



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique  
Université de Tissemsilt



Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département des Sciences et de la Technologie

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme  
de master académique en

Filière : **Génie mécanique**

Spécialité : **Fabrication mécanique et productique**

Présentée par : **DELLAL HAMID**

*Thème*

---

## **Procédés de fabrication des pièces par injection plastiques**

---

Soutenu le, 23/10/2023

**Devant le Jury :**

HAMDI Amine	Président	M.C.A.	Univ-Tissemsilt
EL HANNANI Abdelhak	Encadreur	Prof.	Univ-Tissemsilt
TALEB BEN DIAB Hicham	Examinatrice	M.C.B.	Univ-Tissemsilt

**Année universitaire : 2022-2023**

# *Remerciements*

Tout d'abord, je tiens à remercier mes encadrants:

**Dr EL HANNANI ABDELHAK**

Pour avoir accepté la direction de mon travail,

et je remercie

**Dr Harchouche Zineelabidineet et Dr Nassira Cheriet**

de m'avoir aidé en plus de leurs conseils, instructions et observations, afin de mener

à bien ce travail.

Mes remerciements à ma famille, frère et sœurs.

Sans oublier mes chers parents pour leur soutien moral, leur attention et leurs

conseils, votre récompense sera la réalisation de ce travail.

Je remercie également toutes les personnes qui m'ont beaucoup aidé de près

ou de loin dans la réalisation de cette humble recherche, amis, collègues, famille.

Mes sincères remerciements aux membres du jury , de discussion pour avoir accepté

De lire et d'évaluer ce modeste travail.

**Merci à tous.**

## ***Dédicace***

*Je dédie ce modeste travail à mes chers  
parents comme récompense de leur effort et leur  
soutien,*

*A mes frères et sœurs,*

*A promotion de FMP 2022/2023,*

*À Mes amis, mes camarades.*

***HAMID DELLAL***

# Sommaire

**Introduction Générale..... Erreur ! Signet non défini.**

## **Chapitre I: Généralité sur les matières plastique**

I.1. Introduction:.....	2
I.2. Les Plastiques.....	4
I.3. Les polymères .....	4
I.3.1. Définition d'un polymère.....	5
I.3.2. Classification.....	5
I.3.3. Structure .....	6
I.3.4. Les différentes familles de plastique.....	7
I.3.4.1. Thermoplastiques .....	7
I.3.4.1.1. Polymères amorphes .....	7
I.3.4.1.2. Polymères cristallins .....	8
I.3.4.1.3. Polymères semi-cristallins .....	8
I.3.4.1.4. Avantages et désavantages des thermoplastiques .....	9
I.3.4.2. Thermodurcissables .....	9
I.3.4.3. Les élastomères : .....	10
I.3.5. Les différents états des polymères .....	11
I.5. Propriétés des matières plastiques : .....	11
I.5.1. La Légèreté: .....	12
I.5.2. La résistance mécanique: .....	12
I.5.3. La transparence .....	12
I.5.4. L'inaltérabilité .....	12
I.5.5. L'esthétique .....	12
I.5.6. L'isolation.....	12
I.5.7. L'imperméabilité .....	13
I.5.8. La glisse .....	13
I.5.9. L'entretien .....	13
I.5.10. L'asepsie naturelle.....	13
I.6. Les caractéristiques des polymères synthétiques les plus utilisés .....	14
I.6.1. Le Polypropylène (PP).....	14
I.6.2. Le Polyéthylène (PE bd) .....	14

I.7. Coloration des matières plastiques : .....	15
I.7.1. Colorant à sec.....	15
I.7.2. Colorants dans la masse .....	16
I.8. Recyclage :.....	17
I.9. Propriétés mécaniques: .....	18
I.10. Les applications du plastique : .....	18
I.11. Conclusion : .....	19

## **Chapitre II: Les procédures de production par injection thermoplastique**

II.1. Introduction .....	20
II.2. Procédure d'injection plastique .....	21
II.2.1. Définition.....	21
II.2.2. Principe de l'injection plastique .....	21
II.3. Procédure d'injection plastique .....	21
II.3. Déroulement du cycle d'injection.....	21
II.4. Les Phases de moulage par injection .....	22
II.4.1. La phase de plastification .....	22
II.4.2. Phase de remplissage .....	22
II.4.3. La phase de compactage .....	23
II.4.4. La phase de refroidissement et d'éjection .....	24
II.4.5. La phase d'éjection.....	25
II.5. La Presse à injection .....	25
II.5.1. Structure de presse d'injection.....	25
II.5.2. Caractéristiques des presses: .....	27
II.5.3. Les différentes parties d'une presse à injection.....	27
II.5.3.1. Unité d'injection.....	27
II.5.3.2. Unité de verrouillage.....	27
II.6. Différents types des presses d'injection plastique.....	28
II.6.1. Presse à injection plastique horizontale.....	28
II.6.2. Presse à injection plastique verticale.....	28
II.7. Sécurité des presses à injecter.....	29
II.7.1. Robot et extracteur.....	31
II.8. Les Composants de la machine: .....	31
II.8.1. Le bâti .....	32
II.8.2. L'unité de plastification/injection.....	32
II.8.3. L'unité d'injection .....	33

II.8.4. Les vis d'injection .....	33
II.8.5. Tracé de la vis.....	34
II.8.6. Les différentes phases de transformation de polymère dans le système vis-fourreau	36
II.8.7. La Buse.....	37
II.8.7.1. Calcul des buses des presse d'injection .....	38
II.8.8. Seuil .....	39
II.8.9. Les colliers chauffants et les barres de fixation .....	39
II.8.10. Le moule .....	40
II.8.10.1. définition.....	40
II.8.10.2. Structure d'un moule .....	40
II.8.10.3. Refroidissement des moules .....	41
II.8.10.4. L'unité de fermeture .....	42
II.9. Conclusion : .....	44

### **Chapitre III : Simulation de l'outillage sur SolidWorks**

III.1. Introduction .....	45
III.2. Organigramme de simulation de l'injection plastique sur SolidWorks .....	46
III.2.1. Création un modèle de la pièce en plastique .....	46
III.2.2. Accéder à l'environnement de Simulation.....	46
III.2.3. Préparation du modèle pour la simulation.....	46
III.2.4. Configuration des paramètres de la simulation .....	46
III.2.5. Réalisation de la simulation .....	47
III.2.6. Analyses des résultats.....	47
III.2.7. Apportage des modifications.....	47
III.2.8. Optimisation de la conception.....	47
III.2.9. Finalisation de l'organigramme .....	47
III.3. Conception en 3D de la pièce moulée .....	47
III.4. Conception des parties fixe et mobile.....	49
III.5. Modèle 3D maillage associé .....	50
III.6. Le point d'injection .....	51
III.7. Données de la simulation .....	52
III.7.1. Polymère 1: NYLO N .....	52
III.7.1.1. Définition .....	52
III.7.1.2. Les caractéristique .....	52
III.7.2. Polymère 2 : Poly Téréphtalate de butylène (PBT).....	53

III.7.2.1.Définition.....	53
III.7.2.2.Les caractéristique.....	53
III.8..Conditions de la simulation.....	54
III.8.1.Polymère 1 : NYLO N .....	54
III.8.1.2.Conditions du processus.....	54
III.8.1.3.Conditions de Refroidissement .....	55
III.8.2.2.Conditions du processus.....	55
III.8.2.3.Conditions de Refroidissement .....	55
III.9.Résultats de la simulation et discussion .....	56
III.9.1.Effet de la viscosité (Nylon).....	56
III.9.2. Effet du volume spécifique de Nylon.....	56
III.9.3. Effet de la viscosité (PBT) .....	57
III.9.4. Effet du volume spécifique(PBT).....	58
III.9.5.Etude comparative du temps de remplissage.....	59
III.9.6.Etude comparative de la pression en fin remplissage.....	60
III.9.7.Etude comparative de la température centrale en fin remplissage.....	61
III.9.8.Etude comparative de la température moyenne en fin remplissage.....	62
III.9.9.Etude comparative des contraintes de cisaillement en fin remplissage.....	63
III.9.10.Etude comparative du taux de cisaillement en fin remplissage.....	64
III.9.11.Etude comparative de la pression d'entrée max en fin remplissage.....	65
III.9.12.Etude comparative de la force de fermeture X en fin remplissage.....	66
III.9.13.Etude comparative de la force de fermeture Y en fin remplissage.....	67
III.9.14.Etude comparative de la force de fermeture Z en fin remplissage.....	72
Conclusion.....	69
<b>Conclusion Générale .....</b>	<b>74</b>

## Liste des figures

---

### Chapitre I

- Figure I.1:** Domaines d'application des plastiques
- Figure I.2:** Les plastiques ou matériaux polymères
- Figure I.3:** Polymère linéaire
- Figure I.4:** Polymère branchée
- Figure I.5:** Polymère réseau
- Figure I.6:** Morphologie des thermoplastiques
- Figure I.7:** États des polymères
- Figure I.8:** Répartition des marchés de la plasturgie

### Chapitre II

- Figure II.1:** cycle d'injection
- Figure II.2:** phase de plastification
- Figure II.3:** phase de remplissage
- Figure II.4:** phase de compactage
- Figure II.5:** phase de refroidissement et d'éjection
- Figure II.6:** Presse à injecter les thermoplastiques
- Figure II.7:** La structure de presse d'injection
- Figure II.8:** Unité d'injection
- Figure II.9:** L'unité de verrouillage
- Figure II.10:** Presse à injection plastique horizontal
- Figure II.11:** Presse injection verticale
- Figure II.12:** Zoom du moule d'une presse à injection
- Figure II.13:** (A) Robot multi-axes
- Figure II.14:** L'unité de plastification.
- Figure II.15:** unité d'injection
- Figure II.16:** vis de plastification
- Figure II.16:** Schéma d'une mono-vis avec trois zones
- Figure II.17:** les différentes phases de transformation de polymère dans le système vis-fourreau
- Figure II.18:** La buse.
- Figure II.19:** différents types des buses d'injection
- Figure II.20:** Seuil d'injection
- Figure II.21:** Collier chauffants
- Figure II.22:** Présentation du moule
- Figure II.23:** Temps de refroidissement dans le moulage par injection des thermoplastiques
- Figure II.24:** Groupe de fermeture à genouillères
- Figure II.25:** Groupe de fermeture à verrouillage hydraulique
- Figure II.26:** Groupe de fermeture mixte

### Chapitre III

- Figure III.1:** vue perspective de moulage
- Figure III.2:** dimensions de la pièce moulée-pignon

## Liste des figures

---

- Figure III.3:**géométrie et dimensions globale de la pièce moulée-pignon
- Figure III.4:**Partie du moule bridée sur le plateau fixe de la presse
- Figure III.5:**Partie du moule bridée sur le plateau mobile qui se déplace pour l'ouverture
- Figure III.6:**Modèle 3D maillé
- Figure III.7:**Une partie zoomée
- Figure III.8:**Une partie zoomée
- Figure III.9:**Viscosité du NYLON en fonction du taux de cisaillement
- Figure III.10:**Volume spécifique du Nylon en fonction de la température
- Figure III.11:**Viscosité du PBT en fonction du taux de cisaillement
- Figure III.12:**Volume spécifique du PBT en fonction de la température
- Figure III.13:** Remplissage de matériau Nylon
- Figure III.14:** Remplissage de matériau PBT
- Figure III.15:**pression en fin remplissage NYLON
- Figure III.16:**pression en fin remplissage PBT
- Figure III.17:**température centrale en fin remplissage NYLON
- Figure III.18:**température centrale en fin remplissage PBT
- Figure III.20:**Température moyenne en fin remplissage PBT
- Figure III.19:**Température moyenne en fin remplissage NYLON
- Figure III.21:**Contrainte de cisaillement en fin remplissage NYLON
- Figure III.22:**Contrainte de cisaillement en fin remplissage BPT
- Figure III.23:**taux de cisaillement en fin remplissage NYLON
- Figure III.24:**taux de cisaillement en fin remplissage PBT
- Figure III.25:**pression d'entrée en fonction du temps- nylon
- Figure III.26:**pression d'entrée en fonction du temps- PBT
- Figure III.27:**force de fermeture X en fin remplissage en fonction du temps - nylon
- Figure III.28:**force de fermeture X en fin remplissage en fonction du temps - PBT
- Figure III.29:**force de fermeture Y en fin remplissage en fonction du temps - nylon
- Figure III.30:**force de fermeture Y en fin remplissage en fonction du temps - PBT
- Figure III.31:**force de fermeture Z en fin remplissage en fonction du temps - nylon
- Figure III.32:**force de fermeture Z en fin remplissage en fonction du temps - PBT

## Liste des tableaux

---

### **Chapitre I**

**Tableau I.1:**Date de commercialisation des principaux plastiques Et exemples d'applications

**Tableau I.2:**Avantages et inconvénients des thermoplastiques

**Tableau I.3:**Avantages et inconvénients des thermodurcissables

**Tableau I.4:**Propriétés mécaniques et thermiques du PP

**Tableau I.5:**Propriétés mécaniques et thermiques du PE bd

**Tableau I.6:**Caractéristiques mécaniques

### **Chapitre II**

**Tableau II.1:**Phénomènes dangereux et dommages possibles

**Tableau II.2:**Phénomènes dangereux et dommages possibles

### **Chapitre III**

**Tableau III.1:**La caractéristique de NYLON

**Tableau III.2:**Caractéristiques du PBT

## LISTE DES ABREVIATIONS ET DES SYMBOLES

---

1. **PS** : Polyester
2. **PE** : polyéthylène
3. **PVC**: polyvinyl chloride
4. **PP** : PolyPropylène
5. **PBT**: Poly Téréphtalate de butylène
6. **TF**: Température du Fusion
7. **TM**: Température du moule
8. **TI**: Température d'injection
9. **TR**: temps de remplissage
10. **TPM**: Température Principal de matériaux de fusion
11. **PI**: Pression d'Injecter
12. **DI**: Débit d'Injecter
13. **DR** : Débit au début de remplissage
14. **C**: Conductivité
15. **TR**: Temps de refroidissement
16. **V**: Volume
17. **S**: Surface
18. **P**: pression
19. **T**: température

### Résumé

Le monde industriel est en perpétuelle évolution et en quête obsessionnelle de la perfection. L'injection thermoplastique fait partie intégrante et indissociable de l'industrie moderne et Actuellement l'un des procédés les plus utilisés pour le moulage des polymères. L'utilisation des polymères dans l'injection plastique ne cesse de croître, les technologies de prototypage rapide ont connu un grand développement.

Le moule d'injection pièces en plastique est l'un de ces outils qui nécessitent un soin particulier à la fois lors de sa conception et de sa fabrication. Des composants moulés par injection sont utilisés dans de nombreux produits manufacturés, notamment les automobiles, les électroménagers, le matériel informatique et le mobilier.

L'objectif du présent travail est de concevoir et de simulation rapide d'une presse à injection en plastique (les deux parties de moule fixe et mobile et différents organes), mais il est très important de bien décrire quelques paramètres importants comme la pression maximale d'entrée, le temps de remplissage, la viscosité du polymère, la température d'écoulement, le débit d'entrée...etc. qui sont des facteurs principaux d'intérêt pour avoir un remplissage complet des empreintes, le travail est réalisé A l'aide du logiciel SOLIDWORKS

**Mots clefs:** Injection thermoplastique, polymères, SOLIDWORKS

### ملخص

العالم الصناعي يتطور باستمرار ويسعى بشكل مهووس إلى الكمال. يعد حقن اللدائن الحرارية جزءًا لا يتجزأ من الصناعة الحديثة وهو حاليًا أحد أكثر العمليات استخدامًا لقولبة البوليمرات. يستمر استخدام البوليمرات في حقن البلاستيك في النمو، وقد شهدت تقنيات النماذج الأولية السريعة تطورًا كبيرًا. يعد قالب حقن الأجزاء البلاستيكية أحد تلك الأدوات التي تتطلب عناية خاصة أثناء تصميمها وتصنيعها. تُستخدم المكونات المقولبة بالحقن في العديد من المنتجات المصنعة، بما في ذلك السيارات والأجهزة ومعدات الكمبيوتر والأثاث. الهدف من هذا العمل هو تصميم مكبس حقن البلاستيك ومحاكاته بسرعة (جزأين القالب الثابت والمتحرك والمكونات المختلفة)، ولكن من المهم جدًا وصف بعض المعلمات المهمة بشكل صحيح مثل الحد الأقصى لمدخل الضغط، ووقت التعبئة، والبوليمر اللزوجة، درجة حرارة التدفق، معدل تدفق المدخل ...

الخ. وهي العوامل الرئيسية التي تهتمك للحصول على ملء كامل للانطباعات، ويتم تنفيذ العمل باستخدام البرنامج

**الكلمات الدالة:** الحقن بالحرارة، والبوليمرات، والأشغال الصلبة

## Résumé

---

### Summary

The industrial world is constantly evolving and in obsessive quest for perfection. Thermoplastic injection is an integral and inseparable part of modern industry and currently one of the most used processes for molding polymers. The use of polymers in plastic injection continues to grow, rapid prototyping technologies have experienced great development. The plastic parts injection mold is one of those tools that requires special care both during its design and manufacturing. Injection molded components are used in many manufactured products, including automobiles, appliances, computer equipment and furniture. The objective of this work is to design and quickly simulate a plastic injection press (the two fixed and mobile mold parts and different components), but it is very important to properly describe some important parameters such as the maximum pressure input, filling time, polymer viscosity, flow temperature, inlet flow rate...etc. which are the main factors of interest to have a complete filling of the impressions, the work is carried out using the SOLIDWORKS software

**Keywords:** Thermoplastic injection, polymers, SOLIDWORKS

# *Introduction Générale*

## Introduction Générale

L'injection thermoplastique est l'un des procédés les plus utilisés pour former des polymères. Il est généralement utilisé pour la production de pièces mécaniques en plastique, d'appareils électroménagers, d'articles de sport, d'équipements médicaux spéciaux, etc. Parmi ses avantages, il rend le rythme de production rapide, à faible coût, à haute régularité et produit automatiquement des pièces énormes et des formes complexes.

Le processus d'injection thermoplastique consiste à remplir un polymère thermoplastique fondu dans une cavité appelée cavité à l'intérieur d'un moule. Lors du refroidissement, la pièce durcit lors du retrait :

Le volume occupé par la pièce durcie est inférieur au volume de la cavité, et ce phénomène est appelé retrait. Lorsque la solidification est terminée, le moule est ouvert et la pièce éjectée. L'objectif du présent travail est de concevoir et de simulation rapide d'une presse à injection en plastique (les deux parties de moule fixe et mobile et différents organes), mais il est très important de bien décrire quelques paramètres importants comme la pression maximale d'entrée, le temps de remplissage, la viscosité du polymère, la température d'écoulement, le débit d'entrée...etc. qui sont des facteurs principaux d'intérêt pour avoir un remplissage complet des empreintes, le travail est réalisé A l'aide du logiciel SOLIDWORKS

Pour atteindre cet objectif, ce mémoire de master est divisé en trois

Le premier chapitre est de fournir des informations générales sur les plastiques utilisés dans le moulage par injection

Dans le deuxième chapitre, la structure de la machine de moulage par injection et la conception du moule sont expliquées, ainsi que les paramètres d'exécution du moulage par injection.

Le troisième chapitre, nous étudions le processus de production de la pièce (pignon), qui est: des matières premières au produit final en utilisant deux matériaux différents et en les comparants. Notre étude se déroule principalement grâce au logiciel SOLIDWORKS

*Chapitre I:*  
*Généralité sur la matière*  
*plastique*

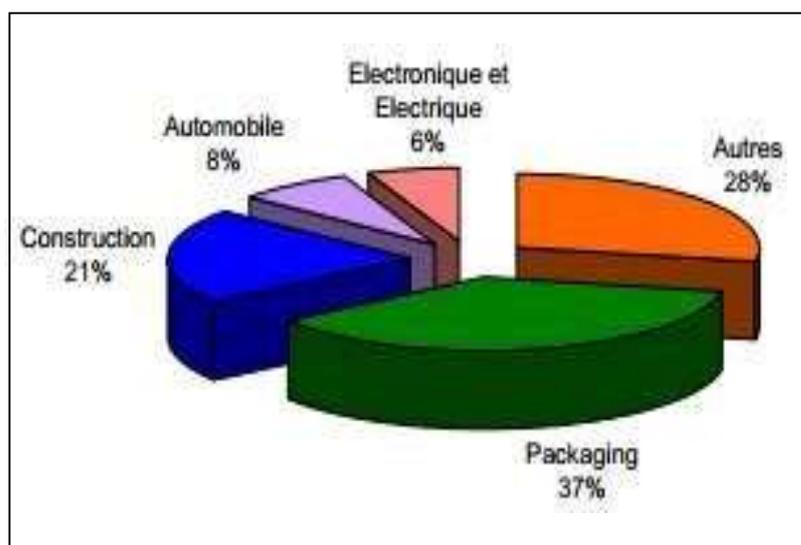
**I.1. Introduction:**

Le terme "plastique" peut être utilisé pour décrire de nombreux matériaux qui peuvent être façonnés et transformés, souvent associés à des concepts esthétiques, artistiques et de beauté. Cependant, il est rapidement et systématiquement associé au terme "matière plastique", qui fait référence aux premières synthèses de polymères d'origine végétale, puis à la polymérisation de syntones pour former le "plastique" tel que nous le connaissons aujourd'hui dans notre langage courant.

"Plastique" désigne une matière synthétique composée de macromolécules obtenues par polymérisation, pouvant être moulée ou modelée, bien qu'elle soit souvent rigide après fabrication. Depuis son introduction par Baekeland vers 1909, ce terme est couramment utilisé pour décrire cette nouvelle catégorie de matériaux organiques, caractérisés par leur excellente relation entre propriétés et poids, ainsi que leurs propriétés et leur coût avantageux. Au cours du XXe siècle, grâce aux avancées dans la synthèse organique et l'industrie pétrochimique en particulier, de nombreux plastiques ont été commercialisés (voir Tableau I.1). Leurs applications variées (voir Fig. I.1) les ont rendus omniprésents et indispensables dans les sociétés industrialisées, au point que leur production est devenue un indicateur économique de développement. La demande croissante des pays émergents soulève également des questions sur les ressources à l'échelle mondiale. Au début du XXIe siècle, les applications des plastiques continuent de croître, stimulant le développement de nouvelles technologies avancées dans le domaine de la plasturgie. Aucun autre matériau n'a connu une telle expansion en moins de 100 ans. [1]

Tableau(I.1): Date de commercialisation des principaux plastiques  
Et exemples d'applications. [1]

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



Figure(I.1): Domaines d'application des plastiques [1]

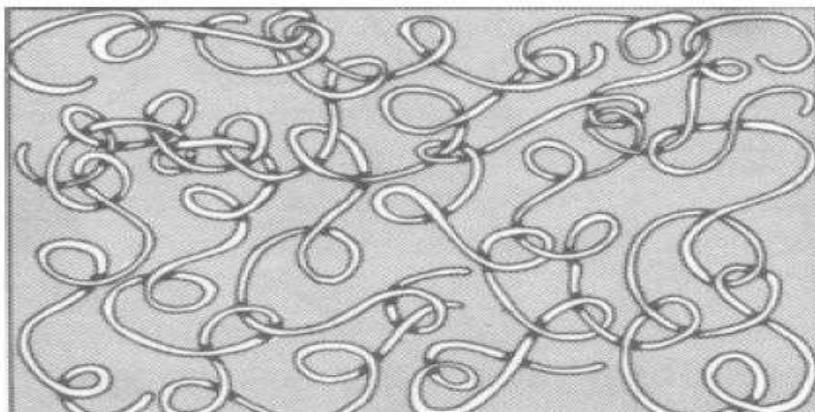
**I.2. Les Plastiques**

Un plastique est une composition complexe pouvant inclure plus d'une dizaine de composants. Le polymère, qui confère au plastique ses propriétés physicochimiques et son nom, est le constituant le plus important. La formulation d'un polymère consiste à ajouter des additifs en quantités variables, pour diverses raisons telles que :

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

**I.3. Les polymères**

Au cours des deux dernières décennies, la production d'emballages en plastique a connu une augmentation constante. Les polyoléfinés (PE, PP, etc.) sont les polymères les plus largement utilisés dans cette famille. Ce sont des matériaux synthétiques qui peuvent être facilement transformés pour obtenir des produits finis présentant différentes propriétés. Ils trouvent généralement des applications dans divers secteurs industriels et domestiques, tels que l'emballage alimentaire, les sacs poubelle, les films utilisés en agriculture, les canalisations d'eau, l'isolation des câbles électriques, etc.



