

République Algérienne Démocratiques et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique  
Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès  
Faculté de Technologie  
**Département de Génie Mécanique**



الجمهورية الجزائرية  
الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث  
العلمي  
جامعة جيلالي ليابس -  
سيديلعباس  
كلية التكنولوجيا  
قسم الهندسة الميكانيكية

## ***Polycopié pédagogique***

# *Moulage et injection plastique*

## *(Cours et travaux pratiques)*

### **Cours destiné aux étudiants :**

**Filière : Génie Mécanique**

**Option : Fabrication Mécanique et Productique**

**Parcours : Master**

**Semestre : S3**

**Unité d'enseignement : U.E.M 2.1**

**Polycopié préparée par :**

D<sup>r</sup>. METEHRI Aïcha

Année universitaire 2023/2024

# *Table des matières*

<b>Chapitre I : Qu'est-ce que l'injection plastique ?</b> .....	1
I.1. Introduction générale.....	1
I.2. Les principaux procédés de mise en forme.....	2
I.2. 1. Le procédé injection.....	3
I.2.2. Le procédé injection soufflage .....	7
I.2.3. Le procédé extrusion.....	7
I.2.4. Le procédé extrusion soufflage .....	9
I.2.5. Le procédé extrusion gonflage.....	10
I.2.6. Le procédé thermoformage.....	11
I.2.7. Le procédé calandrage.....	12
I.2.8. Le procédé Rotomoulage.....	13
I.3. Définition de la matière plastique.....	14
I.4. histoire des matières plastiques.....	16
I.5. Définition d'un polymère .....	18
I.6. Types de macromolécules.....	18
I.6.1. Macromolécules linéaire.....	18
I.6.2. Macromolécules ramifiées.....	18
I.7. Origines de la matière plastique et origine des monomères.....	19
<b>Chapitre II: Détails du principe d'injection plastique</b> .....	20
II.1. Introduction.....	20
II.2. Définition du procédé.....	20
II.3. Principe du procédé.....	20
II.4. Histoire de l'injection thermoplastique.....	21
II.5. Déroulement du cycle d'injection.....	21
II.6. Phases de moulage par injection.....	22
II.6.1. Phase de plastification.....	23
II.6.2. Phase de remplissage.....	23
II. 6.3. Phase de compactage.....	24
II.6.4. Phase de refroidissement et d'éjection.....	25

II.7. Caractéristiques d'une pièce injectée.....	27
II.7.1. Le point d'injection.....	27
II.7.2. Traces d'éjecteurs.....	29
II.7.3. Ligne de plan de joint.....	29
II.7.4. Les dépouilles.....	30
<b>Chapitre III : La presse à injecter.....</b>	<b>31</b>
III.1. La presse d'injection.....	31
III.2. Etude de la Presse à injection.....	31
III.3. Principe de fonctionnement.....	34
III.4. Différentes parties ou unités d'une presse.....	34
III.4.1. Le groupe de plastification (unité d'injection) .....	35
III.4.2. L'unité de fermeture et verrouillage.....	38
III.5. Caractéristiques techniques d'une presse d'injection.....	40
III.6. Types des injections plastiques.....	42
III.6.1. Machines d'injection verticale.....	42
III.6.2. Machines d'injection horizontale.....	42
III. 7. Défauts liés à l'injection.....	43
III.7.1. Défauts liés à la phase dynamique d'injection (remplissage-maintien).....	43
III.7.2. Défauts liés à la phase quasi-statique d'injection (refroidissement).....	47
III.7.3. Défauts liés à la phase de démoulage-éjection.....	49
<b>Chapitre IV : Le moule d'injection.....</b>	<b>51</b>
IV.1. Structure d'outillage d'injection «Le moule».....	51
IV.2. Nomenclature de moule.....	53
IV.3. Classification des moules.....	54
IV.3.1. Moule à deux plateaux (plaques).....	55
IV.3.2. Moule à trois plaques .....	55
IV.3.3. Moule à tiroir .....	56
IV.3.4. Moule à coquilles.....	56
IV.3.5. Moule à canaux chauffant.....	57
IV.3.6. Moules à noyaux rotatifs (dévissage).....	57
IV.4. Les fonctions d'un moule d'injection.....	58

IV.4.1. Fonction alimentation.....	58
IV.4.2. Fonction mise en forme.....	60
IV.4.3. Fonction régulation thermique.....	60
IV.4.4. Fonction guidage / positionnement.....	60
IV.4.5. Fonctions manutention, stockage, sécurité et liaison machine.....	61
IV.4.6. Fonction centrage guidage et positionnement.....	61
IV.4.7. Fonction régulation et contrôle de température.....	71
IV.4.8. Fonction éjection.....	75
IV.4.9. Fonctions manutention, stockage, sécurité et liaison machine.....	77
IV.5. Dimensionnement.....	78
IV.5.1. Introduction.....	78
IV.5.2. Les efforts sur une presse.....	78
IV.6. Bien maîtriser le phénomène de Retrait.....	79
IV.7. Calcul du temps de cycle de moulage par injection.....	81
IV.8. Problèmes de moulage et Précautions à prendre.....	82
IV.9. Matériaux des moules.....	86
<b>Chapitre V : Les principales applications de l'injection plastique.....</b>	<b>87</b>
V.1. Introduction.....	87
V.1.1. L'automobile .....	87
V.1.2. L'emballage fonctionnel.....	87
V.1.3. Les équipements médicaux.....	88
V.1.4. L'électrique & l'électronique.....	88
V.2. Injection multi-matières.....	89
V.3. Quelques exemples d'applications.....	90
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>.....</b>

## *Avant – propos*

Le présent document est destiné aux étudiants du Master II filière Fabrication mécanique et productique, dans le cadre du programme officiel.

L'objectif attendu de ce cours, est que l'étudiant doit avoir toutes les informations sur le moulage par injection, aussi appelé injection plastique, qui est un procédé de mise en œuvre de matières thermo-formables, notamment les matières thermoplastiques. La plupart des pièces thermoplastiques sont fabriquées avec des presses d'injection plastique : la matière plastique est ramollie puis injectée dans un moule, et ensuite refroidie.

Ce polycopié a été réalisé dans le but de garantir un enseignement relativement uniforme et cohérent et dans un but didactique, pour tenter d'identifier les idées essentielles, ainsi que les principaux fondements assignés à ce module.

M<sup>me</sup> METEHRI Aicha

## ***Chapitre I : Qu'est-ce que l'injection plastique ?***

### **I.1. Introduction générale**

Les techniques de mise en forme des matériaux ont pour objectif de donner une forme déterminée au matériau tout en lui imposant une certaine microstructure, afin d'obtenir un objet ayant les propriétés souhaitées. C'est un travail qui nécessite de maîtriser parfaitement les paramètres expérimentaux (composition du matériau, température, pression, vitesse de refroidissement, etc.). Les techniques diffèrent selon les matériaux (leur solidité, l'usage, etc.). Pour les thermoplastiques (polyéthylène haute densité (PEHD), polyéthylène basse densité (PEBD), polypropylène (PP), polystyrène (PS), polyéthylène téréphtalate (PET), polychlorure de vinyle (PVC)), on part de poudres, de granulés ou de produits semi-finis sous forme de plaques ou de films. En chauffant la matière on la fait passer d'un état solide à un état plastique. Elle peut alors être mise en forme dans un moule ou par un autre procédé.

Pour les thermodurcissables (mélamine-formaldéhyde (MF), urée-formaldéhyde (UF), phénol-formaldéhyde (PF), exemples: colles époxydes, polyester insaturés (UP), polyuréthane (PUR)), les produits de base sont livrés à l'état de polymérisation partielle. Cette dernière va s'achever dans le moule sous l'action de catalyseurs, d'accélérateurs voire de chaleur. Le démoulage arrive quand la polymérisation est déjà assez avancée pour que l'objet conserve les propriétés souhaitées.

Le but de la transformation est, dans des conditions techniques, économiques et écologiques satisfaisantes, de :

- donner la forme et l'aspect voulus au polymère pour obtenir la pièce ou le demi-produit à fabriquer ;
- conserver formes et aspects jusqu'à la mise en service (et après) ;
- amener les propriétés physiques, mécaniques, sensorielles au stade voulu. Les polymères de départ peuvent avoir :
  - des formes physiques très variées, depuis des liquides fluides jusqu'à des solides de grandes dimensions
  - des états chimiques différents: monomères, oligomères, polymères thermoplastiques ou thermodurcissables. Dans ce dernier cas le durcissement ou la réticulation constitue une

étape supplémentaire intervenant obligatoirement lorsque la mise en forme est effective. Certains polymères utilisés couramment à l'état thermoplastique peuvent être éventuellement réticulés, comme le polyéthylène, ce qui améliore ses propriétés mécaniques et chimiques.

D'autres familles de polymères telles que les polyuréthanes existent sous des formes thermodurcissables, la plus courante dans ce cas, et sous la forme thermoplastique, TPU. Les procédés de transformation et les caractéristiques finales sont alors différents. La transformation peut également incorporer des matériaux étrangers :

- autre matière plastique : co-moulage, surmoulage ;
- inserts, feuilles de contre collage ;
- renforts et mousses pour les composites.

Le procédé doit alors respecter des matériaux d'apport aussi divers que :

- d'autres plastiques et élastomères ;
- des métaux ;
- des papiers et cartons ;
  
- des textiles ;
- du verre ;
- des matériaux naturels comme le bois ou le cuir...

## **I.2. Les principaux procédés de mise en forme**

Plus que tout autre matériau, les matières plastiques offrent un large choix de techniques de transformation. Les produits initiaux (nommés aussi matériaux polymères), compounds] se présentent sous forme de granulé, poudre, pastille, pâte ou liquide. Les matières hygroscopiques (PA, ABS, PBT, PMMA, etc.) subissent un pré-séchage avant la mise en œuvre afin d'éviter tout défaut lié à l'humidité sur les pièces plastiques. Les états plastique ou visqueux sont nécessaires pour mettre en œuvre les techniques de mise en forme des matériaux polymères. Les transformateurs réalisent les objets finis destinés aux utilisateurs à l'aide de matériels et de matières fournies par les producteurs de polymères ou les compoundeurs.

### I.2. 1. Le procédé injection

Le moulage par injection, aussi appelé injection plastique, est un procédé de mise en œuvre des thermoplastiques. La plupart des pièces en thermoplastique sont fabriquées avec des presses d'injection plastique : la matière plastique est ramollie puis injectée dans un moule, et ensuite refroidie. Le moulage par injection est une technique de fabrication de pièces en grande ou très grande série. Il concerne avant tout les matières plastiques et les élastomères (caoutchoucs) mais aussi divers métaux et alliages à point de fusion relativement bas : alliages d'aluminium, de zinc (Zamak) ou encore laitons. La figure I.1 montre la structure générale de la presse d'injection plastique.

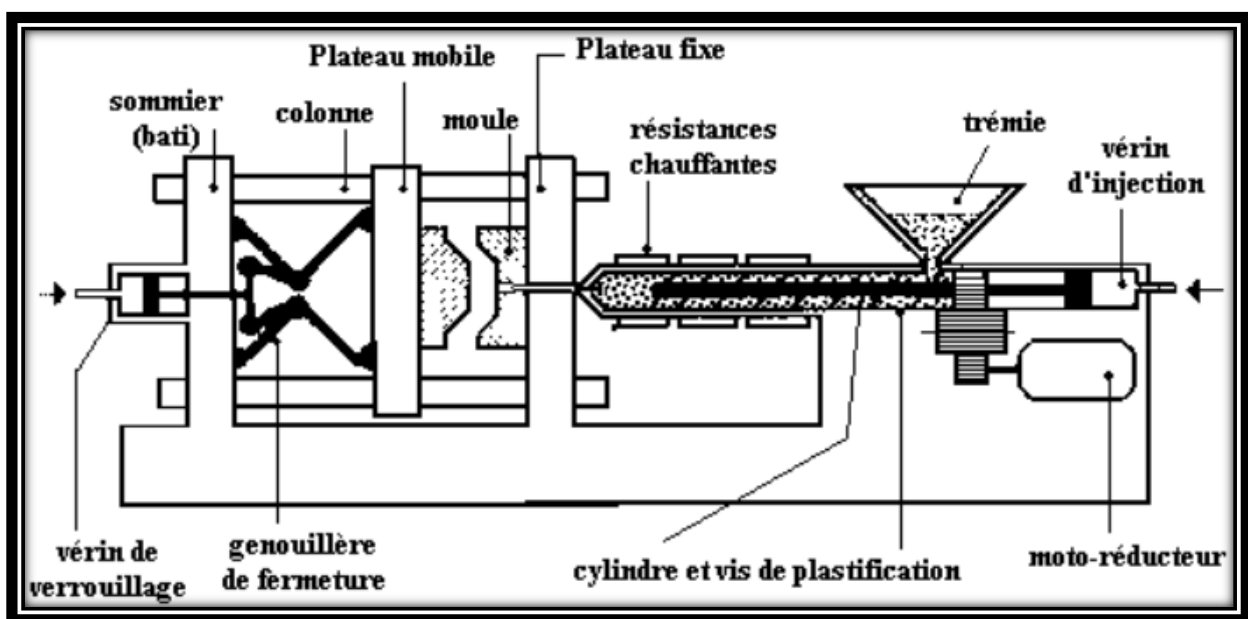


Figure I.1 : Structure de la presse d'injection.

On rencontre des composants moulés par injection dans de très nombreux produits manufacturés: automobile, électroménager, matériel informatique, mobilier.... Pour les pièces métalliques, les dimensions sont relativement limitées (les carters de boîtes de vitesses en aluminium sont coulés par injection) mais pour les plastiques elles vont de quelques millimètres à plusieurs mètres (éléments de carrosseries automobiles, tables de jardin, par exemple). Les moules, installés sur une machine spéciale (presse), sont constitués le plus souvent de deux coquilles (partie fixe et partie mobile) qui sont fortement pressées l'une contre l'autre au moment du moulage puis écartées pour permettre l'éjection de la pièce moulée. Outre ces coquilles, le moule peut comporter un ou plusieurs noyaux destinés



à former les parties creuses de la pièce et des poinçons permettant de réserver des ouvertures dans ses parois. Il arrive fréquemment que l'on place dans le moule des « inserts » qui se retrouveront par la suite inclus dans la pièce : il s'agit le plus souvent d'éléments filetés qui pallient localement la résistance insuffisante du matériau constituant le corps de la pièce. La Figure I.2 montre tous les unités d'injection plastiques.

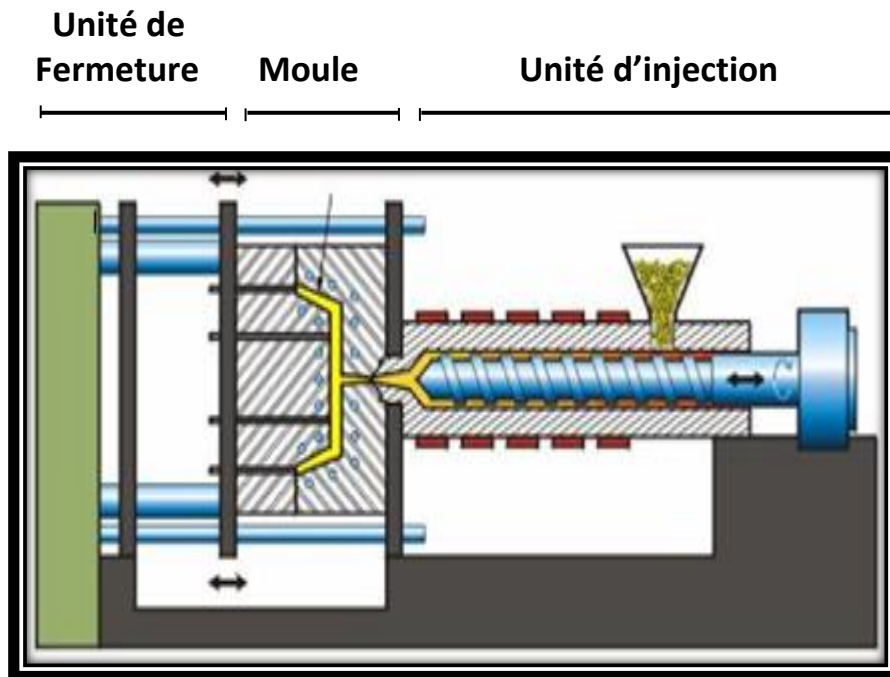


Figure I.2 : Unités d'injection plastique.

#### Procédé de mise en œuvre par injection plastique

- La matière plastique avant transformation se présente sous forme de petit granulé dépassant rarement le quelques millimètre. Ces granulés servent à alimenter la vis de plastification (type vis sans fin).
- Celle-ci est chauffée et régulée en température via le fourreau de plastification. La rotation de la vis de plastification (entraînée par un moteur hydraulique) et l'action conjuguée de la température du fourreau permet de ramollir les granulés de matière plastique les amenant jusqu'à un état de visqueux.
- Cette matière est acheminée à l'avant de la vis de plastification donnant ainsi une réserve de matière prête à être injectée (c'est ce que l'on appelle la phase de dosage).
- Viens ensuite la phase d'injection dynamique ou la matière présente à l'avant de la vis de plastification, est injectée sous forte pression à l'intérieur d'un moule (ou cavité) présentant

la forme de la pièce souhaitée. Le moule est réglé à une température inférieure à la température de transformation (allant de 15 °C à 130 ° dans certains cas).

- La 3e étape est la phase de maintien, où l'on applique une pression constante durant un temps déterminé afin de continuer à alimenter les empreintes malgré que celle-ci soit remplie. Ceci afin de palier au retrait de la matière durant est refroidissement. La pièce est refroidie durant quelques secondes puis éjectée.
- Un nouveau cycle peut commencer Paramètres et réglages : Les temporisations principales à régler sont : - le dosage, l'injection, l'ouverture, la fermeture, l'éjection, la post pression.

**Autres paramètres :**

- Température du fourreau, température de la matière, température du moule injection
- Pressions durant l'injection et durant le maintien, la contrepression, la vitesse de rotation de la vis, la course de dosage
- Courses d'ouvertures et d'éjections etc.

**Le cycle d'injection : (voir Fig. I.3)**

- Déroulement du cycle d'injection
- Le cycle d'injection minimal
- Pour réaliser ce cycle, les principales fonctions d'une presse à injecter sont donc:
- Ouvrir et fermer le moule;
- Verrouiller le moule;
- Injecter la matière fondue dans le moule;
- Maintenir la matière fondue sous pression dans les empreintes;
- Éjecter les pièces après refroidissement;
- Fondre la matière.

En partant de la matière plastique sous forme de granulés pour aboutir aux pièces injectées disponibles hors du moule, le cycle de transformation de la matière plastique

Pour réaliser ce cycle, les fonctions suivantes sont nécessaires:

- Alimenter la presse en granulés;
- Faire fondre les granulés;
- Doser le volume de matière fondue qui va être introduit dans le moule;
- Introduire la matière fondue dans le moule.

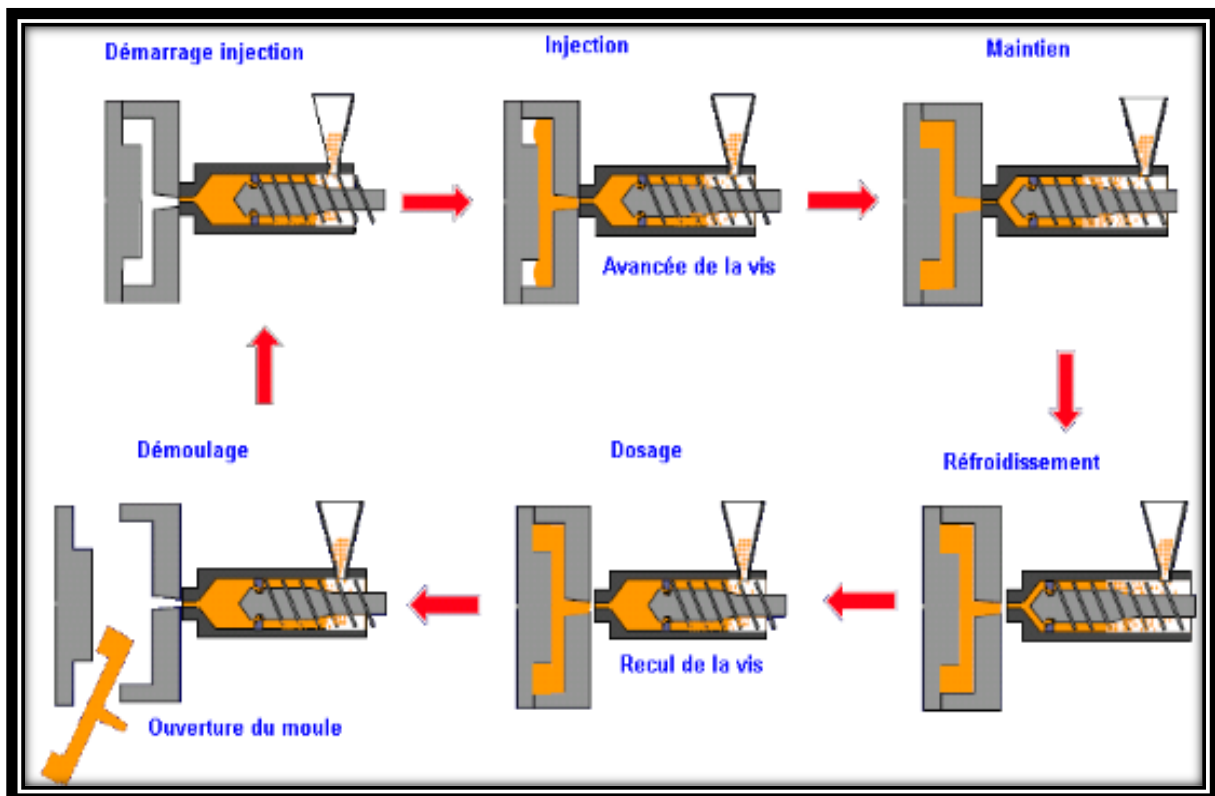


Figure I.3 : Cycle d'injection.

On rencontre des composants moulés par injection dans de très nombreux produits manufacturés: lunettes, automobiles, électroménagers, matériel informatique, mobiliers...

Pour les pièces métalliques, les dimensions sont relativement limitées (les carters de boîtes de vitesses en aluminium sont coulés par injection) mais pour les plastiques elles vont de quelques millimètres à plusieurs mètres (éléments de carrosseries automobiles, tables de jardin, par exemple) (voir Fig. I.4).

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



**Figure I.4 : Quelques pièces plastiques injectées par moulage.**

### **I.2.2. Le procédé injection soufflage**

Le procédé d'Injection-Soufflage permet de réaliser des corps creux qui présentent de bonnes propriétés mécaniques. Il se décompose en 2 phases distinctes • Une première phase d'injection. Cette phase consiste à injecter une préforme (éprouvette) dans un moule d'injection.

- Une deuxième phase de soufflage. Cette phase consiste à souffler la préforme dans un moule. Cette technique est essentiellement réservée aux thermoplastiques comme montre la Fig. I. 5. Le cycle de fabrication se compose de 5 étapes :

- Injection de la préforme. Celui-ci est définitivement réalisé à ce stade de fabrication de l'objet.
- La préforme encore chaude (120°C-200°C) est transférée dans un moule de soufflage
- Soufflage. L'air comprimé est introduit au travers du noyau portant la préforme
- La pièce est démoulée, puis transférée à l'aide du noyau sur le poste d'éjection
- Ejection.

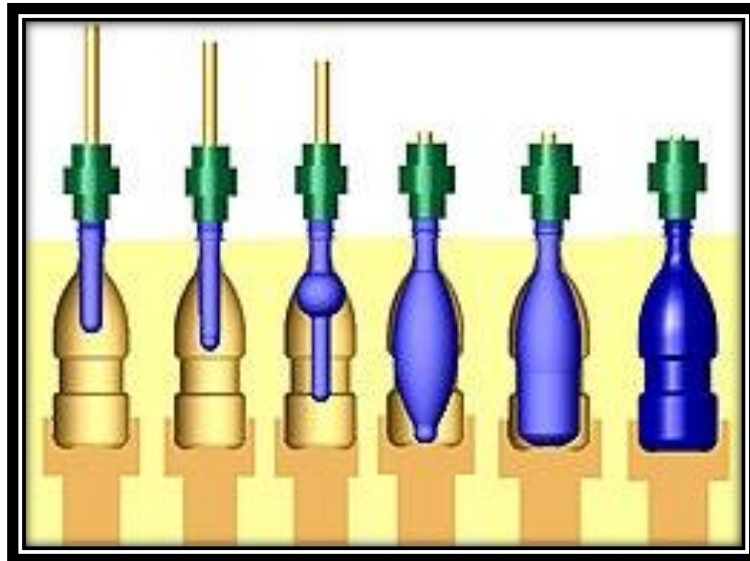


Figure I.5: Injection soufflage.

### I.2.3. Le procédé extrusion

Le procédé d'extrusion des matières plastiques est couramment utilisé dans de nombreuses industries.

Le procédé d'extrusion plastique commence avec ce qu'on appelle des résines thermoplastiques. Les résines thermoplastiques sont un type de plastique qui peut être fondu, traité, puis refondu afin d'être réutilisé. Ces résines sont généralement livrées dans sous forme de granulés ou de billes pour être utilisé dans des machines d'extrusion de plastique.

Les granulés ou les billes peut se présenter sous différentes formes. Il y a par exemple des perles de résine plastique. Ce sont des perles qui n'ont jamais été traitées auparavant et qui sont généralement fournies avec des certificats de pureté.

Les déchets plastiques issus du procédé d'extrusion peuvent être retransformés en perles qui peuvent être utilisés à nouveau, ce qui réduit le gaspillage global généré dans le processus.

Les machines d'extrusion peuvent être compliquées à utiliser, mais l'ensemble du processus est relativement simple. Le cœur de la machine est la vis. La vis est actionnée par une boîte de vitesses, qui est actionné par un moteur.

Les granulés thermoplastiques sont insérés dans la machine à travers une trémie. La trémie est située à l'arrière de l'ensemble tube/vis, les granulés tombent dans la machine depuis cette trémie. Lorsque la vis tourne, elle entraîne lentement les granulés thermoplastiques vers l'avant. La chaleur dégagée par le frottement de la vis qui tourne à l'intérieur du tube – en plus d'une unité de chauffage externe – fait fondre la matière plastique. Le plastique fondu est alors envoyé vers l'avant de la machine pour la suite du processus. (Fig. I.6).

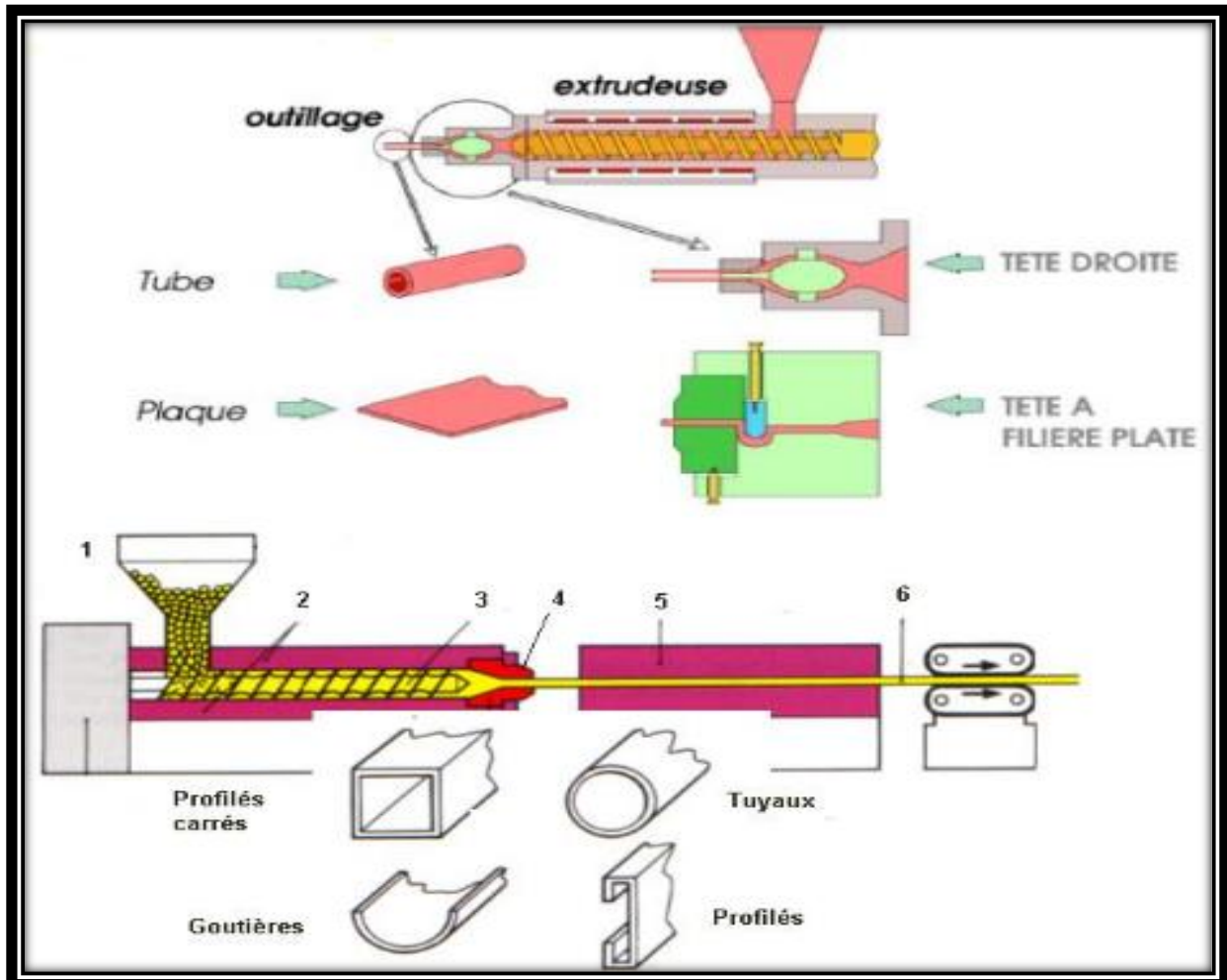


Figure I.6: Procédé extrusion.

#### I.2.4. Le procédé extrusion soufflage

Ce procédé consiste à combiner la technique de l'extrusion avec celle du soufflage. Le tube extrudé (paraison) est enfermé dans un moule de soufflage (2 demi-coquilles ayant la forme désirée). La paraison présente un orifice à son extrémité, qui est pincée (là où sera l'ouverture finale du récipient). De l'air sous pression est ensuite insufflée dans la cavité par

l'orifice afin de plaquer le tube déformable contre l'empreinte refroidie et figer la pièce dans sa forme finale.

**Procédé** : On fabrique un tube par extrusion. On enferme ce tube chaud à l'intérieur d'un moule et on y envoie un jet d'air comprimé qui le pousse contre les parois du moule.

Exemples d'utilisation: Bouteille, flacons, réservoirs..., (Voir Fig. I. 7).



**Figure I.7: Extrusion soufflage avec quelques exemples.**

### I.2.5. Le procédé extrusion gonflage

Ce procédé est un dérivé de l'extrusion, il consiste à souffler en continu de l'air à l'intérieur de la paraison pour la faire gonfler. Ce procédé ne nécessite pas de moule, c'est l'air soufflé qui donne la forme et le refroidissement. Cette technique permet de fabriquer des sacs plastiques (Fig. I.8).

**Procédé** : Variante de l'extrusion où, à la sortie de la filière, on gonfle d'air le tube produit. Il devient ainsi une longue bulle de pellicule plastique. Après avoir refroidi, on l'aplatit et on l'enroule sur des bobines. Exemples d'utilisation : Sacs poubelles, sacs de congélation.

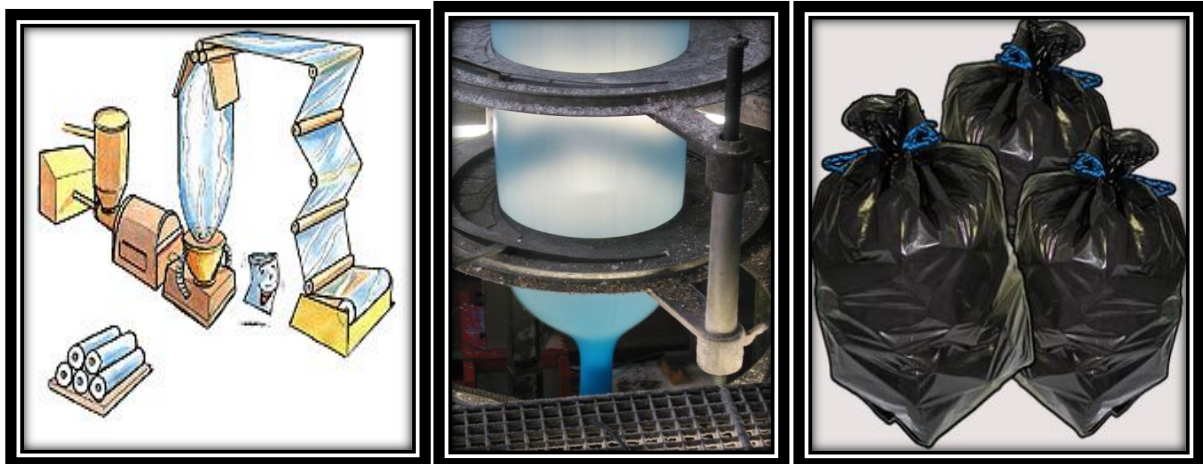


Figure I.8: Extrusion gonflage et quelques exemple.

### I.2.6. Le procédé thermoformage

Derrière ce terme compliqué se cache le procédé de fabrication qui permet de réaliser toutes sortes d'objets aux formes creuses. Concrètement, pour les emballages, le thermoformage permet de créer des barquettes, des gobelets ou encore des pots de yaourt. Mais au fait, comment ça marche ?

#### **Principe :**

Le thermoformage est une technique de moulage comme montre la Figure I.9.

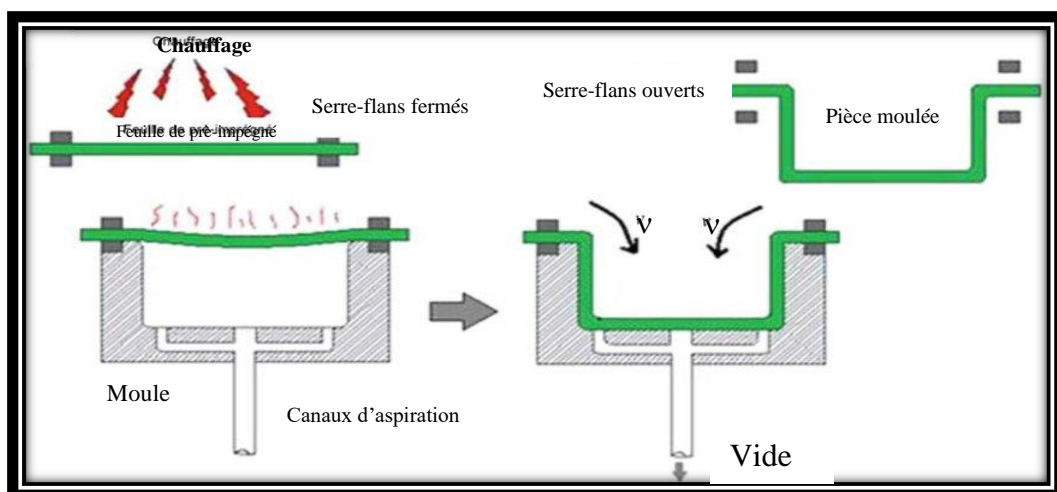


Figure I.9: Thermoformage.

1. Mise en place de la feuille et chauffage par un plateau chauffant supérieur et inférieur.
2. Montée du moule : la feuille est ramollie et le moule monte pour emboutir la feuille.



3. Formage / Refroidissement : une fois le moule en position haute, le vide est fait entre le moule et la feuille.
4. La feuille se plaque sur le moule et en prend sa forme. De l'air ou de petites gouttelettes d'eau sont projetées sur la pièce pour la refroidir et lui donner sa forme finale.
5. De l'air est soufflé à l'intérieur du moule pour décoller la pièce du moule et celui-ci descend pour libérer la pièce.
6. Une fois le moule descendu, la pièce peut être enlevée puis décortiquée pour enlever les chutes de production (cercle rouge).

**Applications :**

- Jouets (bac à sable, toboggans...)
- Pots de yaourt
- Blister
- Gobelets et barquettes

**I.2.7. Le procédé calandrage**

L'extrusion Calandrage est un processus qui permet la fabrication et l'assemblage d'une feuille thermoplastique sur un support en une seule étape. Il est possible de grainer la feuille au cours de cette seule étape.

Elle permet de travailler différentes matières : PVC, TPU (thermoplastiques polyuréthane), polyamide, mais également TPO (thermoplastiques polyoléfine). Ce procédé est montré sur la figure I. 10.

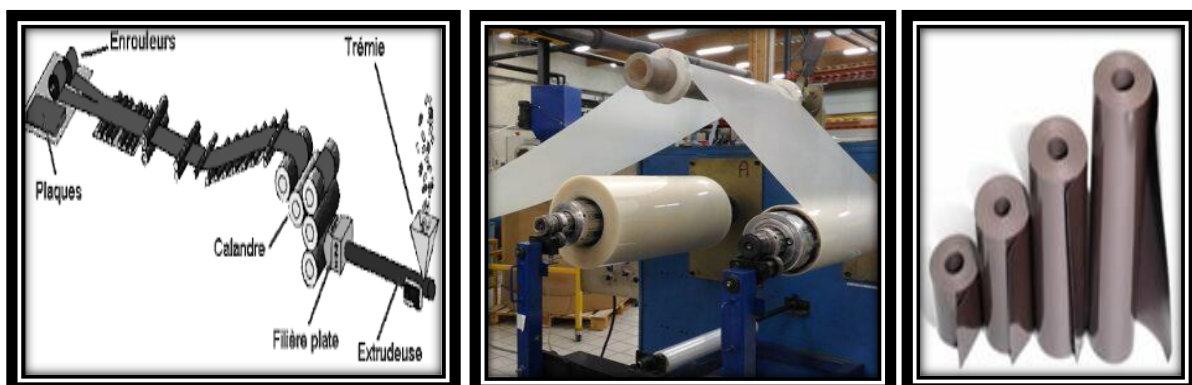


Figure I.10: Procédé calandrage.

Ces derniers ont de nombreux avantages :

- Recyclage de produit
- Gain de poids : par leur faible densité
- Stabilité dans le temps (absence de plastifiant)
- Tenue chimique
- Capacité de transformation :
  - Par thermoformage,
  - Thermo compression,
  - Thermo gainage....

### **I.2.8. Le procédé Rotomoulage**

Le rotomoulage est un procédé de transformation des matières plastiques qui permet principalement la réalisation de pièces creuses de grandes dimensions, sans reprise, ni lignes de soudure. Ce procédé est connu depuis une cinquantaine d'années, mais son utilisation est restreinte à des pièces peu ou pas techniques: silos, balises, jouets. Les entreprises de rotomoulage (Fig. I.11) sont généralement de petites sociétés, utilisant un savoir-faire empirique, et qui sont peu génératrices d'innovations. Les inconvénients majeurs du rotomoulage sont aujourd'hui le temps de cycle et le non maîtrise du procédé. Or de nouveaux marchés, notamment l'automobile, ayant des exigences de productivité, de rendement et de qualité se profilent. Afin de saisir l'opportunité offerte par ces nouveaux marchés, il est nécessaire d'améliorer l'adéquation entre le procédé de rotomoulage et le matériau.



**Figure I.11: Rotomoulage.**

*La mise en œuvre du rotomoulage comporte 6 phases :*

1. Le chargement de la matière plastique dans le moule
2. La fermeture du moule
3. La mise en rotation du moule autour de 2 axes perpendiculaires
4. Le chauffage dans un four
5. Le refroidissement
6. Le démoulage.

Cette technique a commencé à être mise en œuvre de manière industrielle dans les années 70.

### **I.3. Définition de la matière plastique**

Qu'est-ce qu'une matière plastique ?

Un matériau est dit « plastique » s'il peut être déformé à une température relativement basse pour prendre une forme désirée. Contrairement à l'acier, chauffé à 1 500 °C pour être mis en forme, la plupart des matières plastiques sont ainsi malléables au-dessous de 200 °C. En les moulant ou en les effilant, elles peuvent prendre presque toutes les formes possibles. Cette propriété est à l'origine de leur succès dans le domaine des emballages ou de l'industrie automobile, par exemple.

Quelques matières plastiques existent à l'état naturel, tel le caoutchouc ou la cellulose des plantes, mais le terme désigne surtout les produits de synthèse dérivés du pétrole. En ajoutant différentes substances, comme des colorants ou des molécules ignifugeantes, ces produits sont à l'origine d'objets aussi divers que des sacs « plastiques » polyéthylène, des boîtes de CD polystyrène, des bouteilles de shampoing polychlorure de vinyle ou PVC, des colles résines époxy, cyanoacrylate ou Superglu, des peintures acryliques ou des fibres synthétiques Nylon, polyester.

Le plastique, ou une matière plastique est une substance polymère contenant un grand nombre d'atomes (ou groupes) de carbone, oxygène, hydrogène ou azote. S'il existe une grande variété de plastiques, on peut les regrouper en deux catégories: les thermoplastiques et les thermodurcissables.

Une matière plastique est souvent obtenue par la transformation du pétrole ou du gaz naturel. Les thermoplastiques fondent sous l'effet de chaleur et se solidifient sous l'effet d'un refroidissement. Pour les thermodurcissables, la transformation est irréversible. Une fois formé, le plastique ne se déforme plus.

Les "plastiques" ou "matières plastiques" sont définis par la norme ISO 472 comme étant "toute matière contenant, comme ingrédient essentiel, un "haut polymère".

Une matière plastique ou en langage courant un plastique est un mélange contenant une matière de base (un polymère) qui est susceptible d'être moulé, façonné, en général à chaud et sous Pression, afin de conduire à un semi-produit ou à un objet. Les matières plastiques couvrent une gamme très étendue de matériaux polymères synthétiques ou artificiels. On peut observer aujourd'hui sur un même matériau des propriétés qui n'avaient jamais auparavant été réunies, par exemple la transparence et la résistance aux chocs. Les textiles (fils et fibres) ainsi que les élastomères ne sont pas des matières plastiques proprement dites.

Généralement, les polymères industriels ne sont pas utilisés à l'état « pur », mais mélangés à des substances miscibles ou non dans la matrice polymère. Structure typique d'une formule : Matière plastique = polymère(s) brut(s) (résine(s) de base) + charges + plastifiant(s) + additifs

On distingue alors :

- les **polymères naturels** (l'os, le cuir...), (Fig. I.12)
- Les **polymères artificiels**, (modification chimique des polymères naturels), (Fig. I.13)
- les **polymères synthétiques**, issus de la chimie macromoléculaires. (Fig. I.14)



Figure I.12 : Polymère naturel.



Figure I.13: Polymère artificiel.

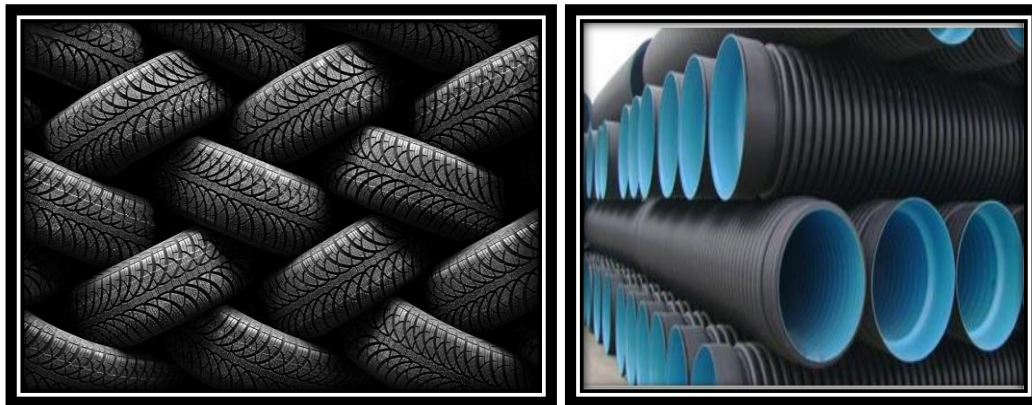


Figure I.14: Polymère synthétique.

#### I.4. Histoire des matières plastiques

Depuis quand s'en sert-on ?

Les Mayas sont vraisemblablement les premiers à avoir utilisé les propriétés du caoutchouc naturel pour mettre en forme des objets simples, comme des balles ou des sandales. Ce caoutchouc provient de la coagulation de la sève extraite de plusieurs arbres, principalement de l'hévéa. En 1839, l'inventeur américain Charles Goodyear développe un procédé industriel permettant de transformer le caoutchouc naturel en une matière plus élastique et plus résistante : c'est la « vulcanisation », qui s'effectue en présence de soufre et à température élevée. Des procédés utilisant une autre substance naturelle, la cellulose, seront mis au point vers la fin du XIXe siècle, afin de mimer les propriétés mécaniques de matériaux rares, tels que l'ivoire et la soie.

C'est en cherchant un produit de substitution aux bois exotiques que le chimiste belge Leo Baekeland élabore, en 1907, la première matière plastique totalement synthétique. Elle est fabriquée à partir d'une résine liquide, qui durcit rapidement en prenant la forme de son contenant. Baptisé « bakélite », ce matériau conserve sa forme, mais il ne peut être fondu pour être remodelé. Une vingtaine d'années plus tard, l'industrie plastique connaît un formidable essor grâce à la découverte de matières plastiques bon marché et faciles à utiliser, comme le polyéthylène, le polychlorure de vinyle ou le polypropylène. Aujourd'hui, près de 5 millions de tonnes de matières plastiques sont consommées en France chaque année.

- **Quelques dates clés**

De 1880 à 1913: le celluloïd s'ajoute au buis et à la corne, matériaux utilisés depuis 2 siècles pour la fabrication des boîtes à ouvrages, des boutons et des peignes... le nombre de façonniers passe de 120 à 310

De 1914 à 1929: la galalithe, le rhodoïd permettent l'extension de l'offre produits aux aiguilles à tricoter, aux broches, aux fermoirs, monture de lunettes. en 1929, le chiffre d'affaires de la profession est multiplié par 7.

1929: le téléphone Siemens fabriqué à partir de Bakélite est construit à grande échelle.

Dans les années 1930, les premières presses à injecter démarrent en France à Oyonnax notamment pour la production de lunettes. Les premiers jouets et articles ménagers en plastique arrivent sur le marché.

En 1989, le mot Plasturgie apparaît dans le Petit Larousse.

Dans les années 1990, matière plus noble que le polystyrène, le terpolymère ABS remplace peu à peu les résines «mélamine-formol» et est utilisé dans l'habillage d'équipements électroménagers, de jouets, d'enjoliveurs, dans l'emballage alimentaire ou encore dans l'industrie.

Les recherches sur les matières, leur aspect et leur devenir continuent.

En 1990, Ici commercialise «Biopol» le 1<sup>er</sup> sac plastique biodégradable. En 1994, la voiture Smart est lancée conçue en intégrant des panneaux de carrosserie en polycarbonate colorés interchangeables.

Dans les années 2000, 3 900 entreprises de Plasturgie sont répertoriées en France. Les recherches se concentrent sur les nano-technologies et les composites. En 2000, pour le

développement des polymères conducteurs intrinsèques, les chercheurs Alan Heeger; Alan Mac Diarmid et Hideki Shirakawa sont récompensés par le prix Nobel de chimie.

Cette découverte voit apparaître de nombreux développements dont l'une des plus concerne l'optoélectronique et plus exactement la fabrication de diodes électroluminescentes qui, une fois excitées électriquement, émettent de la lumière. En 2001, Apple développe l'iPod selon les rêves d'un inventeur indépendant Tony Fadell.

En 2008, l'Airbus A 380 est conçu à partir de 23% de matériaux composites ce qui allège considérablement l'appareil et le rend moins gourmand en énergie.

Depuis 2010, de nouveaux plastiques toujours plus respectueux de l'environnement (Recyclage et biodégradabilité améliorés), moins dépendants du pétrole (réduction de coût), thermostables, plus transparents, incassables, ininflammables ou originaux sont en voie de développement.

### **I.5. Définition d'un polymère**

Le mot polymère vient du grec « polus » plusieurs, et « méros » partie. Un polymère est une macromolécule, organique ou inorganique, constituée de l'enchaînement répété d'un même motif, le monomère (du grec monos: un seul ou une seule, et méros ; partie), reliés les uns aux autres par des liaisons covalentes.

### **I.6. Les types de macromolécules**

#### **I.6.1. Macromolécules linéaire**

Dans ce type il y a deux parties:

- Homopolymères:
- Copolymères

#### **I.6.2. Macromolécules ramifiées**

- Homopolymères
- copolymères
- polymère à cycle dans la chaîne

### I.7. Origines de la matière plastique et origine des monomères

Les différentes matières plastiques sont fabriquées principalement à partir d'hydrocarbures, du composé organique présent notamment dans le pétrole brut.

On découvrira dans cette partie en détails les aspects relatifs à la transformation du pétrole en plastique. Le pétrole (du latin «petra» et «oleum»: « huile de pierre ») est une huile minérale naturelle utilisée comme source d'énergie. Il est issu d'un mélange d'hydrocarbures (molécules composées de carbone et d'hydrogène) associé à d'autres atomes. Certains de ses composants peuvent être gazeux, liquides et parfois solides, en fonction de la température et de la pression. Dense, facilement stockable et transportable, le pétrole fournit la grande majorité des carburants liquides. Il est aussi utilisé, dans le domaine de la pétrochimie, pour la production des plastiques, entre autres.

#### ✓ Du pétrole au naphta

Après avoir été extrait du sous-sol, le pétrole brut est envoyé dans une raffinerie. Le pétrole brut est un mélange de milliers de constituants, qu'il faut séparer pour pouvoir les exploiter. En raffinant le pétrole, on obtient du:

- Fioul pour le chauffage
- Gazole, du kérosène et de l'essence pour les moyens de transport
- Naphta, transformé dans les usines chimiques.

Le NAPHTA C'est ce dernier composant obtenu grâce au raffinage qui constitue la matière première des matériaux plastiques.



## ***Chapitre II: Détails du principe d'injection plastique***

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

Dans la fabrication des pièces mécaniques il existe plusieurs procédés d'usinage, parmi ce procédé on a l'injection thermoplastique. L'injection est aujourd'hui l'un des procédés les plus utilisés pour la mise en forme des polymères avec l'extrusion et le soufflage (30% des polymères transformés). Il est généralement utilisé pour la production de très grandes séries pour l'automobile ou l'électroménager par exemple ou pour des séries plus réduites en aéronautique. Le procédé d'injection permet d'obtenir une productivité élevée avec une très bonne reproductibilité des pièces. De ce fait, le principe du procédé de moulage par injection consiste à injecter et transformé une matière de polymères thermoplastiques, préalablement chauffée est injectée dans un moule. Le polymère se solidifiant dans le moule créera un solide épousant la forme et les dimensions de l'empreinte du moule. L'objectif de ce chapitre est présenter le procédé d'injection des thermoplastiques, et leur déroulement de cycle d'injection plus les caractéristiques d'une presse et la construction de structure. Et la façon dont nous de contrôle dans les paramètres de procédés d'injection.

### **II.2. Définition du procédé**

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

### **II.3. Principe du procédé**

L'injection permet de fabriquer des pièces de géométrie complexe en grande série, suivant un principe simple de fonctionnement. En effet, le polymère thermoplastique est chauffé afin de lui donner de cohésion d'un liquide visqueux. Ce liquide est ensuite injecté dans un moule, réalisé en plusieurs parties. Le polymère se refroidit jusqu'à l'état solide à la suite de quoi la pièce est extraite après ouverture de l'outillage. Une nouvelle injection est réalisée quand l'outillage est à nouveau fermé.



**Figure II.1 : Exemples de pièces obtenus par injection plastique.**

#### **II.4. Histoire de l'injection thermoplastique**

L'américain John Wesley Hyatt a breveté la première machine de moulage par injection en 1872. Cette machine était relativement simple par rapport aux machines en usage aujourd'hui: elle fonctionnait comme une grande aiguille hypodermique, en utilisant un plongeur pour injecter du plastique à travers un cylindre chauffé dans un moule. A l'époque on produisait surtout des colliers, boutons et peignes. En 1919, Arthur Eichengrün a développé la première presse de moulage par injection, qu'on peut considérer comme la première machine à injection moderne. Dans les années 1930 voit l'apparition des premières presses à injecter en France. C'est le début des articles ménagers et jouets en plastiques sur le marché de consommation. L'industrie s'est développée rapidement dans les années 1940, suite à une demande énorme pour des produits peu coûteux, produits en série. En 1946, l'inventeur américain James Watson Hendry construit la première machine avec vis à injection. Aujourd'hui les machines avec vis d'injection représentent la grande majorité de toutes les machines d'injection.

#### **II.5. Déroulement du cycle d'injection**

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

- Partie de vis d'injection est leur comportement

- Partie de moule

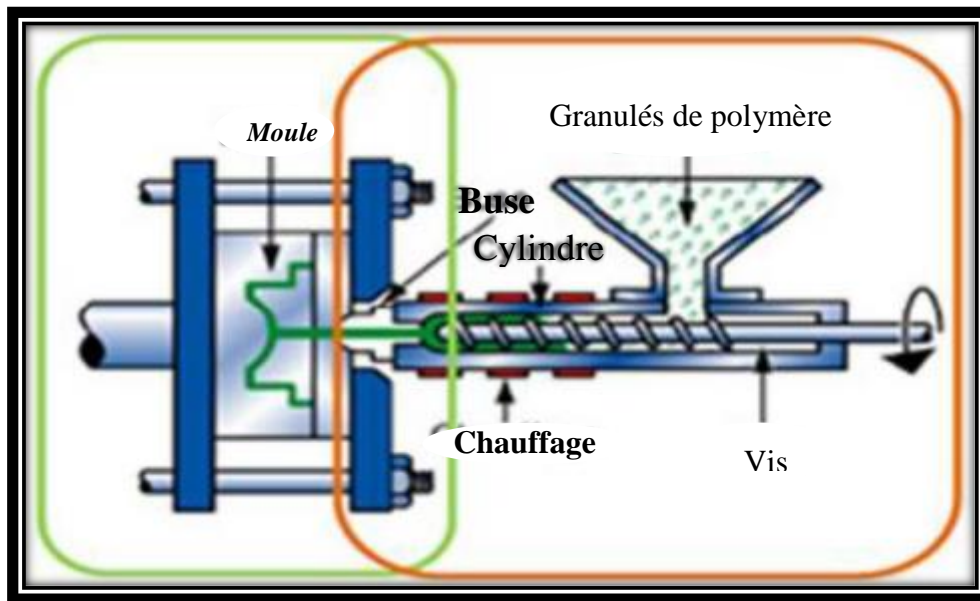


Figure II.2: Presse d'injection.

