme d'entretien préventif de la presse à injecter

IV-7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décomposé la presse d'injection plastique de marque TRIULZI afin de nous arrêter sur chaque élément pour déterminer les modes de défaillance, leurs causes et leurs effets, leurs criticités et les actions à engager en guise de remèdes. Nous avons conclu avec un tableau de contrôle et d'entretien périodique de la machine d'injection moulage.

Conclusion Générale

Ce travail a pour objectifs d'étudier et d'identifier les dysfonctionnements et les modes de défaillances d'une presse à injection plastique de marque TRIULZI par la méthode AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticités). Le travail a été réalisé au sein de l'entreprise SISCOPLAST spécialisée dans le domaine de la fabrication et le moulage plastique.

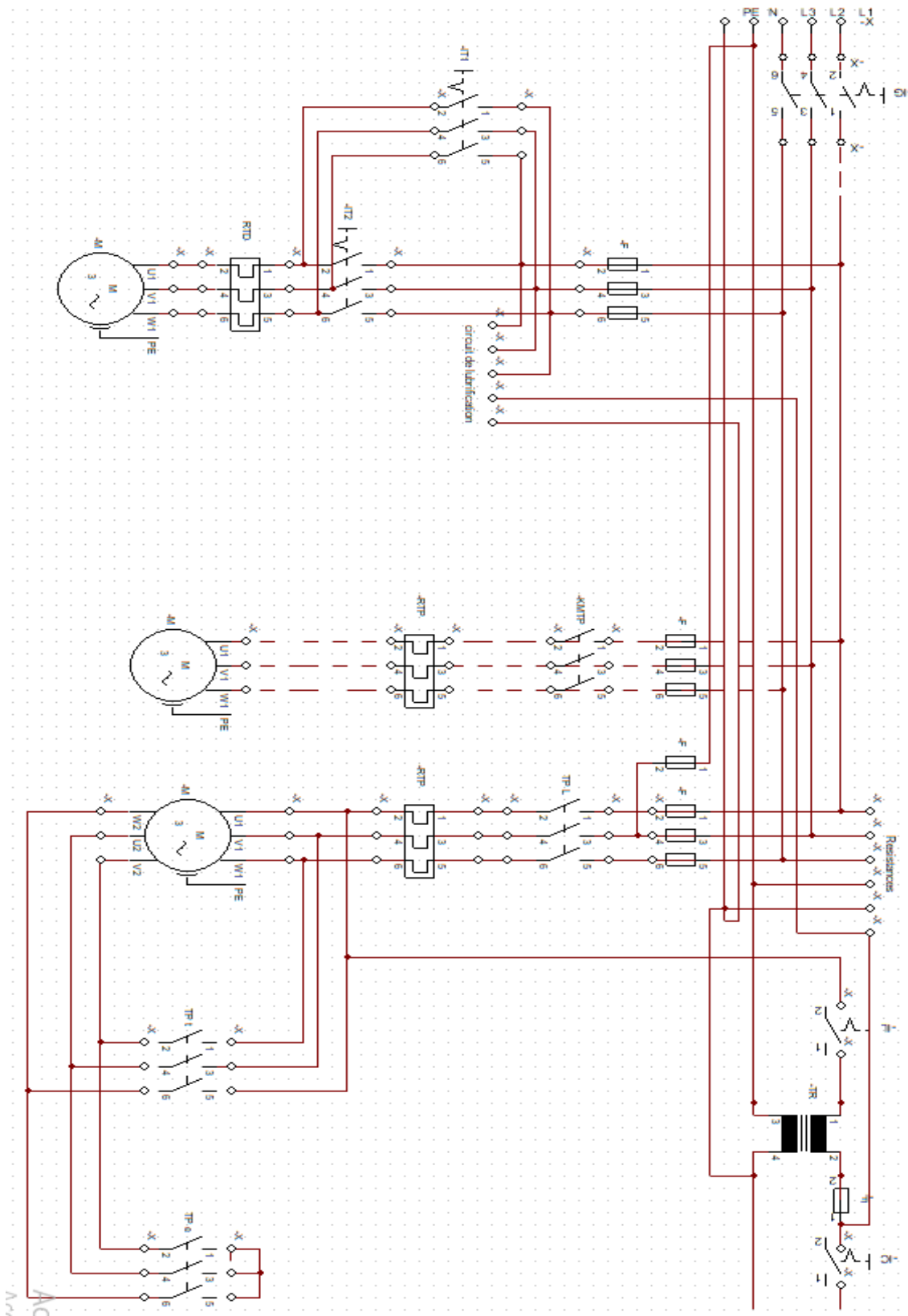
Dans un premier temps, nous avons rappelé la rhéologie des fluides afin de comprendre le comportement des polymères lors du moulage.

