REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ YAHIA FARÈS DE MÉDÉA

DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE



THÈME

Etude et conception d'un moule de bouchon de bouteilles

POUR

Mémoire de fin d'étude de Master

Filière Génie mécanique

Spécialité : construction mécanique

PRÉPARÉ ET PRÉSENTÉ PAR

CHERGUI RIDHA

HAOUI YOUNES

DIRIGÉ PAR

Mr. Mourad TAKDENTI

PROMO:2023



Remerciements

Nous remercions en premier lieu « الله » pour nous avoir donné la chance et la Force à arriver à ce niveau d'études.

Nous voulons remercier nos chers parents qui nous ont toujours encouragés et soutenus dans nos projets. Aussi nos familles ainsi que tous nos amis et sincères remerciements à Amine cherchali et haroun benramdane et Brahim boukhelkhel et Mr. Amoura.

Nous remercions nos directeur de mémoire Mr. Mourad takdenti Nous remercions les membres de jury pour avoir accepté de soutenir nos travaux.

Dédicaces

Au terme de ce travail nous tenons à faire louange à

« Allah » qui nous a donné la force et la patience pour achever

cette réalisation.

Je dédie ce travail en signe de respect et de reconnaissance :

Á celle qui a tout donné, tout sacrifié, à la femme qui règne sur mon cœur, Puisse-t-elle reposer en paix

" ma mère ".

Á celui qui m'a toujours dirigé, guidé, aidé et encouragé afin de me voir affronter la vie avec sérénité et courage,

àl'homme qui a toujours souhaité me voir à la hauteur,

" mon père ".

Á frère : Mohamed.

Á sœur : Samia.

Á mes oncles : Ali,Mohamed,Djaafar,Ahmed.

Et toute la famille "Chergui et benhadjer".

Á mes chers amis:

Islem,Moumen,Sohaib,Raouf, Mohamed,Wassim, islem, Abd el ghani,Mnouar,Fouad, YASSIN, Walid, Amine.3, sid Ahmed, ahmed.3,riad2, ridha,oussama othman,skalopa,zaid,asmaa,lamia,brahim,Youcef et à tous mes amis etTous les professeurs .

Á mon binôme Youness, et toute la promotion 2023

Ridha

Dédicaces

Au terme de ce travail nous tenons à faire louange à

« Allah » qui nous a donné la force et la patience pour achever

cette réalisation.

Je dédie ce travail en signe de respect et de reconnaissance :

Á celle qui a tout donné, tout sacrifié, à la femme qui règne sur mon cœur,

" ma mère ".

Á celui qui m'a toujours dirigé, guidé, aidé et encouragé afin de me voir affronter la vie avec sérénité et courage,

àl'homme qui a toujours souhaité me voir à la hauteur,

" mon père ".

Á mes frère : Mounir, Ayoub.

Á ma chère petite sœur : Maroua.

Á mes Cousins : A'Mhamed, Nabil.

Et toute la famille "HAOUI".

Á mes chers amis:

Sid ali,bahaa, Farouk, Abde el kader, farid, madjid,Walid,Amine,souhib,islem,Abde el aziz, sid ali b, Riyad, Radoune, hajdras, Naim, youssef, mohamed, Ali, Cherif, Mahfoud,et à tous mes amis.

Á mon binôme Ridha, et toute la promotion 2023

Younes

Résumé :

L'objectif de ce projet est de conception un moule à 'injection plastique pour un bouchon de bouteille à l'aide des logiciels SolidWorks et MasterCam. Notre étude théorique se concentre sur les différents types de moulage plastique et sur l'importance du processus d'injection et de moulage plastique. Ensuite, nous avons discuté du côté pratique du projet qui comprend la conception du moule à l'aide de SolidWorks, puis la fabrication des pièces du moule avec le logiciel MasterCam.

Les mots clés : moule, injection, plastique.

Abstact :

The objective of this project is to design a plastic injection mold for a bottle cap using SolidWorks and MasterCam software. Our theoretical study focuses on the different types of plastic molding and the importance of the injection and plastic molding process. Next, we discussed the practical side of the project which includes designing the mold using SolidWorks, then manufacturing the mold parts with MasterCam software.

Keywords : Molding, injection, plastic.

ملخص:

الهدف من هذا المشروع هو تصميم قالب لحقن البلاستيك لغطاء قارورة باستخدام برنامجي SolidWorks وMasterCam. تشمل الدراسة النظرية التي قمنا بها التركيز على أنواع القولبة البلاستيكية المختلفة وأهمية عملية حقن وصب البلاستيك. بعد ذلك، قمنا بمناقشة الجانب العملي للمشروع الذي يتضمن تصميم القالب باستخدامSolidWorks ، ثم تصنيع قطع القالب ببرنامج MasterCam.

الكلمات المفتاحية: القالب، الحقن، البلاستيك.

Sommaire

Introduction générale....1

CHAPITRE 1 : Généralités sur les matières plastiques....2

1. Introduction....3

2. Les matières plastiques....5

A. Définition des matières plastiques....5

B. L'histoire du plastique....6

C. Les polymères....6

C.1.Thermoplastiques....7

C.2.Les thermodurcissables....7

C.3.Avantages et désavantages des thermoplastiques....8

C.4. Avantages et désavantages des thermodurcissables....8

D. Appellation et Symboles....9

E. Les propriétés de la matière plastique....10

CHAPITERE 2 : Les procédés de moulage plastique....13

1. Introduction....14

2. Les principaux procédés de moulage plastique....15

3. les procédés de moulage plastique....15

A. L'extrusion....16

B. L'extrusion soufflage....16

C. Thermoformage....17

D. Roto moulage....19

E. Moulage par compression....19

F. Le procédée d'injection plastique....20

G. Le procédé injection soufflage 21
H. Le procédé extrusion gonflage 22
I. Le procédé calandrage 23

CHAPITRE 3 : Le moulage par injection plastique 24
1.L'injection plastique 25
A. Définition 25
B. Histoire de l'injection thermoplastique 25
C. Le fonctionnement du moulage par injection 26
D. Les Presses d'injection 26
D.1. Définition 26
D.2. Les différentes parties ou unités d'une presse 27
D.3. Composants de presse d'injection 28
D.4. Les étapes du procédé 29
E. Les fonctions d'un moule 33
E.1. La Fonction alimentation 33
E.2. La fonction mise en forme 33
E.3. La fonction éjection 35
E.4. Fonction régulation thermique (refroidissement) 35
F. Les différents moules d'injection plastique 36
F.1. Moule à deux plaques 36
F.2. Moule à trois plaques 37
F.3. Moule à canaux chauds 38
G. Les étapes du procédé d'injection 39
H. Les machines d'usinages 40
H.1. La machine de tour 40
H.2. Fraiseuse 41
H.3. Les machines d'usinage CNC 42

H.4. Les types de machines CNC les plus courants 43

H.5. Electroérosion VS méthodes traditionnelles d'usinage 48

CHAPITRE 4 : La conception et la fabrication de moule

1. Introduction 51
2. La Conception assistée par ordinateur (CAO) 52
   2.1.Principes de la CAO 52
   2.2. Création d'une moule 52
3. Fabrication assistée par ordinateur (FAO) 55
   3.1.Modélisation 3D 55
   3.2. Élaboration des parcours-outils 55

Conclusion générale 61

Liste des figures

Figure (1.1) : Domaines d'application des plastiques 3
Figure (1.2) : Répartition de la production mondiale de plastique 4
Figure (1.3) : Structure des thermodurcissables et des thermoplastiques 7
Figure (1.4) : le polypropylène PP 11
Figure (2.1) : moulage par L'extrusion 16
Figure (2.2) : Principe de l'extrusion-soufflage 17
Figure (2.3) : Les étapes du thermoformage 18
Figure (2.4) : Les étapes du roto moulage 18
Figure (2.5) : Moulage par compression souple 19
Figure (2.6) : L'injection plastique 20
Figure (2.7) : Poste d'injection-soufflage de corps creux 21
Figure (2.8) : Le procédé extrusion gonflage 22
Figure (2.9) : Le procédé calandrage 23
Figure (3.1) : Composant de presse d'injection. 27
Figure (3.2) Presse d'injection 28
Figure (3.3) : Presse verticale 28
Figure (3.4). Dispositif d'une presse 29
Figure (3.5). Construction d'un moule 30
Figure (3.6). Moteur hydraulique. 31
Figure (3.7). Architecture d'un moule d'injection plastique 32
Figure (3.8) Les fonctions d'un moule. 33
Figure (3.9). Les Dépouilles qui faciliter le démoulage de la pièce choix et valeurs. 34
Figure (3.10). Les problèmes d'éventation et les solutions d'échappement de l'air. 35
Figure (3.11). Moule multi-empreintes Canal chaud – bloc chaud. 38
Figure (3.12). Composantes d'un tour 40

Figure (3.13) Fraiseuse.....41
Figure (3.14). Fraiseuse CNC à 3 axes.....43
Figure (3.15). Nouveau tour CNC 4 axes.....44
Figure (3.16). Principe de l'électroérosion par enfonçage.....45
Figure (3.17). Principe de l'électroérosion par fil.....46
Figure (4.1). Bouchon par solidwors.....53
Figure (4.2). Le moule de bouchon (côté 1).....54
Figure (4.3). Le moule de bouchon (côté 2).....54
Figure (4.4). Le moule de bouchon a trois côtés.....55
Figure (4.5).les différentes opérations d'usinage pour la plaque d'empreinte de moule.....57
Figure (4.6). Temps d'usinage d'empreinte.....58
Figure (4.7). Simulation et vérification d'usinage.....58
Figure (4.8). G-code de Mactercam….. 59

Liste des tableaux

Tableau (1.1) : Date de commercialisation des principaux plastiques. 4
Tableau (1.2) : Avantages et Inconvénients des thermoplastiques. 8
Tableau (1.3) : Avantages et Inconvénients des thermodurcissables. 8
Tableau (1.4) : Appellation et Symboles des matières plastiques 9
Tableau (1.5) : les caractéristiques physiques des polymères. 10
Tableau (1.6) : Propriétés mécaniques et thermiques du PP. 12
Tableau (1.7) : Les avantages et les inconvénients de PP. 12
Tableau (3.1) : Retrait de matières. 34
Tableau (3.2). Moule à deux plaques. 36
Tableau (3.3). Moule à trois plaques. 37
Tableau (4.1). La gamme d'usinage par rapport à Mactercam 57

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale :

Le moulage par injection plastique est devenu un domaine de recherche très actif ces dernières années. Ce procédé de fabrication permet de réaliser des composants présentant des formes très complexes, tout en conservant d'excellentes qualités dimensionnelles et de bonnes propriétés mécaniques. Ce processus de fabrication est largement utilisé dans l'industrie, car il permet de produire des pièces en grande quantité à un coût relativement faible. En outre, le moulage par injection plastique offre de nombreux avantages, tels que la capacité à produire des pièces de haute qualité avec des détails très précis et une grande uniformité de production.

En outre, ce processus fournit des produits raffinés qui sont lisses et ne nécessite pas de finition supplémentaire.
Le matériau est alimenté dans un baril chauffé, mélangé, et forcé dans une cavité du moule où il se refroidit et se solidifie à la configuration de la cavité du moule.
Après la conception d'un produit, généralement par un concepteur industriel ou un ingénieur, des moules sont fabriqués par un mouliste de métal, généralement en acier ou en aluminium, et usinées avec précision pour former les caractéristiques de la pièce désirée.

On s'intéresse dans ce mémoire par l'étude, la conception et la réalisation d'un bouchon de bouteille par injection plastique.
La conception de moule sera réalisée à l'aide de logiciel (***SOLIDWORKS***) avec ***(MASTERCAM).***

Le présent mémoire se compose de 3 chapitres principaux :

- ***Le premier chapitre*** contient une généralité sur les matières plastique, les thermoplastiques et thermodurcissables, avec leurs avantages et les inconvénients.

- ***Le second chapitre*** consiste à généralité sur le moulage plastique, les procédés de moulage plastique.

- Le ***troisième chapitre*** est consacré à l'injection plastique et les machines utilisées en injection (la machine d'injection plastique, et les différentes techniques d'usinage par la machine de tournage et fraisage, les machines CNC).

- Le ***dernier chapitre*** contient la conception et la fabrication d'un moule de bouchon assistées par ordinateur (CFAO).

CHAPITRE I

GÉNÉRALITES SUR LES MATIERES PLASTIQUES

1. Introduction :

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

Ainsi, le terme "plastique" est couramment utilisé pour désigner une nouvelle classe de matériaux organiques caractérisés par leur excellent rapport entre les propriétés et le poids, ainsi que par leurs propriétés avantageuses en termes de prix.

Avec le développement des connaissances en synthèse organique et de son industrie, en particulier de la pétrochimie, de très nombreux plastiques ont été commercialisés au cours du vingtième siècle **(Tableau1.1)** Leurs multiples applications **Figure(1.1)** les ont rendus omniprésents et indispensables aux sociétés industrialisées, au point que leur production est devenue un indice économique de développement **Figure(1.2)** et que la demande croissante des pays émergents pose la question des ressources à l'échelle mondiale. Toujours en croissance quant à ses applications en ce début de vingt-et-unièmes siècles, et ayant donné lieu au développement de nouvelles technologies très élaborées à travers la plasturgie, aucun autre matériau n'a connu une telle expansion dans un laps de temps aussi court (moins de 100 ans) [1].

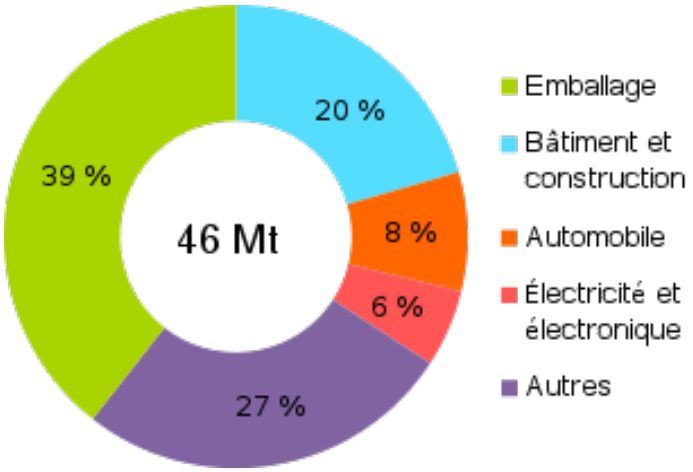


Figure (1.1): Domaines d'application des plastiques [1].

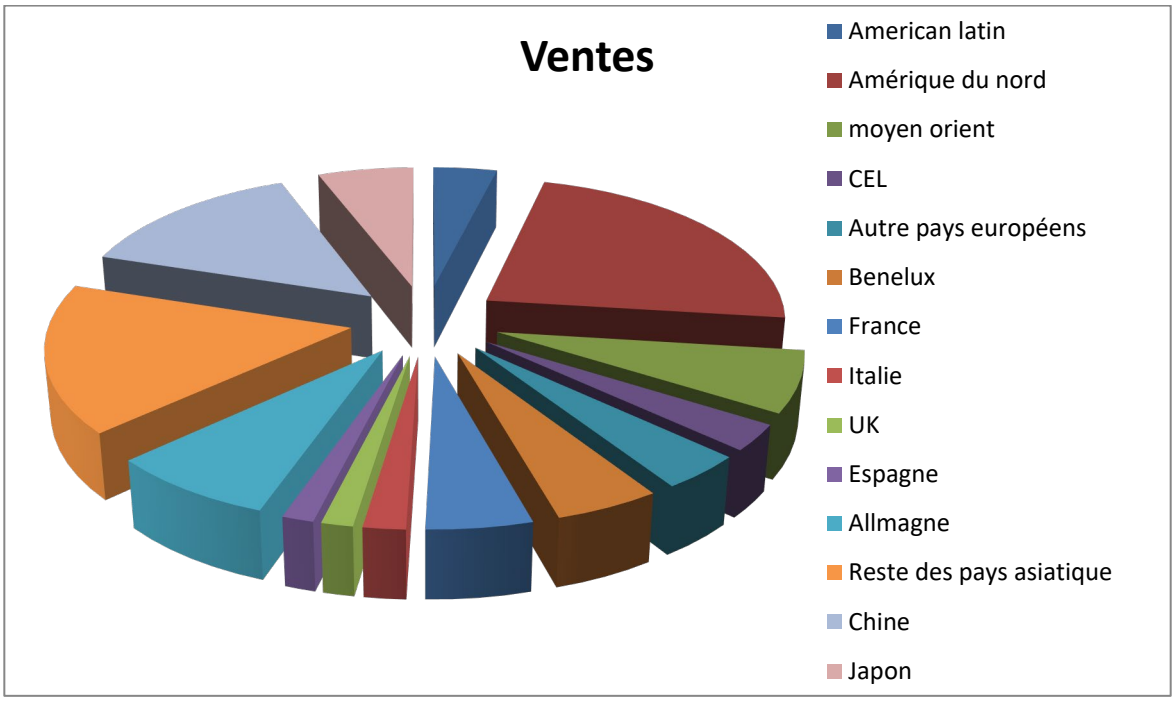


Figure (1.2): Répartition de la production mondiale de plastique. [1]

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

Tableau (1.1) : Date de commercialisation des principaux plastiques et exemples d'applications [1].

2. Les matières plastiques :

A. Définition des matières plastiques :

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, 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 contenante, 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 [2].

B. L’histoire du plastique :

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 [2].

C. Les polymères :

Les polymères sont des matériaux composés de très longues chaînes (macromolécules), elles-mêmes formées de molécules élémentaires (monomères) assemblées entre elles. Ces chaînes sont principalement constituées d’atomes de carbone sur lesquels sont fixés des éléments comme l’hydrogène ou l’oxygène.

D’autres éléments, notamment le chlore, l’azote ou le fluor, peuvent encore intervenir dans la composition de la chaîne.

Les deux grandes familles de polymères peuvent être distinguées : les thermoplastiques, et les thermodurcissables [3].

C.1.Thermoplastiques :

Les thermoplastiques ramollissent sous l'effet de la chaleur. Ils deviennent souples, malléables et durcissent à nouveau quand on les refroidit. Il est donc possible de leur donner une nouvelle forme, et ce, à répétition, sans affecter leurs propriétés mécaniques initiales. Cette particularité permet un recyclage plus facile de cette catégorie de plastique, en comparaison avec celui des deux autres types. Leurs polymères de base sont constitués par des macromolécules linéaires, reliées par des liaisons faibles qui peuvent être rompues sous l'effet de la chaleur ou de fortes contraintes.

Les macromolécules peuvent alors glisser les unes par rapport aux autres pour prendre une forme différente et quand la matière refroidit, les liaisons se reforment et les thermo plastiques gardent leur nouvelle forme.

Avant transformation, ils sont sous forme de granulés ou de poudres dans un état chimique stable et définitif car il n'y a pas de modification chimique lors de la mise en forme.
Les granulés sont chauffés puis moulés par injection et le matériau broyées réutilisable [4].

C.2.Les thermodurcissables :

Contrairement aux thermoplastiques qui ramollissent sous l'effet de la chaleur, les thermodurcissables ont perdu cette propriété lors de leur fabrication. Ainsi, un thermodurcissable conserve la même rigidité sous l'action de la chaleur jusqu'à l'atteinte de sa température de décomposition. Aussi, une fois produit, on ne peut plus modifier la forme d'un thermodurcissable.

Les molécules de ces polymères sont organisées en de longues chaînes dans lesquelles un grand nombre de liaisons chimiques solides tridimensionnelles ne peuvent pas être rompues et se renforcent quand le plastique est chauffé. Sous de trop fortes températures, ils se dégradent et brûlent (carbonisation).

Au départ, les thermodurcissables se présentent sous forme de poudre soude résines qui subissent une transformation chimique au cours de leur chauffage, de leur refroidissement ou par l'action de durcisseurs [4].

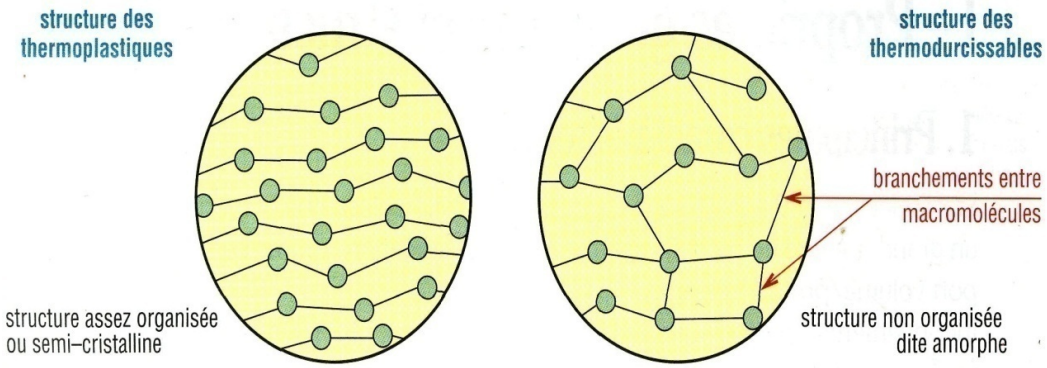


Figure (1.3) : Structure des thermodurcissables et des thermoplastiques [4].

C.3.Avantages et désavantages des thermoplastiques :

Comme on le voit dans **Tableau (1.2)**, chacune des morphologies possède des propriétés intéressantes. Les polymères semi-cristallins peuvent hériter plusieurs qualités complémentaires venant à la fois de leurs parties amorphe et cristalline.

<table>
<tr><th colspan="2">Avantages</th><th>Inconvénients</th></tr>
<tr><td colspan="2">Stabilité dans le temps (pas de polymérisation au cours du temps)
- Recyclable (on peut les liquéfier à nouveau)
- Facile à réparer (par soudure ou collage)
- Post-formable</td><td rowspan="3">- Forte viscosité du fondu
- Fluage</td></tr>
<tr><th>Amorphe</th><th>Cristallin</th></tr>
<tr><td>- Bonne résistance aux impacts
- module plus élevé</td><td>- Moindre retrait au refroidissement
- plus grande dureté</td></tr>
</table>

Tableau (1.2) : Avantages et Inconvénients des thermoplastiques [4].

C.4. Avantages et désavantages des thermodurcissables :

Avantages	Inconvénients
- Faibles viscosité de la résine - Bon mouillage des fibres - Bon stabilité thermique après Polymérisation - Résistance aux agressions chimiques - Peu sensible au fluage	- Cassant - Non recyclable par techniques standard - Non pas formable

Tableau (1.3) : Avantages et Inconvénients des thermodurcissables [4].

D. Appellation et Symboles :

La chimie des matières plastiques et sa technologie ont introduit un grand nombre de termes techniques qui peuvent être difficiles à comprendre pour ceux qui ne sont pas familiers avec ce domaine. Par conséquent, dans l'industrie de la plasturgie, les outilleurs et les plasturgistes utilisent souvent des symboles pour représenter ces termes techniques de manière plus concise et claire. Cela permet une communication plus efficace entre les professionnels de l'industrie et facilite la compréhension des concepts clés liés aux matières plastiques et à leur transformation [5].

Symboles	Appellation	Symboles	Appellation
PP	Poly Propylène	**PA**	Polyamide
PPE	Copolymère de polypropylène d'éthylène	**PAN**	Polyacry lontrille
PPO	Poly oxyde de phényle	**PBT**	Poly butylène téréphtalate
PPS	Polysulfure de phénlye	**PEE**	Polyéthylène Exposné
PRC	PE hd réticule	**PES**	Poly ethersulfone
PE	Polyéthylène	**PET**	Polyéthylène lènetéréphtate
PS	Polystyrène	**PF**	Phénol – Formol
PSC	Polystyrène choc	**PFE**	Poly fluoré éthylène
PSF	Polysulfone	**PI**	Poly imide
PU	Polyuréthane	**SI**	Silicone
PVB	Butyral de polyvinyle	**TD**	Thermodurcissable
PVC	Polychlorure de vinyle	**TEP**	Textile enduit plastique
RIM	Réaction injection molding	**TP**	Thermoplastique

Tableau (1.4) : Appellation et Symboles des matières plastiques [5].

E. Les propriétés de la matière plastique :

Les propriétés des matériaux plastiques ne cessent de s'améliorer.