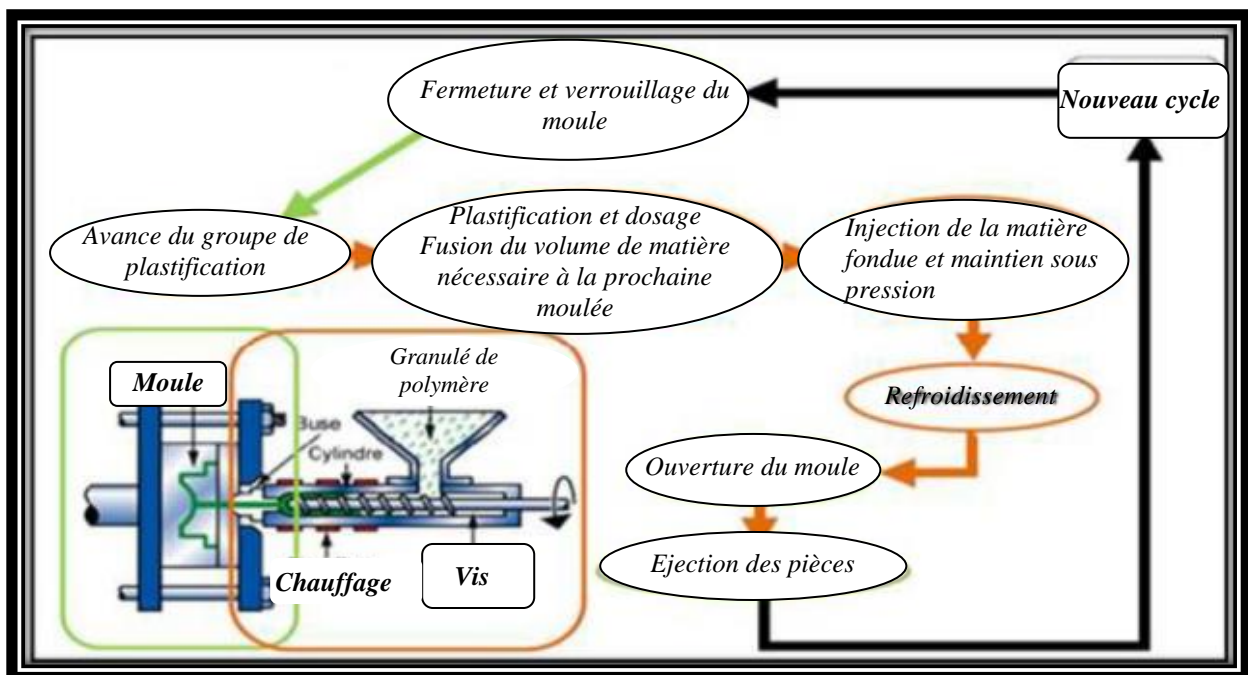


Figure II.3: Déroulement du cycle d'injection.

## II.6. Phases de moulage par injection

Le procédé de moulage par injection est très répandu dans le domaine de la plasturgie car il permet de fabriquer des pièces techniques de manière contrôlée et avec des cadences

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

### II.6.1. Phase de plastification

La phase de plastification a pour objectif de faire passer le polymère de l'état initial (Sous forme de granulé) à l'état fondu. On peut dire que cette transformation commence au début par l'ensemble vis fourreau dont la fonction est de broyer et de chauffer le granulé pour l'amener peu à peu à l'état fondu. Pour cela, la vis de l'unité possède un mouvement de rotation pour permettre l'auto échauffement de la matière par malaxage, et de translation pour stocker à l'avant du fourreau la quantité de matière à injecter dans la cavité du moule. Le dosage est contrôlé par la course de la vis qui recule, en s'appuyant sur la matière, pendant sa rotation. La matière plastifiée est transportée dans l'espace à l'avant de la vis (Fig. II.4).

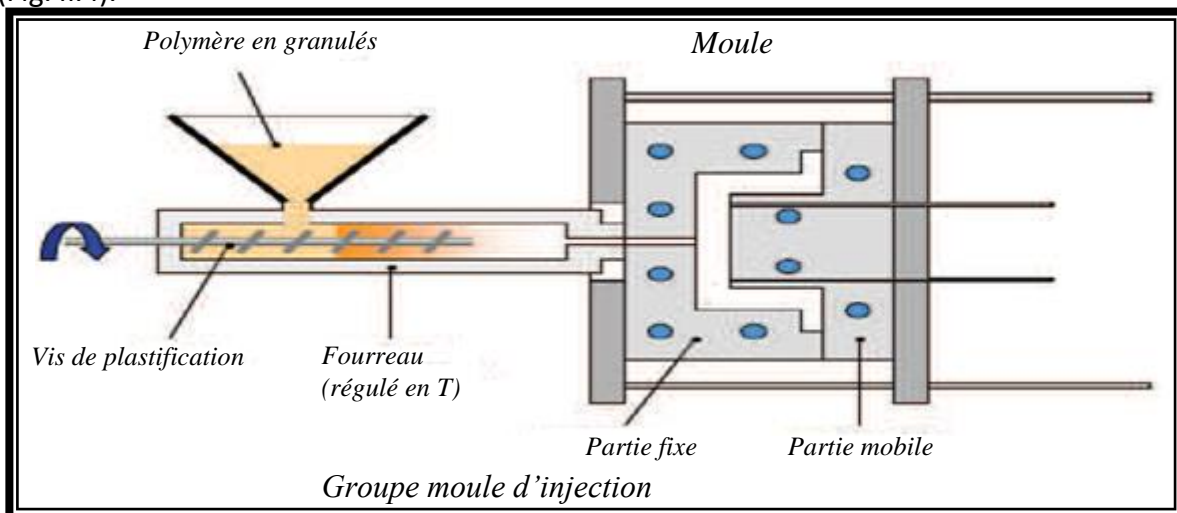


Figure II.4: Phase de plastification.

### II.6.2. 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.5). L'avancée de la vis est réglée en débit ou en pression pour maîtriser la vitesse d'injection du thermoplastique dans l'empreinte. Ce remplissage a une durée très courte, par rapport à celle de la phase de refroidissement. Le

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

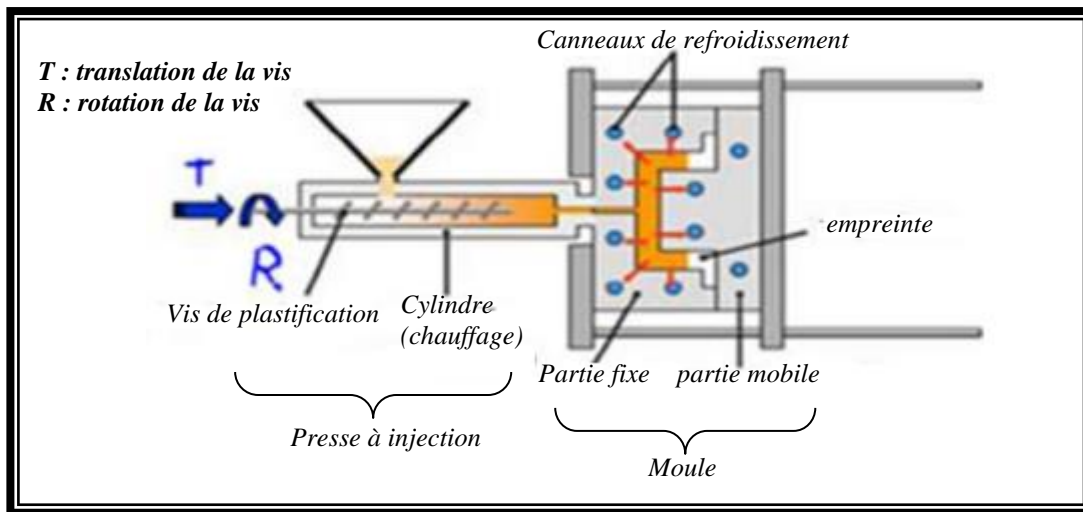


Figure II.5: La phase de remplissage.

### II. 6.3. 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.6).

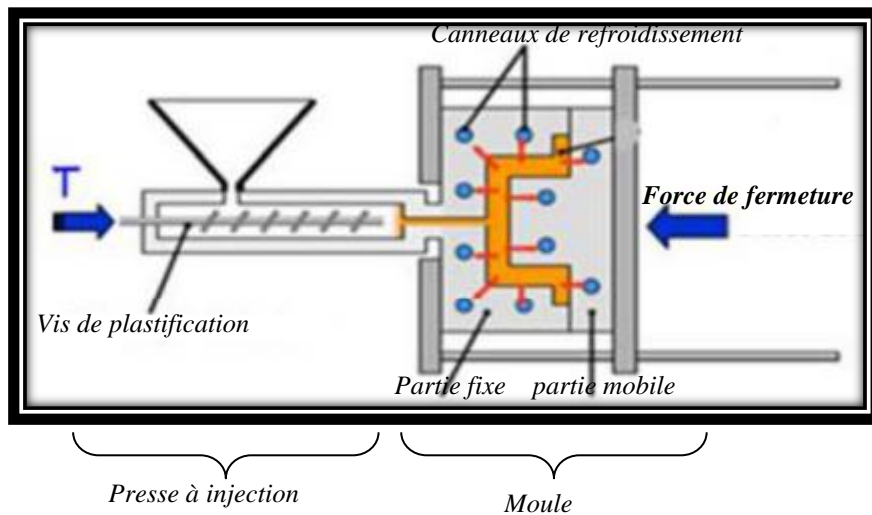


Figure II.6: La phase de compactage.

#### II.6.4. Phase de refroidissement et d'éjection

En parallèle de la phase de maintien, le polymère débute au contact de parois refroidies de l'outillage son retour à l'état solide. Cette phase appelée phase de refroidissement perdure jusqu'à ce que le polymère atteigne sa température de démoulage (Fig. II.7), après le refroidissement l'éjecteur pousser la pièce.

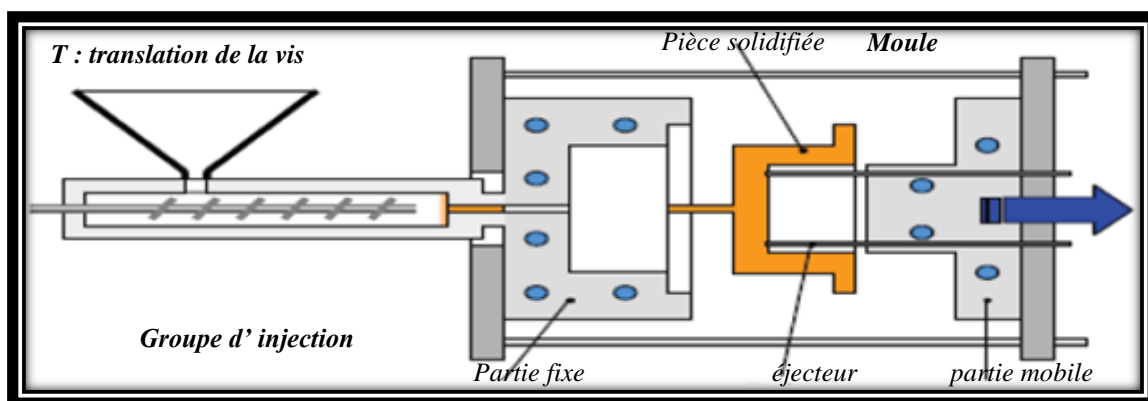


Figure II.7 : La phase d'éjection.

En résumé le cycle d'injection :

- Déroulement du cycle d'injection
- Le cycle d'injection minimal est décrit sur la Figure II.8.

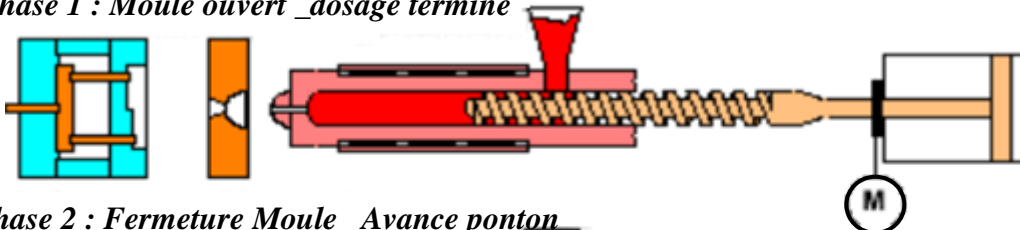
- Pour réaliser ce cycle, les principales fonctions d'une presse à injecter sont donc:
- Ouvrir et fermer le moule;
- Verrouiller le moule;
- Injecter la matière fondue dans le moule;
- Maintenir la matière fondue sous pression dans les empreintes;
- Éjecter les pièces après refroidissement;
- Fondre la matière.

En partant de la matière plastique sous forme de granulés pour aboutir aux pièces injectées disponibles hors du moule, le cycle de transformation de la matière plastique

Pour réaliser ce cycle, les fonctions suivantes sont nécessaires:

- Alimenter la presse en granulés;
- Faire fondre les granulés;
- Doser le volume de matière fondue qui va être introduit dans le moule;
- Introduire la matière fondue dans le moule...

*Phase 1 : Moule ouvert \_dosage terminé*



*Phase 2 : Fermeture Moule \_Avance ponton*



*Phase 3 : Injection \_Maintient*

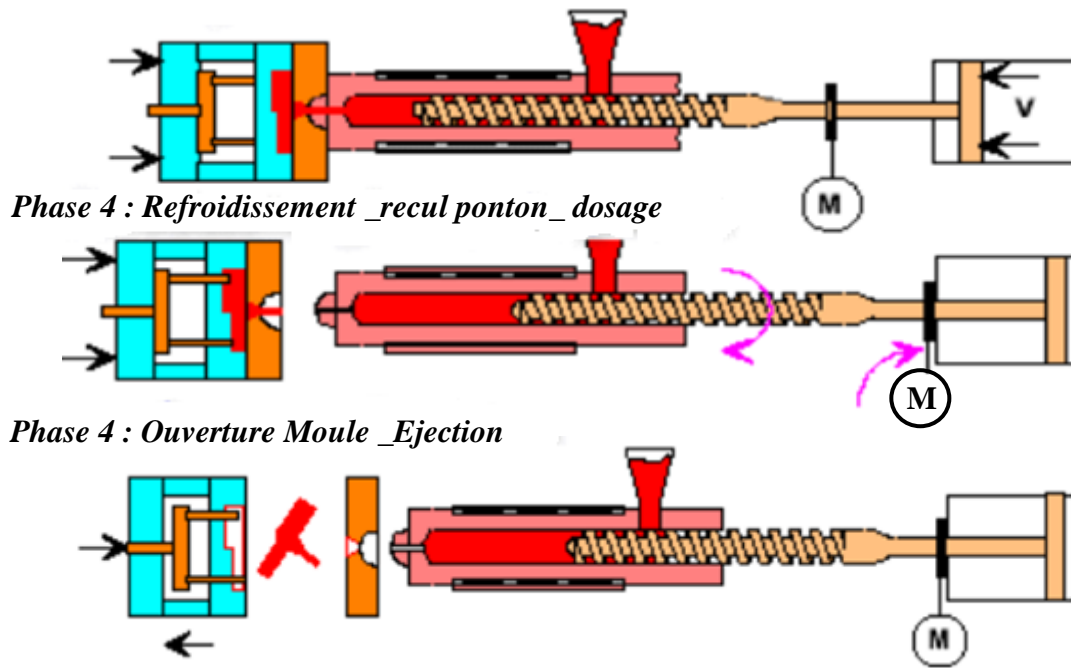


Figure II.8 : Cycle d'injection.

On rencontre des composants moulés par injection dans de très nombreux produits manufacturés: lunettes, automobiles, électroménagers, matériel informatique, mobiliers.

Pour les pièces métalliques, les dimensions sont relativement limitées (les carters de boîtes de vitesses en aluminium sont coulés par injection) mais pour les plastiques elles vont de quelques millimètres à plusieurs mètres (éléments de carrosseries automobiles, tables de jardin, par exemple).

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



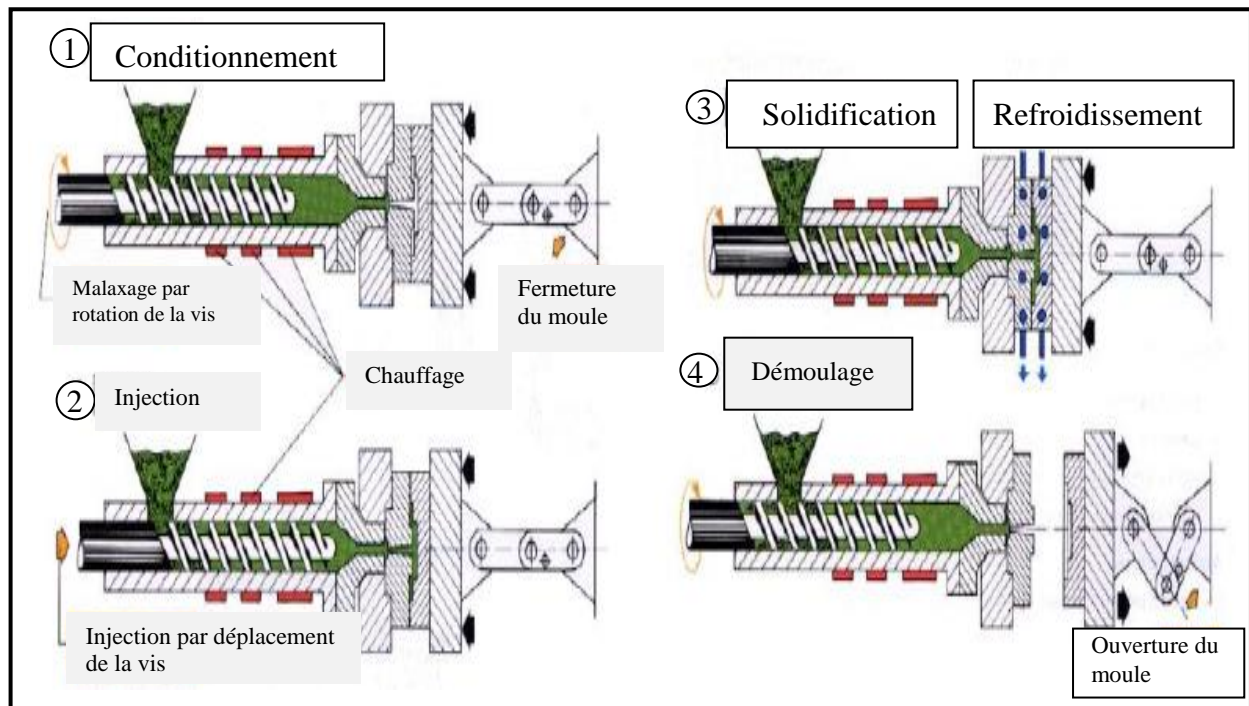


Figure II. 9 : Différents phases d'injection.

## II.7. Caractéristiques d'une pièce injectée

Les pièces fabriquées via un processus d'injection plastique vont avoir quatre caractéristiques qui vont les différencier des pièces fabriquées via un autre processus : - Le point d'injection correspondant à l'entrée de la matière dans la pièce - Les traces d'éjecteurs nécessaires pour démouler la pièce de l'outillage - La ligne de plan de joint au niveau des zones de fermeture du moule - Les dépouilles, pour faciliter la sortie de la pièce de l'outillage en limitant les contraintes et sans la rayer.

### II.7.1. Le point d'injection

Le point d'injection, c'est par là que la matière entre dans l'empreinte de l'outillage. Sur toute pièce en plastique injectée, il y a un point d'injection. Il se présente généralement sous forme d'un petit picot ou d'une nappe. À la conception de l'outillage, il est important de voir avec le mouliste où sera fait ce point d'injection et de quel type il sera, surtout si c'est une pièce d'aspect. Le choix du point d'injection est du ressort du mouliste. En effet, c'est lui qui dira où et comment le placer afin d'optimiser l'équilibre du moule et de bien remplir la pièce. Le point d'injection peut se trouver au centre de la pièce ou sur un bord extérieur. Avec un point d'injection au centre, les avantages sont un bon équilibre des pressions lors de l'injection et une optimisation des dimensions de l'outillage. Ses principaux inconvénients

sont la difficulté à couper la carotte d'injection pour les outillages sans buse chaude, et en cas de buse chaude, le coût de cette option qui peut s'avérer prohibitif pour des petites séries. Le point d'injection au centre avec buse chaude est donc à privilégier pour des grandes séries, à contrario, l'injection au centre avec carotte est à privilégier pour la petite série de pièces techniques. Un point d'injection sur le bord a également des avantages. Il permet notamment une coupe facilitée du canal d'injection, de faire à moindre coût des moules multi-empreintes et de mettre un point sous-marin pour un égrappage automatique. Ses principaux inconvénients sont un potentiel déséquilibre du moule et des lignes de soudure qui peuvent-être plus visibles. Le point d'injection sur un bord sera donc privilégié pour les pièces d'aspects en petite et moyenne série ou dans les cas de moules multi-empreintes à coût modéré.

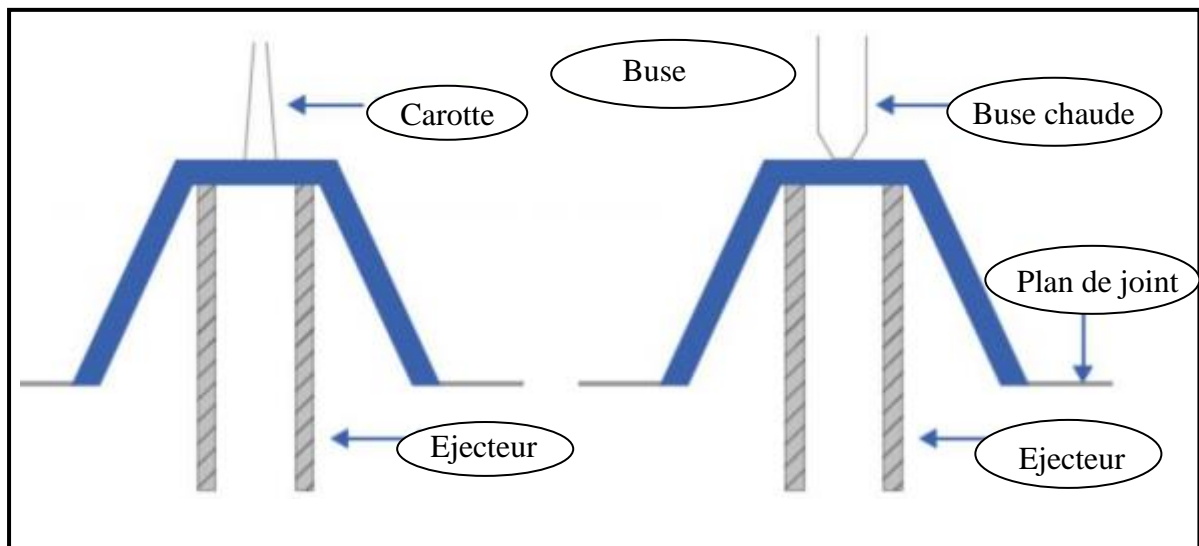


Fig. II.10 : Injection au centre avec carotte. Fig. II.11: Injection au centre avec buse chaude.

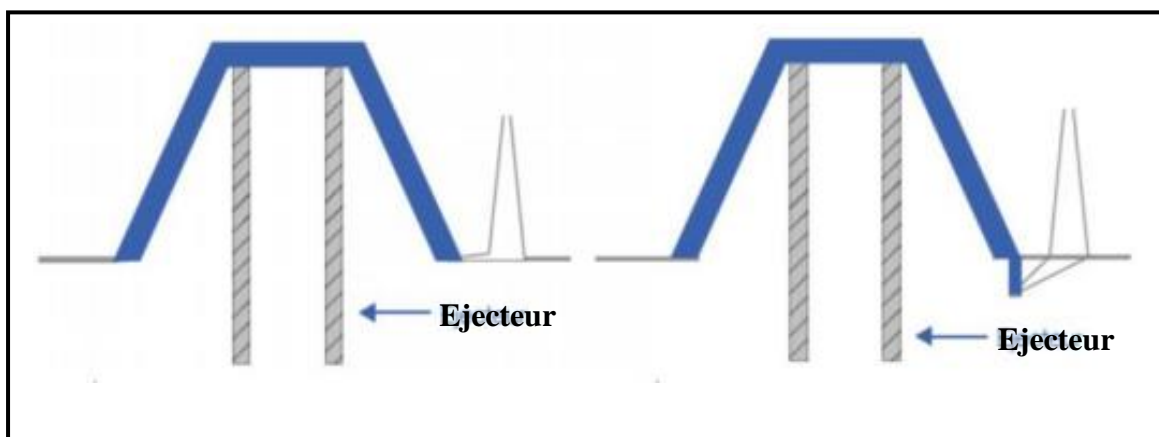


Figure II.12: Injection latérale en nappe. Figure II.13: Injection avec point sous-marin.

### **II.7.2. Les traces d'éjecteurs**

Lors de l'injection du plastique dans l'outillage, la matière va être soumise à de très fortes pressions qui vont la compresser et cette dernière va se rétracter de 0.5% à 3.0% lors du refroidissement et serrer le noyau central. Pour démouler la pièce, il faut donc la pousser via des éjecteurs guidés par une batterie d'éjection. La force nécessaire pour éjecter la pièce peut atteindre plusieurs tonnes. Les éjecteurs vont donc laisser sur la partie intérieure de la pièce de petites traces généralement de forme ronde ou rectangulaire. Ainsi, il est important de savoir de quel côté de la pièce il est possible de laisser ces marques sans altérer l'aspect ou les propriétés techniques de l'objet fabriqué.

Pour des cas spécifiques, par exemple une pièce d'aspect visible des deux côtés, il est possible d'utiliser d'autres techniques d'éjection : plaques dévétisseuses, éjection par air comprimé ou encore utilisation de tiroirs latéraux. Ces techniques, plus onéreuses, sont à réserver aux cas très spécifiques.

### **II.7.3. Ligne de plan de joint**

La ligne de plan de joint se forme sur la pièce au niveau de la rencontre des différents éléments mobiles de l'outillage. Elle forme une légère ligne continue qui fait le tour de la pièce, et au niveau de la jonction avec les tiroirs. Lors de la conception de la pièce et du moule, surtout si c'est une pièce d'aspect, il faut trouver un endroit où faire passer cette ligne ou une façon de la masquer. Ainsi, sur un boîtier elle sera souvent mise à la base qui n'est pas visible. Elle peut être également fondue entre deux états de surface différents ou posée sur une légère boursouflure décorative.

### **II.7.4. Les dépouilles**

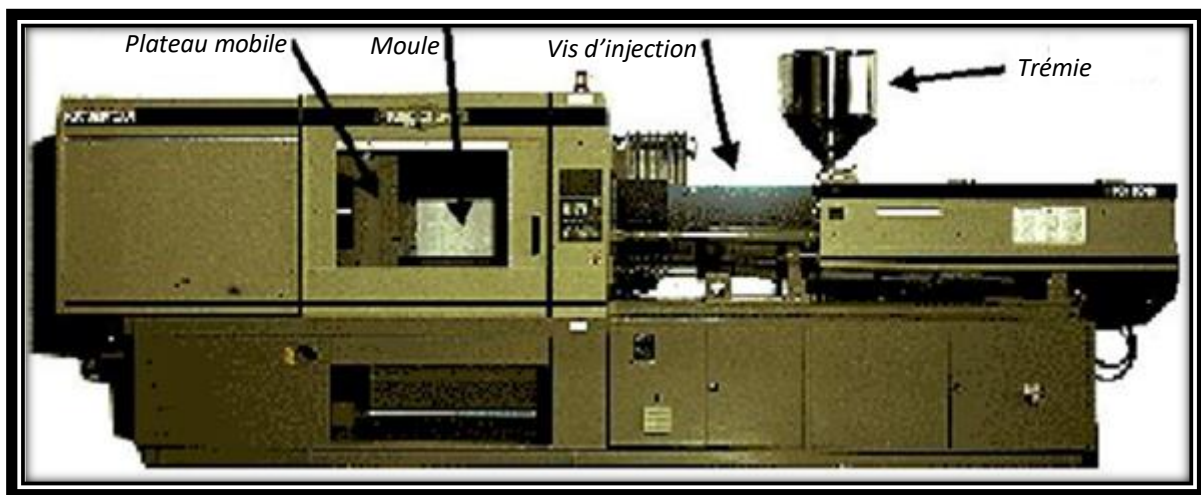
C'est la quatrième caractéristique d'une pièce fabriquée par la méthode de l'injection plastique. Contrairement aux trois précédentes qui sont principalement du ressort du mouliste, la pose des dépouilles est à prévoir lors de la conception de la pièce, cette partie-ci sera donc approfondie dans le chapitre « Concevoir sa pièce ». Il n'est pas possible - ou difficilement réalisable - de sortir une pièce d'un outillage avec des parois perpendiculaires au plan de joint. En effet, comme la matière se rétracte, et reste sous forte contrainte sur le noyau du moule, elle devient difficile à extraire sans déformation, casse ou rayure. Il faut

donc mettre des dépouilles sur l'ensemble de ces parois avec des angles compris entre 1.0 et 5.0 degrés

### **Chapitre III : La presse à injecter**

#### **III.1. La presse d'injection**

Une machine d'injection fermeture (dans laquelle est fixé le moule) et une unité de commande. Transforme les granulés solides en polymère fondue pour l'injecter en unité de fermeture, à laquelle le moule est fixé. La (Fig. III.1) illustre les parties principales d'une presse à injection. Dans le cas des thermoplastiques, le moule est régulé généralement à une température voisine de la température ambiante afin de figer la matière plastique le plus vite possible.



**Figure III. 1 : Presse d'injection.**

#### **III.2. Etude de la Presse à injection**

La presse d'injection est une machine qui permet d'obtenir des pièces en plastique injecté sous pression dans un moule (monté sur la presse). L'injection du plastique se fait généralement à haute pression et à température supérieure à la température de transition vitreuse. A cet état la matière n'est plus solide mais n'est pas aussi liquide. Elle est à l'état visqueux entre les deux états liquide et solide. La matière peut être injectée dans le moule et la matière plastique prend la forme de l'empreinte du moule. Après refroidissement, la pièce est éjectée du moule. Le refroidissement se fait par circulation d'eau froide dans le circuit de refroidissement du moule. La structure de presse d'injection est illustrée sur la Fig. III.2.

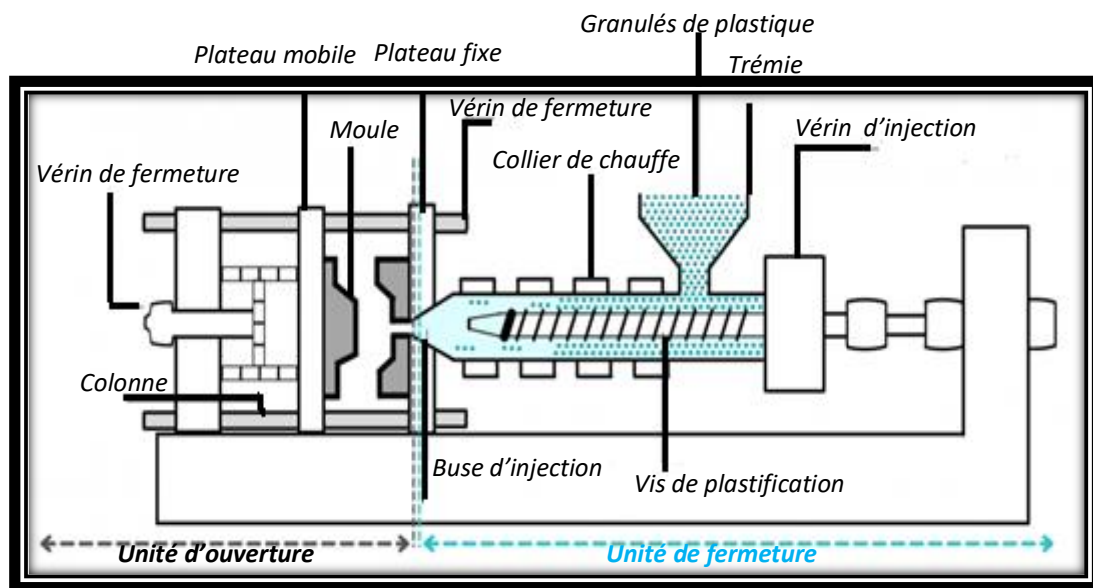
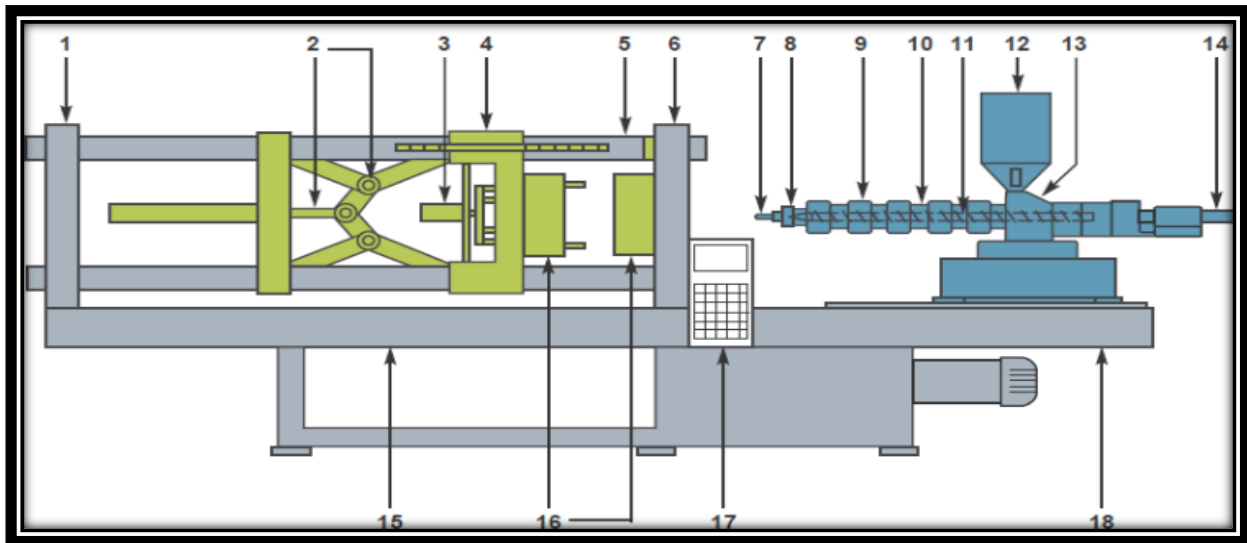


Figure III.2: La structure de presse d'injection.

Une presse d'injection des thermoplastiques est composée par les ensembles suivants :

- ✓ Ensemble d'injection et de plastification (trémie, fourreau, vis).
- ✓ Ensemble de fermeture (moule, vérin de fermeture).
- ✓ Ensemble hydraulique (système hydraulique).
- ✓ La partie commande. Elle est caractérisée aussi par :
- ✓ 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  $\text{cm}^3$  ou en kg).



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

### III.3. Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'une presse d'injection est le suivant : Dans l'unité de plastification, la vis est placée dans un fourreau cylindrique, chauffé par conduction. Elle peut être entraînée soit en rotation, soit en translation. Lorsqu'elle tourne, sa fonction est tout d'abord de faire le mélange des granules de polymère, qui ont été chauffés par les colliers chauffants et de convoier la matière à l'entrée de l'unité de fermeture. Ensuite, elle agit comme un piston pour injecter la matière fondue dans un moule. Ce dernier, généralement réglé à une température proche de la température ambiante, va permettre de figer le plus rapidement possible le polymère. C'est ce qui se passe lorsque l'on transforme des thermoplastiques. Pour les polymères thermodurcissables ou des élastomères, en général, le mélange est tiède et injecté dans un moule chaud permettant l'initiation de la polymérisation.

### III.4. Différentes parties ou unités d'une presse

Une presse est composée principalement de trois parties comme montre la figure III.3:

- o unité d'injection (groupe de plastification).
- o le moule.
- o Le dispositif du mouvement du moule (unité de fermeture).

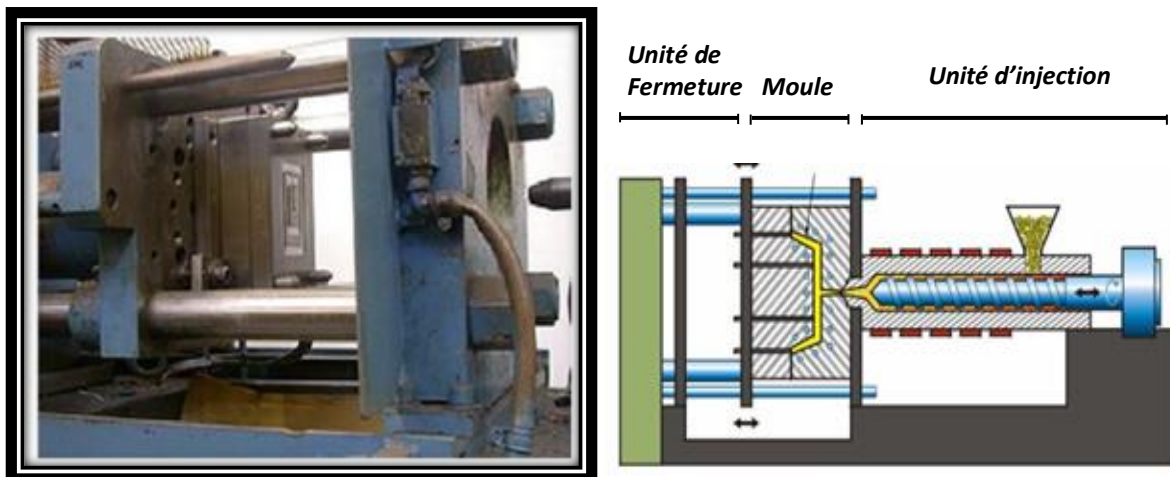


Figure III.3 : Dispositif d'une presse d'injection.

#### III.4.1. Le groupe de plastification (unité d'injection)

Le groupe de plastification assure le passage de la matière de l'état solide à l'état liquide. Les principaux éléments constitutifs de ce groupe sont : (voir la Figure III.4)



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

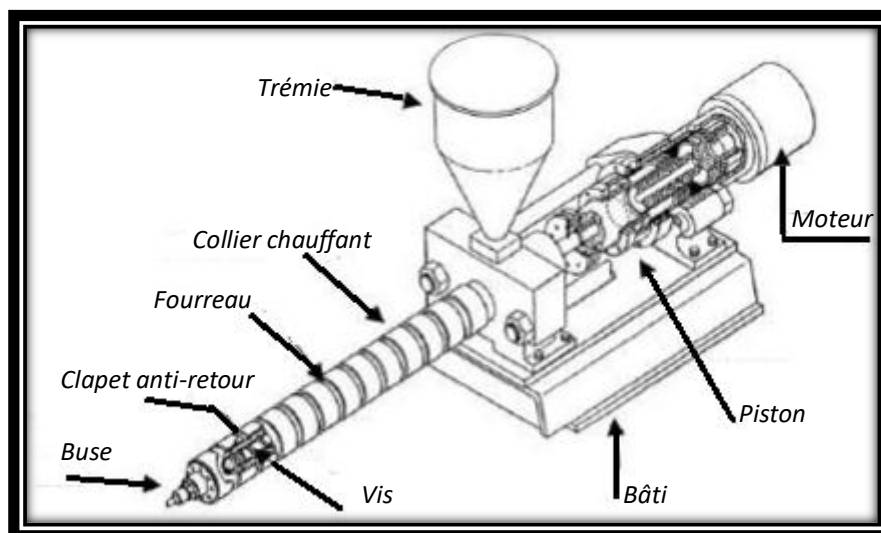


Figure III.4 : Schéma d'un groupe de plastification.

### o Les vis d'injection

C'est l'élément le plus important de la presse à injecter. Le but étant de plastifier une matière sans lui faire perdre de ses caractéristiques au moment du passage en fusion (voir Fig. III.5). Elle assure deux fonctions essentielles :

- Transport et plastification de la matière.
- Injection sous pression de la masse fondue dans le moule.

Elle est composée de **3** zones :

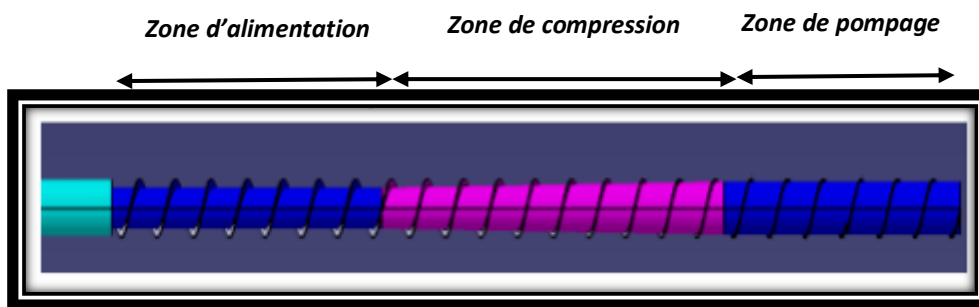
**a. Une zone d'alimentation**

Alimenter et transporter les granulés à l'intérieur du cylindre. Dans cette zone, la profondeur des filets de la vis est importante, et reste constante.

**b. Une zone de compression**

Les granulés vont y être progressivement fondus par action conjuguée des colliers chauffants. On diminue progressivement la profondeur des filets. On comprime la matière. Les deux premières zones d'une vis permettent de plastifier la matière.

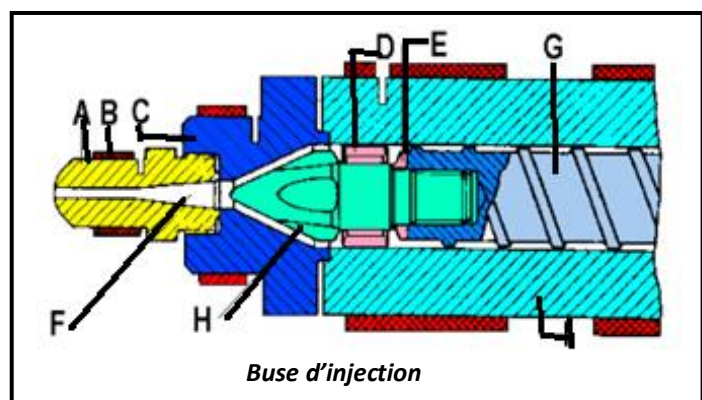
**c. Une zone de pompage** : Dans cette zone, la profondeur redevient constante, ce qui permet d'homogénéiser la masse de matière fondue et de bien mélanger les additifs.



**Figure III.5 : Schéma d'une mono vis avec trois zones.**

- ✚ Une buse de presse doit : Assurer un contact étanche avec le moule durant l'injection, malgré les fortes pressions mises en œuvre. La force d'appui buse-moule doit être assez élevée et s'exerce sur des portées sphériques ou tronconiques, rarement planes (Fig. III.6).

- A. Buse ouverte
- B. Résistance de buse
- C. L'avant pot
- D. Clapet
- E. Siège du clapet
- F. Passage de la matière
- G. Vis
- H. Pointe du clapet
- I. Fourreau



**Figure III.6 : Schéma de la buse d'injection.**

- ✚ Le seuil est le passage par lequel la matière pénètre dans l'empreinte. La forme, la position et la dimension des seuils influent sur l'écoulement et sur l'orientation qui conditionne la résistance aux sollicitations mécanique et les risques de déformation au refroidissement (Fig. III.7). Les formes les plus utilisées sont : alimentation capillaire (pin point), section rectangulaire, section V en demi-cercle. Beaucoup de moules présentent des sections très voisines de celle calculées à l'aide de la formule de SOMER FIELD :

$$S = 0.35 \times M$$

Avec :

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

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

La longueur des seuils doit être la plus petite possible.

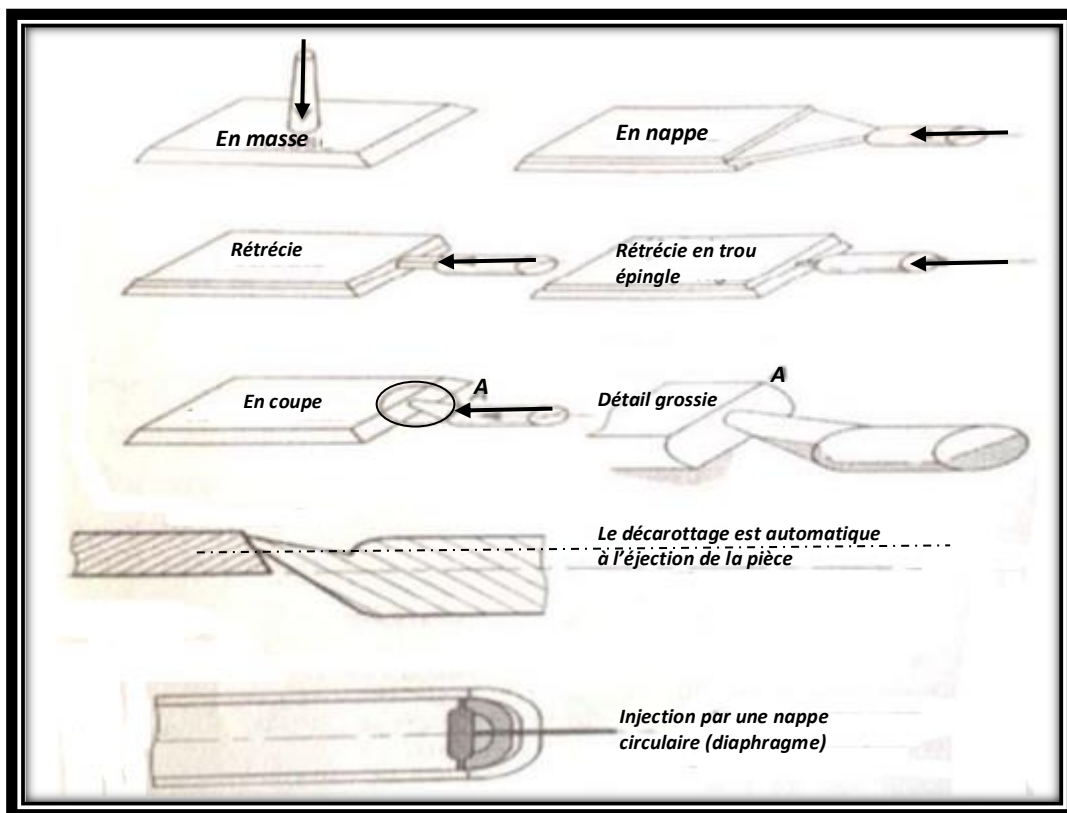


Figure III.7: Seuils d'injection.

### III.4.2. L'unité de fermeture et verrouillage

Cet ensemble permet la fermeture et le verrouillage de la partie mobile du moule, sur la partie fixe. Devant résister à la pression d'injection, sa conception est très importante. Son fonctionnement peut-être mécanique, hydraulique, ou mixte. Voir la Figure III.8.

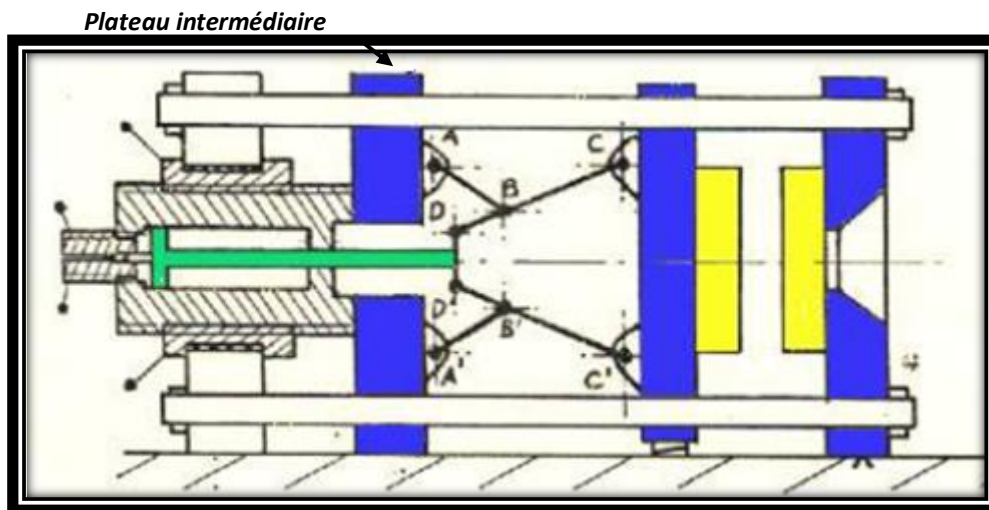


Figure III.8: Fermeture et verrouillage.

#### ✓ Fermeture mécanique

Bien que les mouvements sont assurés par un vérin, elle est appelée mécanique, car l'effort de verrouillage est assuré par les genouillères. Sur certaine presse, lorsque le point d'alignement est dépassé, on peut couper la pression dans le vérin et l'ensemble reste stable. (Fig. III.9)

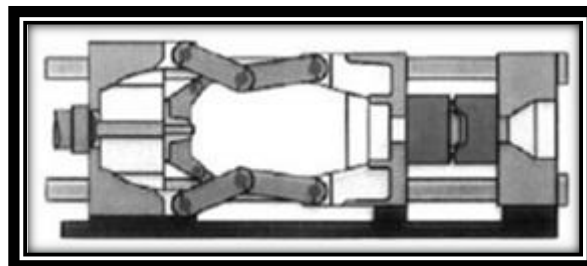


Figure III.9: Fermeture mécanique.

#### ✓ Fermeture hydraulique par vérin

Ce type de fermeture ne fait appel à aucun mouvement mécanique. Ceux-ci sont réalisés par des mouvements hydraulique à l'aide d'un gros vérin central qui a pour but de faire

l'approche du plateau mobile jusqu'au plateau fixe, et d'un vérin plus petit qui assure le verrouillage dans la phase final de la fermeture (Fig. III.10).

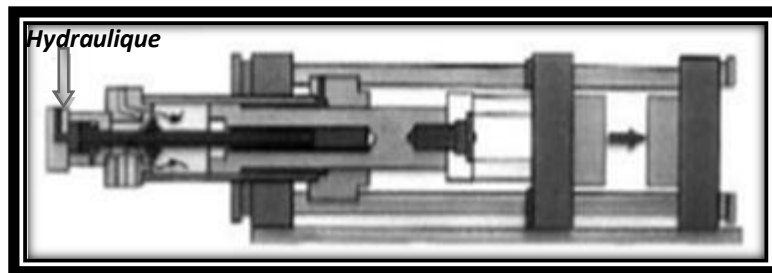


Figure III.10: Fermeture hydraulique.

#### ✓ Fermeture mixte

Ce procédé est un compromis entre la fermeture hydraulique et la fermeture mécanique. En effet, 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 (voir Fig. III.11).

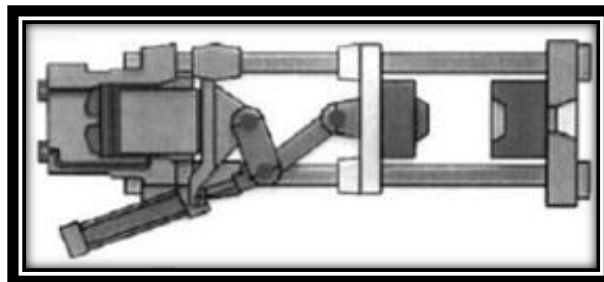


Figure III.11: Fermeture mixte.

### III.5. Caractéristiques techniques d'une presse d'injection

Caractéristiques des Presses :

Un standard Européen "Euromap" définit les caractéristiques des presses.

**Exemples :**

1) 900 H -210

900: Force de fermeture en KN

H: Presse horizontale

210: Volume maximum de matière injectable

2) La Baby Plast 6/6 M 62,5 H – (4 à 15)

3) La plus grosse presse (Billion) 100 000 H -80000

=> Pour mouler des pièces d'une surface de 2 m<sup>2</sup> et de 80 kg : grosses poubelles collectives.

INJECTION		UNITE
DIAMETRE DE VIS	30	mm
VOLUME THEORIQUE INJECTABLE	148	Cm <sup>3</sup>
PRESSION D'INJECTION	2800	Kg/cm <sup>2</sup>
DEBIT D'INJECTION	83	Cm <sup>3</sup> /Sec
CAPACITE D'INJECTION	124	gramme

UNITE DE FERMETURE		UNITE
PASSAGE ENTRE COLONNES	340×340	mm
DIMENSION DU PLATEAU	525×525	mm
EPAISSEUR MOULE	Mini 100 maxi 320	mm
COURSE D'OUVERTURE	300	mm
DIAMETRE BAGUE DE CENTRAGE	125	mm
FORCE DE FERMETURE	80	T
EJECTION	M16	

#### ✓ Force de fermeture

La force de fermeture est la force nécessaire pour maintenir le moule fermé lors de l'injection. Cette force est calculée par rapport à la pression exercée dans le moule pendant l'injection. Elle doit être supérieure à la pression d'injection. Il est obligatoire d'exercer un verrouillage du moule, sinon lors de l'injection, il se produit une ouverture et du toilage sur les pièces.

**NOTE:** La pression de verrouillage doit- être de 10 à 25% supérieur à la pression d'injection.

#### ✓ Méthode de calcul de la force de fermeture

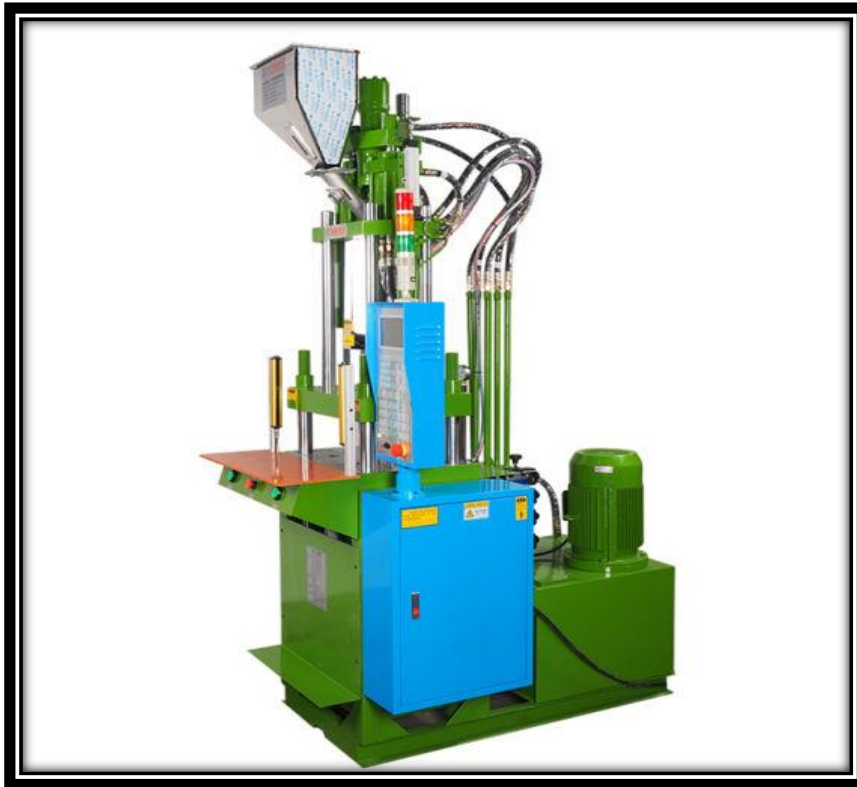
$$\text{Force de fermeture : } F = P.C_{PC}.S \times 1.1$$

<b>Matériau :</b>	<b>ABS</b>	
<i>Pression d'injection P (MPa)</i>	<b>120</b>	1 bar= 10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup>
<i>Surface projetée au plan de joint S (mm<sup>2</sup>)</i>	<b>2460</b>	1 bar= 10 N/cm <sup>2</sup>
<i>Coefficient de pertes de charges Cpc :</i>	<b>0.6</b>	1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup> <a href="#">l'unité de pression est le Pascal</a>
<i>Effort au plan de joint du moule F (KN) :</i>	<b>194.83</b>	
<i>Force de fermeture de la presse (KN) :</i>	<b>250</b>	1Kg= 10N

### III.6. Types des injections plastiques

#### III.6.1. Machines d'injection verticale

Ce modèle de machine de moulage par injection est principalement déduit au moulage par injection sur les lignes de production de produits électroniques (voir la Figure III.12). D'ordinateurs, de prise d'alimentation, etc..... Les produits réalisés n'ont pas d'exigences trop hautes envers le standard de précision. En générale, on utilise le PVC, le PE ou autre plastique d'injection comme milieu principale, les standards de modèles adaptés à ces produits ont en général une force de serrage de moule de 15T à 35T, comme les données concrètes des machines des diverses usines varient (capacité de moule, dispositifs, etc.) il est impératif que les paramètres concrets du modèle à l'usine avant l'achat.