Dans un second temps, nous avons présenté le principe de fonctionnement de la presse à injection tout en citant les différents éléments la constituant afin de mieux diagnostiquer les problèmes liées à sa panne.

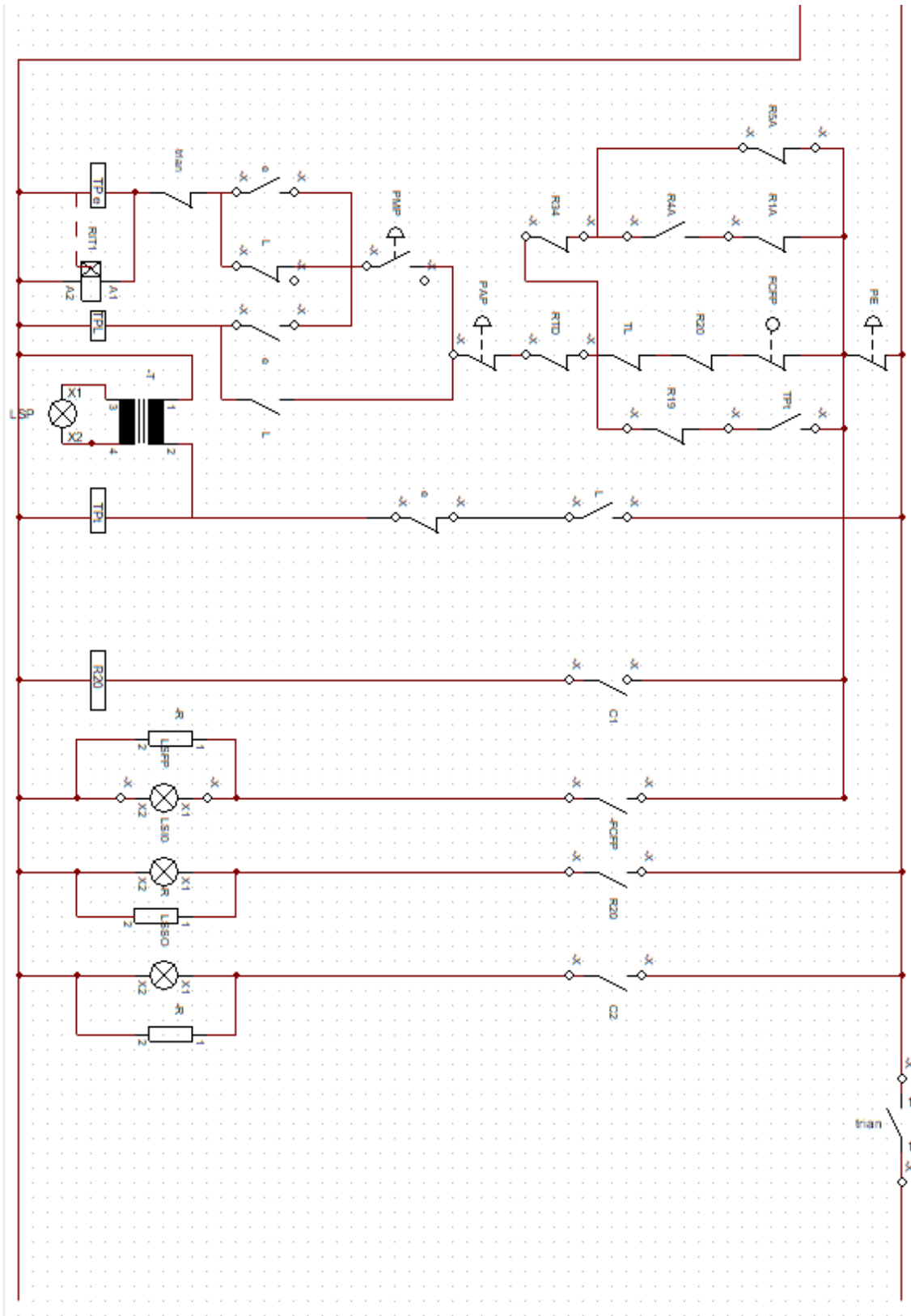
L'application de l'analyse AMDEC pour l'étude d'une presse à injection, a permis de mettre en évidence les modes, les causes et les effets des défaillances de cette machine. Ainsi, pour diminuer le niveau de criticité des actions correctives et préventives sont à entretenir dans le but de dresser un plan d'actions détaillé pour les défaillances les plus critiques car tout dysfonctionnement peut entraîner des conséquences graves sur l'environnement, la santé des personnes, les vies humaines, l'arrêt de production, la non conformités des produits, pertes financières,...