**Figure I.2: Les plastiques ou matériaux polymères [2]**

**I.3.1. Définition d'un polymère**

Un polymère est une molécule de grande taille, qu'elle soit organique ou inorganique, composée de l'enchaînement répétitif d'un même motif appelé monomère (du grec "monos" signifiant "un seul" et "mérous" signifiant "partie"). Ces monomères sont reliés entre eux par des liaisons covalentes. Dans l'exemple de la macromolécule suivante... A-A-A-A-A-A-A... = [-A-], l'unité constitutive est A, qui se répète pour former une chaîne. À l'échelle moléculaire, qui est de l'ordre de quelques centaines de nanomètres, la plupart des macromolécules se présentent sous forme de "longs fils souples".

Les réactions chimiques qui permettent la conversion d'un monomère A en une macromolécule [-A-] sont appelées polymérisation. Par exemple, l'éthylène CH<sub>2</sub>=CH<sub>2</sub> (monomère) peut être polymérisé par ouverture de la double liaison pour former le polyéthylène (polymère) [-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-] *n*. La macromolécule peut contenir jusqu'à 50 000 atomes de carbone, et pour de nombreux polymères commerciaux, la masse molaire peut atteindre 1 000 000 g/mol. Certaines macromolécules peuvent même être visibles à l'œil nu, comme dans le cas des matériaux réticulés. La synthèse d'un polymère peut être assimilée à un jeu de construction, où l'on dispose de pièces élémentaires mono, di fonctionnelles ou ayant une fonctionnalité supérieure à 2. La fonctionnalité désigne le nombre de liaisons qu'une pièce est capable de former avec une autre pièce. Lorsque les motifs associés sont identiques, on parle d'homopolymère, sinon ce sont des copolymères tels que les copolymères bi fonctionnels, trifonctionnels, qui sont les plus courants.

**I.3.2. Classification**

Les polymères sont formés par la répétition d'un grand nombre de motifs élémentaires appelés unités monomères. Lorsque les macromolécules contiennent uniquement un type de monomères, on parle d'homopolymère. En revanche, si les unités constitutives sont multiples, on parle de copolymère. Les copolymères peuvent prendre différentes formes, notamment :

- les copolymères alternés (chaîne A-B-A-B-A-....)
- les copolymères séquencés (chaîne A-A-A-B-B-B-....)
- les copolymères statistiques (chaîne A-B-B-A-B-A-B-A-A-....) [3].

### I.3.3. Structure

La structure d'un polymère est déterminée par la manière dont les longues chaînes moléculaires de base sont interconnectées pour former le matériau. La disposition et la densité des liaisons entre les chaînes ont un impact significatif sur les propriétés macroscopiques du polymère. Il existe trois structures moléculaires de base que peut adopter un polymère, comme illustré dans les figures suivantes :

1. **Linéaire** : la macromolécule se présente sous la forme d'une longue chaîne,

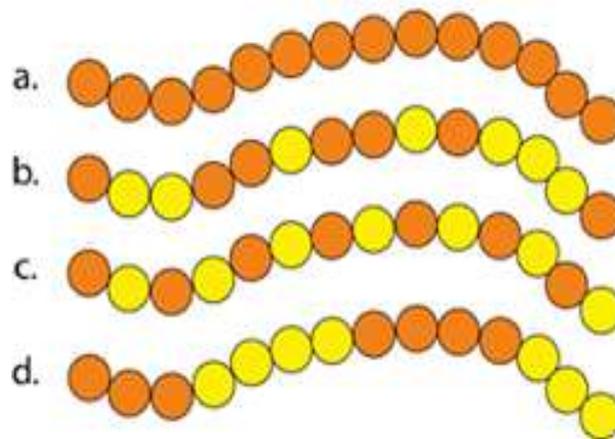


Figure I.3 : Polymère linéaire [4]

2. **Branchée** : une longue chaîne sur laquelle viennent s'embrancher des chaînes de longueur variable, en générale plus petites, Les ramifications latérales amoindrissent le potentiel de compaction d'une chaîne et, par conséquent, la masse volumique du polymère.

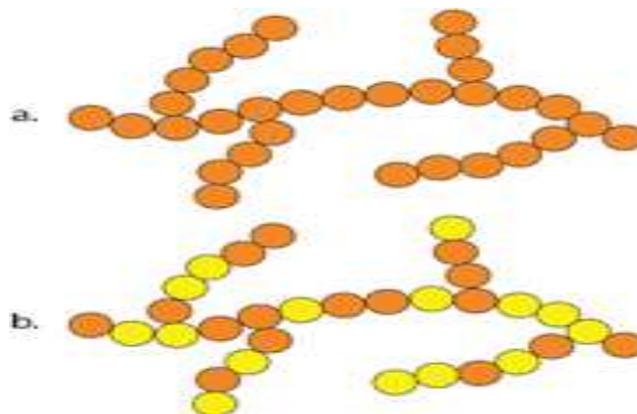
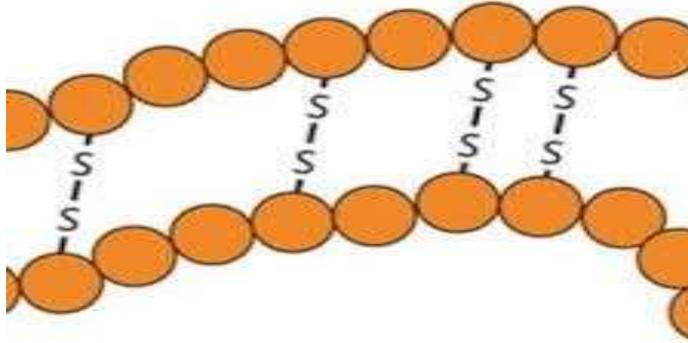


Figure I.4 : Polymère branchée [4]

**3. En réseau :** Les chaînes sont reliées entre elles en plusieurs points formant un réseau tridimensionnel.



**Figure I.5 : Polymère réseau [4]**

Ces différentes structures vont permettre de classer les polymères en deux grandes catégories : Les thermoplastiques et les thermodurcissables. [5]

#### **I.3.4. Les différentes familles de plastique**

On distingue généralement trois grandes catégories de plastiques : les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères. Chacune de ces familles présente des propriétés distinctes.

##### **I.3.4.1. Thermoplastiques**

Les thermoplastiques sont des matériaux solides et flexibles, composés de chaînes distinctes qui sont compactées et plus ou moins linéaires. Ce qui les distingue est leur capacité à se ramollir sous l'effet de la chaleur, facilitant ainsi leur mise en forme. On peut les classer en trois grandes familles : les amorphes, les cristallins et les semi-cristallins. La morphologie de ces polymères thermoplastiques (comme illustré dans la figure I.6) a une influence significative sur leurs propriétés.

###### **I.3.4.1.1. Polymères amorphes**

Dans un polymère amorphe, les chaînes se regroupent sous forme de pelotes statistiques (comme illustré dans la Figure I.6). Les chaînes sont entrelacées et il n'y a pas de structure

ordonnée. Lorsqu'un polymère amorphe est chauffé, il subit une transition douce de l'état solide à l'état fluide, ce qui signifie qu'il n'y a pas de température de fusion clairement définie. En effet, la structure en pelotes compactes et désordonnées des chaînes de macromolécules empêche une transition brusque entre les états solide et liquide. Cependant, une variation abrupte de la mobilité moléculaire est observée à une certaine température, appelée température de transition vitreuse et notée  $T_g$

#### **I.3.4.1.2. Polymères cristallins**

Un polymère purement cristallin se caractérise par des chaînes alignées de manière ordonnée. Contrairement aux polymères amorphes, les polymères cristallins possèdent une température de fusion, notée  $T_m$ . Toutefois, il est important de noter qu'un polymère totalement cristallin n'existe pas réellement. Des défauts subsistent toujours ou les extrémités des chaînes ne peuvent pas adopter une structure cristalline.

#### **I.3.4.1.3. Polymères semi-cristallins**

Les polymères semi-cristallins se caractérisent par la présence à la fois d'une partie amorphe où les chaînes moléculaires sont désordonnées, et d'une partie cristalline où elles sont ordonnées (Figure I.6). Par conséquent, ils possèdent à la fois une température de transition vitreuse (correspondant à la mobilité de la phase amorphe) et une température de fusion (lorsque la phase cristalline se liquéfie). Ainsi, nous avons toujours  $T_g < T_f$ . La cristallinité des polymères semi-cristallins peut être caractérisée par leur taux de cristallinité, qui représente la fraction massique ou molaire des unités structurales cristallisées par rapport à l'ensemble des unités présentes.. [5]

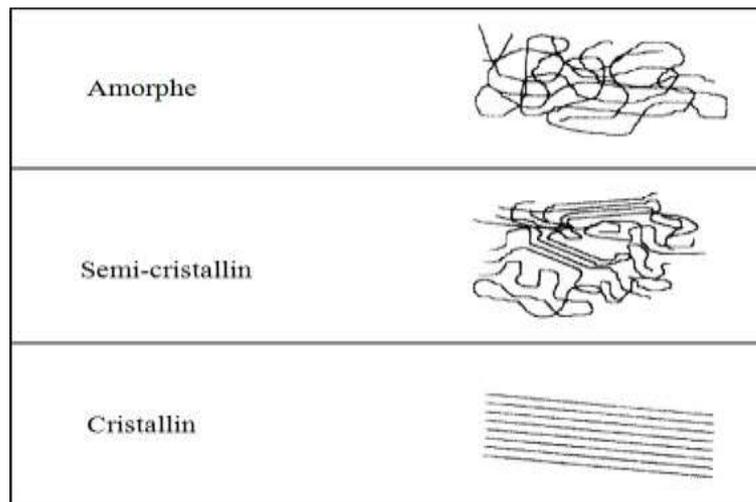


Figure I.6 : Morphologie des thermoplastiques [5]

**I.3.4.1.4. Avantages et désavantages des thermoplastiques**

Comme indiqué dans le tableau I.2, chaque morphologie présente des propriétés intéressantes. Les polymères semi-cristallins bénéficient de plusieurs qualités complémentaires provenant à la fois de leur partie amorphe et de leur partie cristalline [3]

Tableau I.2 : Avantages et inconvénients des thermoplastiques [3]

Avantages		Inconvénients
Stabilité dans le temps (pas de polymérisation au cours du temps)		-Forte viscosité du fondu -Fluage-
Recyclable (on peut les liquéfier à nouveau)		
Facile réparer (par soudure ou collage)		
Post formable		
<b>Amorphe</b>	<b>Cristallin</b>	
Bonne résistance aux impacts	Moindre retrait au refroidissement	
Module plus élevé	Plus grande dureté	

**I.3.4.2. Thermodurcissables**

Les thermodurcissables, également appelés thermo durcis, possèdent une structure en réseau tridimensionnel qui empêche leur fusion. La rigidité et la stabilité thermique du polymère sont directement liées au degré de réticulation, c'est-à-dire à la densité de points de liaison entre les chaînes macromoléculaires.. [5]

**I.3.4.2.1. Avantages et désavantages des thermodurcissables**

Le tableau I.3 montre schématiquement les avantages et les inconvénients des Thermodurcissables.

**Tableau I.3: Avantages et inconvénients des thermodurcissables [3]**

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
Faible viscosité de la résine	Cassant
Bon mouillage des fibres	
Bonne stabilité thermique après polymérisation	Non recyclable par techniques standard
Résiste aux agressions chimiques	Non post formable
Peu sensible au fluage	

**I.3.4.3. Les élastomères:**

Les élastomères possèdent des propriétés élastiques similaires à celles du caoutchouc, ce qui signifie qu'ils peuvent subir de très grandes déformations avant de se rompre. Ils ont une capacité intrinsèque à se déformer et une excellente élasticité, qui est obtenue grâce à un processus de vulcanisation impliquant la cuisson des molécules avec différents agents chimiques pour les rendre souples. Les élastomères les plus couramment utilisés sont :

le caoutchouc naturel issu du latex.

- le poly isoprène synthétique
- le polybutadiène
- le styrène-butadiène

Grâce aux propriétés des différents plastiques, la diversité des demandes de l'utilisateur est satisfaite. Ces trois grandes familles regroupent donc une multitude de plastiques différents selon les caractéristiques attendues. [6]

### I.3.5. Les différents états des polymères

En fonction de la température, un polymère peut se trouver dans l'un des quatre états différents, caractérisés par une augmentation des volumes libres intermoléculaires et une diminution des forces de liaison. Ces états peuvent être identifiés en observant le graphe de la masse volumique  $\rho$  ou du module d'élasticité  $E$  en fonction de la température. Selon le polymère considéré, la température ambiante peut se situer dans l'une des quatre zones distinctes. [5]

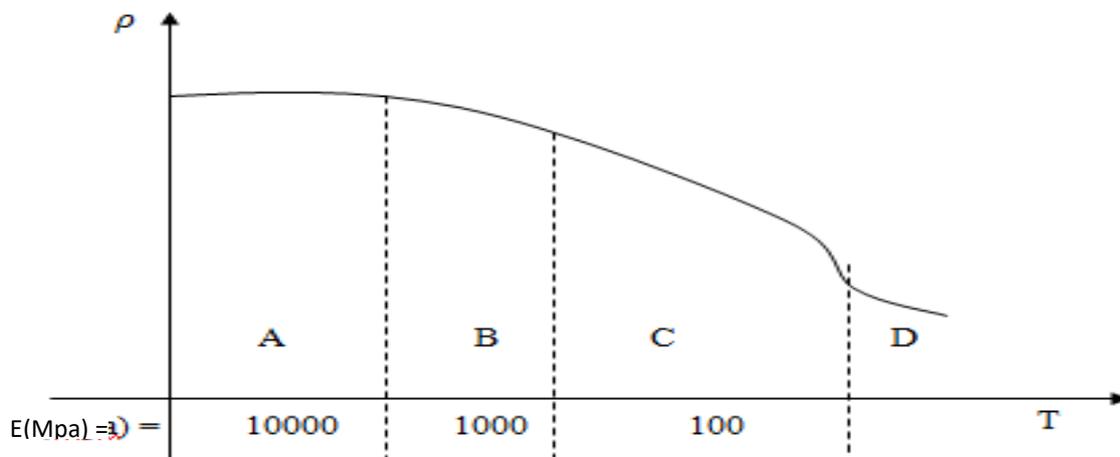


Figure I.7 : États des polymères [5]

#### L'état vitreux (A)

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

#### L'état de transition (B)

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

#### L'état caoutchouteux (C)

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

**L'état fluid (D).** [5]

### **I.5. Propretés des matières plastiques :**

Les différentes matières plastiques présentent des propriétés spécifiques qui peuvent varier d'une matière à l'autre. Parmi les principales propriétés, on retrouve :

#### **I.5.1. La Légèreté:**

- La densité de la plupart des matières plastiques est comprise entre 0,9 et 1,8. Le plus souvent.

#### **I.5.2. La résistance mécanique:**

-Elle est variable suivant la composition chimique.

-Les pièces plastiques sont plus légères que les pièces métalliques assurant le mêmes fonctions.

#### **I.5.3. La transparence:**

Certains plastiques possèdent un coefficient de transmission de la lumière similaire à celui du verre, tandis que de nombreux plastiques sont transparents ou translucides.

#### **- I.5.4. L'inaltérabilité:**

-Ils résistent aux agressions extérieures et à de nombreux produits chimiques.

-Certains demandent une protection contre les ultra-violets.

#### **I.5.5.L'esthétique:**

Les couleurs sont variées et les possibilités de mise en œuvre nombreuses. L'aspect lisse et fini du matériau confère à l'objet une impression "design".

#### **I.5.6.L'isolation:**

-Ce sont de bons isolants électriques, thermiques et acoustiques.

**I.5.7.L'imperméabilité:**

-Ils assurent une bonne barrière aux gaz et à l'eau.

**I.5.8.La glisse:**

. Généralement, les plastiques présentent un coefficient de frottement bas.

**I.5.9.L'entretien**

- Ils sont faciles à entretenir
- Aucun traitement de surface n'est nécessaire pour les plastiques.
- Les plastiques sont résistants à la corrosion.

**- I.5.10.L'asepsie naturelle:**

-Les matières plastiques transformées à des températures supérieures à 150' C apportent l'asepsie aux Emballages qu'elles permettent de fabriquer. [7]

## I.6. Les caractéristiques des polymères synthétiques les plus utilisés

## I.6.1. Le Polypropylène (PP)

Tableau(I.4) : Propriétés mécaniques et thermiques du PP [7]

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

I.6.2. Le Polyéthylène (PE bd) :

Tableau (I.5) : Propriétés mécaniques et thermiques du PE bd [7]

Exemple de caractéristique de deux matières plastiques (PE bd)		
POLYETHYLENE (PE bd)	<p><b>Origine :</b> Ethylène</p> <p><b>Structure :</b> Cristalline</p> <p><b>Retrait :</b> 1.3 à 2.8 %</p> <p><b>Densité :</b> 0.92</p> <p><b>Mise en œuvre :</b> injection Extrusion, roto moulage, thermoformage.</p> <p><b>Températures :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-de moulage : 160 à 300 °C</li> <li>-du moule : 20 à 60 °C</li> <li>-de Fusion : 135 C°</li> <li>-d'utilisation : -80 à 110 °C</li> </ul>	<p><b>Avantage :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- meilleurs caractéristiques que PE bd.</li> <li>- Rigidité surfaces brillantes</li> <li>- Résistance à la température et à l'eau bouillante</li> </ul> <p><b>Inconvénients :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Retrait non homogène</li> <li>- Densité plus élevée que polyéthylène basse densité.</li> <li>- Prix plus élevé.</li> <li>- Décoration difficile</li> </ul>

I.7. Coloration des matières plastiques :

Les matières plastiques sont teintées à différentes étapes de leur fabrication selon les préférences de couleur du client. Les résines dérivées des polymères sont teintées en fonction de leur couleur naturelle. Les résines naturelles foncées comprennent le noir, le rouge et le bleu. Les résines naturelles claires sont colorées avec des tons clairs ou pastel, tels que le jaune et l'orange. Il existe deux types de colorants utilisés [8]

I.7.1. Colorant à sec:

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

**I.7.2. Colorants dans la masse:**

La coloration des granulés est réalisée à sec, et afin d'assurer une dispersion optimale de la couleur, ils sont extrudés sous forme de filaments puis broyés par granulation.

**I.8. Recyclage :**

Certains produits destinés à être recyclés sont traités avec des colorants fluorescents pour faciliter leur identification ultérieure (par exemple, dans les parcs, les pièces soumises à des chocs, les tableaux de bord). Les déchets de fabrication et les pièces usées peuvent être broyés et mélangés avec un pourcentage de 10 à 15% pour le recyclage.

**I.9. Propriétés mécaniques:**

La structure interne des matières plastiques diffère de celle des métaux et des alliages, ce qui entraîne un comportement différent sous l'effet des forces. Selon les applications envisagées, il est nécessaire de mouler des éprouvettes et de réaliser des essais tels que l'essai de traction, l'essai de flexion, l'essai de chocs, etc., afin de déterminer les contraintes maximales admissibles. [8]

**Tableau (I.6) : Caractéristiques mécaniques [8]**

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

**I.10. Les applications du plastique :**

Au cours des dernières années, l'utilisation des plastiques a connu une augmentation significative. En effet, ce matériau présente des caractéristiques extrêmement avantageuses. Dans le domaine de l'agriculture, il a permis aux agriculteurs d'accroître les rendements des récoltes, de réduire la dépendance aux herbicides et aux pesticides, d'améliorer la protection de nos produits alimentaires et de mieux conserver l'eau. Cela a été rendu possible grâce à

l'utilisation de tuyaux en PVC, de bacs de propagation, de filets de protection et de plaques plastiques qui recouvrent les hangars et les serres.

Le domaine du sport et des loisirs a également su profiter des qualités indispensables du plastique, notamment pour les pistes d'athlétisme permettant d'établir de nouveaux records, les vêtements respirant, les chaussures ultralégères et les équipements de protection. Le plastique a véritablement révolutionné le monde du sport, sans oublier son utilisation dans la construction des stades. Il a permis, par exemple, d'obtenir des ballons de football plus rapides et des raquettes de tennis légères et résistantes. Dans le domaine maritime, il est utilisé pour la fabrication des coques.

Il ne faut pas non plus négliger son utilité dans les équipements de protection tels que les genouillères ou les casques de ski. Le plastique a littéralement révolutionné le monde du sport moderne. De plus, les plastiques ont pris une place importante dans l'industrie automobile depuis sa création. On les retrouve autant dans les composants moteurs tels que l'embrayage et la pompe à huile, que dans la carrosserie ou même l'habitacle avec les compteurs et les tableaux de bord. En effet, le plastique est plus léger, plus modulable et plus durable. Il est également de plus en plus présent dans notre vie quotidienne. De plus, sa production est facile. Contrairement au carbone, au cuivre, etc., le plastique est prêt à être façonné dès sa sortie des usines de production.

Ainsi, le plastique joue un rôle véritablement essentiel et omniprésent dans notre quotidien [9].

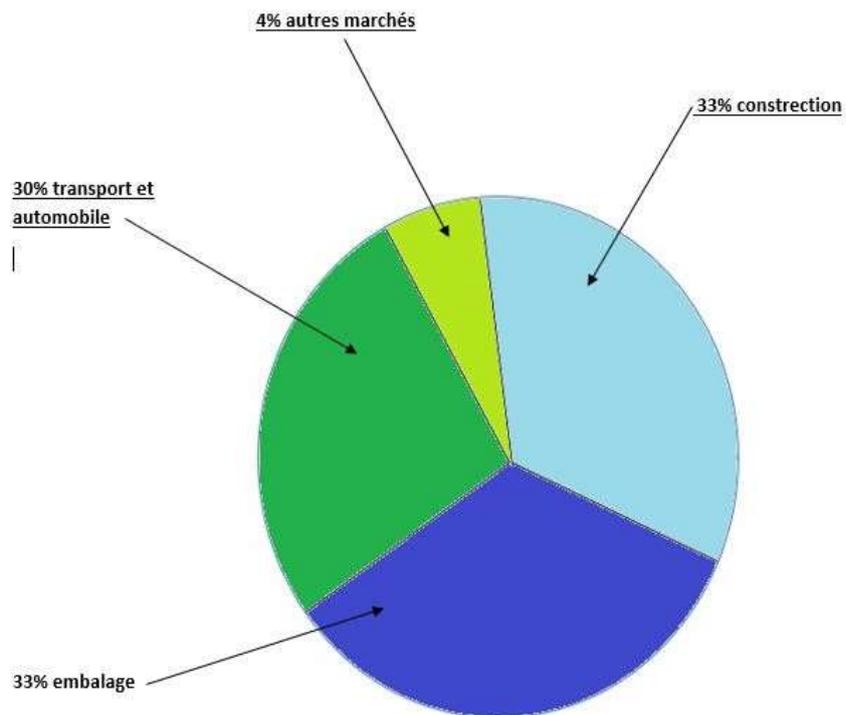


Figure I.8: Répartition des marchés de la plasturgie. [9]

### I.11. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a conclu que les matières plastiques sont des matériaux très utilisés dans divers domaines, et cela à cause de leurs propriétés (mécaniques, physiques et chimiques) qui répondent aux différentes exigences, telles que leurs poids très légers, leurs états de surface et leur coûts de revient

***Chapitre II:***  
***Les procédures de***  
***production par injection***  
***thermoplastique***

## **Chapitre II: Les procédures de production par injection thermoplastique**

---

### **II.1. Introduction**

Le processus d'injection nous permet d'obtenir des géométries très complexes avec des temps de cycle très rapides, permettant une production à grande vitesse.