**Figure III.12: Exemple d'une machines d'injection verticale.**

### **III.6.2. Machines d'injection horizontale**

Machine de moulage par injection horizontale : c'est le type le plus courant. Sa partie de serrage de moule et d'injection se trouve à la même position horizontale au centre de la ligne et son moule s'ouvre horizontalement. Ses caractéristiques sont : un petit corps, facile à utiliser et réparer. Son barycentre est bas, son installation stable. Suite à la confection du produit. On peut utiliser la force gravitationnelle pour le faire descendre automatiquement. Opération entièrement automatisée facilement réalisable. Ses défauts sont : l'installation de moule est plutôt difficile, l'insertion de pièce peut inclinée ou faire tomber le moule, la surface d'occupation de sol est plutôt grande. A présent, de nombreuses machines de moulage par injection sur le marché utilisent cette forme. (Fig. III.13)





Figure III.13 : Machines d'injection horizontale.

### III. 7. Défauts liés à l'injection

#### III.7.1. Défauts liés à la phase dynamique d'injection (remplissage-maintien)

o **Les bavures** : Correspondent à une fuite du polymère par le plan de joint du moule lors de l'injection (voir Fig. III.14). La formation des bavures peut être liée à :

- une viscosité trop faible du polymère.
- Une pression d'injection trop élevée.
- Une force de fermeture ou une rigidité de l'outillage insuffisante ou un encrassement du plan de joint.

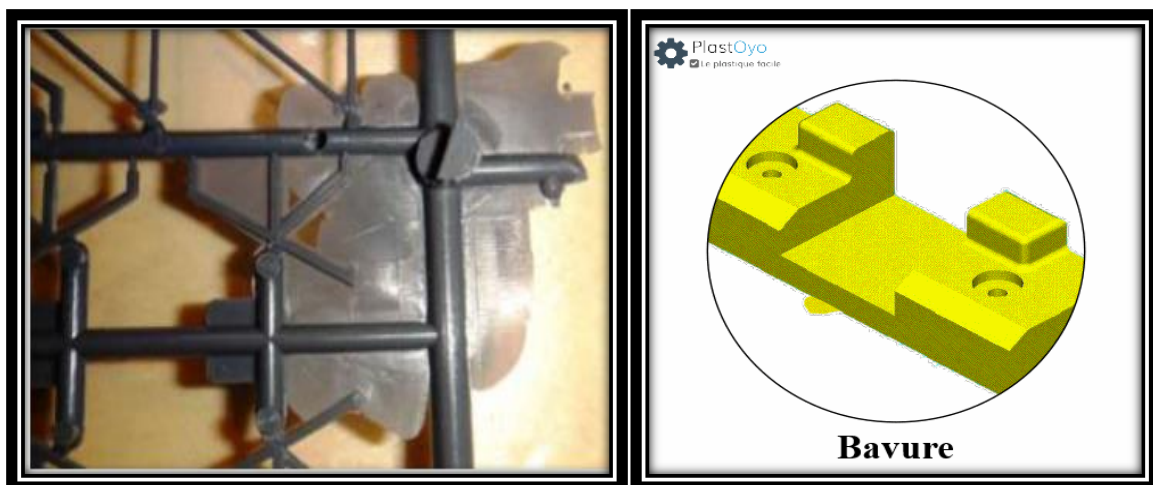
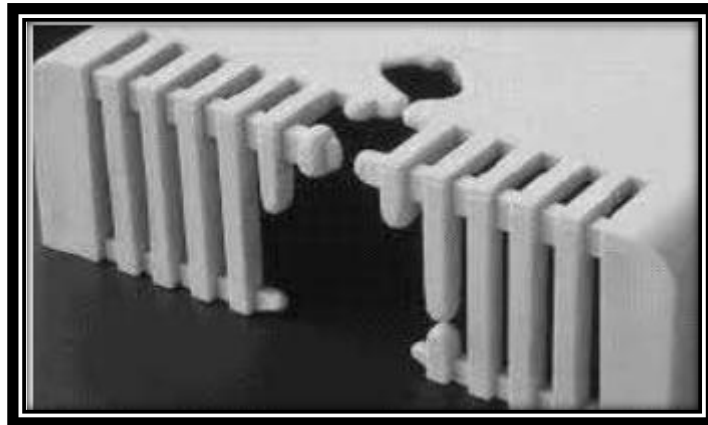


Figure III.14: Pièce présentant des bavures.

**o Une pièce incomplète**

Correspond à un remplissage partiel de la cavité. La plupart du temps à la fin du parcours d'écoulement ou dans des zones de faible épaisseur (Fig. III.15). Ce défaut apparaît lorsque :

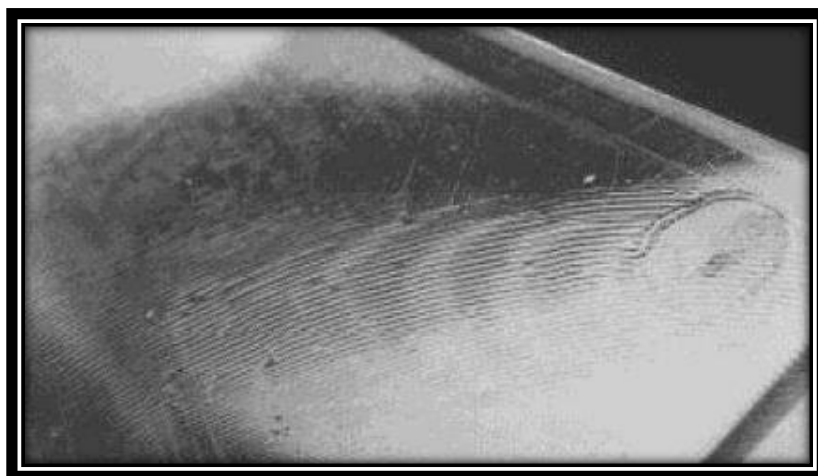
- Le volume de dosage est trop faible par rapport à celui de la pièce à mouler.
- L'épaisseur de l'empreinte est trop faible,
- La pression d'injection insuffisante ou les pertes de charges dans le circuit d'alimentation sont trop importantes.



**Figure III.15: Pièce incomplète.**

**o Apparition de sillons**

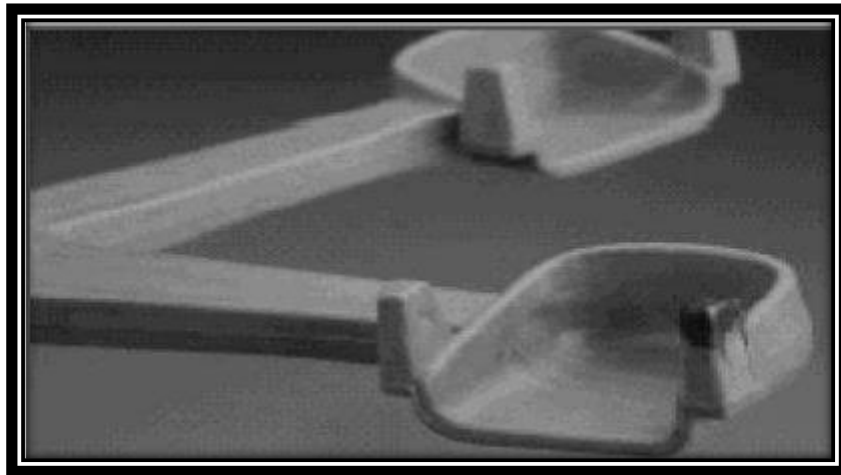
Ils sont caractérisés par des fines rainures concentriques parallèles au front d'écoulement apparaissant autour du point d'injection ou dans des zones de faible épaisseur comme montre la Figure III. 16.



**Figure III.16 : Pièce présentant des sillons.**

**o L'effet Diesel**

Caractérisé par l'apparition de taches noires ou carbonisées à la surface de la pièce et est dû à un problème de ventilation. Il se produit lorsque le parcours de l'écoulement entraîne la formation de poches d'air (notamment en fin de parcours, dans les zones de soudure, au niveau des nervures) et que celles-ci, de par la conception inadéquate du système de ventilation (évents, éjecteurs) ne peuvent pas être éliminées. En fin d'injection, l'air est alors comprimé et sa température s'élève fortement, pouvant provoquer la carbonisation du polymère. L'élimination de ce défaut nécessite l'optimisation de la ventilation du moule, notamment dans les zones de convergence de flux de matière. A l'extrémité du parcours de coulée, elle peut être effectuée par la modification du parcours d'écoulement (épaisseurs de paroi, position des seuils). Aussi, par une vérification des évents, la réduction de la force de fermeture pour faciliter l'évacuation de l'air emprisonné voir Fig. III.17.



**Figure III.17: Pièce présentant l'effet Diesel.**

**o Les inclusions d'air**

Elles sont semblables à des poches d'air de diamètre important et en grande quantité (Fig. III.18). L'origine de ce défaut peut être liée à :

- Une décompression trop importante ou trop rapide.
- Un mauvais fonctionnement du clapet anti-retour.
- Une poche d'air dans la trémie.
- Une température trop élevée du polymère.

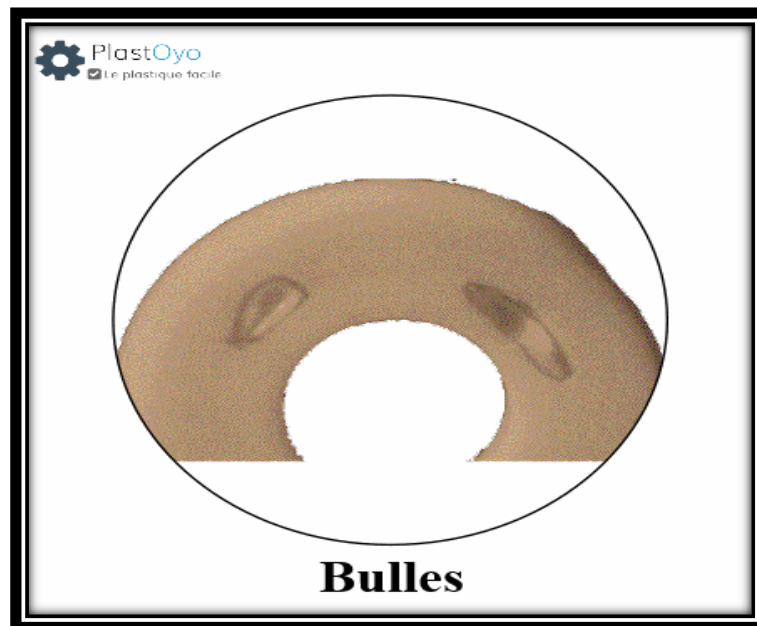


Figure III.18: Pièce représentant des inclusions d'air.

### III.7.2. Défauts liés à la phase quasi-statique d'injection (refroidissement)

#### o Les retassures

Retraits visibles à la surface de la pièce qui se forment à la solidification de la pièce. L'origine de ce défaut est la différence dans le refroidissement de certaines parties de la pièce (Fig. III.19).

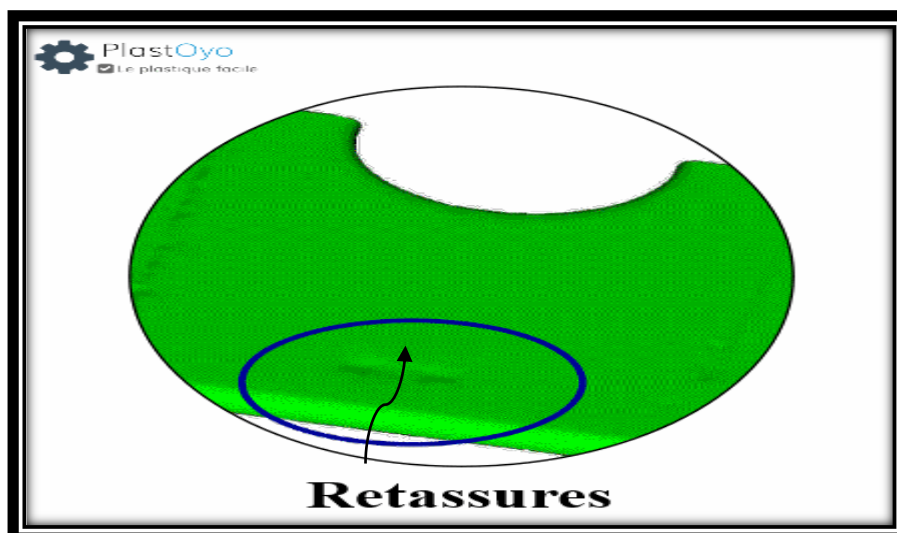
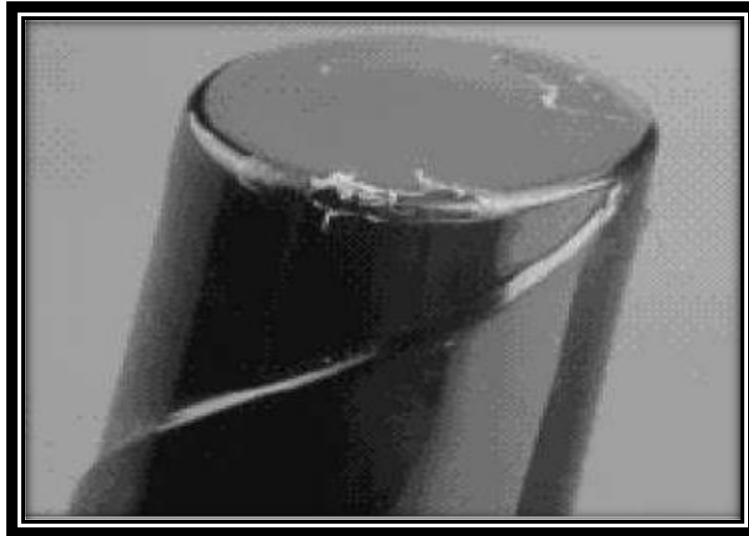


Figure III.19 : Pièce présentant des retassures.

**o L'écaillage, le pelage**

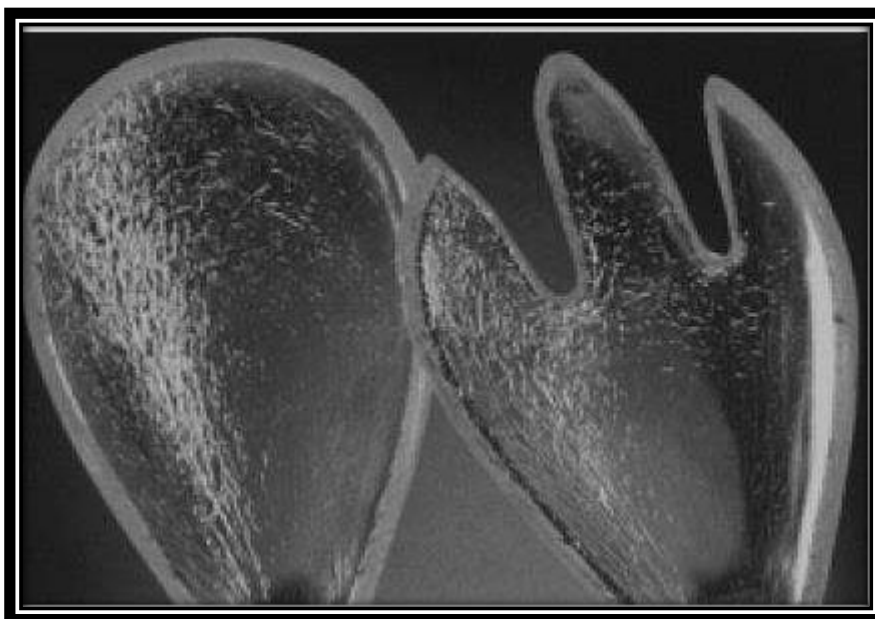
Apparition d'écailles à la surface de la pièce. La cause principale de ce défaut est un déplacement de la matière déjà refroidie. La figure III. 20 présente ce défaut.



**Figure III.20: Pièce présentant des écailles.**

**o La fissuration**

Le défaut de fissuration est caractérisé par un éclaircissement localisé de la teinte, avec une surface satinée. Ce défaut est lié à un état de contrainte excessif dans la pièce généré lors du moulage et/ou du démoulage. Comme montre la Fig. III.21.



**Figure III.21 : Pièce présentant des marques de fissuration.**

### o Conformité dimensionnelle de la pièce : Retrait

Le retrait est la différence entre les dimensions de l'empreinte acier et les dimensions de la pièce obtenue. Le retrait peut être compensé en intégrant un coefficient de correction des dimensions de la conception de l'empreinte. Voir Fig. III.22.

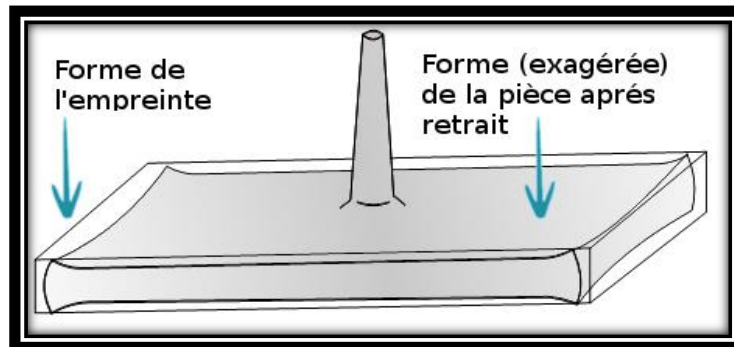


Figure III.22 : Déformation de retrait.

### III.7.3. Défauts liés à la phase de démoulage-éjection

#### o Déformation de la pièce

Dans certains cas, lorsque le démoulage est particulièrement difficile, la pièce moulée peut être déformée lors de l'éjection (Fig. III.23). Ce défaut peut être lié :

- Au matériau (retrait trop important),
- Aux conditions de transformation (refroidissement insuffisant, pressions trop élevées)
- À la conception de l'outillage.

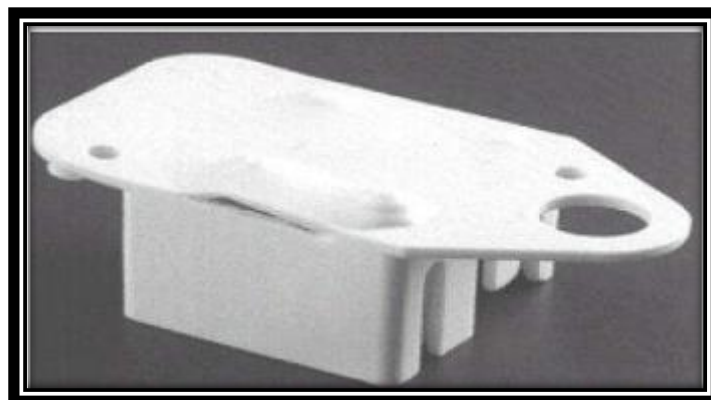


Figure III.23: Déformation de la pièce.

### o Les marques d'éjecteurs

Le défaut de marques d'éjecteurs est caractérisé par une variation locale d'épaisseur pouvant générer des différences de brillance et des creux visibles en surface de la pièce comme montre la Figure ci-dessous. Ce défaut peut être lié à :

- Une pression d'injection.
- Une température locale de l'outillage trop élevée.
- Un temps de refroidissement trop court.
- Une conception d'outillage inadaptée (contre dépouilles trop importantes, dépouilles).
- Trop faibles, mauvaise position des éjecteurs, surfaces d'éjecteurs trop faibles, rigidité du moule insuffisante).

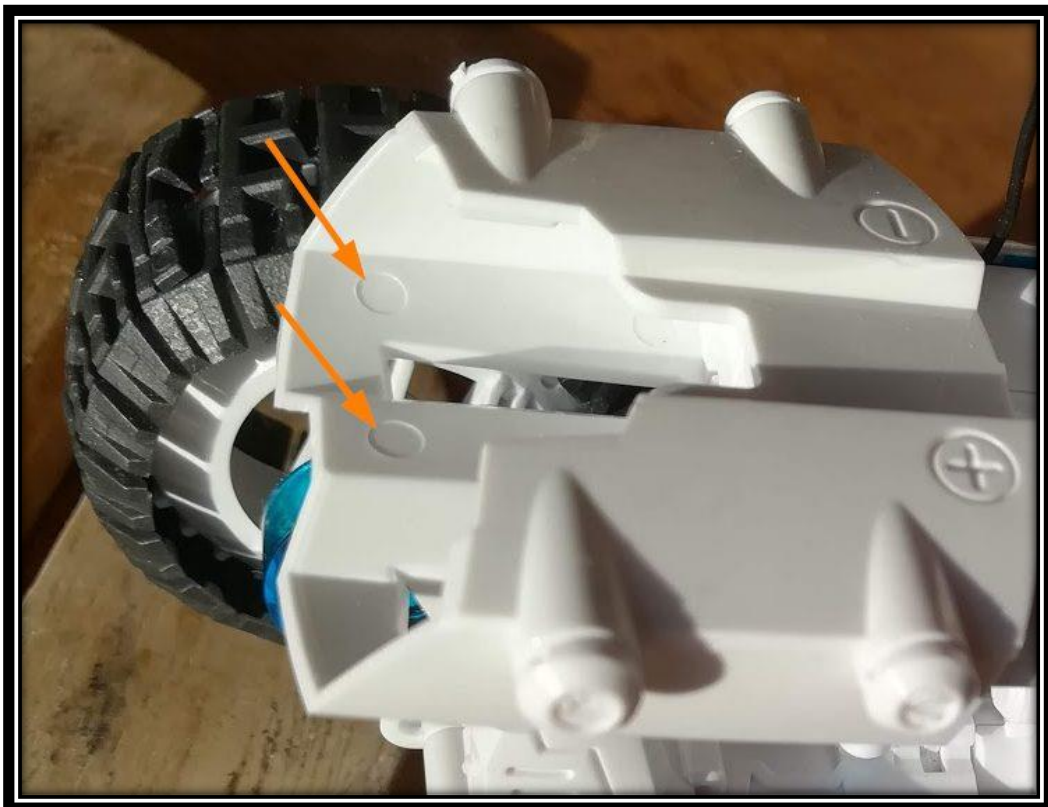


Figure III.24: Une pièce présentant des marques d'éjecteur.

## Chapitre IV : Le moule d'injection

### IV.1. Structure d'outillage d'injection «Le moule»

Un moule d'injection est un ensemble des pièces métalliques qui sont bien assemblées dans le but d'accomplir des fonctions bien déterminées, dont l'objectif est de fabriquer des pièces en plastiques d'une manière automatique. Cet outil est constitué d'une partie mobile et une partie fixe séparée par ce qu'on appelle un plan de joint.

Le moule est un ensemble mécanique de très grande précision qui permet de fabriquer des milliers de pièces en injectant de la matière plastique ou du métal en fusion dans des empreintes prévues à cet effet. Il est utilisé sur une machine appelée presse à injecter.

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

Quand le moule est fermé, la surface de contact entre ses 2 parties est appelée plan de joint. C'est au niveau de ce plan de joint que la pièce devra se démouler. La difficulté est de définir physiquement sa position. Pour ne pas laisser de traces sur la pièce moulée, les deux parties doivent s'emboîter parfaitement pour établir l'étanchéité lorsque le moule fermé est sous pression. Il n'est pas toujours plan et il peut avoir des formes complexes.

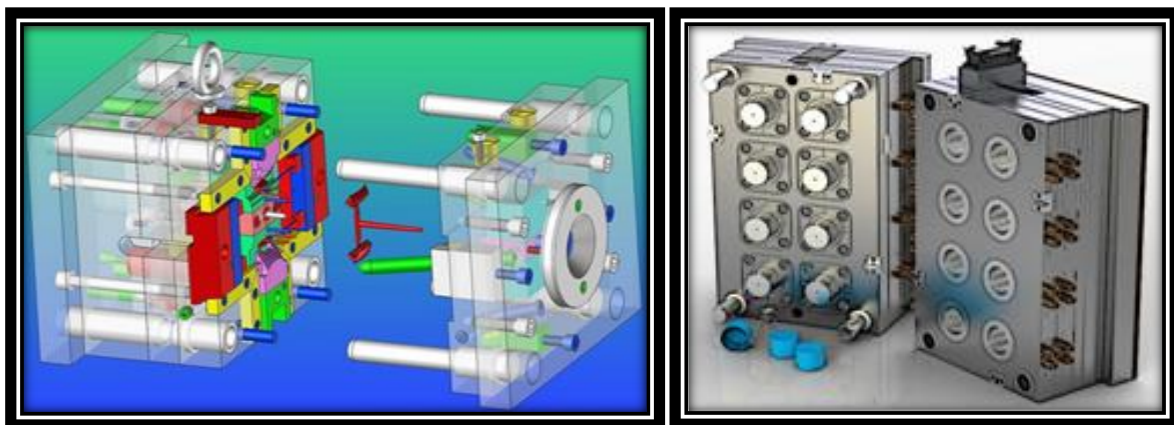


Figure IV.1 : Les deux parties de moule.

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



des moules qui vont aider le démoulage (des tiroirs ou coulisseaux et des rampes ou cales montantes).

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

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

Le côté injection du moule possède généralement une partie des empreintes ainsi qu'une partie du système d'alimentation. Cette alimentation standard est constituée de la carotte, d'un canal principal, éventuellement avec des canaux secondaires et un (ou plusieurs) seuil(s) d'injection.

Ces divers éléments forment la grappe d'alimentation, matière perdue, ou déchet, qui dans la plupart des cas sont recyclée. La buse assure la liaison temporaire d'alimentation entre le moule et l'unité d'injection des presses. Le côté éjection, constituant la partie mobile du moule, porte les noyaux, l'empreinte et le système d'éjection. Les 2 côtés du moule sont alignés en position entre eux par des colonnes. A l'ouverture, les pièces sont poussées hors de l'empreinte et des noyaux par des tiges nommées éjecteurs. Les éjecteurs sont animés par des plaques mobiles en translation. Cet ensemble, nommé batterie d'éjection. La batterie est généralement équipée d'éjecteurs ou de broches, nommés « rappels de batterie ». Ils assurent le retour mécanique « forcé » et la remise en position précise de tous les éléments mobiles liés à la batterie d'éjection, au moment de la fermeture du moule (montage conseillé pour la sécurité des noyaux)

Le dimensionnement de l'outillage sera fonction de :

- La forme de la pièce
- Les dimensions de la pièce
- La matière de la pièce
- Les tolérances de la pièce
- Des capacités de la machine
- Des cadences de production
- Du budget

IV.2. Nomenclature de moule

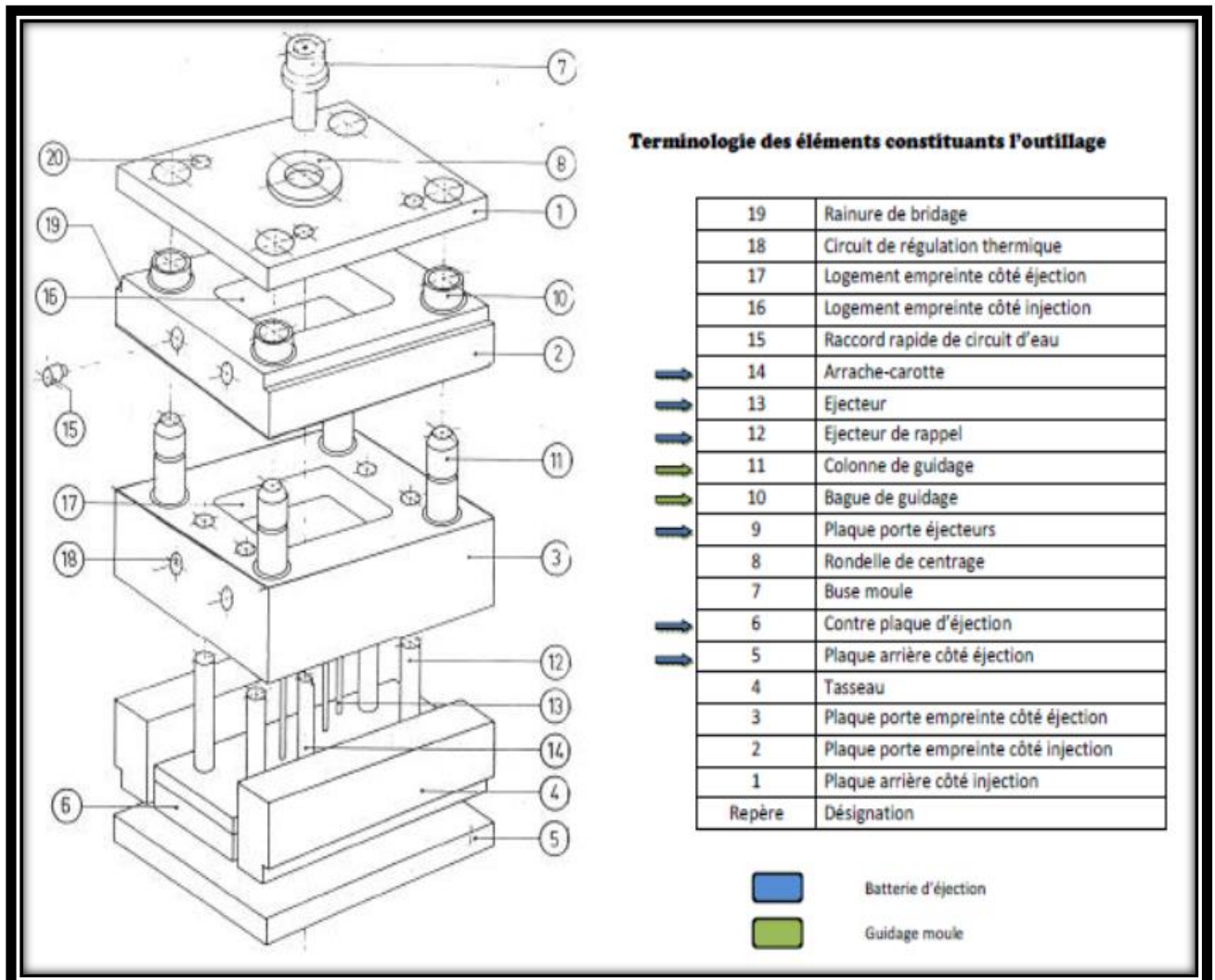


Figure IV. 2 : Les éléments constituant l'outillage.

**La buse moule:** permet le passage de la matière du fourreau vers l'empreinte.

**La rondelle de centrage:** Permet le centrage du moule sur les plateaux de la machine (presse), dans le but de centrer la buse moule à la buse machine.

**Plaque arrière côté injection:** Permet de fixé la rondelle de centrage, la buse moule et les bagues de guidage, ainsi que le bridage.

**Bague de guidage:** Permet le guidage des colonnes de guidages.

**Plaque porte empreinte côté injection:** Permet la fixation de la bague de guidage, contient le circuit de régulation de température.

**Colonnes de guidage:** Permet de guider la partie mobile PM sur la partie fixe PF pour aligner parfaitement l'empreinte.

**Plaque porte empreinte côté éjection:** Permet la fixation des colonnes de guidage, contient le circuit de régulation.

**Ejecteur de rappel:** Permet la remise à zéro de la batterie d'éjection, dans le cas d'une éjection non-attelé.

**Ejecteurs:** Permet d'éjecter la pièce quand le moule est ouvert.

**Extracteur de carotte (arrache-carotte) :** Permet l'extraction de la carotte, ainsi lors de l'ouverture, la moulée ne reste pas bloqué dans la PF.

**Tasseaux d'éjection:** Permet d'obtenir une course optimum de la batterie d'éjection.

**Plaque arrière côté éjection:** Permet le blocage en translation de la batterie d'éjection, permet le bridage du moule sur le plateau mobile, permet également la fixation des tasseaux.

**Batterie d'éjection:** Permet la translation des arraches carottes, remise à zéro et éjecteurs. Est composé de la plaque porte éjecteurs et de la contre plaque d'éjection.

**Vis de fixations:** Permet de fixer la plaque arrière côté injection sur la plaque porte empreinte côté injection

**Rainures de bridage:** Permet le passage de la bride

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

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

### IV.3. Classification des moules

Lorsque la conception de la pièce est terminée et qu'on a fait le choix de la matière à employer, on peut commencer la conception du moule. La conception du moule commence avec le choix entre un moule à empreinte unique et un moule à empreintes multiples [9]. Un moule peut-être défini par :

o Le nombre d'empreintes (1, 2, 4, 8, 16, 32 ...)

o Son architecture : 2 plaques (ou à un plan de joint), 3 plaques (ou deux plans de joints), à tiroirs, à coquilles.

o Le système d'alimentation : carotte perdue, canaux chauffants.

o Le type d'alimentation des empreintes : pin point, en masse, en parapluie, sous-marine, en ligne, en "n" points.

o L'éjection des pièces.

o Système de refroidissement.

o La durée de vie (choix des matériaux). En fonction de ces paramètres on site les grandes familles de moules sont:

#### IV.3.1. Moule à deux plateaux (plaques)

C'est le système le plus employé dans la construction des moules. Ce type de moule consiste en deux parties qui se séparent (en plan de joint) à l'ouverture, de sorte que la pièce puisse être éjectée.

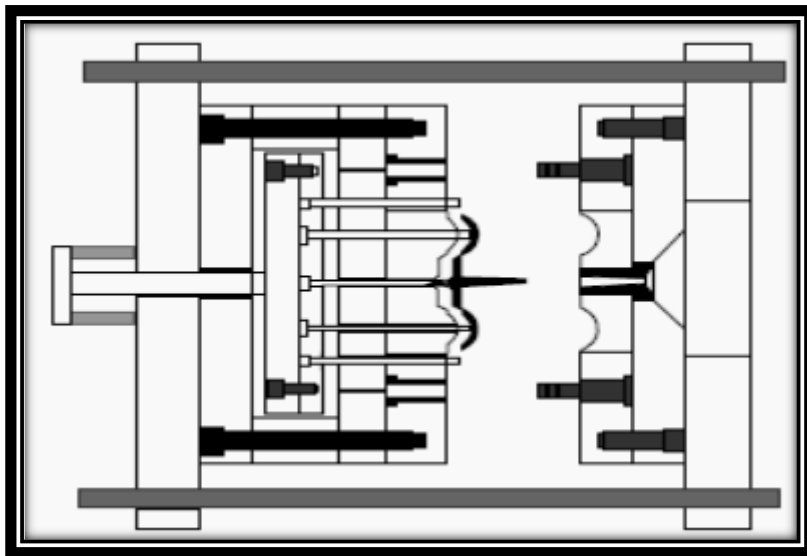


Figure IV.3 : Un moule a deux plaques.

#### IV.3.2. Moule à trois plaques

Ce système est généralement utilisé pour la construction des moules à empreintes multiples, dont le point d'injection est central, comme par exemple les bouchons, couvercles et pignons. A l'ouverture de la machine, deux séparations se produisent: la première au niveau du canal d'alimentation. Le seuil d'alimentation est ainsi cassé, éjecté et séparé de la pièce. La deuxième ouverture consiste à ouvrir le moule en plan de joint, puis à éjecter la pièce.

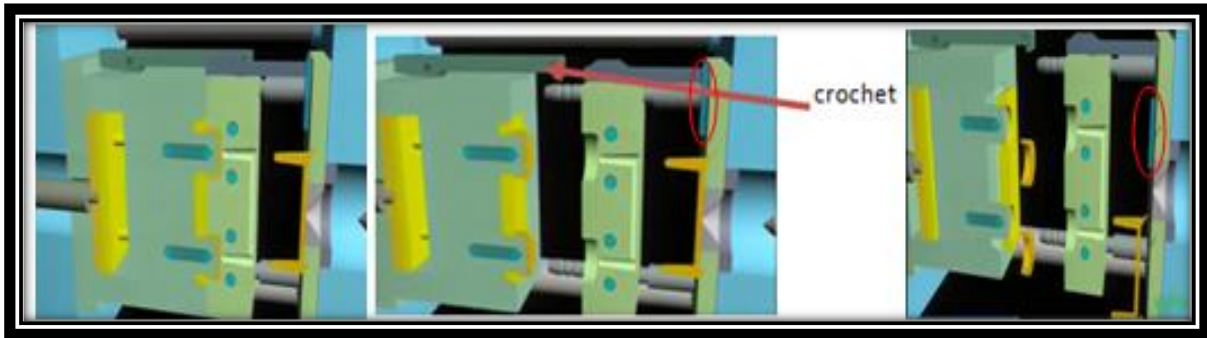


Figure IV.4 : Moule à 3 plaques.

### IV.3.3. Moule à tiroir

Ce moule permet de sortir des pièces offrant des parties en contre-dépouille ou des trous. Le tiroir se retire à l'ouverture de la partie mobile pour permettre l'éjection de la pièce.

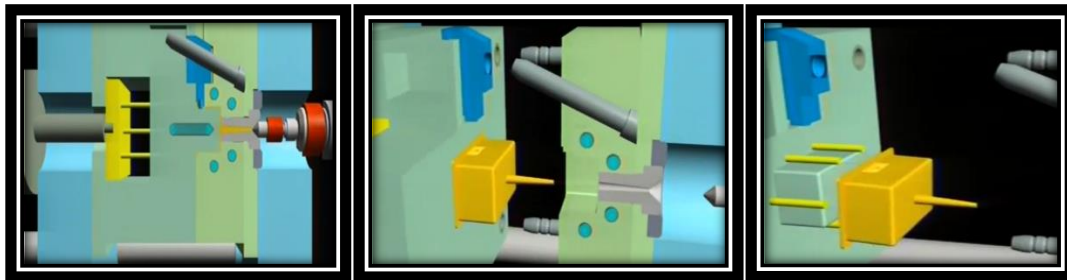


Figure IV.5 : Moule à tiroirs.

### IV.3.4. Moule à coquilles

Ce moule permet de réaliser les contre dépouilles extérieures.

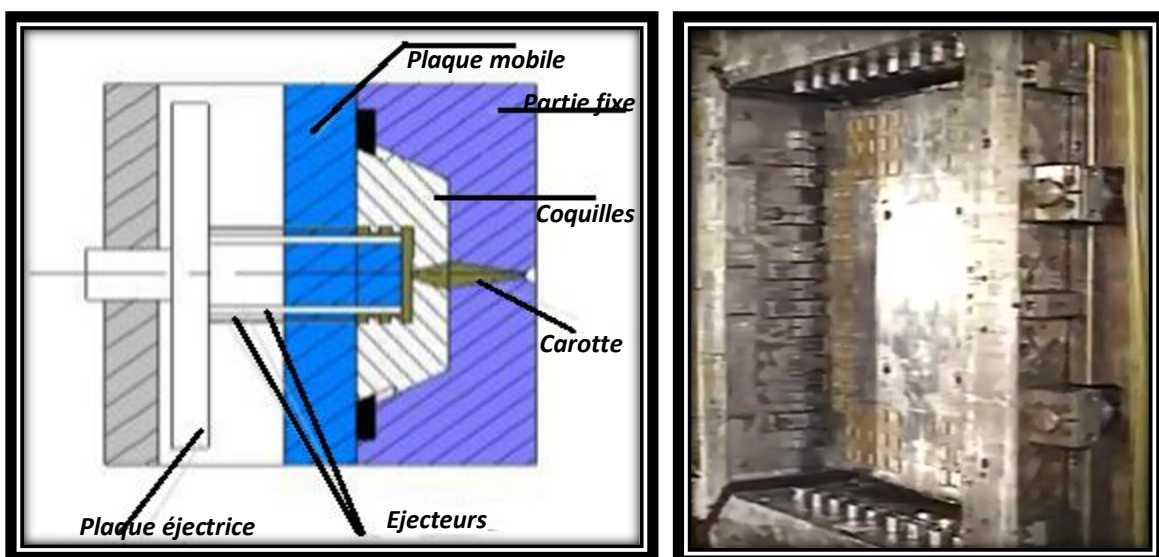


Figure IV.6: Moule à coquilles.

### IV.3.5. Moule à canaux chauffant

On supprime ainsi les carottes et on économise du temps de cycle et de la matière. Ces moules sont plus chers (du type a 3 plaques), mais rentables par les gains de matière et de temps de cycle car la carotte n'a pas à se solidifier.

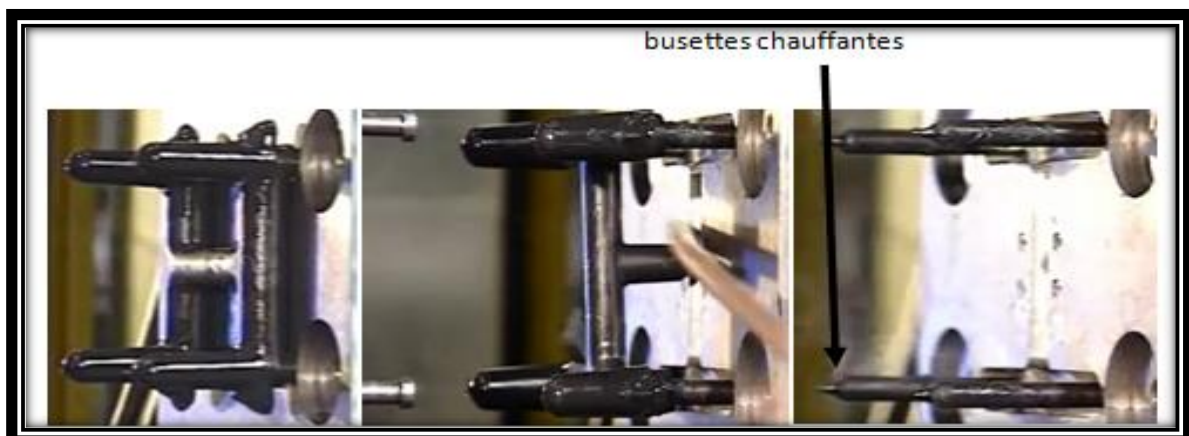
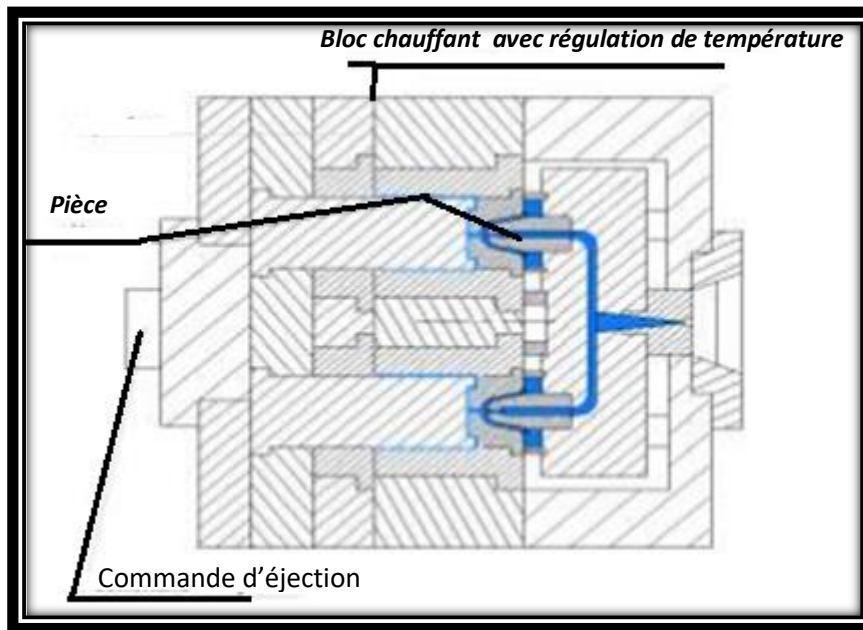
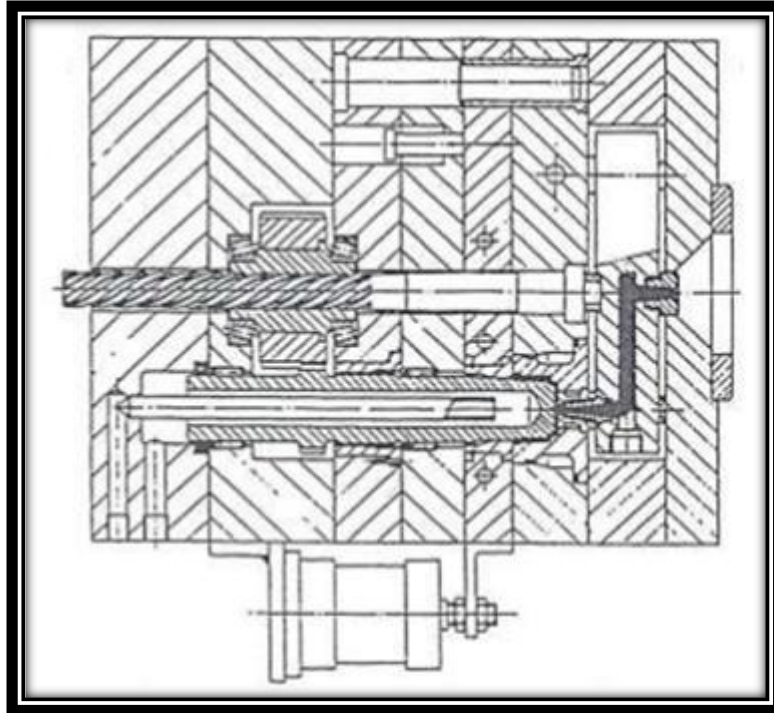


Figure IV.7 : Moule à canaux chauffant.

### IV.3.6. Moules à noyaux rotatifs (dévissage)

Pour la production de pièces avec un filet de vis interne, on utilisera des moules à noyaux rotatifs. Le démoulage se fait alors par dévissage du noyau.

Moule à noyaux rotatifs  
fonction dévissage (ici,  
dévissage par axe en  
hélice)



**Figure IV.8: Moule à noyaux rotatifs.**

#### IV.4. Les fonctions d'un moule d'injection

##### a) Introduction

Chaque moule, quel que soit son type, se compose ou fait appel à un certain nombre de sous ensemble fonctionnel pour remplir les fonctions suivantes :

##### IV.4.1. Fonction alimentation

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

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

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

• **Les canaux d'alimentations standards** : Ils sont placés directement dans la plaque du moule et doivent être démoulés comme la pièce après chaque injection. La matière utilisée pour les canaux à chaque injection est perdue.

• **Alimentation sans déchets ou canaux chauds** : Ils doivent conduire la matière moulée dans l'empreinte sans déperdition de chaleur. Ils sont chauffés séparément de l'outillage (entre 180 °C et 300 °C suivant la matière injectée). Techniquement il faut donc isoler le canal du reste de l'outillage dont la température est nettement inférieure. La matière du canal n'est pas perdue.

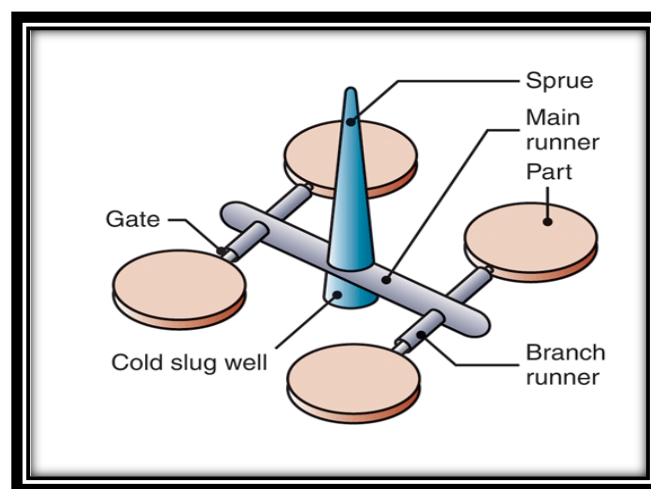


Figure IV.9 : Système d'alimentation.

Elle est composée de :

**\_ La carotte:**

Conduit la matière plastique depuis l'orifice d'entre du moule jusqu' au plans de joint. Elle est perpendiculaire en plans de joint.

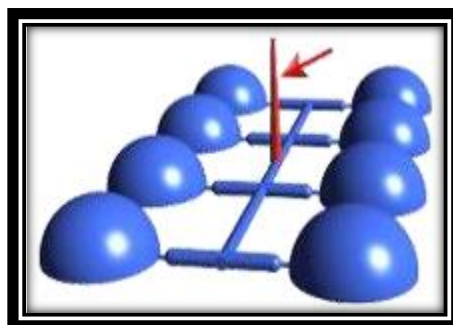


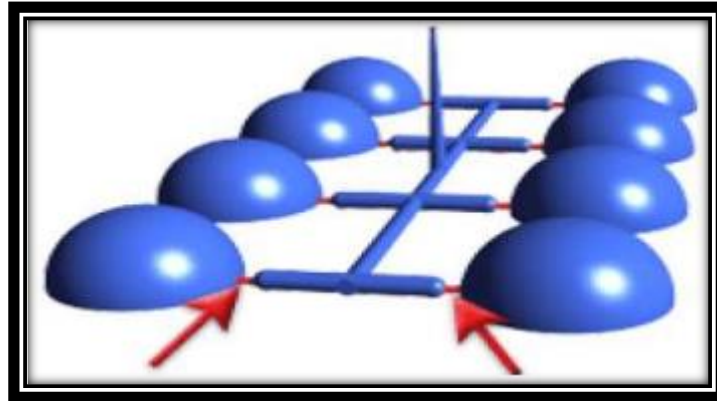
Figure IV.10 : Carotte.



**\_ Le canal principal et les canaux secondaires:**

Les canaux d'alimentation sont des canaux qui relient la carotte aux seuils.

**\_ Les seuils :** Les seuils relient le système d'alimentation à l'empreinte et sont les orifices à travers lesquels la matière à l'état fondu pénètre dans le moule



**Figure IV.11 : Seuils d'injection.**

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

- Matière : Caractéristiques (retrait, viscosité...), paramètres de transformation.
- Canaux : Nombre de canaux, Longueur d'écoulement, Formes et sections.
- Buse : Type de moulage retenu (avec ou sans déchets) Type de buse, dimensionnement (conicité, longueur, O d'entrée...).
- Seuils : Nombre et emplacement, Forme et section.

Empreinte : Volume de matière à injecter Tps de refroidissement caractéristiques de la pièce.

**IV.4.2. Fonction mise en forme :** C'est la forme et les dimensions des parties moulantes qui déterminent la forme et les dimensions de la pièce plastique.

**IV.4.3. Fonction régulation thermique:** La matière entre en fusion dans les parties moulantes. Il faut donc la refroidir pour qu'elle se solidifie. C'est souvent le refroidissement qui est le temps le plus important dans un cycle de moulage.

**IV.4.4. Fonction guidage / positionnement :** Le moule étant composé de plusieurs parties séparées par le plan de joint, à la fermeture du moule celui-ci doit être guidé et recentrer

pour que les parties moulantes de la pièce soit en correspondance entre les différentes parties du moule.

**IV.4.5. Fonctions manutention, stockage, sécurité et liaison machine:** Ces fonctions assure la relation correcte entre la presse et les différents périphériques ainsi que le stockage et la manutention des moules.

❖ **Notion de dépouilles et contre-dépouille**

• **Forme non dépouillée**

Le démoulage est difficile, voire impossible car il y a un frottement important entre les formes moulantes de l'empreinte (poinçon) et la matière solidifiée. Ces frottements sont dus essentiellement au retrait de la matière lors de son refroidissement dans l'empreinte.

• **Forme dépouillée**

Mettre des angles de dépouilles facilite le démoulage de l'empreinte. En général les angles de dépouille intérieure sont plus importants que les angles de dépouilles extérieures (retrait)

$\alpha$ : angle de dépouille extérieure

$\beta$ : angle de dépouille intérieure

• **Forme en contre-dépouille**

C'est une surface formant empêchant un démoulage dans une direction perpendiculaire au plan de joint. Lors de la conception d'une pièce on évitera au maximum les surfaces en contre-dépouille car elles entraînent un moule plus couteux et plus complexes

**IV.4.6. Fonction centrage guidage et positionnement**

**a) Fonction guidage / positionnement :** Le moule étant composé de plusieurs parties séparées par le plan de joint, à la fermeture du moule celui-ci doit être guidé et recentrer pour que les parties moulantes de la pièce soit en correspondance entre les différentes parties du moule.

Pour éviter une excentration des deux parties du moule, on procède à un recentrage soit par un "cône" soit par des faces inclinées. Ce recentrage peut être dans le 1<sup>er</sup> cas en protection du plan de joint et dans le second.

Les parties du moule peuvent s'excentrées sous l'effet de la pression matière. Le remplissage peut être favorisé dans une partie du moule ce qui amplifie le défaut.