On constate l'emploi grandissant de pièces en matières plastiques à la place de pièces métalliques, souvent plus onéreuses, plus sensibles à la corrosion, ou plus lourdes. Certaines caractéristiques techniques diffèrent notablement de celles des métaux :

• la densité des matières plastiques non expansées est nettement plus faible que celle des métaux (hors magnésium) : de 0,83 (cas du poly-4-méthyl-pentène-1 désigné par PMP) à 2,15 (PTFE), avec 1,2 comme valeur moyenne. La densité d'un polymère est directement fonction du taux de cristallinité. Par ailleurs, la rigidité et la résistance mécanique augmentent avec ce taux ;

• température de transformation plus basse : couramment comprise entre 100 °C (le PS est facile à travailler : extrudable dès 85 °C) et 300 °C (le PC est injecté vers 300 °C). Les bioplastiques sont transformés de 160 à 200 °C, contre environ 220 °C pour des compounds ordinaires équivalents ;

• élasticité plus élevée (jusqu'à 800 % d'allongement à la rupture pour le PEHD) ;

• thermo stabilité des polymères thermoplastiques nettement inférieure à celle des métaux. Rares sont les plastiques résistant à plus de 250 °C pendant de longues périodes dans l'air. Des modifications structurales, particulièrement parmi les matières thermoplastiques, permettent d'élargir le domaine thermique d'utilisation vers les basses ou hautes températures ;

• module d'élasticité plus faible (le module du PEBD est peu élevé : E~200 MPa ; à l'opposé, les aminoplastes présentent un module très élevé). Une incorporation croissante de fibres augmente le module d'élasticité et la contrainte à la rupture (ténacité) du composite. La dilatation thermique des matériaux est inversement proportionnelle à leur module de traction. Le coefficient de dilatation des polymères thermoplastiques est supérieur à celui des métaux ;

• tenue (ou résistance) aux agents chimiques : en règle générale, les polymères résistent aux acides et aux bases [grande inertie chimique du PTFE et du PE (en raison de sa structure paraffinique)]. Ils sont cependant sensibles aux solvants (bonne tenue du PTFE, PBT et PA-6,6) ;

• les polymères ont un comportement viscoélastique. En effet, ils démontrent simultanément des propriétés élastiques et un caractère visqueux. Dans ce dernier cas, la matière s'écoule en réponse à une contrainte [2].

Caractéristiques physiques *moyennes* de quelques polymères thermoplastiques usuels [12].

Code	Densité	Taux de cristallinité (%)	T_v (°C)	T_f ou T_r (°C) [13]	T_{maxi} (°C) [14]	Module E (GPa)
ABS	1,04-1,12	0	85-125	105-120	70-85	2,5
PA-6	1,13	50	52	215	85	1
PA-6,6	1,14	50	57	260	90	1,5
PC	1,20	0	150	220-250	120	2,4
PE-HD	0,95	80-95	-110	124-135	90	0,8-1,2
PE-LD	0,92	50-70	-110	100-125	70	0,15-0,3
PET amorphe	1,30	0	65-80	255	100	2,7
PET cristallin	1,40	40	65-80	260	100	4,1
PMMA	1,18	0	105	130-140	60-90	3
PP	0,91	60-70	-10	165	100	1,3
PS « cristal »	1,05	0	80-100	100	60	3,2
PVC rigide	1,38	0-5	80	100-120	65	2,4

Tableau (1.5) : les caractéristiques physiques des polymères [3].

Le polypropylène :

Qu'est-ce que le polypropylène ?

Le polypropylène (PP) est un type de polyoléfine légèrement plus dur que le polyéthylène. C'est un plastique de base à faible densité et à haute résistance à la chaleur. Sa formule chimique est (C3H6)n.

Il trouve une application dans l'emballage, l'automobile, les biens de consommation, le médical, les films coulés.



Figure (1.4). Le polypropylène PP [3].

Quelles sont les propriétés du PP ?

Conserver à l'avance des informations sur les propriétés d'un thermoplastique est toujours bénéfique. Cela aide à choisir le bon thermoplastique pour une application. Il aide également à évaluer si l'exigence relative à l'utilisation finale serait satisfaite ou non. Voici quelques propriétés du polypropylène :

Les propriétés mécaniques et thermiques du PP	
Le polypropylène PP	**Origine :** Propylène **Structure :** Cristalline **Retrait :** 1 à 2.8 % **Densité :** 0.9 **Mis en œuvre :** injection, extrusion, estampage, thermoformage. **Températures :** -de moulage : 210 à 300 °C -du moule : 20 à 90 °C -de fusion : 64 °C -d'Utilisation : 0 à 120 °C

Tableau (1.6) : Propriétés mécaniques et thermiques du PP [5].

Les avantages et les inconvénients de PP :

Avantages :	**Inconvénients :**
-Bonne résistance à la flexion. -Bonne propriétés électriques. -Bonne Résistance mécanique. -Bonne résistance aux produits chimiques.	-inserts métalliques à basse de Cuivres déconseillés. -Fragile à basse température. -retrait non homogène.

Tableau (1.7) : Les avantages et les inconvénients de PP [5].

CHAPITERE II

Les procédés de moulage plastique

1. Introduction :

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.

2. Les principaux procédés de moulage plastique :

Plus que tout autre matériau, les matières plastiques offrent un large choix de techniques de transformation. Les produits initiaux 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 [6].

3. les procédés de moulage plastique :

- Quelles sont les procédés de moulage plastique ?

Les procédés de moulage du plastique les plus utilisées sont :

Il existe différentes technologies qui permettent de transformer les plastiques et le choix des procédés de fabrication dépend essentiellement des polymères, les procédés utilisés le plus fréquemment sont [6] :

- L’extrusion.
- L’extrusion soufflage.
- Extrusion gonflage.
- Le thermoformage.
- L’injection soufflage.
- L’injection plastique.
- Le roto moulage.
- Moulage par compression.
- Le procédé calandrage.

.

A. L'extrusion :

L'extrusion est une technique de transformation des matières thermoplastiques qui permet d'obtenir des objets finis ou semi-ouvrés par un processus technologique continu. Cette technique, modifiée par l'adaptation d'un matériel approprié, permet d'élargir l'assortiment d'objets fabriqués, et d'étendre la gamme de produits à partir des profilés rigides et souples à la fabrication des plaques, des feuilles, des films, des objets creux, des granulés plastifiés, des câbles multifils et multicolores, des films et des feuilles stratifiés, des profilés expansés et allégés, etc.

La presque totalité des matières thermoplastiques est au moins extrudée une fois lors de sa préparation, mais seulement une partie en sort sous forme d'objets finis. L'extrusion est largement utilisée pour la fabrication des granulés et des compounds transformés ensuite par d'autres méthodes (exemple : injection) et des produits semi-ouvrés tels que : plaques, feuilles, films, tubes, etc. [7].

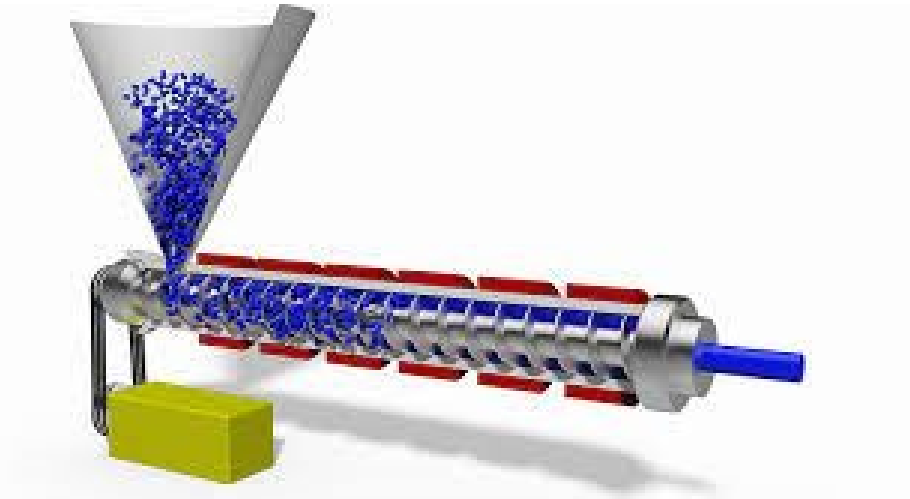


Figure (2.1) . Moulage par L'extrusion [7].

B. L'extrusion soufflage :

L'extrusion-soufflage est un processus qui, utilisant plusieurs types de matériels plus ou moins sophistiqués, permet la production de récipients ou de corps creux, en matériaux thermoplastiques, dans une gamme de capacités pouvant s'étendre de quelques centimètres cubes à 1 000 litres et plus. Trois étapes principales peuvent être distinguées dans le processus d'extrusion-soufflage :

- extrusion d'un tube de résine fondue appelé paraison,
- mise en place de la paraison entre les deux moitiés d'un moule,
- soufflage de la paraison pour lui faire prendre la forme du moule Figure (2.2) [7].

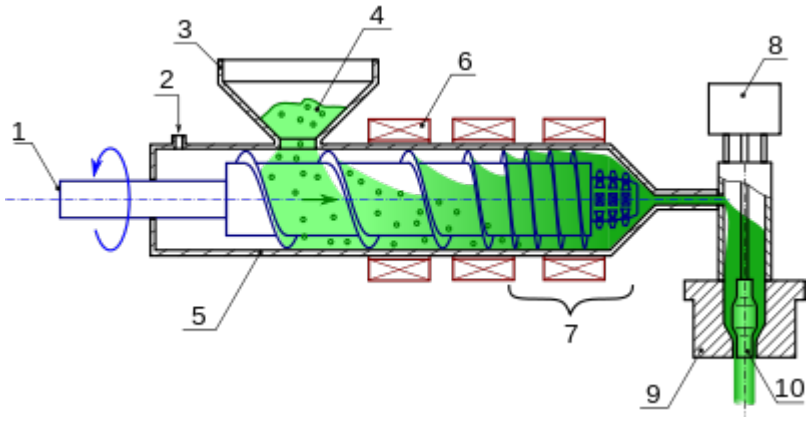


Figure (2.2). Principe de l'extrusion-soufflage [7].

Principe de l'extrusion-soufflage :

1. vis d'extrusion ;
2. air comprimé ;
3. trémie ;
4. granulés ;
5. groupe de plastification ;
6. éléments chauffants ;
7. broyage, malaxage ;
8. groupe hydraulique pour le vérin ;
9. filière ;

C. Thermoformage :

Le thermoformage est une technique de moulage du plastique effectuée à partir de films ou plaques mises sous pression et sous vide à travers une machine de thermoformage.

Si sous pression la plaque s'appuie au moule par une pression d'air qui accélère le refroidissement**.**

Si sous vide, la plaque ou le film s'appuient au moule par aspiration, en héritant sa forme.

Le processus de fabrication par thermoformage comprend plusieurs étapes clés :

1. **Mise en place de la feuille et chauffage :** la feuille de matière plastique est placée sur le moule, puis chauffée à l'aide d'un plateau chauffant supérieur et inférieur. Cette étape permet de rendre la feuille plus souple et facile à mouler.
2. **Montée du moule :** une fois la feuille ramollie, le moule monte pour emboutir la feuille et lui donner sa forme finale.
3. **Formage / Refroidissement :** le moule est maintenu en position haute et le vide est fait entre le moule et la feuille, ce qui permet à la feuille de se plaquer sur le moule et d'en prendre sa forme. De l'air ou de petites gouttelettes d'eau sont projetées sur la pièce pour la refroidir et lui donner sa forme définitive.
4. **Décollage de la pièce :** de l'air est soufflé à l'intérieur du moule pour décoller la pièce du moule, puis le moule descend pour libérer la pièce.
5. **Enlèvement des chutes de production :** une fois le moule descendu, la pièce peut être enlevée puis décortiquée pour enlever les chutes de production, c'est-à-dire les parties de la feuille qui n'ont pas été utilisées pour la fabrication de la pièce.

En suivant ce processus de thermoformage, il est possible de produire des pièces en grande quantité et à faible coût, tout en obtenant une grande précision et une finition de haute qualité [8].

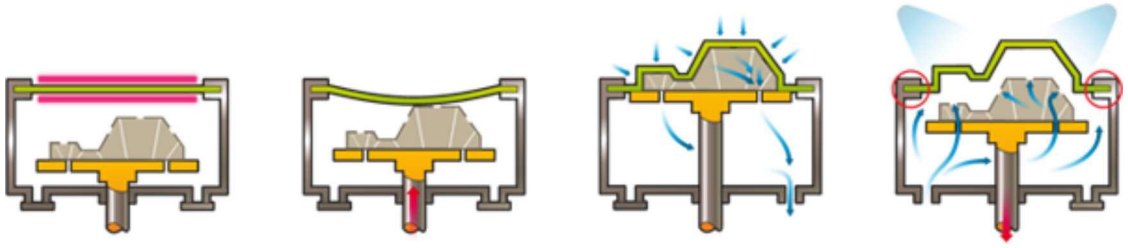


Figure (2.3) . Les étapes du thermoformage [8].

D. Roto moulage :

C'est la technique de moulage du plastique employée principalement pour la réalisation de produits creux de grande taille, tels que des vases, jouets, meubles, conteneurs poubelle.

Le plastique sous forme de poudre est inséré dans un moule où il est réchauffé et tourné sur deux axes, pour que le plastique puisse adhérer aux bords. Ensuite, le produit sera refroidi et, finalement, extrait [9].

- Les étapes du roto moulage :

1. Chargement du moule
2. Le chauffage
3. Le refroidissement
4. Le démoulage

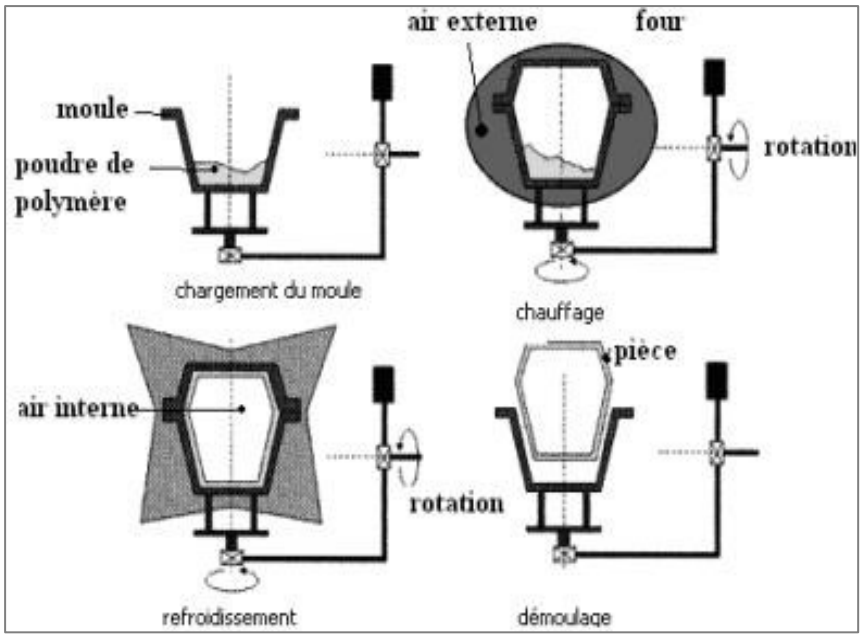


Figure (2.4). Les étapes du roto moulage [9].

E. Moulage par compression :

Le moulage par compression est un procédé de mise en forme par moulage de pièces en matériaux plastiques ou composites. Ces matériaux peuvent être à base des thermoplastiques et surtout des thermodurcissables.

Le moulage par compression est principalement utilisé pour la fabrication d'objets de faibles épaisseurs de forme plane ou voisine de celle d'une boite. Exemples : couverts, boutons, poignées, grands récipients [10].

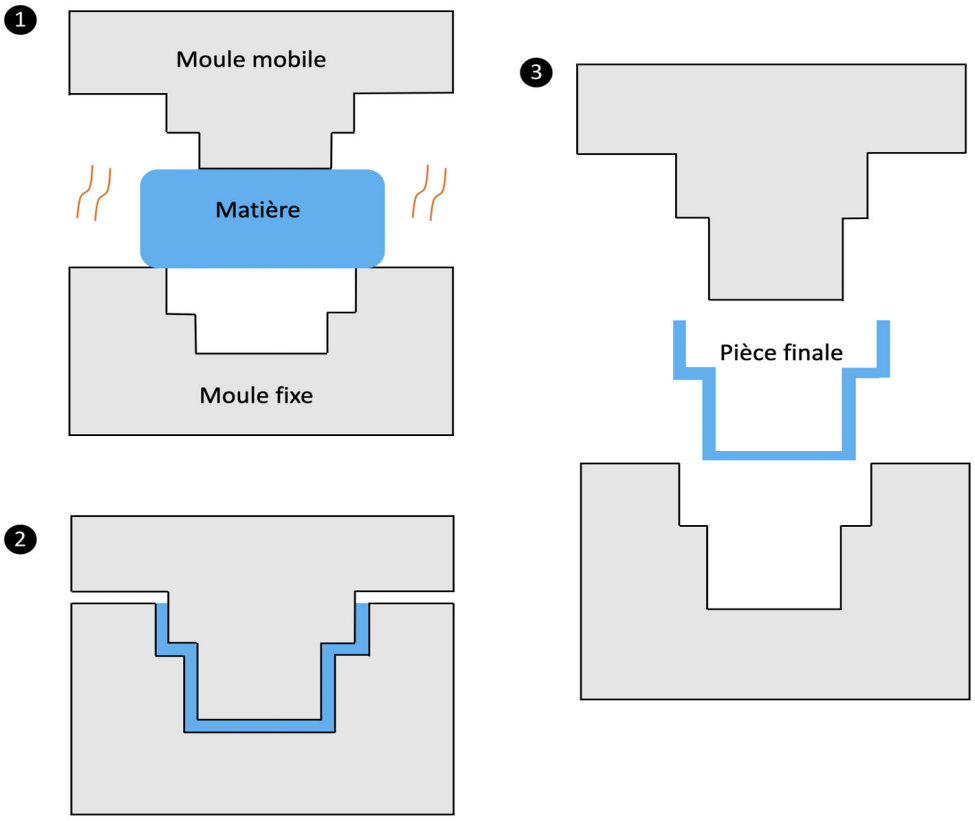


Figure (2.5). Moulage par compression souple [10].

F. Le procédée d'injection plastique :

F.1. Définition :

L'injection est un procédé principalement utilisé dans la transformation du plastique. Il permet de fabriquer de grandes quantités de pièces. Le matériau nécessaire est plastifié dans une unité d'injection puis injecté dans un moule. La partie vide ou cavité du moule détermine la forme et la structure de la pièce finie. On peut produire des pièces de quelques dixièmes de grammes à plusieurs kilos. Ce procédé permet aussi bien de faire des objets exigeant beaucoup de précision comme dans la mécanique, que des pièces en très grandes quantités et en peu de temps. Le type de surface peut être adapté à l'utilisation : surface lisse pour des applications optiques, surfaces rugueuses pour les domaines dans lesquels le toucher est important. Possibilité de produire des échantillons et de faire de la gravure [11].

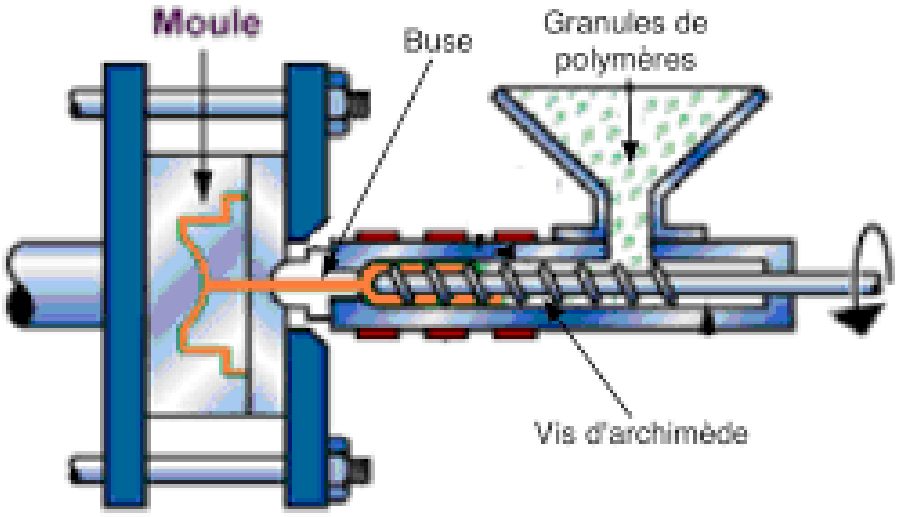


Figure (2.6) L'injection plastique [11].

G. Le procédé injection soufflage :

La technique de mise en œuvre des polymères thermoplastiques qui se trouve associée au soufflage est le procédé d'injection. À partir d'un matériau plastifié par la chaleur, on procède à l'injection sous forte pression (jusqu'à 120 MPa) de ce matériau à travers une buse de faible diamètre, dans une cavité du moule à préforme. Sous l'effet de la pression, le matériau plastifié remplit la cavité et se solidifie au contact des parois du moule. On obtient lapréforme, c'est la phase d'injection. Puis cette préforme encore chaude (120 à 220 °C suivant les matériaux) est transférée dans le moule de soufflage (appelé aussi moule de finition).L'air comprimé est alors introduit au travers du noyau portant la préforme. Le matériau se trouve alors plaqué contre les parois du moule de finition refroidi et se solidifie pour donner l'objet final : c'est la phase de soufflage. La succession des opérations décrites ci-avant est présentée sur la **Figure (2.7**) [12].

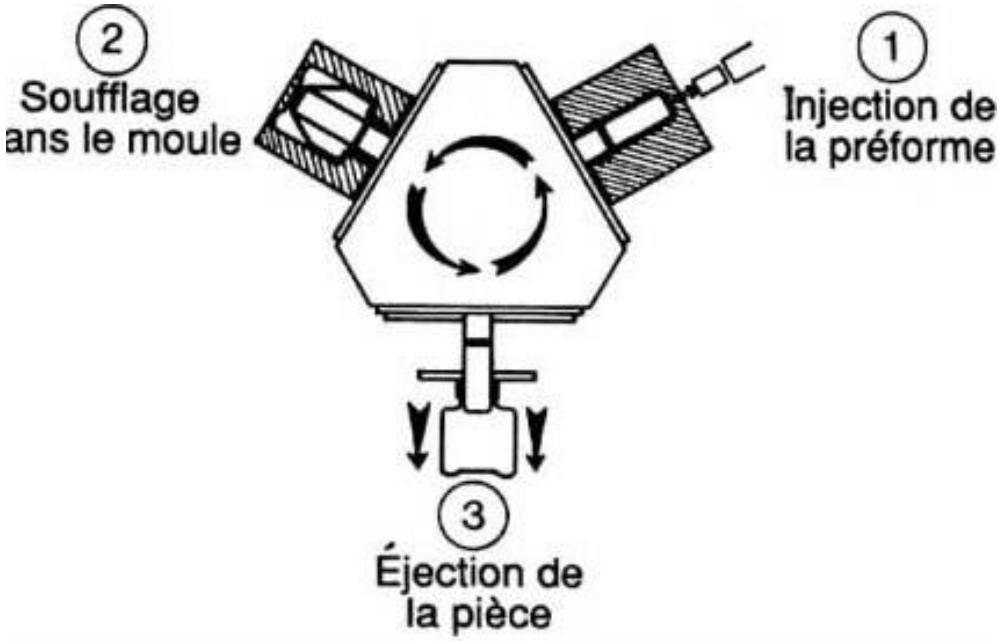


Figure (2.7) : Poste d'injection-soufflage de corps creux [12].

H. 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 soufflée qui donne la forme et le refroidissement. Cette technique permet de fabriquer des sacs plastiques.

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 [13].

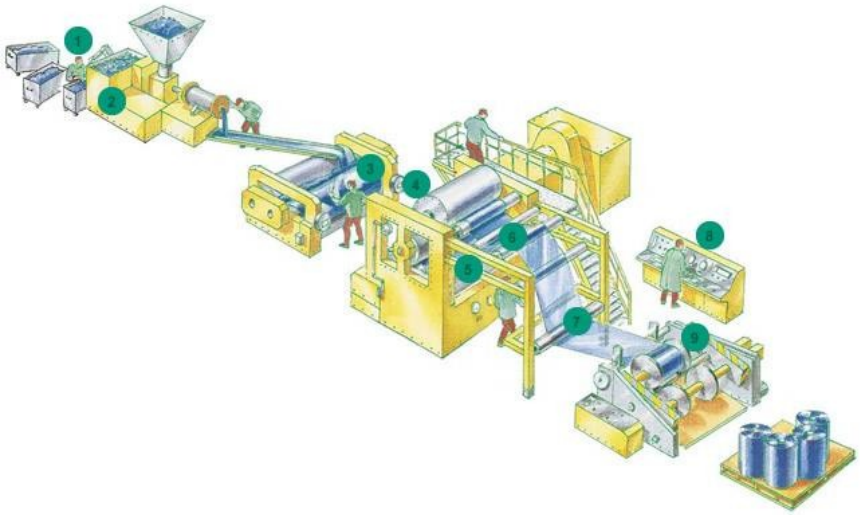


Figure (2.8). Le procédé extrusion gonflage [13].