Le principe du processus de moulage par injection est l'injection et la conversion.

Le matériau polymère thermoplastique, qui est préchauffé, est injecté dans un moule.

Le polymère de durcissement du moule créera un solide qui se conformera à la forme et aux dimensions de la cavité du moule.

L'objectif de ce chapitre est de présenter le processus d'injection thermoplastique, le cycle d'injection, les caractéristiques du piston et la construction de la structure.

## Chapitre II: Les procédures de production par injection thermoplastique

### II.2. Procédure d'injection plastique

#### II.2.1. Définition

Le procédé d'injection permet d'obtenir, en une seule opération, des pièces plastiques finales de formes complexes, dans une gamme de poids allant de quelques grammes à plusieurs kilogrammes. Il vise également à produire des pièces en grande quantité et très rapidement [10]

#### II.2.2. Principe de l'injection plastique

La matière, en granulés, ramollie par la chaleur est injectée dans un moule sous forte pression. Après refroidissement, ces moules permettent la réalisation d'objets de dimensions et formes variables, ainsi que de pièces techniques très complexes et de grandes précisions. [11]

#### II.3. Déroulement du cycle d'injection:

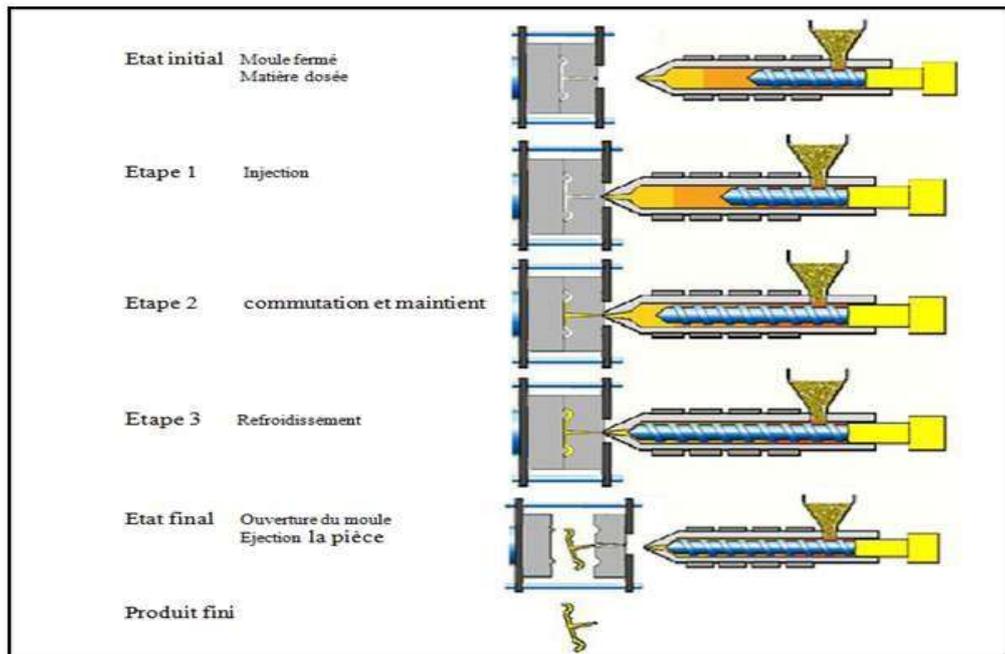


Figure.(II.1) : cycle d'injection [11]

## Chapitre II: Les procédures de production par injection thermoplastique

### II.4. Les Phases de moulage par injection:

Le cycle d'injection se décompose en Cinq phases:

#### II.4.1. La phase de plastification:

La phase de plastification a pour objectif de faire passer le polymère de l'état solide (sous forme de granulé) à l'état fondu. Cette transformation est réalisée 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, on anime la vis d'un mouvement rotatif qui a pour effet de transporter la matière de la zone d'alimentation vers la tête de fourreau. Au cours du transport, le polymère est chauffé et broyé, assurant ainsi par effet thermo mécanique la mise à l'état fondu [12]

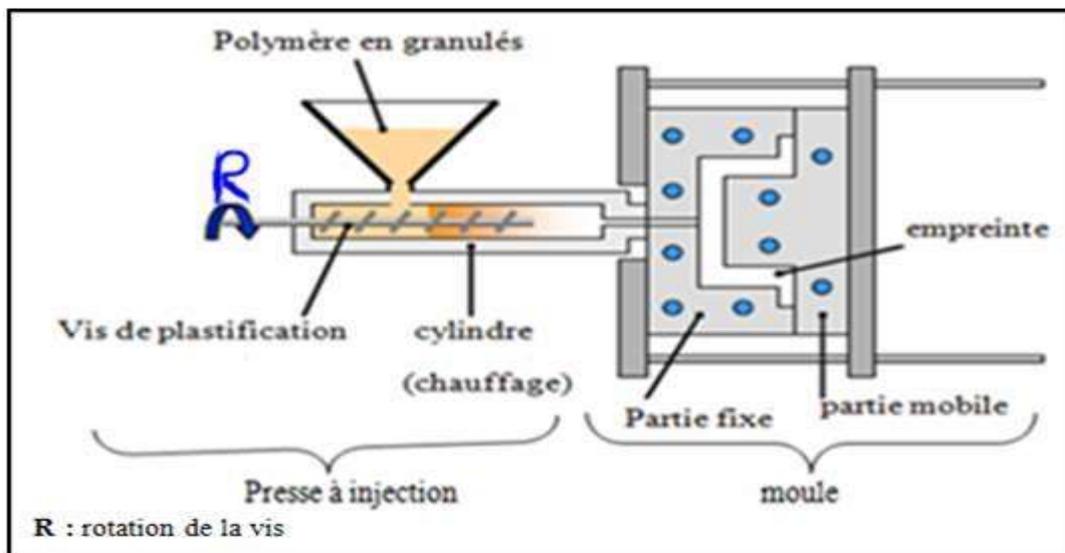


Figure.(II.2):phase de plastification [13]

#### II.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 (Fig. II.3). L'avancée de la vis est régulée en débit ou en pression pour maîtriser la vitesse d'injection du thermoplastique dans l'empreinte. Ce remplissage a une durée très courte, par rapport à celle de la phase de refroidissement.

Le débit d'injection est fonction du volume de remplissage sur la durée de remplissage correspondant à l'épaisseur de la pièce. [13]

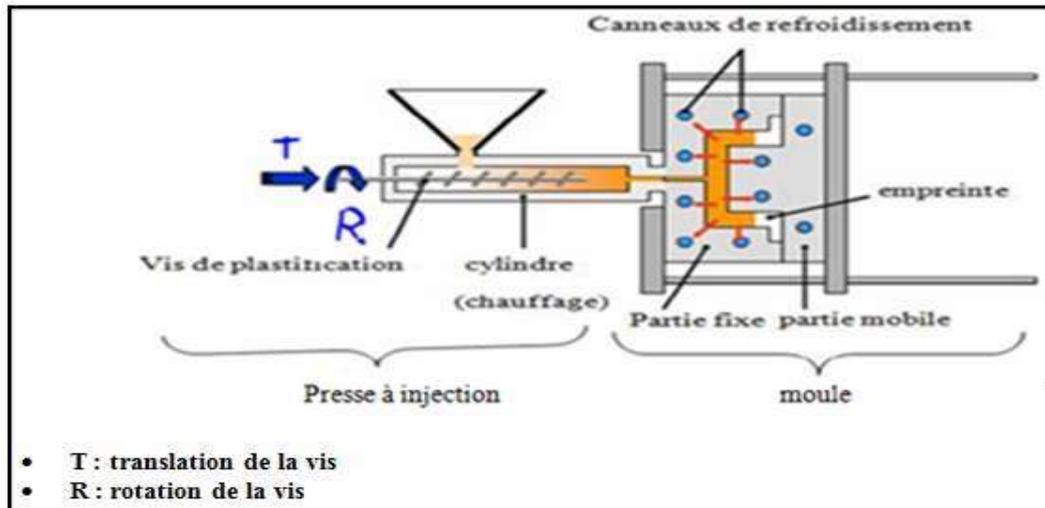


Figure. (II.3): phase de remplissage. [13]

### II.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 (Fig. II.4). [14]

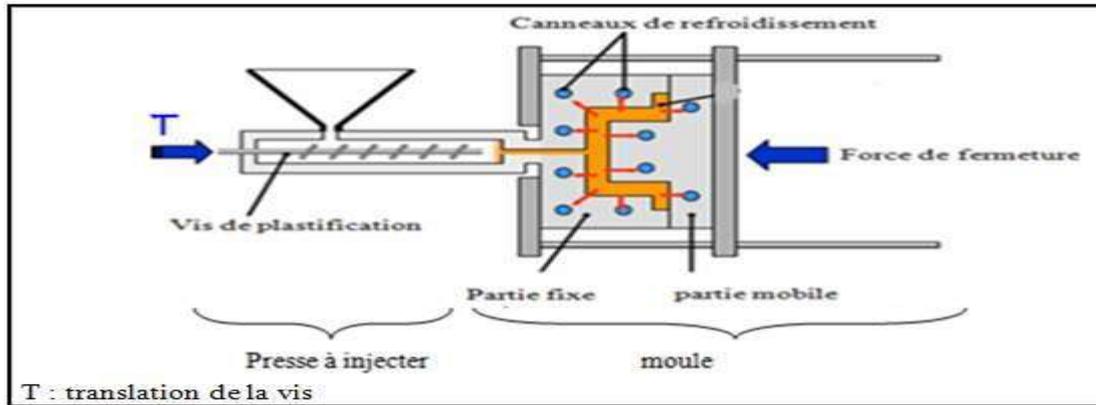


Figure.(II.4):phase de compactage. [14]

### II.4.4.La phase de refroidissement et d'éjection:

En règle générale, cette étape débute lorsque le seuil d'injection de l'empreinte est solidifié, ce qui rend inutile l'application continue de pression. Le polymère se refroidit naturellement dans la cavité du moule jusqu'à atteindre une température appropriée pour l'éjection. Pendant cette période, la quantité de matériau nécessaire pour la pièce suivante est mesurée et dosée en amont de la vis [13]

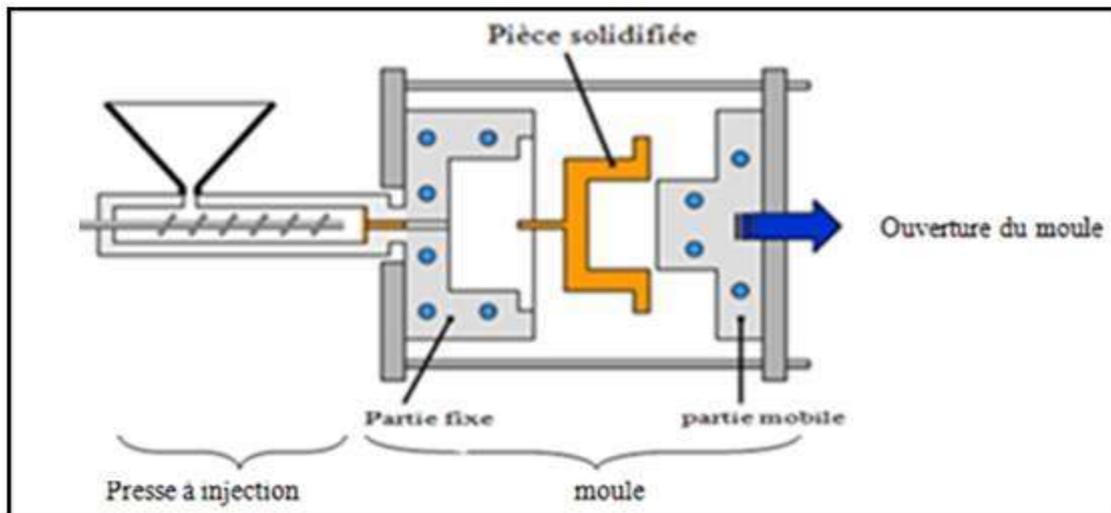


Figure.(II.5):phase de refroidissement et d'éjection [13]

## Chapitre II: Les procédures de production par injection thermoplastique

### II.4.5. La phase d'éjection:

Lorsque la pièce est solidifiée le moule s'ouvre et la pièce est éjectée hors du moule (avec l'aide d'éjecteurs, ...). [15]

### II.5. la Presse à injection

Une Presse à injection est une machine qui permet d'obtenir des pièces plastiques injectées sous pression dans un moule (monté sur le piston). En général, le procédé d'injection plastique se déroule à haute pression et à une température supérieure à la température de transition vitreuse. À ce stade, la substance est un solide, mais pas un liquide. Il est à l'état visqueux entre les états liquide et solide. Ici, la matière peut être injectée dans le moule et la matière plastique prend la forme de la cavité du moule. Après refroidissement, la pièce est démoulée. Le processus de refroidissement se fait en faisant circuler de l'eau froide dans le circuit de refroidissement du moule.

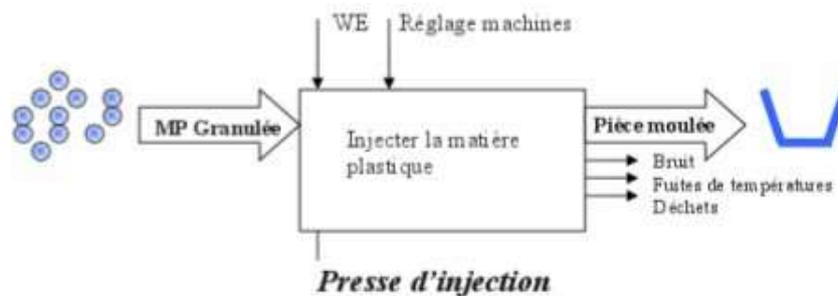


Figure.(II.6): Presse à injecter les thermoplastiques. [16]

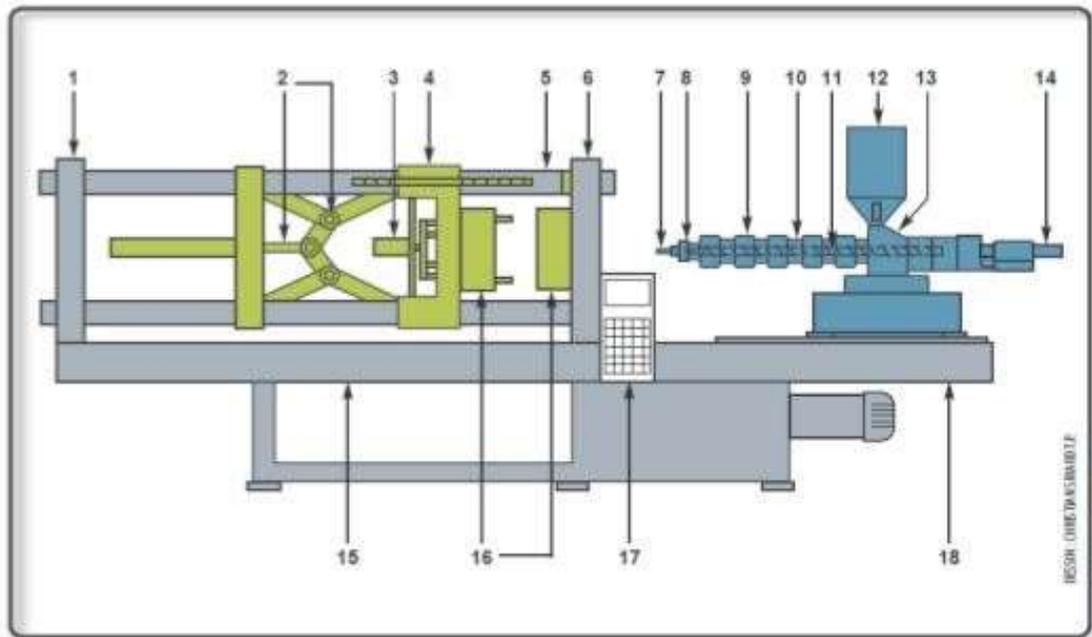
### II.5.1. structure de presse d'injection:

Une presse à injecter, est constituée de deux unités principales:

L'unité d'injection, et l'unité de moulage (Figure.II.7). 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

## Chapitre II: Les procédure du production par injection thermoplastique

électriques. Elles présentent chacune des particularités plus ou moins intéressantes et adaptées acertaine fabrications [17].



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



Figure.(II.7): La structure de presse d'injection [17]

## Chapitre II: Les procédures de production par injection thermoplastique

### II.5.2. Caractéristiques des presses:

- la force de fermeture qui est comprise entre 50 tonnes et 3000 tonnes.
- la pression sur la matière injectée qui peut atteindre 2000 bars.
- la capacité d'injection (en cm<sup>3</sup> ou en kg). [18]

### II.5.3. Les différentes parties d'une presse à injection :

#### II.5.3.1. Unité d'injection :

L'unité d'injection est responsable de la chauffe et de l'injection du matériau polymère dans un moule. La première partie de cette unité est appelée trémie, conçue pour contenir une grande quantité de granulés de polymère. Pour le fonctionnement de la trémie, on initie un premier processus consistant à alimenter la machine en matière première. Une fois que le mécanisme de ce système est activé, on procède au chauffage du matériau jusqu'à sa fusion, transformant ainsi le polymère en état liquide. Par la suite, le polymère liquéfié est injecté [19]

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

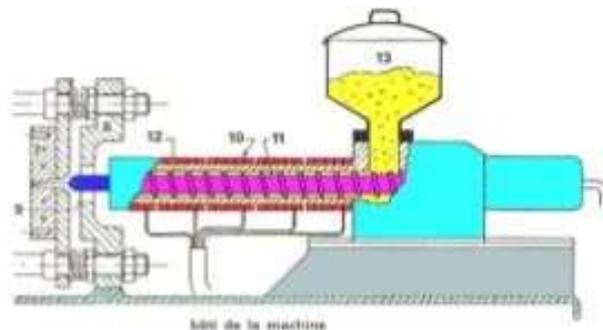


Figure II.8. Unité d'injection. [19]

#### II.5.3.2. Unité de verrouillage:

L'unité de verrouillage fonctionne de manière à assurer la liaison des deux moitiés du moule lors du processus de remplissage et leur séparation lors de l'éjection du produit, ces deux étapes sont respectivement appelées verrouillage et démoulage du moule, synchronisées avec le fonctionnement de l'unité d'injection et commandé par l'unité pour coordonner

Les deux moitiés de moule sont reliées au coffrage fixe et mobile de l'unité de verrouillage. Le plateau fixe est fixe et comporte un trou usiné au centre pour accueillir la buse de l'unité

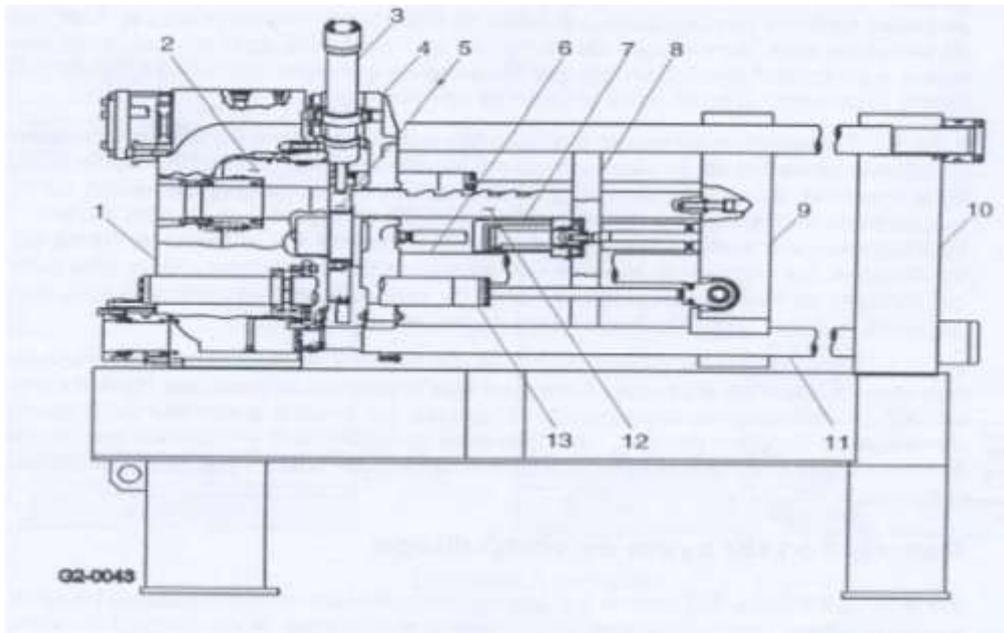
## Chapitre II: Les procédure du production par injection thermoplastique

d'injection, tandis que le plateau mobile se déplace le long du bas de l'unité pour ouvrir et fermer le moule.

Le verrouillage commence lorsque le cylindre du ferme-porte est rétracté en faisant pivoter le ferme-porte entre les extrémités des quatre cylindres de serrure et l'avant du cylindre de serrure.

le piston de verrouillage s'étend en suite, tenant le moule fermé en transmettant une force suffisante au carter du dispositif de ferme tu reet aux colonnes de verrouillage fournit la force requise pour déplacer le piston durant les étapes de verrouillage et d'arrachage du moule.

Une fois la résine est solidifiée le moule s'ouvre pour éjecter les pièces terminées .L'arrachage de moule commence lorsque le piston de verrouillage se rétracte et le carter du dispositif de ferme tu refaire culer les colonnes de verrouillage [19]



**Figure II.9.L'unitéde verrouillage. [19]**

1-carter de vérin de verrouillage. 2-piston de l'unité de verrouillage. 3-cylindre de dispositif de fermeture. 4- carter de dispositif de fermeture. 5- Dispositif de fermeture. 7-colonne de verrouillage de sécurité. 8-plaque électrique. 9- plaque mobile 10-plateaux fixe. 11- colonne. 12- colonne de verrouillage de la barre. 13-vérin de course de moule.

### II.6. Différents types de presses d'injection plastique

Il existe plusieurs types de presses à injection plastique, parmi lesquelles on trouve des presses à injection hydrauliques, électriques, horizontales, verticales, les presses les plus utilisées dans les secteurs de production industrielle sont des presses horizontales.