La pression dans l'empreinte peut entraîner un glissement entre la partie fixe et la partie mobile. Le centrage évite le glissement entre les deux parties du moule. Les formes de l'empreinte dans le moule peuvent faire s'excentrées la partie mobile de la partie fixe sous l'effet de la pression matière. Figure IV.3. Centrage par le plan de joint incliné du moule Pour éviter une excentration des deux parties du moule, on procède à un recentrage :

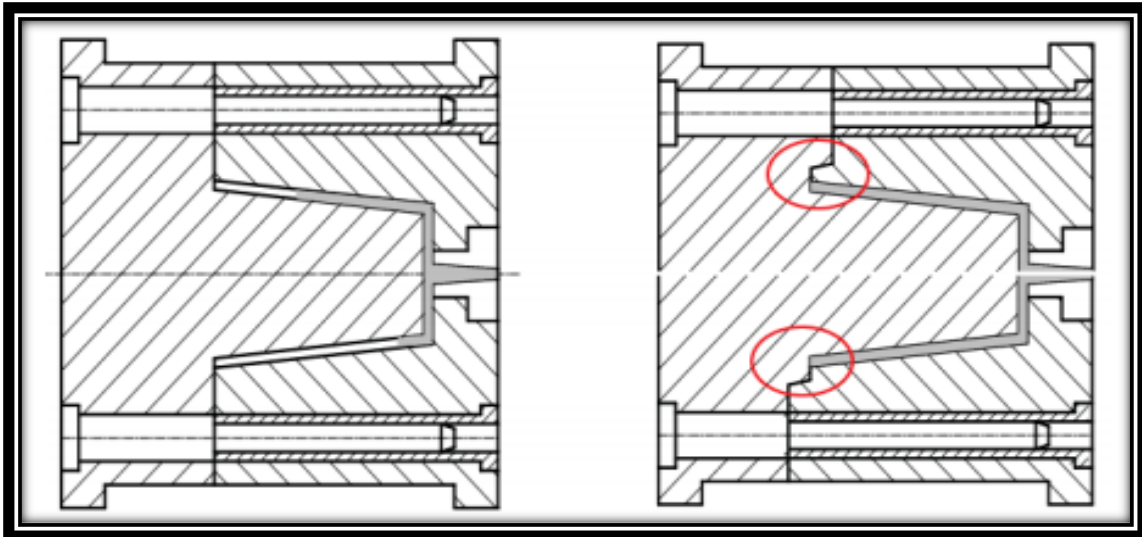
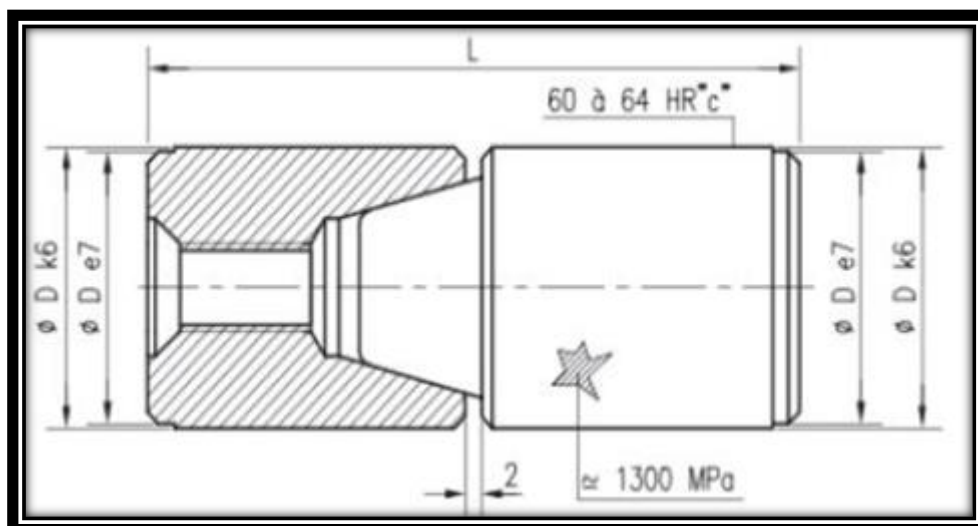


Figure IV. 12: Centrage par le plan de joint incliné du moule.



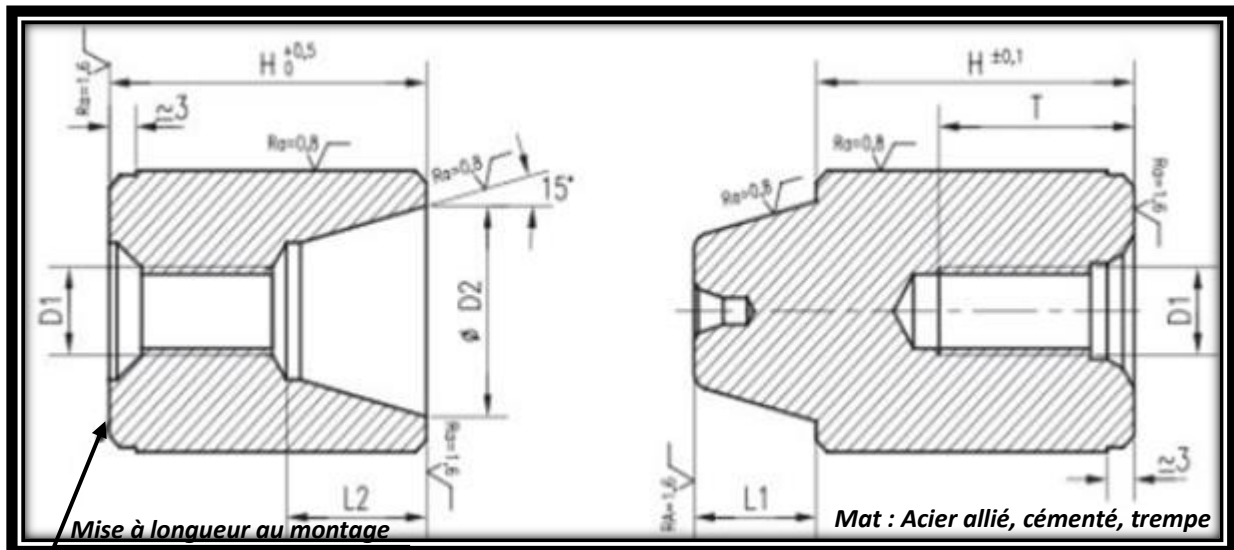


Figure IV. 13 : Centrage par éléments coniques.

Le moule étant composé de plusieurs parties séparées par le plan de joint, à la fermeture du moule celui-ci doit être guidé et recentré pour que les parties moulantes de la pièce soit en correspondance entre les différentes parties du moule. Cette fonction assure le guidage et le positionnement de la partie mobile de l'outillage par rapport à la partie fixe.

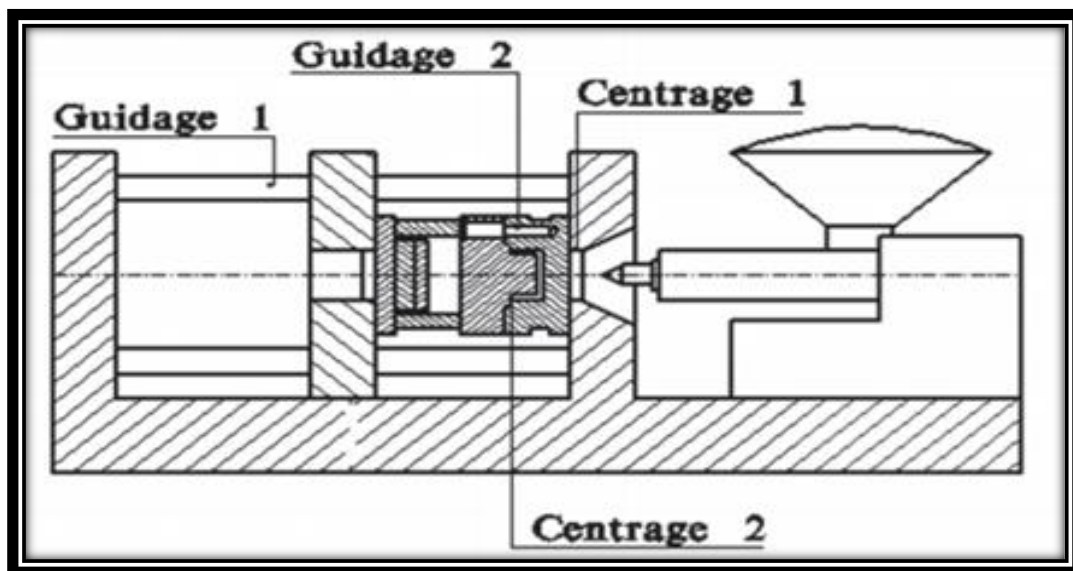


Figure IV.14 : Les centrages et les guidages à assurer sur une presse/moule.

Bilan des centrages et des guidages :

- Guidage 1 : Mouvement linéaire du plateau mobile sur les colonnes presse
- Guidage 2 : Mouvement de la Partie Mobile (PM) avec la Partie Fixe (PF) de l'outillage

- Centrage 1 : Mise à l'axe de l'Axe Outillage sur l'Axe Presse
- Centrage 2 : Mise à l'axe de l'Axe de la Partie Mobile (PM) avec l'Axe de la Partie Fixe (PF) de l'outillage

**b) Le guidage des parties fixe et mobile du moule**

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

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

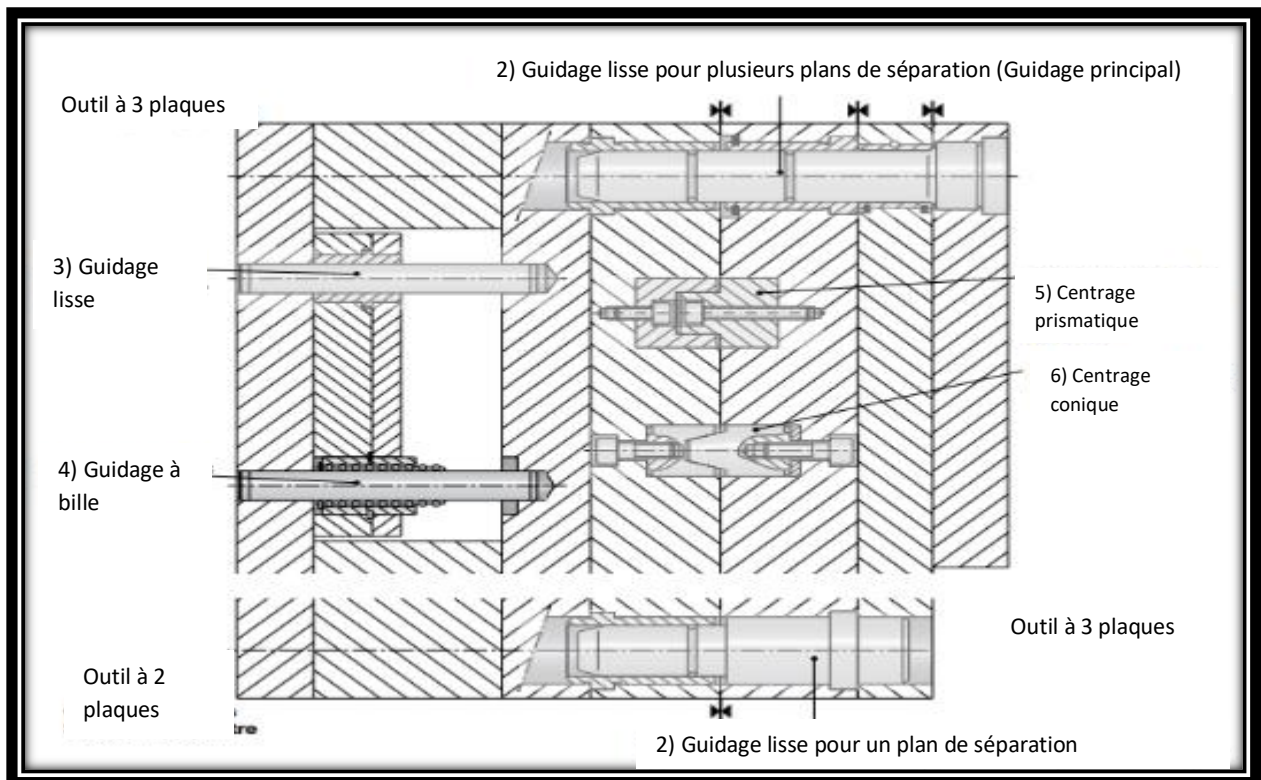


Figure IV. 15 : Montage des éléments de guidage sur moule.

❖ **Les types de seuil d'injection**

•**Définition:** Le seuil d'injection est le point où la matière pénètre dans l'empreinte du moule.

•Seuil en masse ou direct

Utilisé pour les matières visqueuses.

**Avantages:** Très bon remplissage, Bonne stabilité dimensionnelle de la pièce.

**Inconvénients:** Opération de reprise pour enlever la carotte

Trace non esthétique sur la pièce

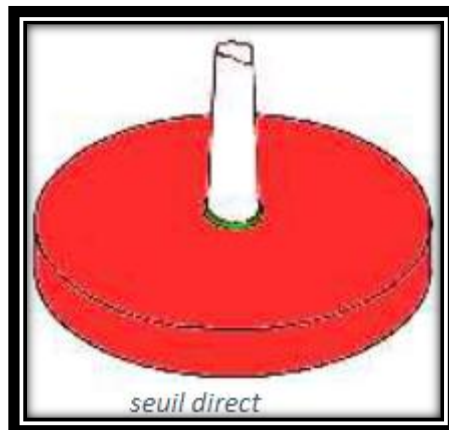


Figure IV. 16: Seuil directe.

•Seuil annulaire Utilise pour la réalisation de pièce cylindrique ayant des noyaux

**Avantages:** Remplissage uniforme de l'empreinte

**Inconvénients:** Opération de reprise pour enlever la carotte

Déchets importants

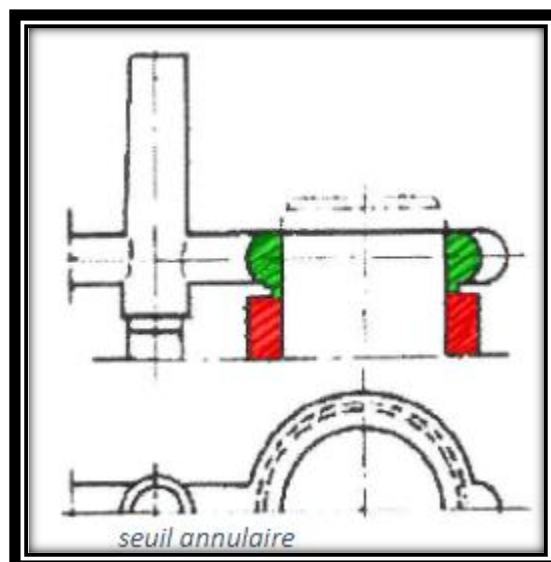


Figure IV. 17: Seuil annulaire.

•Seuil conique ou en éventail

Utilise pour les pièces de révolution symétrique avec noyau.

**Avantage:** Permet un écoulement équilibré de la matière autour du noyau.

Peut permettre un dégreppage automatique

**Inconvénient:** Déchets Opération de reprise.

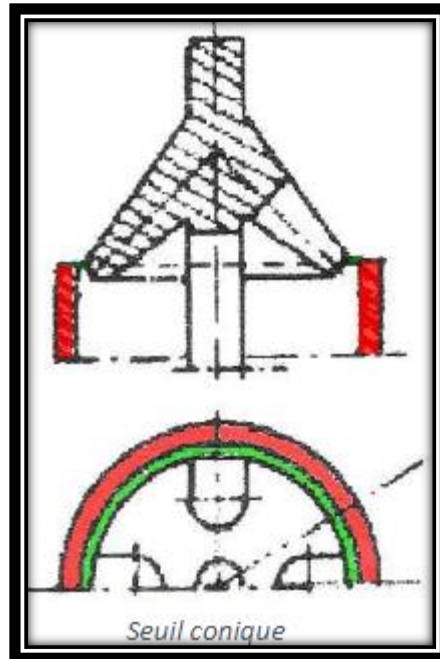


Figure IV. 18: Seuil conique.

•Seuil capillaire

Utilise avec un moule canaux chauds (sans carotte) ou un moule 3 plaques

A : Démoulage automatique et faible trace sur la pièce

I : Uniquement pour les matières fluide, Cout du moule élevé

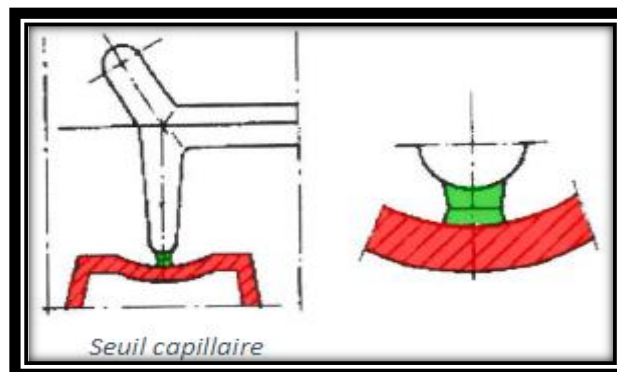


Figure IV. 19: Seuil capillaire.

•**Seuil en nappe**

Utilise pour des pièces plates de grande dimension devant présenter un faible voilage.

A : Bonne qualité dimensionnelle.

I : Opération de reprise, Esthétisme.

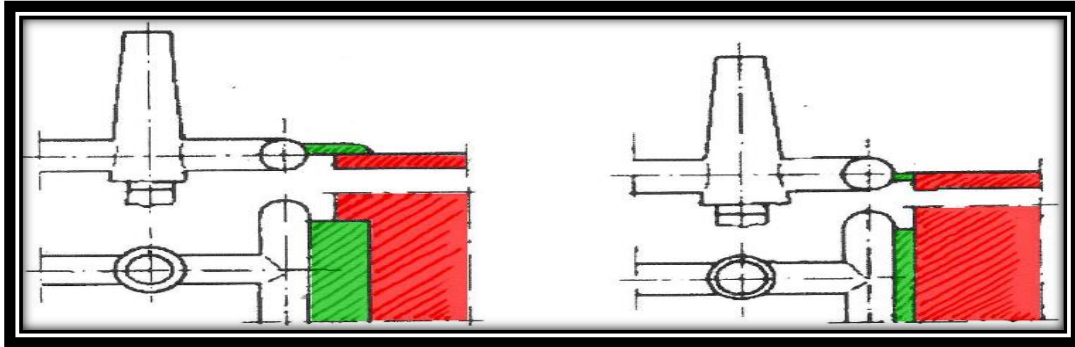


Figure IV. 20: Seuil en nappe.

•**Seuil sous-marin**

Utilise pour les petites pièces et dans un but de dégrappage automatique.

A : Dégrappage automatique.

I : Uniquement pour les pièces simples car grosse perte de pression.

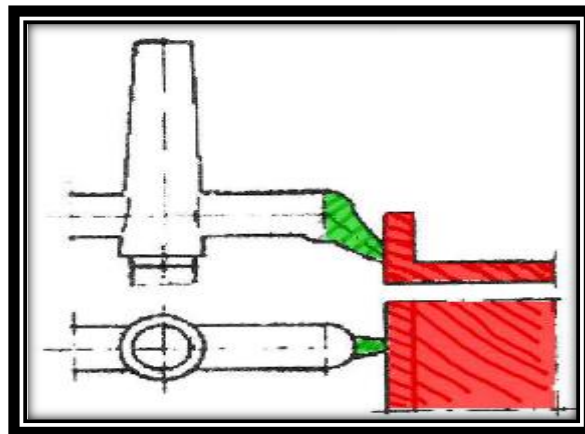


Figure IV. 21: Seuil sous-marin.

•**Seuil à tunnel courbe**

Utilise pour les pièces minces d'aspect.

A : Dégrappage automatique.

I : Usinage coûteux.



Ne convient pas à toutes les matières.

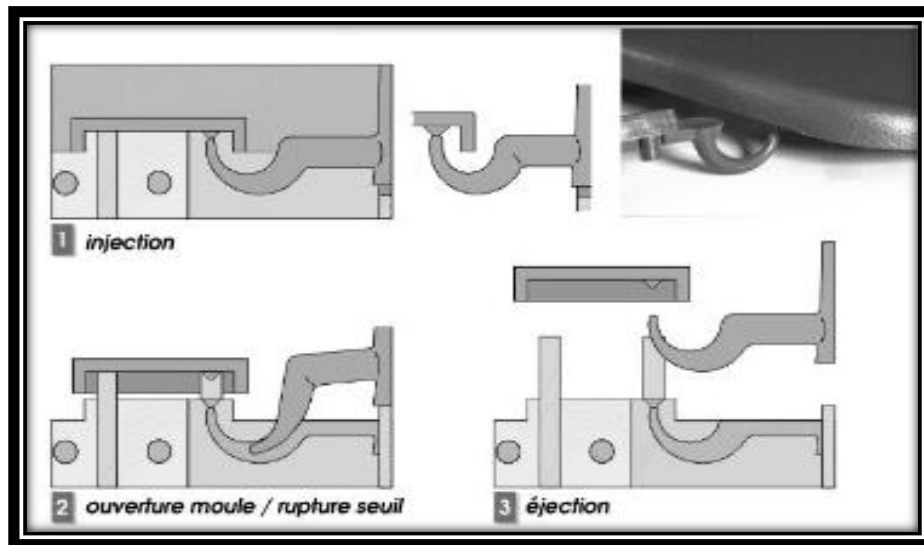


Figure IV. 22: Seuil à tunnel courbe.

Résumé :

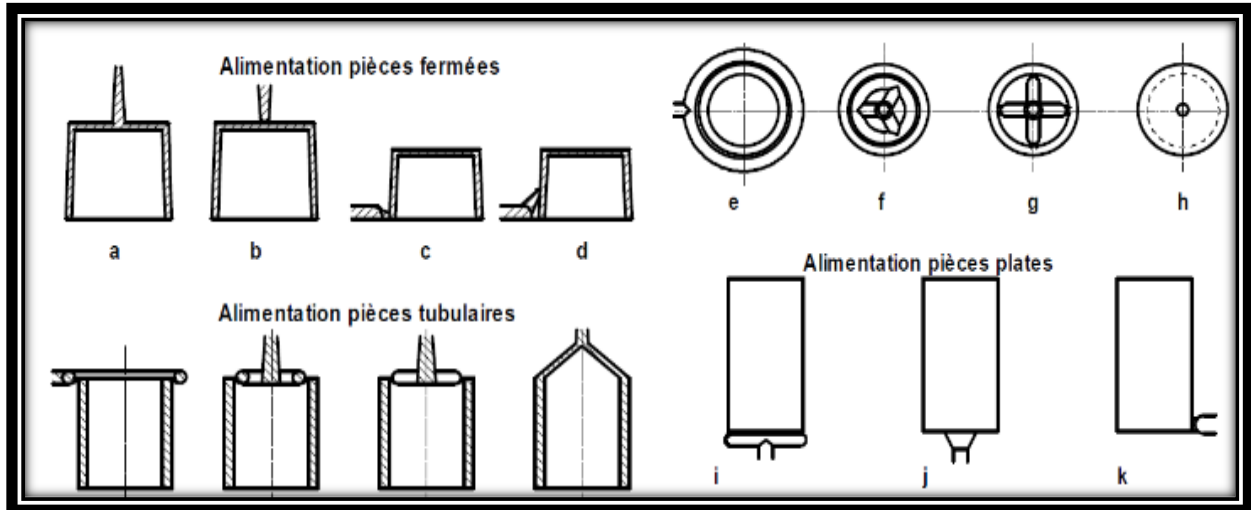


Figure IV. 23: Différentes alimentation.

✓ **Disposition des empreintes dans un moule d'injection**

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

- Grouper les empreintes dans un cercle ayant pour centre la carotte.
- Le remplissage des empreintes doit être simultané et à températures identiques.

- Les canaux d'alimentation seront toujours les plus courts possibles.
- Prévoir suffisamment de place entre les empreintes pour la régulation ainsi que l'éjection.
- L'épaisseur des parois entre les différentes empreintes doit être suffisante pour éviter les déformations dues à la pression dans l'empreinte.

Un système d'alimentation équilibré permet d'éviter :

- Des contraintes internes excessives
- Un retrait irrégulier
- Des écarts de tolérance importants
- Un démoulage difficile
- Une déformation du produit

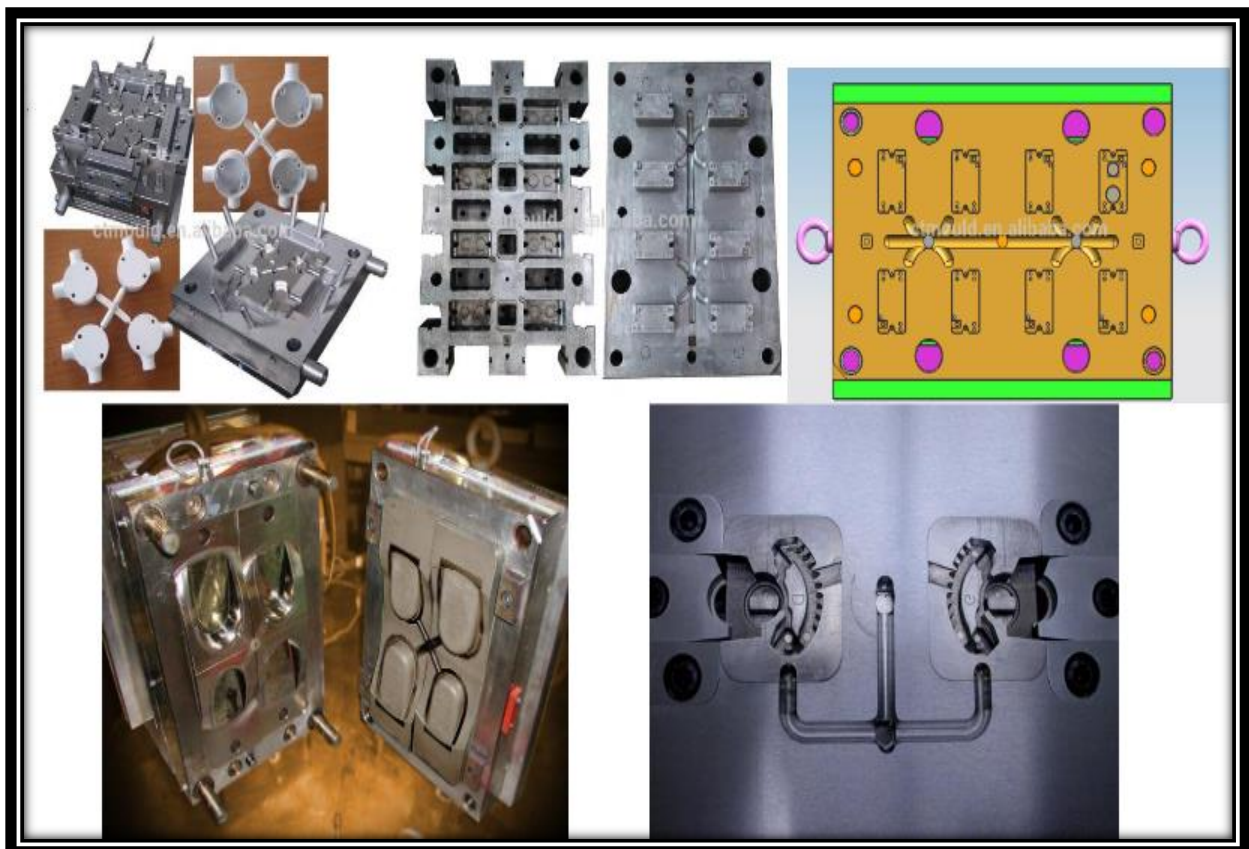


Figure IV. 24: Différentes types des empreintes.

- **Forme et dimensions**

Le refroidissement dans les canaux est directement proportionnel à au périmètre de la section du canal.

Afin de remplir dans les meilleures conditions le moule, il est nécessaire que la matière plastique se refroidisse le moins possible avant d'atteindre l'empreinte.

-La section circulaire est donc la géométrie optimale à privilégier.

-Difficile à usiner, on lui préférera parfois les sections parabolique et trapézoïdale.

-Les sections semi circulaire et carré sont à proscrire

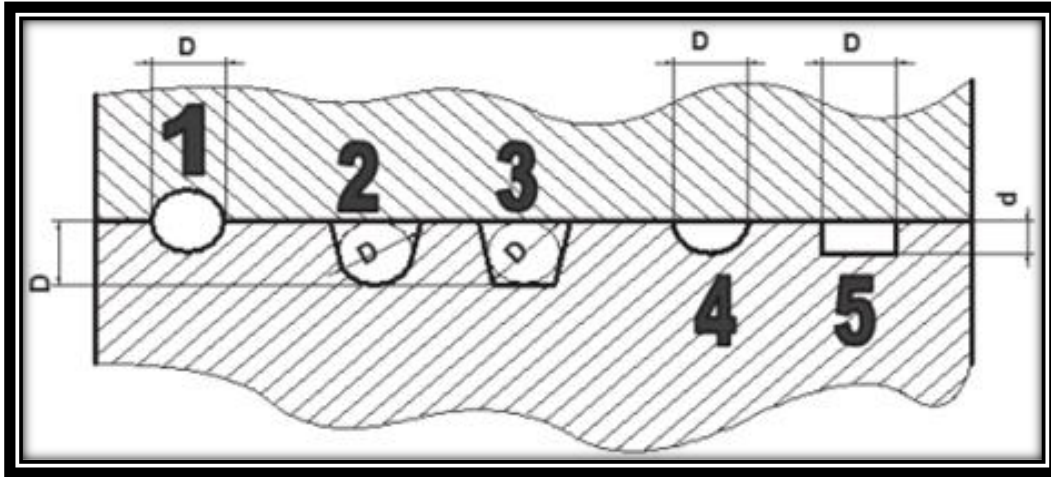


Figure IV. 25: différents types de canaux d'alimentation et leurs usinages associés.

		Avantages	Inconvénients
1	<b>Canal cylindrique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C'est le canal le plus performant,</li> <li>• Il offre une section d'écoulement maximale pour un périmètre minimal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usinage sur 2 plaques du moule. Cependant avec les machines à commande numérique cet inconvénient disparaît.</li> <li>• Utilisation difficile avec les moules 3 plaques.</li> <li>• Impossibilité dans le cas de canaux sous chariot</li> </ul>
2	<b>Canal cylindrique plus dépouille pour déporter le plan de joint</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usinage sur une seule plaque</li> <li>• Utilisation avec les moules 3 plaques</li> <li>• Idéal pour le choix de canaux sous chariot</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Difficulté pour la réalisation de l'outil spécial : affutage délicat.</li> <li>• Obligation d'utilisation d'outil non-standard</li> <li>• Perte de matière par rapport au canal rond.</li> </ul>
3	<b>Canal trapézoïdal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usinage sur une seule plaque</li> <li>• Utilisation avec les moules 3 plaques.</li> <li>• Outil spécial plus facile à</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perte de matière par rapport au canal rond</li> <li>• Obligation d'utilisation d'outil non-standard.</li> </ul>

		affuter	
4	Canal ½ cylindrique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simplicité d'usinage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mauvais écoulement</li> </ul>
5	Canal rectangulaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilité d'exécution</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mauvais démoulage</li> <li>• Mauvais écoulement</li> </ul>

**Tableau IV. 1 : Critères de choix des différents types de canaux.**

#### IV.4.7. Fonction régulation et contrôle de température

Dans les procédés d'injection de pièces en thermoplastique, la qualité des pièces mises en forme ainsi que le temps de cycle du procédé sont fortement conditionnés par la phase de solidification du polymère dans la cavité moulante. L'analyse des transferts de chaleur pendant cette phase, conduit à investiguer le positionnement optimal des sources froides ainsi que leurs intensités. Notre approche est basée sur un positionnement du type « conformal cooling » des canaux de refroidissement, puis sur une méthode de contrôle optimal pour déterminer les flux de chaleur à évacuer en régime périodique établi.

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

La régulation de la température de l'outillage se fait à travers un liquide caloporteur qui peut être:

- L'eau pour des températures faibles (eau à 15 °C)
- L'huile pour des températures allant à 130 °C

Ce liquide est envoyé à travers des canaux percés dans la carcasse de l'outillage et les empreintes en utilisant un thermorégulateur.

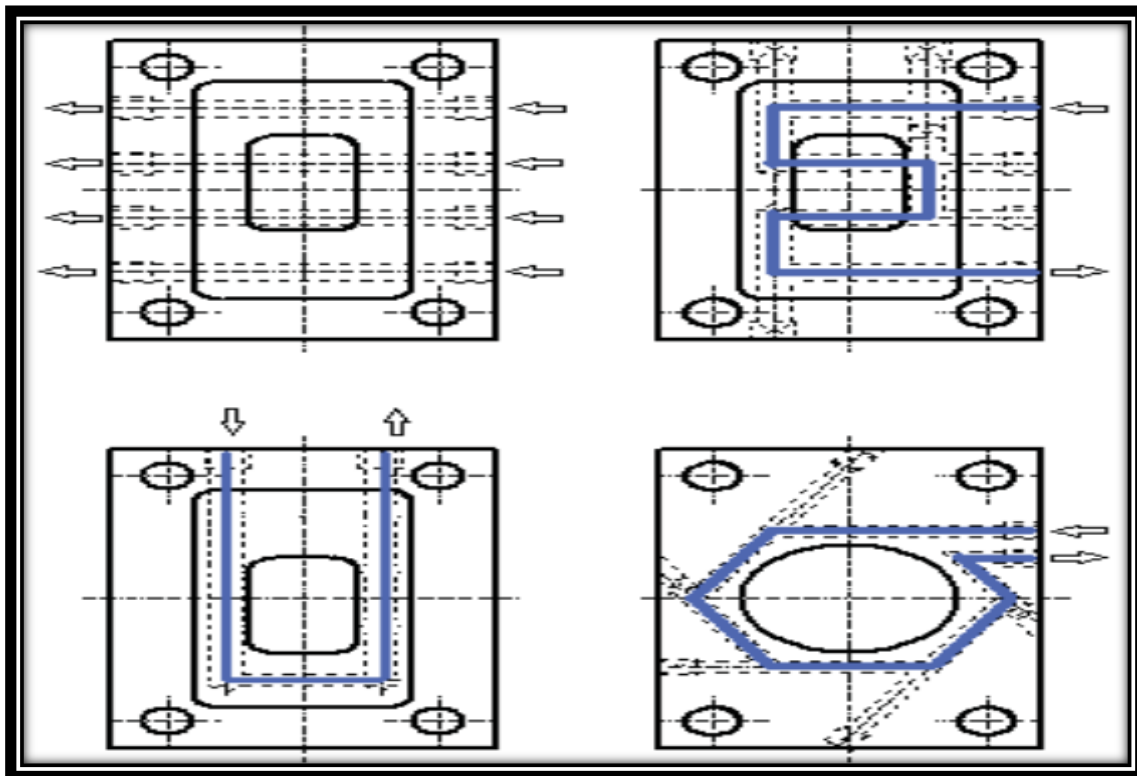


Figure IV.26: Circuit de refroidissement des plaques de moules.

✓ **Calcul du temps de refroidissement**

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

**1° cas:** on injecte la pièce que si la température au centre de la pièce atteindra la température de démoulage, dans ce cas le temps de refroidissement est obtenu par la formule suivante :

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

**2° cas:** on injecte la pièce que si la température moyenne de la pièce atteindra la température de démoulage, dans ce cas le temps de refroidissement est obtenu par la formule suivante:

$$t_{ref} = \frac{s^2}{a\pi^2} \ln \left\{ \frac{8}{\pi^2} \frac{\theta_i - \theta_M}{\theta_{dém} - \theta_M} \right\}$$

Avec :

S : épaisseur de la pièce (mm),

a : diffusivité thermique de la matière injectée (mm<sup>2</sup>/s)

$\theta_i$  : température d'injection (°C);

$\theta_M$  : température du moule (°C);

$\theta_{dém}$ : température de démoulage (°C) ;

$T_{ref}$  : temps de refroidissement en (s)

#### ✓ Notion de diffusivité thermique

La diffusivité thermique est une grandeur physique qui caractérise la capacité d'un matériau continu à transmettre un signal de température d'un point à un autre de ce matériau. Elle dépend de la capacité du matériau à conduire la chaleur (sa conductivité thermique) et de sa capacité à stocker la chaleur (Capacité thermique). La diffusivité thermique est souvent désignée par les lettres a, D ou la lettre grecque  $\alpha$ . (en m<sup>2</sup>/s) :

$$D = \frac{\lambda}{\rho c}$$

$\lambda$  : est la conductivité thermique du matériau, en [W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>]

$\rho$  : est la masse volumique du matériau, en [kg·m<sup>-3</sup>]

C : est la capacité thermique massique du matériau, en [J·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>]

La diffusivité thermique est une grandeur intensive. Elle détermine l'inertie thermique d'un solide.

#### • Evolution avec la température

La conductivité thermique évolue avec la température pour les solides, elle répond à la loi suivante :

$$\lambda = \lambda_0(1 + a\theta)$$

Où :

$\lambda_0$ : est la conductivité thermique du matériau à 0°C.

$a$  : est un coefficient caractéristique de chaque matériau.

$\theta$  : est la température en degré Celsius.

$a$  : est positif pour les isolants thermique et négatif pour les conducteurs thermiques.

Quand la température augmente, un isolant perd de sa capacité d'isolation et inversement un conducteur perd de sa capacité de conduction.

#### ✓ Fonction éjection

La plupart des pièces réalisées par injection plastique resteraient dans le moule après son ouverture et ne seraient pas évacuées sous l'effet de la gravité seule si aucun système d'éjection n'existait.

Plusieurs systèmes ont donc été conçus afin d'aider l'extraction de la pièce à l'ouverture du moule :

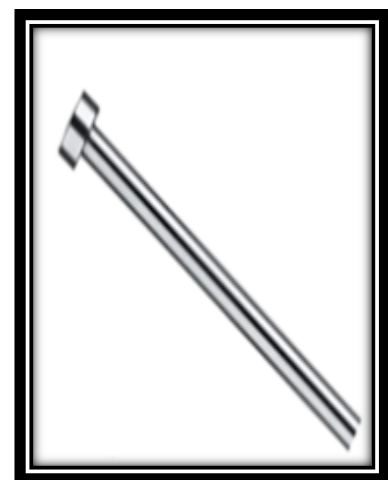
- Les éjecteurs sont des barres métalliques cylindriques pleines (parfois creuses) qui, lors de l'ouverture du moule, viennent pousser la pièce plastique pour l'extraire du moule. Il s'agit de la technique d'éjection la plus utilisée car elle peut s'appliquer à quasiment toutes les pièces plastiques. Les traces des éjecteurs sont souvent visibles sur la pièce et sont considérées comme "inesthétiques". Les concepteurs de pièces injectées s'arrangent alors pour que ces traces d'éjecteurs se situent sur la partie cachée de la pièce plastique lors de son utilisation.



*Ejecteur lame*



*Ejecteur tubulaire*



*Ejecteur cylindrique*

**Figure IV.27 : Différent types des éjecteurs.**

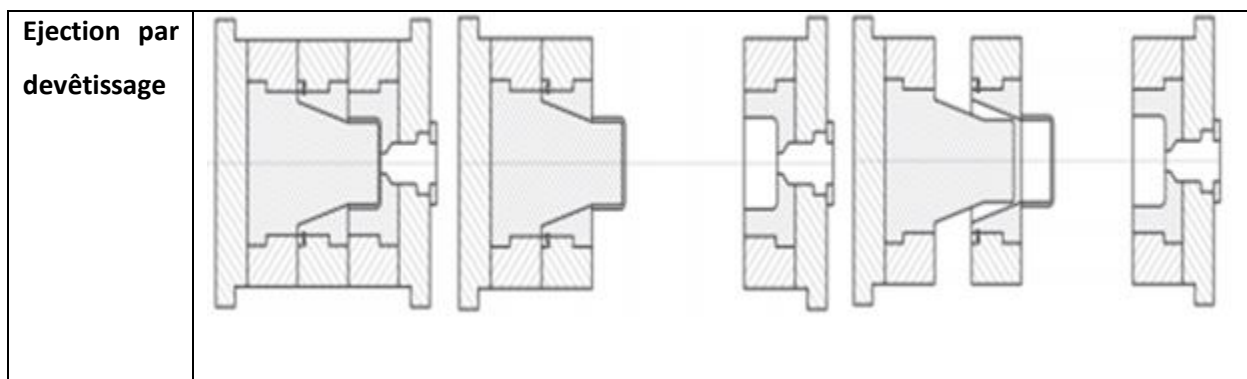
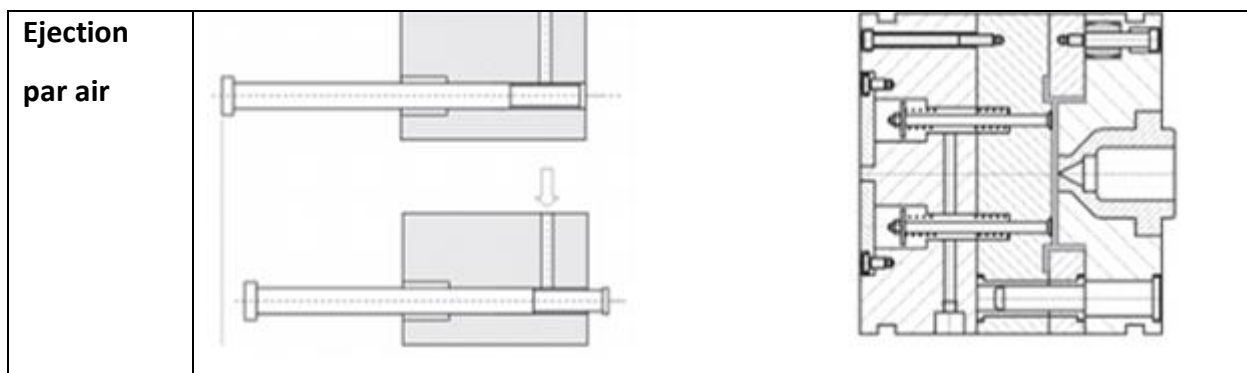
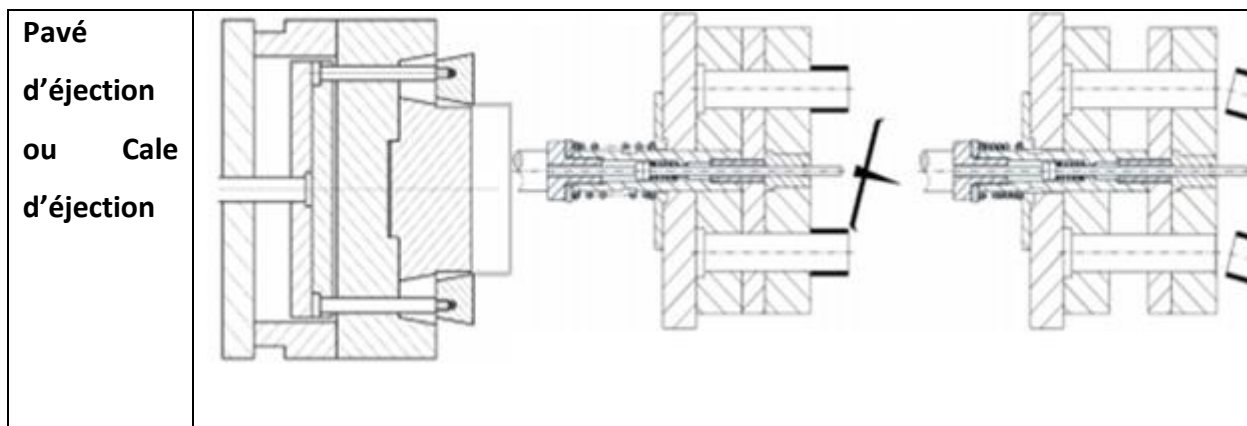
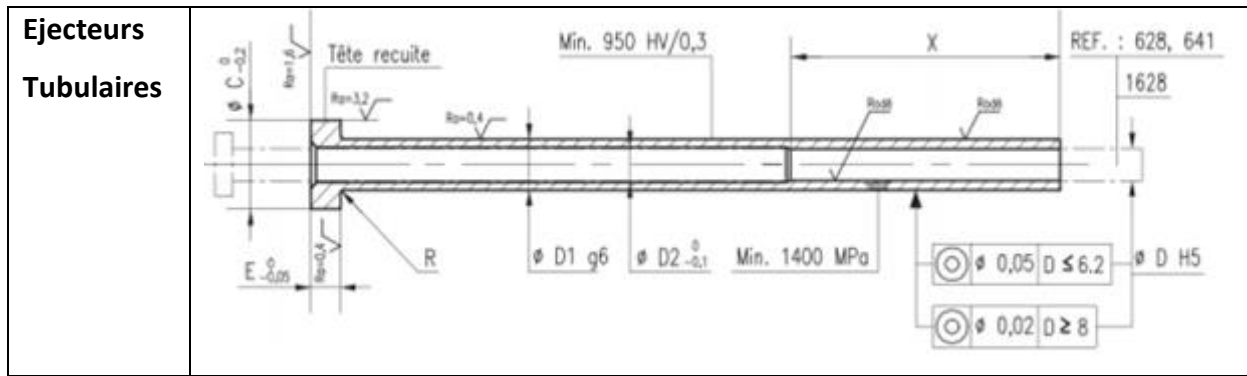
IV.4.8. Fonction éjection

Pour démouler les pièces plastiques, il faut souvent faire des mouvements plus ou moins complexes puis l'éjecter pour sortir la pièce de l'outillage.

Il existe plusieurs formes standards de solution d'éjection :

Ejecteurs	Schéma associé
Ejecteurs cylindriques	
Ejecteurs Epaulés	
Ejecteurs à Lames	





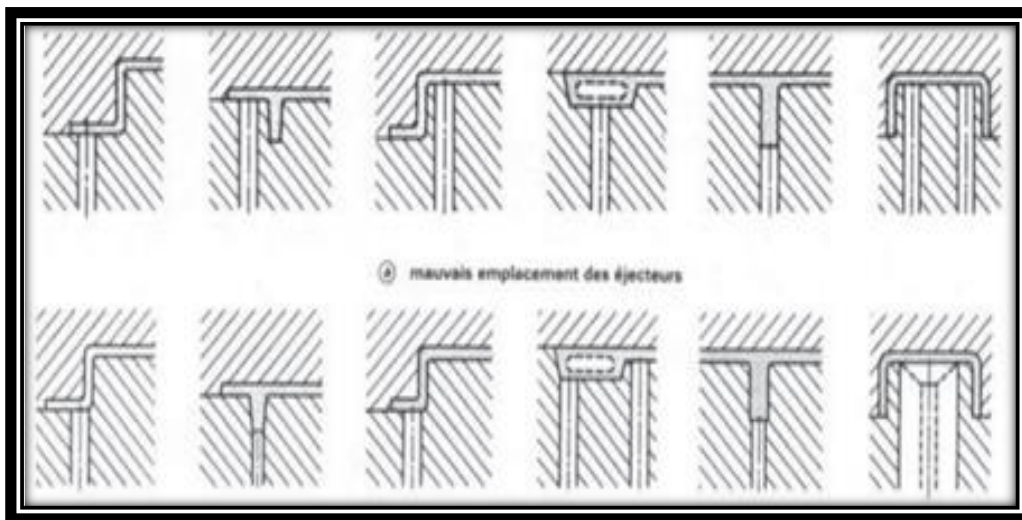
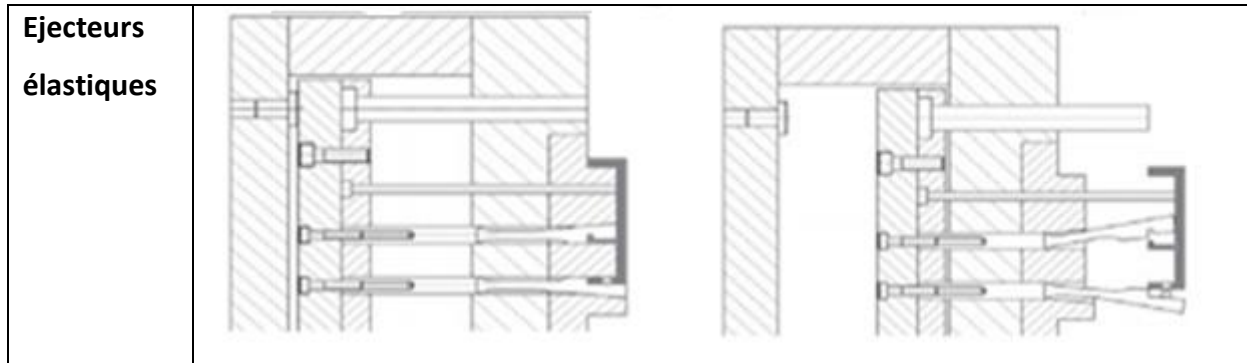


Figure IV. 28: Quelques règles à respecter lors du choix des éjecteurs et leurs positions.

**IV.4.9. Fonctions manutention, stockage, sécurité et liaison machine**

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

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

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

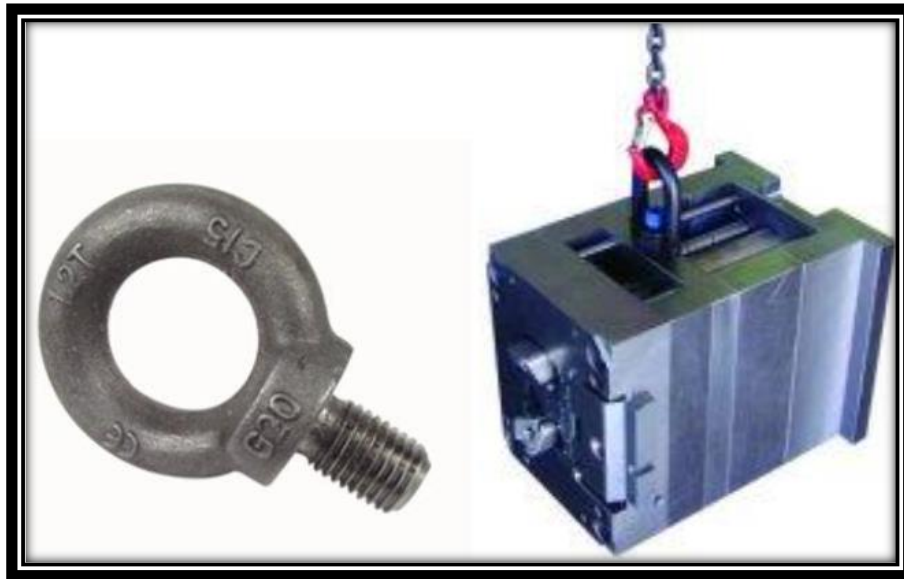


Figure IV. 29: Fonctions manutention, stockage, sécurité et liaison machine.

#### IV.5. Dimensionnement

##### IV.5.1. Introduction

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

##### IV.5.2. Les efforts sur une presse

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

La force en Newton N ou en KN	La pression en Pascal Pa ou en MPa
Force N : 1KN= 1000N, 10KN=1Tonne, 1daN=10N	Pression : Pa, 1Pa= 1N/m <sup>2</sup> , 1MPa= 1Nmm <sup>2</sup>
Section (m <sup>2</sup> ), m <sup>2</sup> 10 <sup>^-6</sup> mm <sup>2</sup>	1 MPa= 10bar, 1bar=1 DaN/cm <sup>2</sup>
La section en mètre carré m <sup>2</sup> ou en mm <sup>2</sup>	

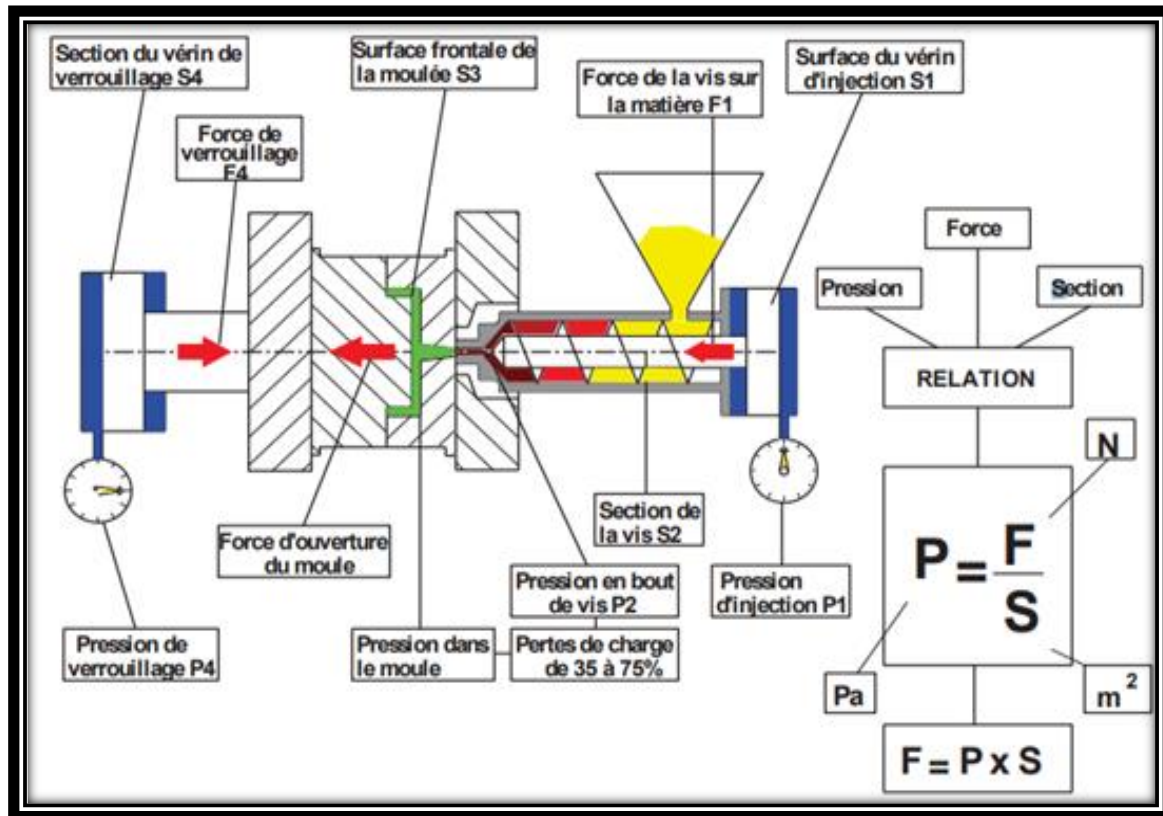


Figure IV. 30: Schéma des surfaces, pressions et forces sur une presse.

**Exemple de calcul**

Les Dimensions de la Boite : 100mm x 100mm x 50mm

·Epaisseur : 1.2mm

·Matière : PP

·Pression maintien donnée : 300 bars

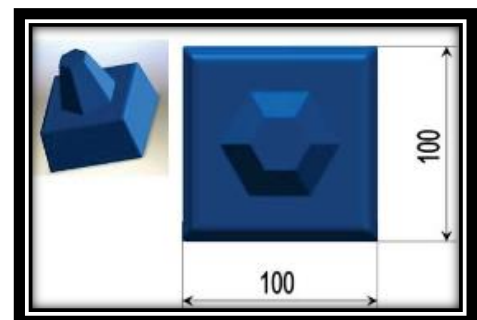
·Soit pour 1 empreinte

$P = F / S$  ou  $F = P \times S$

$F \text{ (daN)} = P \text{ (Bar ou Kg/cm}^2\text{)} \times S \text{ (cm}^2\text{)} \times \text{(Coef sécurité 20\%*)}$

$F \text{ (daN)} = 300 \times 10 \times 10 \times 1.2, F \text{ (daN)} = 36000 \text{ daN}$

Soit 36T nécessaire théoriquement, le choix se portera sur une 50T



**IV.6. Bien maîtriser le phénomène de Retrait**

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

Le retrait exerce une influence directe sur les dimensions d'une pièce moulée par injection.

Un retrait différentiel provoque des déformations (gauchissement ou voilage).

Le blocage du retrait (maintien prolongé de la pièce dans le moule ou utilisation de conformateur) engendre des tensions internes qui d'une part altèrent la résistance globale de la pièce et d'autre part se libéreront dans le temps entraînant des déformations.

Le retrait commence à se produire pendant la transformation, lorsque la matière passe de l'état plastique à l'état solide (refroidissement) et que la masse fondue amorphe se transforme en une matière partiellement cristalline en se contractant. Ainsi, une pièce moulée par injection est plus petite que la cote du moule froid correspondant. Le retrait de moulage des matières partiellement cristallines est plus important que pour les matières amorphes. On appelle retrait de moulage  $R_m$  la différence entre la cote du moule froid  $M_f$  et la cote  $L$  de la pièce moulée refroidie (24h après sa fabrication, DIN 16 901).

Le retrait de moulage est indiqué en %.

$$R_m = \frac{M_f - L}{M_f} 100$$

La diminution de volume de la pièce moulée n'est pas encore terminée. Le retrait se poursuit dans le temps et tend vers une valeur "définitive" d'autant plus vite atteinte que la température de stockage est élevée. Ce phénomène, essentiellement dû à une post-cristallisation est appelé Post- retrait  $P_r$ . Selon la norme DIN 53464, on entend par post-retrait la différence calculée entre la cote  $L$  de la pièce moulée et la cote  $L_1$  de cette même pièce après un traitement ultérieur à une température donnée.