I. 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).







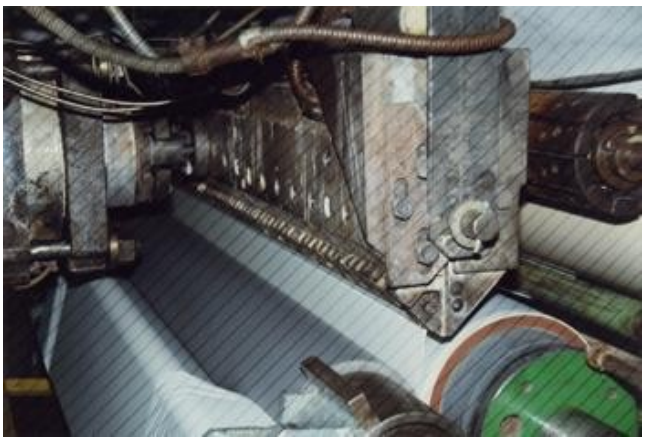


Figure (2.9). Le procédé calandrage [13].

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 [13].

CHAPITRE III

LE MOULAGE PAR INJECTION PLASTIQUE

1. L’injection plastique :

A. Définition :

Le moulage par injection plastique est un processus de fabrication largement utilisé pour produire une grande variété de pièces en plastique. C'est l'une des méthodes les plus courantes et les plus efficaces pour la production en série de composants plastiques de haute qualité.

Le processus de moulage par injection consiste à chauffer les granulés de plastique jusqu'à ce qu'ils fondent, puis à les injecter sous haute pression dans un moule. Le moule est généralement fabriqué en acier et est conçu pour donner la forme précise souhaitée à la pièce en plastique. Une fois le plastique injecté dans le moule, il est refroidi et solidifié pour former la pièce finale.

De plus, le moulage par injection plastique offre de nombreux avantages. Tout d'abord, il permet de produire des pièces complexes avec une grande précision et une bonne finition de surface. Il est également capable de produire des pièces en grande quantité, ce qui en fait une méthode rentable pour la fabrication à grande échelle [13].

B. Histoire de l’injection thermoplastique :

L'Américain John Wesley Hyatt a breveté la première machine de moulage par injection en 1872.

À cette époque, la machine était relativement simple par rapport aux machines modernes. Elle fonctionnait comme une grande aiguille hypodermique, utilisant un plongeur pour injecter du plastique à travers un cylindre chauffé dans un moule. Les premiers produits fabriqués étaient principalement des colliers, des boutons et des peignes.

En 1919, Arthur Eichengrün a développé la première presse de moulage par injection, qui peut être considérée comme la première machine à injection moderne. Dans les années 1930, les premières presses d'injection ont fait leur apparition en France, marquant le début de la production d'articles ménagers et de jouets en plastique sur le marché de consommation.

L'industrie du moulage par injection s'est rapidement développée dans les années 1940 en raison d'une demande croissante de produits bon marché fabriqués en série. En 1946, l'inventeur américain James Watson Hendry a construit la première machine avec une vis d'injection. Aujourd'hui, les machines avec une vis d'injection représentent la grande majorité de toutes les machines d'injection utilisées dans l'industrie [13].

C. Le fonctionnement du moulage par injection :

Le moulage par injection est utilisé pour les matières thermoplastiques. Ces matières se présentent sous forme de granulés avant la transformation. Sous l'effet de la chaleur, elles ramollissent et passent à l'état liquide. Une fois liquide, la matière est injectée dans un moule où elle prend l'empreinte de celui-ci. Ensuite, elle est refroidie et se solidifie. Lorsqu'elle retrouve sa solidité, la pièce peut être extraite et devient utilisable [14].

D. Les Presses d'injection :

D.1. Définition :

Les machines employées en injection plastique sont des presses à injecter. Elles sont utilisées pour des productions de grandes et très grandes séries allant jusqu'à plusieurs milliers de pièces. Les matériaux principalement employés sont les plastiques et les élastomères.

La presse à injecter se compose de plusieurs parties. Voici les principales : buse, plateau mobile, plateau fixe, collier chauffant, trémie d'alimentation, vis sans fin (ou vis de plastification), système d'évacuation, mécanisme de fermeture et console. En outre, il est possible de catégoriser les éléments d'une presse à injecter en deux ensembles principaux.

D'une façon générale, un moule est un outil de transformation comportant une cavité destinée à recevoir un matériau liquide, plus au moins fluide, et à la mettre en forme en vue d'obtenir un objet dont le dessin a été déterminer au préalable.

Le moulage par injection sur une presse est le principal procédé de transformation de thermoplastique, Il consiste à ramollir (état visqueux) la résine, généralement en granulés introduite dans la presse et à l'injecter, Sous forme de pression a travers une buse dans l'empreinte d'un moule [14].

D.2. Composant de presse d'injection :

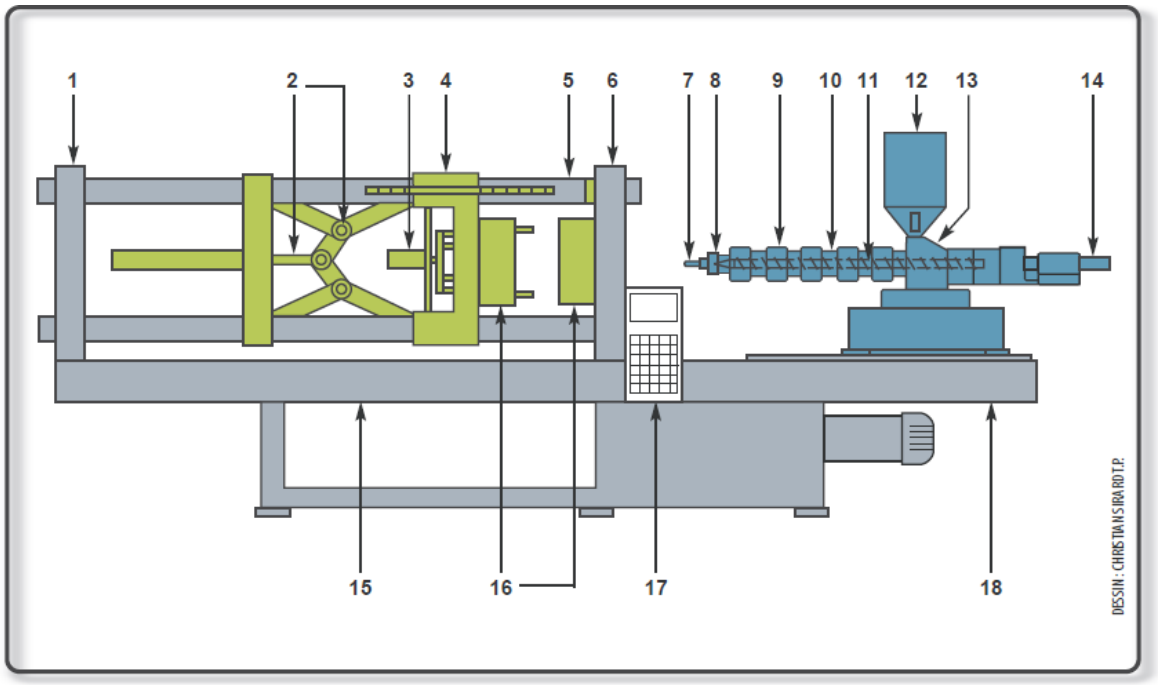


Figure (3.1). Composant de presse d'injection [14].

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

D.3. Les différentes presses d'injection :

a) Presse horizontale :

L'axe de la vis est horizontal et le plan d'ouvrage du moule vertical. L'ouverture provoque alors la sorte immédiate de la pièce par gravité après éjection, un gain de temps et une automatisation aisée.



Figure (3.2) Presse d'injection [15].

b) Presse verticale :

Ici l'axe de la vis est dans une position verticale et l'ouverture du moule dans un plan horizontal. On utilise ce type de presse pour mouler des petites pièces comportant de nombreux inserts métalliques (surmoulage) [15].

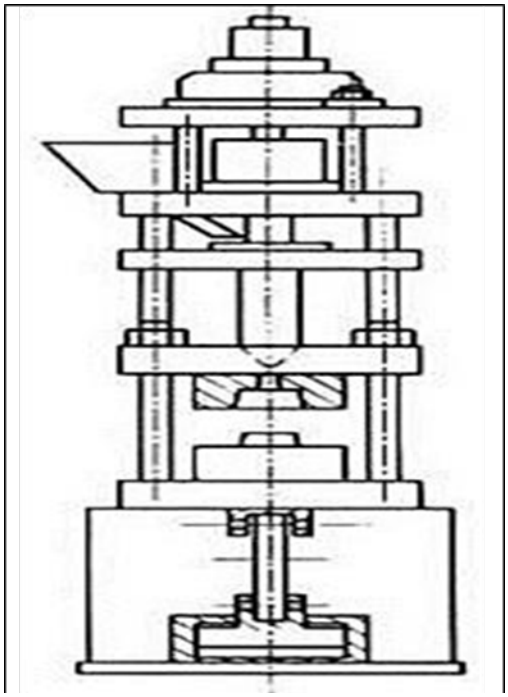


Figure (3.3) : Presse verticale [15].

D.4. Les différentes parties ou unités d'une presse :

Une presse est composée principalement de trois parties :

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

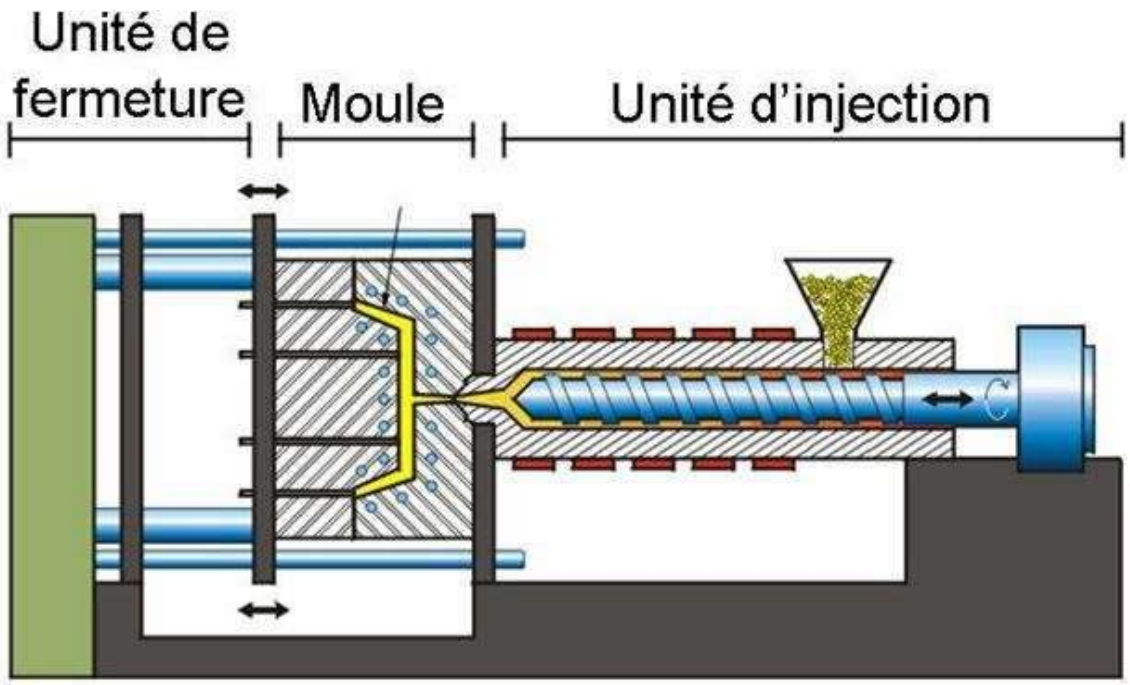


Figure (3.4). Dispositif d'une presse [16].

- **Le groupe d'injection** : son rôle est d'alimenter la presse en granulés plastique, de les faire fondre, de doser la matière obtenue et enfin de l'injecter dans le moule. Il est principalement constitué d'une trémie (sorte d'entonnoir permettant de verser les granulés), d'un collier de chauffe, d'une vis sans fin servant à acheminer la matière, et d'une buse d'injection.

- **Le groupe de fermeture** : son rôle est d'ouvrir, fermer et verrouiller le moule, et d'éjecter les pièces finies. Il est constitué d'une part d'un système de presse hydraulique ou électrique, et d'autre part d'un système d'éjection. En effet, la matière se rétracte lors du refroidissement, et les pièces terminées restent bloquées dans le moule après ouverture. On utilise donc des éjecteurs pour les détacher.

- **Le moule** qui sert à donner à la pièce sa forme définitive est quant à lui fixé sur la presse. Aussi appelé « outillage », il est la plupart du temps fabriqué en acier et il peut peser jusqu'à plusieurs tonnes. Il est composé d'une partie fixe et d'une partie mobile permettant de faire sortir la pièce après refroidissement. De plus, l'outillage comporte aussi un système de régulation de température.

La fabrication d'un moule est une étape complexe et coûteuse. En effet, il faut respecter plusieurs contraintes propres au procédé d'injection thermoplastique pour garantir une diffusion uniforme de la matière dans les empreintes et pour faciliter le démoulage des pièces. Les moules sont conçus à l'aide de logiciels de CAO [16].

La construction d'un moule :

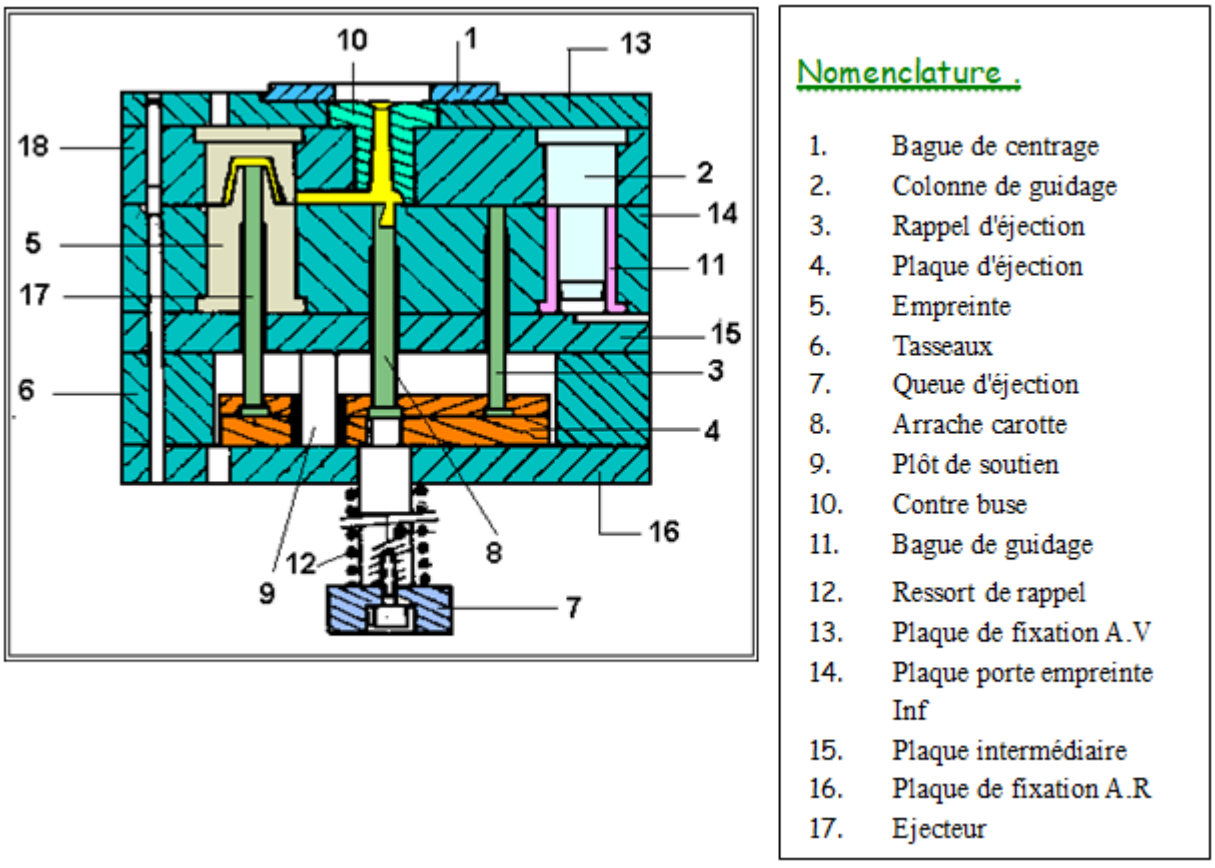


Figure (3.5). Construction d'un moule [16].

Nous avons modifié le moule en y ajoutant un moteur hydraulique et une chaîne à rouleaux reliée à un pignon denté. Ce pignon denté est ensuite relié aux noyaux du moule, afin de retirer le bouchon sans abîmer le filetage.

Le moteur hydraulique :

Le moteur hydraulique transfère l'énergie hydraulique en énergie mécanique. Il utilise le débit d'huile qui est poussé dans le circuit hydraulique par une pompe hydraulique et le transforme par un mouvement rotatoire pour entraîner un autre dispositif (pignon).

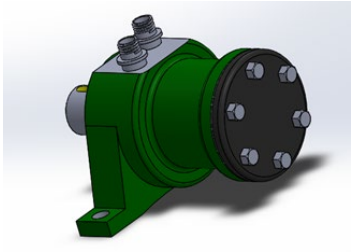


Figure (3.6). Moteur hydraulique.

La chaîne à rouleaux :

En construction mécanique, une chaîne à rouleaux est un ensemble de maillons reliés directement ou par l'intermédiaire d'axes. Une chaîne peut être fermée ou avoir ses extrémités ouvertes selon son utilisation.



Pignon :

Un pignon est une pièce mécanique, On retrouve les pignons dans deux grandes solutions de transmission mécanique : les engrenages et les transmissions à chaîne.



Outillages d'injection (moule) :

La plupart des moules sont conçus selon le schéma ci-dessous. Dans un moule nous trouvonsdonc :

- Une partie fixe
- Une partie mobile
- Une batterie d'éjecteurs

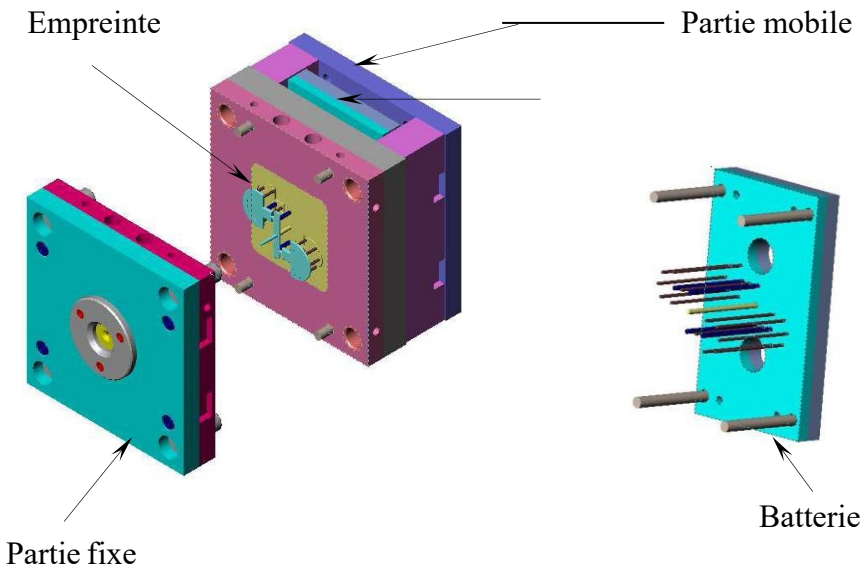


Figure (3.7). Architecture d'un moule d'injection plastique [17].

Le moule thermoplastique est généralement défini par :

- Le nombre d'empreintes (1, 2, 4, 8, 16, 32 ...)
- Son architecture : nombre de plaques, tiroirs…
- Le système d'alimentation : carotte perdue, canaux chauffants
- Le type d'alimentation des empreintes : pin point, en masse, en parapluie, sous-marine,
- L'éjection des pièces
- Système de refroidissement

E. Les fonctions d'un moule :

Il existe 4 grandes fonctions pour un moule d'injection :

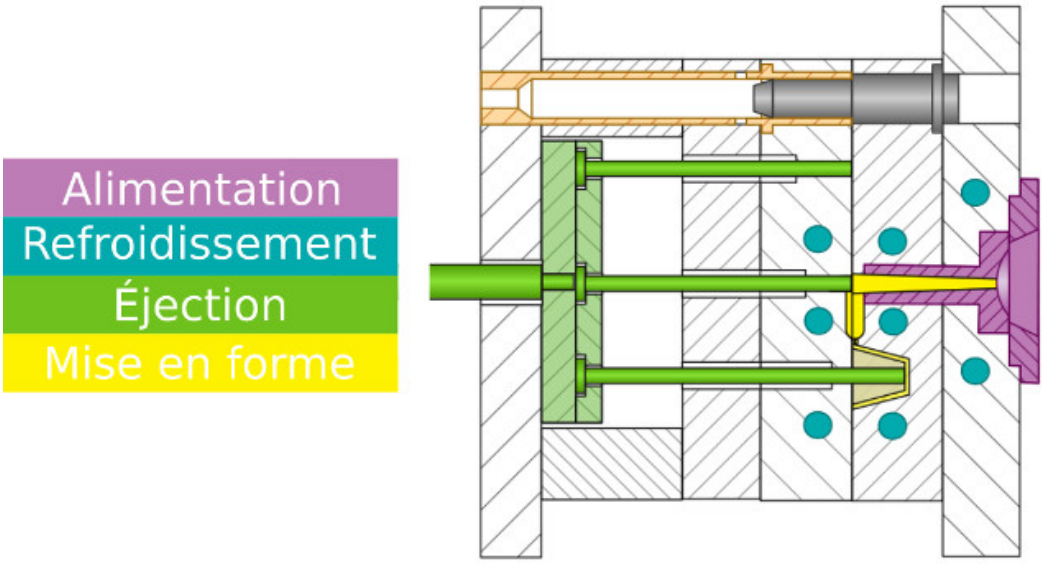


Figure (3.8) Les fonctions d'un moule [18].

E.1. La 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'alimentation ;
- Les points d'injection ;
- Les formes de la pièce.

E.2. La fonction mise en forme :

Les formes de la pièce, sa disposition dans l'outillage, orientent sur les dépouilles nécessaires au démoulage correcte de la pièce. Dans certains cas, le démoulage ne se fait pas naturellement et ces contre-dépouilles nécessitent un élément rapporté particulier. Ces éléments mobiles par rapport au reste de l'empreinte sont réalisés soit mécaniquement, soit hydrauliquement. Ces mouvements permettent de classifier l'outillage suivant un type (cales montantes, noyaux, etc.) [18].

1. Les dépouilles :

Pour faciliter le démoulage de la pièce, le moule doit avoir des dépouilles qui doivent être intégrées dans la forme de la pièce. La dépouille dépend essentiellement de l'état de surface de la pièce et de la précision de la géométrie des surfaces (grainage, poli glace, planéité, rectitude…). Dans une moindre mesure la dépouille dépend aussi de l'élasticité du thermoplastique [18].

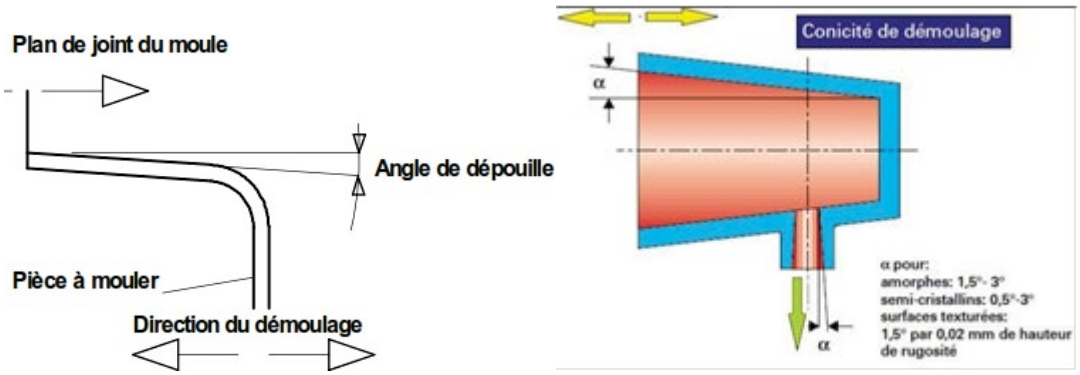


Figure (3.9). Les Dépouilles qui faciliter le démoulage de la pièce choix et valeurs [18].

2. Retrait :

Lors du refroidissement de la pièce dans l'outillage, un retrait de la matière apparait. Il s'agit d'unecontraction volumique.

Pour obtenir une pièce moulée de bonne dimension, il faut donc appliquer une anamorphose à l'empreinte.

$$\text{Cote de l'empreinte} = \text{cote pièce} \times \frac{1}{1\ \text{RETRAIT}}$$

La valeur du retrait s'exprime en % et dépend :

- Du polymère injecté,
- De la structure macromoléculaire, De l'épaisseur de la pièce,
- Des conditions de moulages (pressions, température, vitesse).