#### II.6.1. Presse à injection plastique horizontale

Les presses à injection plastique sont des machines permettant de produire des pièces en plastique par le procédé de moulage par injection. L'appellation « horizontale » vient du fait que l'unité de fermeture, l'unité de plastification et d'injection de la presse sont montées horizontalement. La figure suivante présente les différentes composantes d'une telle presse: [20]



Figure II.10. Presse à injection plastique horizontale [21]

#### II.6.2. Presse à injection plastique verticale:

Ce modèle de machine de moulage par injection est principalement dédié au moulage par injection sur les lignes de production de produits électroniques, d'ordinateurs, de prises d'alimentation, etc. Les produits réalisés n'ont pas d'exigences trop élevées en termes de précision. En général, on utilise le PVC, le PE, PP ou autre plastique d'injection comme matériau principal, les standards de modèles adaptés à ces produits ont en général une force de serrage de moule de 15T à 35T, etc. Comme les données concrètes des machines des diverses usines varient (capacité de moule, dispositifs, etc.). [20]



Figure II.11: Presse à injection verticale [21]

### II.7. Sécurité des presses à injecter

Travailler sur les presses à injection et leurs équipements périphériques engendre de très nombreuses situations dangereuses à l'origine des dommages en cours par les travailleurs. Sans être exhaustifs, les tableaux suivants (**Tableau 1**) résument les plus importants phénomènes dangereux qui peuvent être présents ou survenir dans la zone du moule et les dommages qu'ils peuvent causer. Lors d'interventions dans la zone du moule (changement de moule, installation d'un convoyeur, programmation d'un robot), les travailleurs peuvent être exposés aux principaux phénomènes danger eux associés à la presse à injection. [22]

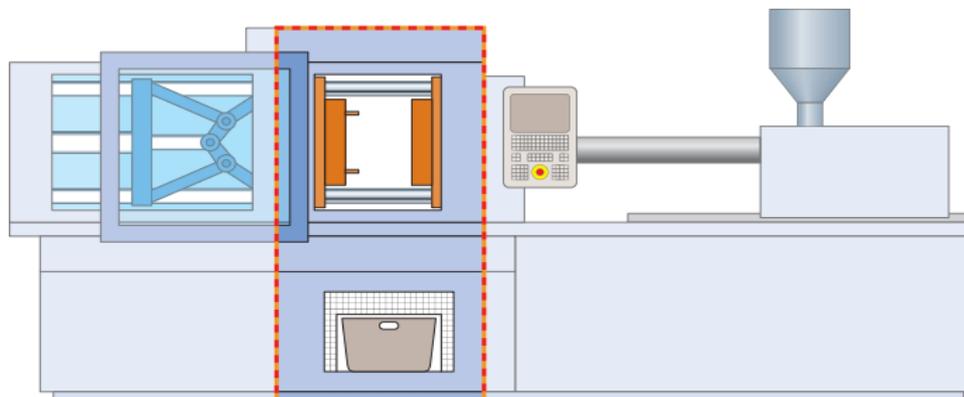


Figure II.12: Zoom du moule d'une presse à injection.

PHÉNOMÈNES DANGEREUX	DOMMAGES POSSIBLES	
 Mouvements du plateau mobile qui créent une zone de coincement	<input type="checkbox"/> Coupure	<input type="checkbox"/> Ecchymose
 Mouvements des éjecteurs, des noyaux et des plaques	<input type="checkbox"/> Écrasement	<input type="checkbox"/> Blessure aux yeux
 Forme pointue ou coupante des éléments	<input type="checkbox"/> Sectionnement	<input type="checkbox"/> Piqûre
 Projection de pièces de métal ou de plastique chaud	<input type="checkbox"/> Amputation	<input type="checkbox"/> Brûlure
	<input type="checkbox"/> Fracture	<input type="checkbox"/> Décès
	<input type="checkbox"/> Contusion	

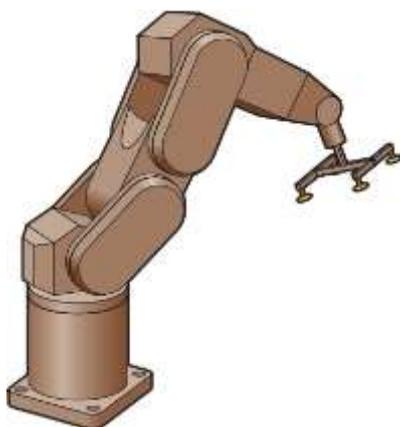
**Tableau II.1: Phénomènes dangereux et dommages possibles**–[22]

### II.7.1. Robot et extracteur

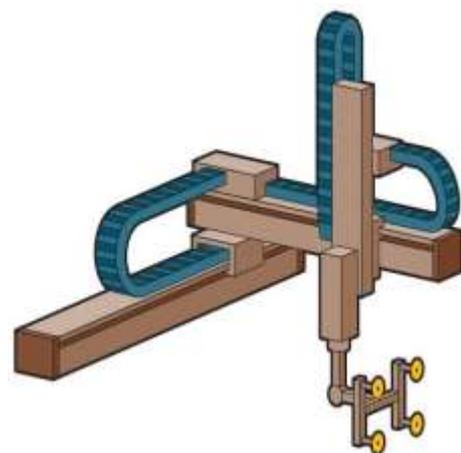
Le robot ou l'extracteur évolue dans la zone du moule, suscitant des phénomènes dangereux additionnels importants pour les travailleurs.

PHÉNOMÈNES DANGEREUX	DOMMAGES POSSIBLES	
 Mouvements des bras du robot ou de l'extracteur, du préhenseur, de la charge portée	<input type="checkbox"/> Ecchymose	<input type="checkbox"/> Choc
 Chute ou projection de la charge manipulée par le robot ou l'extracteur	<input type="checkbox"/> Fracture	<input type="checkbox"/> Écrasement
	<input type="checkbox"/> Coincement	<input type="checkbox"/> Décès
	<input type="checkbox"/> Blessure aux yeux	

**Tableau II.2: Phénomènes dangereux et dommages possibles** [22]



**Figure II.3:** (A) Robot multiaxes.



(B) Robot cartésien.

## Chapitre II: Les procédures de production par injection thermoplastique

### II.8. Les Composants de la machine:

#### II.8.1. Le bâti

C'est ce qui supporte l'ensemble des organes nécessaires, moteur électrique, pompe hydraulique, réservoir d'huile, les canalisations, toutes les électrovannes et les distributeurs.

La forme et la position du bâti, on distingue trois types de presse : Presse horizontale, Presse verticale, Presse universelle. [13]

#### II.8.2. L'unité de plastification/injection

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

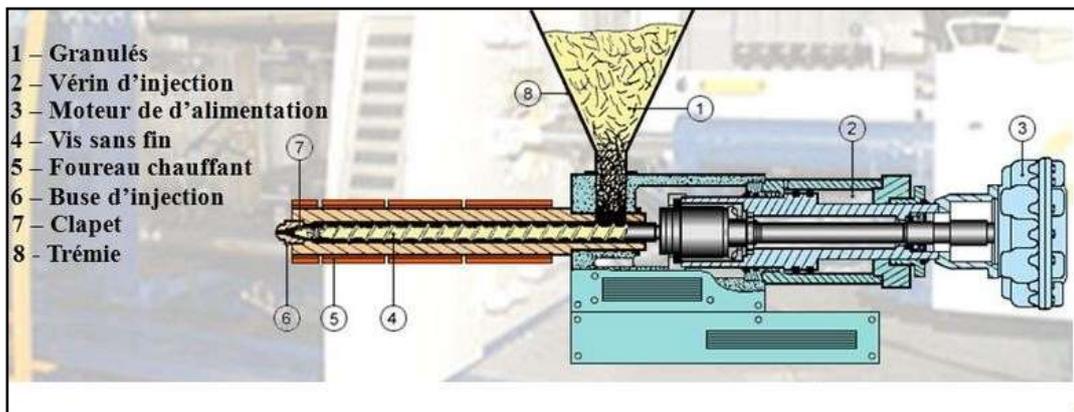


Figure II.14: L'unité de plastification. [13]

#### II.8.3. L'unité d'injection

Le groupe d'injection est composé de l'unité de plastification, du vérin d'injection, du groupe d'entraînement de la vis, de la buse, etc. Cette unité est montée sur une glissière à colonnes pour assurer un guidage précis, robuste et nécessitant peu d'entretien. L'ensemble de la glissière est déplacé à l'aide de deux vérins qui génèrent la force de contact entre la buse et le moule. [13]

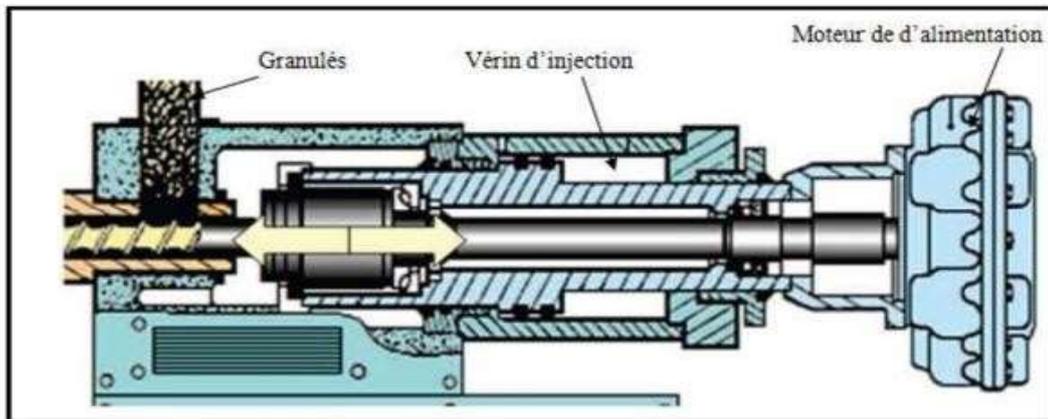


Figure II.15: unité d'injection. [13]

### II.8.4. Les vis d'injection

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

Une vis de plastification doit:

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

La matière plastique arrivant sur la vis possède, une densité apparente de 0,4 à 0,6 mais parvient en bout de vis à la densité normale correspondant à un état compact et fondu. La vis doit donc présenter une section de passage du polymère fondu de plus en plus réduite, au furet à mesure de la progression de la plastification, afin d'éviter l'apparition de vides au sein de la matière. [23]

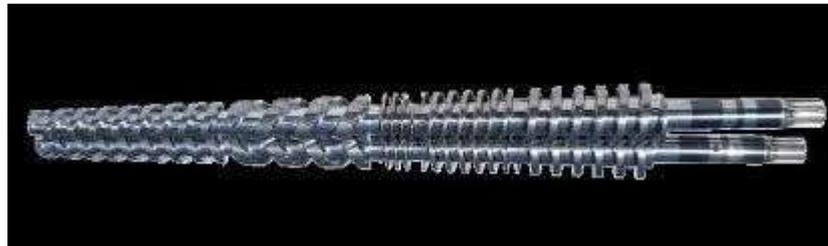
Le taux de compression est une caractéristique importante d'une vis et correspond au quotient de la section de passage utile en zone d'arrivée des granulés par la section de passage utile en extrémité de vis; il représente approximativement la variation de volume de la matière moulée.

## Chapitre II: Les procédures de production par injection thermoplastique

### II.8.5. Tracé de la vis

Dans un premier temps, lorsque le matériau est entraîné par la vis, il avance sans subir de changement de volume important, ce qui permet d'adopter une forme de noyau cylindrique. À mesure que la température du plastique augmente, on entre dans la phase de compression et le chauffage s'accélère. On donne alors au noyau de la vis une forme tronconique qui réduit progressivement la section d'écoulement. Dans cette zone, l'air et les gaz emprisonnés sont refoulés vers la trémie grâce à l'augmentation de la pression. Les proportions de la figure correspondent à une vis adaptée aux polyamides. Pour le polyéthylène basse densité, une zone de compression d'une longueur  $D/2$  convient également, mais il est également possible d'utiliser une vis dont le noyau est tronconique sur toute sa longueur (fig.II.15).

Le pas de la vis est généralement constant et à un seul filet. Les pas plus petits permettent d'obtenir une force mécanique plus élevée et des pressions plus élevées, mais également des débits plus faibles. En revanche, une vis à plusieurs filets, avec un pas égal, offre une pression plus élevée mais un débit réduit, car les filets supplémentaires occupent une partie du volume disponible. Cependant, cela augmente la surface d'échange thermique et améliore la résistance mécanique de la vis. [23]



**Figure II.16: vis de plastification. [23]**

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

## **Chapitre II: Les procédure du production par injection thermoplastique**

---

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

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

La commande en rotation est de plus en plus souvent réalisée par des moteurs hydrauliques lents, ayant l'avantage de fournir un réglage de vitesse continu, avec accouplement direct sur la vis. Les moteurs électriques, également utilisés, nécessitent l'emploi de réducteurs ou de boîtes de vitesses. [23]

### **System d'injection ( vis de plastification) :**

Le mono vis standard d'injection comprend en général trois zones (figure II.16).

**Une zone d'alimentation :** dans laquelle les granulés de polymère sont convoyés et compactés dans le chenal de la vis. C'est ici que la profondeur du chenal est la plus grande, et elle reste constante.

### **Une zone de compression:**

Dans une forme tronconique, les granulés sont progressivement fondus par l'action combinée des colliers chauffants et du cisaillement du matériau. La profondeur du canal diminue progressivement jusqu'à atteindre sa valeur minimale dans la zone de pompage. Les deux premières zones de la vis sont utilisées pour plastifier le matériau.

## Chapitre II: Les procédures de production par injection thermoplastique

**Une zone de pompage :** dans cette dernière partie la profondeur demeure constante, le polymère est mis en pression et s'homogénéise. [15]

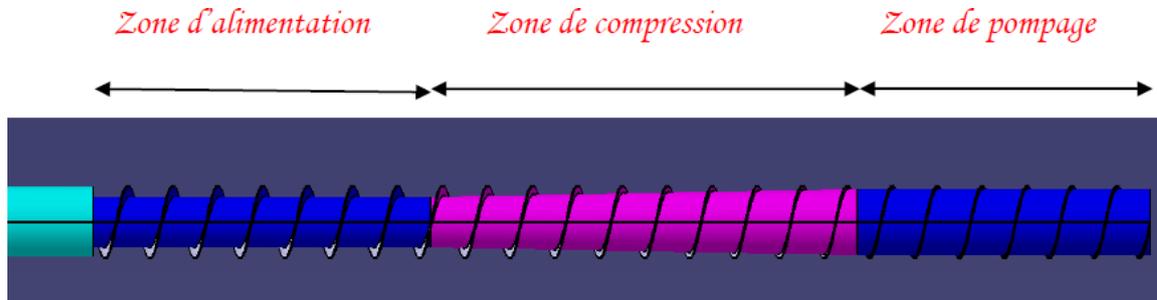


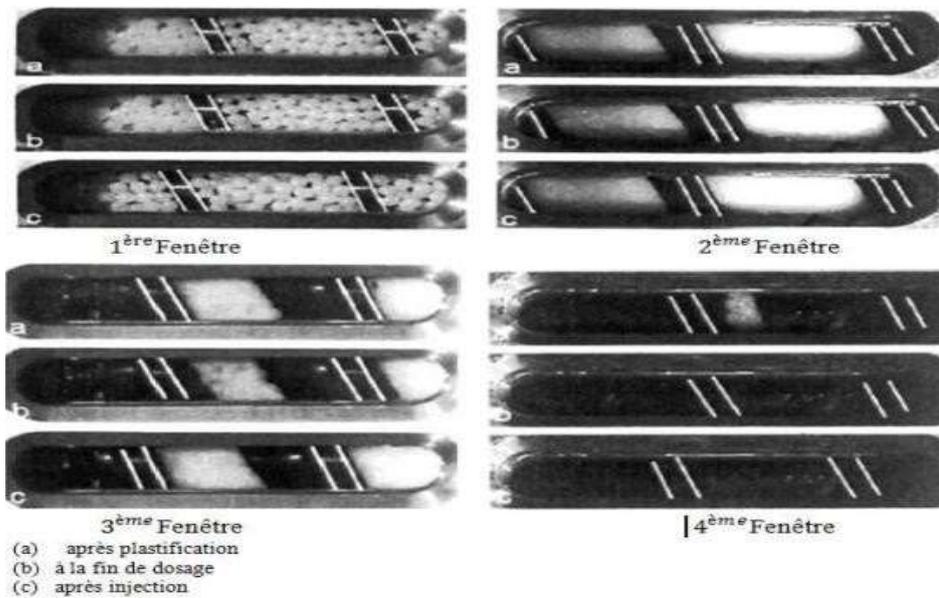
Figure II.16: Schéma d'une mono vis avec trois zones. [15]

**La longueur de la vis:** une vis est généralement définie par le rapport entre sa longueur fixée ( $L$ ) et son diamètre nominal ( $D$ ). En général ce rapport oscille au tour de  $L/D$ . [23]

### II.8.6. Les différentes phases de transformation de polymère dans le système vis-fourreau:

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

La première fenêtre est située dans la zone d'alimentation de la vis, nous voyons bien les granulés de polymère gardant leurs formes solides. Le polymère commence à fondre à l'interface polymère – fourreau à partir de la seconde fenêtre, par conduction thermique et cisaillement entre le polymère et le fourreau. Bien que la qualité des images ne soit pas parfaite, nous pouvons tout de même voir l'apparition d'un film très fin de polymère fondu collé aux parois de la fenêtre. Le lit solide du polymère a été filmé à la troisième et quatrième fenêtre. [24]

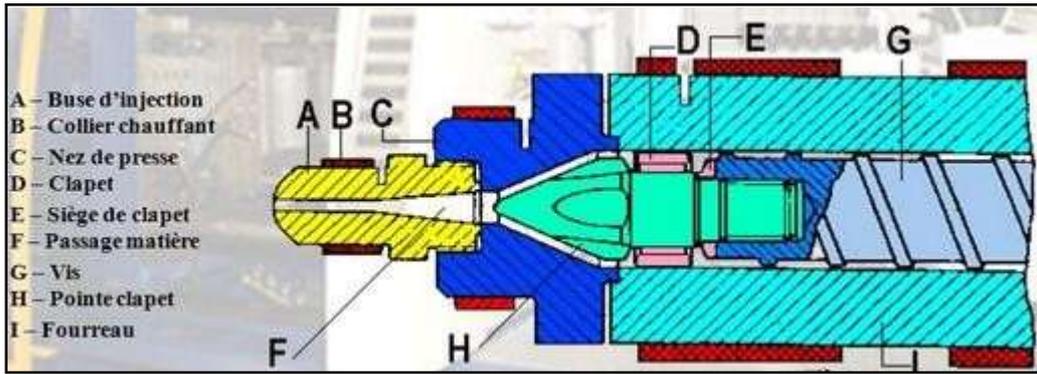


**Figure II.17: les différentes phases de transformation de polymère dans le système vis fourreau. [24]**

### II.8.7. La Buse

Le déplacement de la matière plastique dans un moule relativement froid et à travers des sections d'écoulement relativement étroites (afin de réduire les déchets) doit être réalisé dans un laps de temps relativement court afin d'éviter une solidification prématurée. Cela nécessite l'utilisation d'une pression élevée, et la pression d'injection est définie comme étant la pression maximale atteinte à l'extrémité du cylindre de plastification lorsque la vis-piston refoule le matériau dans les cavités du moule. Une fois plastifiée, la matière est introduite dans le moule à une vitesse très élevée.

Elle doit garantir une étanchéité parfaite avec le moule, et généralement, sa forme est sphérique, tronconique ou plane. De plus, elle doit présenter une surface de contact réduite avec le moule afin de limiter le refroidissement.



**Figure II.18 : La buse. [24]**

**II.8.7.1. Calcul des buses des presses d'injection**

Contacte buse moule dur (un acier traité genre 40 CN15 s'impose). Présenter un diamètre de trou de sortie variable selon le volume de matière à débiter lors de chaque injection, et aussi avec la nature de cette matière plus elle est visqueuse à la température de moulage, plus la pièce moulée est importante, et plus grand doit être l'orifice de buse.

Pour un volume à injecter de  $P \text{ (cm}^3\text{)}$  à la vitesse d'écoulement  $V \text{ (cm/s)}$  et pour temps d'écoulement  $t \text{ (s)}$ , on peut utiliser la relation :

$$P = S \cdot V \cdot t = \pi \cdot d^2 \cdot Vt / 4 \dots\dots\dots \text{(II.1)}$$

Soit  $d = \sqrt{(P / 0.785 \cdot Vt)}$  si  $d \text{ (cm)}$  est le diamètre de l'orifice.

$Vt = 2,5 \text{ cm}$  pour le polystyrène  $2,25 \text{ cm}$  pour l'acétate de cellulose

$2,1 \text{ cm}$  pour le poly méthacrylate de méthyle  $5 \text{ cm}$  pour les polyamides



**Figure II.19: différents types des buses d'injection. [24]**

## Chapitre II: Les procédures de production par injection thermoplastique

### II.8.8. Seuil

Le seuil est le point d'entrée par lequel la matière pénètre dans l'empreinte du moule. La forme, la position et les dimensions des seuils ont une influence sur l'écoulement du matériau, son orientation et conditionnent la résistance aux contraintes mécaniques ainsi que les risques de déformation lors du refroidissement. Les formes les plus couramment utilisées sont l'alimentation capillaire (pin point), la section rectangulaire et la section en forme de V en demi-cercle.

De nombreux moules présentent des sections très similaires à celles calculées à l'aide

De la formule de SOMER FIELD

$S = 0.35 \times M$  Avec :

S (mm<sup>2</sup>) section des entrées

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

La longueur des seuils doit être le plus petit possible.

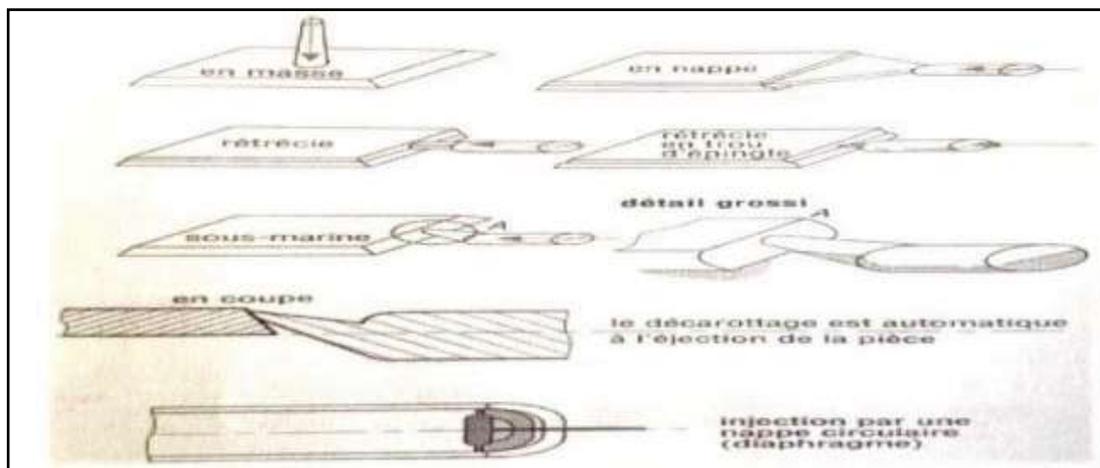


Figure II.20: Seuil d'injection. [24]

### II.8.9. Les colliers chauffants et les barres de fixations

Dans l'ensemble du dispositif de la vis fourreau, les colliers chauffants sont utilisés pour chauffer par conduction et réguler l'ensemble du système à la température de travail du polymère utilisé. Ces colliers ont une forme circulaire qui leur permet de s'enrouler autour du fourreau cylindrique. Pour fonctionner, ils sont directement connectés au système électrique de la presse. Il existe plusieurs types de colliers chauffants correspondant aux différentes

## **Chapitre II: Les procédure du production par injection thermoplastique**

puissances requises. Généralement, pour les fourreaux des presses à injection, on utilise souvent des colliers de type céramique ou bien de type mica.