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

Le post-retrait des matières plastiques partiellement cristallines est toujours inférieur au retrait de moulage. La somme du retrait de moulage et du post-retrait est appelé retrait total  $R_t$  :

$$R_t = R_m + P_r$$

<b>Matière</b>	<b>Retrait %</b>
PA 6	1.5
PA 11	1 à 2.5
POM	1.6 à 3.6
PEhd	2.1 à 4.5
PEbd	2
PP	1 à 2.5

<b>Matière</b>	<b>Retrait %</b>
PMMA	0.3 à 0.6
PS	0.5 à 0.6
PS choc	0.4 à 0.8
ABS	0.3 à 0.6
PVC	0.4 à 0.5
PC	0.5 à 0.7

**Tableau IV. 2 : Retrait de quelques matières polymère.**

### IV.7. Calcul du temps de cycle de moulage par injection

Le cycle complet de fabrication qui démarre toujours avec le moule ouvert, se déroule de la façon suivante :

1. Fermeture du moule rapide en début de course, puis lente à la fin, puis verrouillage du moule pendant laquelle une force importante en fonction des critères techniques (matière à injecter, forme des pièces,...) est appliquée pour maintenir les 2 surfaces des parties fixes et mobiles en contact.
2. Injection de la matière, de l'entrée du moule vers les empreintes destinées à modeler la pièce. Cette matière est diffusée de manière homogène dans les empreintes pour bien les remplir.
3. Maintient en position de la vis d'injection pour empêcher le retour de la matière visqueuse vers la chambre de dosage jusqu'à la solidification des canaux.
4. Refroidissement rapide des empreintes pour solidifier la matière.
5. Ouverture lente du moule en début de course puis rapide en fin.
6. Ejection de la pièce solidifiée.

Le cycle de moulage peut durer de quelques secondes à plusieurs minutes. L'injection est contrôlée en vitesse et en position. La pression et le temps doivent être bien réglés. Après la phase de compactage on passe à la pression de maintien quand le moule est presque totalement rempli, il y a un temps précis à respecter avec pression plus haute que durant l'injection. Ensuite le temps de refroidissement doit être précis pour permettre l'ouverture sans déformation de la pièce.

#### ***Paramètres et réglages***

Les temporisations principales à régler sont:

- le dosage
- l'injection
- l'ouverture
- la fermeture
- l'éjection
- la post pression

**Autres paramètres:**

- Température du fourreau
- Température de la matière
- Température du moule injection
- Pressions durant l'injection
- Pressions durant le maintien
- La contrepression
- La vitesse de rotation de la vis
- La course de dosage
- Courses d'ouvertures et d'éjections etc...

Le temps du cycle est calculé à partir du temps du cycle à Vide additionné avec le temps d'injection et le temps de refroidissement; d'après le graphe on constate que le temps de maintien et ce de la plastification sont des temps morts.

$$T_{CV} + T_{fr} + T_{ov} + T_{ej}: \text{ Temps de cycle à vide}$$

$$T_{cyc} = T_{inj} + T_{ref}$$

Le temps d'injection est calculé à partir des caractéristiques de la presse tel que la vitesse d'injection, le volume injectable, le débit d'injection....

**IV.8. Problèmes de moulage et Précautions à prendre****A. Retassures**

Les retassures sont dans leur grosse majorité des défauts de surface caractérisés par un affaissement de la matière, parmi elles:

- Les retassures localisées: au voisinage de zones avec fortes variations d'épaisseurs (nervures);
- Les retassures en osselets: le retrait de matière s'effectue sur une grande surface, de façon à se détacher de la paroi par pellicules (sauf sur les bords).

**Mécanismes de formation:** Après le remplissage de l'empreinte, la matière chaude se rétracte (le retrait dépend de la matrice polymère utilisée, et des charges présentes: PA6

GF30 retrait de 0,1% en sortie de moule). La pression de maintien appliquée pour compenser ce retrait ne joue pas son rôle.

***Causes possibles:***

- La pression de maintien est insuffisante, ce qui rend possible un retrait de la matière;
- La vitesse d'injection est trop rapide, ce qui rend difficile le remplissage et rend inefficace le maintien;
- La matière est déjà solidifiée au niveau du seuil ce qui entraîne des difficultés pour le maintien;
- Les paramètres choisis accentuent le retrait.

**Actions correctives:**

- Renforcer la pression de maintien;
- Baisser la vitesse d'injection et augmenter la température de la matière pour faciliter le remplissage;
- Améliorer la conception du moule (éviter les variations d'épaisseurs des pièces, placement du seuil d'injection);
- Augmenter la température du moule et diminuer la température de la matière (homogène).

✓ ***Jet libre***

***Mécanismes de formation***

La matière sort du seuil d'injection à la façon d'un jet d'eau à la sortie d'un tuyau d'arrosage. Le remplissage de l'empreinte se fait toujours en mode laminaire (écoulement de type fontaine avec projection du front de matière) mais la différence de pression entre l'entrée et la sortie du seuil fait que l'inertie prend le dessus sur la viscosité du polymère. Le front de matière est projeté jusqu'à un obstacle dans l'empreinte. L'effet sur la pièce s'avvoisine à un serpentin en surface.

***Causes possibles:***

- Mauvaise conception du moule: seuil d'injection mal positionné (positionné dans une forte épaisseur ou mal dimensionné);
- Matière trop visqueuse;
- Pression au niveau de seuil trop importante.



**Actions correctives:**

- Améliorer la conception du moule (augmenter la section du seuil);
- Augmenter la température de la matière;
- Injection lente au début, puis plus rapide;
- Injecter face à une paroi du moule pour casser le jet libre.

✓ **Défauts en ligne de soudure***Description:*

- Ligne de soudure marquée;
- Mauvaise résistance mécanique des lignes de soudure;
- Stries de couleur;
- Forte retassure le long de la ligne de soudure.

**Mécanismes de formation:**

- Apparaît en fin de remplissage, la surpression dépasse la pression de maintien;
- La jonction est facilement cassable;
- Dégradation de la coloration due à la température.

*Causes possibles:*

- Mauvaise pression d'injection;
- Température trop basse de la matière injectée;
- Dégradation de la matière due à une surchauffe.

**Actions correctives:**

- Augmenter la température de la matière;
- Augmenter la vitesse d'injection;
- Augmenter la température du moule;
- Diminuer les trajets d'écoulement de la matière.

✓ **Cernes et sillons***Description:*

- Les cernes, ou effet fleur sont des sillons concentriques mats autour du seuil d'injection;
- Les sillons, ou effets slick-slip sont concentriques et plus ou moins creusés autour du seuil d'injection, ou dans les zones de faible épaisseur.

Mécanisme de formation:

Le flux de matière pulse dans le moule, car il avance trop lentement. Le défaut est en général plus courant dans les matières amorphes, plus visqueuses à chaud. Attention, chaque matière plastique se comporte différemment (semi-cristalline: polyamide, polyéthylène, polypropylène; amorphe: polycarbonate, polystyrène, polyméthacrylate de méthyle (PMMA), poly (téréphtalate d'éthylène) (PET) pour bouteilles en plastique). Les polycarbonates, poly (téréphtalate de butylène), polyamide, polypropylène sont utilisés dans la fabrication des réflecteurs (phares automobiles).

***Causes possibles:***

- Mauvaise introduction de la matière injectée;
- Mauvaise température matière;
- Mauvaise conception du moule.

***Actions correctives:***

- Augmenter les vitesses d'injection;
- Adapter les flux de matière (remplissage régulier);
- Augmenter la température de la matière;
- Augmenter la température de l'outillage;
- Augmenter l'épaisseur des pièces.

✓ ***Défauts à l'éjection***

- Déformations.
- Les éjecteurs transpercent la pièce au moment de l'éjection.

***Causes possibles:***

- Température matière trop importante au moment de l'éjection;
- Pression interne trop élevée;
- Mauvaise taille/disposition des éjecteurs.

***Actions correctives:***

- Augmenter le temps de refroidissement;
- Adapter le profil des vitesses d'injection;
- Adapter la vitesse des éjecteurs;
- Baisser la température du moule;

- Vérifier que les éjecteurs soient correctement montés

✓ *La pièce reste coincée dans le moule*

**Dégradation mécanique de la pièce**

Dégradations irréversibles:

- Cassures;
- Rainures;
- Fissures.

**Causes possibles / correction:**

- Pression interne trop élevée;
- La pièce reste coincée sur ses parois externes: l'éjection est trop précoce;
- La pièce reste coincée sur ses parois internes: l'éjection est trop tardive;
- Manque de dépouille sur la pièce moulée.

**IV.9. Matériaux des moules**

Le tableau qui suit récapitule les matériaux utilisés pour la construction du moule :

<i>Matériaux</i>	<i>Observation</i>	<i>Emploi</i>
<b>C45</b> Acier non allié	Acier mi-dur	Plaque éjectrice, contre plaque éjectrice.
<b>C35</b> Acier non allié	Acier mi-dur	Les vis Chc
<b>105WCr6</b> Acier faiblement allié	Acier extra dur, résistance à l'usure par frottement Dureté élevée	Buse, bague de guidage
<b>S235</b> Acier a usage général	Acier ordinaire	Tasseaux, bagues de centrage, semelles
<b>36Ni Cr Mo16</b> Acier faiblement allié	Bonne résilience, résistance à la corrosion, résistance mécanique à chaud	Ejecteurs, empreintes mobiles et fixe, goubille
<b>CC493K (CuSn7Zn4Pb7)</b> Cuivre moulé	inoxydable	Tétines
<b>X200 Cr12</b>	Résistance à la corrosion, inoxydable	Colonne de guidage
<b>42Cr Mo 4</b>	Acier doux	Porte empreinte

**Tableau IV.3: Nature des matériaux des moules.**

## Chapitre V : Les principales applications de l'injection plastique

### V.1. Introduction

Le **moulage par injection** permet de fabriquer des pièces de formes et de dimensions variées. C'est pour cette raison qu'il est utilisé dans de nombreux domaines : automobile, biomédicale, électronique, électrique, agroalimentaire, cosmétique, etc. En effet, les dispositifs d'éclairage, les boîtiers et les coffrets sur mesure ou encore les contenants en plastique sont obtenus à partir de l'injection thermoplastique.

Grâce à notre professionnalisme et à la qualité de nos prestations, de nombreux industriels des différents secteurs d'activité font une grande confiance pour la conception et la production de leurs pièces en plastique. D'ailleurs, pour assurer votre entière satisfaction, nous vous conseillons dans le choix des paramètres de conception : épaisseur de la paroi selon le matériau utilisé, type de finitions adapté à vos pièces, etc.

Le procédé d'injection plastique est utilisé dans de **nombreux secteurs** pour la conception de pièce en plastique :

#### V.1.1. L'automobile (boîtiers d'airbag, ceintures de sécurité)



#### V.1.2. L'emballage fonctionnel dans le domaine des boissons, de l'hygiène personnelle ou des soins à domicile.



**V.1.3. Les équipements médicaux** (cuvettes d'analyse sanguine, les tests de grossesse)



**V.1.4. L'électricité & l'électronique** (les boîtiers pour outillages électroportatifs, les tuyaux d'aspirateur)



Mais l'industrie aéronautique ou encore l'industrie des jouets sont aussi d'importants consommateurs de pièces réalisées par injection plastique.



## V.2. Injection multi-matières

Avec les dernières avancées technologiques, **l'injection plastique évolue vers la bi, tri, quadri injection de matières différentes et compatibles**, dans le but de satisfaire de nouveaux marchés. En injectant ainsi jusqu'à 6 matières différentes, la pièce obtenue est susceptible de gagner en densité, texture, couleur, rigidité ou encore, niveaux de transparents.



Figure V.1 : La multi-injection de matières plastiques.

L'injection multi-matière consiste à injecter dans un même outillage et sur une même presse deux, trois, ou quatre matières thermoplastiques différentes et compatibles. Une même pièce pourra donc être constituée de plusieurs matières. Les combinaisons possibles sont très nombreuses et peuvent répondre à des problématiques diverses. Cette technologie permet de combiner sur une même pièce des caractéristiques mécaniques, esthétiques, économiques ou fonctionnelles différentes et complémentaires.

### V.3. Quelques exemples d'applications

Les applications de l'injection multi-matière sont nombreuses et concernent un vaste champ de secteurs d'activité comme l'industrie automobile, l'emballage, la cosmétique, ou encore l'électroménager. Ce sont là les domaines les plus friands de la technologie de la multi-injection.

- *Exemples d'application :*

- **Dans le secteur de l'automobile**, certaines pièces de connexion comme les connecteurs sont fabriqués à partir de la technologie multi-injection. Certains connecteur appelle trois typologies de matières : une matière plastique qui doit être résistante à l'eau, une deuxième qui doit avoir des hautes performances de conductivité thermique, et enfin une troisième moins onéreuse qui n'a pour fonction qu'une finalité de volume. L'injection tri-matière est ici la solution adéquate.

- **Dans le secteur de la cosmétologie**, par exemple sur la fabrication de bouchons doseurs : ce type de pièces nécessite d'abord des qualités visuelles, un rendu flatteur. L'intérieur du bouchon renferme des exigences mécaniques liées aux actions de vissage ou de frottement. Les matières plastiques utilisées pour la même pièce ayant des fonctions différentes impliqueront des matières premières différentes.

- **Dans le secteur mécanique**, pour des organes de transmissions tels que les pignons : Ce type de pièce nécessite une conception particulière. Avec une partie qui doit avoir des qualités de rigidité, une deuxième qui doit répondre à une exigence de fiabilité (précision), et enfin, une troisième partie de la pièce qui doit avoir des caractéristiques de résistance. La technologie d'injection multi-matière répond tout à fait à la problématique de fabrication de cette typologie de produit.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES

FACULTE DE TECHNOLOGIE

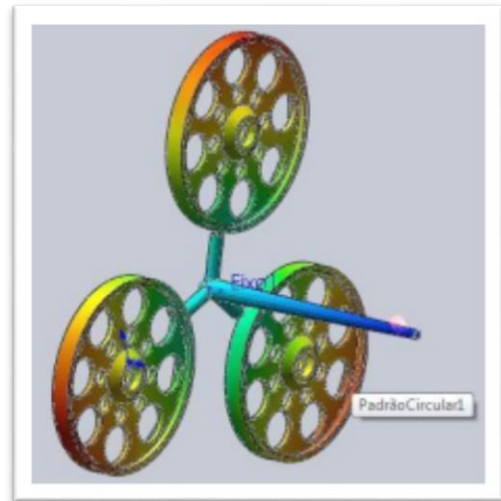
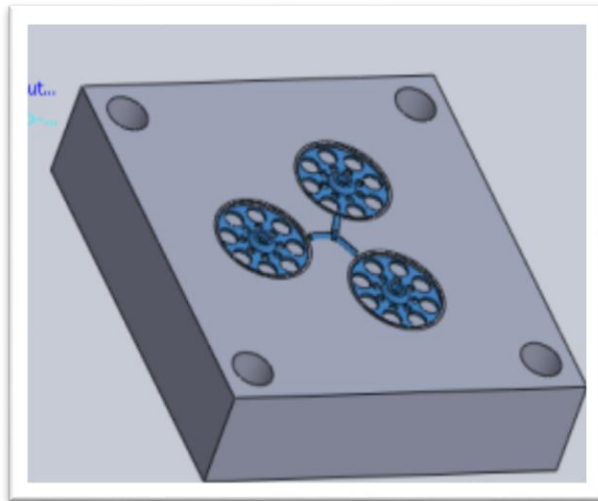
DÉPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

**Option: Fabrication mécanique et productive**

**Niveau de MASTER II**

*TP de:*

*Conception d'un moule d'injection  
plastique*



**TP préparée par:**

*M<sup>me</sup> Bokhari née Metehri Aicha*

*Maître de conférence 'A'*

**Année Universitaire: 2023-2024.**



## *Préface*

Ce document rassemble cinq séances de travaux pratiques de cours ‘‘Moulage et injection plastique’’. L’ensemble de ces activités, réalisé pour les étudiants de 2<sup>ème</sup> année Master option Fabrication mécanique et productique.

Il est conçu pour appliquer les connaissances théoriques acquises dans le cadre du cours. Nous avons toutefois rappelé les concepts fondamentaux nécessaires pour pouvoir exercer chaque activité et décrivons précisément le protocole de simulation.

En outre, le présent manuel est le fruit de plusieurs années d’enseignement et de formation. Cela pourrait faire partie des documents de référence dans le domaine de la technologie

Les cinq activités sont liées aux connaissances relatives à l’injection, en particulier le moule et ces deux parties (partie fixe et mobile), les calculs liés à la conception d’outils d’injection et, enfin, la conception détaillée par une simulation.

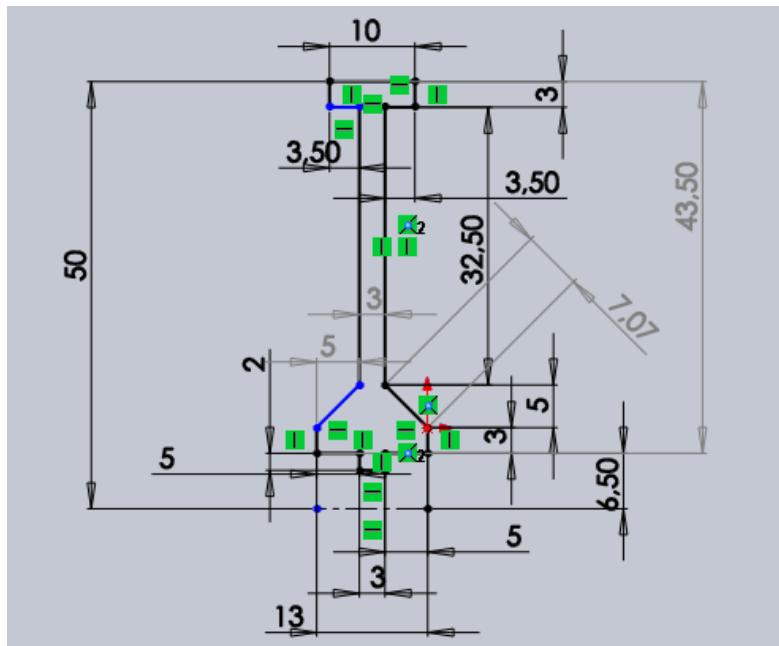
***TP : Conception d'un moule  
d'injection plastique par SolidWorks***

## TPI Conception des empreintes de moule

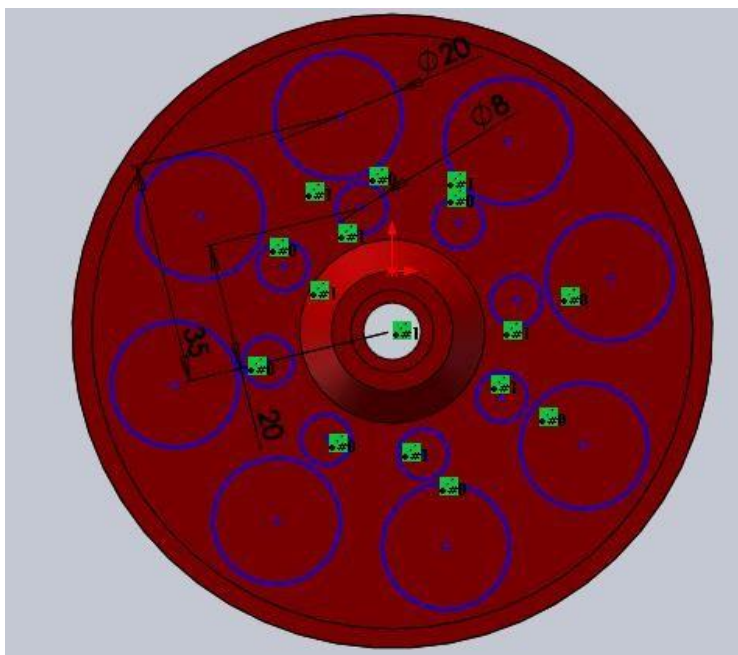
**But ce TP :** Dans ce TP, on va construire un moule utilisant les fonctions de forme et d'opérations mises à disposition dans le logiciel de SolidWorks tel que ; Bass/Bossage avec révolution, Enlèvement de matière extrudé et répétition circulaire ...etc.

### Construction d'un moule :

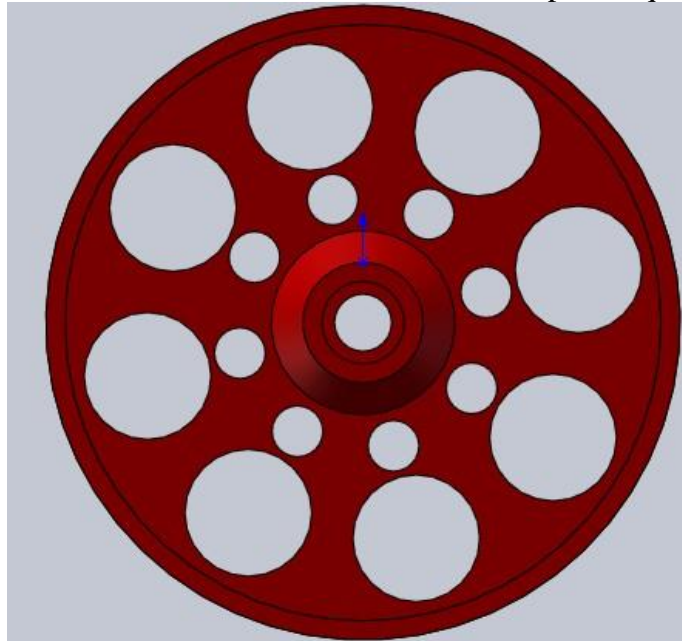
- 1-Dans l'arbre de création, Sélectionnez le plan droit.
- 2-Dessinez l'esquisse suivante.
- 3-Cliquez sur la fonction « Bass/Bossage avec révolution », puis cliquez sur OK.



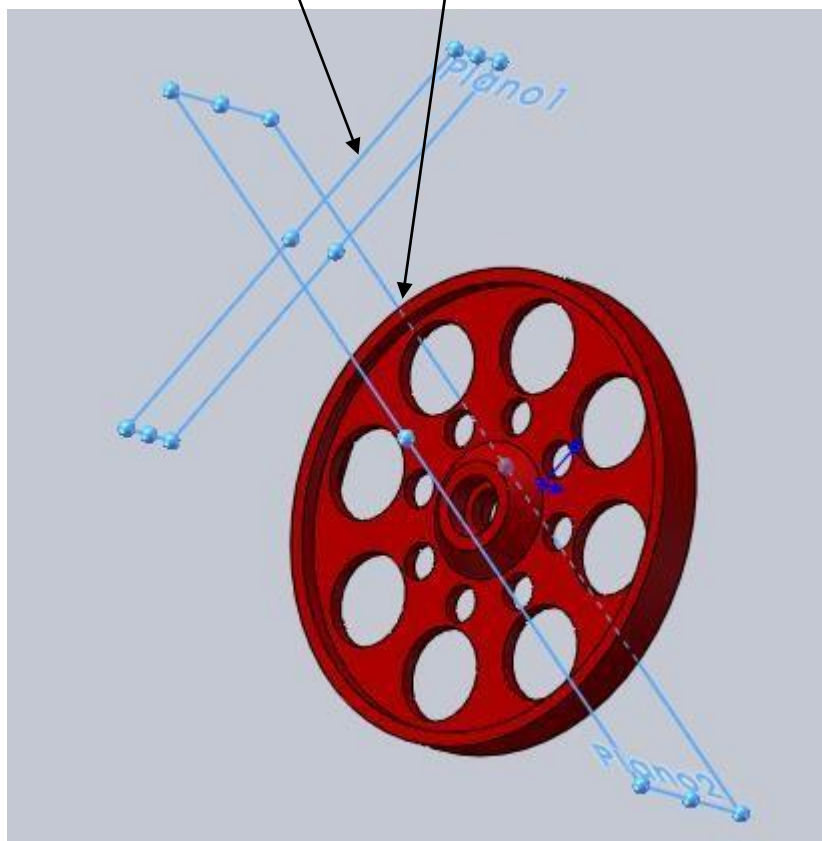
- 4-Sélectionnez le plan face.
- 5-Dessinez l'esquisse suivante.



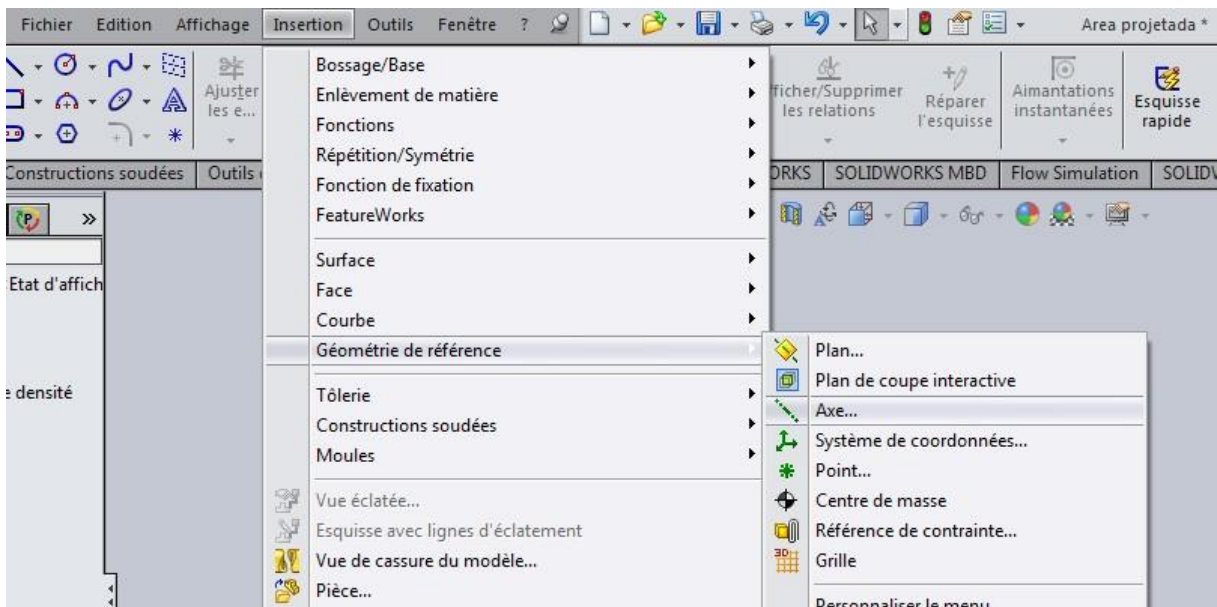
6-Cliquez sur la fonction « Enlèvement de matière extrudé », puis cliquez sur OK.



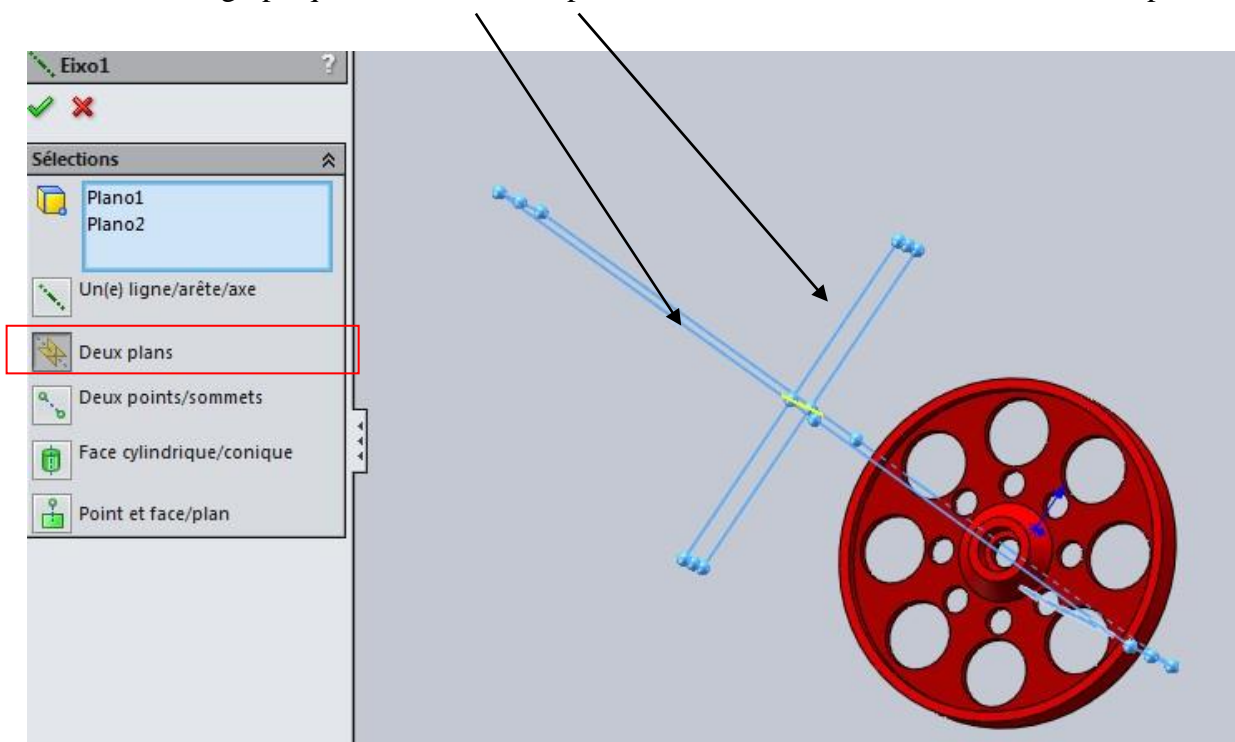
7-Créez deux plans (plan1 et plan2) 80 mm et 9.5 mm, respectivement.



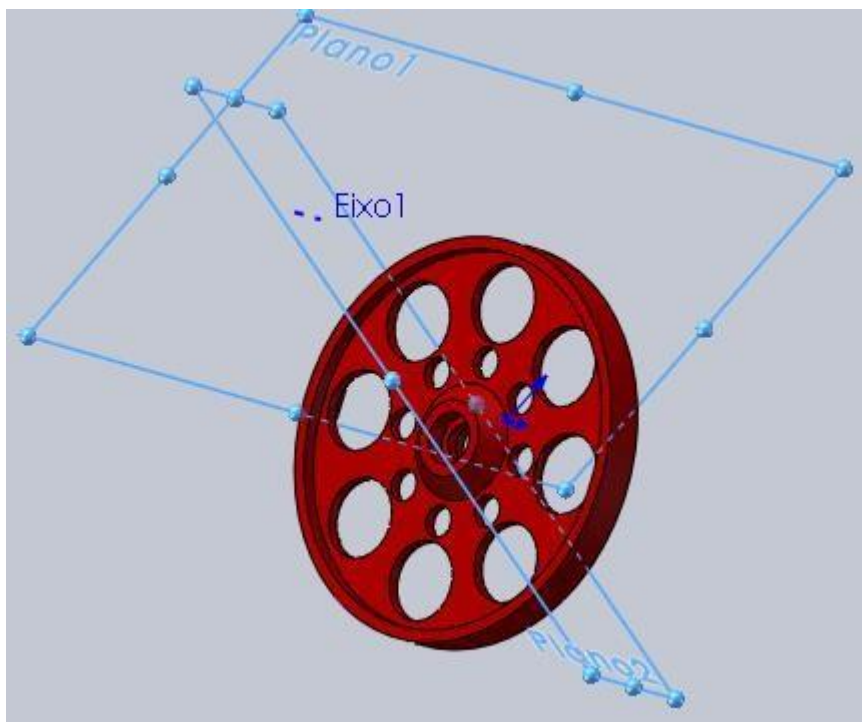
8- Cliquez sur la fonction « Insertion/Géométrie/Axe »



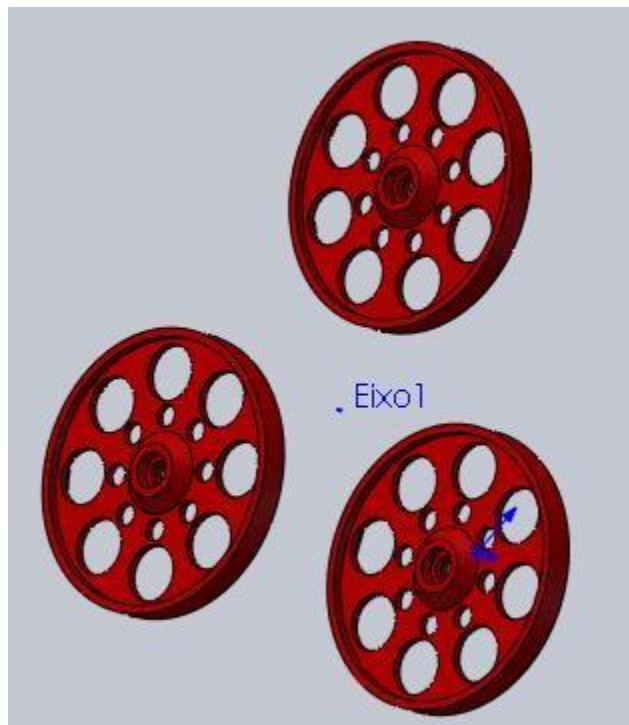
9- Sur la zone graphique sélectionnez les plans suivants et choisissez la fonction Deux plans.



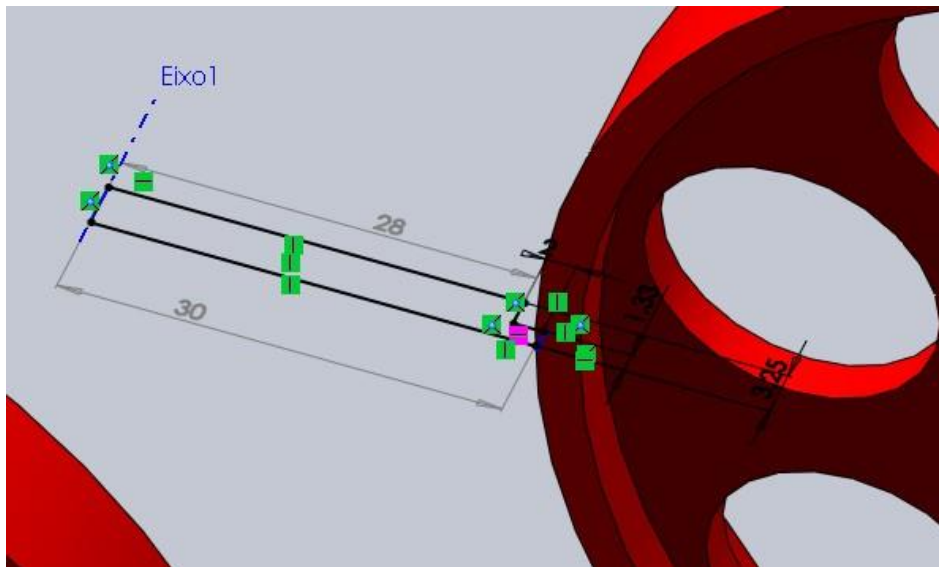
10- Cliquez sur OK.



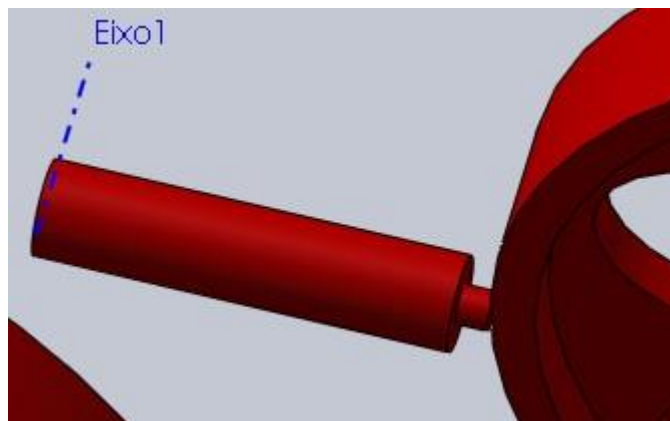
11- Cliquez sur la fonction « répétition circulaire », puis cliquez sur OK.



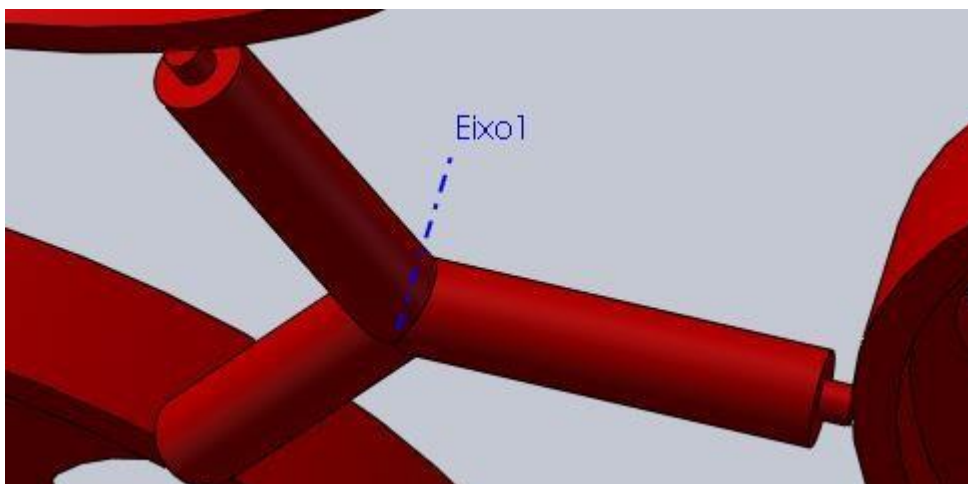
12- Sur le plan 2 dessinez l'esquisse suivante.



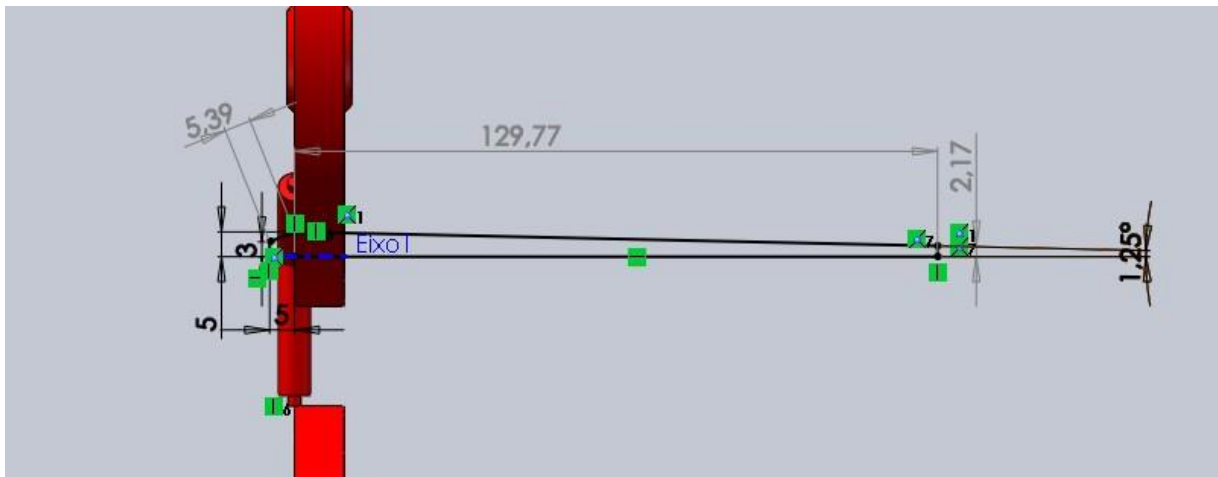
13- Cliquez sur la fonction « Bass/Bossage avec révolution », puis cliquez sur OK.



14- Cliquez sur la fonction « répétition circulaire », puis cliquez sur OK.

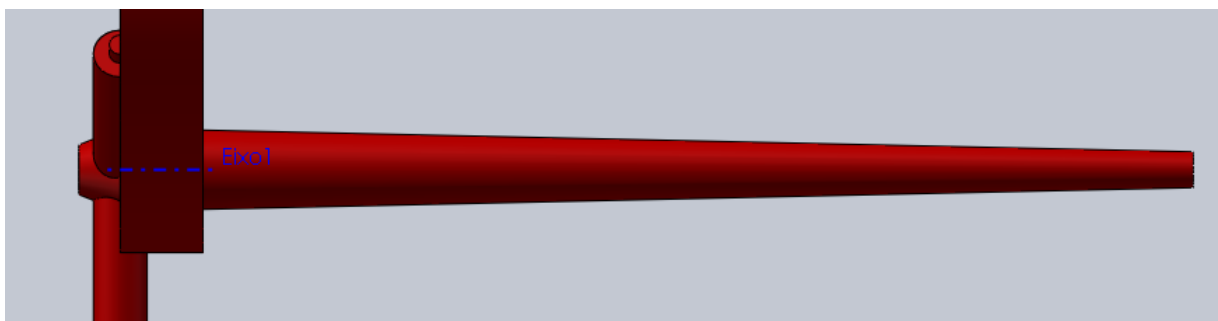


15- Sur le plan 2 dessinez l'esquisse suivante.

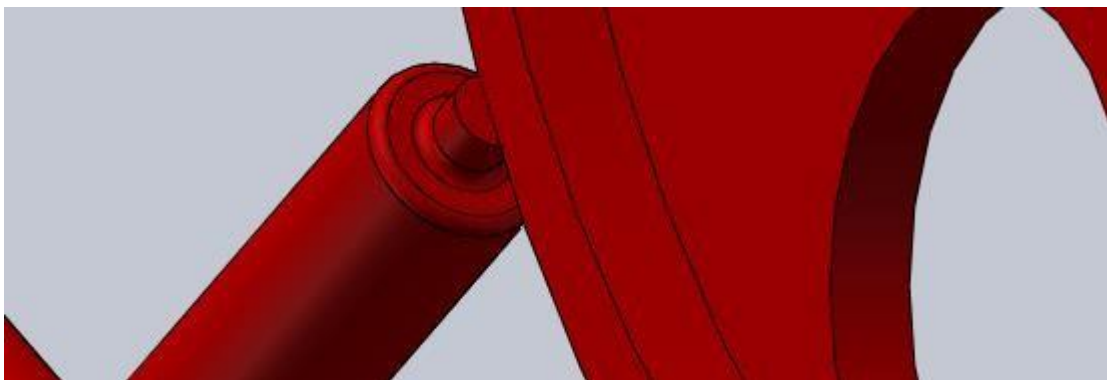


16- Cliquez sur la fonction « Bass/Bossage avec révolution ».

17- Faites une révolution et choisissez l'axe 1 comme l'axe de révolution. 19- Puis cliquez sur OK.

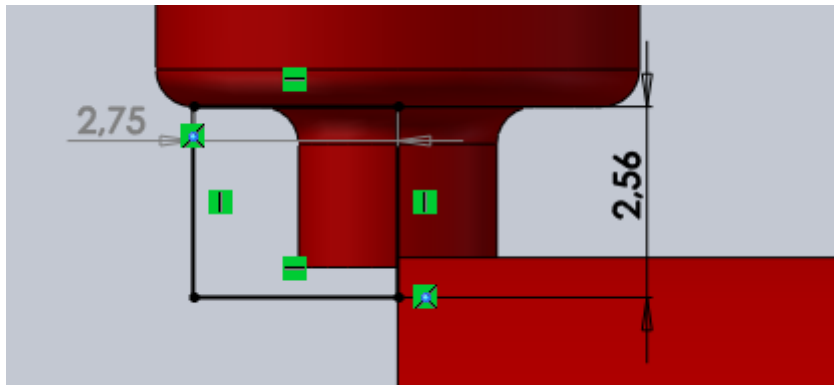


18- Cliquez sur la fonction « Congé ». Sélectionnez les arêtes suivantes et Entrez 0.5 mm



19- Sur le plan 2 dessinez l'esquisse suivante.

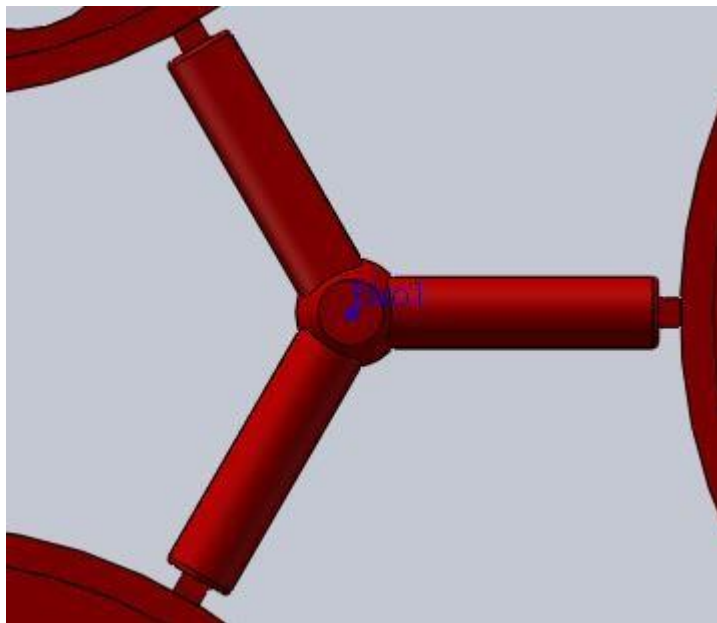




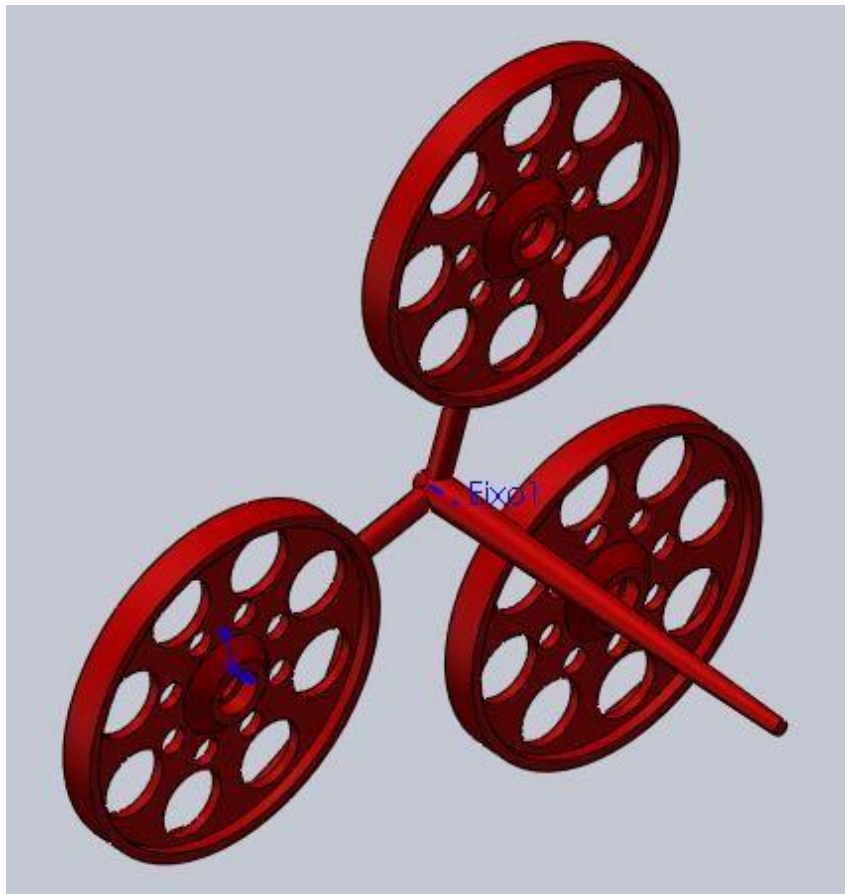
20- Cliquez sur la fonction « Enlè de matière extrudé », puis cliquez sur OK.



21- Cliquez sur la fonction « répétition circulaire ».



22- Puis cliquez sur OK.



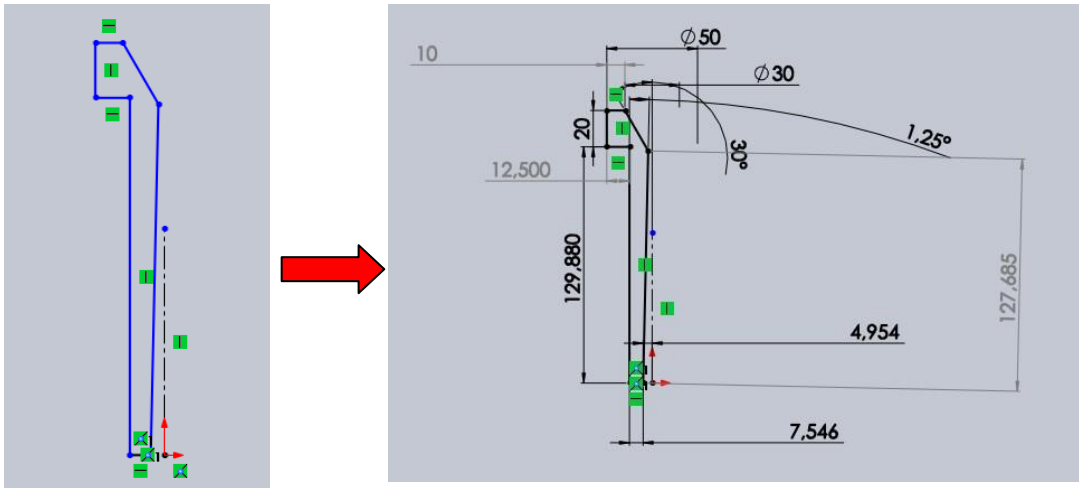
## TP2 Conception la carcasse de moule

### 2.1 But ce TP :

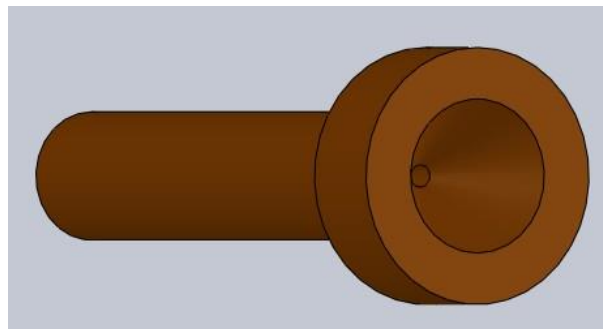
Dans ce TP, on va construire la carcasse du moule d'injection plastique utilisant les fonctions de forme et d'opérations mises à disposition dans le logiciel de SolidWorks tel que ; Bass/Bossage avec révolution, Enlèvement de matière extrudé et Empreinte...etc.

1-Dans l'arbre de création, sélectionnez le plan face.

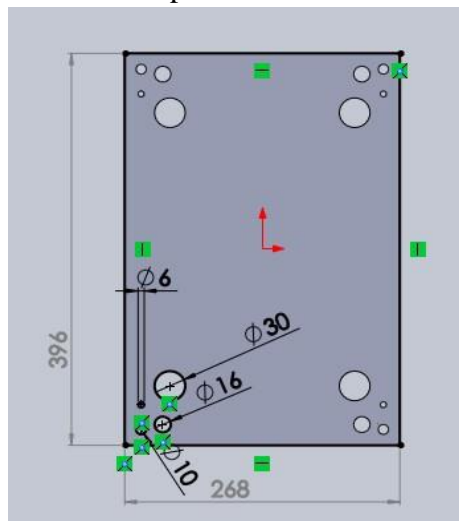
2- Dessinez l'esquisse suivante.



3-Cliquez sur la fonction « Bass/Bossage avec révolution », puis cliquez sur OK.



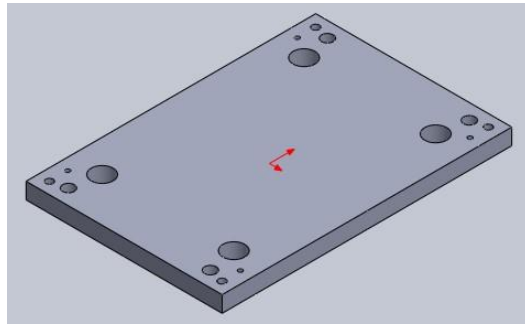
4-Dans l'arbre de création, Sélectionner le plan face



## TP2 Conception la carcasse de moule

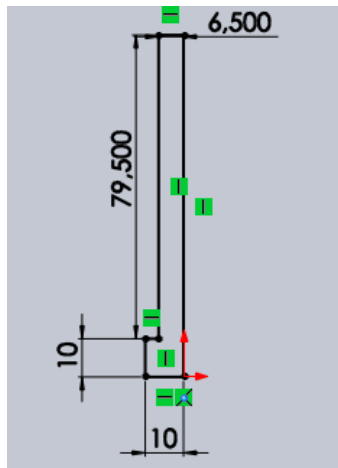
---

5-Puis cliquez sur OK

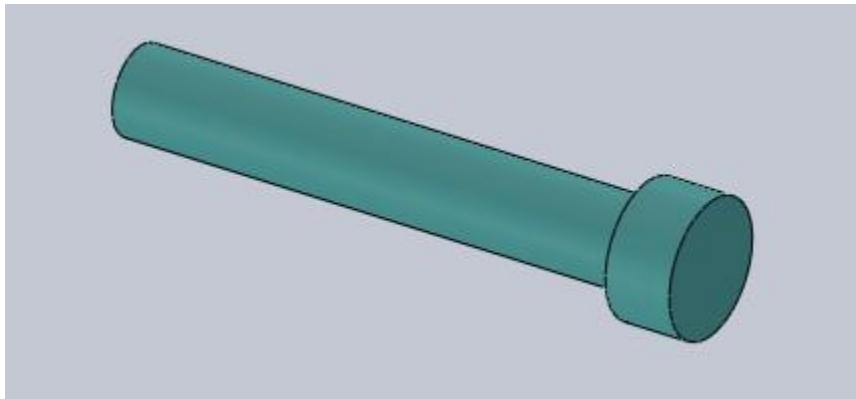


6-Dans l'arbre de création, Sélectionner le plan face.

7- Dessinez l'esquisse suivante.



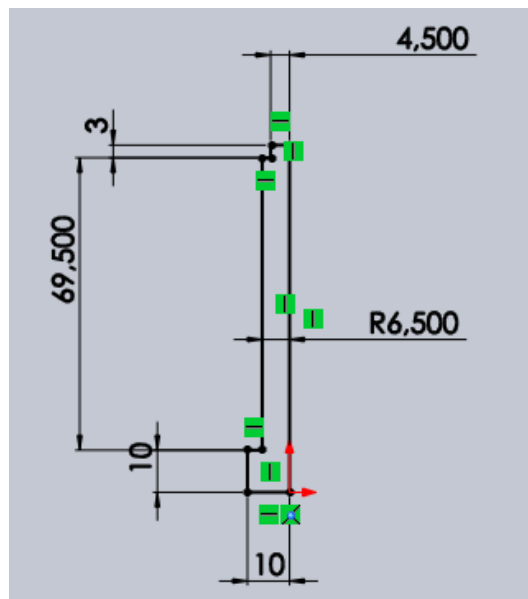
8-Cliquez sur la fonction « Bass/Bossage avec révolution », puis cliquez sur OK.