Matière	Retrait en %
PMMA	0.3 à 0.6
PS	0.5 à 0.6
ABS	0.3 à 0.6
PVC	0.4 à 0.5
PC	0.5 à 0.7
PA6	1.5
PA11	1 à 2.5
POM	1.6 à 3.6
PEhd	2.1 à 4.5
PEbd	2
PP	1 à 2.5

Tableau (3.1). Retrait

- Le retrait est dit différentiel lorsque la contraction diffère selon les zones de la pièce. Il est généralement dû à un refroidissement déséquilibré. La structure macromoléculaire influe directement sur le retrait : Amorphe : 0,2 à 1% et homogène ; Cristalline : 1 à 4% et différentiel.

3. L'éventation :

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

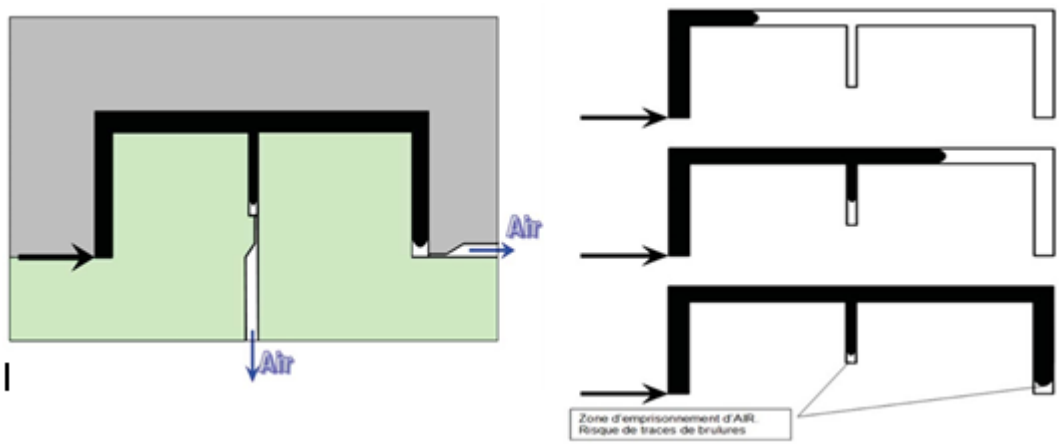


Figure (3.10). Les problèmes d'éventation et les solutions d'échappement de l'air [18].

E.3. La fonction éjection :

Elle permet d'extraire la ou les pièces de l'empreinte, ainsi que les éléments qui assurent l'alimentation des pièces (carottes, canaux…). C'est la fonction la plus complexe dans le moule. Elle comporte plusieurs pièces mécaniques qui travaillent ensemble pour assurer l'extraction de la pièce du moule sans la détériorer. C'est le mécanisme qui comporte le plus de pièces dans le moule.

E.4. Fonction régulation thermique (refroidissement) :

Assurer la régulation de l'outillage pour permettre une solidification correcte du polymère. Cette fonction est nécessaire pour obtenir une structure optimale du polymère injecté et un temps de production minimum. Ces deux objectifs sont généralement contradictoires. La réalisation de cette fonction est assurée par la circulation dans l'outillage (circuits de régulations) d'un fluide caloporteur [18].

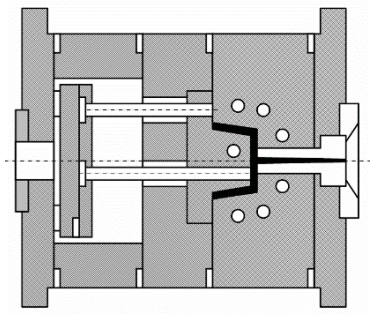
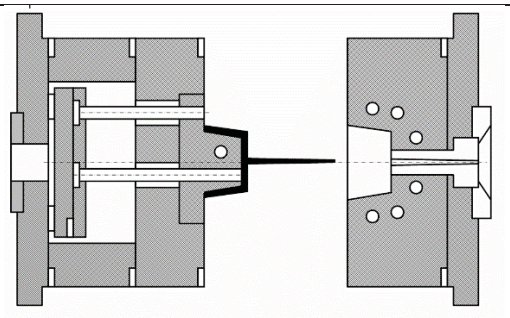
F. Les différents moules d'injection plastique :

Un moule remplit généralement plusieurs fonctions telles que le moulage, l'éjection, le guidage et le refroidissement. Différentes familles de moules sont justifiées en fonction des critères suivants :

- Le nombre d'empreintes (1, 2, 4, 8, 16, 32 ...) ;
- Son architecture : nombre de plaques, tiroirs, coquilles ;
- Le système d'alimentation : carotte perdue, canaux chauffants ;
- Le type d'alimentation des empreintes : pin point, en masse, en parapluie, sous-marine, en Ligne, en "n" points ;
- L'éjection des pièces (par éjecteur, bloc d'éjection ou autres) ;
- La régulation de la température ;
- La durée de vie (choix des matériaux) [18].

F.1. Moule à deux plaques :

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

	
Moule fermé pendant la phase d'injection et de refroidissement	Ouverture du moule Au plan de joint 1ere phase du démoulage

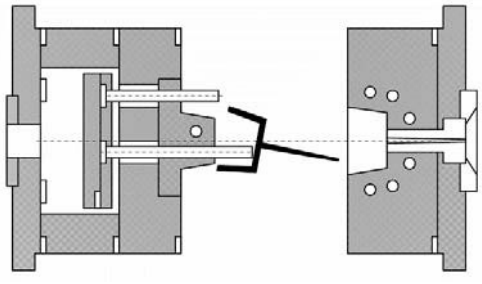
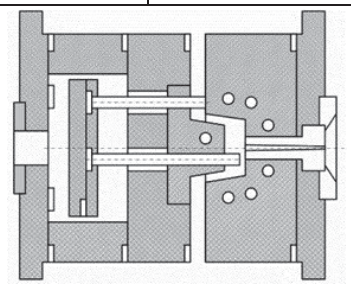
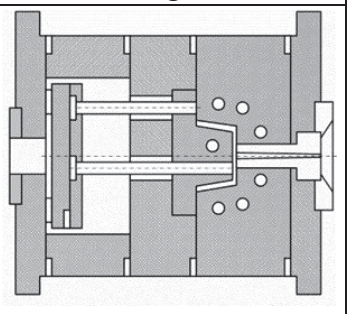
		
Moule ouvert : Complètement 2eme phase du démoulage : Ejection de la pièce	Pièce éjectée : fermeture du moule avec retour de La batterie d'éjection	Moule fermée : prêt pour un nouveau cycle.

Tableau (3.2). Moule à deux plaques [18].

F.2. Moule à trois plaques :

Le tableau suivant illustre le fonctionnement d'un moule à trois plaques, également on rencontre dans l'industrie des moules à plusieurs plaques utilisant le même principe, la chronologie des ouvertures, se fait les priorités définis par le concepteur, principalement on a un plan de joint carottes et un plan de joint pièce [18].

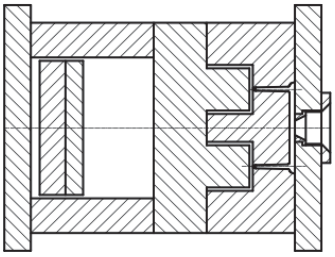
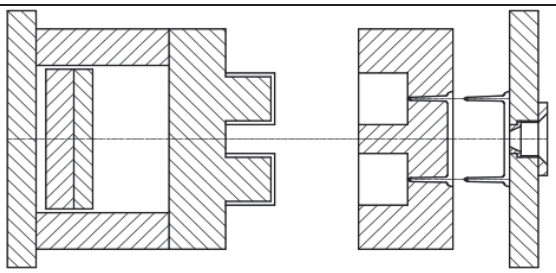
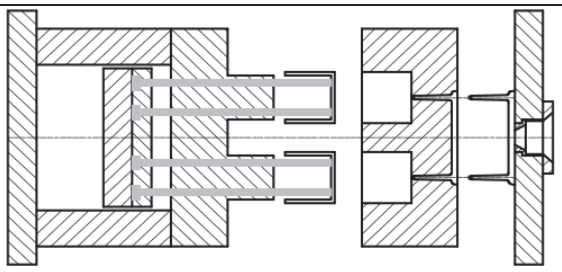
le moule à 2 plans de joint: 1 plan de joint pour la carotte1 plan de joint pour la pièce.	
1ère ouverture au niveau du plan de joint carotte (impératif pour une bonne casse du point d'injection) 2ème ouverture au niveau du plan de joint pièce	
Ejection de l'article, par les batteries d'éjection (des éjecteurs cylindriques).	

Tableau (3.3). Moule à trois plaques [18].

F.3. Moule à canaux chauds :

La matière dans les canaux de transfert reste à la température de moulage jusqu'à l'entrée de l'empreinte, ce qui se traduit par une diminution des pertes de matière et un gain de productivité, en effet le temps de solidification de la matière n'est plus que celui propre de la pièce, de même que l'on gagne le temps de remplissage du système d'alimentation [18].

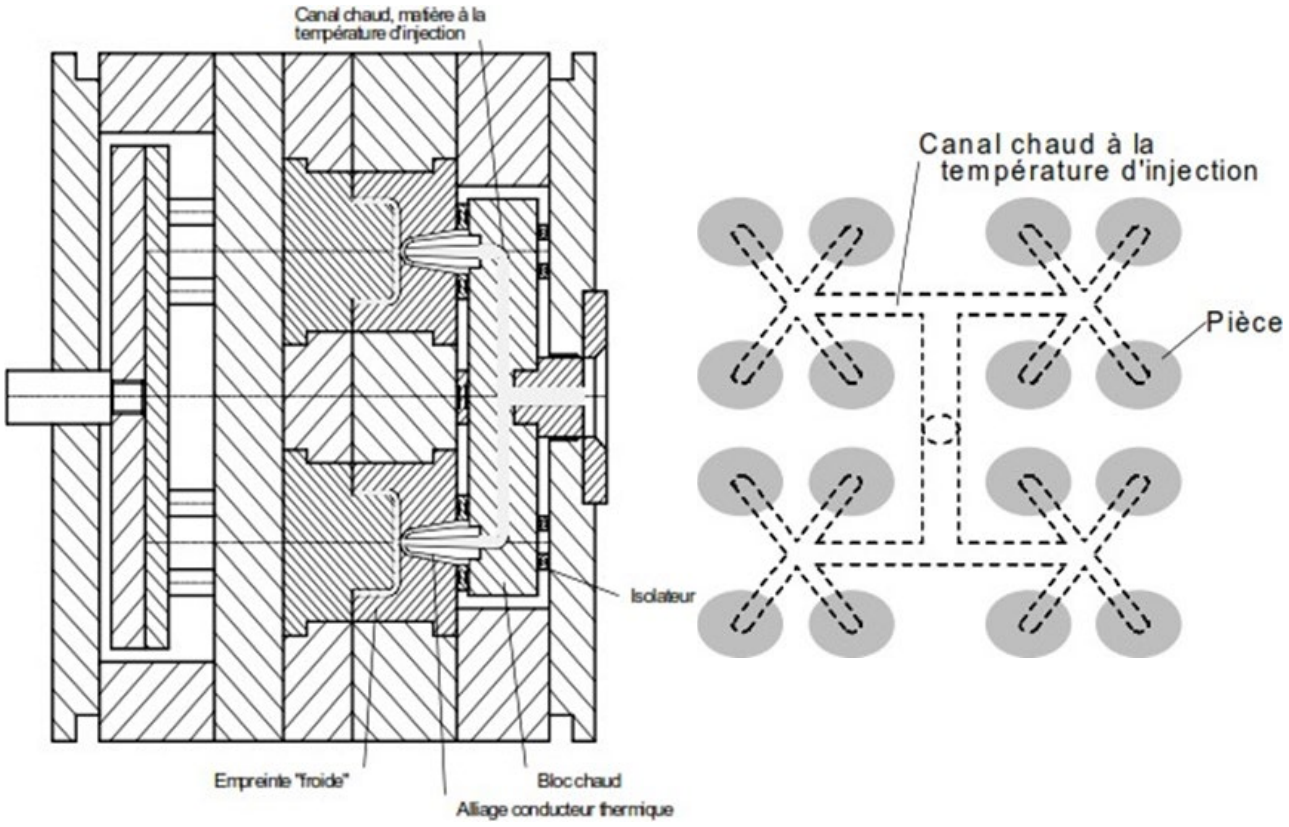
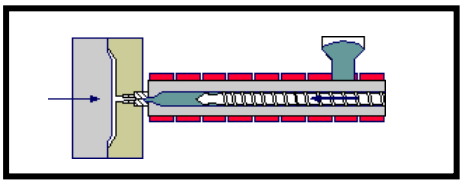


Figure (3.11). Moule multi-empreintes Canal chaud – bloc chaud [18].

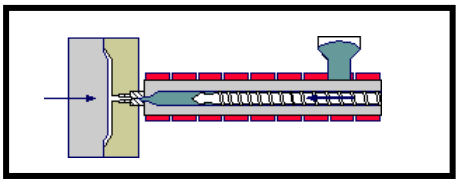
G. Les étapes du procédé d'injection :

Le procédé d'injection se déroule en cinq étapes :

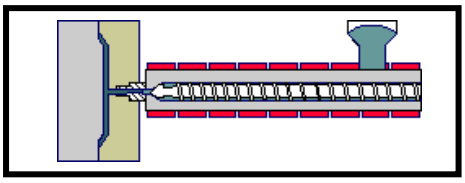
1. **Fermeture du moule** : Ce mouvement commence avec une vitesse lente puis rapide, et se termine de nouveau lentement pour éviter le choc entre les plans de joint et pour donner le temps d'agir au système de sécurité.



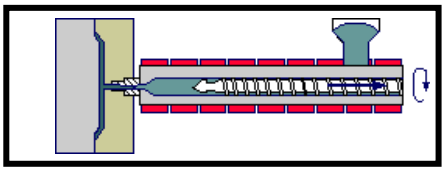
2. **Verrouillage : S**i 'le système de sécurité n'a décelé aucune anomalie, la commande peut appliquer la force de fermeture. Selon le système de fermeture, la force est créée par le produit de la surface et de la pression, ou par la mise en contrainte des colonnes.



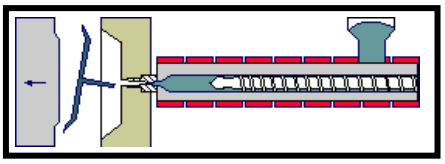
3. **Injection** : C'est la phase de remplissage de(s) (l') empreinte(s) avec la matière plastifiée et le maintien sous pression pour compenser les retraits.



4. **Refroidissement** : Il à lieu le temps nécessaire pour que le plastique se solidifie dans le moule. Dans la pratique, on plastifie souvent, pendant ce temps, la matière pour le prochain cycle. De plus, si nécessaire au cours de ce temps, on peut séparer la buse du cylindre d'injection' et le moule.



5. **Ouverture du moule** : Le plastique étant suffisamment refroidi pour pouvoir être démoulé, la partie mobile du moule s'écarte de la partie fixe.



6. **Démoulage (éjection)** : Le moule occupe la position de fin d'ouverture qui assure à la pièce l'espace libre pour être éjectée [19].

H. Les machines d'usinages :

H.1. La machine de tour :

Définition :

Les tours (voir Figure) peuvent produire des surfaces tournantes et Hélicoïdal (filetage) : cylindrique, conique et planaire (génératrices perpendiculaires à l'axe révolution). Le but principal de ces machines est d'usiner des arbres. La Pièce, généralement maintenue par un mandrin, avec mouvement de rotation (mouvement Coupe) est transmis par la broche. L'outil peut traduire dans deux directions. Ces deux directions sont perpendiculaires entre elles et appartiennent à un plan L'axe de l'arbre principal lui est parallèle. Le premier mouvement de translation est parallèle à l'axe de la broche. Le deuxième mouvement de translation est perpendiculaire à l'axe de la broche [20].

Forme de tour horizontal :
1 poupée
2 porte-couteaux
3 poupée mobile
4 lits
5 pieds de lit droits
6 barres lumineuses
7 vis
8 boîte coulissante
9 jambe gauche
10 boîtes d'alimentation
11 mécanisme de roue suspendue

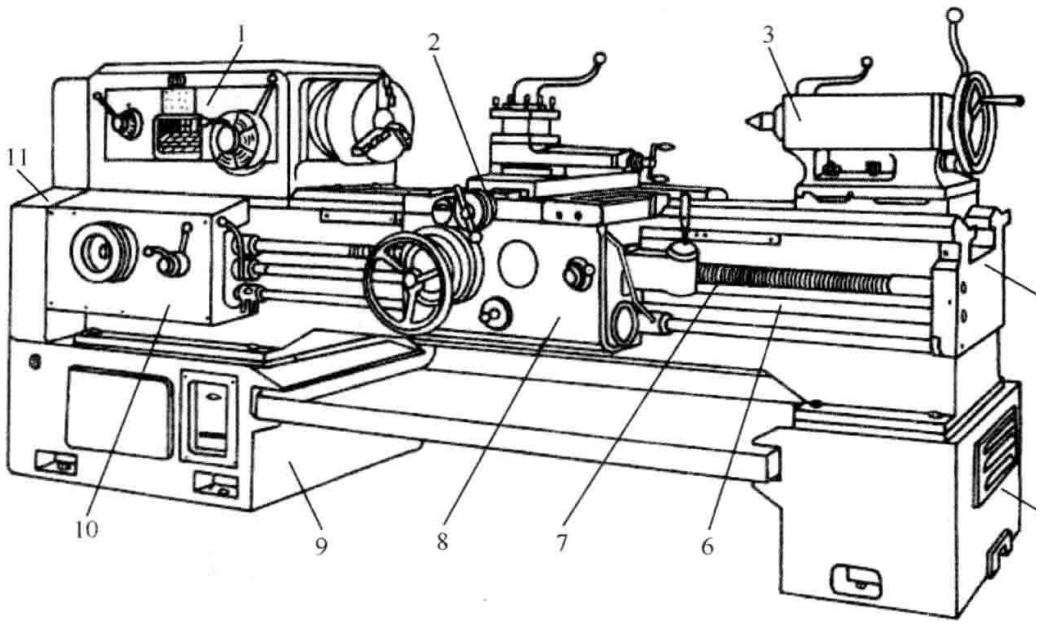


Figure (3.12). Composantes d'un tour [20].

H.2. Fraiseuse :

Définition :

Une fraiseuse est une machine-outil utilisée pour usiner tous types de pièces mécaniques, à l'unité ou en série, par enlèvement de matière à partir de blocs ou parfois d'ébauches estampées ou moulées, à l'aide d'un outil coupant nommé fraise. En dehors de cet outil qui lui a donné son nom, une fraiseuse peut également se voir équipée de foret, de taraud ou d'alésoir [20].

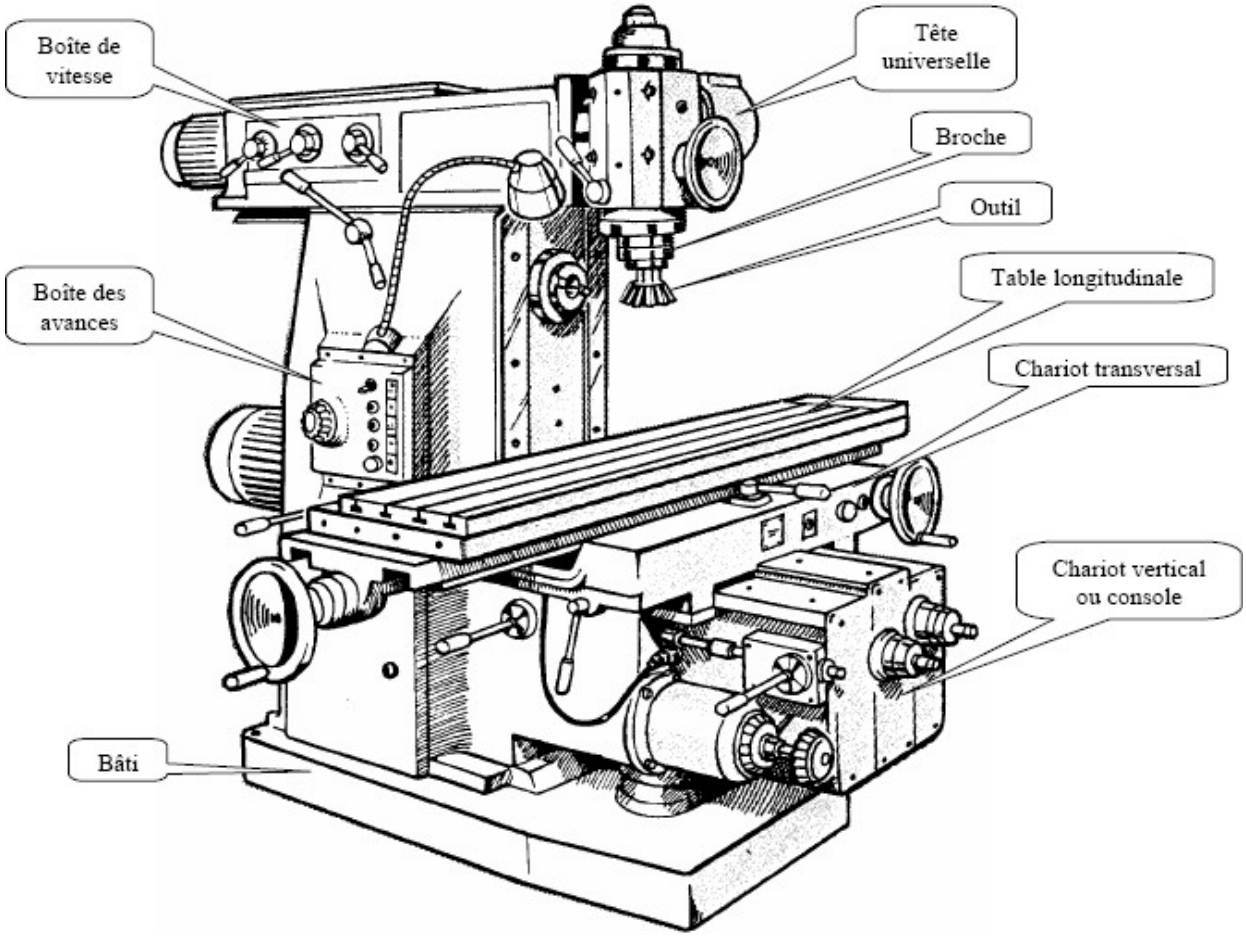


Figure (3.13). Fraiseuse [20].

H.3. Les machines d’usinage CNC (Commande Numérique par Ordinateur) :

Les machines d’usinage CNC sont des machines-outils automatisées utilisées pour façonner des pièces en utilisant des commandes programmées par ordinateur. Ces machines sont largement utilisées dans l'industrie manufacturière pour l'usinage de précision.

La caractéristique principale des machines d’usinage CNC est leur capacité à exécuter des mouvements programmés avec une grande précision et une répétabilité élevée. Elles sont équipées de moteurs commandés numériquement qui entraînent les axes de mouvement, permettant ainsi des opérations d'usinage précises.

- Voici quelques points clés à connaître sur les machines d’usinage CNC :

Programmation : Les machines d’usinage CNC sont contrôlées par des programmes informatiques qui spécifient les mouvements et les actions à effectuer. Les programmes sont généralement créés à l'aide de logiciels de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) ou de FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur).

Mouvement multi-axes : Les machines CNC peuvent avoir différents axes de mouvement, tels que les axes X, Y et Z pour les mouvements linéaires, ainsi que des axes rotatifs pour les mouvements de rotation. Cela permet de réaliser des opérations d'usinage complexes et de produire des pièces avec des formes variées.

Polyvalence : Les machines d’usinage CNC peuvent usiner différents types de matériaux, tels que le métal, le plastique, le bois et les composites. Elles sont utilisées pour des opérations d'usinage telles que le fraisage, le tournage, le perçage, le taraudage et le filetage.

Précision et répétabilité : Les machines CNC offrent une précision élevée et une répétabilité précise dans l'exécution des mouvements et des opérations d'usinage. Cela permet de produire des pièces avec des tolérances étroites et une qualité constante.

Automatisation : Les machines CNC sont largement automatisées, ce qui réduit la dépendance à l'égard du travail manuel et augmente l'efficacité de la production. Elles peuvent fonctionner en continu et exécuter des tâches complexes avec une supervision minimale. [21].

H.4. Les types de machines CNC les plus courants :

Il existe plusieurs types de machines CNC sur le marché, chacune étant conçue pour effectuer des opérations spécifiques sur différents matériaux et formes. Dans cette mémoire, nous décrirons les types de machines CNC les plus courants, leur utilisation et leurs caractéristiques.