**FigureII.21:Colliers chauffants**

### **II.8.10.Le moule**

#### **II.8.10.1.Définition**

Le moule est un 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. [25]

#### **II.8.10.2.Structure d'un moule**

Le moule est principalement composé de différents composants, comme illustré dans les figures suivantes : la partie mobile, la partie fixe, la batterie d'éjection, les éjecteurs, l'attelage d'éjection, le plan de joint, le tiroir, la pièce moulée, la buse d'injection et la rondelle de centrage. [25]

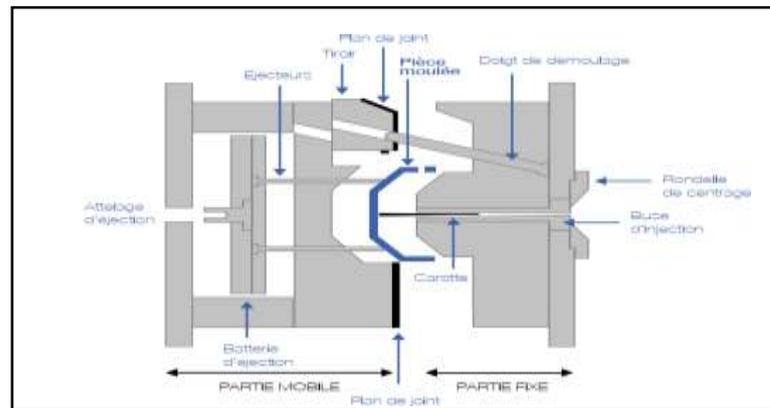


Figure II.22: Présentation du moule [10]

### II.8.10.3. Refroidissement des moules

Le fonctionnement des circuits de refroidissement des moules implique un ajustement manuel simple du débit d'eau. Il est nécessaire de maintenir la température de la matière plastique à la sortie de la buse de la presse jusqu'à l'empreinte du moule. Par conséquent, il est nécessaire de procéder au refroidissement des zones environnantes de l'empreinte

#### A- Rôle du refroidissement

Le refroidissement des moules est à la fois une exigence technique et économique, car une pièce moulée ne peut être démoulée sans endommager l'outil qui la produit si elle n'a pas atteint une rigidité suffisante pour résister aux forces d'éjection [25]

#### B- Temps de refroidissement des pièces moulées

Le temps de refroidissement à l'intérieur du moule d'un objet en matière plastique constitue généralement la phase la plus longue du cycle de production, en particulier pour des épaisseurs de pièces courantes allant de 1,5 à 3 mm. Pour une pièce d'épaisseur régulière, située dans les limites indiquées et présentant des surfaces latérales internes et externes telles que schématisées sur le graphique de la figure, les temps de refroidissement dépendent directement du rapport du volume de la pièce moulée à la surface totale de refroidissement (V/S), un rapport très proche de la moitié de l'épaisseur, et cela se traduit par la relation. Pour les différents types de pièces.. considérées

$$t/e^2 = 4\rho c/k = cte \dots \dots \dots (II.2)$$

## Chapitre II: Les procédure du production par injection thermoplastique

Avec :  $t$  : Temps de refroidissement -  $e$  : Epaisseur -  $\rho$  : Masse volumique -  $c$  : capacité thermique

$k$ : Coefficient de conductibilité calorifique.

Le rapport  $\rho c/k$  est diffusivité thermique dont la valeur est connue par des températures voisines de la température ambiante, et même au-delà pour certaines matières. [26]

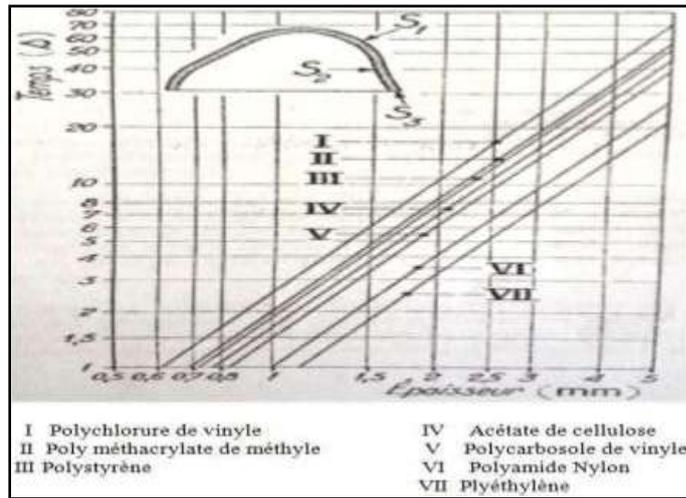


Figure II.23: Temps de refroidissement dans le moulage par injection des thermoplastiques. [24]

### II.8.10.4.L'unité de fermeture

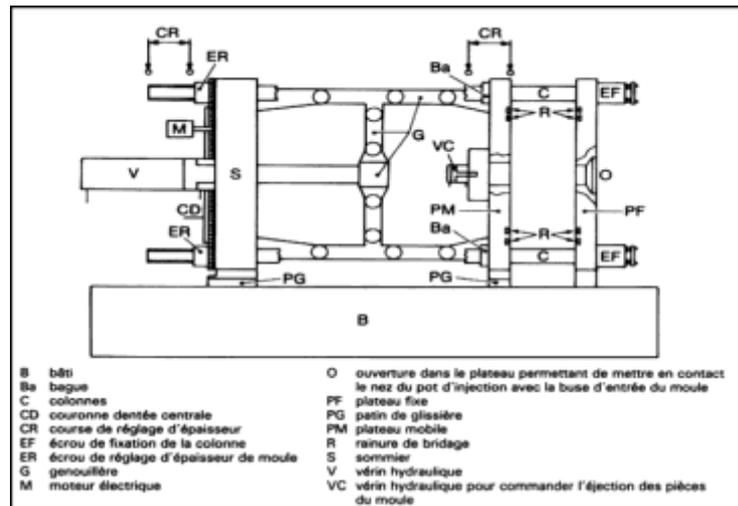
Cet ensemble permet d'assurer la fermeture, l'ouverture et le verrouillage de la partie mobile du moule sur la partie fixe. C'est un organe essentiel qui doit s'opposer à l'effort d'injection et soutenir le système d'éjection. Par conséquent, cette unité peut être actionnée de différentes manières.

#### A-Unité de fermeture mécanique

Malgré le fait que les mouvements soient assurés par un vérin, cette unité est appelée mécanique car la force de verrouillage est assurée par les genouillères (arc-boutement). Comme illustré dans la figure, le sommier est relié au plateau fixe par quatre colonnes le long desquelles le plateau mobile se déplace. Nous examinerons plus en détail comment ces éléments assurent la force de fermeture. La figure (Figure. II.22) montre comment les genouillères génèrent la force de fermeture. Les éléments de la genouillère G sont représentés dans la position où les plans de joint du moule se rencontrent. Dans cet état, le plateau mobile ne peut plus avancer, et les éléments

## Chapitre II: Les procédure du production par injection thermoplastique

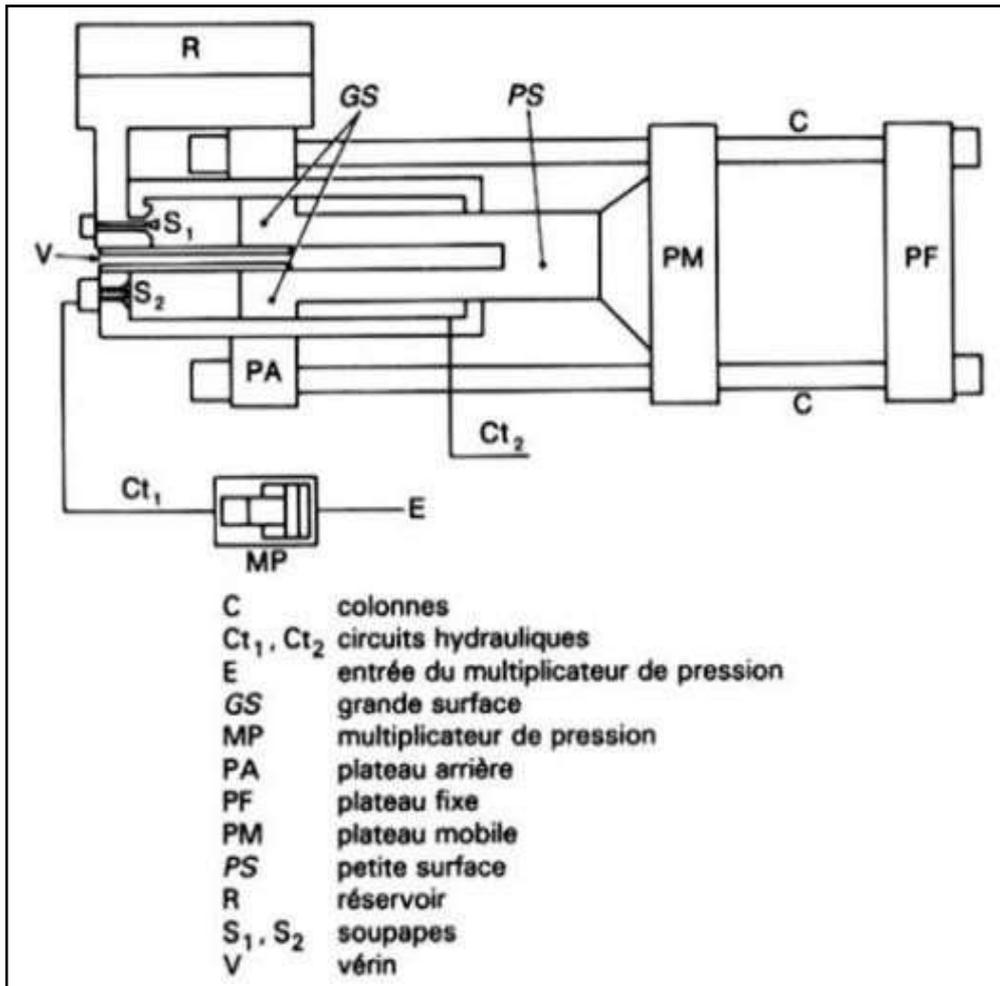
Lorsque les genouillères sont en mouvement, on peut constater qu'elles jouent parfaitement le rôle d'un levier qui multiplie les forces. En effet, le vérin continue de pousser, ce qui entraîne une légère extension des quatre colonnes. En ce qui concerne les contraintes et les déformations subies, le comportement mécanique des colonnes sera élastique, et celles-ci agiront comme des ressorts pour exercer la force de fermeture du moule. [24]



FigureII.24:Groupe de fermeture à genouillères. [24]

### B-Unité de fermeture hydraulique:

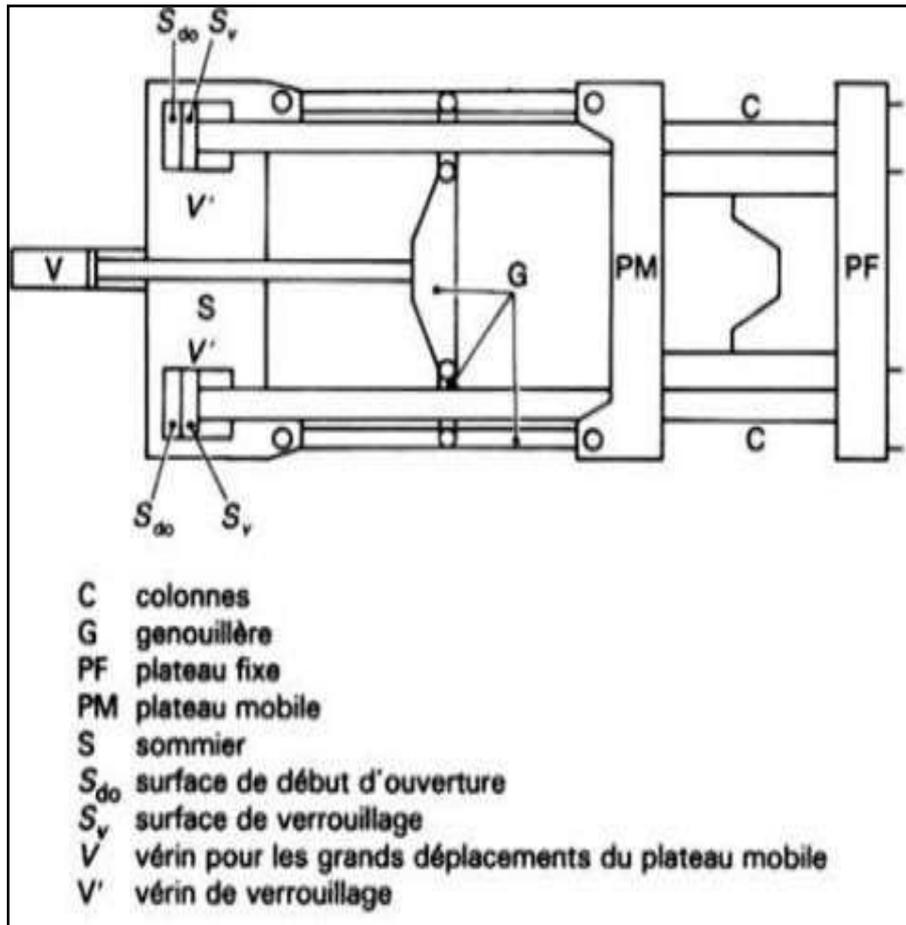
Le déplacement du plateau mobile est assuré par un grand vérin central qui vise à rapprocher le plateau mobile du plateau fixe, tandis qu'un vérin plus petit assure le verrouillage dans la phase finale de la fermeture.



**Figure II.25: Groupe de fermeture à verrouillage hydraulique. [24]**

**C-Unité de fermeture mixte:**

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



**Figure II.26: Groupe de fermeture mixte. [27]**

**D-Force de fermeture :**

Elle détermine la capacité maximale, en surface frontale ou surface projetée des pièces moulées et de leurs canaux d'alimentation, sur un plan parallèle le à celui des plateaux. Si  $F$  est la force de fermeture,  $S$  la surface frontale,  $P_m$  la pression moyenne régnant à l'intérieur de l'outillage, il faut respecter l'inégalité :  $F \geq P_m S$  d'où  $S \leq F/P_m$ .....(II.3)

Pour  $S$  maximal, la pression moyenne admissible est de l'ordre de 25 à 30 MPa. [27]

## **Chapitre II: Les procédure du production par injection thermoplastique**

---

### **II.6.Conclusion :**

Au cours de ce chapitre, nous avons examiné en détail une presse à injection, ses différentes composantes et son mode de fonctionnement. Nous avons également étudié la méthode de fabrication des pièces en plastique, en abordant spécifiquement le déroulement du cycle d'injection.

***Chapitre III :***  
***Simulation de l'outillage***  
***sur SolidWorks***

**III.1.Introduction**

Dans ce chapitre, nous présenterons la partie simulation d'injection plastique d'un pignon, nous avons choisi deux types de polymères (NYLON et PBT) pour une étude comparative, nous avons fait cela à l'aide du Logiciel Solid Works et SOLIDWORKS PLASTICS permet de concevoir des pièces plastiques et moules par injection plastique, ce dernier est un logiciel d'analyse des écoulements de fluide et du transfert thermique entièrement intégré à Solid Works, Un organigramme de simulation d'injection plastique dans Solid Works nécessite de suivre un processus étape par étape telles que ; La création du modèle 3D de la pièce en plastique et la définition des matériaux, des points d'entrée de l'injection et d'autres caractéristiques nécessaires à la simulation...etc.

**III.2.Organigramme de simulation de l'injection plastique sur SolidWorks**

La création d'un organigramme de simulation d'injection plastique dans SolidWorks nécessite de suivre un processus étape par étape. Un guide général pour créer un organigramme de simulation d'injection plastique dans SolidWorks est présent comme suit:

**III.2.1.Création un modèle de la pièce en plastique :**

La création du modèle 3D de la pièce en plastique. Le modèle est correctement conçu avec des caractéristiques de moulage par injection, telles que des parois minces, des points d'entrée, des événements, etc.

**III.2.2. Accéder à l'environnement de Simulation :**

Une fois le modèle 3D de la pièce en plastique est créé , l'accéder à l'environnement de simulation en cliquant sur "Évaluation" dans la barre d'outils supérieure, puis en sélectionnant "Simulation Xpress" ou en utilisant le module d'analyse plus avancé, tel que "Simulation Premium."

**III.2.3.Préparation du modèle pour la simulation :**

Le modèle est correctement défini avec des matériaux appropriés, des points d'entrée de l'injection et d'autres caractéristiques nécessaires à la simulation.

**III.2.4.Configuration des paramètres de la simulation :**

La définition des paramètres de la simulation, tels que la pression d'injection, la température du moule, les caractéristiques du matériau, etc.

**III.2.5.Réalisation de la simulation :**

La simulation pour voir comment le plastique se comportera pendant le processus d'injection. Solid Works générera des résultats sous forme de graphiques et de données.

**III.2.6.Analyses des résultats :**

Analyses des résultats de la simulation pour identifier les éventuels problèmes tels que les marques de brûlure, les lignes de soudure, les contraintes excessives, etc.

**III.2.7. Apportage des modifications :**

Si des problèmes dans la simulation, retourne à votre modèle 3D et apporte les modifications nécessaires pour résoudre ces problèmes. Nous pouvons itérer ce processus autant de fois que nécessaire.

**III.2.8. Optimisation de la conception :**

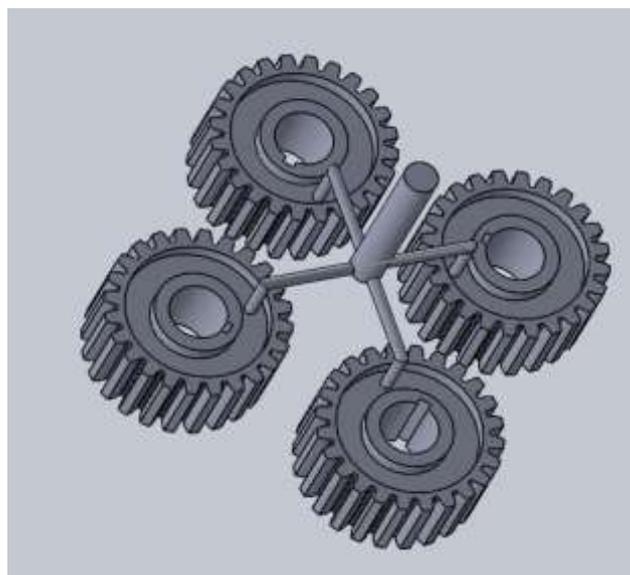
Utilisation des informations obtenues de la simulation pour optimiser la conception de manière à minimiser les problèmes potentiels lors du moulage par injection.

**III.2.9. Finalisation de l'organigramme :**

La création d'un organigramme ou un rapport pour résumer les étapes de la simulation, les résultats et les recommandations pour l'amélioration de la conception.

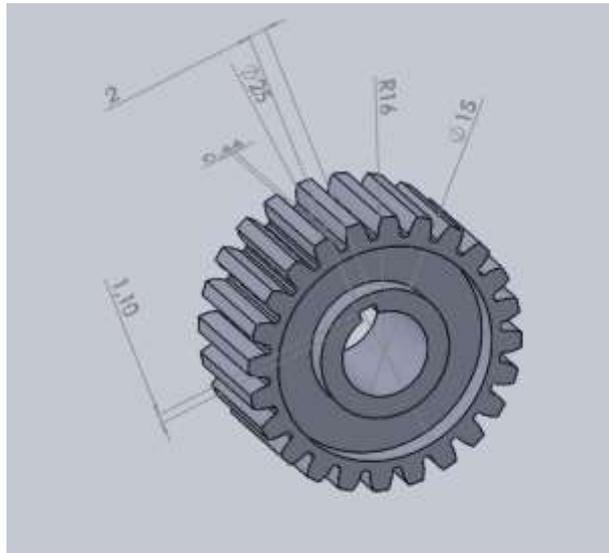
**III.3.Conception en 3D de la pièce moulée**

La conception en 3D de la pièce moulée a été créée à l'aide du logiciel Solid Works. La figure ci-dessous est une vue perspective d'une pièce moulée.



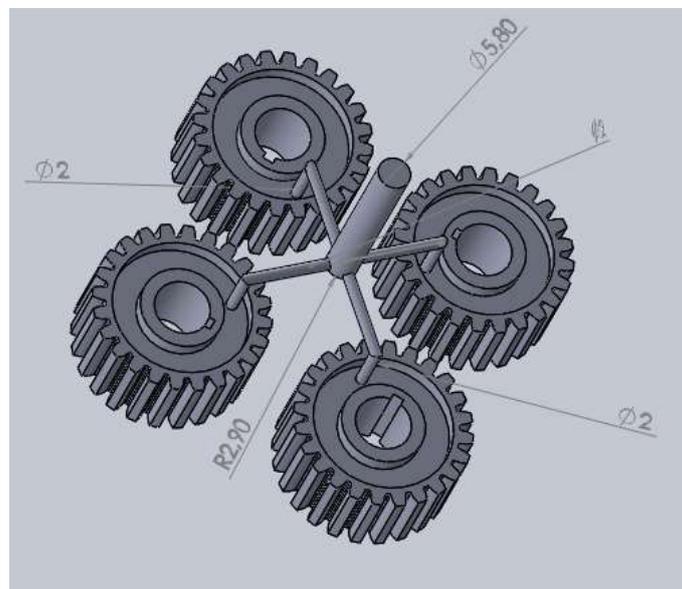
**Figure III.1: vue perspective de moulage.**

La figure ci-dessous présente la géométrie de la pièce moulée-pignon -qui présente la cavité de moule



FigureIII.2: dimensions de la pièce moulée-pignon.

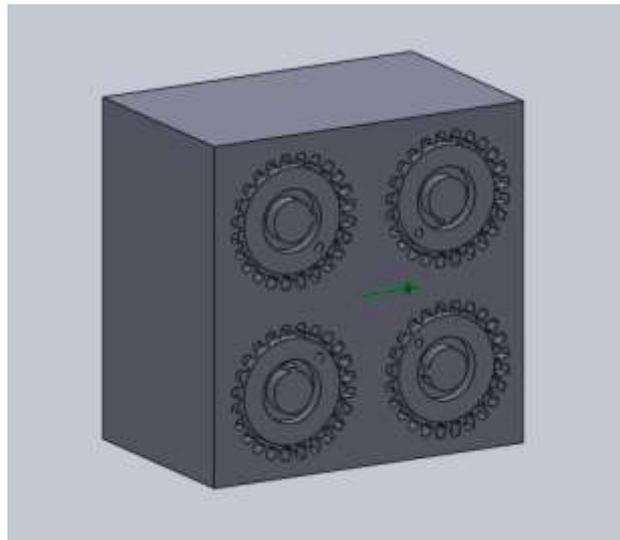
La figure ci-dessous présente la géométrie et les dimensions globale de la pièce moulée-pignon -



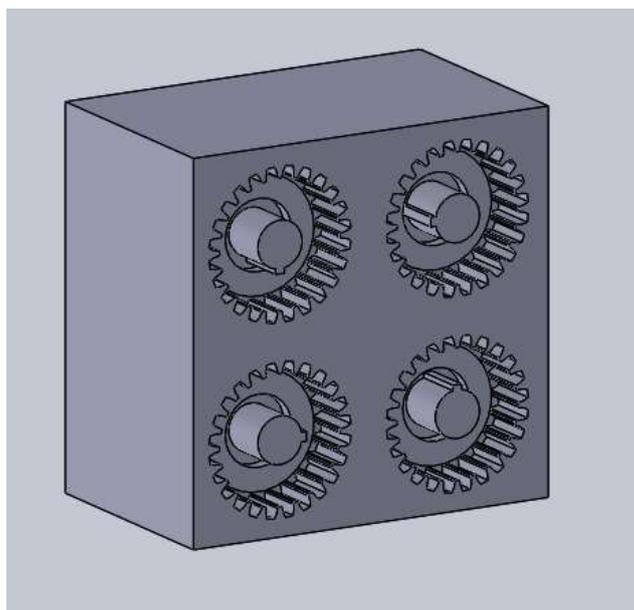
FigureIII.3: géométrie et dimensions globale de la pièce moulée-pignon -

### III.4. Conception des parties fixe et mobile

Le moule, composé de deux parties, un fixe et un mobile, est à ce moment tenu sous pression pour rester fermé, pendant que de son côté la matière est compactée par la vis, jusqu'à atteindre une pression uniforme dans la cavité du moule (également appelée empreinte), dans laquelle du polymère fondu continue à être injecté pour compenser le rétrécissement, ou retrait, de la matière qui refroidit. Le corps et la cavité du moule sont chacun montés et partagés sur deux parties du moule mobile et fixe. Dans les figures suivantes nous avons présenté respectivement les deux parties fixe et mobile.