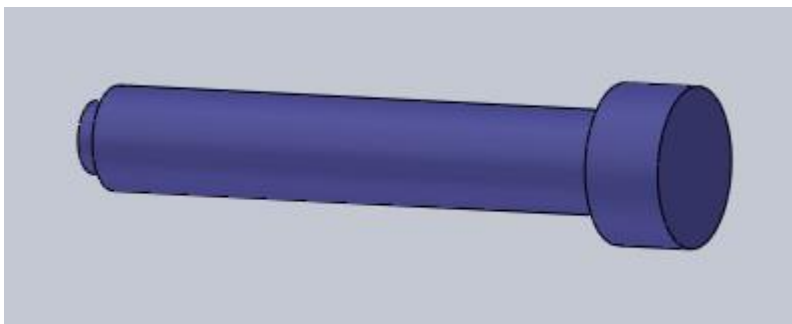
9-Dans l'arbre de création, Sélectionner le plan face.

10- Dessinez l'esquisse suivante.

## TP2 Conception la carcasse de moule

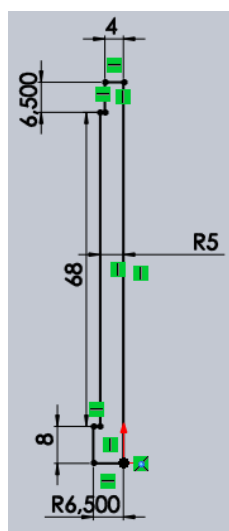


11- Cliquez sur la fonction « Bass/Bossage avec révolution », puis cliquez sur OK.



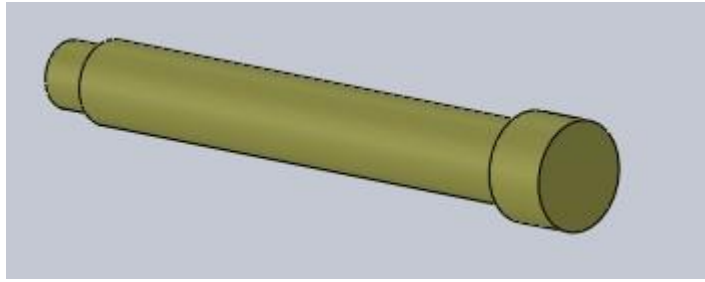
12- Dans l'arbre de création, Sélectionner le plan face.

13- Dessinez l'esquisse suivante.



14- Cliquez sur la fonction « Bass/Bossage avec révolution », puis cliquez sur OK.

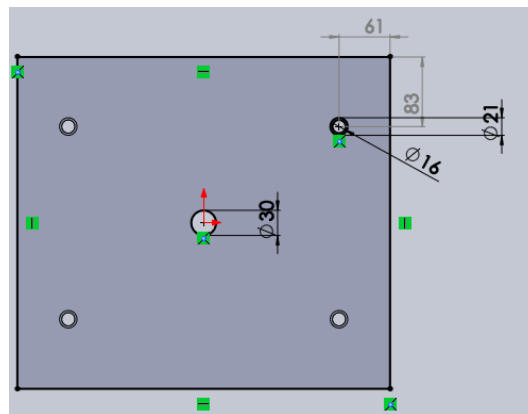
## TP2 Conception la carcasse de moule



15- Dans l'arbre de création, Sélectionner le plan face.

16- Dessinez l'esquisse suivante.

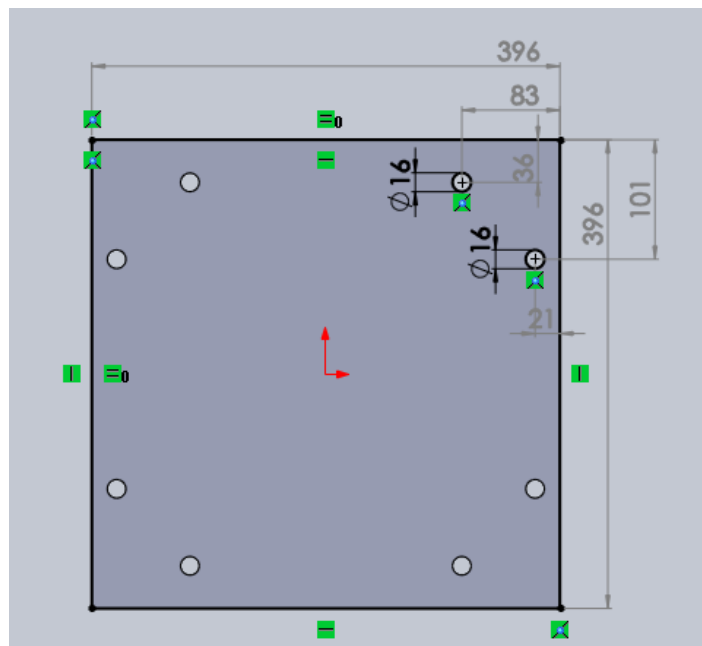
17- Extrudez-la, entrez une valeur 36mm. Puis cliquez sur OK.



18- Dans l'arbre de création, Sélectionner le plan face.

19- Dessinez l'esquisse suivante.

20- Extrudez-la, entrez une valeur 36mm. Puis cliquez sur OK.

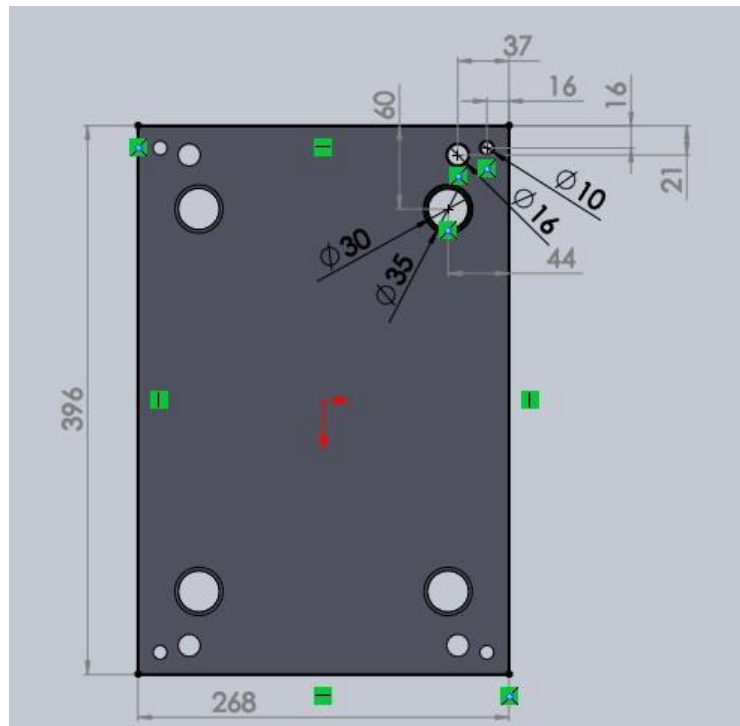


21- Dans l'arbre de création, Sélectionner le plan face.

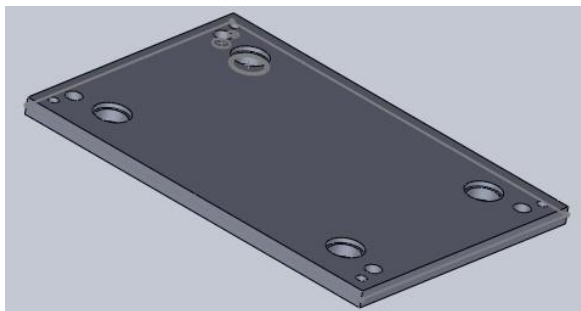
22- Dessinez l'esquisse suivante.

23- Extrudez-la, entrez la valeur 17mm pour le volume et la valeur 5mm pour les trous.

## TP2 Conception la carcasse de moule



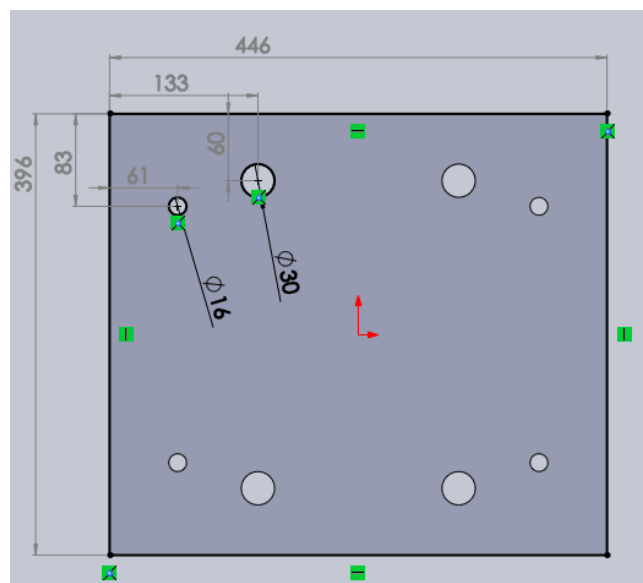
24- Puis cliquez sur OK.



25- Dans l'arbre de création, Sélectionner le plan face.

26- Dessinez l'esquisse suivante.

27- Extrudez-la, entrez une valeur 36mm. Puis cliquez sur OK.

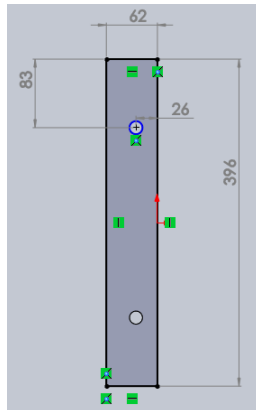


## TP2 Conception la carcasse de moule

28- Dans l'arbre de création, Sélectionner le plan face.

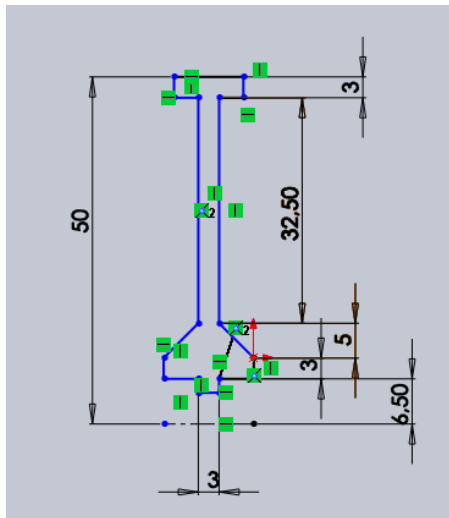
29- Dessinez l'esquisse suivante.

30- Extrudez-la, entrez une valeur 36mm. Puis cliquez sur OK.

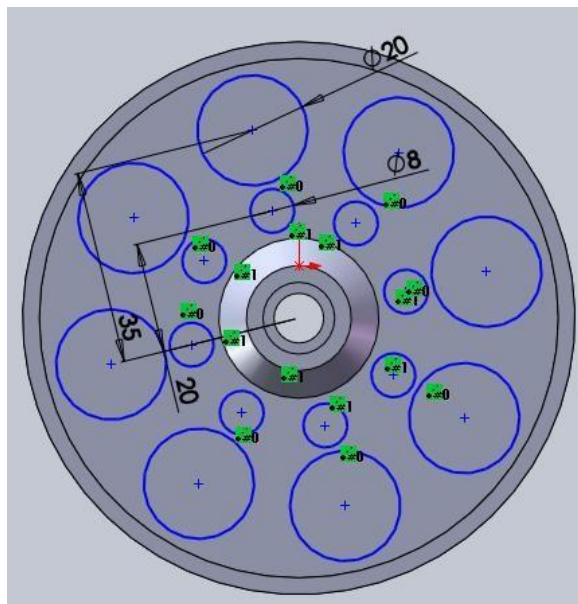


31- Dans l'arbre de création, Sélectionner le plan face.

32- Dessinez l'esquisse suivante (voyez-vous -Design 1- de TP1).



33- Cliquez sur la fonction « Bass/Bossage avec révolution », Dessinez l'esquisse suivante.

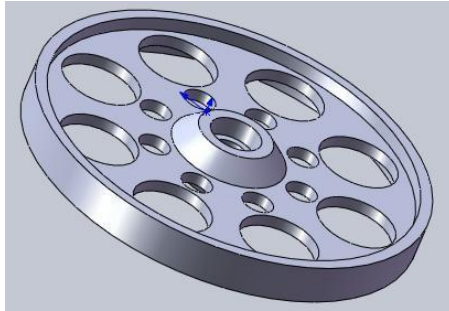




## TP2 Conception la carcasse de moule

---

34- Cliquez sur la fonction « Enlèvement de la matière extrudé », puis cliquez sur OK.

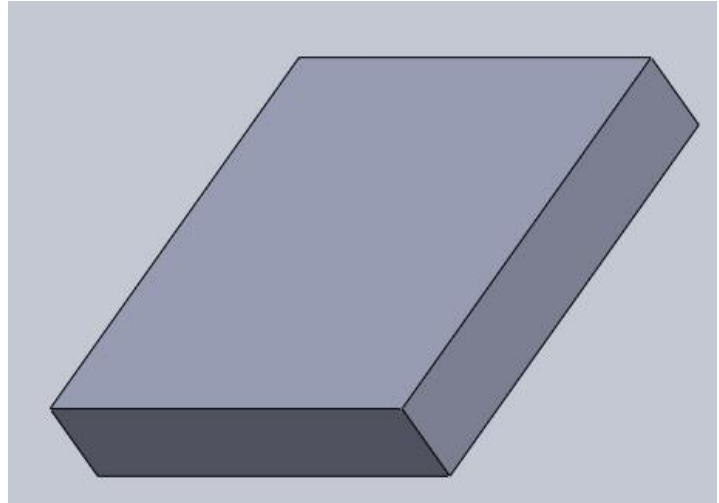
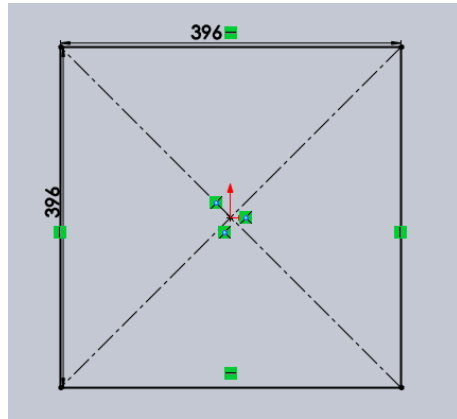


## TP3 Conception de plateau fixe de moule

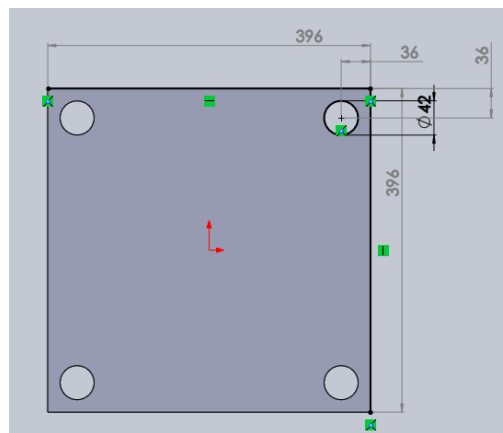
### 3.1 But ce TP :

Dans ce TP, on va construire un moule utilisant les fonctions de forme et d'opérations mises à disposition dans le logiciel de SolidWorks tel que ; Empreinte ...etc.

- 1- Dans l'arbre de création, Sélectionnez le plan droit.
- 2- Dessinez l'esquisse suivante.
- 3- Extrudez-la, entrez une valeur 76mm. Puis cliquez sur OK.

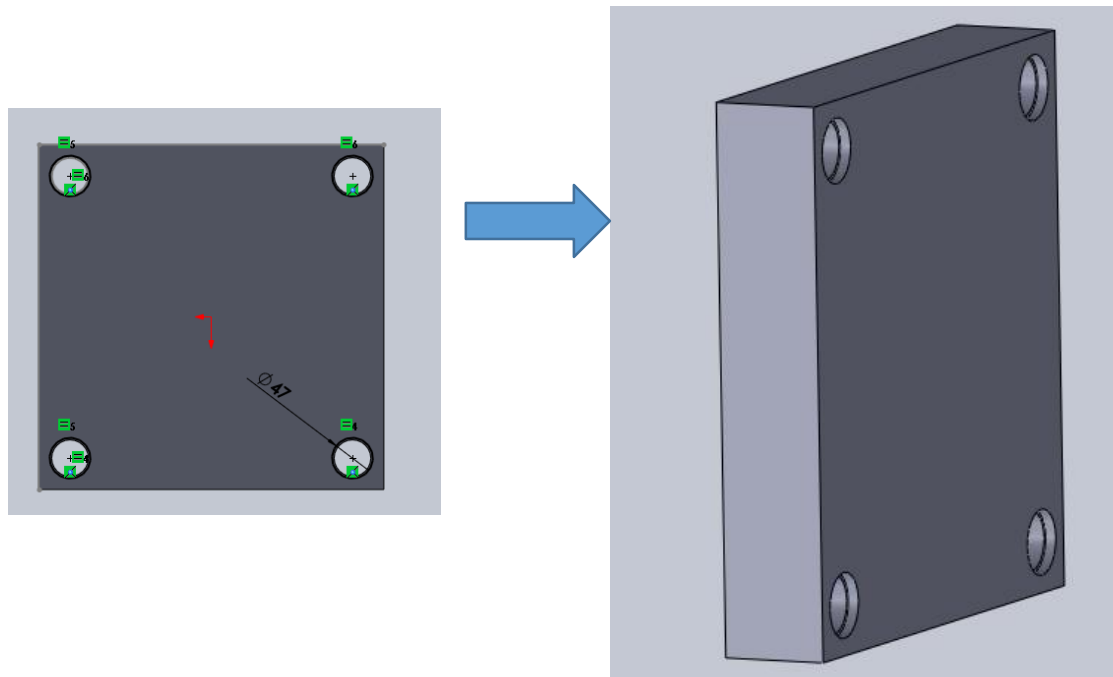


- 4- Dessinez l'esquisse suivante.
- 5- Cliquez sur la fonction « Enlèvement de la matière », puis cliquez sur OK.



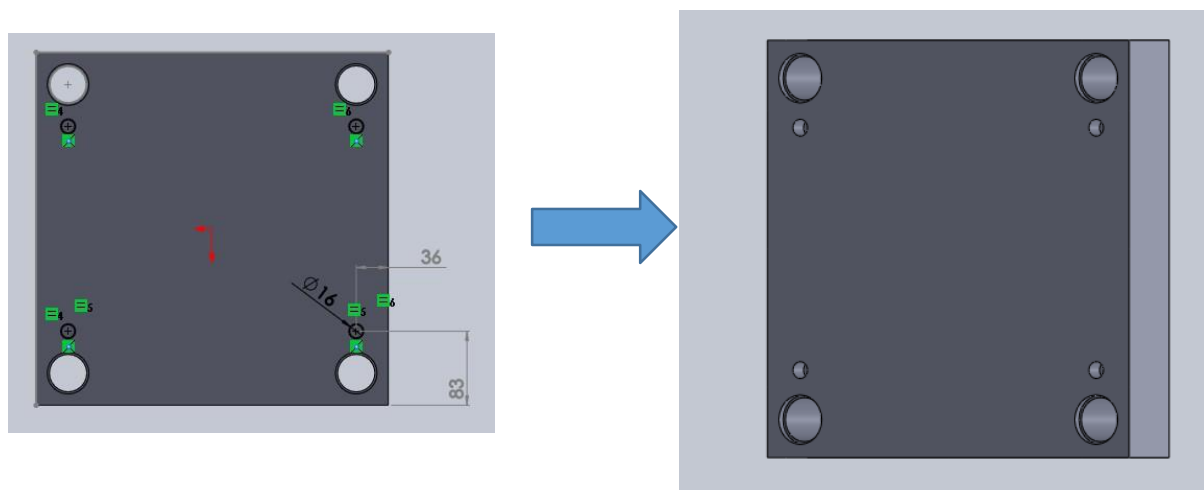
- 6- Dessinez l'esquisse suivante.
- 7- Cliquez sur la fonction « Enlèvement de la matière » entrez une valeur 8mm, puis cliquez sur OK.

### TP3 Conception de plateau fixe de moule



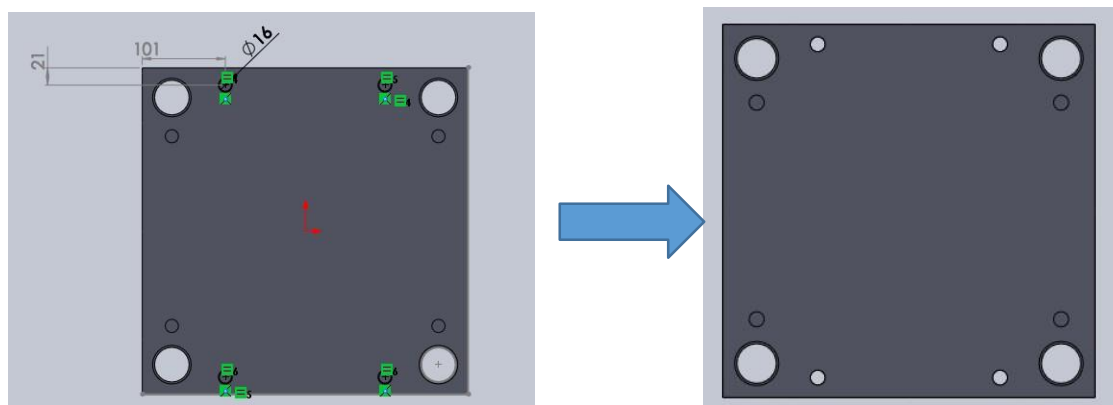
8-Dessinez l'esquisse suivante.

9-Cliquez sur la fonction « Enlèvement de matière » entrez une valeur 20mm, puis cliquez sur OK.



10-Dessinez l'esquisse suivante.

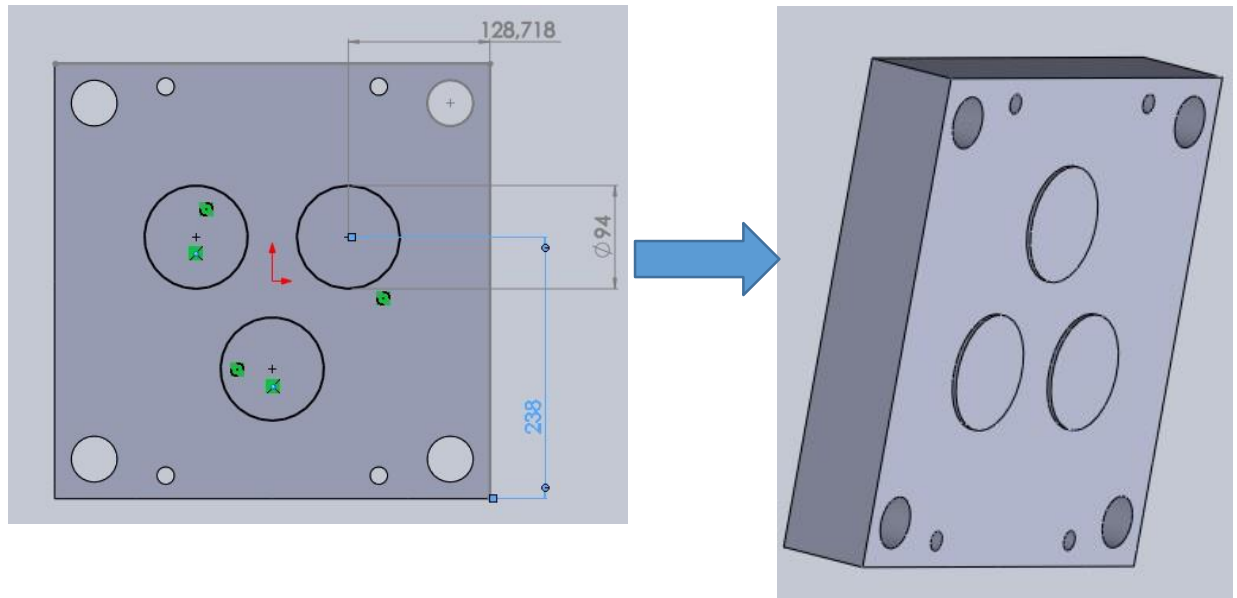
11-Cliquez sur la fonction « Enlèvement de matière », puis cliquez sur OK.



### TP3 Conception de plateau fixe de moule

12- Dessinez l'esquisse suivante.

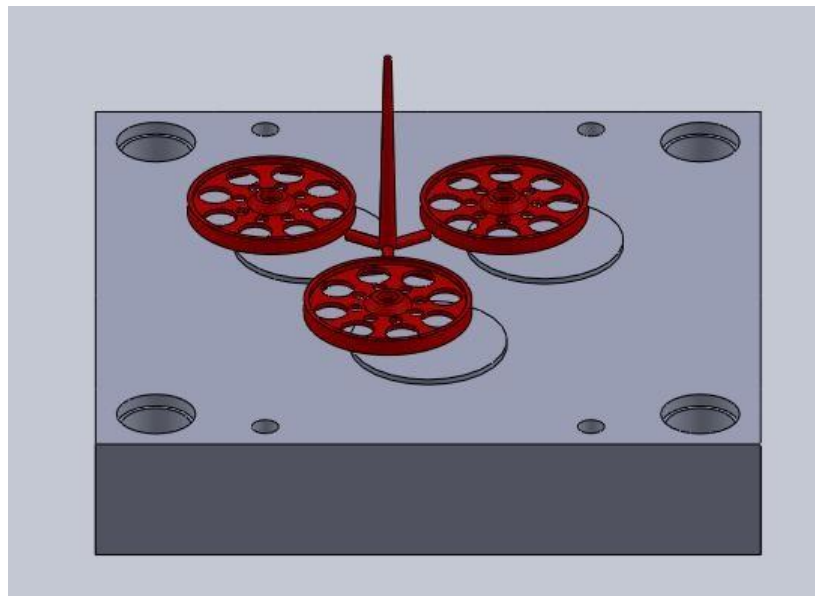
13- Extrudez-la, entrez une valeur 3.5 mm. Puis cliquez sur OK.



14- Sauvegardez ce design sous le nom –pièce1-

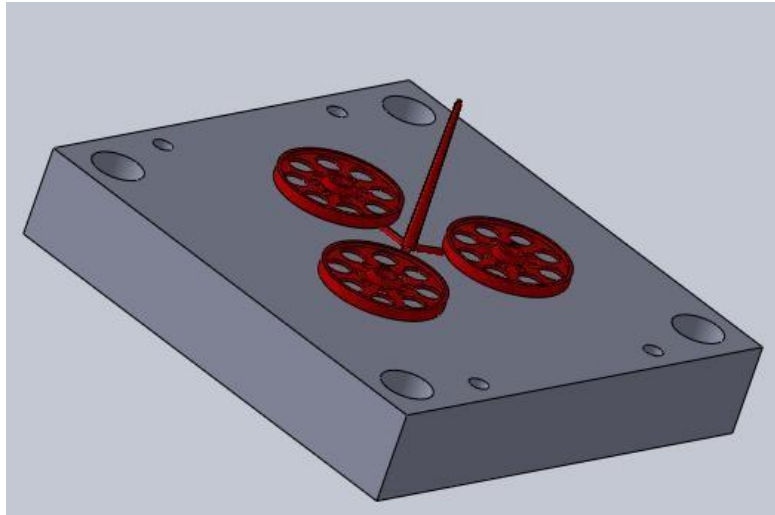
15- Maintenant, Ouvrez un fichier –assemblage-

16- Sélectionnez le composant à insérer-**pièce1 et design moule (TP1).**



17- Assemblez ces pièces en utilisant les contraintes **Coaxiale et Coïncidente.**

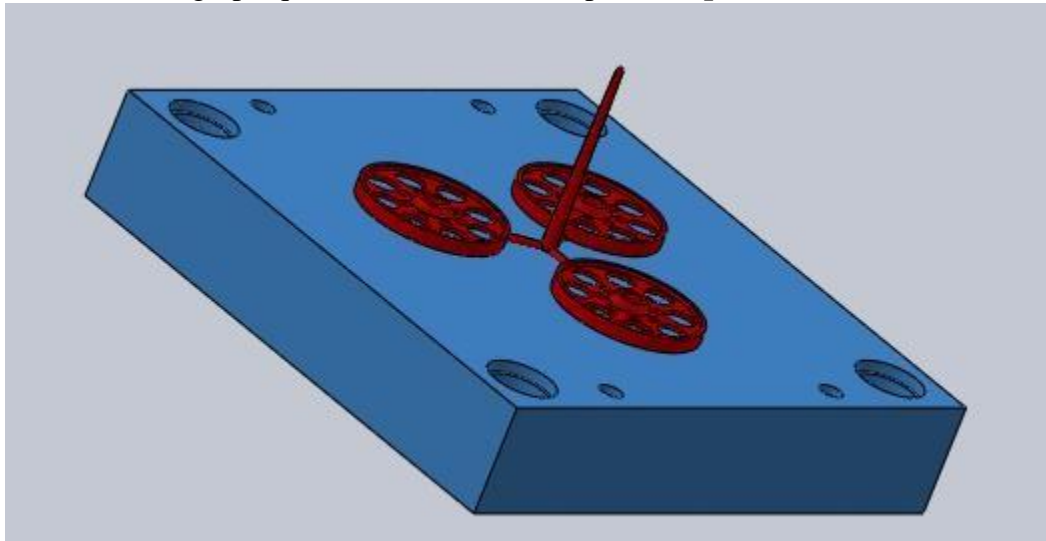
## TP3 Conception de plateau fixe de moule



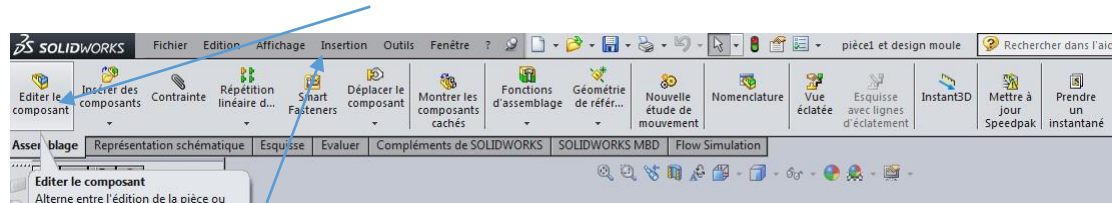
18-Sauvegardez cet assemblage sous le nom – **pièce1 et design moule** -

19-Maintenant, Réouvrez cet assemblage

20-Dans la zone graphique Sélectionnez le composant. - **pièce1-**



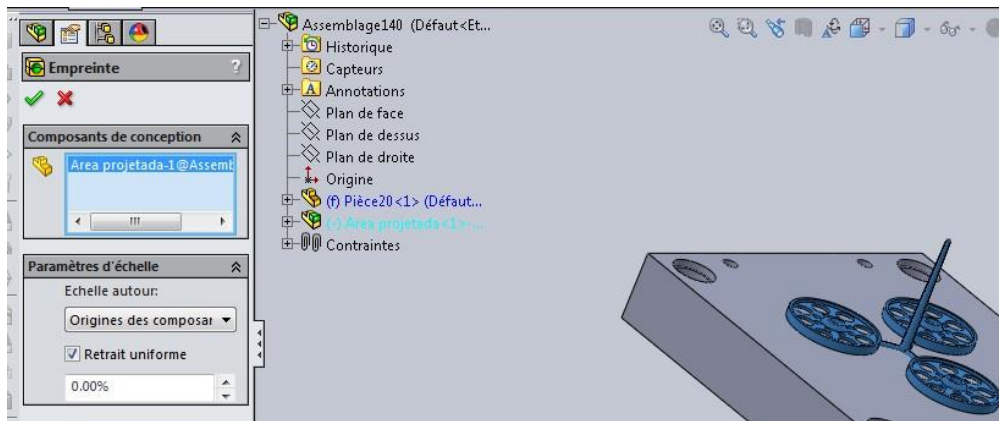
21-Cliquez sur la fonction -Editer le composant-



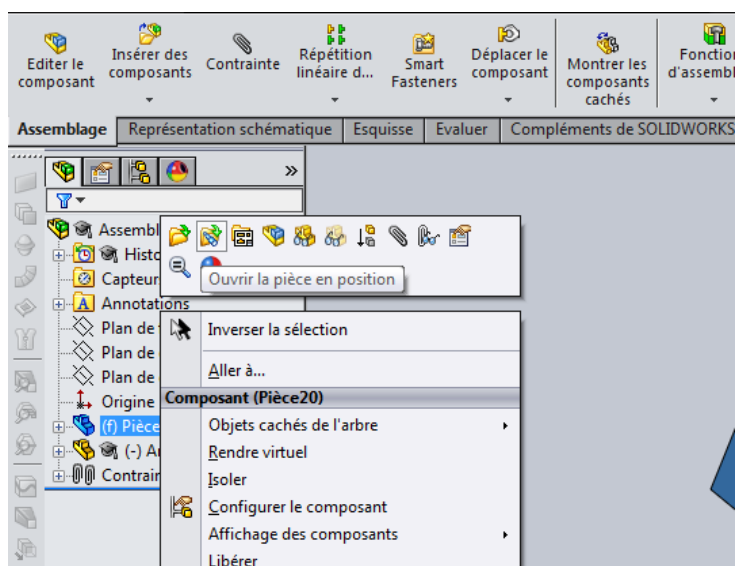
22-Puis, Cliquez sur **insertion /fonction /Empreinte.**

23-Choisissez **design moule**, Cliquez sur OK.

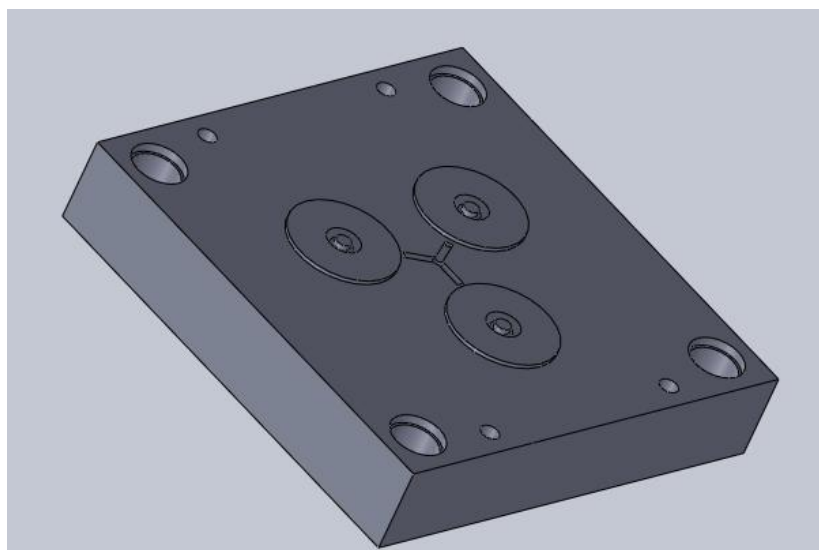
## TP3 Conception de plateau fixe de moule



24-Finalement, Choisissez –**pièce1** – comme une pièce empreinte, Cliquez sur OK.



25-Sauvegardez –la sous le nom - pièce empreinte 1-

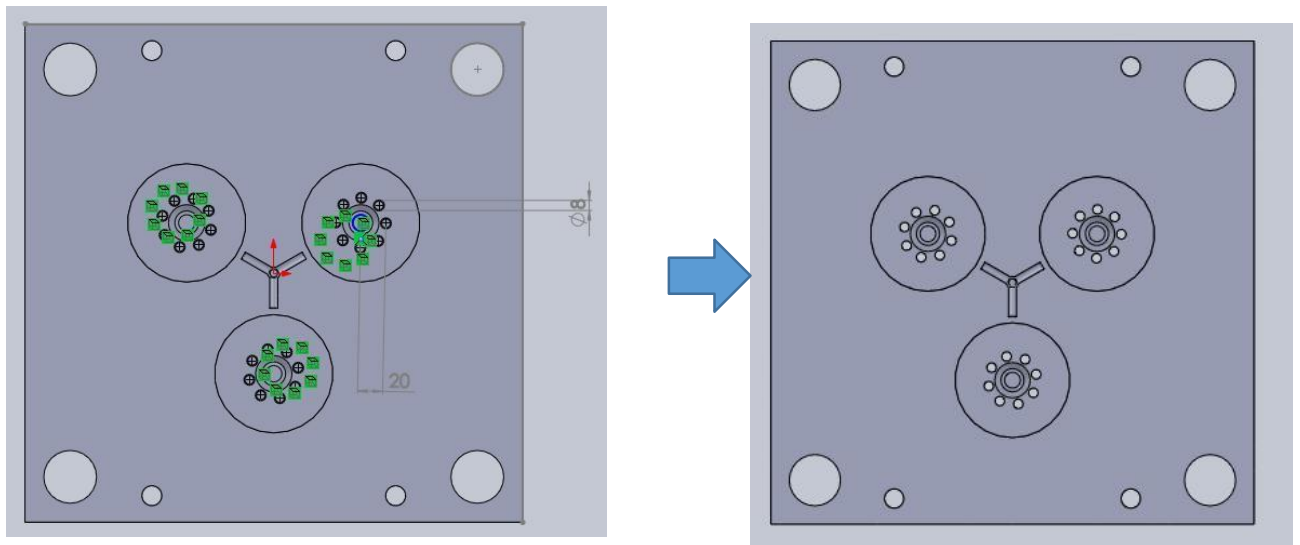


**Remarque :** réalisez les procédés suivants dans la même pièce précédente (pièce empreinte 1).

### TP3 Conception de plateau fixe de moule

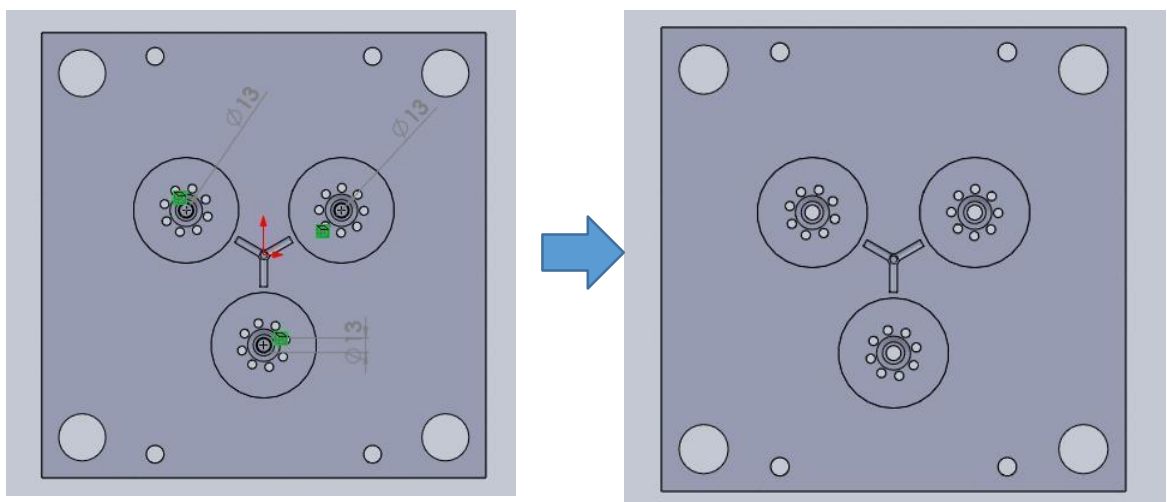
26- Dessinez l'esquisse suivante.

27- Cliquez sur la fonction « Enlèvement de matière », puis cliquez sur OK.



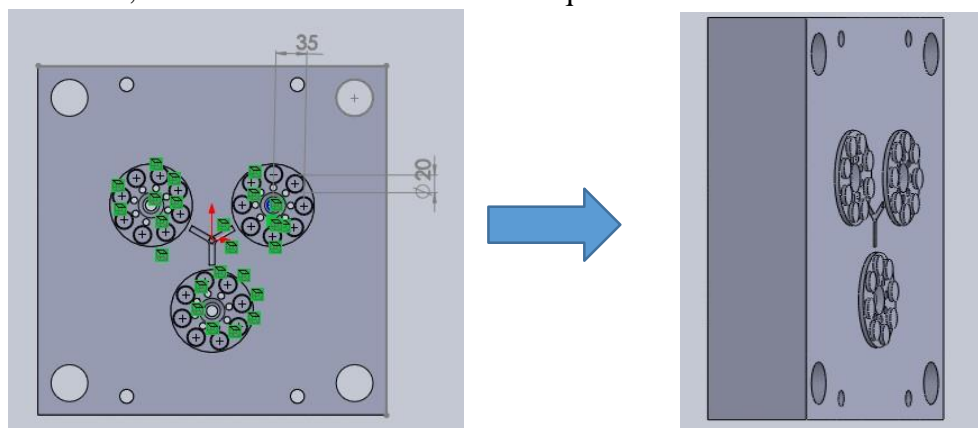
28- Dessinez l'esquisse suivante.

29- Cliquez sur la fonction « Enlèvement de matière », puis cliquez sur OK.



30- Dessinez l'esquisse suivante.

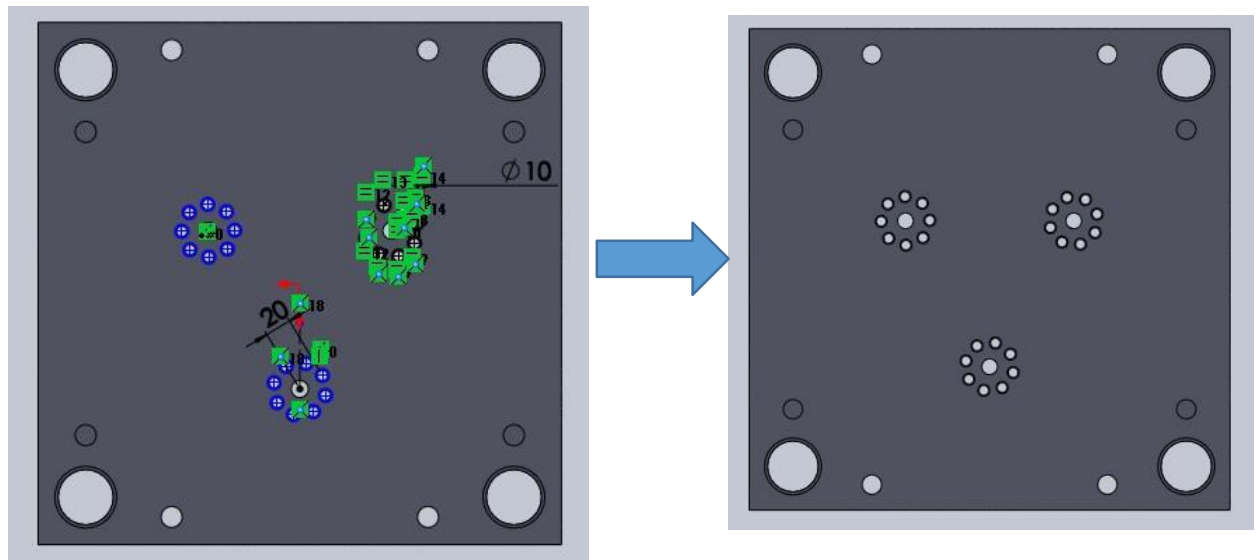
31- Extrudez-la, entrez une valeur 3 mm. Puis cliquez sur OK.



### TP3 Conception de plateau fixe de moule

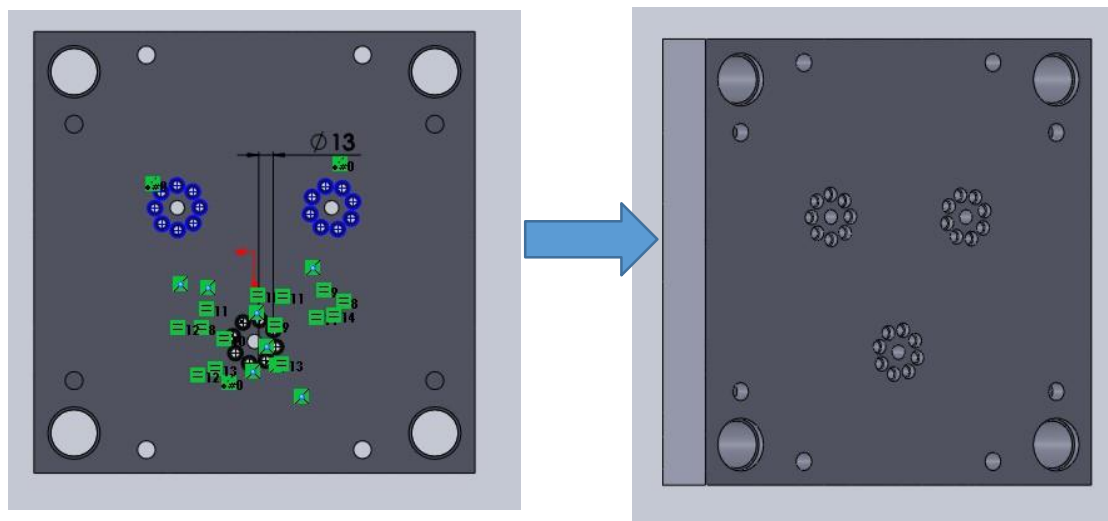
32- Dans la face opposée, Dessinez l'esquisse suivante.

33- Cliquez sur la fonction « Enlèvement de matière », puis cliquez sur OK.



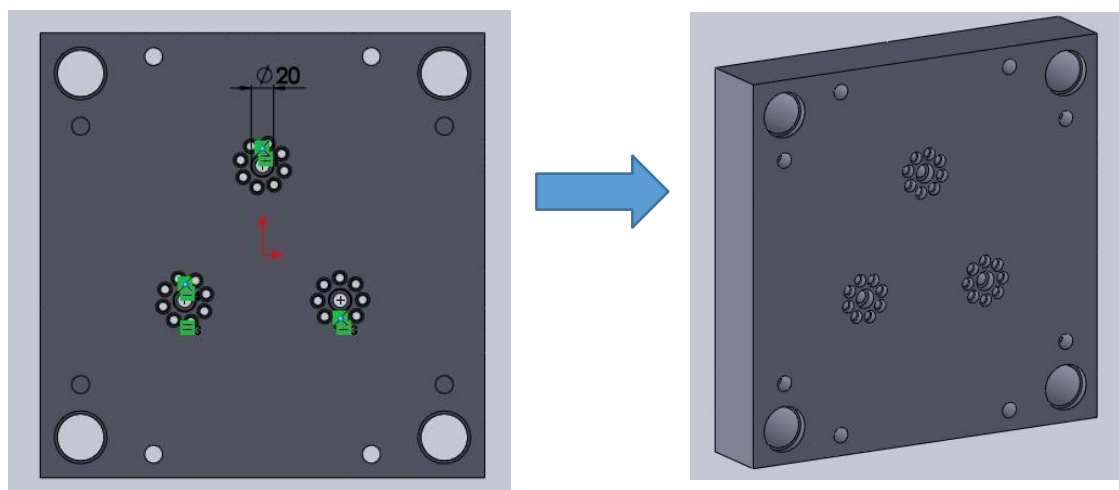
34- Dessinez l'esquisse suivante.

35- Extrudez-la, entrez une valeur 8 mm. Puis cliquez sur OK



36- Dessinez l'esquisse suivante.

37- Extrudez-la, entrez une valeur 20 mm. Puis cliquez sur OK.



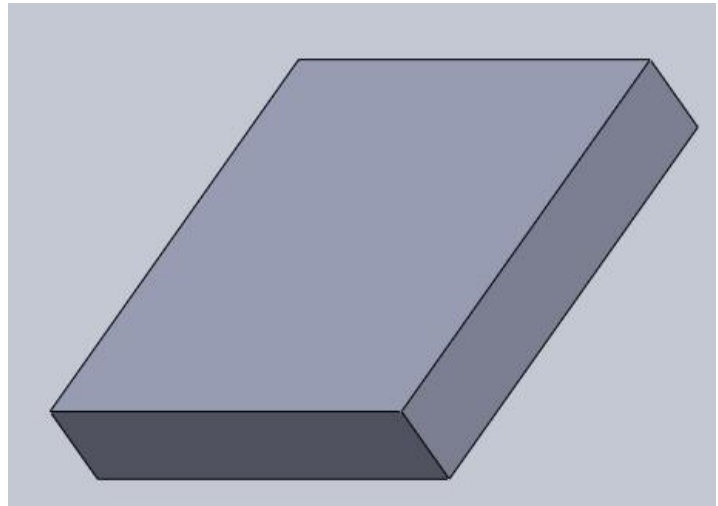
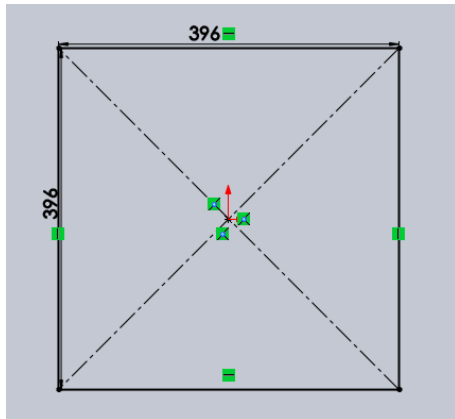


## TP4 Conception les deux plateaux de moule

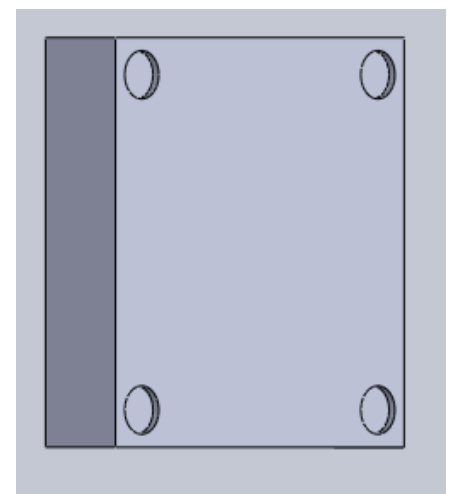
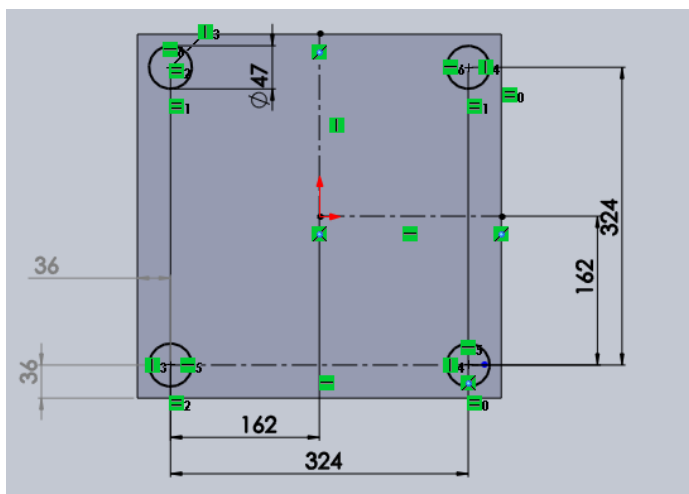
### 4.1 But ce TP :

Dans ce TP, on va construire un moule utilisant les fonctions de forme et d'opérations mises à disposition dans le logiciel de SolidWorks tel que ; Empreinte ...etc.

- 1-Dans l'arbre de création, Sélectionnez le plan droit.
- 2-Dessinez l'esquisse suivante.
- 3-Extrudez-la, entrez une valeur 96mm. Puis cliquez sur OK.

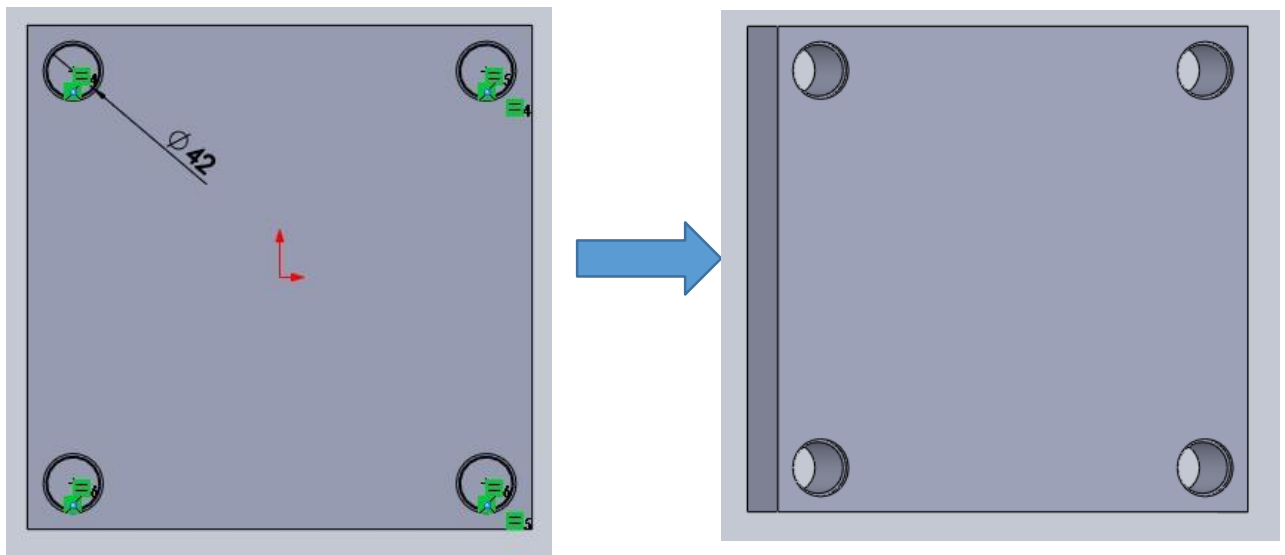


- 4-Dessinez l'esquisse suivante.
- 5-Cliquez sur la fonction « Enlèvement de matière » entrez une valeur 8mm, puis cliquez sur OK.



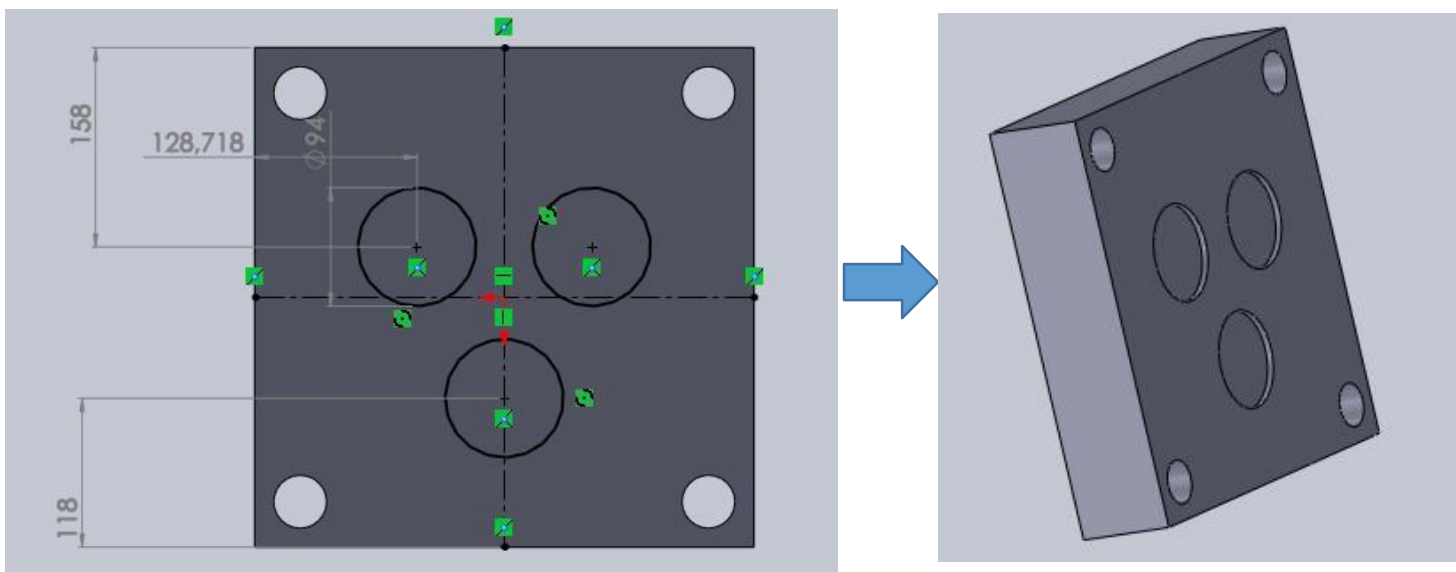
- 6-Dessinez l'esquisse suivante.
- 7-Cliquez sur la fonction « Enlèvement de matière », puis cliquez sur OK.