TOURS ET FRAISEUSES CNC :

Les fraiseuses et les tours à commande numérique sont des outils de fabrication utilisés pour façonner et découper des matériaux en pièces à usiner. Toutefois, il existe des différences essentielles entre ces deux types de machines CNC.

a) La fraiseuse numérique :

La fraiseuse est principalement utilisée pour couper et façonner des matériaux solides en déplaçant un outil de coupe sur la pièce à usiner. Les fraiseuses CNC sont capables de découper des matériaux en trois dimensions selon les axes X, Y et Z, et sont souvent utilisées pour la production de pièces très précises et complexes [21].



Figure (3.14) . Fraiseuse CNC à 3 axes [21].

Types de fraiseuses CNC :

Il existe plusieurs types de fraiseuses numériques, chacun étant adapté à des applications spécifiques. Voici quelques-uns des types les plus courants :

Fraiseuse à trois axes (3 axes) :

C'est le type le plus courant de fraiseuse numérique, avec des mouvements linéaires dans les directions X, Y et Z. Elle est utilisée pour l'usinage de pièces planes ou légèrement complexes.

Fraiseuse à quatre axes (4 axes) :

En plus des mouvements X, Y et Z, ce type de fraiseuse peut également effectuer des rotations autour d'un axe supplémentaire. Cela permet l'usinage de pièces avec des contours et des formes plus complexes.

Fraiseuse à cinq axes (5 axes) :

Elle ajoute un autre mouvement de rotation à la fraiseuse à quatre axes, généralement autour des axes X et Y. Cela permet un usinage simultané de surfaces complexes et inclinées sous différents angles, offrant une plus grande liberté de conception.

b) Tour CNC :

Un tour CNC, quant à lui, est essentiellement utilisé pour couper et façonner des matériaux cylindriques, tels que des tubes et des tiges. L'outil de coupe se déplace le long de la pièce, et la pièce tourne sur le mandrin rotatif, coupant et façonnant au fur et à mesure [21].

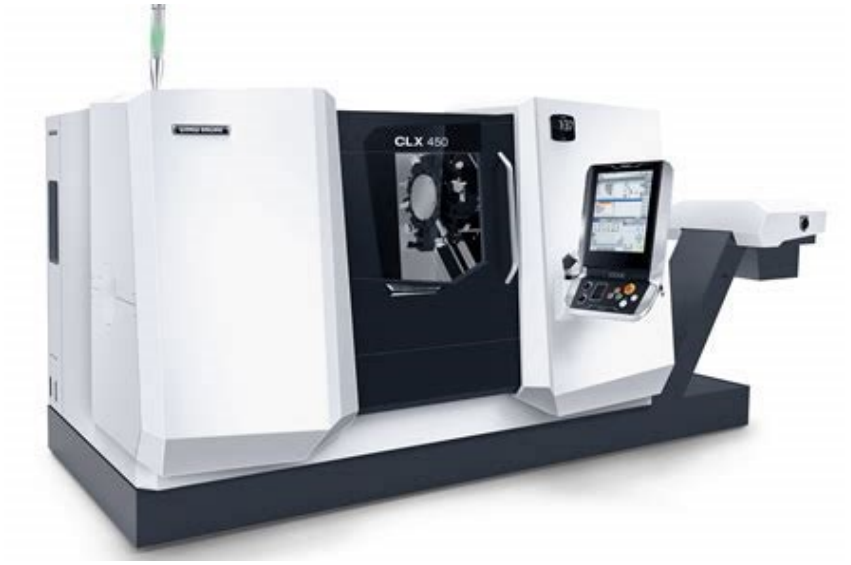


Figure (3.15). Nouveau tour CNC 4 axes [21].

c) L'électroérosion :

c.1. L'électroérosion, qu'est-ce que c'est ?

L'électroérosion, appelée également micro-érosion ou encore EDM (Electrical Discharge Machining*),* est un procédé de micro-usinage de haute précision. On parle également d'usinage par étincelage. Cette technique permet d'enlever de la matière sur une pièce, en utilisant des décharges électriques. Pour y parvenir, le dispositif consiste à recréer le phénomène de la foudre qui frappe le sol. Seules les pièces élaborées à partir de matériaux conducteurs de l'électricité (métaux, alliages, carbures, graphites, etc.), peuvent être usinées de cette façon [21].

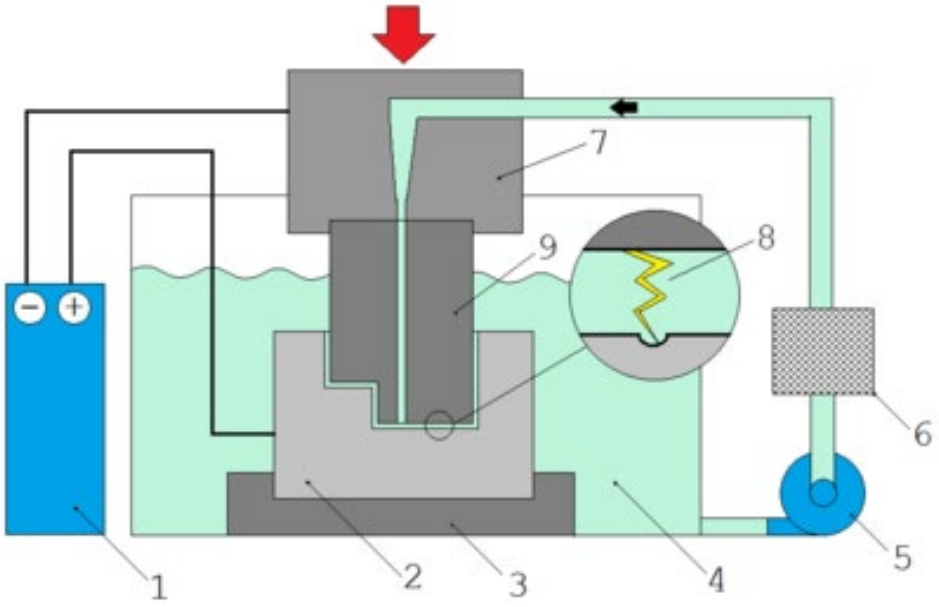


Figure (3.13). Les parties constituantes de l'électroérosion [21].

1.Générateur de décharge **2**. Pièce (+)

3. Porte-outil **4**. Fluide diélectrique

5. Pompe **6**. Filtre

7. Porte-outil (-) **8**. Décharge

9. Outil

c.2.Les différents techniques d'usinage par électroérosion :

Deux techniques d'électroérosion sont couramment utilisées : l'électroérosion par enfonçage et l'électroérosion par fil. Les sections suivantes présentent les deux techniques.

L'électroérosion par enfonçage :

L'électroérosion par enfonçage (Jameson, 2001) est une technique d'usinage utilisant une électrode dont la forme correspond à la contre-image de la pièce à usiner. Tel que vu dans la Figure 1.12, l'alignement des ions présent dans le liquide diélectrique permet la formation d'un arc électrique qui liquéfie la matière à enlever. Une fois le courant électrique coupé, celle-ci sera refroidie, solidifiée et évacuée par le liquide diélectrique dans lequel baignent la pièce et l'électrode. L'avance automatique de la cathode, nécessaire pour former la géométrie désirée, se fait en Comparant la tension de claquage réelle du diélectrique à une tension de référence. Quand la tension de claquage est supérieure à la tension de référence, la tête avance. Quand la tension est inférieure, la tête recule.

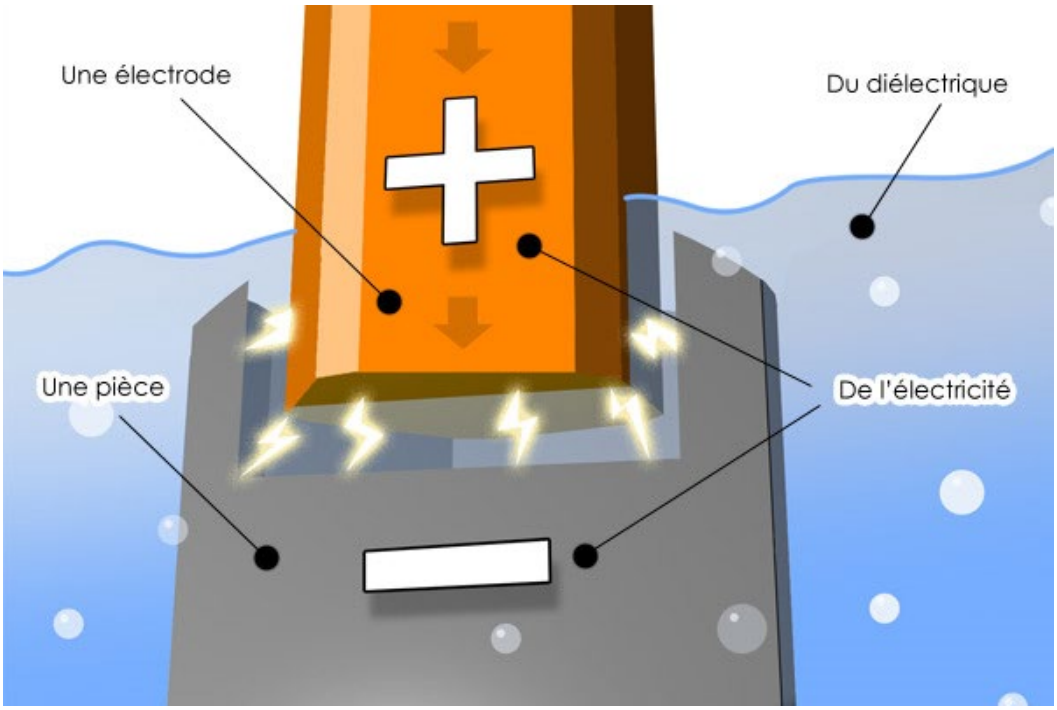


Figure (3.16) . Principe de l'électroérosion par enfonçage [21].

Ce type d'électroérosion permet l'usinage de cavités creuses de géométrie extrêmement précise avec, par exemple, des arêtes et des congés pratiquement vifs. Les paramètres d'usinage généralement utilisés pour contrôler le procédé seront présentés plus loin [21].

L'électroérosion par fil :

L'électroérosion par fil (Jameson, 2001), contrairement au procédé par enfonçage, utilise la surface tangentielle d'un fil en constant mouvement longitudinal pour émettre l'étincelle liquéfiant la surface de la pièce à usiner. Le mouvement longitudinal du fil permet de contrôler son usure et d'éviter une fragilisation ponctuelle de celui-ci, sachant que pour chaque élément de matière liquéfiée sur la pièce, un élément plus ou moins équivalent de matière est enlevé sur l'électrode. Le désavantage de cette technique par rapport à la premièreest la nécessité qu'il y a de faire passer le fil au travers de la pièce, ce qui élimine la possibilité d'usiner des cavités creuses. La figure suivante présente le principe de l'électroérosion par fil.

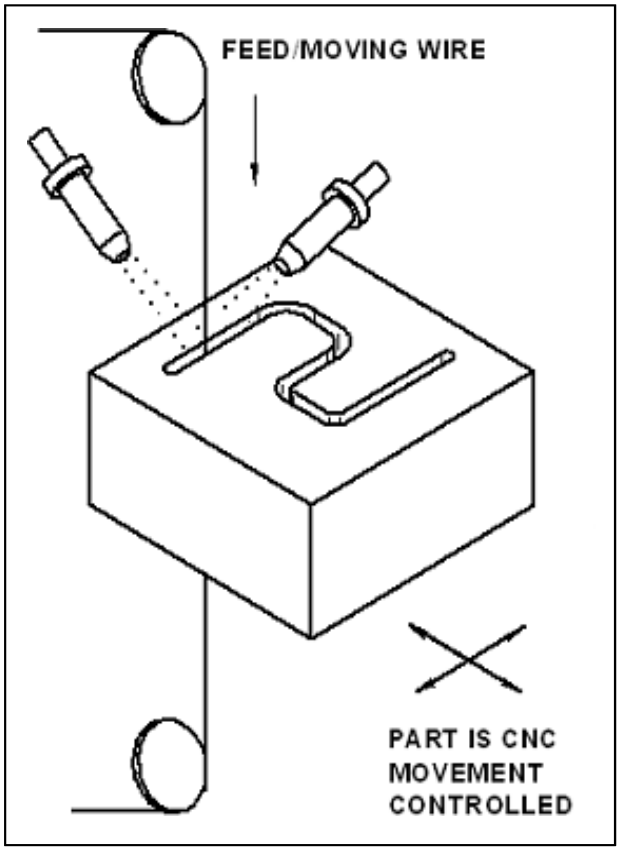


Figure (3.17). Principe de l'électroérosionpar fil [21].

c.3.Applications :

- Usinage des métaux durs ou trempés, carbures.
- Usinage de pièces délicates préalablement traitées, évite les déformations, suppression des efforts de bridage (la pièce n'étant jamais en contact avec l'outil).
- Obtention de formes quelconques.
- Extraction d'outils cassés (forets, tarauds).
- Usinage de formes spéciales (trous de section carrée, triangulaire, en hélice, gravures complexes).

c.4.Les avantages et les inconvénients de l'électroérosion :

Avantages :

- Très bonne précision et bon état de surface (identique à la rectification).
- Possibilité de percer des trous très fins.
- Pas d'actions mécaniques entre la pièce et l'outil donc pas de bridage nécessaire.

Inconvénients :

- Enlèvement de matière lent.
- Consommation électrique élevée.
- Érosion rapide de l'électrode (même en cuivre).
- Présence d'une couche dite couche blanche en général dure dans laquelle les caractéristiques du matériau de base sont modifiées (risque de micro-fissures, départs d'amorces de rupture pour les pièces soumises à des sollicitations de fatigue) [21].

H.5. Electroérosion VS méthodes traditionnelles d'usinage :

La méthode d'usinage d'une pièce par électroérosion par rapport à d'autres méthodes d'usinage (tournage, fraisage) présente divers avantages :

- Aucune force mécanique n'est exercée sur la pièce : élimination de systèmes de blocage complexes.
- Aucune condition liée à l'usure des fraises, garantissant ainsi une bonne précision des actions quel que soit le nombre de pièces à usiner.
- Il est possible d'usinage tous types de matériaux conducteurs de l'électricité et quelle que soit leur dureté.
- Possibilité de créer n'importe quelle figure géométrique ou volumétrique.
- Tolérances d'usinage optimales (± um).
- Grande autonomie des machines sans l'intervention de l'opérateur [21].

CHAPITRE IV

LA CONCEPTION ET LA FABRICATION DE MOULE

1. Introduction :

La CFAO (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur) est un domaine qui combine la conception assistée par ordinateur (CAO) et la fabrication assistée par ordinateur (FAO) pour automatiser le processus de conception et de fabrication de produits.

La conception assistée par ordinateur (CAO) implique l'utilisation de logiciels spécialisés pour créer des modèles virtuels en 2D ou 3D de produits. Ces modèles peuvent représenter des objets physiques tels que des pièces mécaniques, des bâtiments, des voitures, des avions, etc. La CAO permet aux concepteurs de visualiser, de modifier et de tester leurs idées de manière virtuelle avant de passer à la phase de fabrication.

La fabrication assistée par ordinateur (FAO) intervient après la phase de conception. Elle utilise des logiciels pour traduire les modèles virtuels créés dans la phase de CAO en instructions spécifiques pour les machines-outils et les équipements de fabrication. Ces instructions peuvent inclure des détails sur les mouvements des outils, les paramètres de coupe, les matériaux à utiliser, etc. La FAO permet une automatisation précise du processus de fabrication, ce qui réduit les erreurs et améliore l'efficacité.

La CFAO permet d'optimiser le processus de conception et de fabrication en réduisant les délais, les coûts et les erreurs. Elle offre également des avantages tels que la possibilité de réaliser des prototypes virtuels, d'effectuer des simulations et des tests avant la fabrication réelle, et de faciliter la personnalisation et la production en série.

Les logiciels de CFAO sont utilisés dans diverses industries telles que l'automobile, l'aérospatiale, l'ingénierie mécanique, l'architecture, la joaillerie, etc. Ils sont souvent intégrés à des systèmes de gestion de la production (ERP) pour une planification et une gestion efficaces de l'ensemble du processus de fabrication.

2. La Conception assistée par ordinateur (CAO) :

La CAO comprend l'ensemble des programmes et des techniques de modélisation qui permettent la conception de modèles et de produits. La CAO permet aussi de simuler et donc de tester virtuellement les produits avant de les fabriquer. Il est ensuite aisé de transmettre les informations à la Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO).

Le développement d'ordinateurs individuels suffisamment puissants assure des fonctions très lourdes en calcul numérique :

• Modélisation numérique

• Simulation mécanique et calcul des matériaux

• Représentation graphique, Dessin de plan

• Manipulation d'objets 3D

• Gestion de grands assemblages

2.1. PRINCIPES DE LA CAO :

La CAO permet de concevoir et donc de dessiner en 3 dimensions des éléments de bases simples, puis de les assembler afin de réaliser des ensembles plus ou moins complexes. Tous ces éléments de base sont stockés dans des bases de données et peuvent donc être réutilisés dans chaque nouvelle étude par l'ensemble des utilisateurs du système.

Elle permet ainsi une standardisation des produits. Elle nécessite par contre de bien organiser et hiérarchiser le référencement des ensembles et sous-ensembles ainsi créés.

2.2. CREATION D'UN MODELE :

À l'aide des applications de la CAO disponibles sur le marché, la création géométrique d'un objet (pièce, circuit, etc.) est grandement facilitée. On peut également étudier l'objet sous divers angles et en tirer des copies à volonté à différents niveaux de réalisme.

On peut également étudier l'objet sous divers angles et en tirer des copies à volonté à différents niveaux de réalisme (Vue 3D, rendu réaliste, dessin technique assisté, bibliothèque de modèle, import/export sous plusieurs formats [22].

Dans notre travail, nous avons utilisé le logiciel Solidworks pour la conception de moule.

SolidWorks :

SolidWorks est un logiciel de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) très utilisé dans l'industrie du moulage plastique. Il offre des fonctionnalités spécifiques pour la conception de pièces en plastique et la création de moules.

- Voici quelques fonctionnalités clés de SolidWorks pour le moulage plastique :

Modélisation 3D : SolidWorks permet de créer des modèles 3D précis de pièces en plastique. Vous pouvez utiliser des fonctionnalités de modélisation avancées telles que les esquisses, les extrusions, les révolutions et les coupes pour construire votre pièce.

Conception de moules : SolidWorks propose des fonctionnalités spécifiques pour la conception de moules. Vous pouvez créer des cavités, des noyaux, des canaux d'injection, des éjecteurs et d'autres composants essentiels du moule. Il permet également de concevoir des systèmes de refroidissement pour optimiser le processus de moulage.

Analyse de moule : SolidWorks propose des outils de simulation intégrés qui vous permettent d'effectuer des analyses de moule virtuelles. Vous pouvez évaluer le flux de matière, détecter les problèmes potentiels tels que les lignes de soudure, les contraintes et les déformations, et optimiser la conception du moule en conséquence [22].

* Nous avons d'abord dessiné ce bouchon :

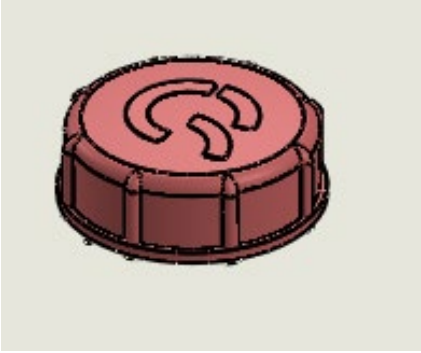


Figure (4.1). Bouchon par SolidWorks.

* Ensuite, nous avons conçu un moule pour cela,

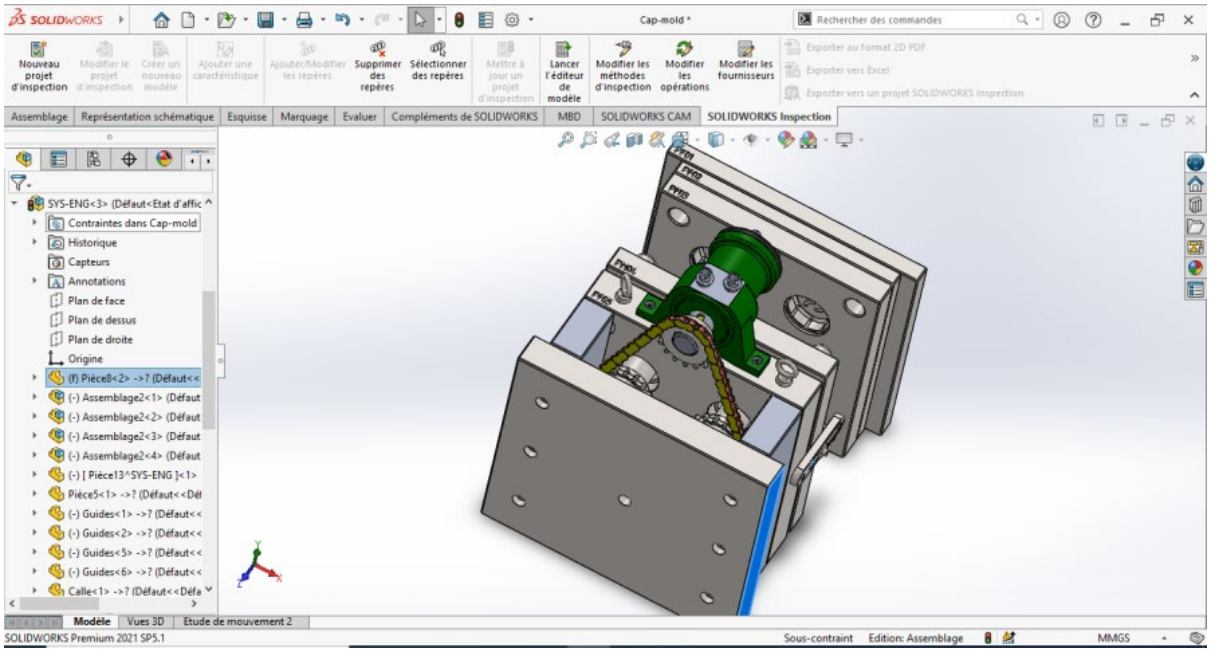


Figure (4.2). Le moule de bouchon (côté 1).

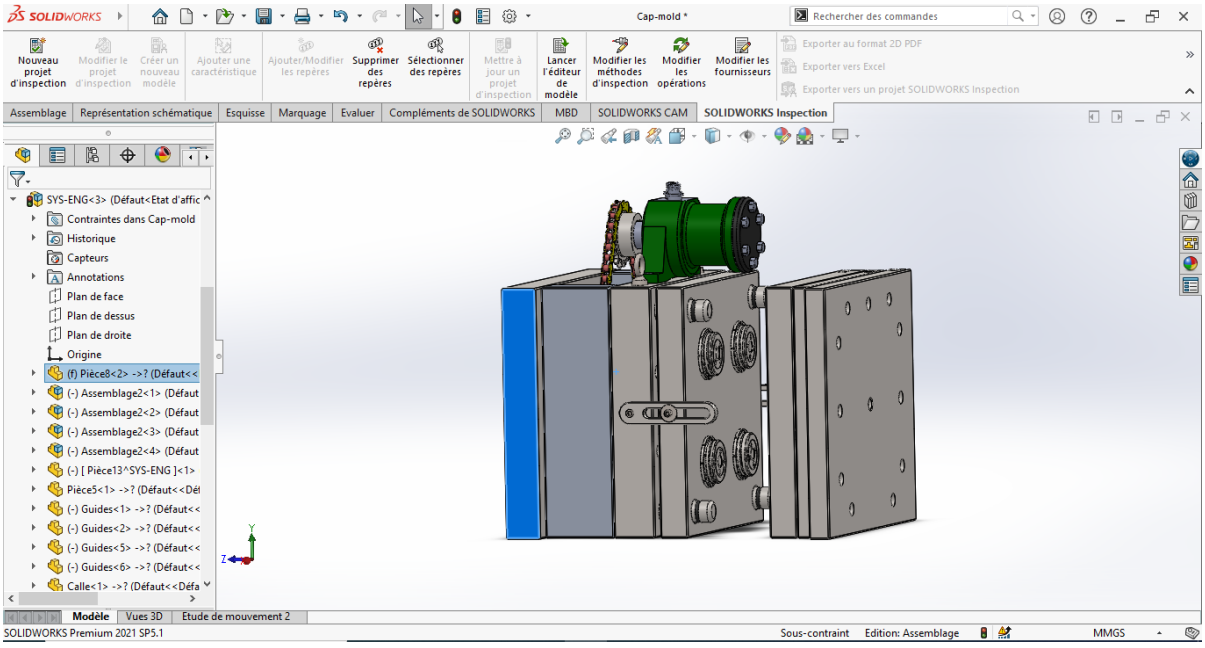


Figure (4.3). Le moule de bouchon (côté 2).