**Figure III.4: Partie du moule bridée sur le plateau fixe de la presse**



**Figure III.5: Partie du moule bridée sur le plateau mobile qui se déplace pour l'ouverture**

### III.5. Modèle 3D maillage associé

Les pièces moulées présentées sur la figure 3.10, ont été modélisées à l'aide d'éléments de coque avec la formulation d'éléments tétraédrique. Les éléments de maillage choisis sont les éléments les plus adaptés pour une telle géométrie. Le modèle 3D maillage associé à ces pièces moulées se composait de 202332 éléments et 101160 nœuds dans total pour les deux matériaux.



**Figure III.6: Modèle 3D maillé.**



**Figure III.7: Une partie zoomée.**

### III.6. Le point d'injection

Au début du processus, des pastilles de résine (pellets) sont versées dans la trémie, point d'entrée matériel. SOLIDWORKS Plastics permet de concevoir des pièces plastiques et moules par injection plastique. En effet, il est important que le point d'injection soit le plus réaliste possible dans ces dimensions. La figure suivante présente le point d'injection qui est situé en haut de la pièce. Ce choix reste le même pour les deux matériaux.

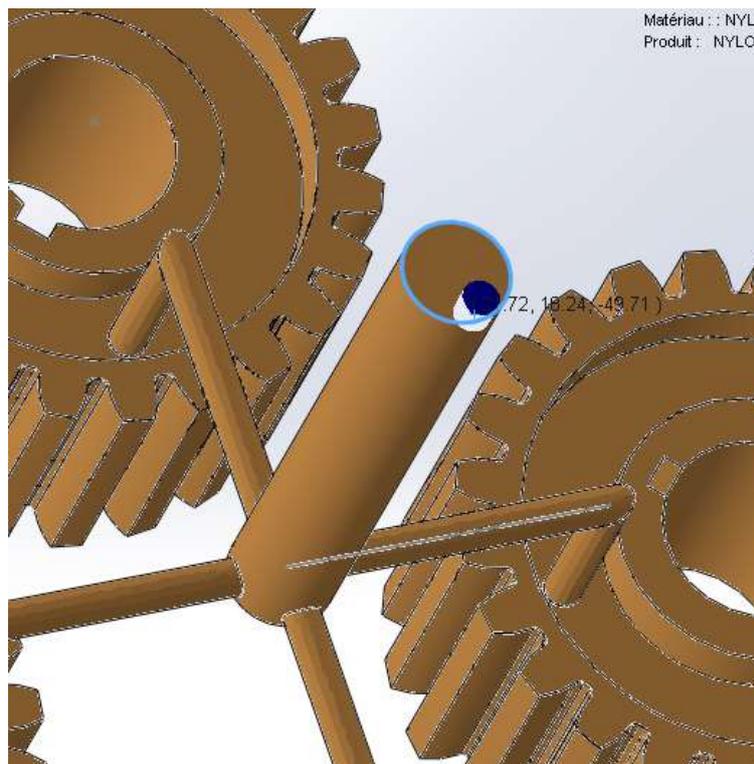


Figure III.8: Une partie zoomée.

**III.7. Données de la simulation****III.7.1. Polymère1: NYLO N****III.7.1.1. Définition**

Le nylon est une matière plastique de type polyamide souvent utilisée comme fibre textile ; il est inventé le 28 février 1935 par Wallace Carothers.

Les propriétés du nylon sont très variées et utiles. Il est très résistant à la corrosion et à l'usure, et possède une très bonne résistance aux produits chimiques et aux températures extrêmes [28]

**III.7.1.2. Les caractéristiques**

Le tableau ci-dessous présente les propriétés du nylon et donne ses forces, ses faiblesses et ses applications.

**Tableau III.1: La caractéristique de NYLON.**

Les Points Forts	Les Points Faibles	Applications
-Très bonne transparence -Bonne tenue aux UV -Brillance et dureté remarquable	-Fragilité -Tenue à la chaleur limitée	-Matière couramment appelée Plexiglas  -nylon est utilisé dans de nombreux secteurs dont l'optique, l'automobile, l'agencement, la décoration, le médical...

- Température du Fusion (**TF**) : 260°C
- Température du moule (**TM**) : 85°C
- Température d'injection (**TI**) : 140°C
- Pression injection (**PI**) : 500 à 2000 bars
- Conductivité (**C**) = 0.25 W/m°C

**III.7.2.Polymère 2 : Poly Téréphtalate de butylène (PBT).**

**III.7.2.1.Définition**

La matière Poly Téréphtalate de Butylène (PBT) est une matière synthétique appartenant à la famille des polyesters et il est constitué de pétrole, de gaz naturel ou des matières premières végétales. Le PBT se recycle à 100% et ne perd en principe pas ses caractéristiques fondamentales et peut donc être réutilisé à plusieurs reprises pour fabriquer des produits de qualité supérieure. Les emballages en PBT satisfont aux exigences les plus sévères en matière d’hygiène dans le domaine alimentaire, cosmétique et médical. Le PBT est souvent utilisé pour la production de bouteilles à boissons. Contrairement aux cannettes en aluminium ou aux bouteilles en verre, elles sont incassables, légères et réformables. [29]

**III.7.2.2.Les caractéristiques**

Le tableau ci-dessous présente les propriétés du nylon et donne ses forces, ses faiblesses et ses applications.

**Tableau III.2 : Caractéristiques du PBT.**

<b>Les Points Forts</b>	<b>Les Points Faibles</b>	<b>Applications</b>
-dur. -Rigide. -solide - bonne stabilité dimensionnelle. -faible taux d’absorption d’eau.	très transparent.  - non colorant	-Plastie ligamentaire et chirurgie reconstructrice.  -Prothèses cardio- vasculaires.  -La voile des deltaplanes très performants

- Température du Fusion (**TF**): 270 °C
- Température du moule (**TM**): 100 °C
- Température d’injection (**TI**): 150 °C
- Pression d’injection (**PI**): 1200 à 1700 bars
- Conductivité (**C**) = 0.16 W/m°C

**III.8..Conditions de la simulation****III.8.1.Polymère 1 : NYLO N****III.8.1.1.Pièce moulé - Nylon -**

- Nom du produit : pignon.
- Type : Solide
- Volume (**V**) : 82.25 (cm<sup>3</sup>)
- Poids (**P**): 100.18 (g)
- Surface (**S**) : 585.87 (cm<sup>2</sup>)

**III.8.1.2.Conditions du processus**

- Le temps de remplissage (**TR**) = 3.39 sec
- Température Principal de matériaux de fusion (**TPM**) = 250 °C
- Pression d'Injecter (**PI**) (Machine) Max = 250 MPa
- Débit d'Injecter (**DI**) (Machine) Max = 59 cc/s
- Conductivité (**C**) = 0.25W/m°

**III.8.1.3.Conditions de Refroidissement**

- Température de fusion d'entrée (**TF**)= 250 °C
- Temps d'ouverture du Moule (**TM**)= 3 sec
- Débit au débit de remplissage(**DR**) = 27 cc/s
- Température d'injection (**TI**)= 250 °C
- Temps de refroidissement (**TR**)= 83.39 sec

**III.8.2.Polymère 2 : Poly Téréphtalate de butylène (PBT).****III.8.2.1.Pièce moulée-PBT-**

- Nom du produit : pignon
- Type : Solide
- Volume (**V**) : 82.25 (cm<sup>3</sup>)
- Poids (**P**) : 135.74 (g)
- Surface (**S**) : 585.87 (cm<sup>2</sup>)

**III.8.2.2. Conditions du processus**

- Le temps de remplissage (**TR**) = 3.48 sec
- Température Principal de matériaux de fusion (**TPM**) = 270 °C
- Pression d'injecter (**PI**) (Machine) Max = 250 MPa
- Débit d'injecter (**DI**) (Machine) Max = 59 cc/s

**III.8.2.3. Conditions de Refroidissement**

- Température de fusion d'entrée (**TF**) = 270 °C
- Temps d'ouverture du Moule (**TM**) = 3 sec
- Débit au début de remplissage (**DR**) = 28 cc/s
- Température d'injection (**TI**) = 150 °C
- Temps de refroidissement (**TR**) = 96.84 sec

III.9.Résultats de la simulation et discussion

III.9.1.Effet de la viscosité (Nylon)

La figure suivante présente la variation de la viscosité en fonction du taux de cisaillement, on remarque, d'une manière générale que, la viscosité du Nylon est en générale presque constante dans l'intervalle du taux de cisaillement  $1.000e^{-004}$  à  $1.000e^{-02}$ , après elle diminue avec la diminution de la température jusqu'à se quelle se stabilise à la valeur plus de  $1.000e^{+005}$  de taux de cisaillement. On sait bien que le taux de cisaillement est défini comme la variation de la contrainte de cisaillement par unité de temps.

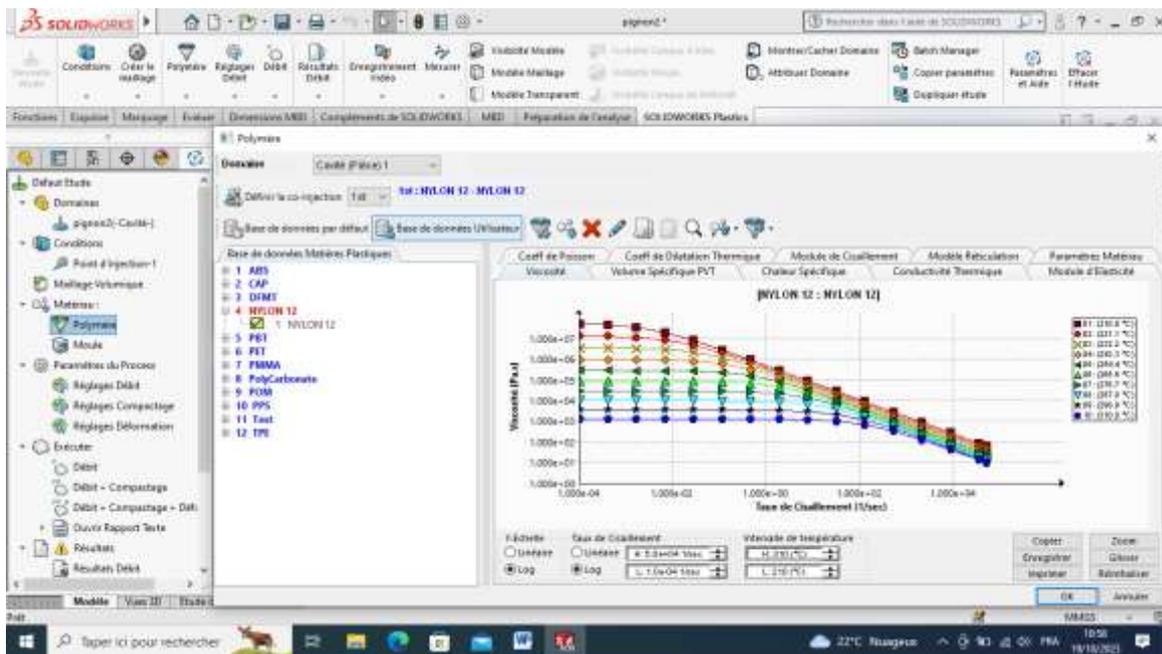


Figure III.9: Viscosité du NYLON en fonction du taux de cisaillement.

III.9.2. Effet du volume spécifique de Nylon

La Figure III.10 présente la variation du volume spécifique de Nylon en fonction de la température, elle montre que le volume spécifique est proportionnelle par rapport à la température c'est-à-dire lorsque le volume spécifique augmente la température augmente dans l'intervalle 50 à 310C°, et le volume spécifique augmente jusqu'il atteint la valeur max 1.2 à la température maximale qui est égale à 310 C° et basse pression (P=10MPa).



Figure III.10: Volume spécifique du Nylon en fonction de la température.

### III.9.3. Effet de la viscosité (PBT)

La viscosité du polymère PBT est constante pour différentes températures dans un intervalle  $\epsilon$  (de  $1.000 \cdot 10^{-05}$  à plus de  $1.000 \cdot 10^{+001}$ ), mais après le taux de cisaillement  $1.000 \cdot 10^{+002}$ , on voit clairement que les valeurs de la viscosité diminuent

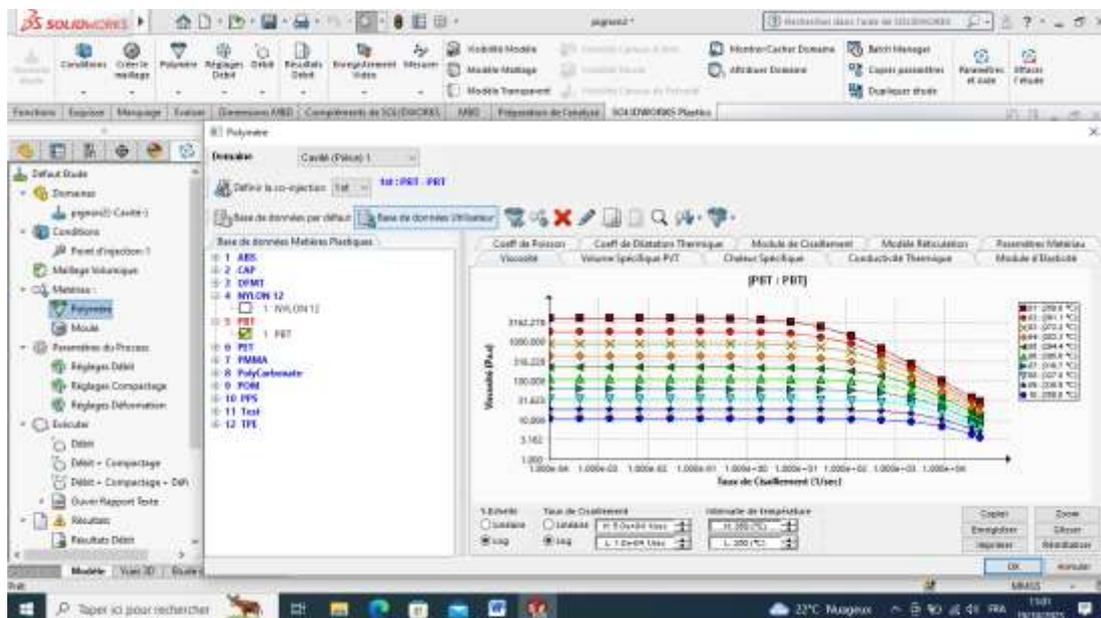


Figure III.11: Viscosité du PBT en fonction du taux de cisaillement.

### III.9.4. Effet du volume spécifique(PBT)

La figure représente la variation du volume spécifique du PBT en fonction de la température. D'après cette figure nous avons observé les remarques suivantes :

- dans l'intervalle de température ( $T=120^{\circ}\text{C}$  et  $T=220^{\circ}\text{C}$ ) une lente augmentation du volume spécifique, de  $0.82\text{cc/g}$  à  $0.87\text{ cc/g}$ .
- à la température de  $T=220^{\circ}\text{C}$  nous avons enregistré une régression remarquables des volumes spécifiques du PBT (de  $\text{PVT}=0.88\text{cc/g}$  à  $\text{PVT}=0.8\text{ cc/g}$ ). avec l'augmentation de la pression de ( $87.3\text{MPa}$  à  $200\text{ MPa}$ ) et dans l'intervalle de température ( $T=220^{\circ}\text{C}$  et plus de  $T=300^{\circ}\text{C}$ ) une augmentation considérable du volume spécifique.
- à la température de  $T=220^{\circ}\text{C}$  nous avons enregistré une augmentation remarquables des volumes spécifiques du PBT (de  $\text{PVT}=0.88\text{cc/g}$  à  $\text{PVT}=0.92\text{ cc/g}$ ). avec l'augmentation de la pression de ( $1\text{MPa}$  à  $45.42\text{ MPa}$ ) et dans l'intervalle de température ( $T=220^{\circ}\text{C}$  et plus de  $T=300^{\circ}\text{C}$ ) une augmentation considérable du volume spécifique.

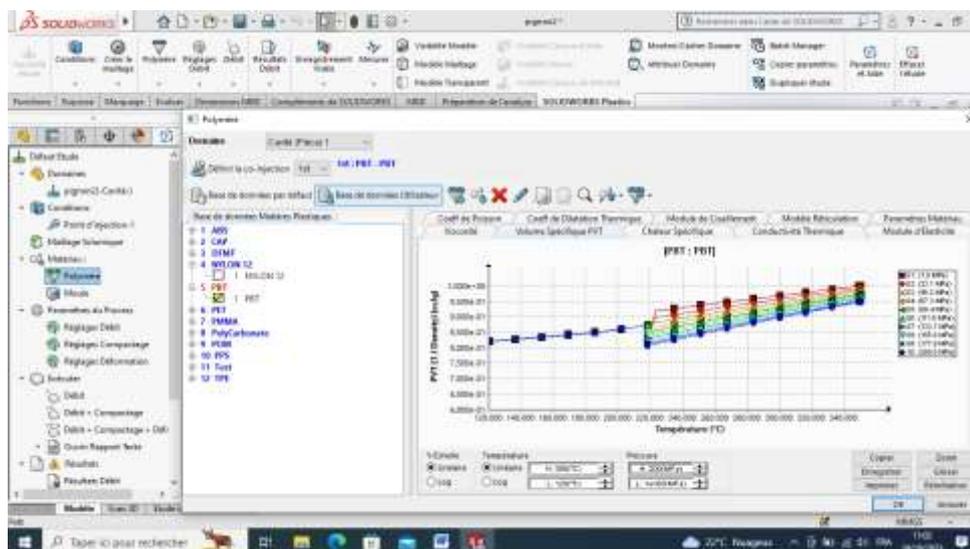


Figure III.12: Volume spécifique du PBT en fonction de la températ

III.9.5. Etude comparative du temps de remplissage

Les figures suivantes présentent les résultats de remplissage de matériau pour deux types de polymères (NYLON et PBT) dans la cavité, dans les conditions du processus et de refroidissement

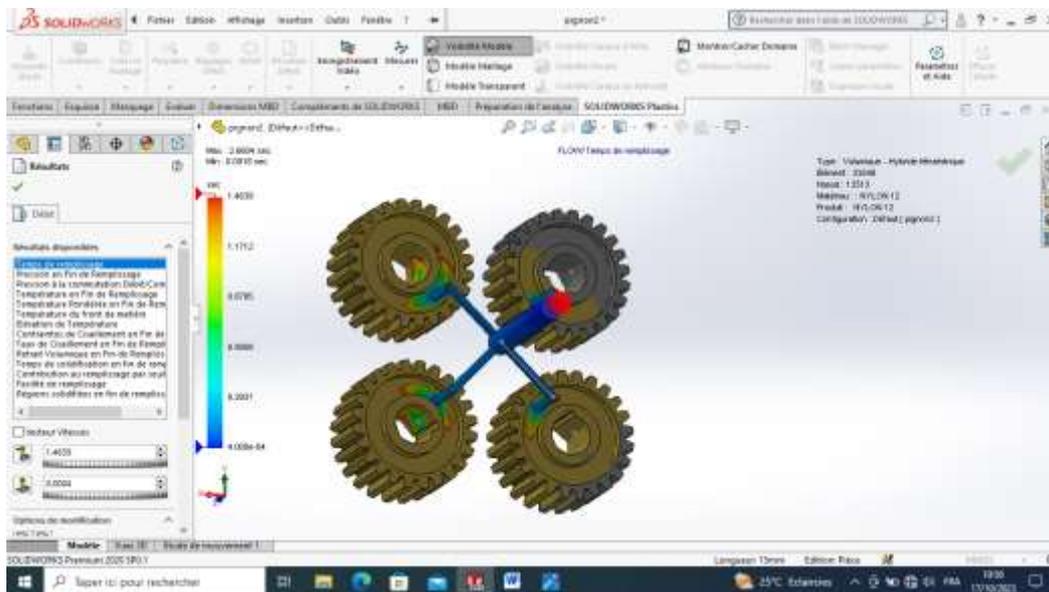


Figure III.13: Remplissage de matériau Nylon

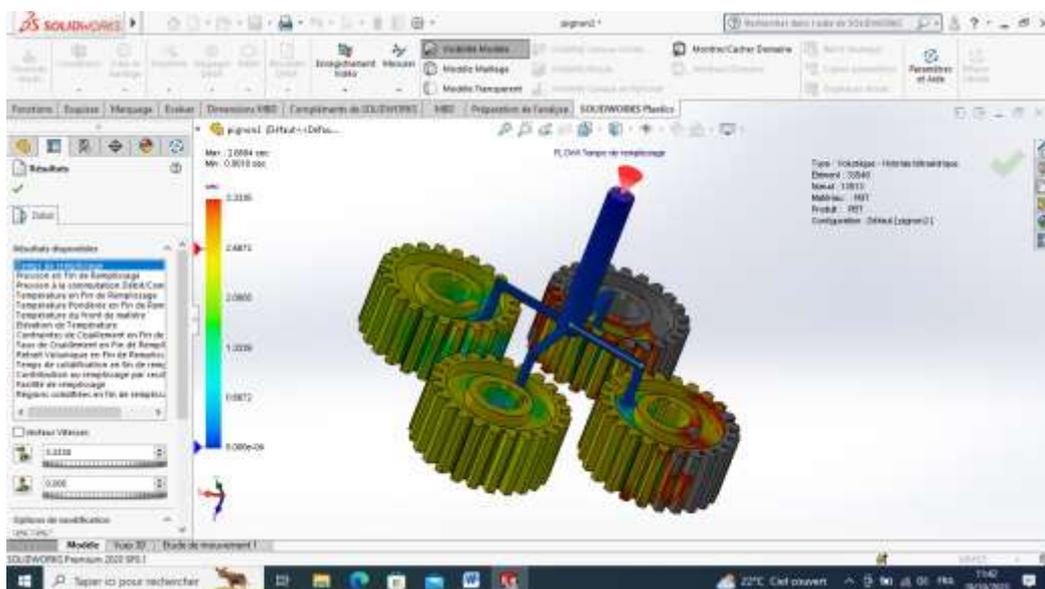


Figure III.14: Remplissage de matériau PBT

D'après les figures précédentes nous avons remarqué que la répartition de remplissage du polymère PBT est homogène pour différente séquence de l'opération de remplissage jusqu'à la fin de l'opération de remplissage. Par contre au matériau nylon, la répartition de remplissage n'est pas homogène pour différente séquence de l'opération de remplissage

jusqu'à la fin de l'opération de remplissage. Cette différence de la répartition de remplissage entre les deux types de polymères (NYLON et PBT) est due aux caractéristiques et les propriétés mécaniques, de chaque polymère.

