



**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE
ET POPULAIRE**



*Ministère de l'Enseignement supérieur
et de la Recherche Scientifique*

**UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA1.
Faculté de Technologie.
Département de Génie Mécanique.**

*Mémoire de Fin d'Études.
En vue de l'obtention du diplôme Master 2.
En Génie Mécanique et Matériaux.*

Thème

***Procédure de conception d'un moule à injection
plastique d'une multiprise électrique A3***

**Proposé et dirigé par :
ABADA Mourad.**

**Réalisés par les étudiants :
HADJ AISSA FEKHAR Abderrahmane.
HASNAOUI Sid Ali.**

BLIDA 2015/2016

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous saisissons cette occasion pour exprimer nos vifs remerciements à toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Nous souhaitons tout d'abord remercier Monsieur Temmar Mustapha et Abada Mourad, pour les conseils prodigués à notre égard et pour toutes les informations qui nous ont permis de réaliser ce modeste travail.

Nous exprimons également notre gratitude aux membres du jury d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Enfin nous tenons à remercier l'ensemble du corps enseignant de la Filière de Formation en Génie Mécanique, sans oublier bien sûr tous nos proches notamment nos parents pour leurs encouragements et leurs soutiens et.

ملخص

مع تقدم التكنولوجيا في الصناعة العالمية وتوفير وسائل الإنتاج للحصول على ما نريده، ولكن يجب علينا إجراء دراسات من أجل تلبية متطلبات العملاء مع برنامج C.A.O الذي يسمح لنا بإنشاء قطع وقوالب مع دقة عالية جداً وبأقل تكلفة في الأسواق المحلية والعالمية.

التحليل والتحقق من القوالب لإنشاء أفضل قوالب من أجل توفير الوقت والمال. برنامج SOLID WORKS يمكن تحسين الربحية والوصول إلى مجموعة واسعة من أدوات تصميم قوالب الآلية.

RESUME

Avec l'avancement de la technologie dans le monde de l'industrie et de fournir les moyens de production pour obtenir ce que nous voulons, mais il faut réaliser des études en vue de répondre aux souhaits du client avec les logiciels CAO ce qui permet d'avoir des pièces et des moules avec une précision très élevée et le coût moins élevé dans les marchés locaux et mondiaux.

L'analyse et la validation des moules permettent de créer de meilleurs moules avec gain de temps et de l'argent. Le logiciel Solid Works permet aussi l'amélioration de la rentabilité et l'accès à une large gamme d'outils de conception des moules automatisée .

RESUME

With the advancement of technology in the world industry and provide the means of production to get what we want, but we must carry out studies in order to meet customer requirements with CAO software which gives us parts and molds with very high accuracy and economically competitive standards in the local and global marchés.

The analysis and validation of molds used to create better molds with saving time and money .logiciel Solid Works also enable improved profitability and access to a wide range of design tools for moles automated.

Sommaire:

| | |
|--|-----------|
| Introduction générale | 01 |
| Chapitre I : Généralité sur les Matières Plastique | |
| 1-1- Introduction | 02 |
| 1-2-Histoire du plastique | 02 |
| 1-3-Date importante de découvert | 03 |
| 1-4- L'origine du plastique | 03 |
| 1-5- La polymérisation | 04 |
| 1-6- Les différentes familles de plastique | 05 |
| 1-7- Propriétés des matières plastiques | 05 |
| 1-7-1- La Légèreté | 05 |
| 1-7-2- La résistance mécanique | 05 |
| 1-7-3- La transparence | 06 |
| 1-7-4- L'inaltérabilité | 06 |
| 1-7-5- L'esthétique | 06 |
| 1-7-6- L'isolation | 06 |
| 1-7-7- L'imperméabilité | 06 |
| 1-7-8- La glisse | 06 |
| 1-7-9- L'entretien | 06 |
| 1-7-10- L'asepsie naturelle | 06 |
| 1-8- Les applications du plastique | 06 |
| 1-9- Guide de sélection des matériaux | 08 |
| 1-10- Les Thermoplastiques | 08 |
| 1-11- L'acrylonitrile butadiène styrène | 10 |
| 1-11-1- Propriétés d'Acrylonitrile Butadiène Styrène (ABS) | 11 |
| 1-11-2- Les applications types de l'ABS sont les suivantes | 12 |
| Chapitre II : LA TECHNOLOGIE D'INJECTION | |
| 2-1-Introduction | 13 |
| 2-2- Procédés de transformations du plastique par injection | 14 |
| 2-2-1- Procédé de l'injection | 14 |
| 2-2-2-Injection soufflage | 15 |
| 2-2-3-Extrusion | 15 |
| 2-2-4-Extrusion gonflage | 15 |
| 2-2-5-Extrusion soufflage | 16 |
| 2-2-6-L'expansion moulage | 17 |
| 2-2-7-Thermoformage | 18 |
| 2-2-8-Malaxage | 18 |
| 2-2-9-Roto moulage | 19 |
| 2-3-Machine d'injection | 20 |
| 2-4-Fonctionnement de la machine à injection plastiques | 20 |
| 2-5-Composants d'une presse d'injection | 21 |
| 2-6- Les caractéristiques d'une presse à injection | 22 |
| 2-7-Les différentes presses d'injection | 22 |
| 2-7-1-Presses horizontales | 22 |
| 2-7-2-Presses verticales | 22 |