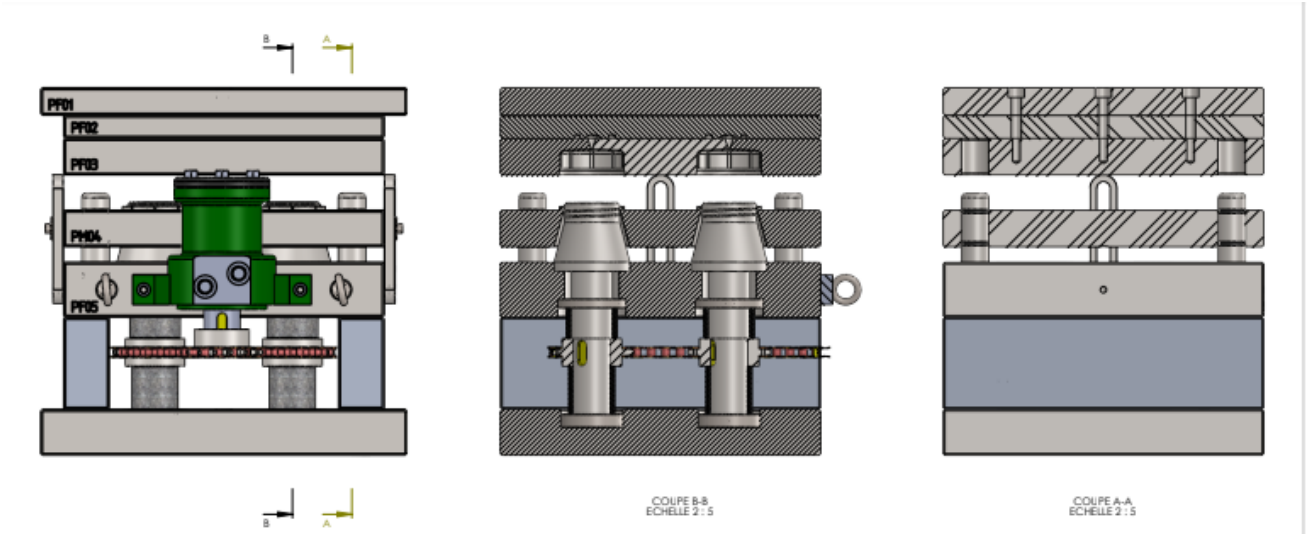


Figure (4.4). Le moule de bouchon a trois côtés.

3. Fabrication assistée par ordinateur (FAO) :

Le but de la fabrication assistée par ordinateur est d'écrire le fichier contenant le programme de pilotage d'une machine-outil à commande numérique. Ce fichier va décrire précisément les mouvements que doit exécuter la machine-outil pour réaliser la pièce demandée.

3.1. Modélisation 3D :

La conception de la pièce à fabriquer est réalisée à l'aide d'un progiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) : on nomme le fichier ainsi obtenu "modélisation 3D" ou encore "DFN" pour Définition de Formes Numérisée. Cette modélisation en trois dimensions de la pièce à réaliser est ensuite « exportée », c'est-à-dire sauvée depuis la CAO dans un fichier intermédiaire en utilisant un standard d'échange comme IGES, STEP ou autre. Certains outils de FAO sont capables de relire directement les fichiers des grands fournisseurs de CAO. Dans d'autres cas, la CAO et la FAO sont complètement intégrées et ne nécessitent pas de transfert. Pour ces progiciels, on parle de CFAO.

3.2. Élaboration des parcours-outils :

La modélisation 3D étant importée sur le progiciel de FAO puis relue par celui-ci, il est possible de passer à la programmation des parcours outils, le cœur de l'activité de la FAO. Le programmeur crée les parcours en respectant les choix d'outil, les vitesses de coupe et d'avance, et les stratégies d'usinage à mettre en œuvre. Le progiciel de FAO « plaque » les trajectoires des outils choisis sur la modélisation 3D et enregistre celles-ci sous forme d'équations.

* Dans notre travail, nous avons utilisé le logiciel Mastercam pour la fabrication de moule [22].

Mastercam :

Mastercam est un logiciel de FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur) qui est principalement utilisé pour la programmation des machines-outils à commande numérique (CNC). Bien que Mastercam soit principalement connu pour ses fonctionnalités de FAO, il peut également être utilisé dans le processus de moulage plastique.

- Voici comment Mastercam peut être utilisé pour le moulage plastique :

Conception de moules : Bien que Mastercam ne soit pas un logiciel de CAO dédié, il possède des fonctionnalités de modélisation 3D qui vous permettent de créer des modèles de moules. Vous pouvez utiliser ces fonctionnalités pour concevoir les contours et les cavités du moule en fonction des spécifications de la pièce en plastique à mouler.

Génération des trajectoires d'outils : Une fois que vous avez créé le modèle de moule dans Mastercam, le logiciel vous permet de générer les trajectoires d'outils nécessaires pour l'usinage du moule. Vous pouvez définir les opérations d'usinage telles que l'ébauche, le semi-fini et la finition, et Mastercam générera les mouvements des outils nécessaires pour obtenir la forme et la précision souhaitées.

Simulation et vérification : Mastercam offre des fonctionnalités de simulation et de vérification pour s'assurer que les trajectoires d'outils générées ne provoquent pas de collisions ou de problèmes d'usinage. Vous pouvez vérifier la géométrie, les parcours d'outil et les paramètres de coupe pour détecter les erreurs potentielles et les corriger avant de lancer l'usinage réel.

*Après avoir terminé le travail sur Solidworks, nous l'avons transféré sur MasterCam sous la forme d'un " STEP " pour la fabrication (gamme d’usinage et G-code) [22].

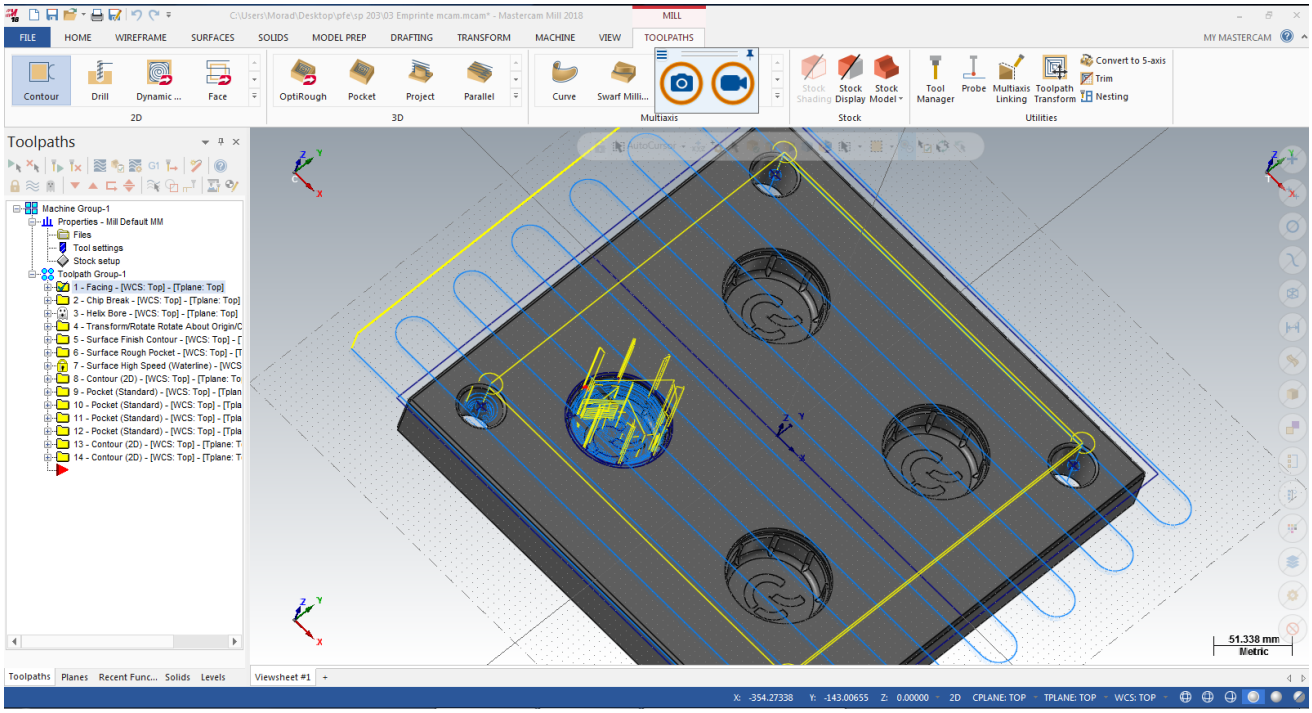


Figure (4.5).les différentes opérations d'usinage pour la plaque d'empreinte de moule

La gamme d'usinage numérique :

La pièce	Stratégie	Profon-deur de passe	Ø outil (mm)	Vitesse de plongée (mm/min)	Vitesse d'avance (mm/min)	Vitesse de broche Tr/min	Temps d'usinage
 Plaque de Empreinte	**Facing**	**0.2**	**15**	**450**	**1000**	**6000**	2h 38min
	Chip break	**0.2**	**16**	**500**	**100**	**900**	6min12s
	Helix bore	**0.2**	**20**	**450**	**500**	**1000**	25min
	Surface finish	**0.2**	**16**	**450**	**500**	**700**	13min
	Surface rough pocket	**0.1**	**10**	**500**	**1000**	**5000**	42min
	Surface high Speed	**0.08**	**4**	**500**	**1500**	**6000**	28min
	Contur 2D	**0.1**	**8**	**450**	**1500**	**6000**	39min
	Pocket	**0.1**	**10**	**450**	**200**	**1000**	12min
							7h 45min

Tableau (4.1). La gamme d'usinage numérique-fraiseuse CNC.

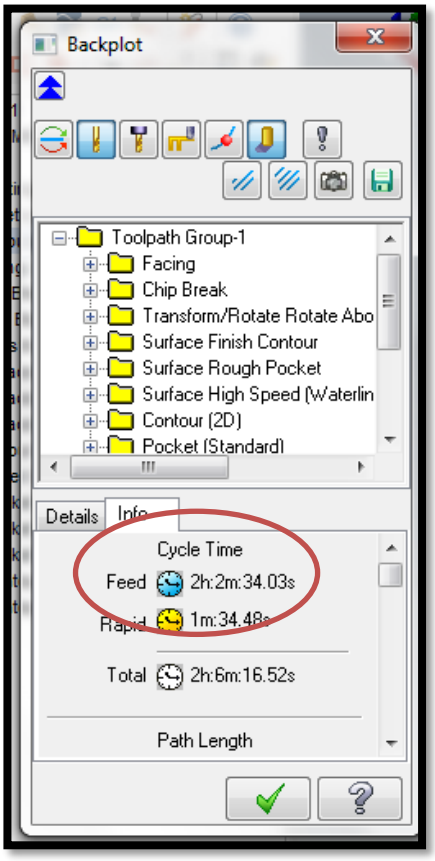


Figure (4.6). Temps d'usinage d'empreinte.

Simulation et vérification :

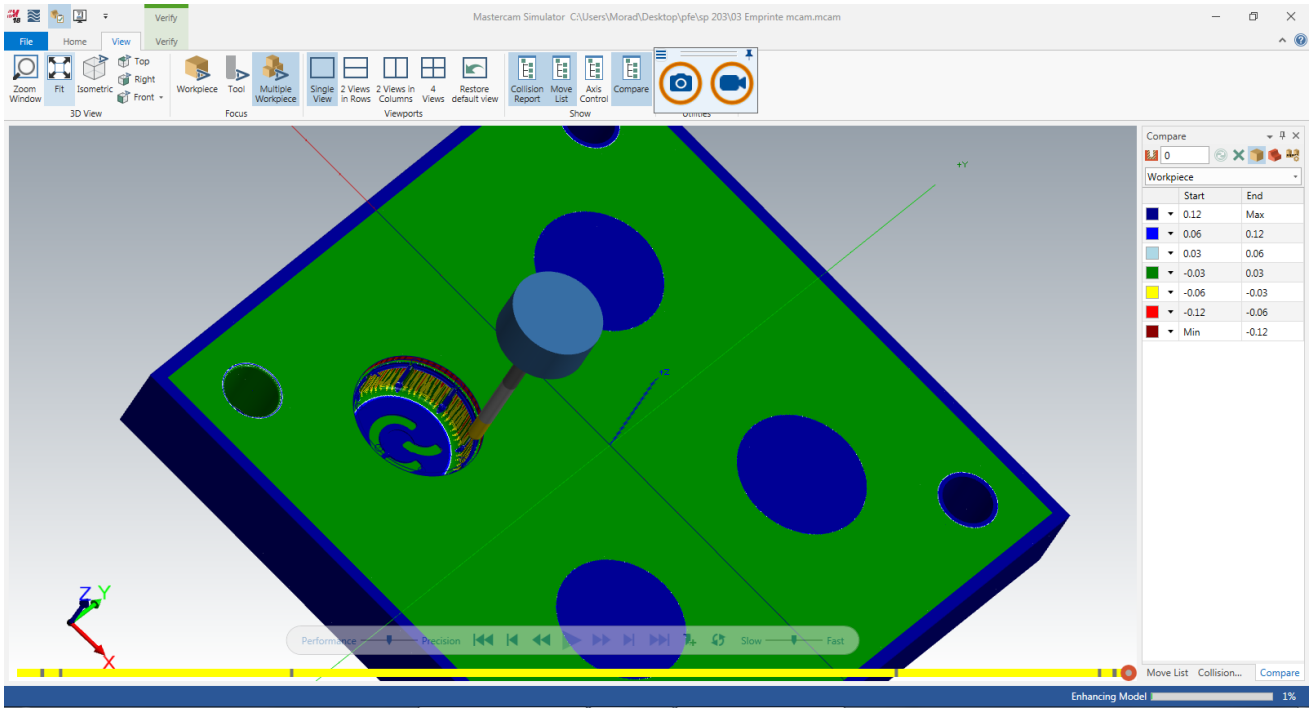


Figure (4.7). Simulation et vérification d'usinage

G-code :

Le G-code (ou code G) est un langage de programmation utilisé pour contrôler les machines-outils à commande numérique (CNC). Il s'agit d'un ensemble d'instructions qui indiquent à la machine les actions à effectuer lors de l'usinage d'une pièce. Le G-code est composé de commandes préfixées par la lettre "G" (pour indiquer une fonction de mouvement) suivie de chiffres qui spécifient les paramètres de l'opération.

```
%
O0000(03 EMPRINTE)
(DATE=DD-MM-YY - 03-06-23 TIME=HH:MM - 16:31)
(MCX FILE - C:\USERS\MORAD\DESKTOP\PFE\SP 203\03 EMPRINTE MCAM.MCAM)
(NC FILE - C:\USERS\MORAD\DOCUMENTS\MY MCAM2018\MILL\NC\03 EMPRINTE.NC)
(MATERIAL - ALUMINUM MM - 2024)
( T9 | SHOULDER MILL - 40 | H9 )
N100 G21
N110 G0 G17 G40 G49 G80 G90
/ N120 G91 G28 Z0.
/ N130 G28 X0. Y0.
/ N140 G92 X250. Y250. Z250.
N150 T9 M6
N160 G0 G90 X-224. Y179.998 A0. S6000 M3
N170 G43 H9 Z25.
N180 Z15.
N190 G1 Z4.8 F450.
N200 X204. F1500.
N210 G2 X217.846 Y166.152 I0. J-13.846
N220 X204. Y152.306 I-13.846 J0.
N230 G1 X-204.
N240 G3 X-217.846 Y138.46 I0. J-13.846
N250 X-204. Y124.614 I13.846 J0.
N260 G1 X204.
N270 G2 X217.846 Y110.768 I0. J-13.846
N280 X204. Y96.922 I-13.846 J0.
N290 G1 X-204.
N300 G3 X-217.846 Y83.076 I0. J-13.846
N310 X-204. Y69.23 I13.846 J0.
N320 G1 X204.
N330 G2 X217.846 Y55.384 I0. J-13.846
N340 X204. Y41.538 I-13.846 J0.
N350 G1 X-204.
N360 G3 X-217.846 Y27.692 I0. J-13.846
N370 X-204. Y13.846 I13.846 J0.
N380 G1 X204.
N390 G2 X217.846 Y0. I0. J-13.846
N400 X204. Y-13.846 I-13.846 J0.
```

Figure (4.8). G-code de Mastercam.

La pièce	Temps d'usinage
Plaque d'empreinte	**15h**
Plaque port moteur	**28h+ temps estimé pour l'usinage par électroérosion.**
Plaque de carottage	**10h**
Plaque de fixation coté injection	**7h**
	Temps estimé : 60h +……

Figure (4.9). Les pièces et le temps d'usinage.

* Il y a plusieurs pièces dans le moule qui sont fabriquées à l'aide d'une machine de tournage, y compris le filetage.

Le filetage :

Un filetage est obtenu à partir d'un cylindre (quelque-fois d'un cône) sur lequel on a exécuté une ou plusieurs rainures hélicoïdales. La partie pleine restante est appelée filet.

On dit qu'une tige est « filetée extérieurement » ou « filetée » et qu'un trou est« filetée intérieurement » ou « taraudé ».

Une tige filetée est aussi appelée vis et un trou taraudé écrou.

Le Pas :

Le pas est la distance qui sépare deux sommets consécutifs d'une même hélice.

- Le pas dans ce bouchon est égal à ≈5,99mm, Pour cela et aussi pour l'épaisseur du filetage nous avons utilisé le mécanisme de moteur hydraulique avec la chaîne [23].

Conclusion générale

Conclusion générale :

En conclusion, nous avons d'abord abordé les matériaux plastiques utilisés dans l'injection plastique, soulignant leur large éventail d'options en termes de propriétés mécaniques, de résistance chimique, de transparence, etc. Ces matériaux plastiques offrent une réponse diversifiée aux besoins de conception et d'application.

Ensuite, nous avons exploré les différents types de moulage plastique, tels que l'injection, le soufflage, la compression et l'extrusion. Chaque méthode présente ses avantages et s'adapte à des applications spécifiques, permettant ainsi la production de pièces en plastique de différentes formes, tailles et propriétés. Le choix du type de moulage dépend des exigences de la pièce, du volume de production et des caractéristiques du matériau plastique utilisé. Ces techniques de moulage plastique jouent un rôle essentiel dans de nombreux secteurs industriels en offrant des solutions de fabrication efficaces et économiques.

En plus de cela, nous avons abordé l'injection plastique et les machines utilisées pour l'injection, telles que la machine d'injection plastique, l'étincelage, diverses techniques de transformation avec des tours et des fraiseuses, ainsi que les machines à commande numérique CNC.

Et enfin, nous avons conçu le moule pour le bouchon à l'aide du logiciel **SolidWorks**. Ensuite, nous avons appris la méthode de fabrication des pièces du moule à l'aide de **Mastercam** et généré le **G-code** qui permet à la machine de fabrication de comprendre les déplacements, les vitesses, les opérations et d'autres paramètres importants pour effectuer le travail désire.

Ce travail que nous avons abordé dans notre mémoire reste ouvert, Ce qui implique que les futurs chercheurs dans le même thème de "Conception et réalisation d'un bouchon de bouteille" devraient chercher à étendre et améliorer davantage ce travail, Tout en poursuivant leurs recherches pour enrichir le domaine.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

[1] Julien HUMBERT: « Conception, élaboration et production d'agro composite à partir de tourteau de tournesol : étude du procédé d'extrusion-formulation-granulation ,Et d'injection-moulage », DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, 2008 Français.

[2] SAADA BECHIR., conception de moule, (page 02).

[3] Patricia Nicaud : Projet troisième ROB'OK, Les Matières Plastiques 2009.

[4] 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.

[5] AHMED HAMADI. « Conception générale des moules pour injection plastique », mémoire du diplôme d'ingénieur, département de mécanique, université de M'sila, 2003.

[6] Procède de fabrication plastique http://www.plasturgie-cojema.com/.

[7] M. MELAS – CEREMAP, Etat de l'art concernant les grands procèdes de mise en œuvre des matières plastiques issues de processus de régénération de déchets.

[8] Ghoul S Glaied. T : Etude et conception d'un moule d'injection pour cheville institut supérieur des sciences Appliqués et de Technologie de Sousse promotion 2012.

[9] Les techniques principales de moulage du plastique, https://www.ideastampi.fr/.

[10] « Introduction to Compression Molding », sur eFunda.

[11] Procède e l'injection http://www.rose-plastic.fr/3515.html.

[12] Oussama ZAKARI. Extrusion soufflage et injection-souflage.

[13] https://prototechasia.com/injection-thermoplastique/histoire-injection-thermoplastique.

[14][C.CORBET]. MATÉRIAUX OUTILLAGE DE MISE EN FORME. Edition casteilla.

[15] H.H.kausch. Mâtereaux polymère, propretés mécaniques et physiques.

[16] Cours les moules, https://www.mcours.net/.

[17] BENAISSA CHOKRI, l'injection plastique, page 01.

[18] Licence en GM, Cours de PMF des Matières plastiques.

[19] J-P. Trotignon, J. Verdu, A. Dobracginsky, and M. Piperaud: Précis de Matières plastiques : Structures-Propriétés, Mise en oeuvre, Normalisation. AFNOR, 1996, FRA.

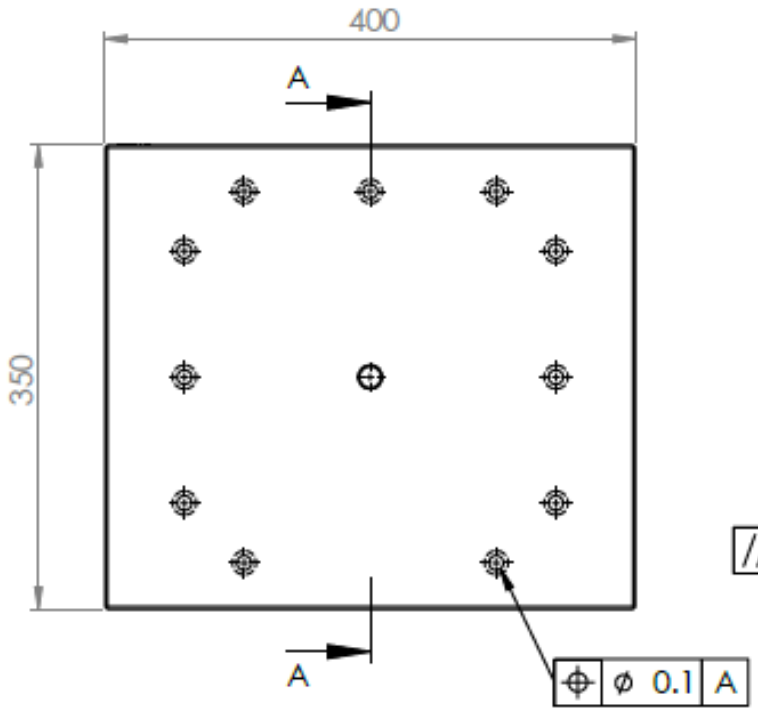
[20] Dr Layachi, Chapitre2 : Procédés d'obtention des pièces mécaniques.

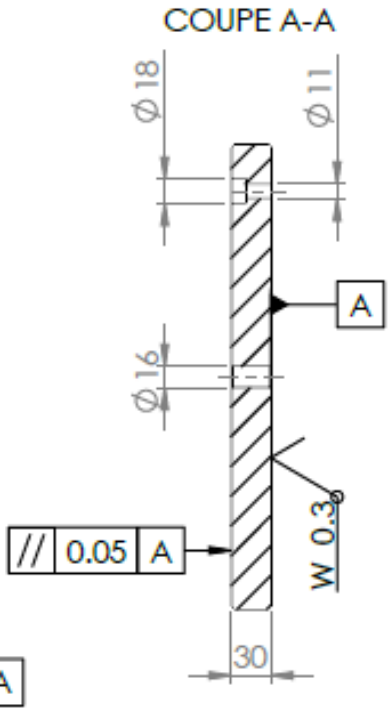
[21] Tous les types de machines CNC https://www.hwlibre.com/.

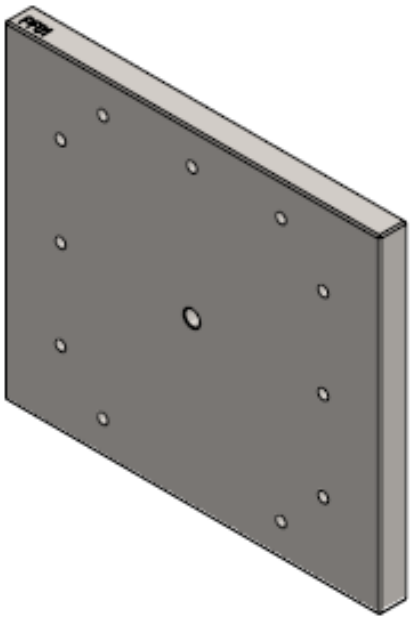
[22] Enseignant : M.Benmachiche, Université de Biskra, Matière : CFAO.

[23] Chevalier.