En conclusion, La réalisation de mon projet de fin d'études au sein de SISCOPLAST a été d'un apport important car il m'a permis d'avoir une idée précise sur le domaine de l'injection plastique.

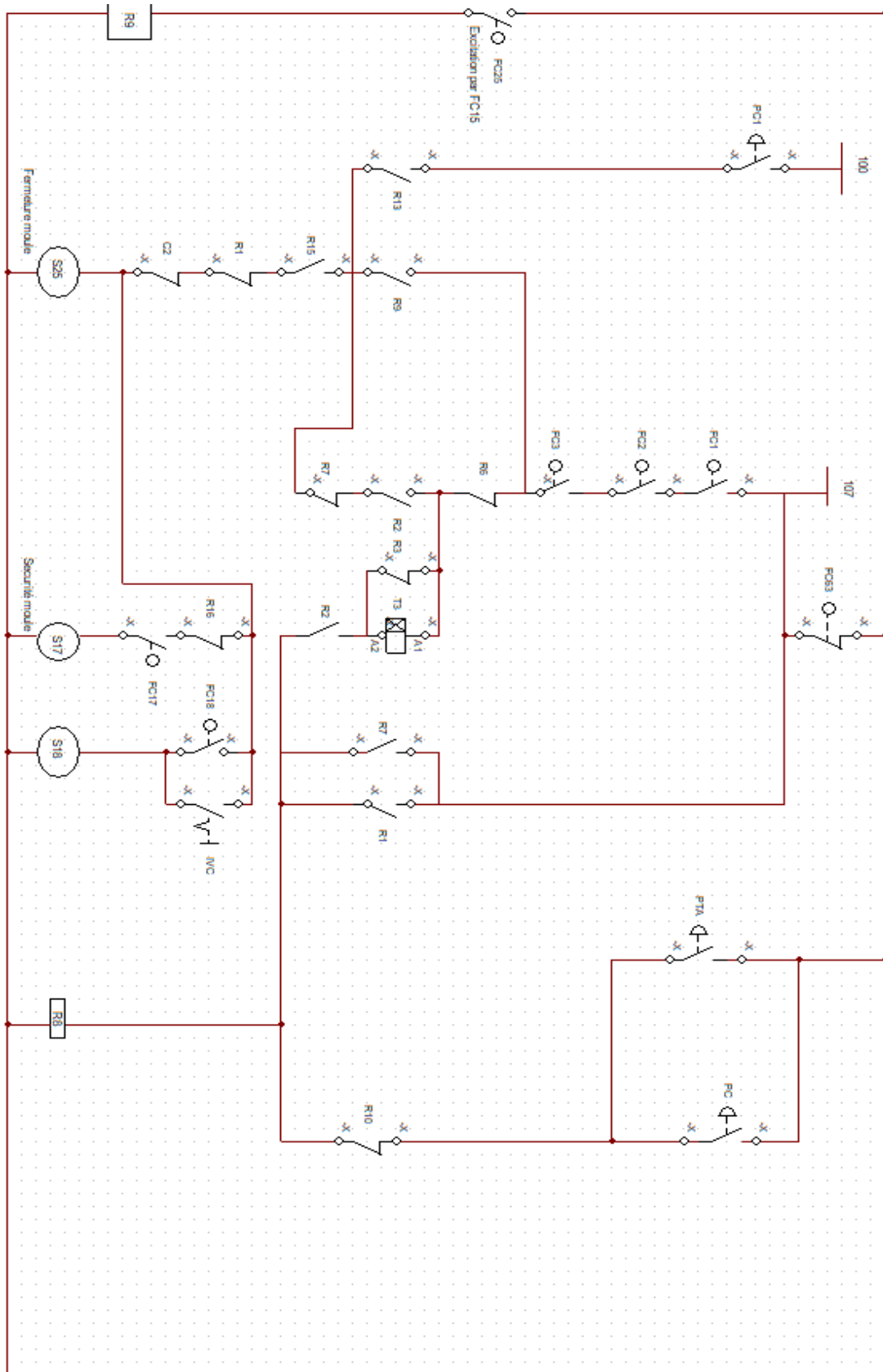
Annexe 1



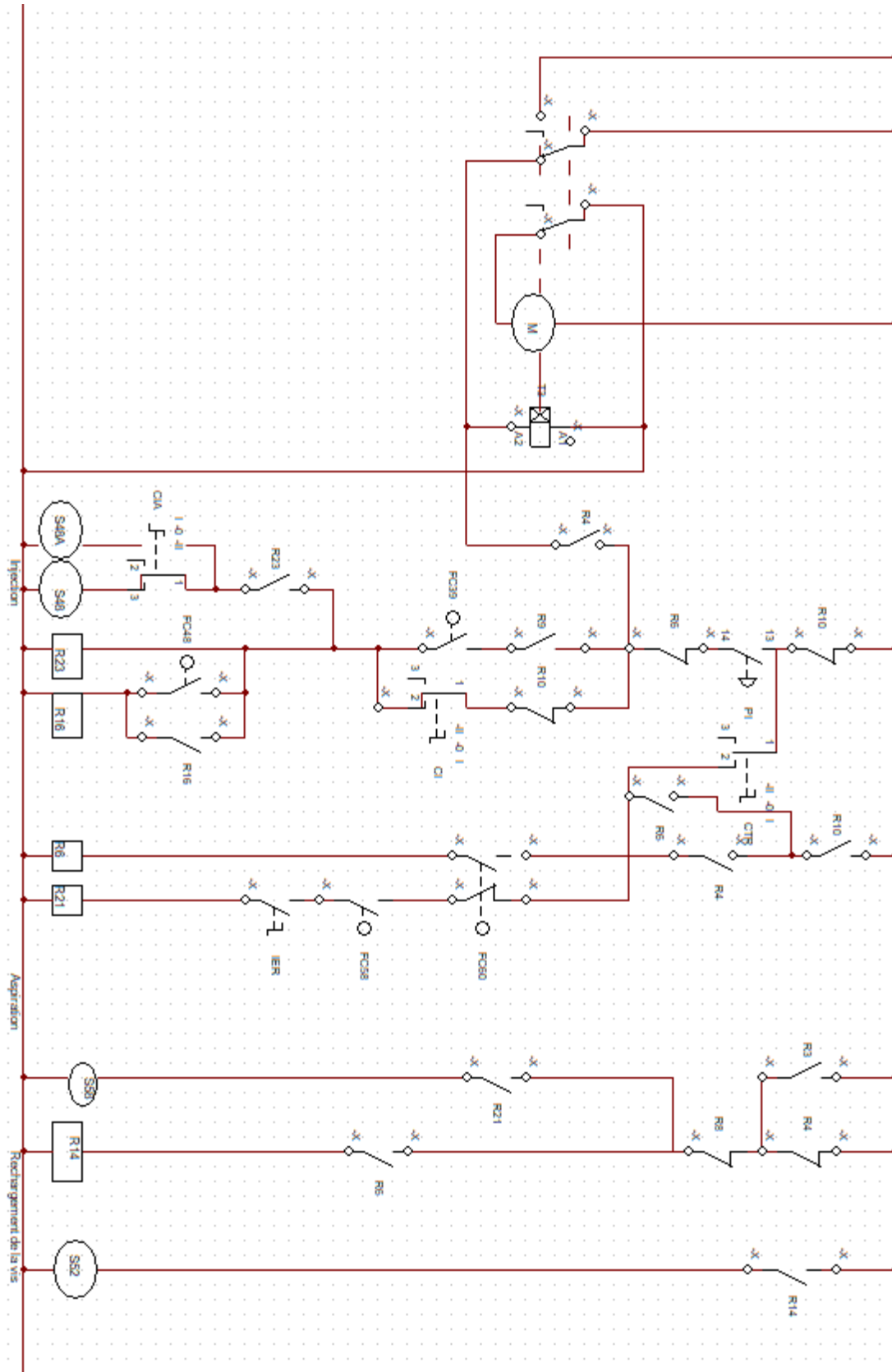
Annexe 3



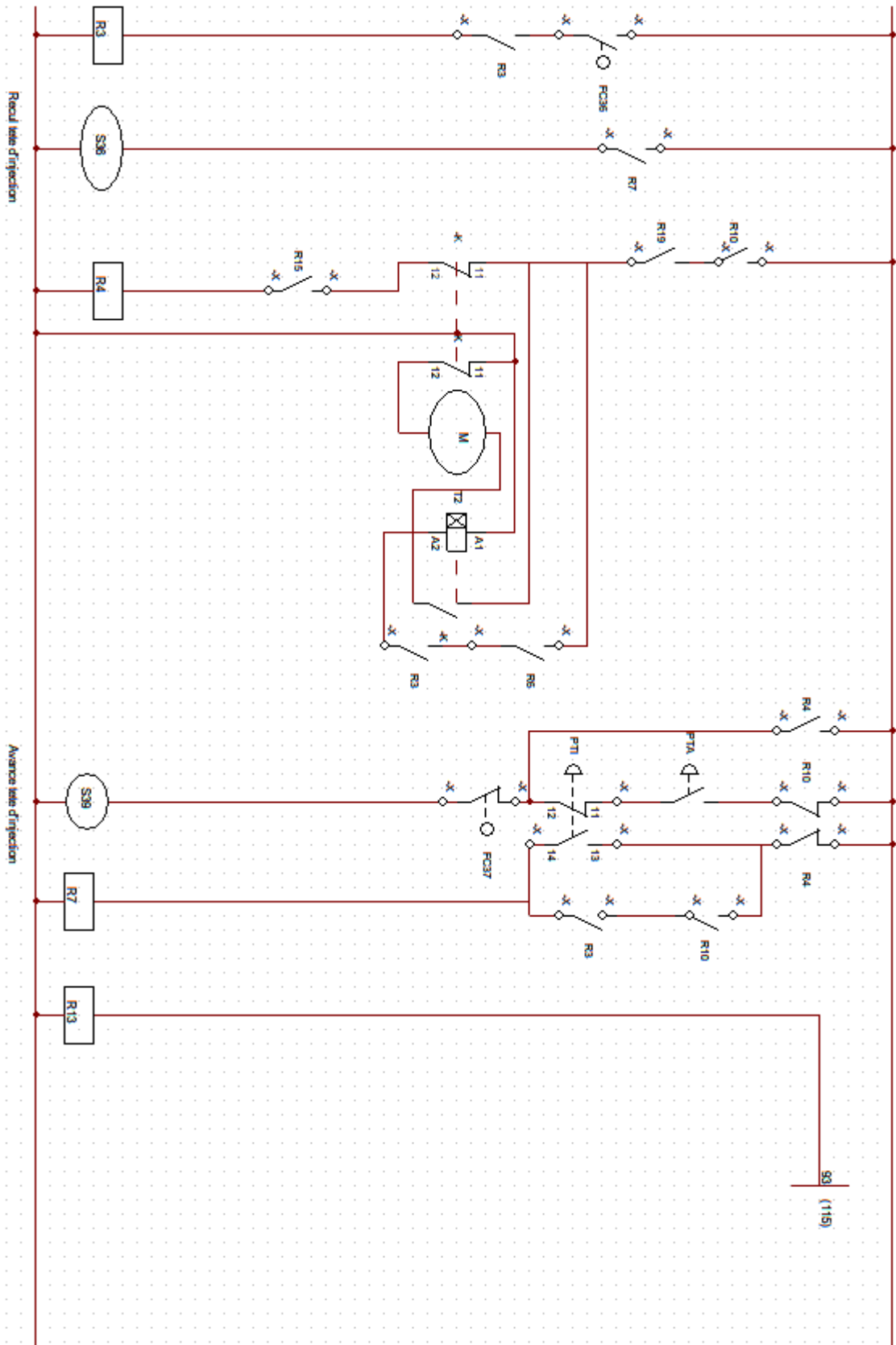
Annexe 4



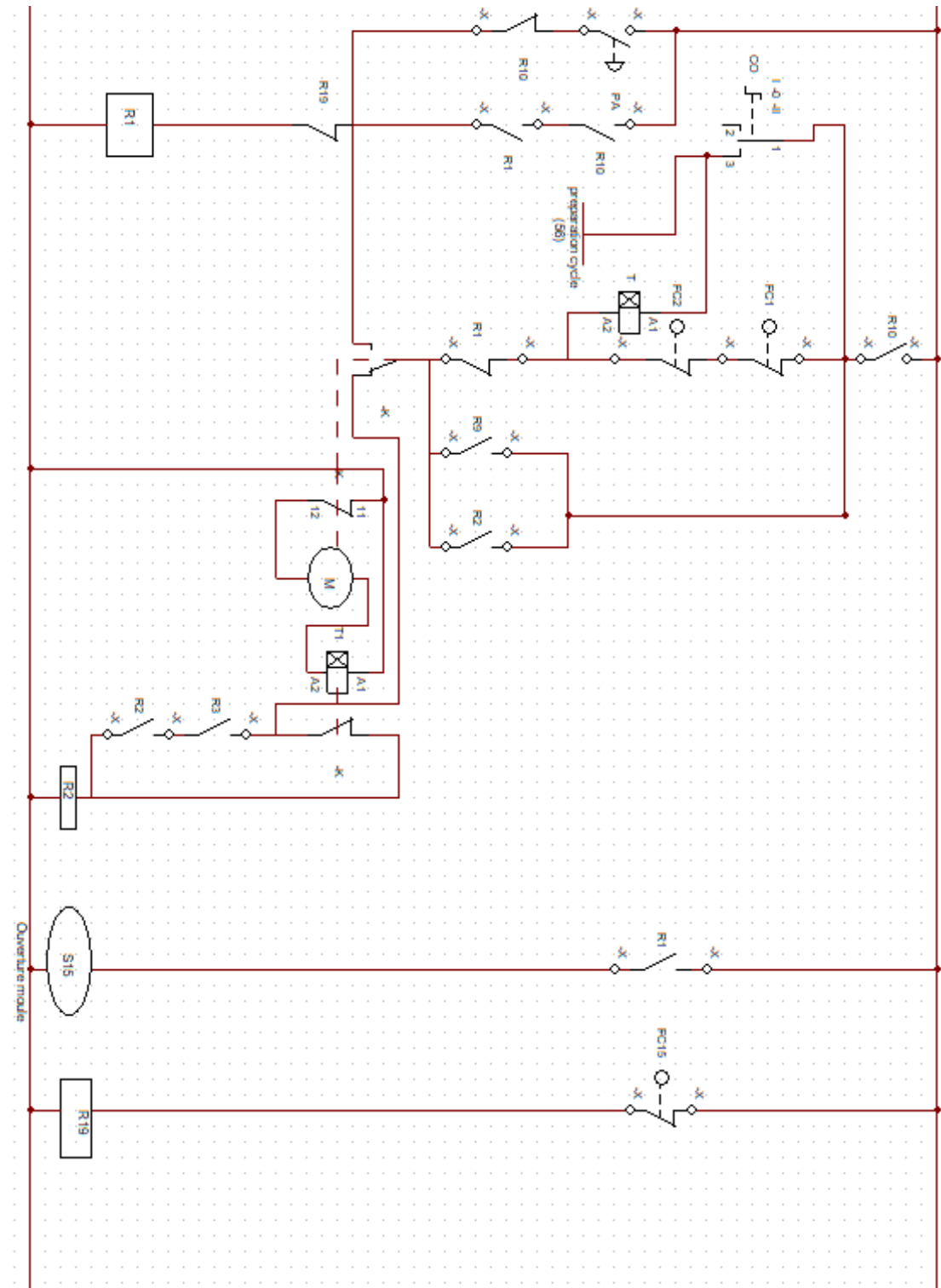
Annexe 5



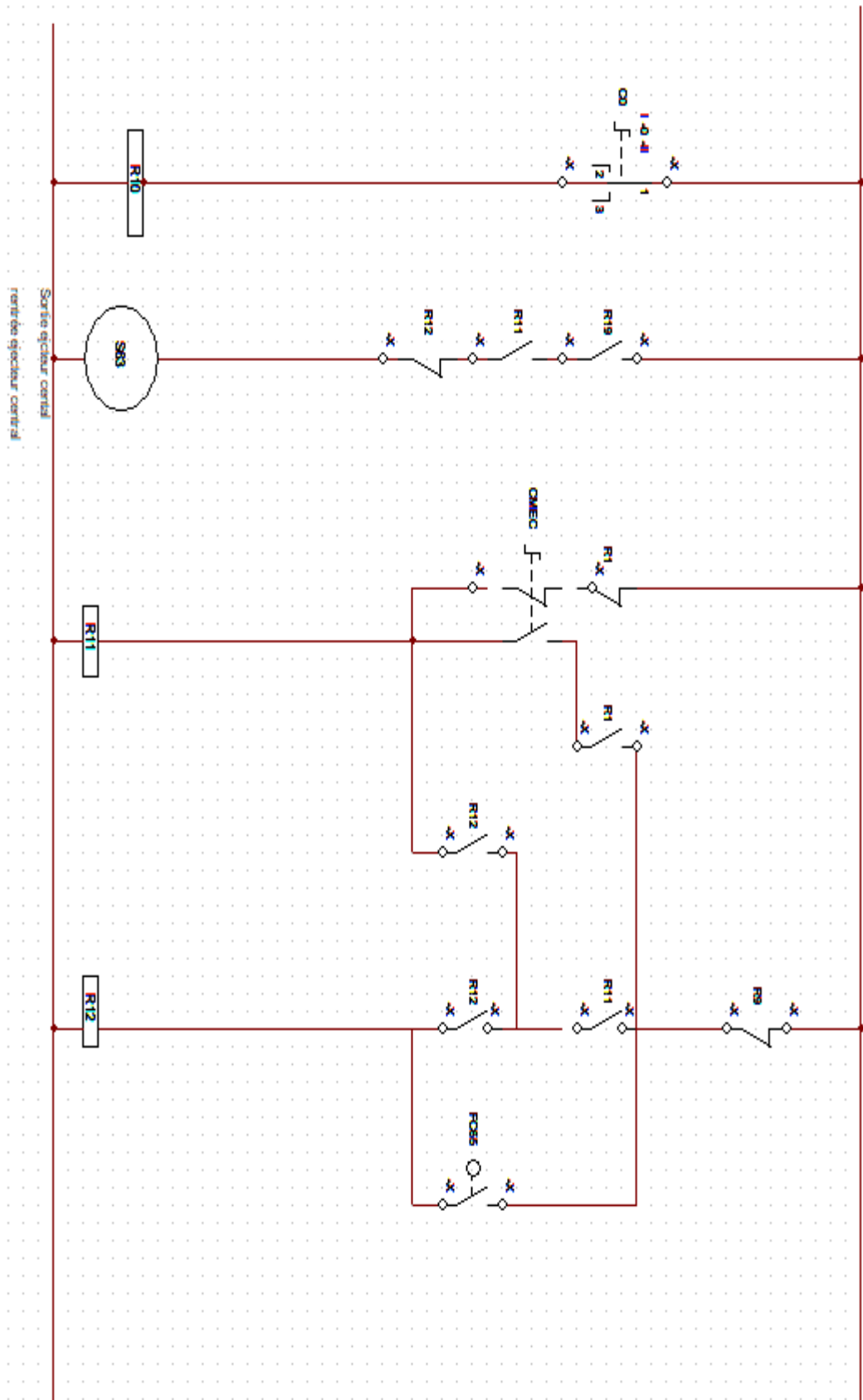
Annexe 6



Annexe 7



Annexe 8



Références bibliographiques

- [01] **Jean BOST** Matière plastique : Edition : Tec & Doc, (I ET II).
- [02] **Marc CARREGA** Aide-mémoire Matières plastiques 2e édition.
- [03] **VARL/** Cours sur les matériaux plastiques : Structure et Propriétés des Polymères.