### III.9.6. Etude comparative de la pression en fin remplissage

Les figures suivantes présentent les résultats de la pression en fin de remplissage pour les deux types de polymères (NYLON et PBT) dans la cavité correspond aux conditions du processus et de refroidissement

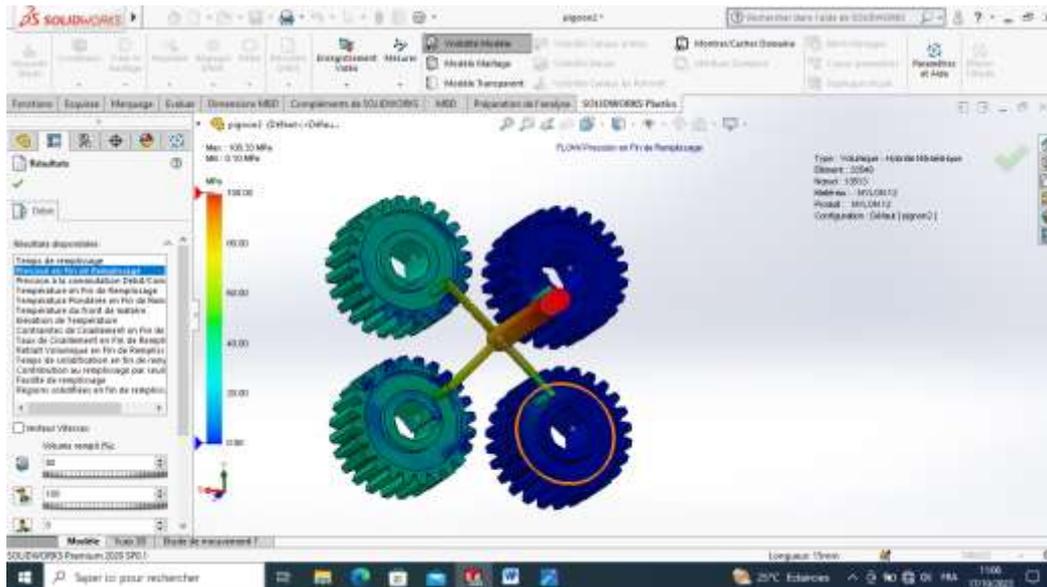


Figure III.15: pression en fin remplissage NYLON

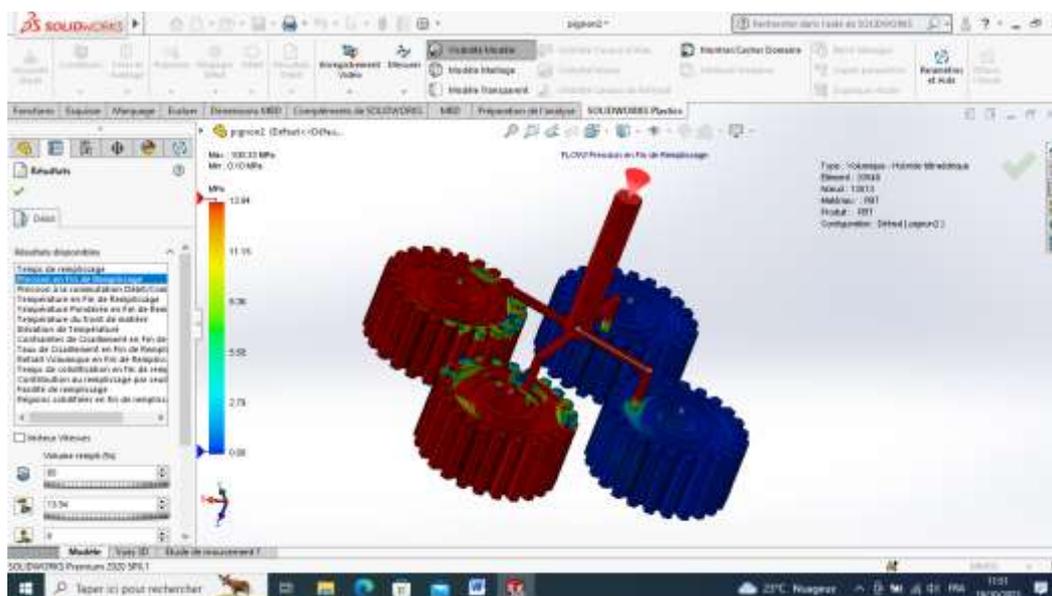


Figure III.16: pression en fin remplissage PBT

Les figures montrent que la pression du polymère nylon atteindra à peu près 100 MPa en temps de 3.5S, une valeur importante par rapport au polymère PBT sa valeur qui est égale à plus de 13.94 MPa, On remarque aussi que la répartition de la pression dans le matériau PBT est quasiment homogène durant le procédé, contrairement au polymère nylon, où la répartition de la pression n'est pas homogène

### III.9.7. Etude comparative de la température centrale en fin remplissage

Les figures suivantes présentent les résultats de la température centrale en fin remplissage de de matériau pour deux types de polymères (NYLON et PBT) dans la cavité dans les conditions du processus et de refroidissement.

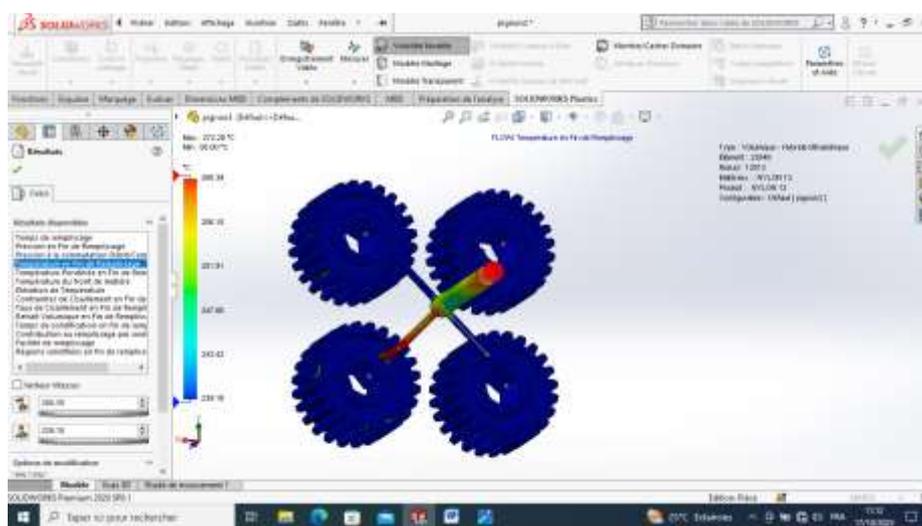


Figure III.17: température centrale en fin remplissage NYLON

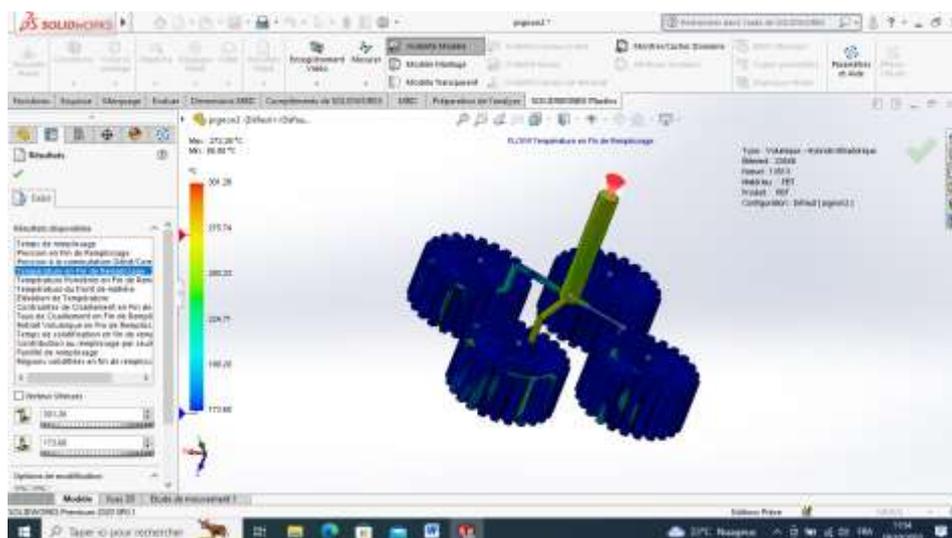


Figure III.18: température centrale en fin remplissage PBT

D'après les figures on remarque que la température centrale en fin remplissage du polymère nylon est comprise entre 173 et 300 et atteindre à près 300 °C en temps de 3.5S, une valeur peu importante par rapport au polymère PBT sa valeur qui est égale à plus de 260 °C durant le remplissage due aux caractéristiques et les propriétés mécaniques, physiques de chaqu'un.

### III.9.8. Etude comparative de la température moyenne en fin remplissage

Les figures suivantes présentent les résultats de la température moyenne en fin remplissage de de matériau pour deux types de polymères (NYLON et PBT) dans la cavité correspondante en cours remplissage dans les conditions du processus et les conditions de refroidissement

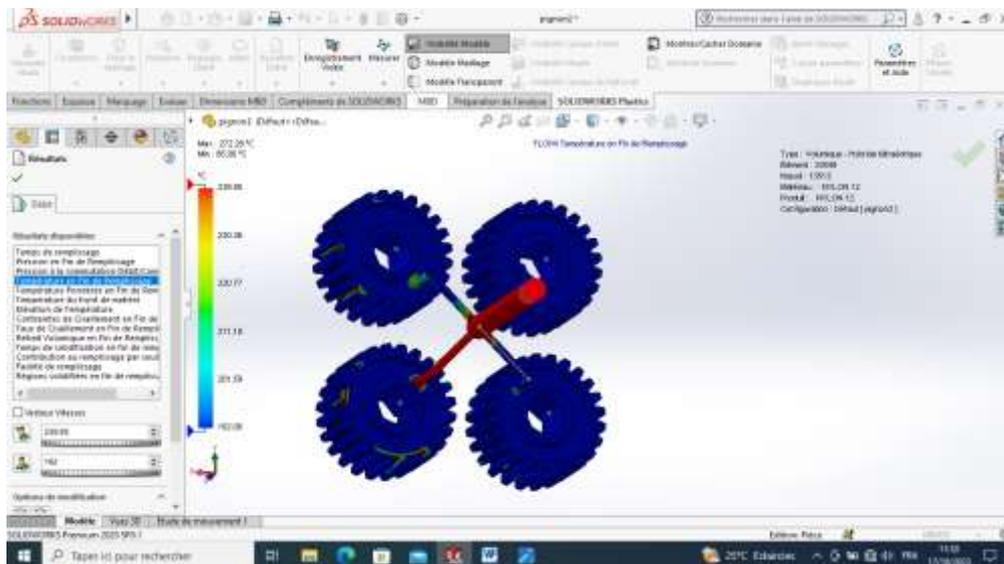


Figure III.19: Température moyenne en fin remplissage NYLON

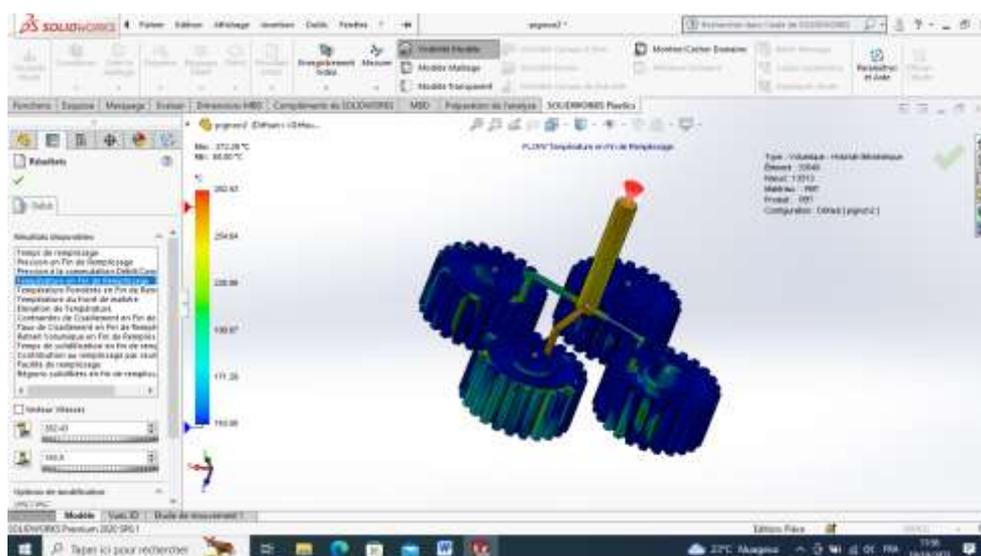


Figure III.20: Température moyenne en fin remplissage PBT

On remarque que la température moyenne en fin de remplissage du polymère nylon est comprise entre 192 et 240 °C en temps de 3.5S et pour le polymère PBT sa valeur est comprise entre 143 et 282 °C durant le temps de remplissage .Cette différence est due aux caractéristiques et les propriétés mécaniques, physiques de chaque polymère.

### III.9.9. Etude comparative des contraintes de cisaillement en fin remplissage

Les figures suivantes présentent les résultats de la contrainte de cisaillement en fin remplissage de matériau pour deux types de polymères (NYLON et PBT) dans la cavité correspondante dans les conditions du processus et les conditions de refroidissement

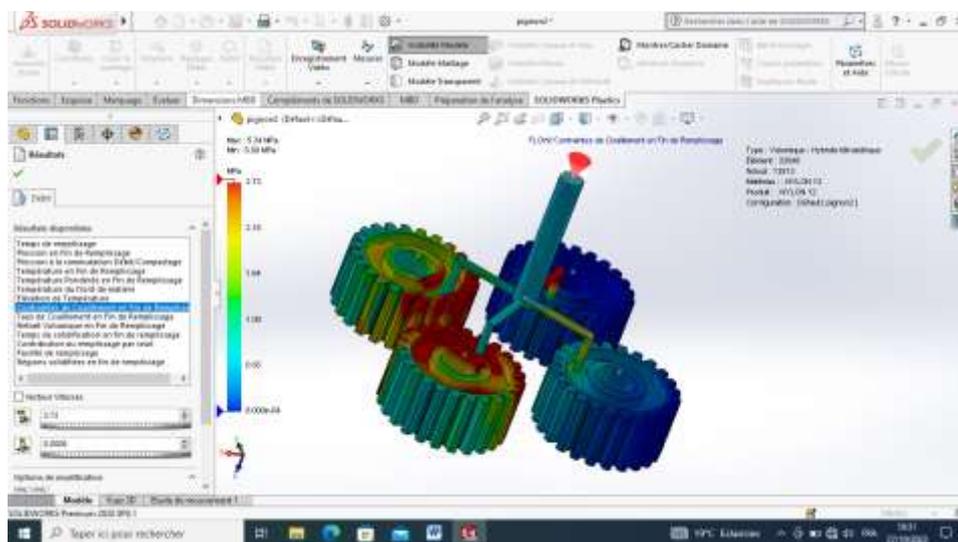


Figure III.21: Contrainte de cisaillement en fin remplissage NYLON

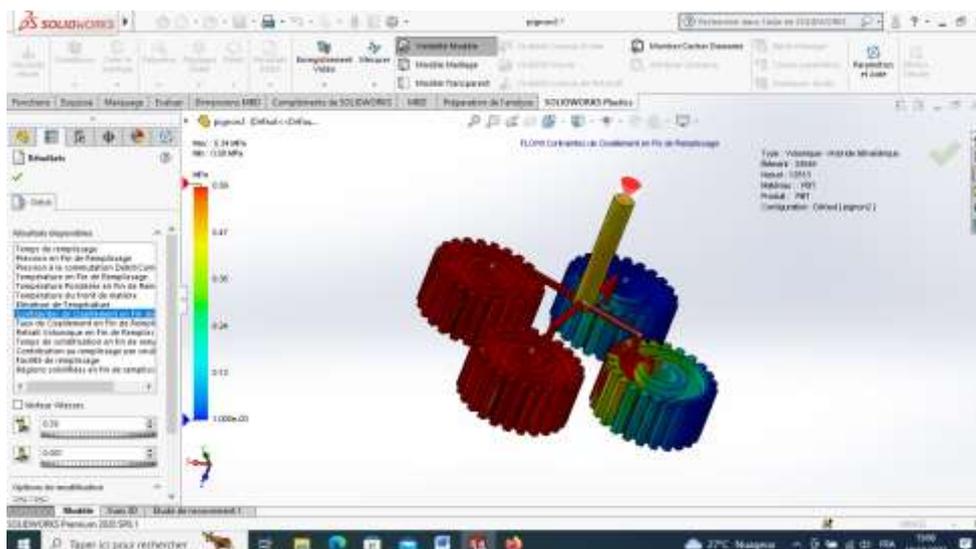


Figure III.22: Contrainte de cisaillement en fin remplissage PBT

D'Après les figures on remarque que la contrainte de cisaillement en fin remplissage du polymère PBT atteindre à peu près 0.59 MPa en temps de 3.5S, une valeur inférieure par rapport au polymère nylon sa valeur qui est égale à plus de 2.73 MPa cet écart due aux caractéristiques et les propriétés mécaniques et physiques de chaque polymère.

### III.9.10. Etude comparative du taux de cisaillement en fin remplissage

Les figures suivantes présentent les résultats du taux de cisaillement en fin remplissage de de matériau pour deux types de polymères (NYLON et PBT) dans la cavité correspondante au cours de remplissage dans les conditions du processus et les conditions de refroidissement

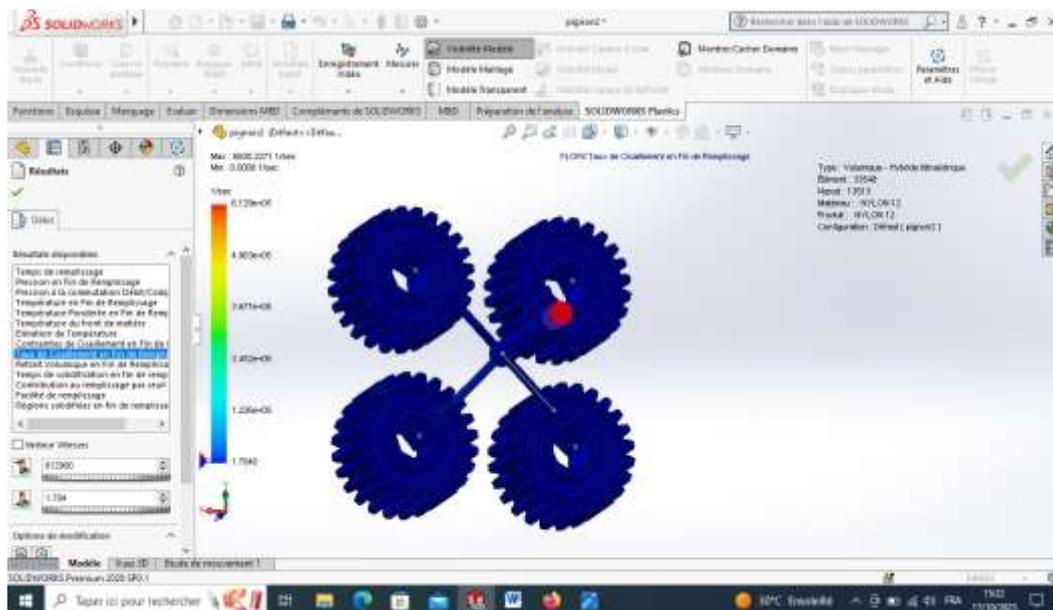


Figure III.23:taux de cisaillement en fin remplissage NYLON

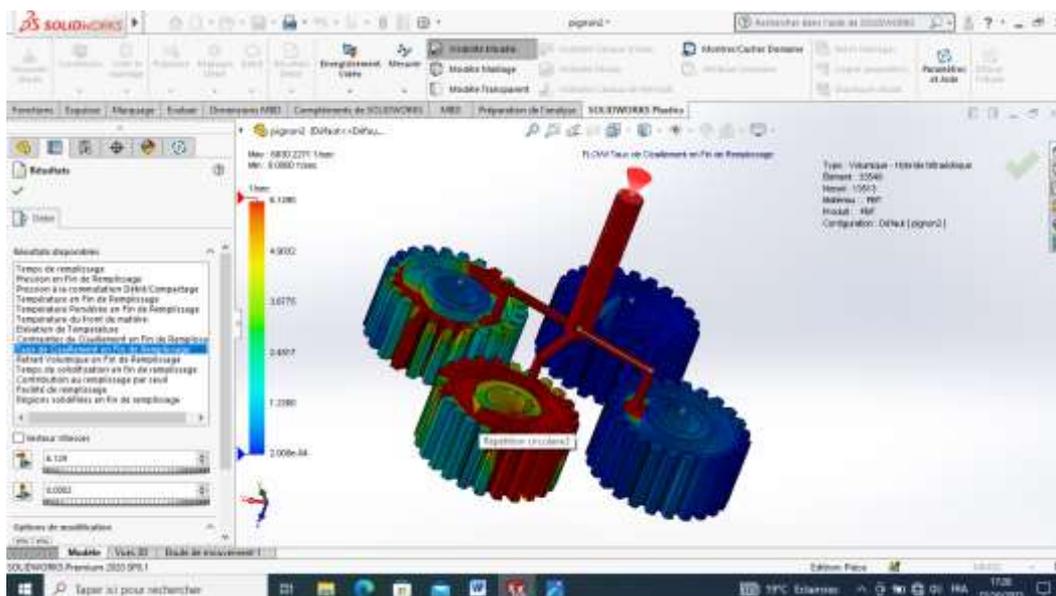


Figure III.24:taux de cisaillement en fin remplissage PBT

On peut remarquer que le taux de cisaillement du polymère nylon atteindre à peu près  $6.129 \text{ E05 S}^{-1}$  en temps de 3.5S, une valeur importante par rapport au polymère PBT sa valeur qui est égale à plus de  $2.317 \text{ E004 S}^{-1}$ .

### III.9.11. Etude comparative de la pression d'entrée max en fin remplissage

Les figures suivantes présentent les résultats La pression d'entrée max en fin remplissage en fonction du temps pour deux types de polymères (NYLON et PBT) dans la cavité correspondante au cours de remplissage dans les conditions du processus et les conditions de refroidissement.