| | |
|--|-----------|
| 2-7-3- Presse électrique | 22 |
| 2-8- Choix de la machine d'injection | 23 |
| 2-8-1- Caractéristiques Technique | 23 |
| 2-9- Les paramètres d'injection | 24 |
| 2-9-1- Température de mise en œuvre | 24 |
| 2-9-2- Pression dans l'empreint | 24 |
| 2-10- Techniques d'injection | 25 |
| 2-10-1- Injection a grande cadence | 25 |
| 2-10-2- Micro- injection | 25 |
| 2-10-3- Injection lourde | 25 |
| 2-10-4- Injection séquentielle | 25 |
| 2-10-5- Injection sur noyau fusible | 25 |
| 2-10-6- Sur-injection | 26 |
| 2-10-7- Co-injection | 26 |
| 2-10-8- Injection assistée par gaz | 26 |
| 2-10-9- Injection sur noyaux tournant | 26 |
| 2-11- Refroidissement des moules | 27 |
| 2-11-1- Le temps de refroidissement | 28 |
| 2-12- Démoulage Ejection | 29 |
| 2-12-1- Démoulage | 29 |
| 2-12-2- Ejection | 29 |
| 2-12-3- Choix des éjecteurs | 30 |
| Chapitre III: CONCEPTIONS DES MOULES | |
| 3-1- Introduction | 31 |
| 3-2- Modélisation de la pièce | 31 |
| 3-2-1- Règle de conception: | 31 |
| 3-2-2- Règles élémentaires de conception plastique | 32 |
| 3-2-3- Dessin de la pièce | 32 |
| 3-2-4- Epaisseurs de parois | 32 |
| 3-2-5- Arrondis et congé de raccordement | 32 |
| 3-2-6- Les nervures | 33 |
| 3-2-7- Les fonds de pièces | 33 |
| 3-2-8- Les dépouilles et contre-dépouille | 33 |
| 3-2-9- Filetages et Taraudages | 33 |
| 3-2-10- Le choix du plan de joint | 33 |
| 3-2-11- Les pièces complexes | 33 |
| 3-3- Les élément de base | 34 |
| 3-3-1- Plaque porte empreinte | 34 |
| 3-3-2- La semelle avant | 34 |
| 3-3-3- La semelle arrière | 34 |
| 3-3-4- Le système d'alimentation | 34 |
| 3-3-4-1- La buse | 34 |
| 3-3-4-2- Les Canaux | 34 |
| 3-3-4-3- Les seuils d'injections | 35 |
| 3-4- L'architecture du moule | 35 |
| 3-4-1- Moule a deux plaques | 35 |
| 3-4-2- Moule a tiroir | 37 |

| | |
|---|-----------|
| 3 4-3- Moule a coquilles | 37 |
| 3-4-4 moules a canaux chauds | 37 |
| 3-5- Empreintes du moule | 38 |
| 3-5-1- Nombres d'empreintes | 38 |
| 3-5-2- Matériaux constitutifs de l'empreinte | 38 |
| 3-5-2-1- Acier | 39 |
| 3-5-2-2- Alliage de cuivre | 39 |
| 3-5-2-3- Alliage d'aluminium | 40 |
| 3-5-3- Régulation de température | 40 |
| 3-5-4- Fermeture du moule | 40 |
| 3-5-4-1- Fermeture mécanique par genouillère | 41 |
| 3-5-4-2- Fermeture hydraulique avec genouillère | 41 |
| 3-5-4-3- Fermeture hydraulique a un vérin | 42 |
| 3-5-4-4- Fermeture hydraulique multi-vérins | 42 |
| 3-6- Autres fonctions assurées par le moule | 42 |
| 3-7- Fabrication de moule | 43 |
| 3-7-1- Usinage a grande vitesse (UGV) | 43 |
| 3-7-2- Usinage par enlèvement de particules ou électroérosion | 43 |
| 3-7-3- Forçage a froid | 43 |
| 3-7-4- Electro-dépositions | 44 |
| 3-8- Remplissage du moule | 44 |
| 3-8-1- Organes constitutifs de la machine | 44 |
| 3-8-2- Chauffage du filet | 44 |
| 3-8-3- Système vis-piston | 45 |
| 3-8-4-Clapet de vis | 45 |
| 3-9- Cycle de moulage | 46 |
| Chapitre IV: Conception du moule par CAO | |
| 4-1- Introduction | 48 |
| 4-2-Généralité sur les logiciels de CAO | 48 |
| 4-2-1-Les logiciels 2D | 48 |
| 4-2-2-Logiciels 3D filaire | 48 |
| 4-2-3-Logiciels 3D surfacique | 48 |
| 4-2-4-Logiciels 3D volumiques | 48 |
| 4-2-5-La CAO volumique au service du mouliste | 49 |
| 4-2-6-Les avantages de la conception des moules par CAO | 49 |
| 4-3-Méthodologie et conception de moules par logiciel CAO (Solide Works) | 50 |
| 4-3-1-Conception du moule par Solide Works | 50 |
| 4-3-1-1-Introduction | 50 |
| 4-3-1-2-Préparation et analyse de la pièce a injecter | 52 |
| 4-3-1-3-Créations des parties moulantes | 54 |
| 4-3-2-Carcasses de moule | 58 |
| 4-3-3-Les éléments standardisés | 59 |
| 4-3-4-Elément standard du moule | 60 |
| 4-4- conclusion | 62 |
| Chapitre V: Partie Calcul | |
| 5-1- Détermination du nombre d'empreinte | 63 |
| 5-2- calcul du canal d'alimentation | 63 |