## TP4 Conception les deux plateaux de moule



8- Dessinez l'esquisse suivante.

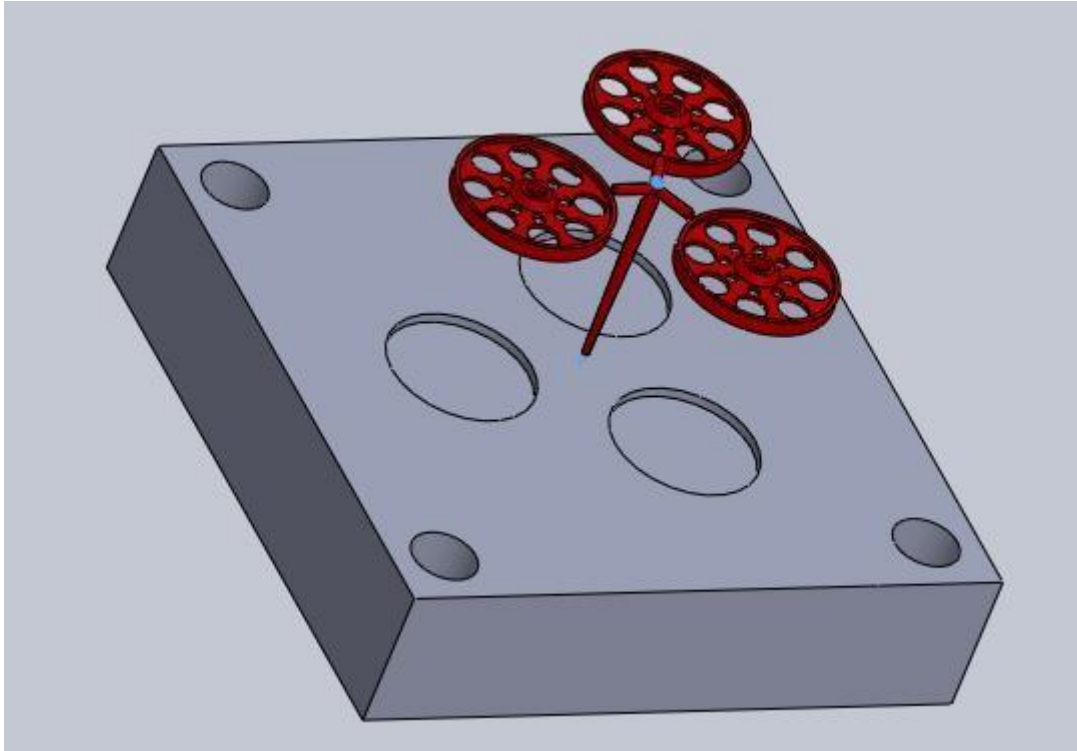
9- Cliquez sur la fonction « Enlèvement de matière », entrez une valeur 6.5 mm. Puis cliquez sur OK.



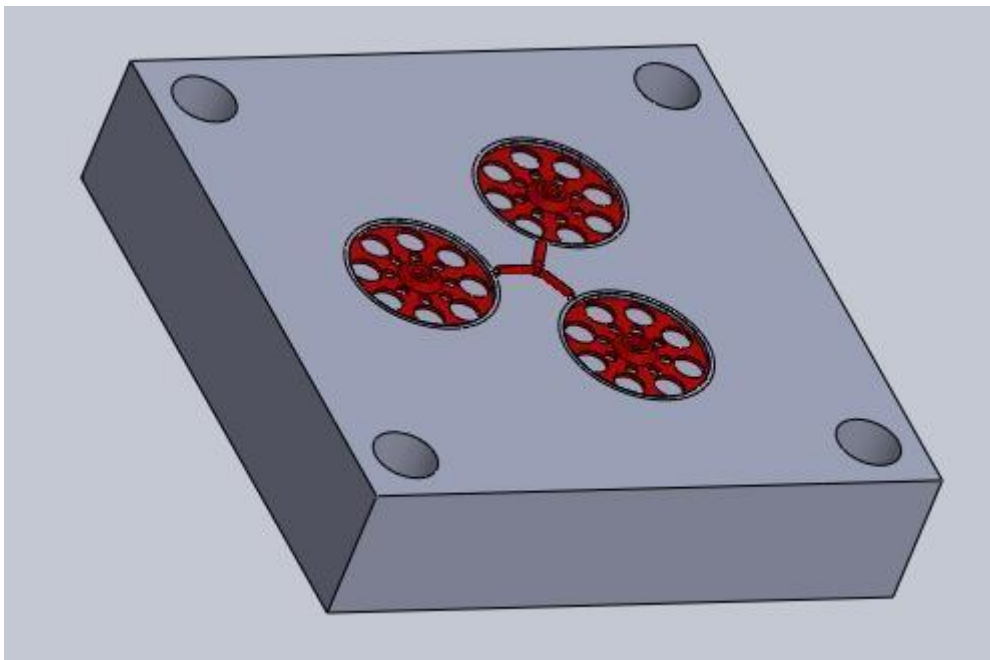
10- Sauvegardez ce design sous le nom –pièce2-

11- Maintenant, Ouvrez un fichier –assemblage-

12- Sélectionnez le composant à insérer –pièce2 et design moule (TP1).



13- Assemblez ces pièces en utilisant les contraintes **Coaxiale** et **Coïncidente**.

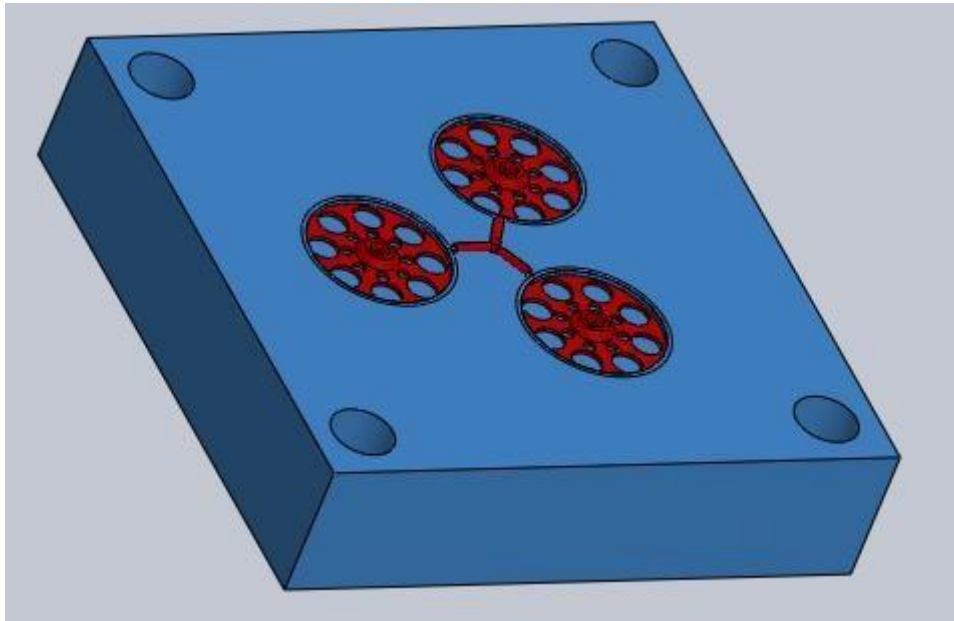


14- Sauvegardez cet assemblage sous le nom – **pièce2 et design moule** -

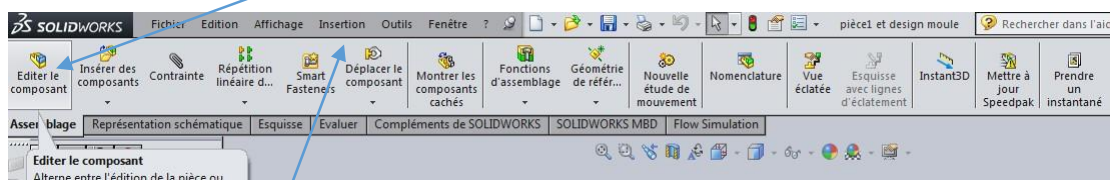
15- Maintenant, Réouvrez cet assemblage.

16- Dans la zone graphique sélectionnez le composant- **pièce2**-.

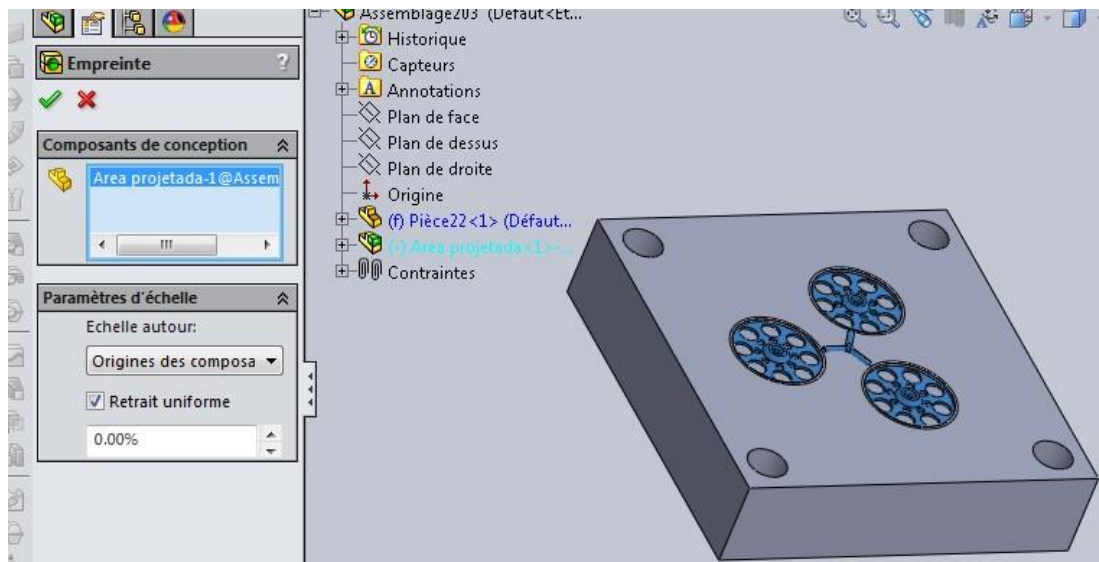
## TP4 Conception les deux plateaux de moule



17- Cliquez sur la fonction **-Editer le composant-**

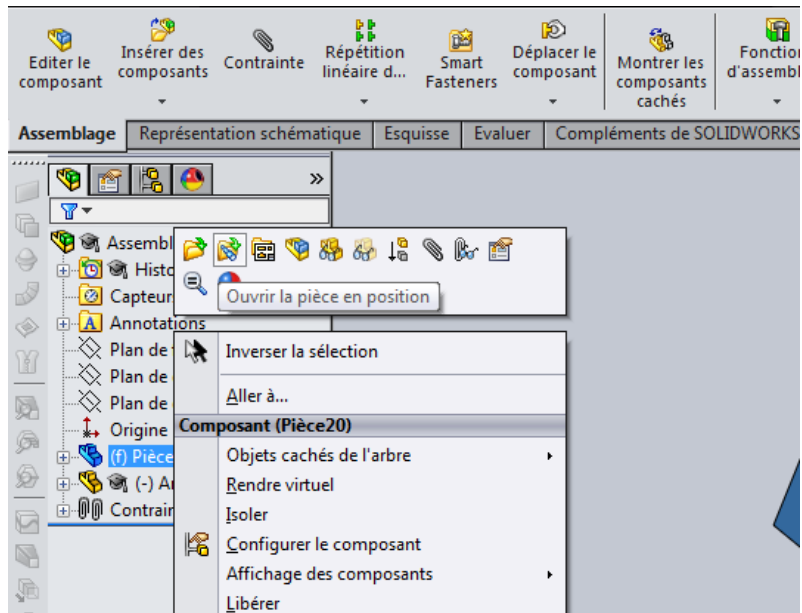


18- Puis, Cliquez sur **insertion /fonction /Empreinte.**  
19- Choisissez **design moule**, Cliquez sur OK.

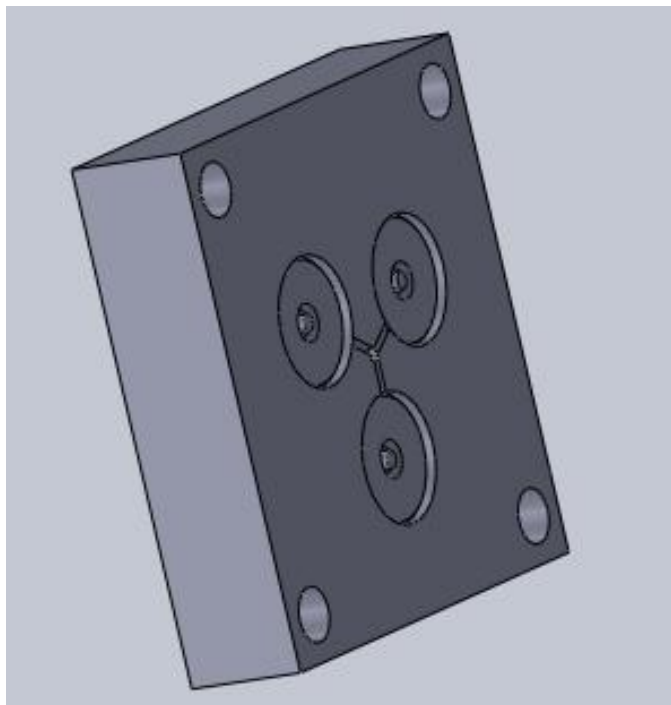


20- Finalement, Choisissez **-pièce2** – comme une pièce empreinte, Cliquez sur OK.

## TP4 Conception les deux plateaux de moule



21-Sauvegardez –la sous le nom - pièce empreinte 2-

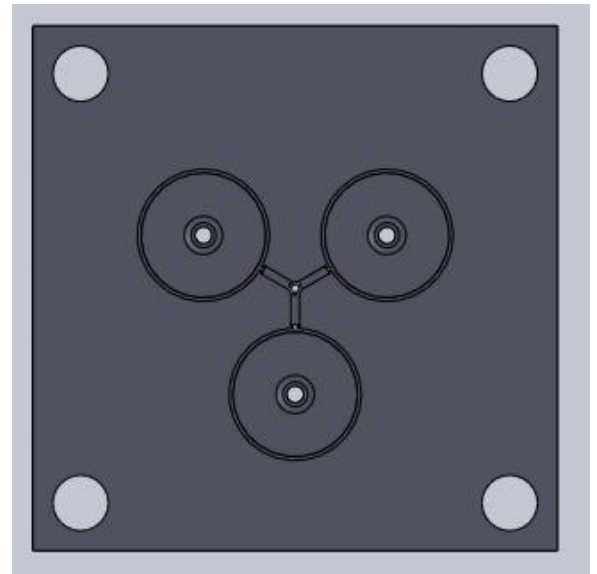
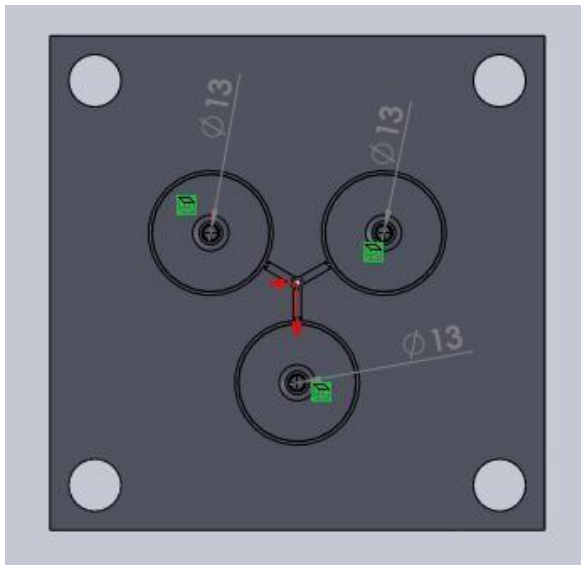


**Remarque :** réalisez les procédés suivants dans la même pièce précédente (pièce empreinte 2).

## TP4 Conception les deux plateaux de moule

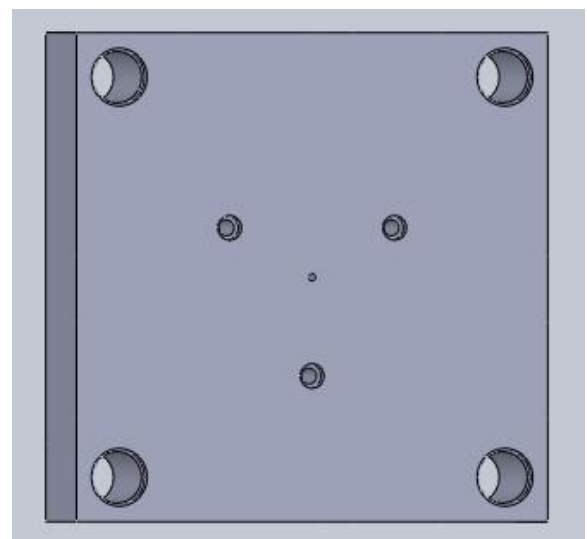
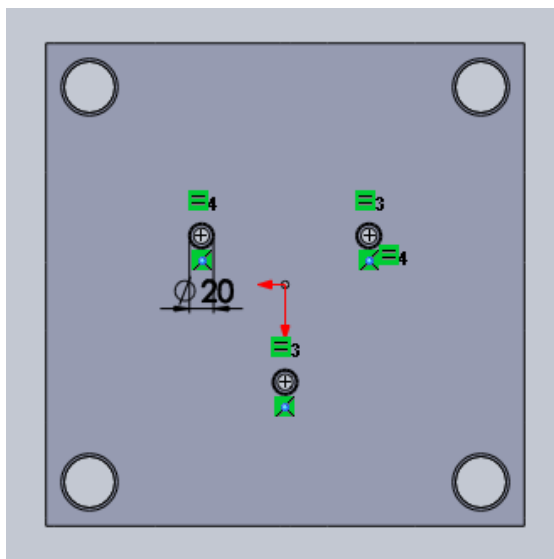
22- Dessinez l'esquisse suivante.

23- Cliquez sur la fonction « Enlèvement de matière », puis cliquez sur OK.



24+ Dessinez l'esquisse suivante.

25- Cliquez sur la fonction « Enlèvement de matière », entrez une valeur 10 mm. puis cliquez sur OK.

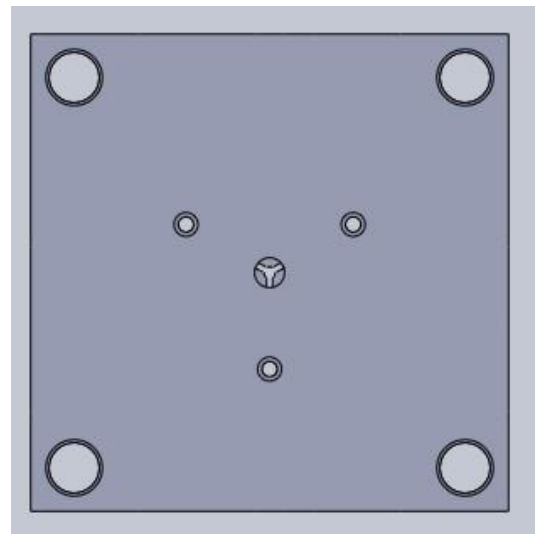
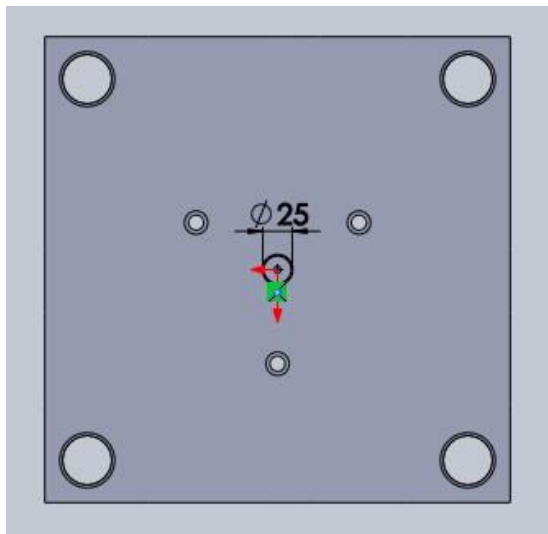


26- Dessinez l'esquisse suivante.

27- Cliquez sur la fonction « Enlèvement de matière », entrez une valeur 93.90 mm. puis cliquez sur OK.

## TP4 Simulation de moulage et d'injection

---



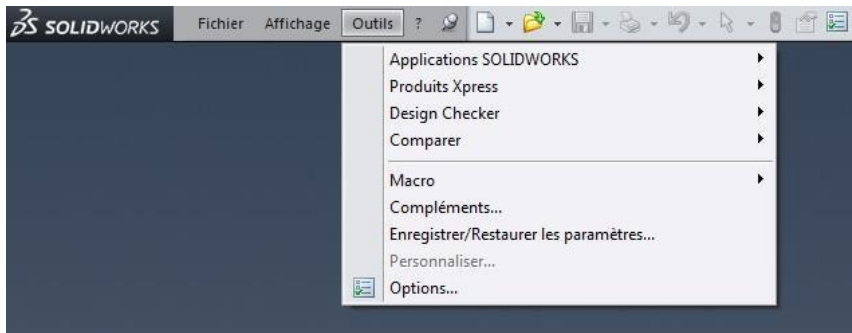
## TP5 Simulation de la pièce d'injection plastique

### But ce TP :

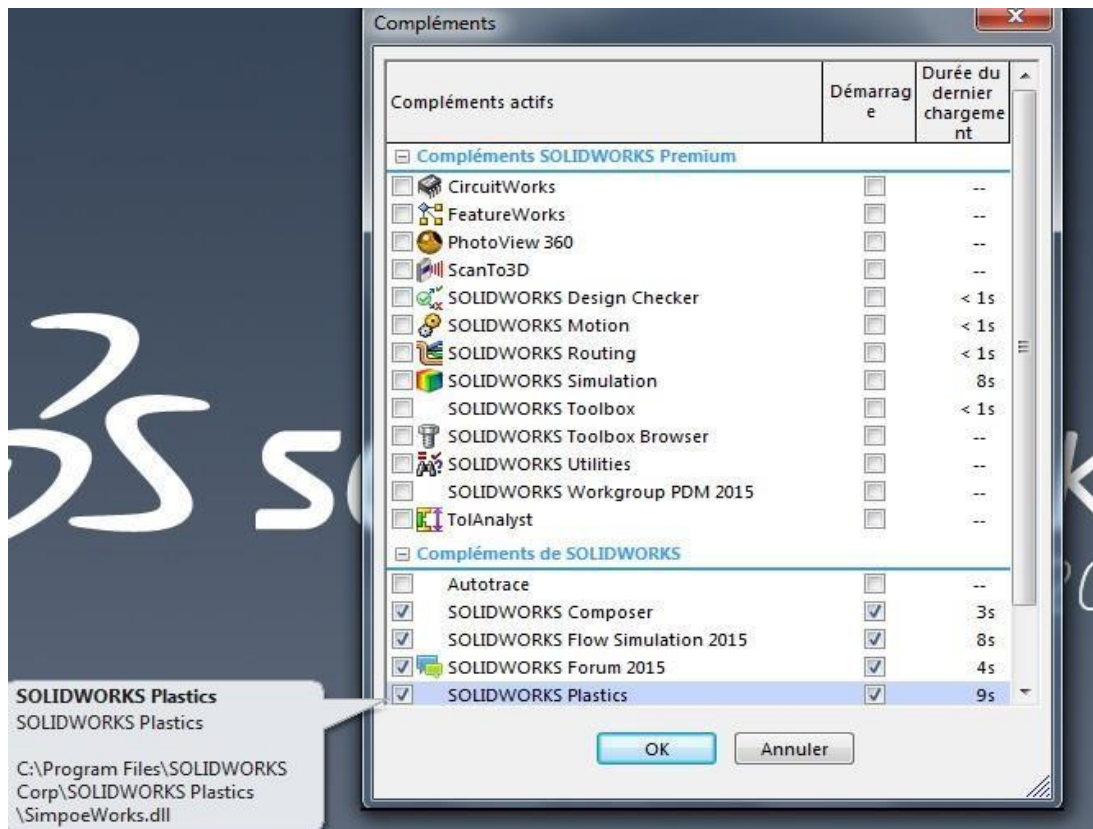
SolidWorks Plastics propose une simulation de moulage par injection facile à utiliser qui s'adresse directement aux concepteurs de pièces en plastique et de moules à injection. Cette solution simule l'écoulement du plastique fondu au cours du processus de moulage par injection afin de montrer la simulation le remplissage de la zone projetée et de déterminer la température, la pression et les contraintes de cisaillement etc....

Avec SolidWorks plastics simuler le remplissage de la zone projetée :

1. Dans le menu Outils, sélectionner compléments :



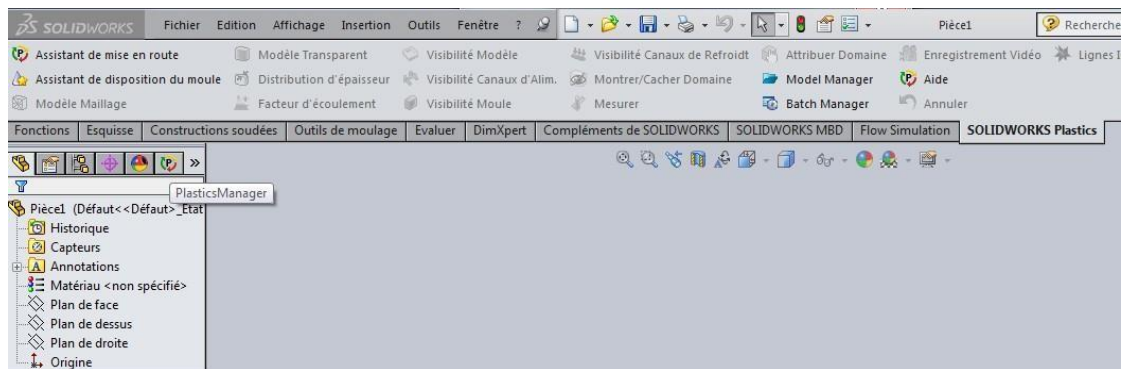
2. Cocher SolidWorks Plastic :





## TP5 Simulation de la pièce d'injection plastique

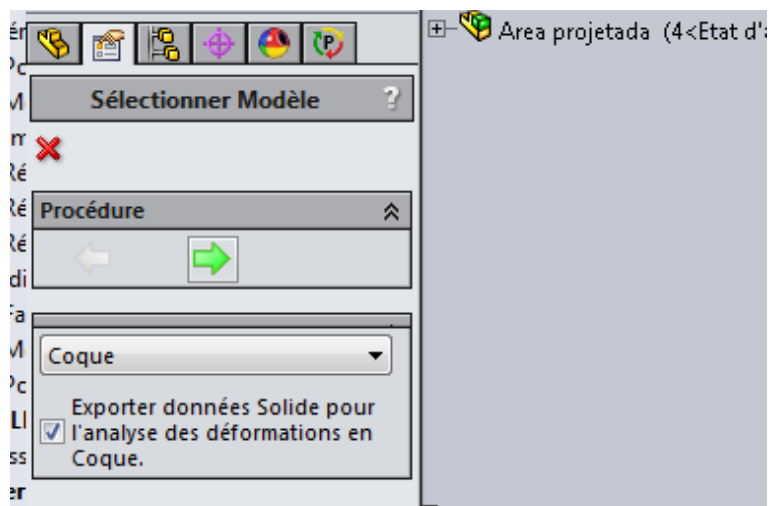
3. Basculer dans l'onglet Plastics :



4. Faire un clic droit sur Mailler / Coque et choisir Manuel :

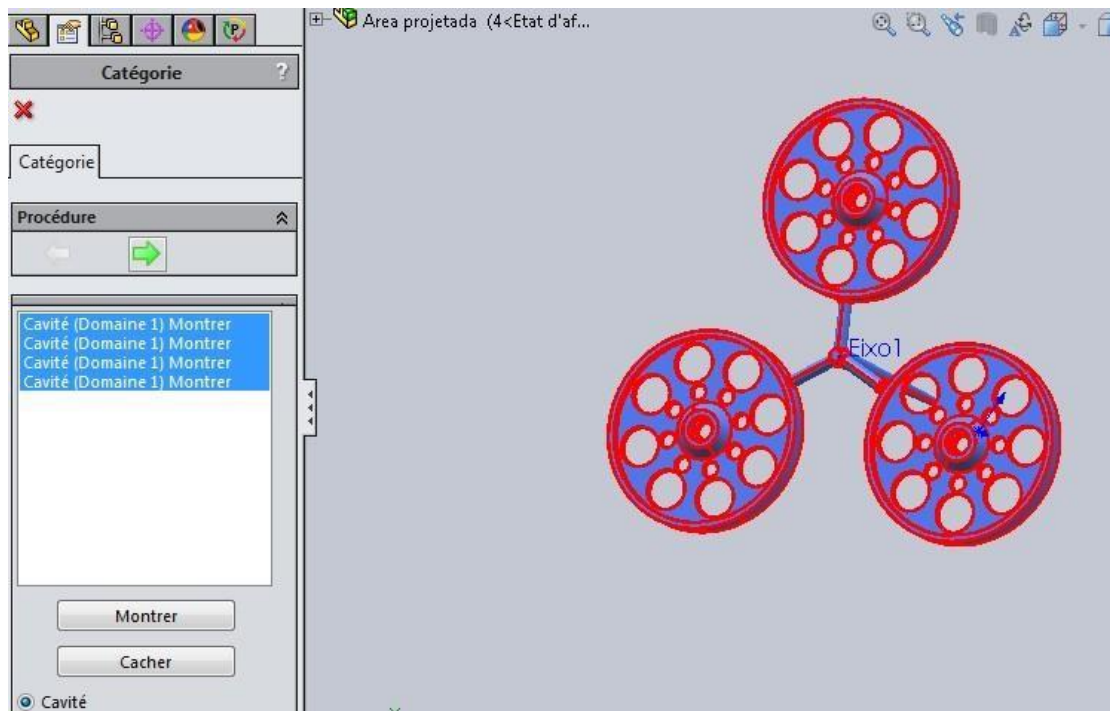


5. Cliquez sur le vert.

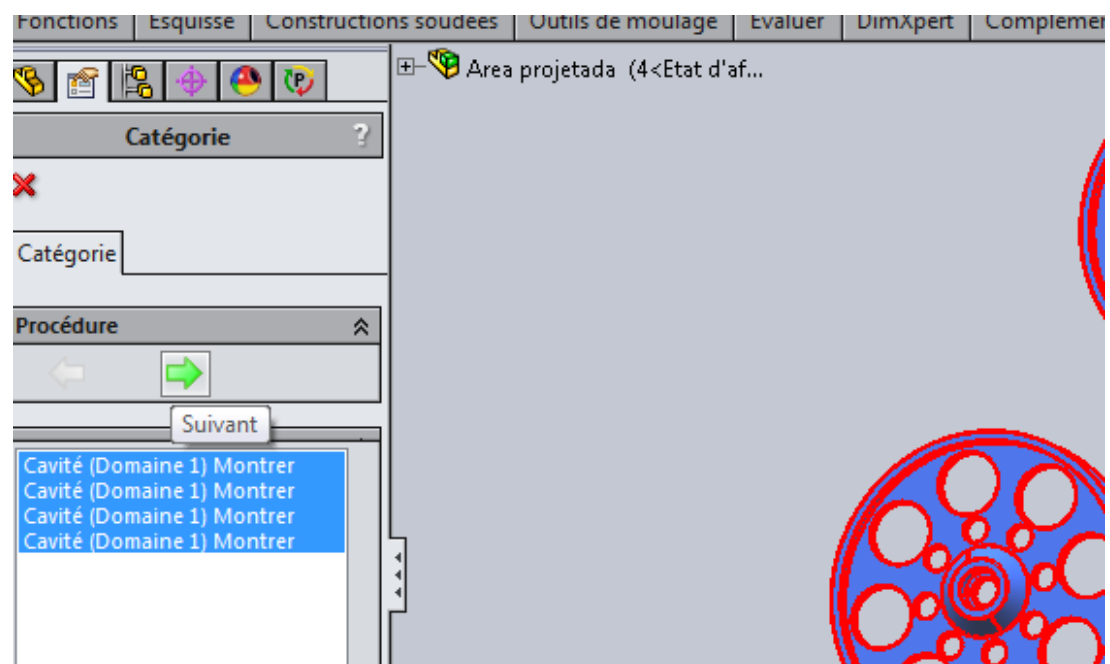


## TP5 Simulation de la pièce d'injection plastique

6. Sélectionnez les cavités suivantes

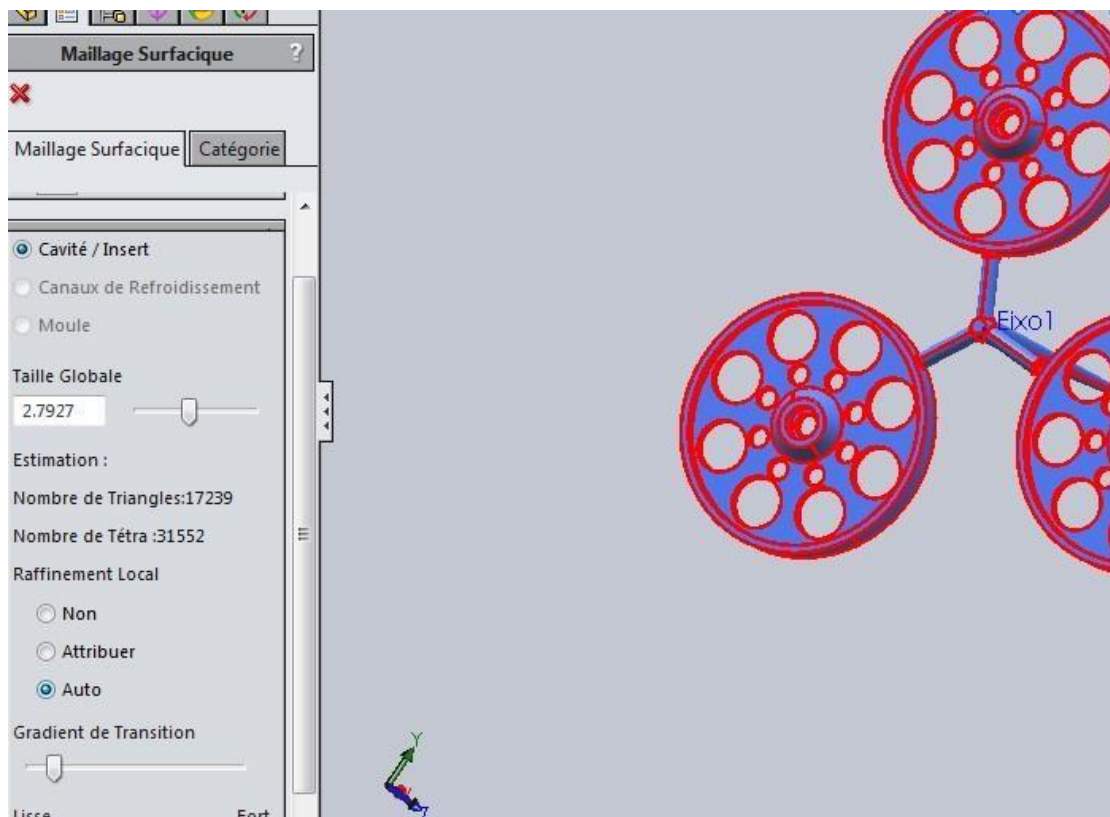


7. Cliquez sur le vert.

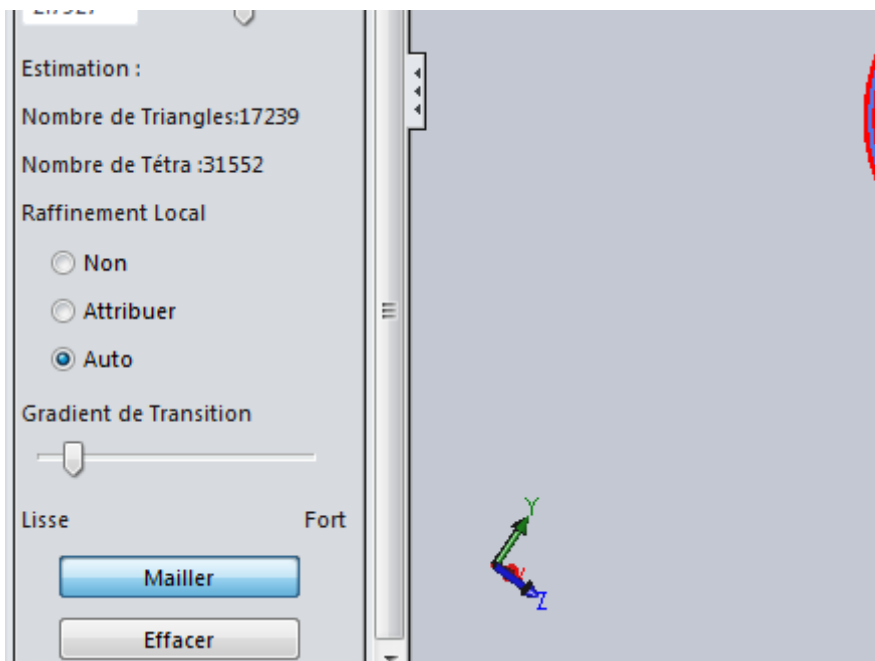


## TP5 Simulation de la pièce d'injection plastique

8. Choisissez le type Auto de raffinement local :



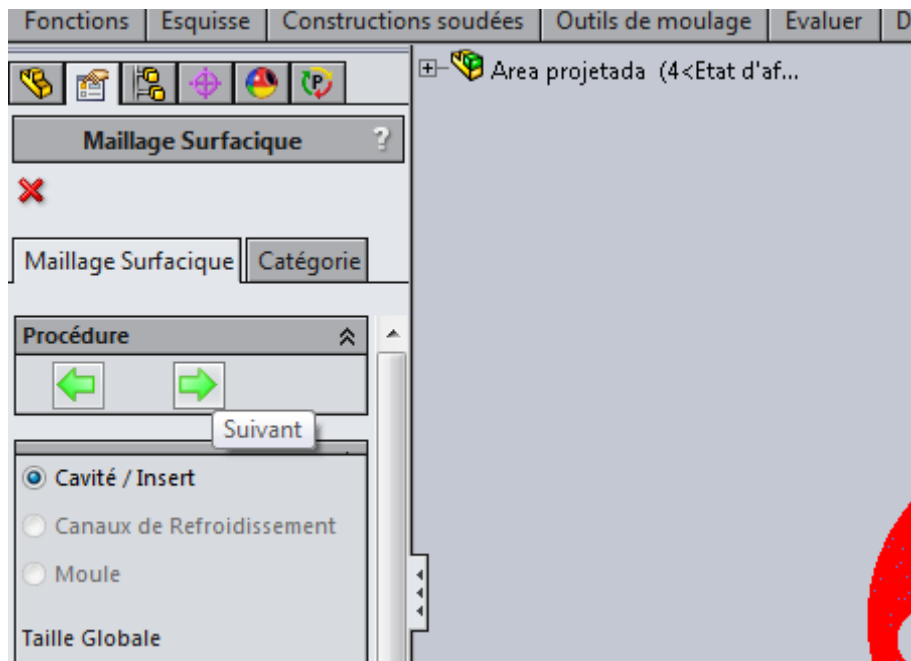
9. Cliquez sur Mailler



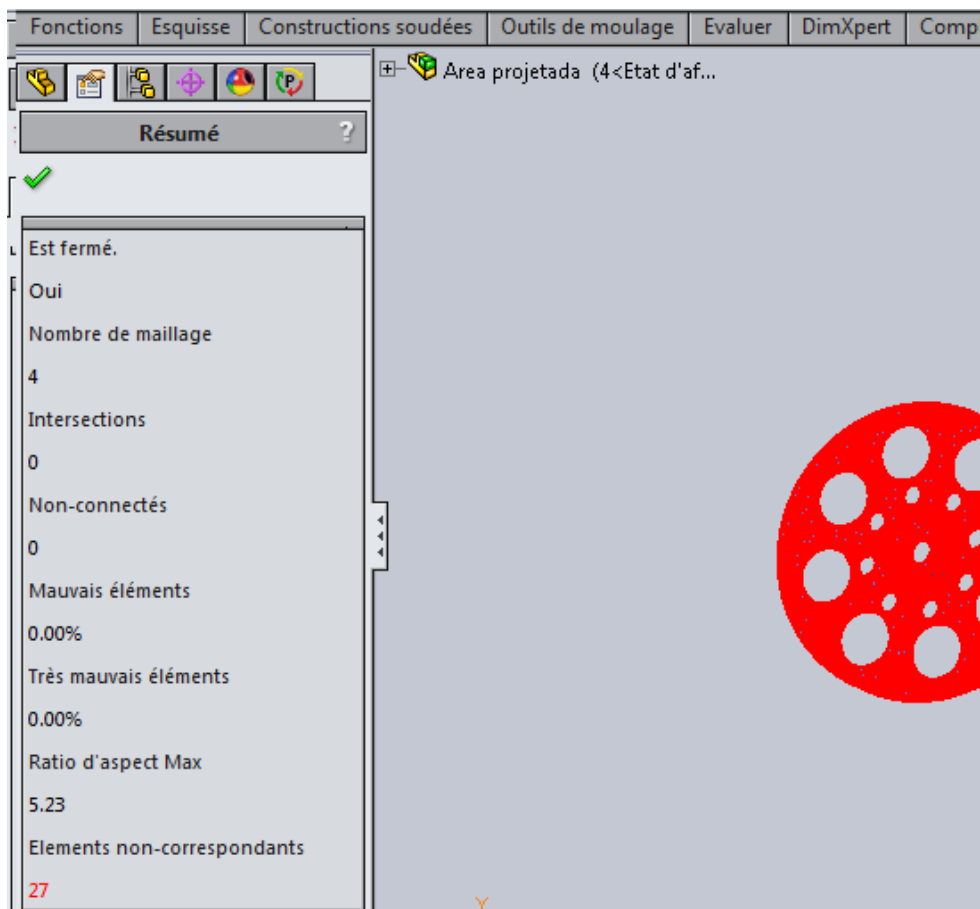
Le maillage permet de représenter mathématiquement le domaine de manière à ce qu'il soit traitable par un ordinateur.

## TP5 Simulation de la pièce d'injection plastique

10. Cliquez sur –Suivant–

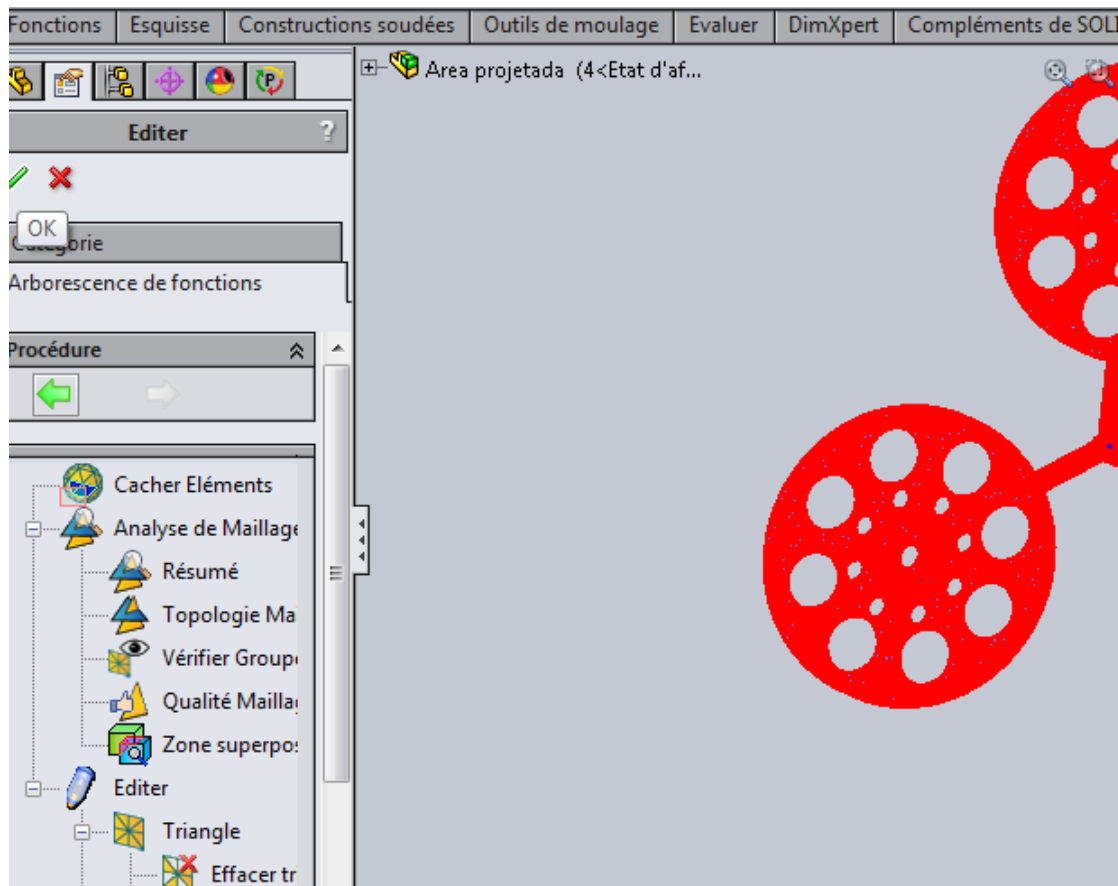


11. Cliquez sur le vert.

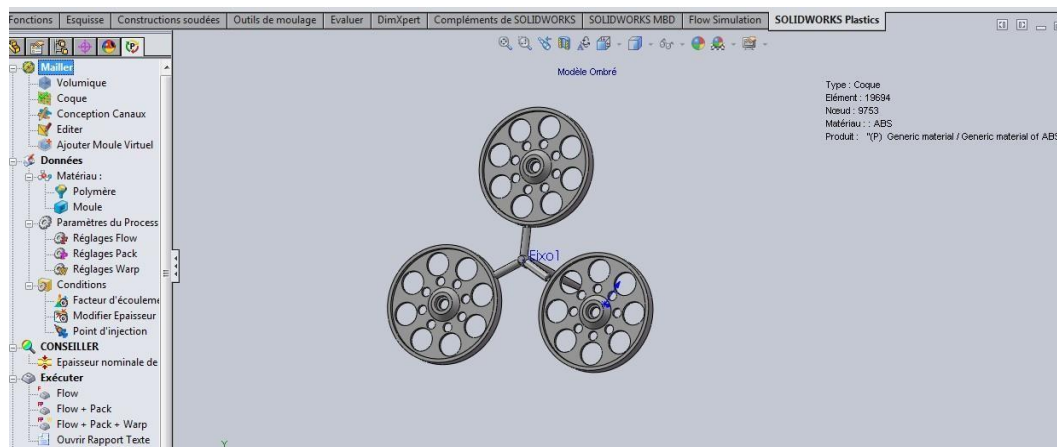


## TP5 Simulation de la pièce d'injection plastique

12. Maintenant, validez le maillage en cliquant sur le vert.

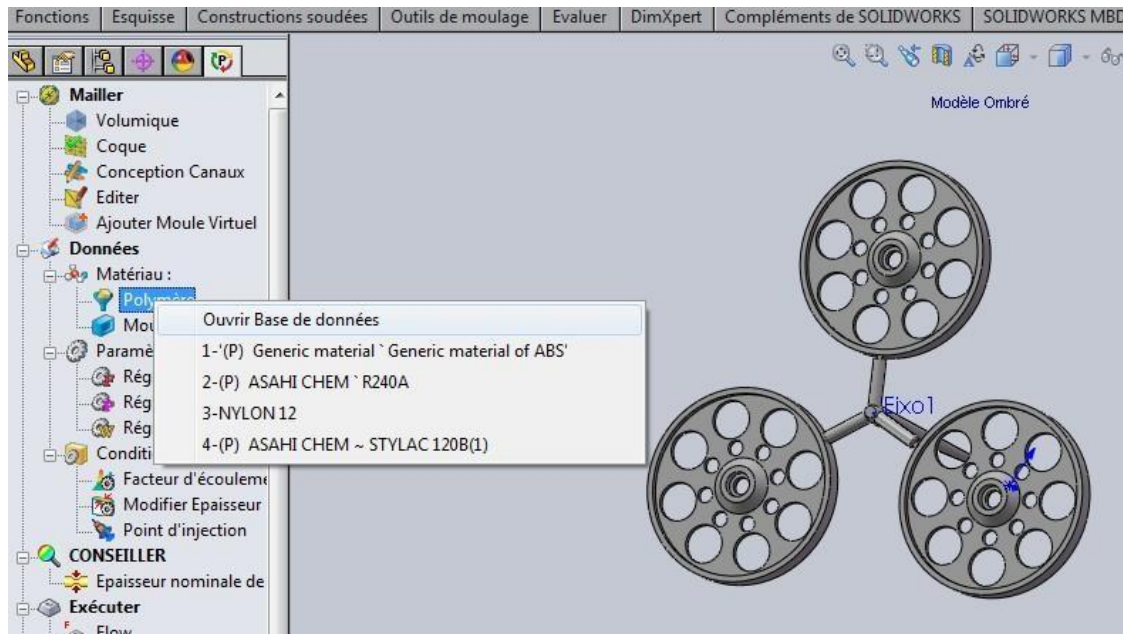


13. Donc, le premier parti du moule se termine.

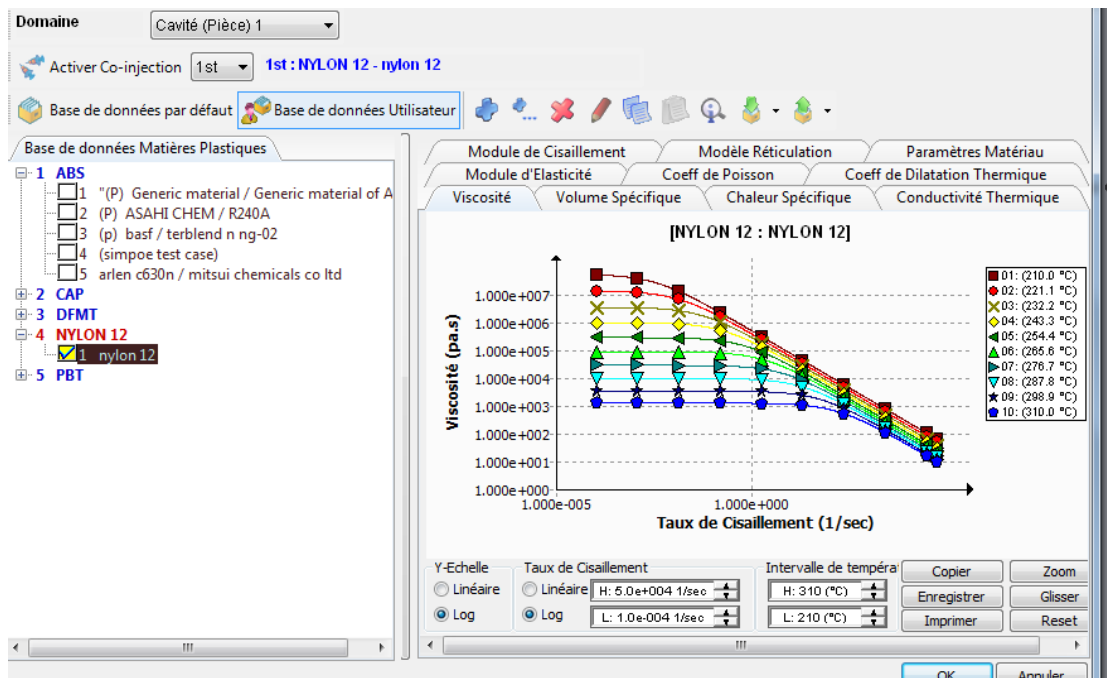


## TP5 Simulation de la pièce d'injection plastique

14. Faire un clic droit sur Données/Matériau/Polymère, puis choisir d'ouvrir la base de données :



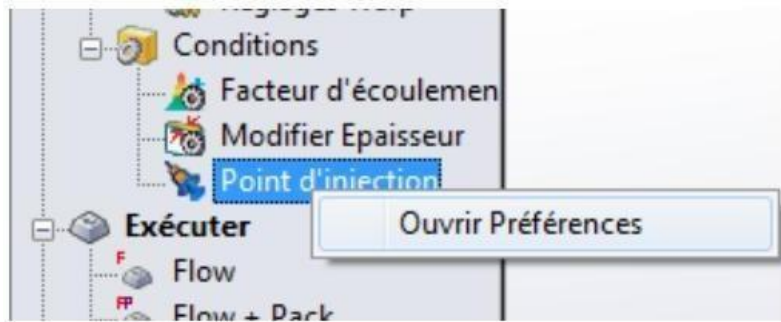
15. Choisissez dans la liste suivante le type de nylon .



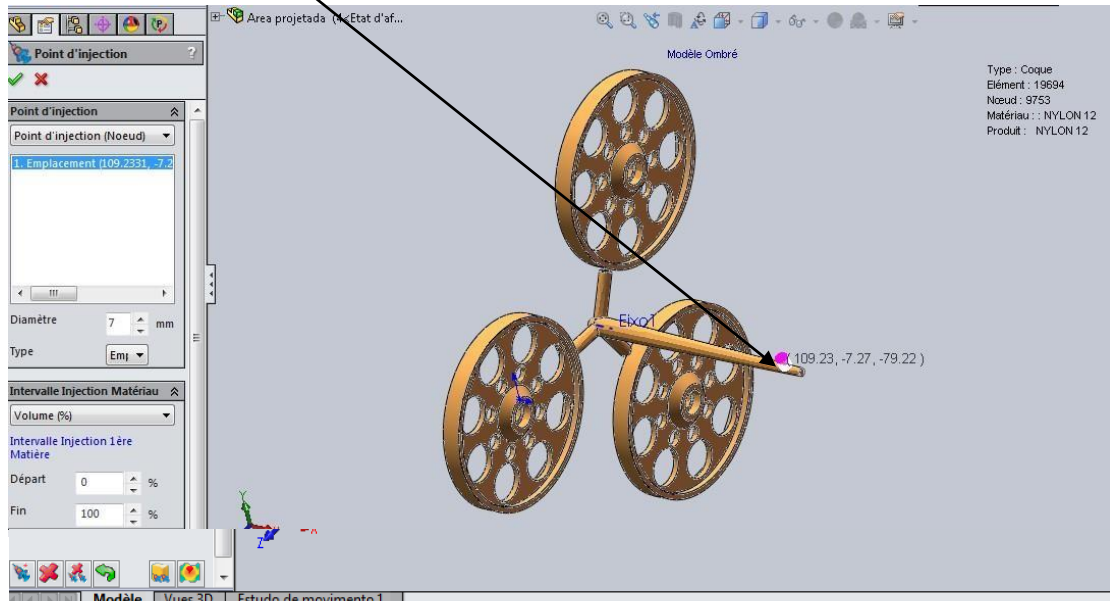
Vérifier que le matériau est bien sélectionné, puis valider avec le bouton Ok.