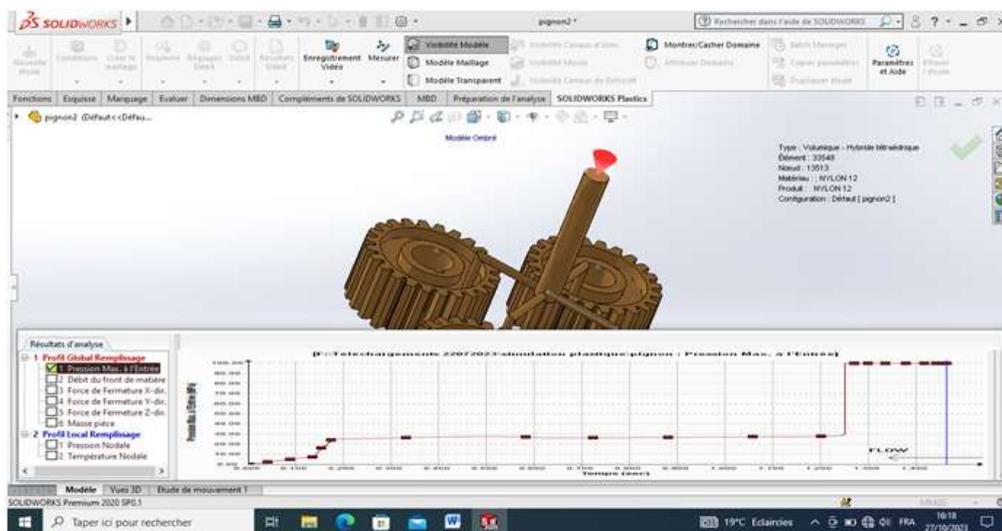


Figure III.25: pression d'entrée en fonction du temps- nylon -

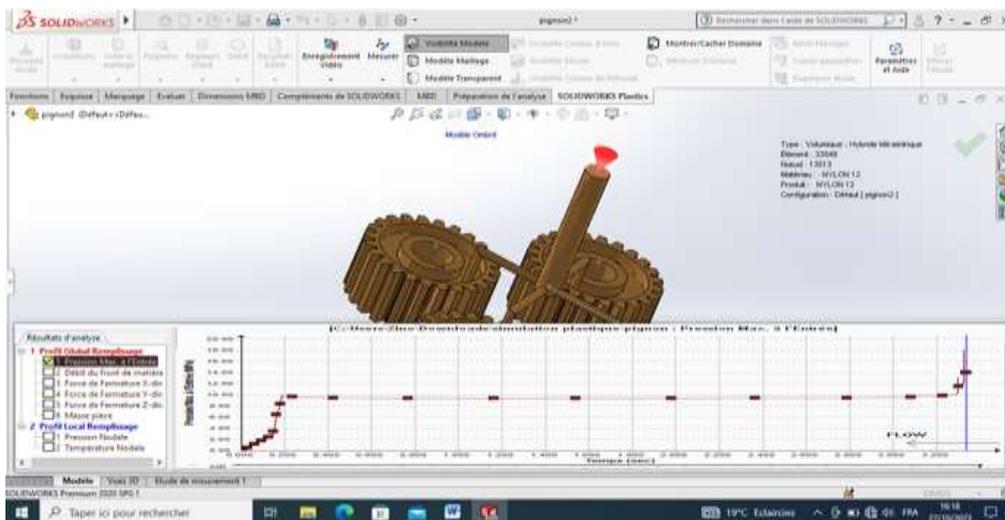


Figure III.26: pression d'entrée en fonction du temps- PBT -

D'après les figures, on remarque que la variation de pression d'entrée en fonction du temps en fin de remplissage du polymère nylon passe par trois phases lors du remplissage. La première phase la valeur de la pression augmente et atteinte 30 MPa dans l'intervalle du temps de 0 à

0,2S et la deuxième phase la valeur de la pression reste constant dans l'intervalle de 0.2 à 1.2S. Dans la troisième phase, la valeur de la pression saut jusqu'à une valeur de 100 MPa et reste constante jusqu'à la fin du remplissage. Ces observations se répètent pour le deuxième polymère –PBT – mais avec des valeurs différentes et inférieures par rapport au polymère nylon et sa valeur est égale à moins de 20 MPa.

### III.9.12. Etude comparative de la force de fermeture X en fin remplissage

Les figures suivantes présentent les résultats de la force de fermeture X en fin remplissage en fonction du temps pour deux types de polymères (NYLON et PBT) dans la cavité correspondante au cours de remplissage dans les conditions du processus et les conditions de refroidissement.

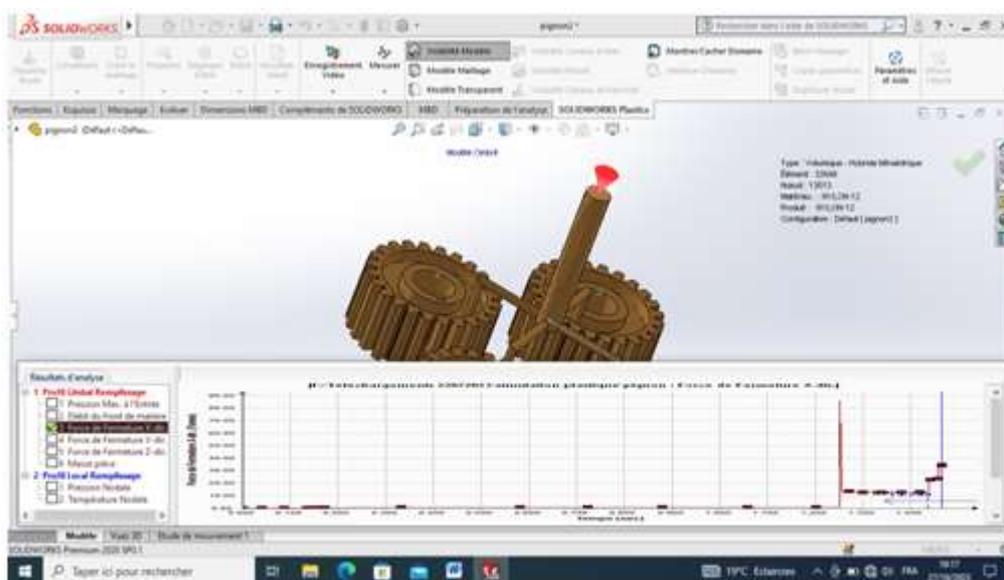


Figure III.27: force de fermeture X en fin remplissage en fonction du temps - nylon –

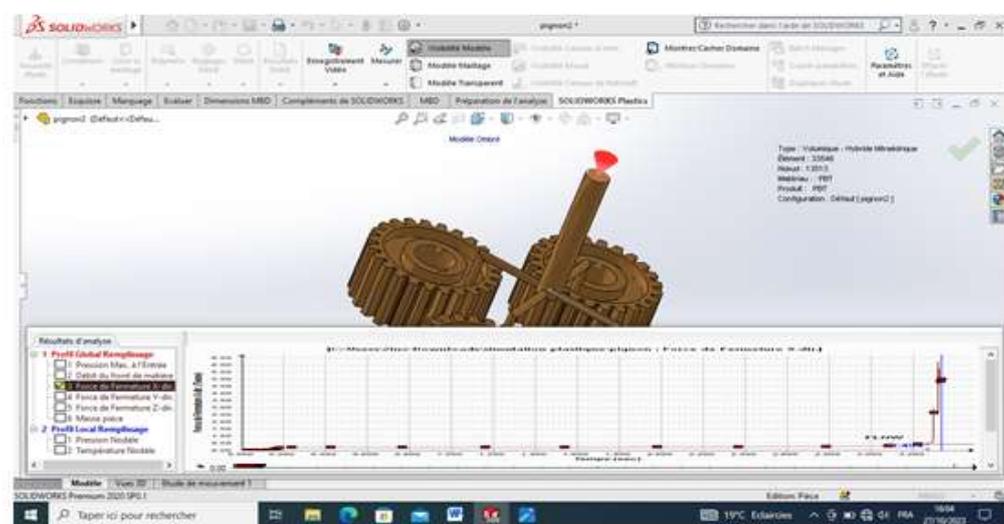


Figure III.28: force de fermeture X en fin remplissage en fonction du temps - PBT –

Après les figures on remarque que la variation de la force de fermeture X en fonction du temps en fin de remplissage des polymère nylon et polymère PBT presque nulle au cours de remplissage Ce n'est qu'à la fin du processus que l'on remarque un saut dans la valeur de la force de fermeture.

**III.9.13. Etude comparative de la force de fermeture Y en fin remplissage**

Les figures suivantes présentent les résultats de la force de fermeture Y en fin remplissage en fonction le temps pour deux types de polymères (NYLON et PBT) dans la cavité correspondante au cours de remplissage dans les conditions du processus et les conditions de refroidissement.

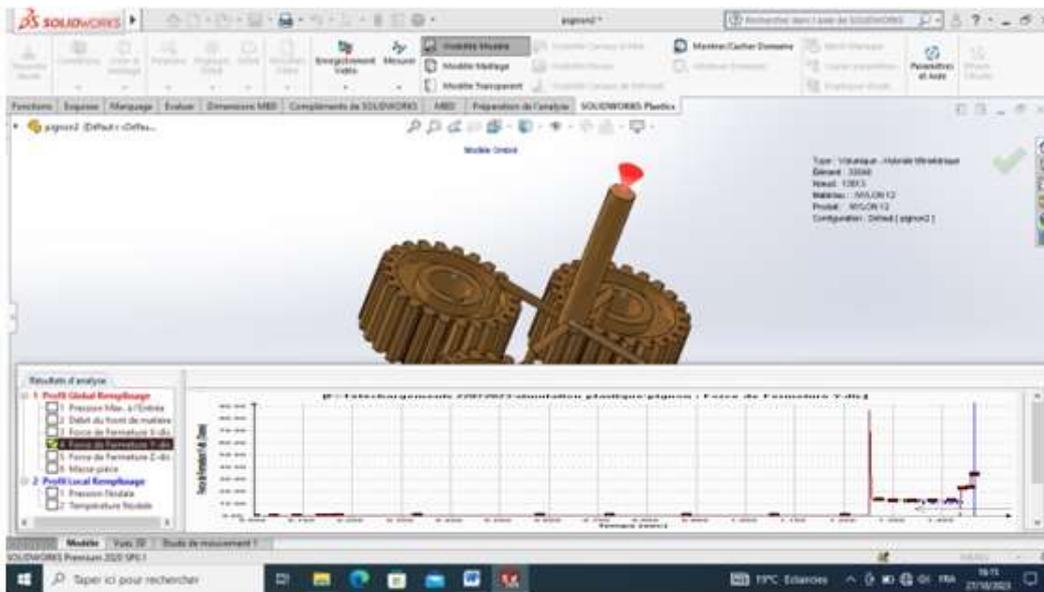


Figure III.29: force de fermeture Y en fin remplissage en fonction du temps - nylon –

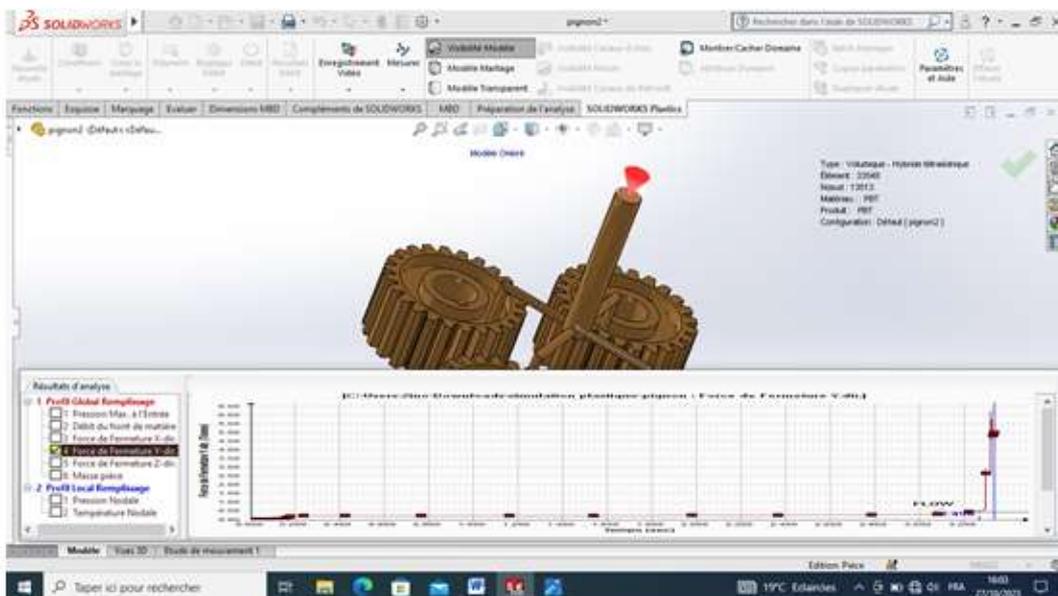


Figure III.30: force de fermeture Y en fin remplissage en fonction du temps - PBT –

D'après les figures on remarque que la variation de la force de fermeture Y en fonction du temps en fin de remplissage des polymères nylon et PBT presque est la même que la force de fermeture X au cours du temps de remplissage Ce n'est qu'à la fin du processus que l'on remarque un saut dans la valeur de la force de fermeture.

### III.9.14. Etude comparative de la force de fermeture Z en fin remplissage

Les figures suivantes présentent les résultats de la force de fermeture Z en fin remplissage en fonction le temps pour deux types de polymères (NYLON et PBT) dans la cavité correspondante au cours du temps de remplissage dans les conditions du processus et les conditions de refroidissement.

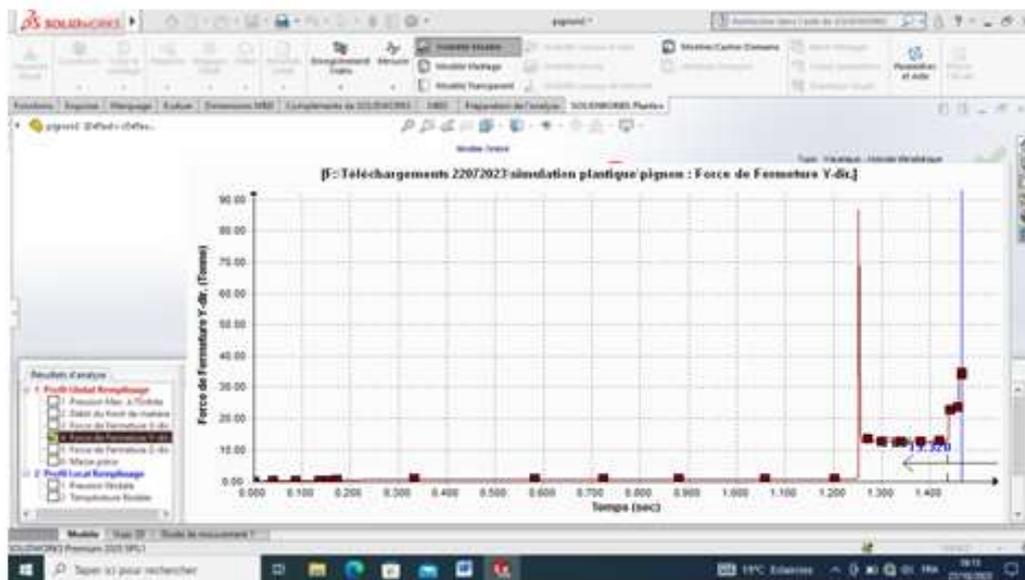
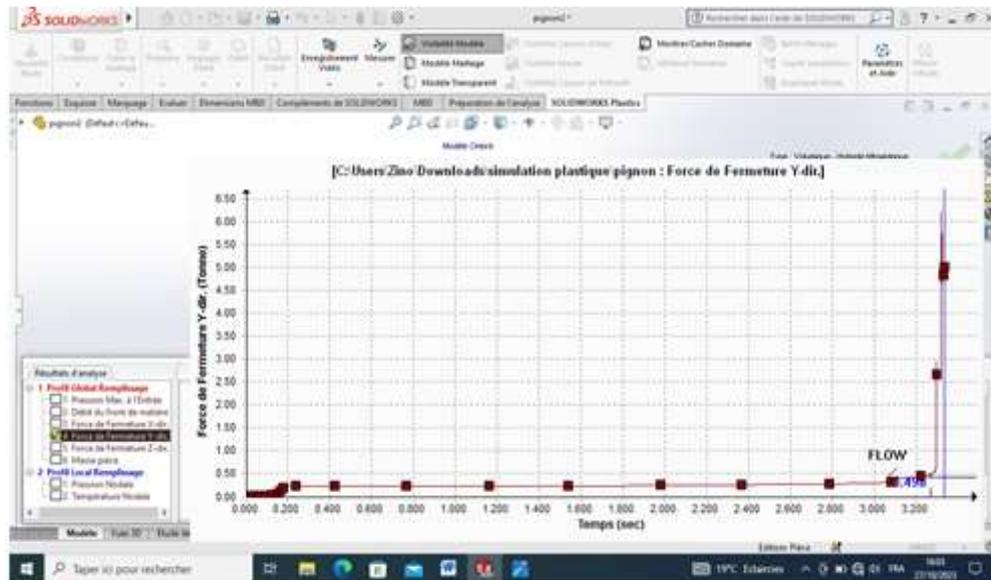


Figure III.31: force de fermeture Z en fin remplissage en fonction du temps - nylon –



**Figure III.32:force de fermeture Z en fin remplissage en fonction du temps - PBT –**

Après les figures on remarque que la variation de la force de fermeture Z en fonction du temps en fin de remplissage des polymères nylon et PBT au cours du temps de remplissage réplique la même variation de la force de fermeture X et Y.

### Conclusion :

Dans ce chapitre on a présenté la stratégie de simulation d'injection plastique d'un pignon pour deux matériaux à l'aide du Logiciel Solid Works et SOLIDWORKS PLASTICS permet de concevoir des pièces par le procédé de moulage par injection plastique.

Et nous avons aussi étudié les différentes propriétés des polymères pour bien choisir le type qui répond à notre exigence. Comme nous avons spécifié la connaissance des caractéristiques de **NYLON et PBT** notamment le choix de la matière qui conviendra à notre pièce on conclue que le PBT est un bon choix pour notre modèle de ces caractéristiques spécifiques.

# *Conclusion Générale*

### Conclusion Générale

Nous travaillons effectivement

Au final, le travail que nous avons effectué dans nos modestes recherches nous a permis de comparer nos connaissances théoriques avec ce qui se passe réellement dans l'application, et aussi d'obtenir des informations excellentes et précises sur le domaine de l'injection plastique nous a également permis de tester nos connaissances acquises .

Grâce à notre étude, nous avons reçu de nombreuses informations sur les polymères, leurs propriétés et leurs processus de mise en œuvre.

En regardant le travail qui a été effectué, nous avons constaté que la conception du moule d'injection plastique avec ses différents composants dépend principalement de la sélection du matériau, de la précision de sa fabrication, de la pièce (le produit final) et de la pression.

Au terme de nos travaux, nous avons conclu plusieurs points dont les plus importants sont :

- ✓ Tout d'abord, comprenez le fonctionnement d'une machine de moulage par injection plastique.
- ✓ Maîtrise du logiciel SolidWorks CAO (Conception Assistée par Ordinateur) qui nous a aidés avec un calcul avancé en termes de calcul qui ouvre de nouvelles voies pour simuler numériquement le cycle de moulage.
- ✓ Développez les différentes étapes d'une telle conception, de l'esquisse d'idée à la mise en œuvre finale.

# ***Bibliographie***

# Bibliographie

- 1- **Julien HUMBERT:** « Conception, Elaboration Et Production D'agro Composite A Partir De Tourteau De Tournesol : Etude Du Procédé D'extrusion-Formulation-Granulation Et D'injection-Moulage », DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, 2008 Français.
- 2- **EUSTACHE R.P.,** (2008), « Les Elastomères Thermoplastiques : Des Matériaux Incontournables Pour Le Sport ». Ecole D'été De Physique E2PHY, 43p.
- 3- **DJABALLAH Abdelmalek,** Contribution A L'étude De La Phase Post-Remplissage Du Moulage Par Injection, 2012.
- 4- **MERABTI Dhya ,** Migration Et Biodégradation Des Additifs Du Polychlorure De Vinyle (PVC), 2021.
- 5- **HADEF Saddek :**Étude De L'influence Des Conditions D'injection Sur La Qualité Des Pièces Injectées En Matière Plastique, 2012.
- 6- **ABADA Mourad :**Procédure de conception d'un moule à injection plastique d'une multiprise électrique A3 ,2016.
- 7- origines plastiques de Jacky Aubry
- 8- **AHMED HAMADI:** « Conception Générale Des Moules Pour Injection Plastique », Mémoire Du Diplôme D'ingénieur, Département De Mécanique, Université De M'sila, 2003.
- 9- les plastiques en débat ensemble scolaire Notre Dame 2010 2011)
- 10- <https://www.plastisem.fr>).
- 11- **Bennouna Mohamed Salah,** « MOULAGE ET INJECTION PLASTIQUE », Département De Mécanique, Université De OUARGLA.
- 12- **N. Brahmia,** " Contribution A La Modélisation De La Cristallisation Des Polymères Sous Cisaillement : Application A L'injection Des Polymères Semi-Cristallins ", Thèse Doctorat, Institut National Des Sciences Appliquées De Lyon, 2007
- 13- **Gassou Mostafa Et Rahmani Ahmed,** «Etude De La Qualité Des Pièces Fabriquées En Moulage Par Injection», Mémoire Master Professionnel, Département De Mécanique,UKM Ouargla, 2013
- 14- **Gonei Kasmir.** «Développement D'un Outil De Design Pour La Buse Thermique Des Moules A Canaux Chauds », Thèse De Doctora, Ecole Polytechniques De Montréal (Canada, 1999.)

- 15- Thuy Linh PHAM**, Plastification En Injection Des Polymères Fonctionnels Et Chargés, 2013. Page 20)
- 16- Laszlo MUZSNAY**, " Injection Des Thermoplastiques : Les Presses ", Technique De L'ingénieur, A3680)
- 17- Chapitre II : Les presses d'injection.de 28099-2020-étudiant.)**
- 18- Cherief El-Hadi** ;Etude Et Conception D'un Moule D'injection Mlastique A Partire D'une Piece Modele ;E.N.P.2019.
- 19- Boufkhed Hicham**, «Etude Technologique Et La Maintenance Préventive D'une Presse A Injection Pet», Mémoire Présenté Pour L'obtention Du Diplôme De Master, Département De Génie Mécanique, Bejaia 2016/2017.
- 20- Djermoune Mokhtar**, «Etude Et Conception D'une Vis De Transport Pour L'injection Plastique», Memoire Présenté Pour L'obtention Du Diplôme De Master, Mira Bejaia2017/2018.
- 21- Melle DJENDER Melha, Melle CHOUALI Sabrina** « Etude Et Conception D'un Moule A Injection Plastique De La Pièce De Fixation De La Soupape De Décharge », Thèse De Fin D'étude En Vue D'obtention Du Diplôme De Master Professionnel En Génie Mécanique Option : Fabrication Mécanique Et Productique, 2013-2014
- 22- R.Nunn**, « The Reciprocating Screws Process », Injection Moulding Handbook, 1986.
- 23- J-P. Trotignon, J. Verdu, A. Dobracginsky, And M. Piperaud**: "Précis De Matières Plastiques : Structures-Propriétés, Mise En Oeuvre, Normalisation". AFNOR, 1996, FRA
- 24- BELARIBI Abdelkarim ; SAADAoui Oussama** : « Etude Du Procédé De Production Des Pièces Par Injection Des Thermoplastiques », Mémoire Du Diplôme De Master Académique, Département De Mécanique, Université De M'sila,2003
- 25- G. Menges And P. Mohren**: How To Make Injection Molds. Hanser Publishers, 1993
- 26- OUACHOUACHE ABD EL KRIM** : « Conception D'un Moule D'injection Des Pièces En M.P », Mémoire De Master, Département De Génie Mécanique, Université De Annaba.2018
- 27- E. Mathey**, « Optimisation Numérique Du Refroidissement Des Moules D'injection De Thermoplastiques Basés Sur La Simulation Des Transferts Thermiques Par La Méthode Des Eléments Frontières », Thèse De Doctorat, l'Université Toulouse III, 2004.
- 28- Article Nylon**, Wikipédia, Date de dernière modification : 01/11/2023 à 17:47

**29- Article Poly Téréphtalate de butylène (PBT).**, Wikipédia, Date de dernière modification : 10/11/2023 à 21.15