ANNEXE

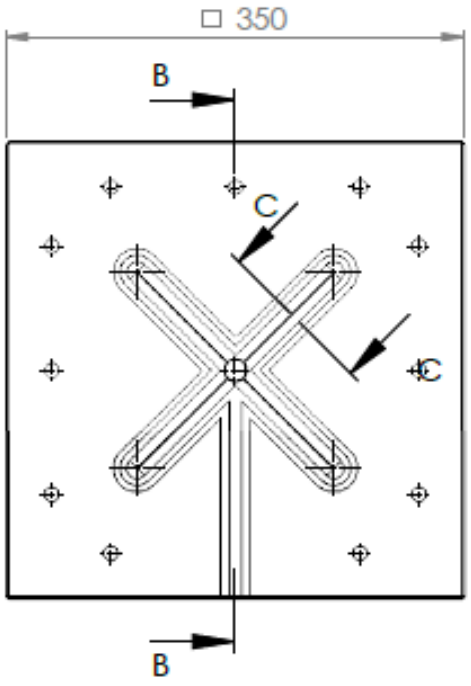




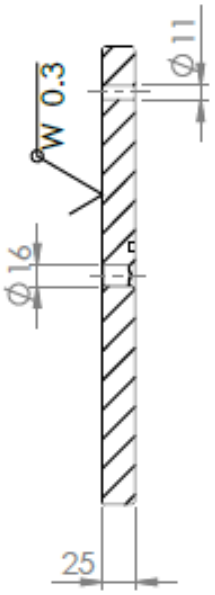


Chanfrein 2x45°
Congé R1

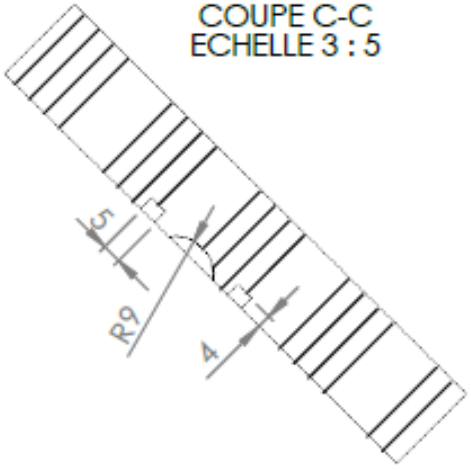
Titre: **Plaque de Fixation Côté Injection**		Date: 01/06/2023	Matèriau: 1.7147 (20MnCr5)	
Université de Médéa - Dr Yahia FARES		Masse (g): 32274.81	Echelle: 1:5	Format: A4
CHERGHI Redha - HAOUI Younes	M2 Construction			

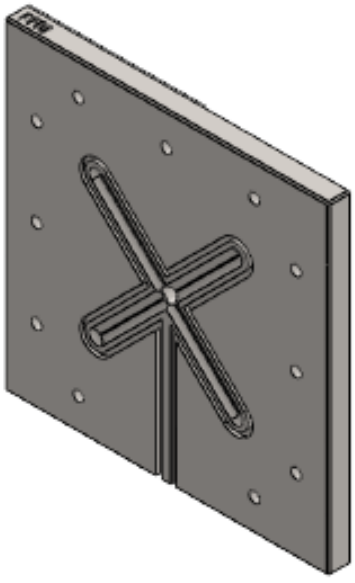


COUPE B-B



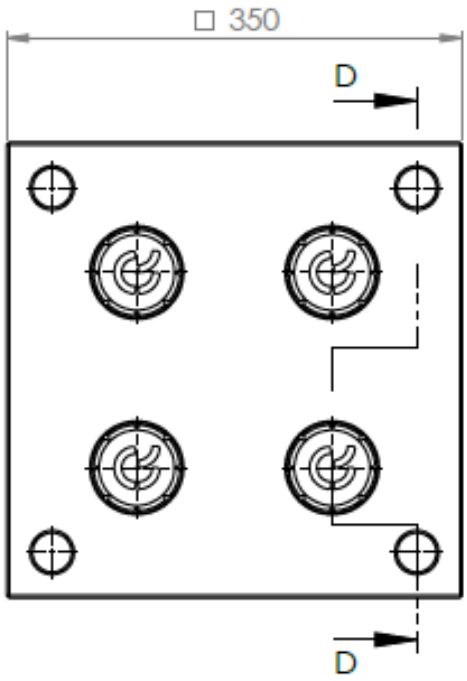
COUPE C-C
ECHELLE 3 : 5



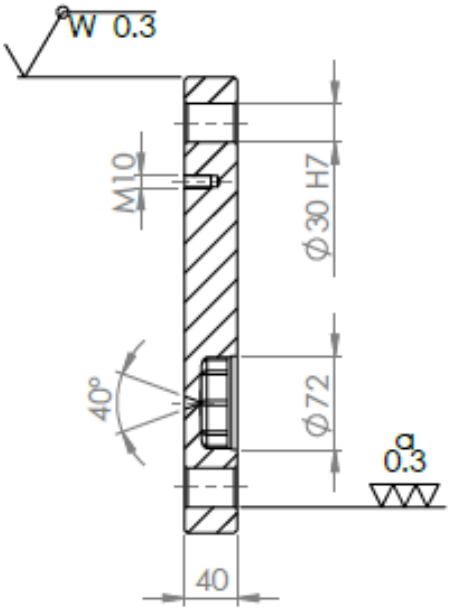


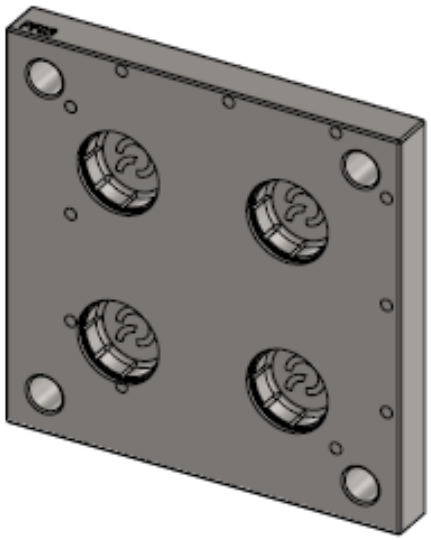
Chanfrein 2x45°
Congé R1

Titre: **Plaque de carrotage**		Date: 01/06/2023		Matèriau: 1.7147 (20MnCr5)	
Université de Médéa - Dr Yahia FARES			Masse (g): 23255.23	Echelle: 1:5	Format: A4
CHERGHI Redha - HAOUI Younes	M2 Construction				



COUPE D-D

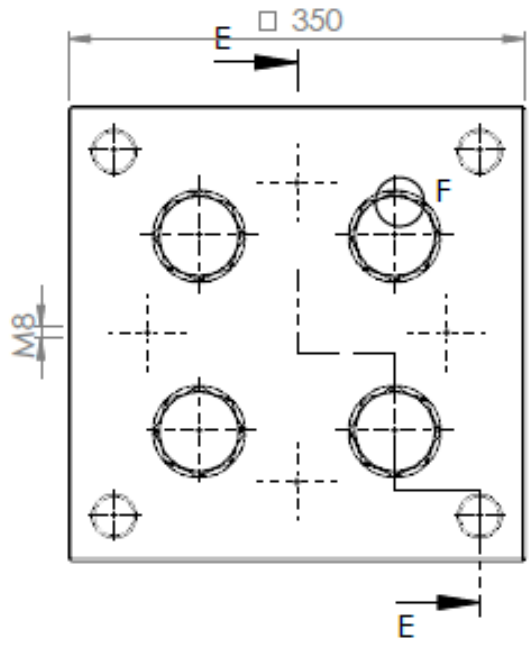




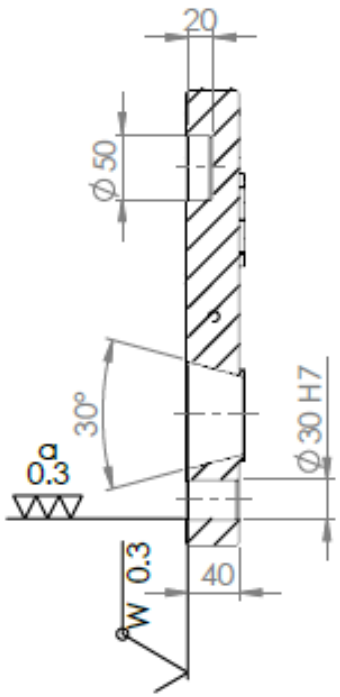
30 H7 = $^{+21}_{0}$

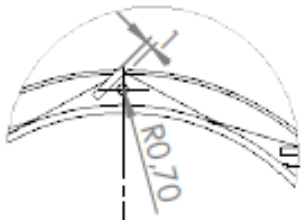
Chanfrein 2x45°
Congé R2

Titre: **Plaque d'empreinte**		Date: 01/06/2023		Matèriau: 1.7147 (20MnCr5)	
Université de Médéa - Dr Yahia FARES			Masse (g): 34093.94	Echelle: 1:5	Format: A4
CHERGHI Redha - HAOUI Younes	M2 Construction				

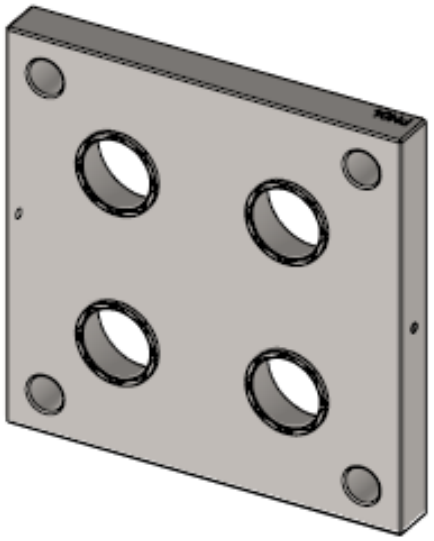


COUPE E-E





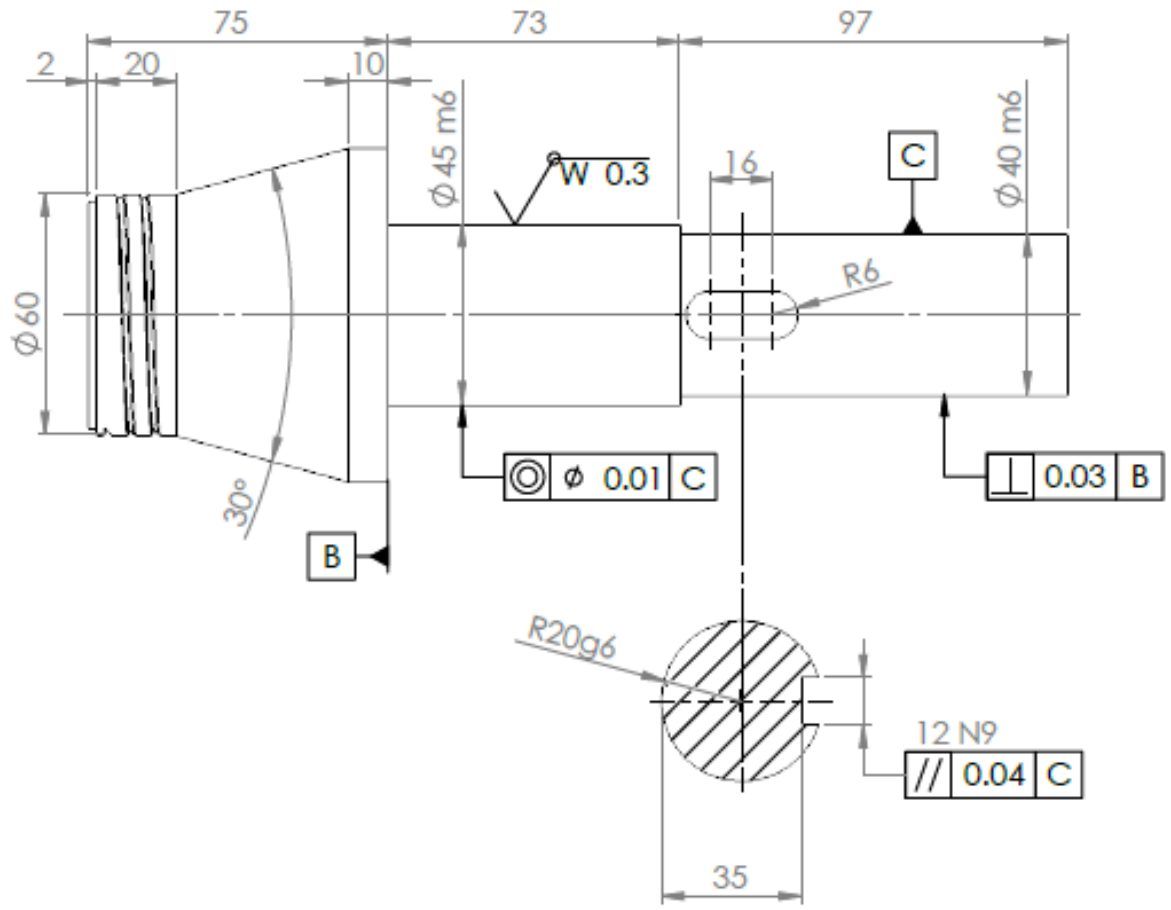
DÉTAIL F
ECHELLE 6 : 5

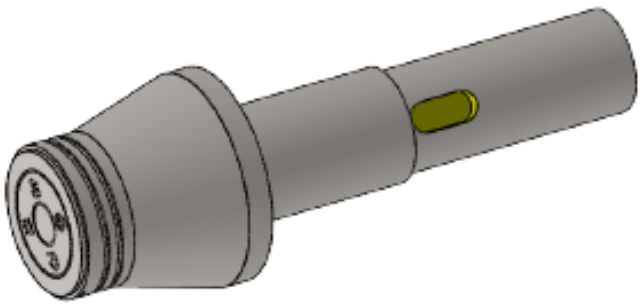


30 H7 = $^{+21}_{0}$

Chanfrein 2x45°
Congé R2

Titre: **Plaque d'empriente 2**		Date: 01/06/2023	Matèriau: 1.7147 (20MnCr5)	
Université de Médéa - Dr Yahia FARES		Masse (g): 31003.58	Echelle: 1:5	Format: A4
CHERGHI Redha - HAOUI Younes	M2 Construction			



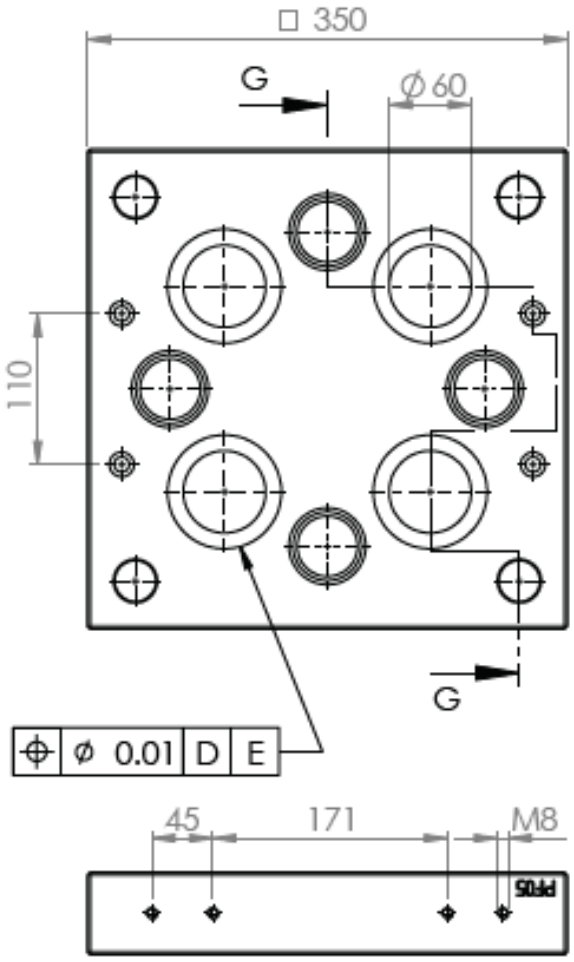


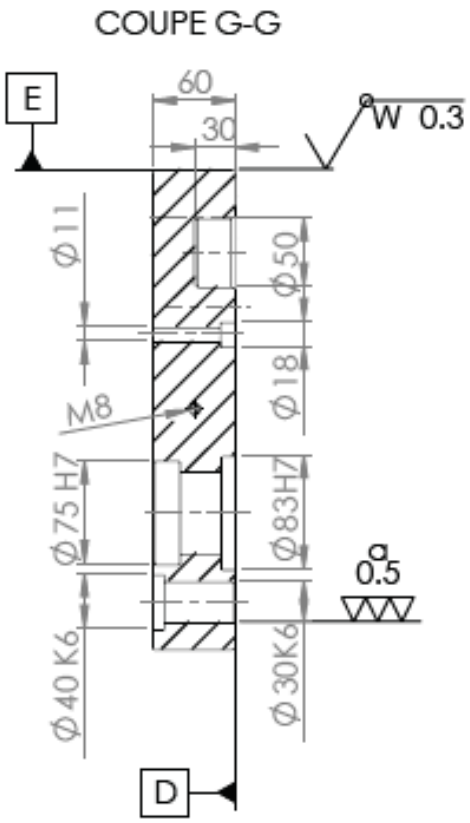
Ø45m6 ; 40 m6= $^{+25}_{+9}$

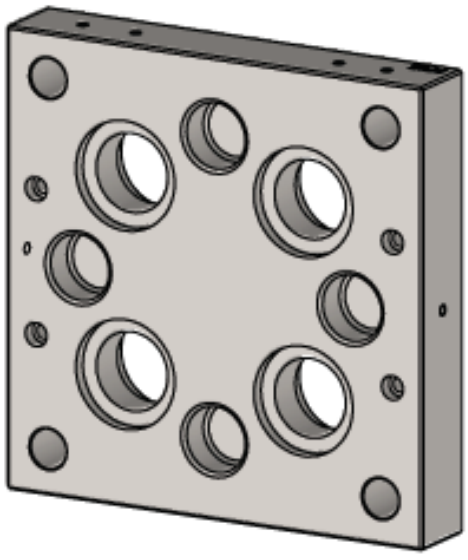
Ø20g6 = $^{-7}_{-20}$

12 N9 = $^{0}_{-43}$

Titre: **Corps de l'emprinte**		Date: 01/06/2023	Matèriau: 1.7147 (20MnCr5)	
Université de Médéa - Dr Yahia FARES			Masse (g): 4097	Echelle: 1:5 / Format: A4
CHERGHI Redha - HAOUI Younes	M2 Construction			







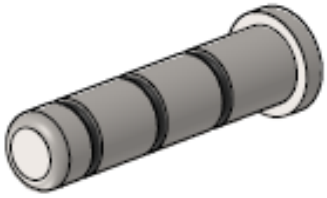
Ø 30K6 = $^{+2}_{-11}$

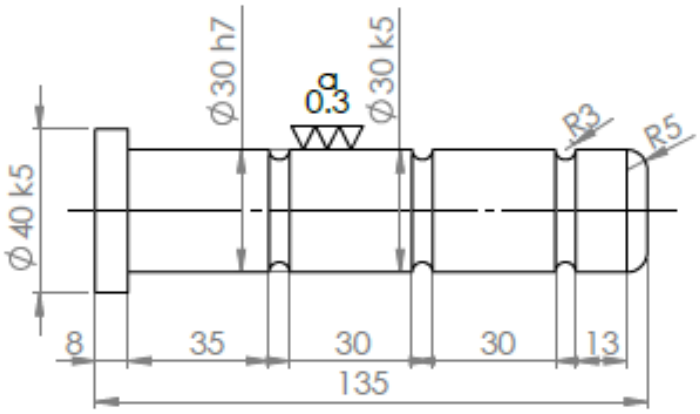
Ø 40K6= $^{+3}_{-13}$

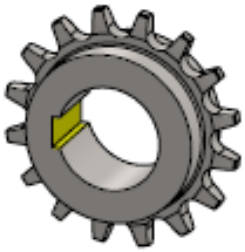
Ø 75H7 = $^{+30}_{0}$

Ø 83H7= $^{+35}_{0}$

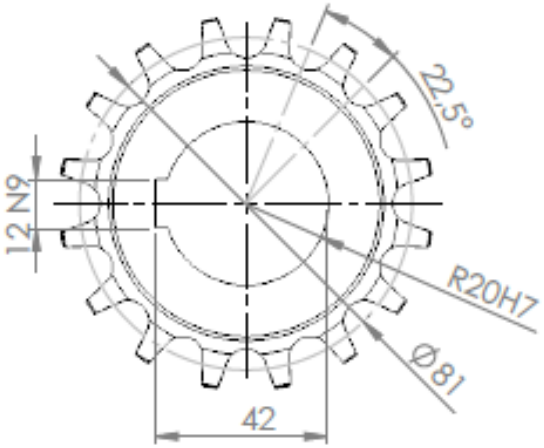
Titre: **Plaque porte Moteur**		Date: 01/06/2023	Matèriau: 1.7147 (20MnCr5)	
Université de Médéa - Dr Yahia FARES			Masse (g): 46495.1	Echelle: 1:5 / Format: A4
CHERGHI Redha - HAOUI Younes	M2 Construction			



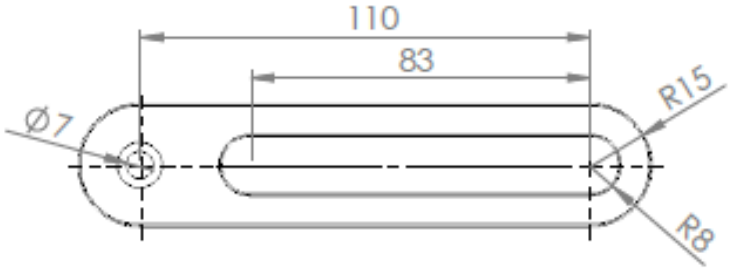




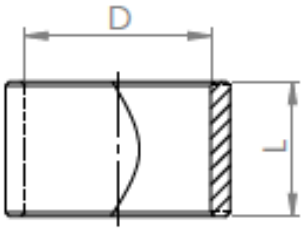
Pignon pour
chaines 10B
pas=15.87
Z=16





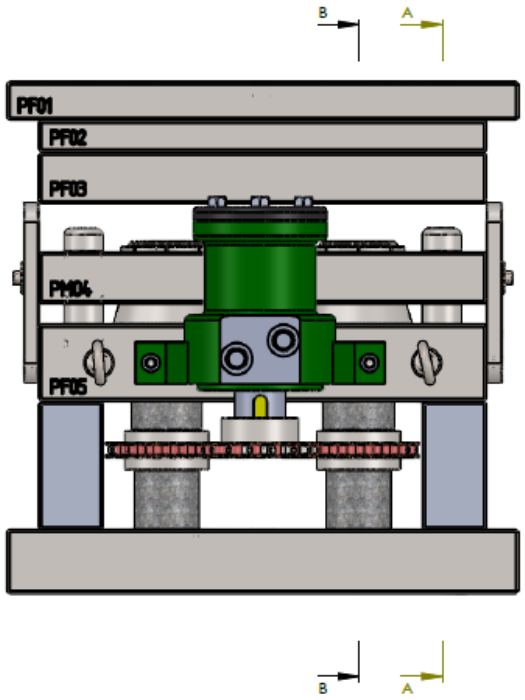


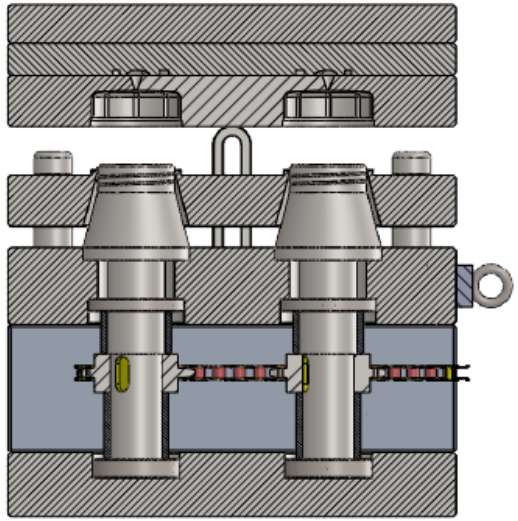




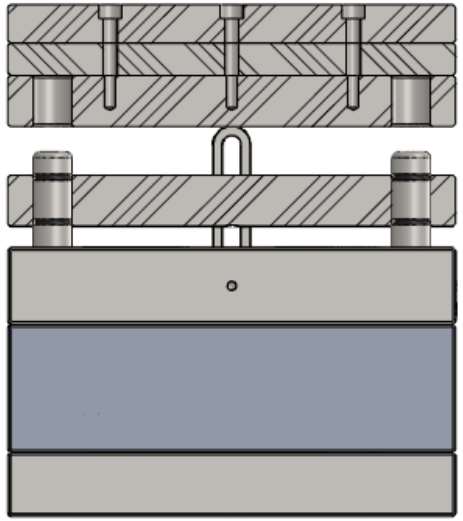
Tube en Acier Galvanisé
Ø1=40.5 L1=37
Ø2=45.5 L2=33