16. Faire un double clic dans le menu Données/Conditions/Point d'injection :

## TP5 Simulation de la pièce d'injection plastique



17. Cliquez sur le point suivant dans la vue ci-dessous :

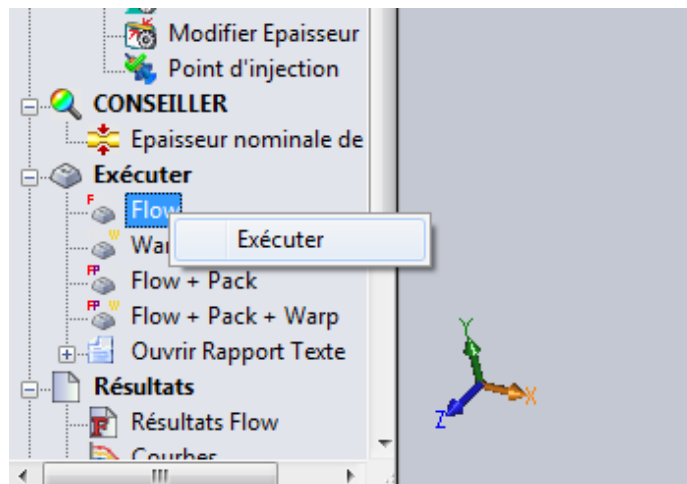


Le point d'injection définit l'emplacement du point de remplissage de la pièce en polymère fondu : point autrement appelé le seuil.

18. Une fois le point sélectionné l'ajouter comme point d'injection avec l'icône de petite seringue :

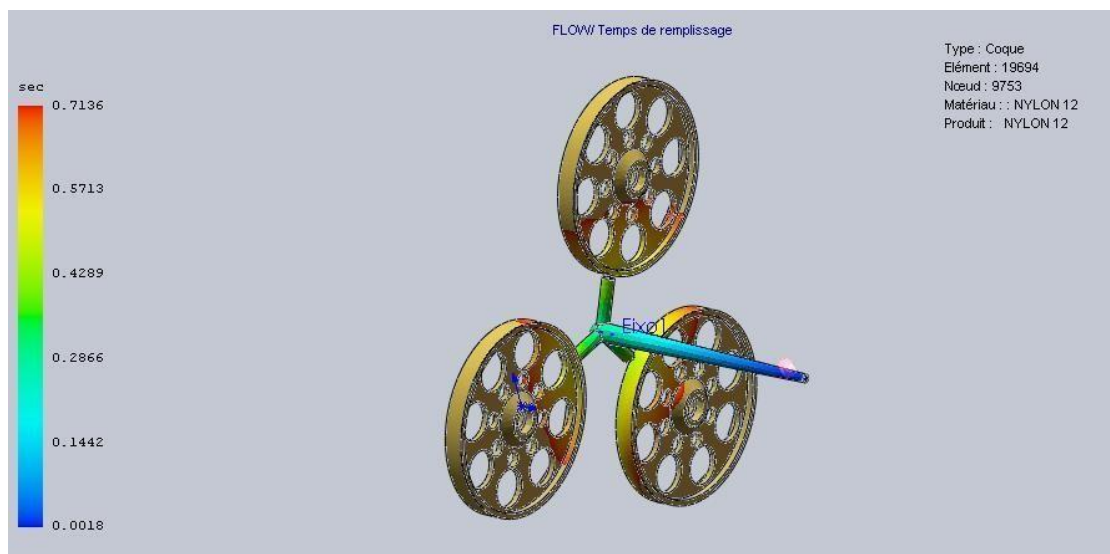
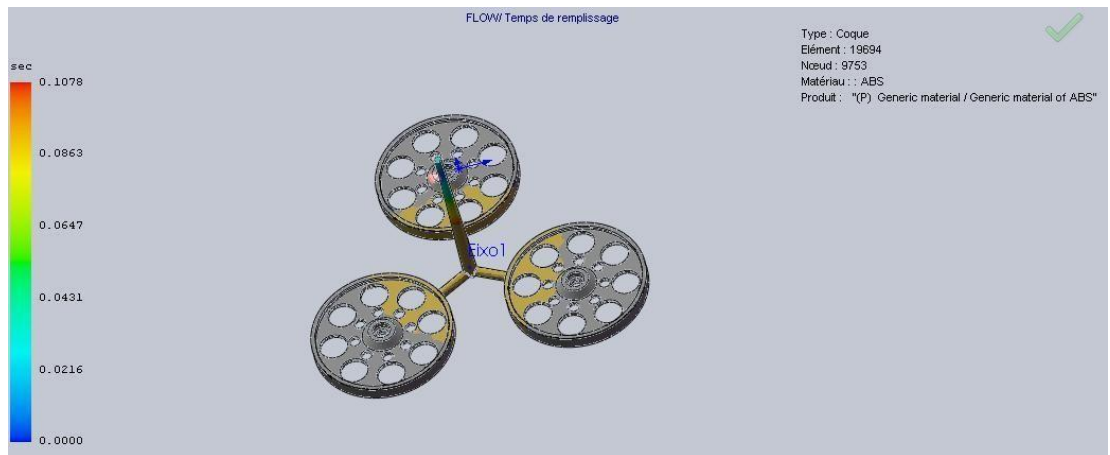
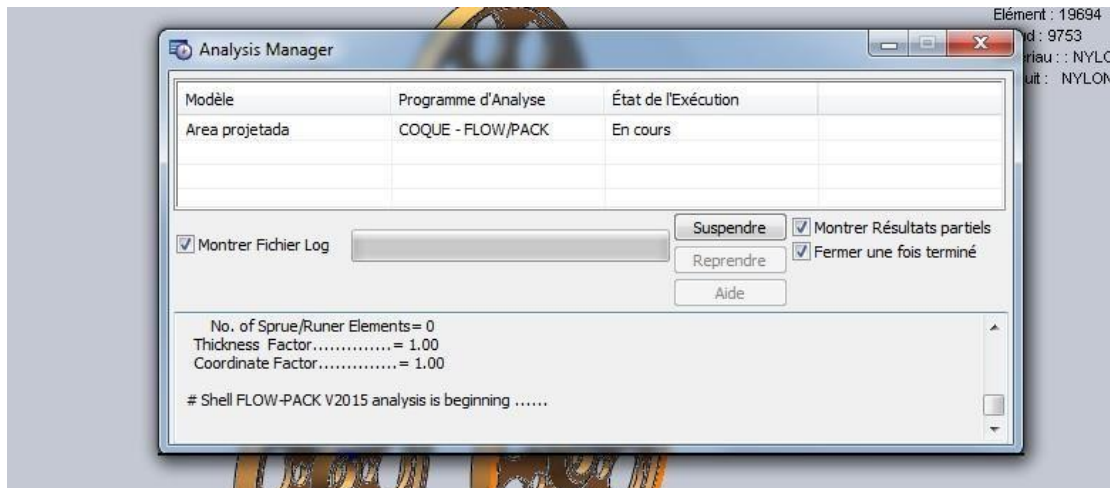
Vérifier que le point s'est bien ajouté dans la liste, puis valider.

19. Faire un clic droit dans le menu Exécuter/Flow puis Exécuter



## TP5 Simulation de la pièce d'injection plastique

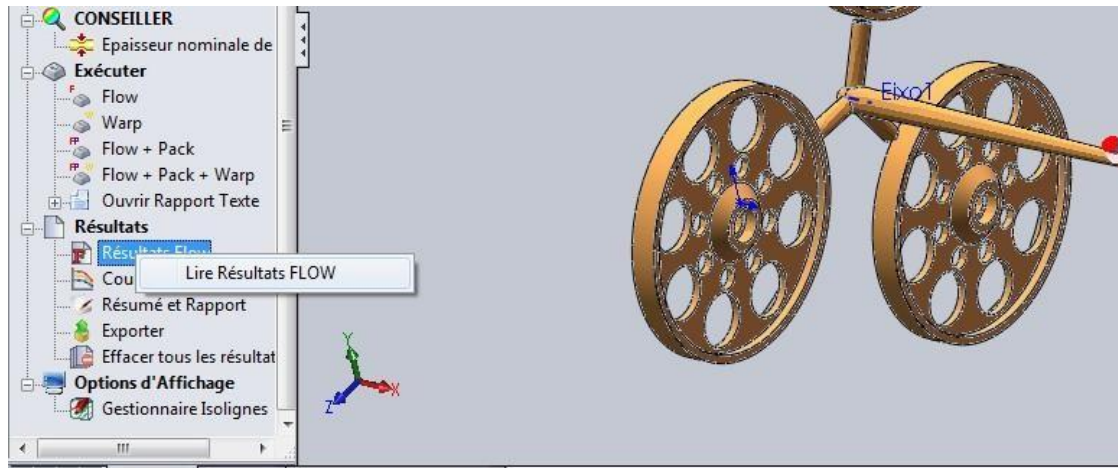
Le calcul se lance



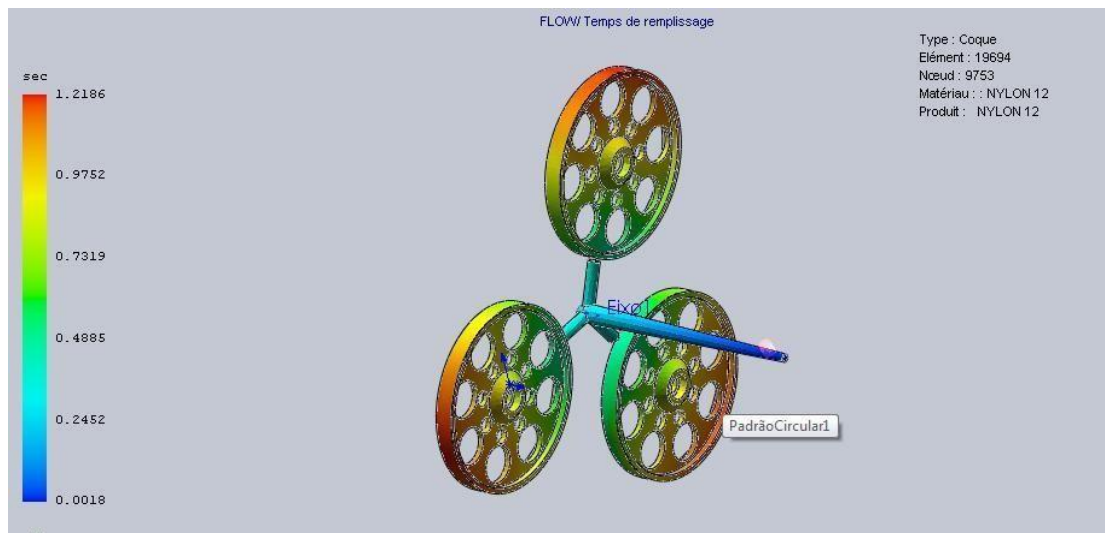
21. Une fois les calculs terminés les résultats s'affichent. Si vous avez fermé la fenêtre des résultats elle est accessible dans le menu Résultats/Résultats flow :



## TP5 Simulation de la pièce d'injection plastique



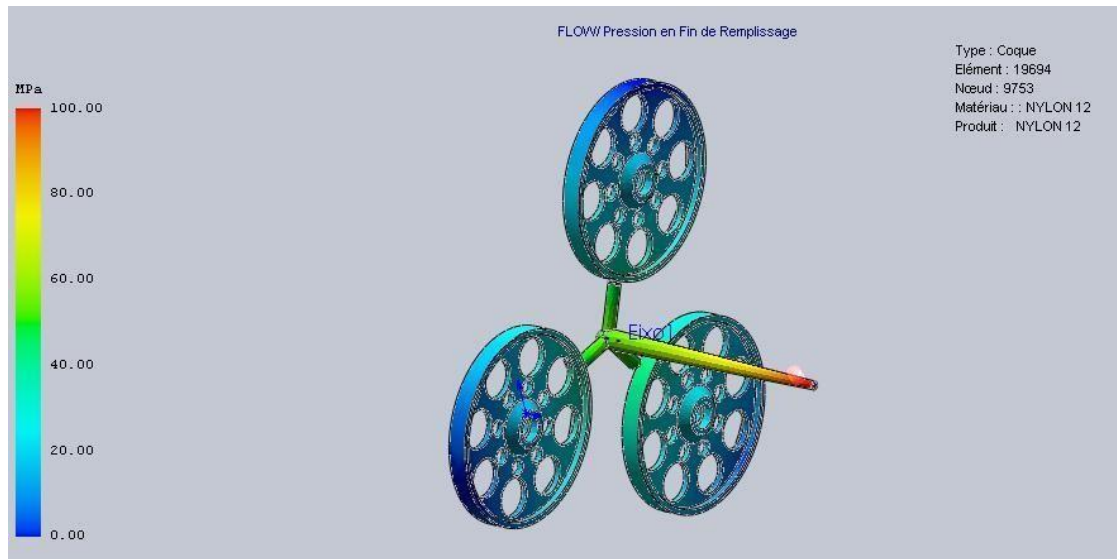
22. Analyser d'abord le résultat temps de remplissage en jouant l'animation du remplissage:



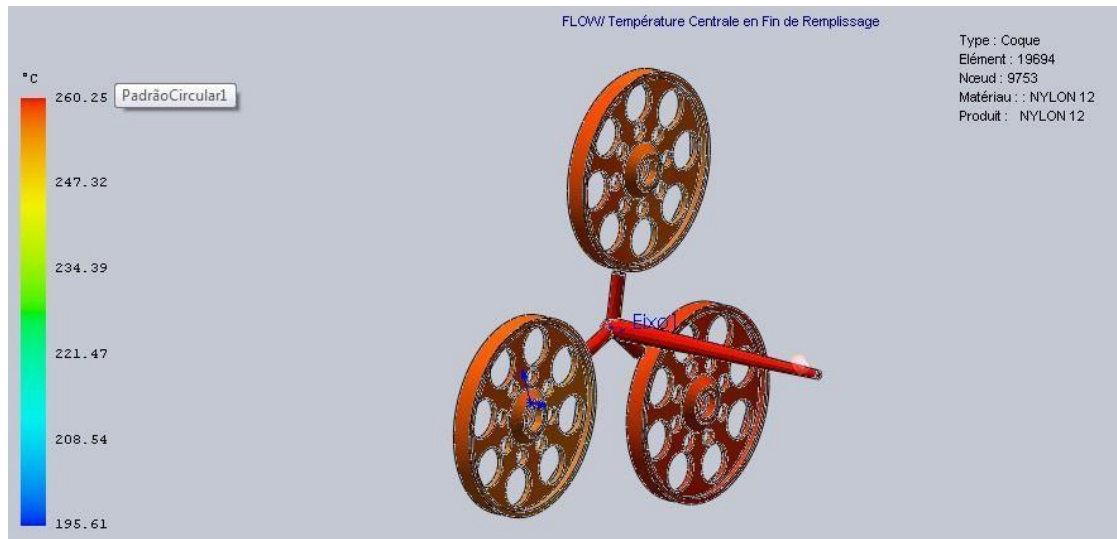
23. Puis cocher les cases suivantes pour voir flow pression en fin de remplissage, flow température centrale fin de remplissage, flow température moyenne fin de remplissage, flow température pondérée fin de remplissage, flow température centrale du front de matière, élévation de température, flow contraintes de cisaillement en fin de remplissage, flow taux de cisaillement en fin de remplissage, flow retrait volumique, flow fraction grain solide en fin remplissage, flow temps de refroidissement, température en fin de remplissage, flow retassures, flow contribution au remplissage par seuil et facilité de remplissage, respectivement.

## TP5 Simulation de la pièce d'injection plastique

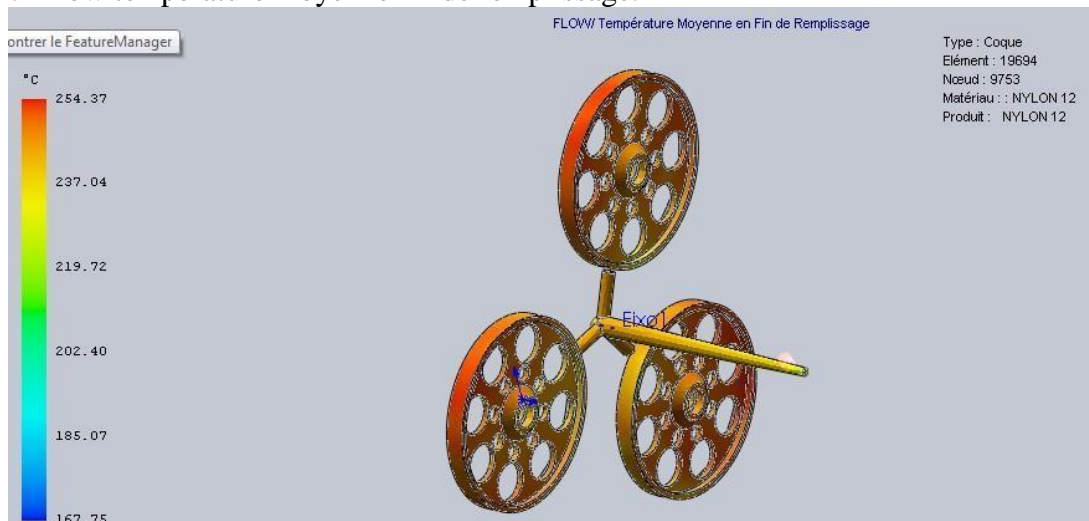
### a- Flow pression en fin de remplissage



### b- Flow température centrale fin de remplissage

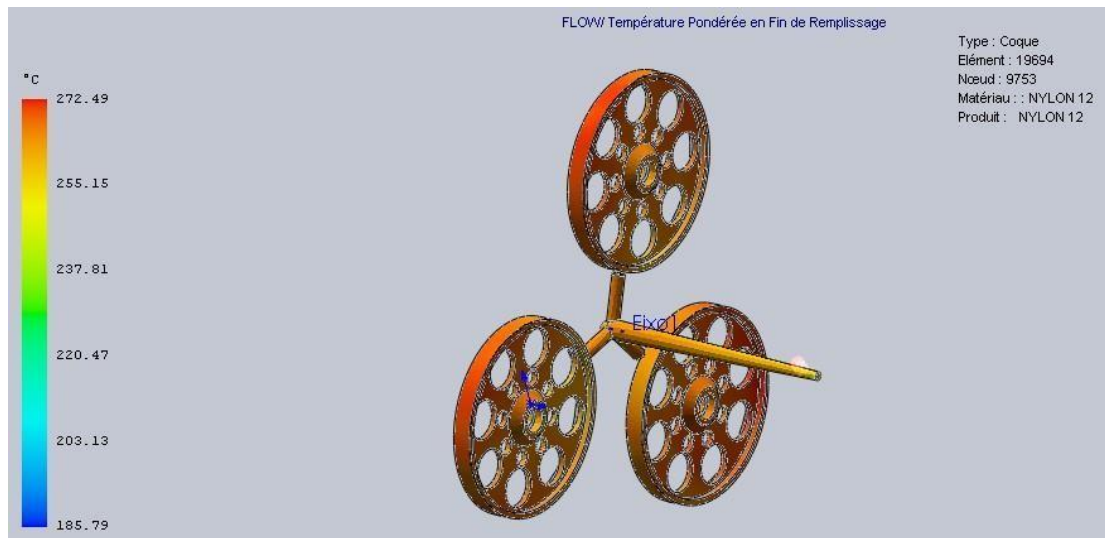


### c- Flow température moyenne fin de remplissage.

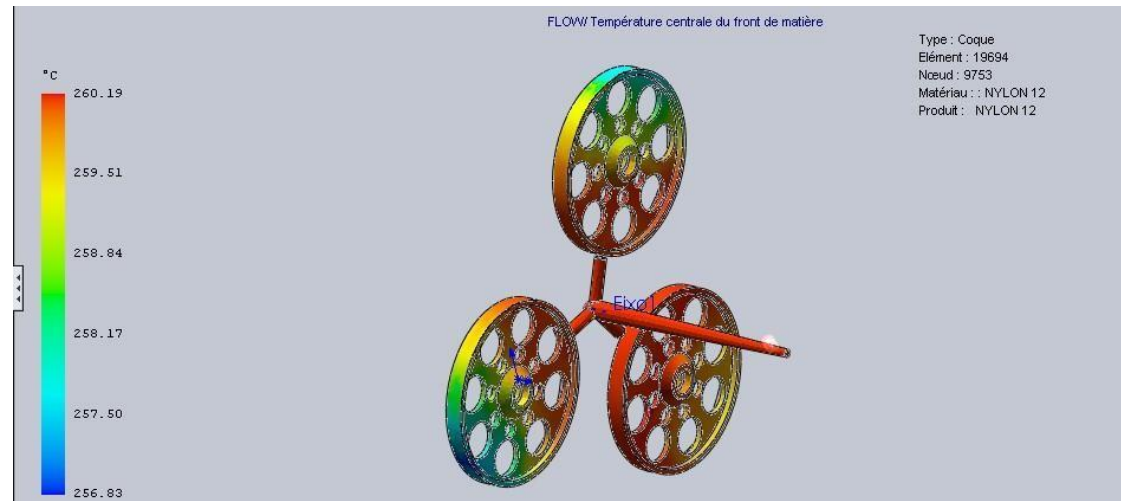


## TP5 Simulation de la pièce d'injection plastique

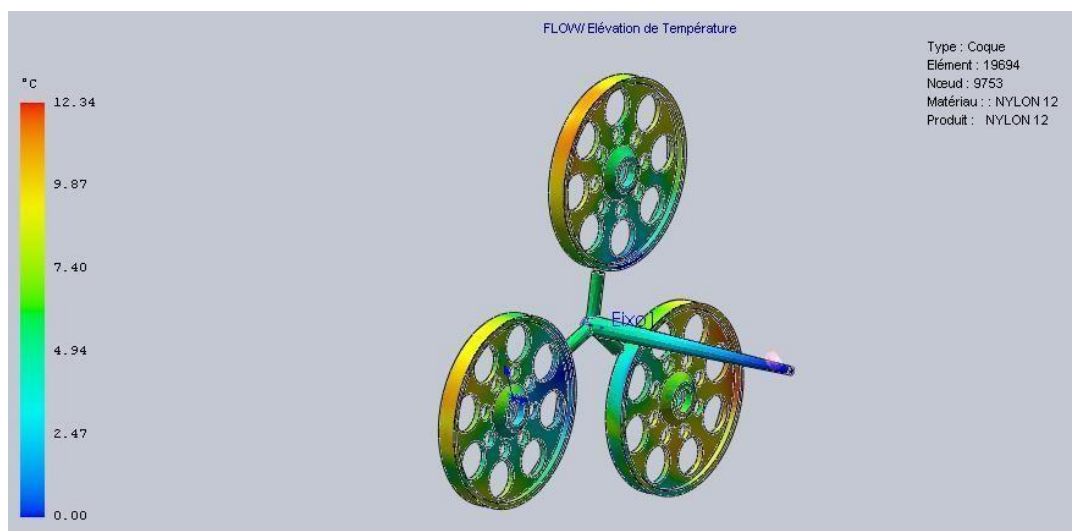
### d-Flow température pondérée fin de remplissage



### e- Flow température centrale du front de matière.

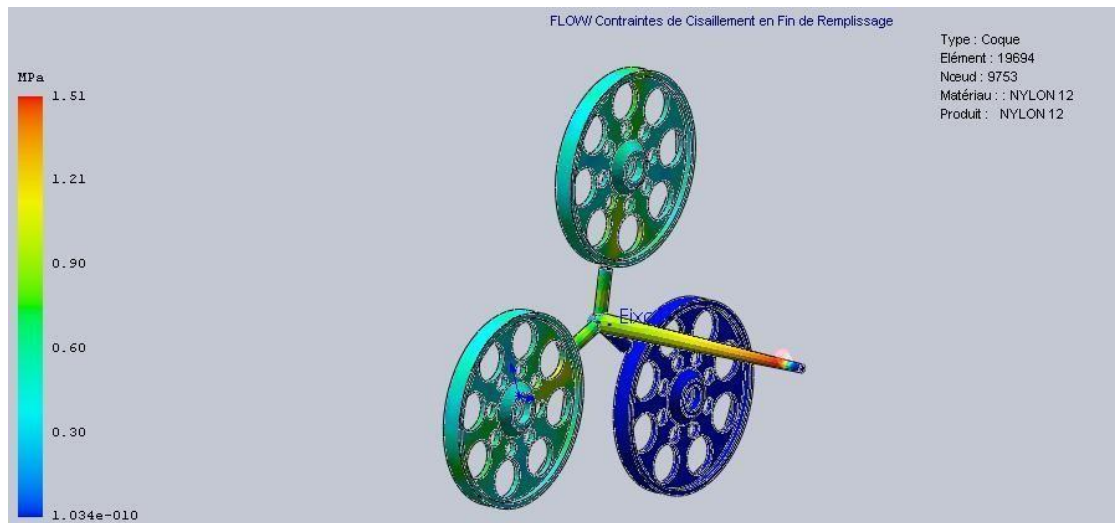


### f- Elévation de température

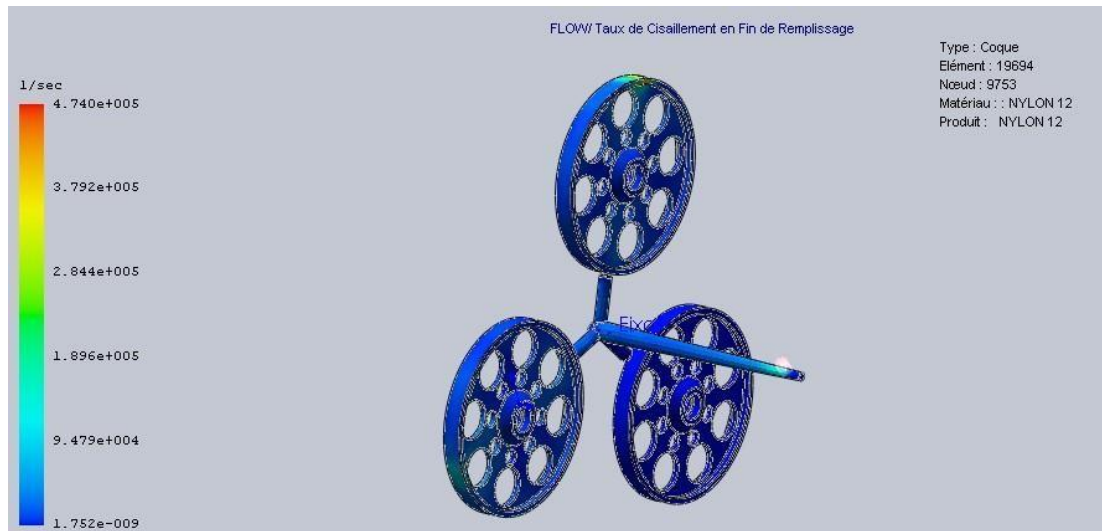


## TP5 Simulation de la pièce d'injection plastique

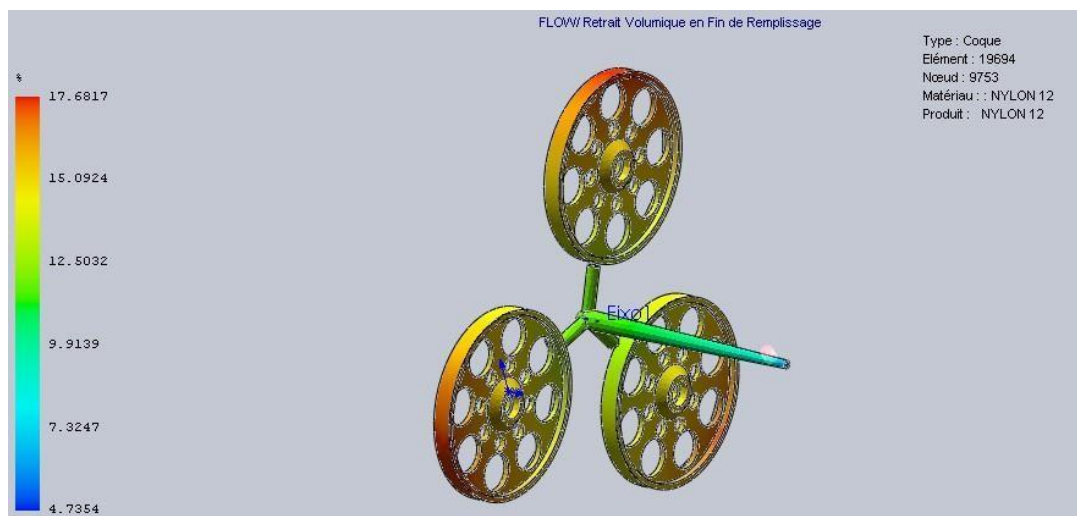
### g-Flow contraintes de cisaillement en fin de remplissage



### h- Taux de cisaillement en fin de remplissage

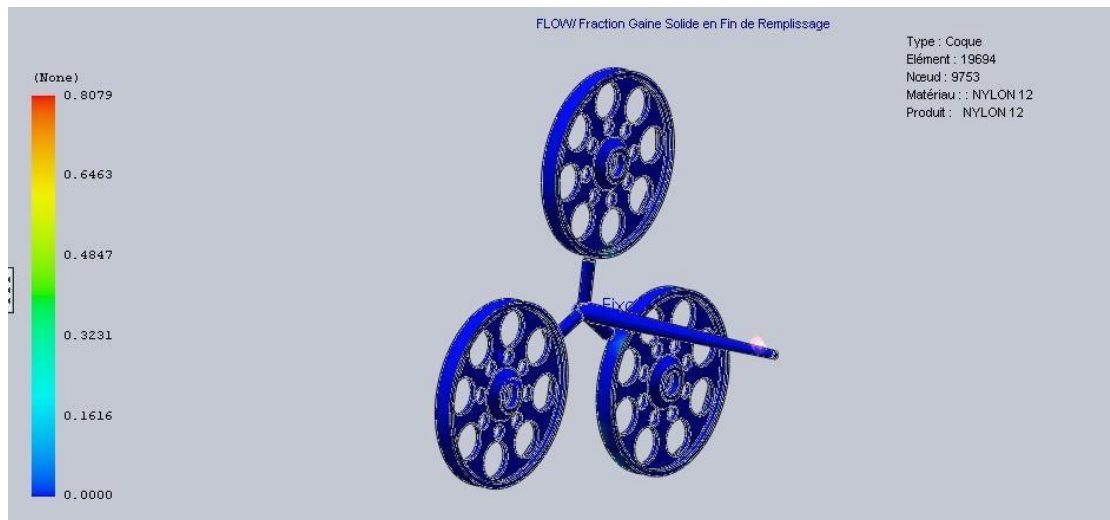


### i-Flow retrait volumique

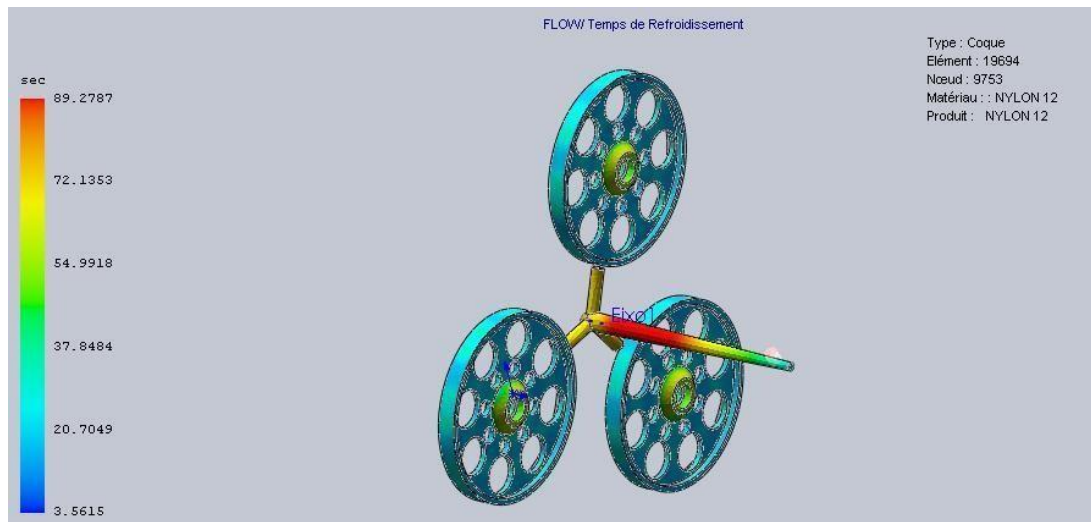


## TP5 Simulation de la pièce d'injection plastique

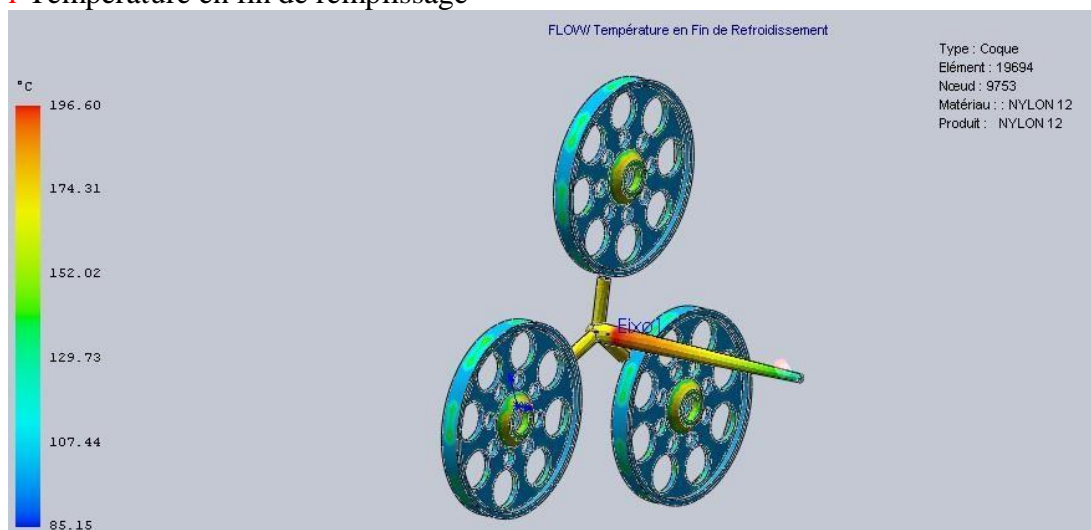
### j-Flow fraction grain solide en fin remplissage



### k-Flow temps de refroidissement

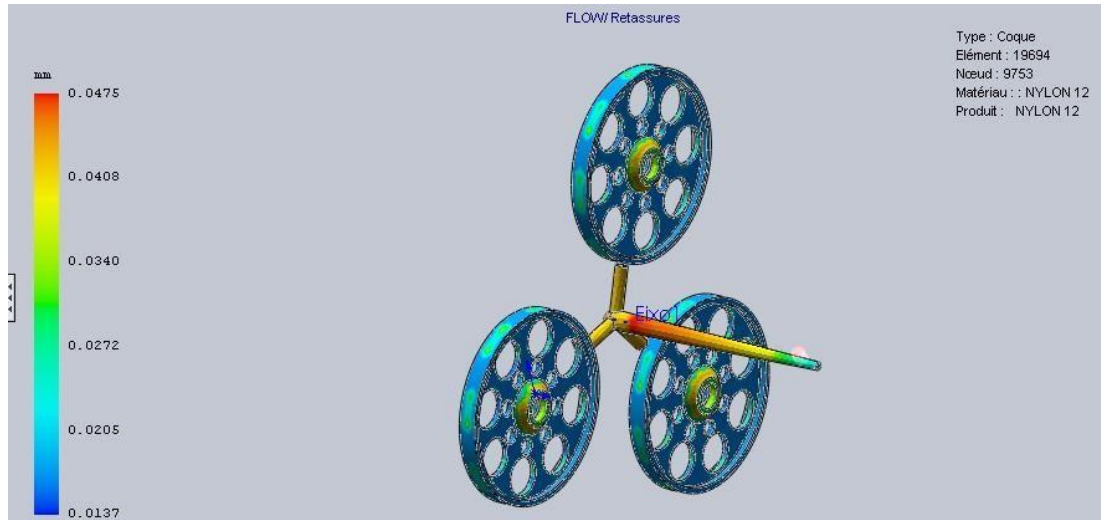


### l-Température en fin de remplissage

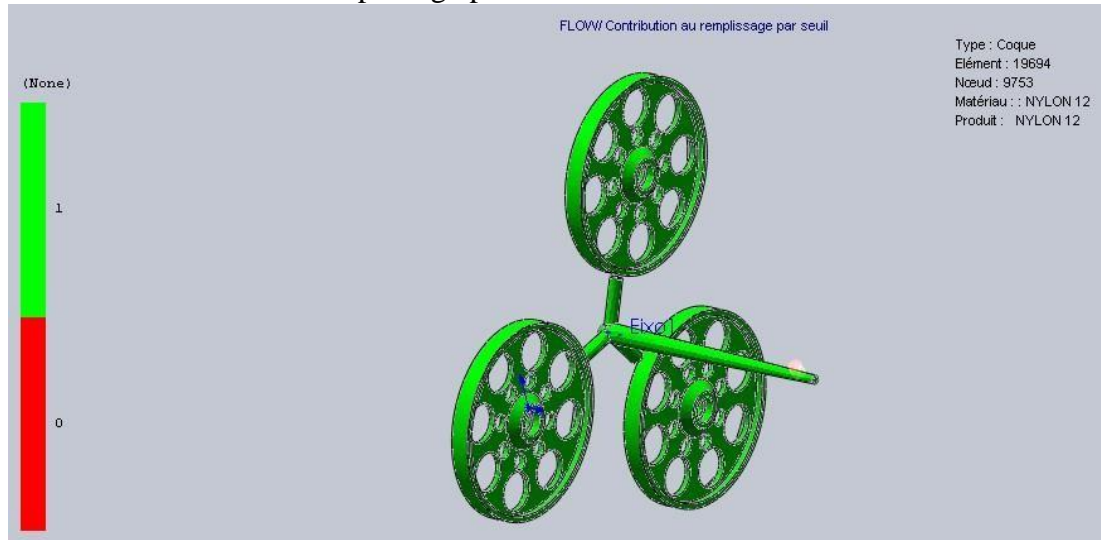


## TP5 Simulation de la pièce d'injection plastique

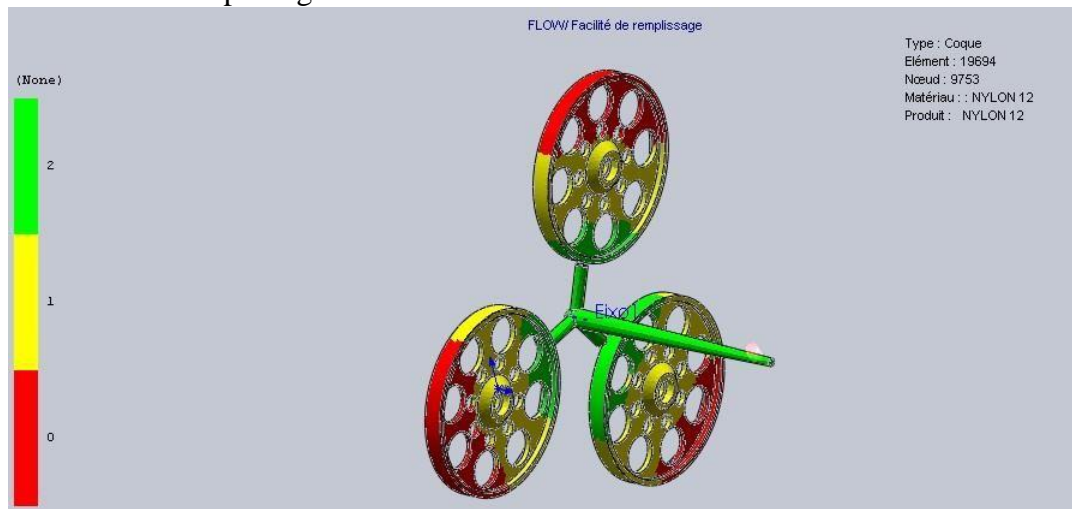
### m-Flow retassures



### n-Flow contribution au remplissage par seuil

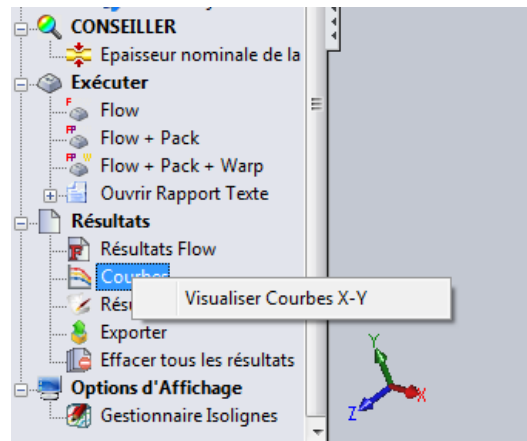


### o-Facilité de remplissage



## TP5 Simulation de la pièce d'injection plastique

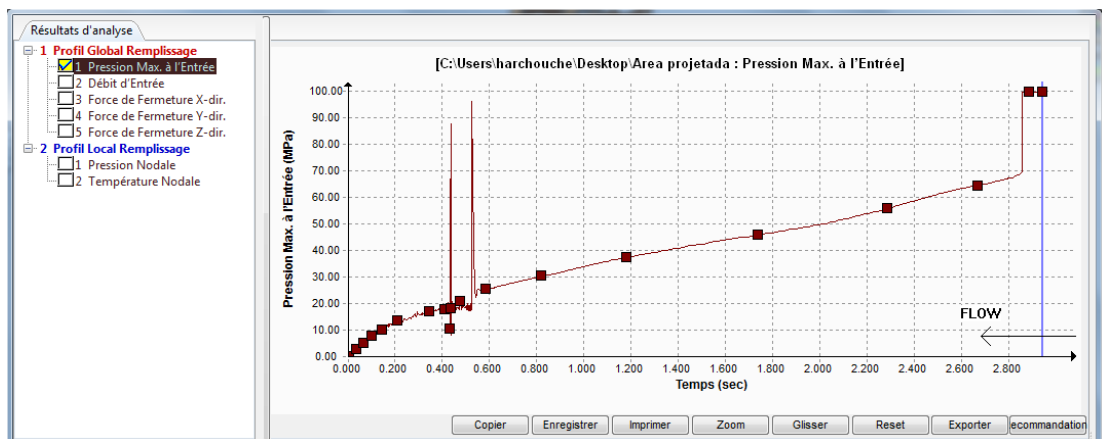
24. Faire un clic droit sur courbes pour voir la visualisation des courbes.



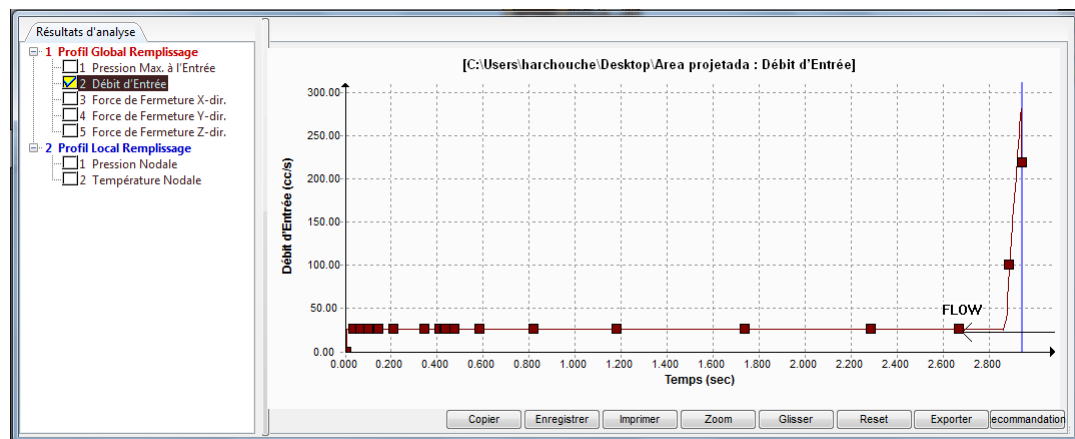
25. Puis cocher la case suivante ; profil global remplissage (pression Max à l'entrée. Débit d'Entrée, Force de Fermeture X-dir, Force de Fermeture Y-dir et Force de Fermeture Z-dir) et profil global remplissage,( pression Nodale et Température Nodale ), respectivement .

1- Profil global remplissage

a- Pression Max.à l'entrée.

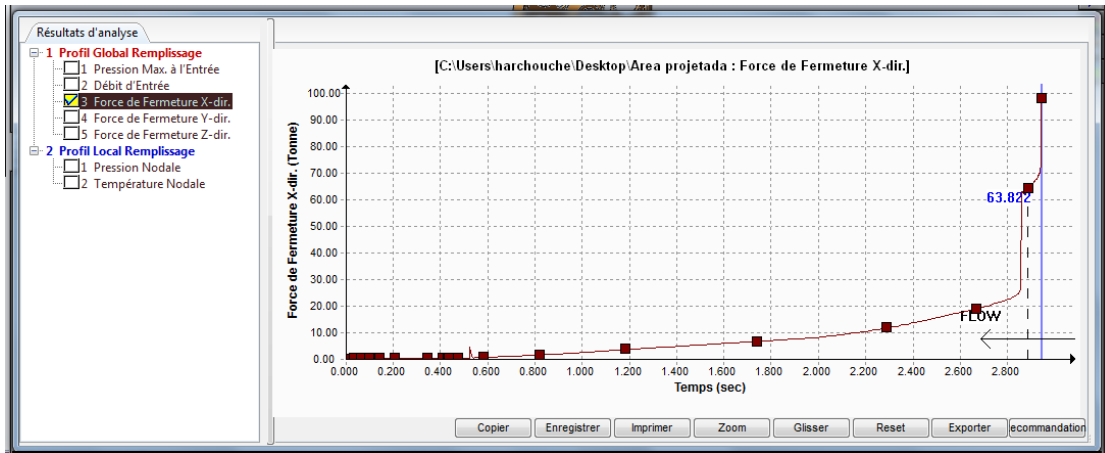


b- Débit d'Entrée

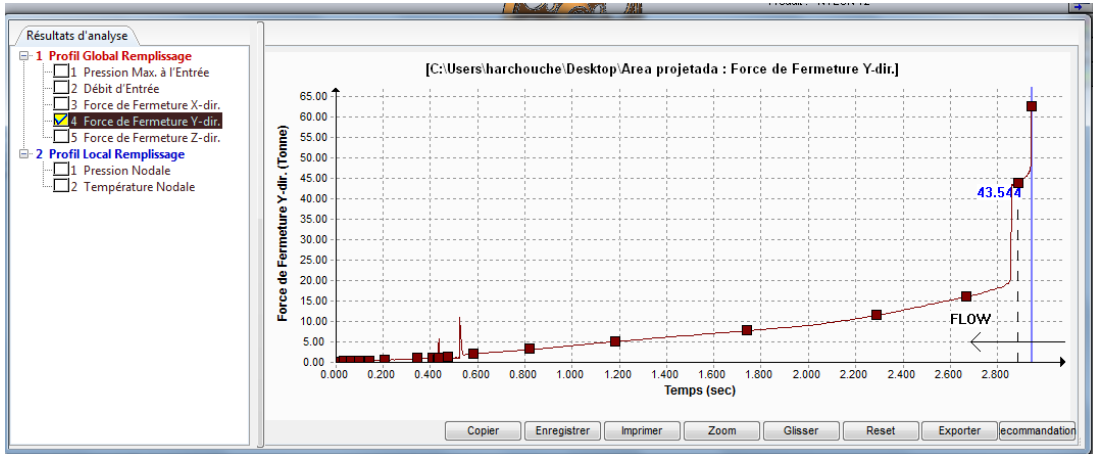


# TP5 Simulation de la pièce d'injection plastique

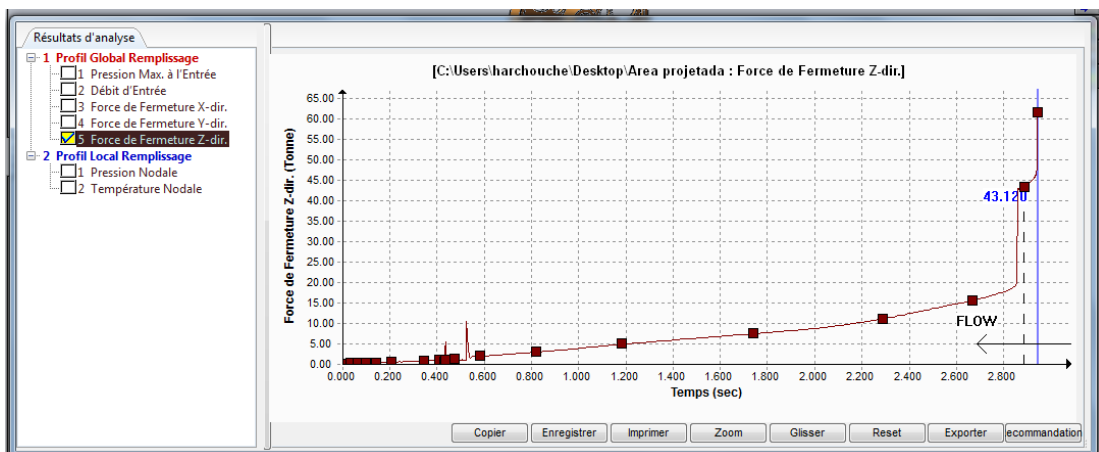
## c- Force de Fermeture X-dir



## d- Force de Fermeture Y-dir



## e- Force de Fermeture Z-dir

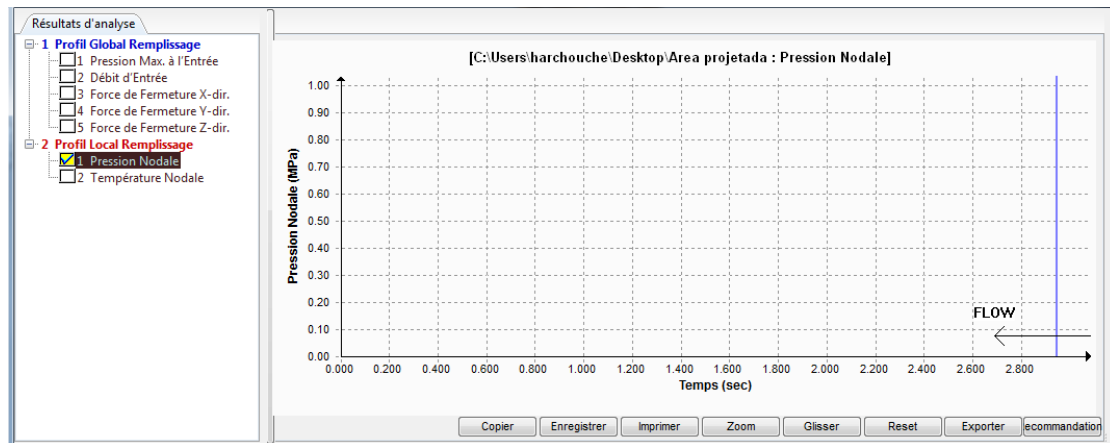




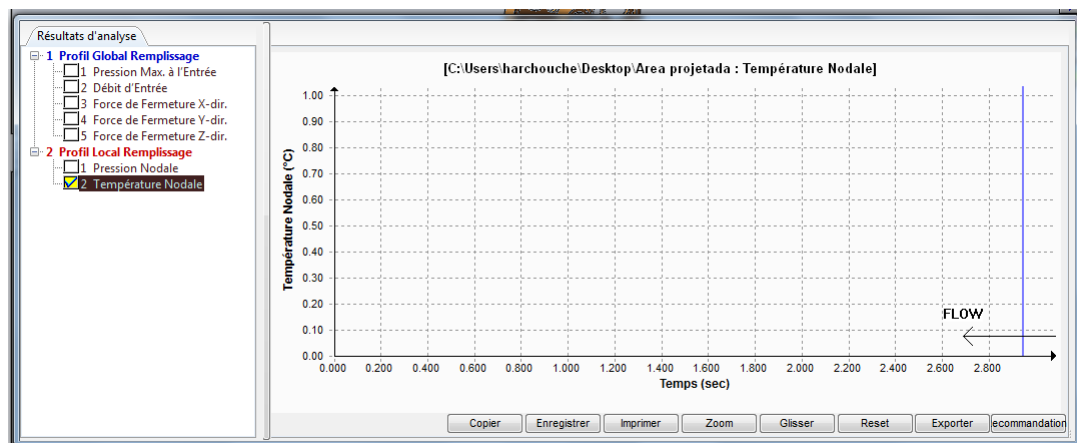
## TP5 Simulation de la pièce d'injection plastique

### 2-profil global remplissage.

#### a. Pression Nodale



#### b. Température Nodale



## ***Références bibliographiques***

### *Sites Internet :*

1. <https://www.paprec.com/fr/comprendre-recyclage/recyclage-plastique/fabrication-polymeres-matieres-plastiques>.
2. [http://sti-beziers.fr/tsipm/spip\\_tsipm/html/jgb/plastiques/obtention%20plastique.htm](http://sti-beziers.fr/tsipm/spip_tsipm/html/jgb/plastiques/obtention%20plastique.htm).
3. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Granulé\\_plastique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Granulé_plastique).
4. <http://lizinne.e-monsite.com/pages/presentation-de-la-matiere-plastique.html>.
5. [www.septiemecontinent.com/pedagogie/file/102487](http://www.septiemecontinent.com/pedagogie/file/102487).
6. <https://www.paprec.com/fr/comprendre-recyclage/recyclage-plastique/cycle-du-recyclage-bouteilles-plastiques>
7. <https://doimoflair.com/fr/bartender-cups/>
8. <http://www.youscribe.com/catalogue/livres/savoirs/conception-des-pieces-plastiques-injectees-2393581>.
9. <http://www.valorplast.com/le-campus/college/la-transformation/>
10. <http://www.plasticompetences.ca/procedes-de-transformation/>
11. <https://fr.scribd.com/doc/208143768/Machines-D-injection-Plastique-2>
12. Thomas Giroud: « Mesure et calcul des contraintes résiduelles dans les pièces injectées en thermoplastiques avec et sans fibres de renfort ». Mécanique [physics. med-ph]. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2001. Français.
13. DJABALLAH Abdelmalek: « Contribution à l'étude de la phase post remplissage du moulage par injection », mémoire de magister, département de mécanique, université de Biskra, 2012.
14. 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.
15. Ouachouache Abd EL Krim, " Conception d'un moule d'injection des pièces en M.P", Mémoire de Master, Faculté des Sciences de l'Ingénierat, Université BADJI-MOKHTAR-ANNABA, 2018/2019.

16. CHERIEF EL-Hadi, "Etude et conception d'un moule d'injection plastique à partir d'une pièce modèle". École Nationale Polytechnique, Mémoire d'ingénieur d'état en Génie mécanique. 2019.