- [04] **EHRENSTEIN, G.W., MONTAGNE F,** Matériaux polymères. Structure, propriétés et applications, Hermès, Paris (2000).
- [05] **J. P. Trotignon, J. Verdu, A. Dobraczyski, M. Dipchand,** Matière plastique, Structures Propriétés, Mise en œuvre, Normalisation. Edition Nathan.
- [06] **Maurise Reyne,** Traité des plastiques, les plastiques, transformation et application, 2ème édition, revue et augmenté. 1992
- [07] **HAMMAMI.T et LOUATI** Cours de PMF des Matières plastiques
- [08] **Benoît WATREMETZ,** « modèle thermomécanique 3D d'un matériau a gradient de propriétés a l'aide de techniques multi grilles. Application aux moules d'injection de polymères ». Thèse doctorat institut national des sciences appliquées de Lyon, 2006.
- [9] **MIDOUX.N.** « Mécanique et rhéologie des fluides ». Technique et Documentation, Lavoisier (1993).
- [10] **R. I. TANNER** Engineering rheology Oxford Science Publications, 1992.
- [11] **C. I. ROHN** Analytical polymer rheology Hanser, New-York, 1995.
- [12]. **HANS-HENNING.K; NICOLE.H et CHRISTOPHER.J.P,** « Matériaux Polymères : Propriétés Mécaniques et Physiques ». Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lyon (2001).
- [13] **J. M. PIAU et J. F. AGASSANT** Rheology for polymer melt processing Elsevier, 1996.
- [14] **I. M. WARD** Mechanical properties of solid polymers John Wiley and sons, London 1971.
- [15] **J. D. FERRY** Viscoelastic properties of polymers John Wiley Eds NewYork, 1980.