Titre: **Accessoires**		Date: 01/06/2023	Matèriau: 1.7147 (20MnCr5)	
Université de Médéa - Dr Yahia FARES			Masse (g):	Echelle: 3:5 / Format: A4
CHERGHI Redha - HAOUI Younes	M2 Construction			

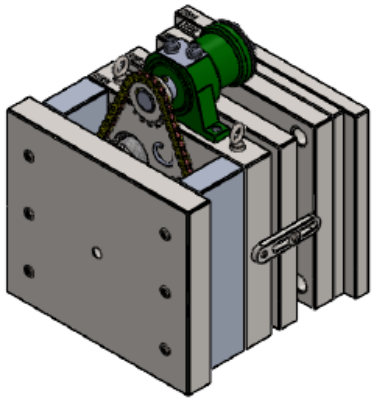




COUPE B-B
ECHELLE 2 : 5

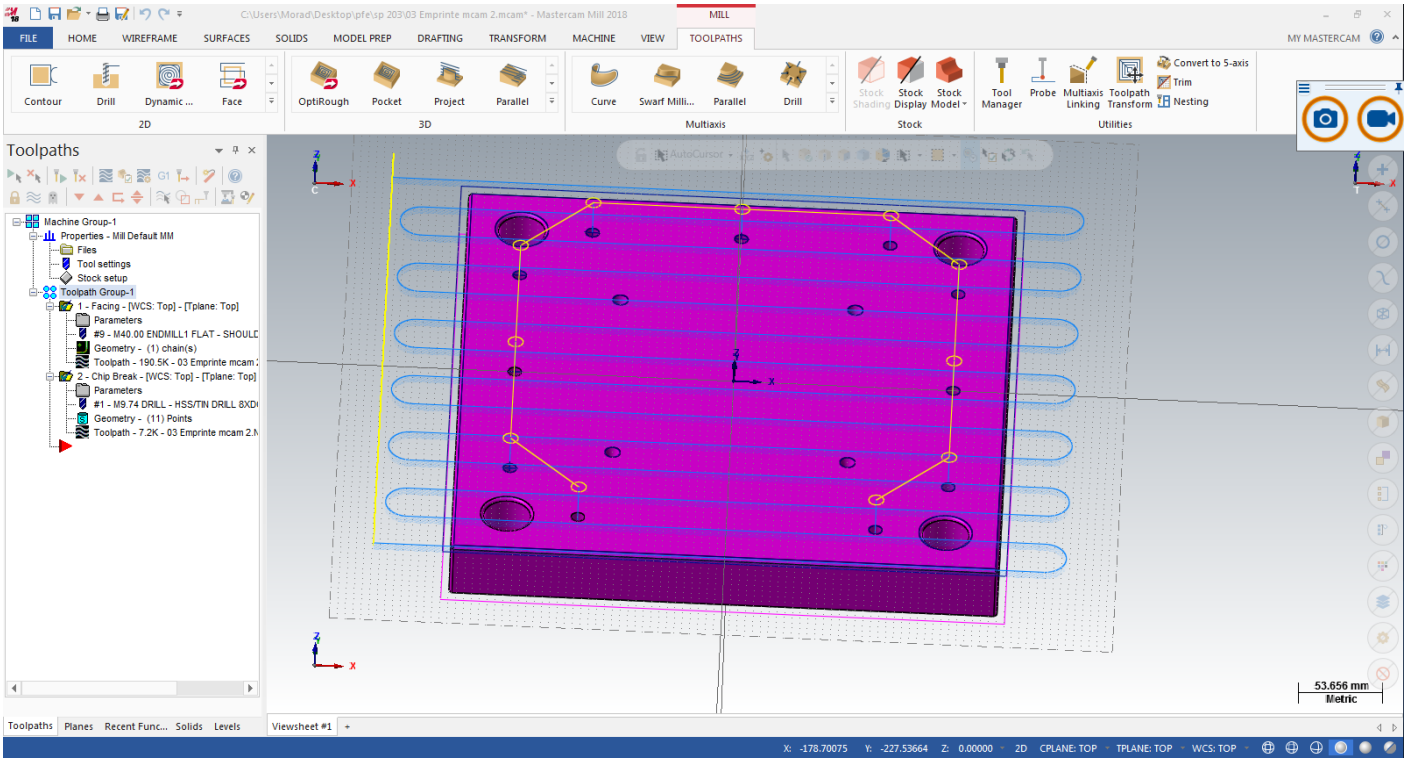


COUPE A-A
ECHELLE 2 : 5

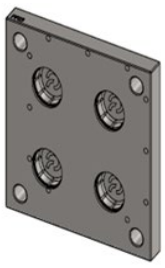


Titre:		Date: 01/06/2023		Matériau:	
Université de Médéa - Dr Yahia FARES			Masse (g):	Échelle: 1:5	Format: A2
CHERGHI Redha - HAOUI Younes	M2 Construction				

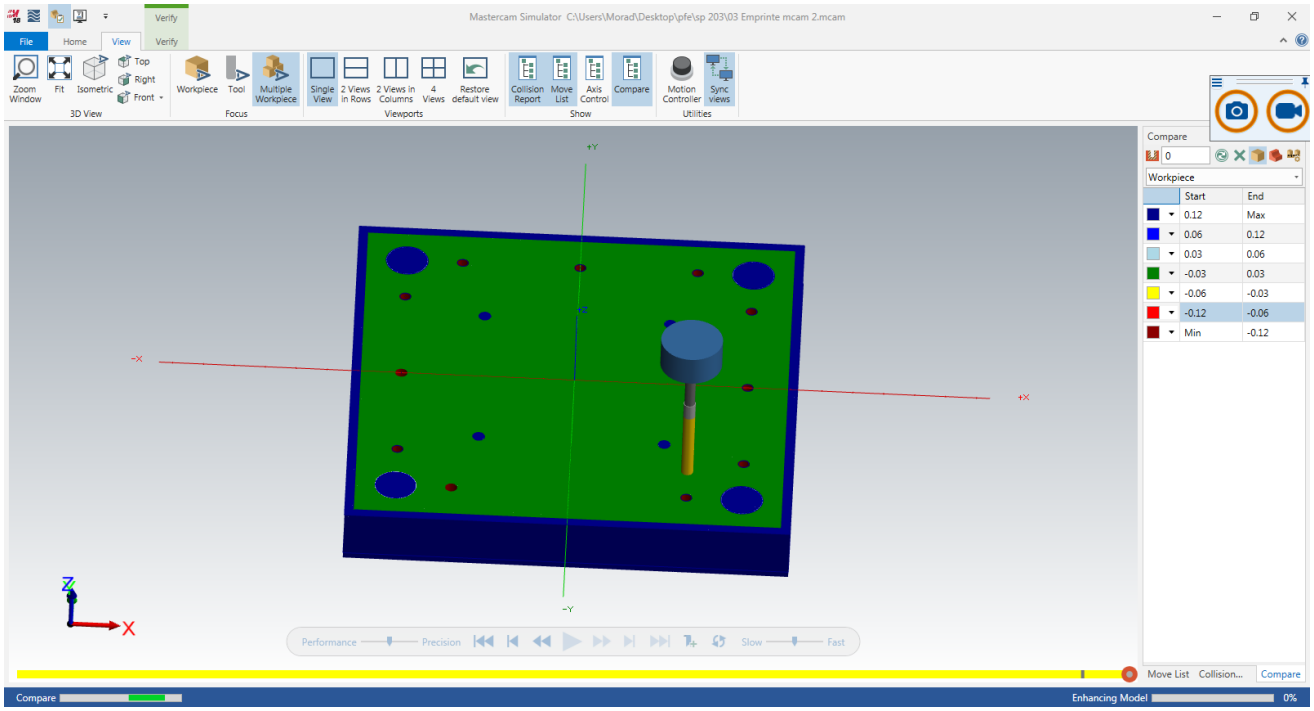
Plaque d'empreinte (Verco) :



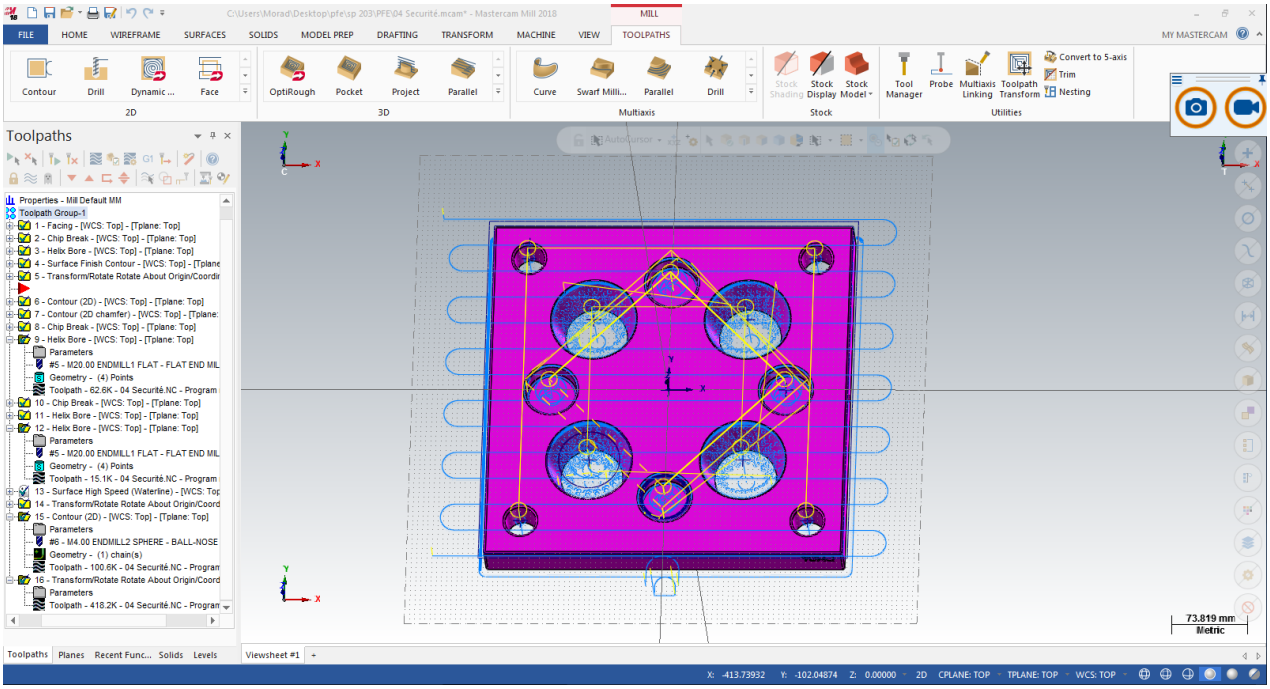
La gamme d'usinage numérique :

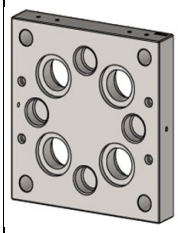
La pièce	Stratégie	Profon-deur de passe	Ø outil (mm)	Vitesse de plongée (mm/min)	Vitesse d'avance (mm/min)	Vitesse de broche Tr/min	Temps d'usinage
	**Facing**	**0.2**	**15**	**450**	**1000**	**5000**	2h 39min
	Chip Break	**0.1**	**10**	**450**	**200**	**500**	32min
Plaque de Empreinte Verco	**Chip Break (Special)**	//	//	//	//	//	//
							3h 11min + …..

Simulation et vérification :

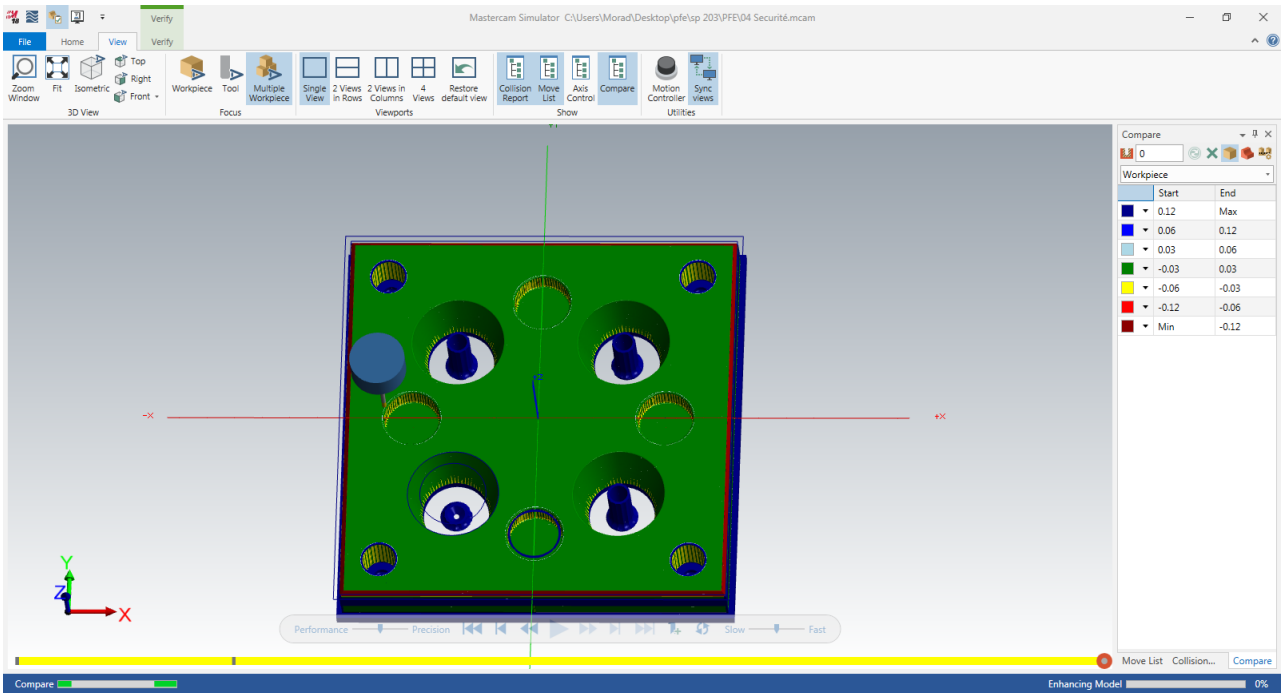


Plaque de empreinte 2 :

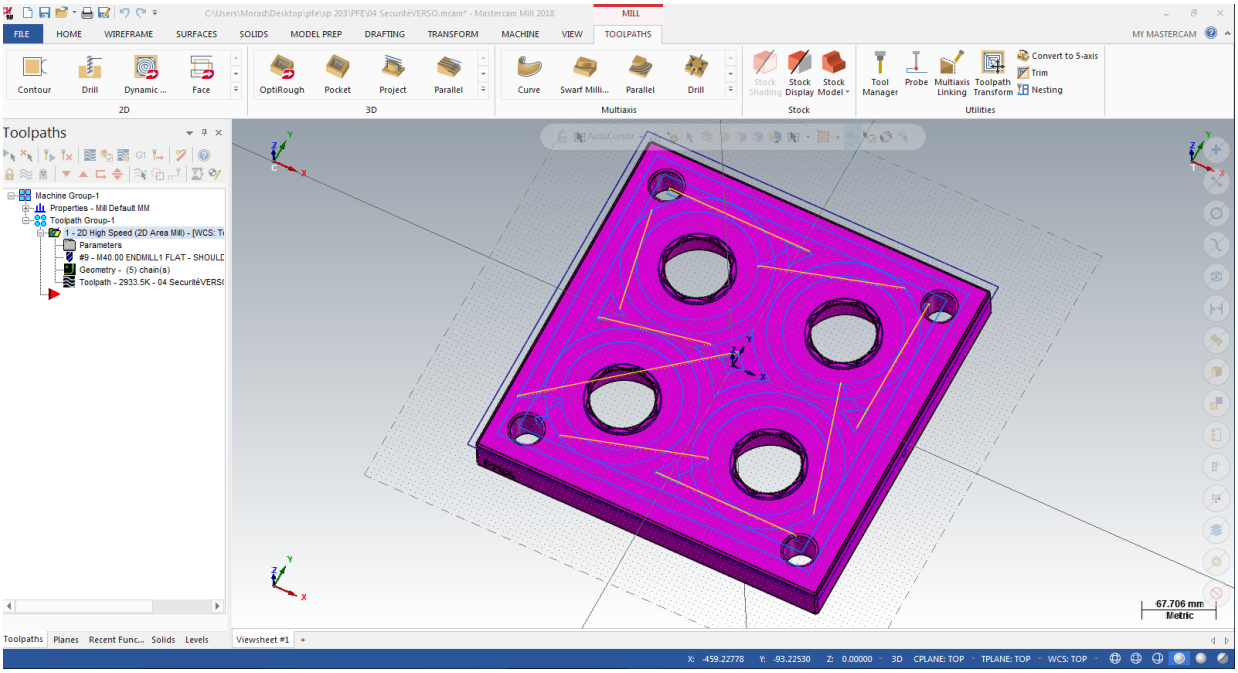


La pièce	Stratégie	Profon-deur de passe	Ø outil (mm)	Vitesse de plongée (mm/min)	Vitesse d'avance (mm/min)	Vitesse de broche Tr/min	Temps d'usinage
 Plaque de Empreinte 2	Facing	0.2	15	450	1000	6000	2h 52min
	Chip break	0.2	16	500	100	900	8min
	Helix bore	0.2	20	450	500	1000	35min
	Surface finish contour	0.2	16	450	500	700	12h
	Contur 2D	0.1	10	500	1000	5000	40min
	Contur 2D (chamfer)	0.2	16	500	500	1000	26min
	Chip break	0.2	16	450	100	900	40min
	Pocket	0.1	10	450	200	1000	12min
	Helix bore	0.2	20	450	500	1000	1h32min
	Surface high Speed	0.08	2	500	500	1000	32min
	Contur 2D	0.08	4	500	100	700	2h 35min
							22h 25min

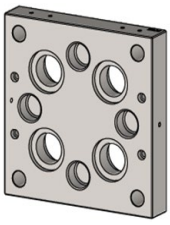
Simulation et vérification :



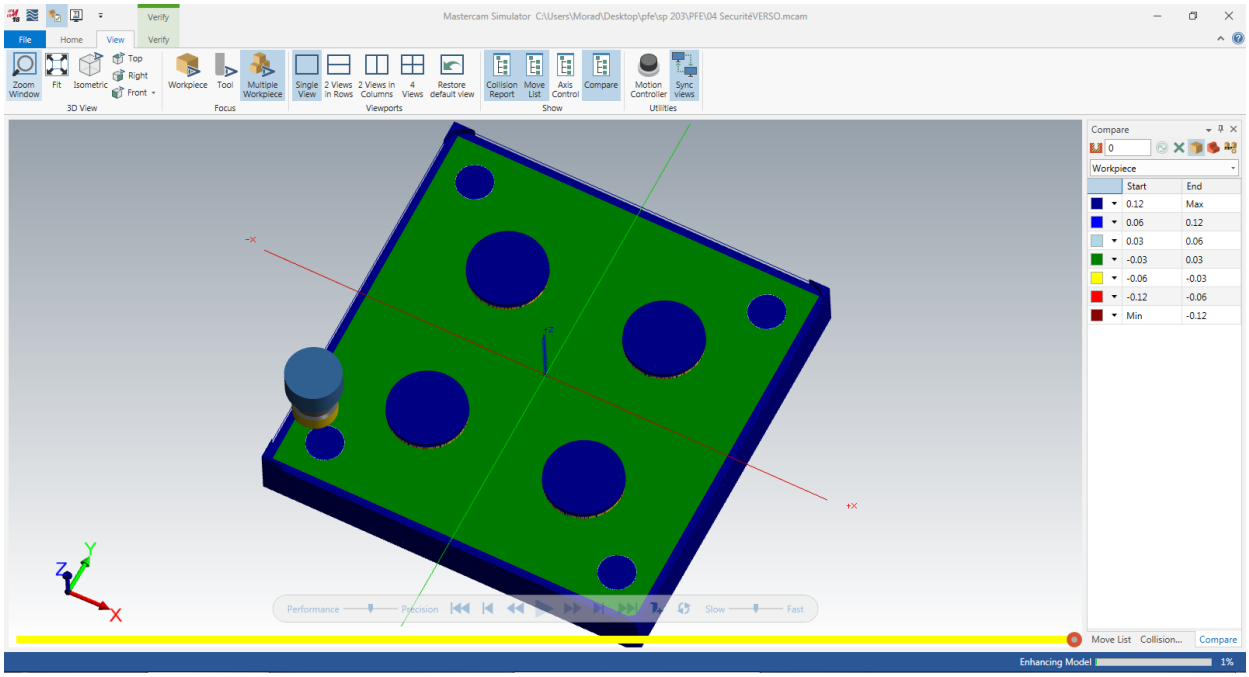
Plaque d'empreinte 2 (Verso) :



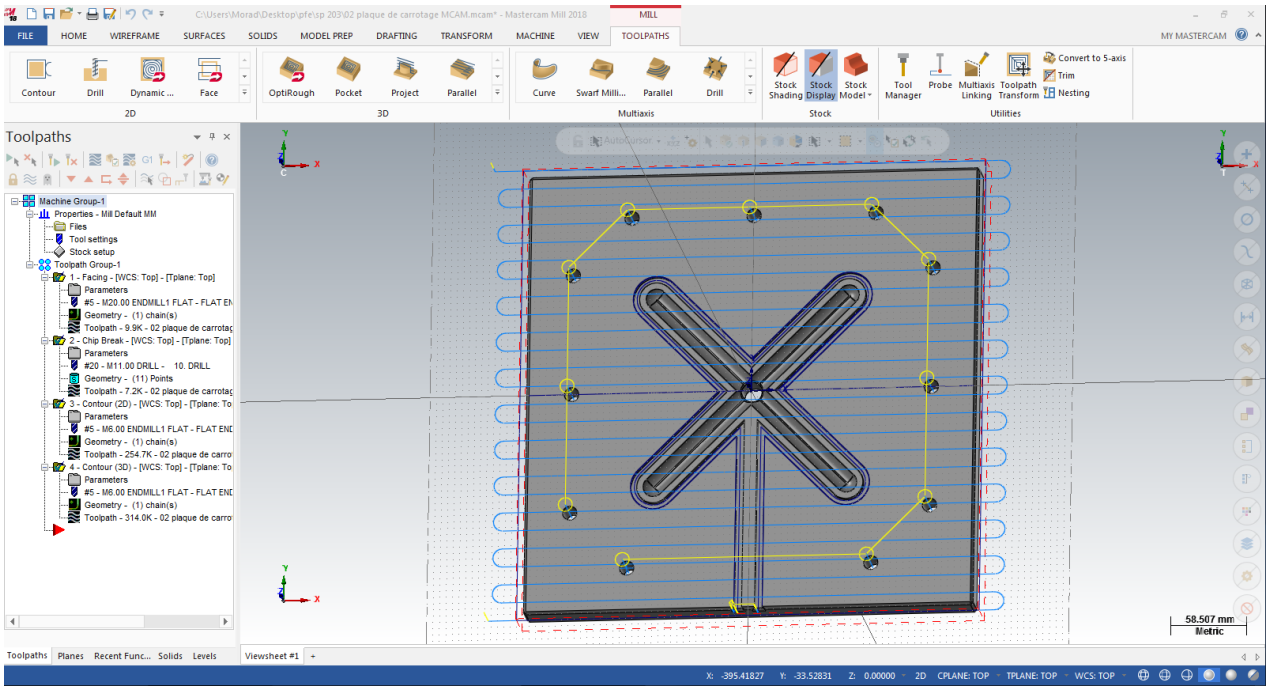
La gamme d'usinage numérique :

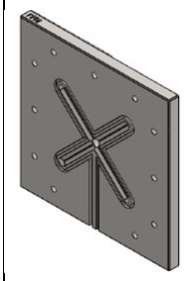
La pièce	Stratégie	Profon-deur de passe	Ø outil (mm)	Vitesse de plongée (mm/min)	Vitesse d'avance (mm/min)	Vitesse de broche Tr/min	Temps d'usinage
	2D High Speed (2D Area Mill)	0.2	40	450	1000	5000	5h 24min
Plaque de Empreinte 2 (Verco)	Electroérosion	//	//	//	//	//	//
							5h 24min + …..

Simulation et vérification :



Plaque de carrotage :



La pièce	Stratégie	Profon-deur de passe	Ø outil (mm)	Vitesse de plongée (mm/min)	Vitesse d'avance (mm/min)	Vitesse de broche Tr/min	Temps d'usinage
 **Plaque de carrotage**	**Facing**	**0.2**	**20**	**450**	**200**	**700**	53min
	Chip break	**0.2**	**11**	**200**	**50**	**700**	2h 38min
	Contur 2D	**0.08**	**6**	**300**	**500**	**1000**	1h37min
	Contur 3D	**0.08**	**6**	**300**	**500**	**1000**	25min
							7h45min

Simulation et vérification :