- [16] **M. CARREGA** Les polymères de la molécule à l'objet EDP Sciences 1980.
- [17] **E. GUAZZELLI** Rhéologie des fluides complexes Ecole d'ingénieur, archives-ouvertes.fr, 2017.
- [18] **Cyril PUJOS,** « Estimation de la rhéologie d'un polymère dans une filière d'extrusion Simulation d'écoulement avec transferts thermiques et Inversion de mesures », L'université Bordeaux école doctorale de sciences physiques et de l'ingénieur, Thèse de Doctorat, (2006).
- [19] **D.V. Bogeret K. Walters** Rheological phenomena in focus Elsevier Amsterdam 1993.

- [20] **Maël Moguedet.** « Développement d'un outil d'aide à la conception et au fonctionnement d'un ensemble vis/fourreau industriel - Application à l'injection des thermoplastiques chargés fibres de verre longues » Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (2005).
- [21] **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
- [22] **RICHARDSON et LOKENSGARD** « Industrial Plastics, Theory and Applications; Third Edition; Delmar Publishers Inc»; Albany, NY, USA; 1997
- [23] **Bernie A.Olmsted, Mrtin E.Davis** « Practical injection Molding », PLASTICS ENGINEERING Éditeur fondateur Donald E. Hudgin Professeur Clemson University Clemson, Caroline du Sud
- [24] **Melle DJENDER Melha, Melle CHOUALI Sabrina** « Etude et conception d'un moule »
- [25] **Jean-francois Pichon , Christophe Guichou** « Aide-mémoire INJECTION DES MATIÈRES PLASTIQUES »
- [26] **Laszlo MUZSNAY**, Technique de l'ingénieur «Injection des thermoplastiques : les presses» Doc (A 3690)
- [27] **E. Zaidi, et B. Mani** «Commande par Automate Programmable Industriel d'une Presse D'injection Horizontale Marque HAITIAN Type SA8000 II : Analyse et Programmation» Mémoire Master Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi Bordj Bou Arreridj, 2016.
- [28] **R.Nunn** « The reciprocating screws process », injection Molding Handbook, 1986
- [29] **GHOUL .S GLAIED .T** Etude et conception d'un moule d'injection pour cheville /Institut Supérieur des Sciences Appliquées et de Technologie de Sousse promotion 2012
- [30] **Gérard LANDY** AMDEC guide pratique, 2ème édition AFNOR, 2006.
- [31] **LAZLO MUSZNAY** les presses, 10 mai 1993