| | |
|--|-----------|
| 5-3- Calcul des canaux de distribution | 64 |
| 5-4- Les seuil d'injection | 64 |
| 5-5- Refroidissement du moule | 65 |
| 5-5-1- Calcul de temps de refroidissement t_r | 65 |
| 5-5-2- Calcul de la quantité de chaleur horaire | 66 |
| 5-5-3- Calcul du la quantité de chaleur à évacuer dans l'outillage | 67 |
| 5-6- Etude économique | 68 |
| Conclusion Générale | 71 |

Liste Des Figures:

| N° | Titre | Page |
|-----------|--|-------------|
| 01 | <i>Fig.(1-1): Origine végétale</i> | 03 |
| 02 | <i>Fig.(1-2): Origine naturelle : (90% de la production plastique)</i> | 03 |
| 03 | <i>Fig Répartition des marchés de la plasturgie</i> | 07 |
| 04 | <i>Fig.(2-1) procède de l'injection</i> | 14 |
| 05 | <i>Fig.(2-2) injection soufflage</i> | 14 |
| 06 | <i>Fig.(2-3) extrusion</i> | 15 |
| 07 | <i>Fig.(2-5) Extrusion gonflage</i> | 16 |
| 08 | <i>Fig.(2-6) extrusion soufflage</i> | 17 |
| 09 | <i>Fig.(2-7) L'expansion moulage</i> | 17 |
| 10 | <i>Fig.(2-8) Thermoformage</i> | 18 |
| 11 | <i>Fig.(2-9) Malaxage</i> | 19 |
| 12 | <i>Fig.(2-10): presse d'injection plastique</i> | 21 |
| 13 | <i>Fig.(2-11) La pression dans l'empreinte sur un cycle de moulage</i> | 24 |
| 14 | <i>Fig.(2-11) position de canaux de refroidissement pour une plaque plane Avec</i> | 28 |
| 15 | <i>Fig.(3-1) :moule d'injection plastique</i> | 31 |
| 16 | <i>Fig.(3-2): Injection</i> | 36 |
| 17 | <i>Fig.(3-3): Moule a tiroir</i> | 37 |
| 18 | <i>Fig.(3-4): Régulateur de température pour un moule à canaux chauds</i> | 38 |
| 19 | <i>Fig.(3-5): Fermeture de moule</i> | 41 |
| 20 | <i>Fig.(3-6): Procède de l'injection</i> | 44 |
| 21 | <i>Fig.(3-7): Fonction du clapet</i> | 46 |
| 22 | <i>Fig.(3-8):Cycle de moulage</i> | 47 |
| 23 | <i>Fig.(4-1) partie supérieur</i> | 51 |
| 24 | <i>Fig.(4-2) partie inférieur</i> | 51 |
| 25 | <i>Fig.(4-3) : Assemblage de la pièce à injecter (multi prise A 3)</i> | 51 |
| 26 | <i>Fig.(4-4) Recherche de contre dépouilles de la partie inférieure</i> | 52 |
| 27 | <i>fig.(4-5): Recherche de contre dépouilles de la partie supérieur</i> | 52 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 28 | <i>Fig.(4-6): analyse de dépouille de la pièce (partie inférieure)</i> | 53 |
| 29 | <i>Fig.(4-7) analyse de dépouille de la pièce (partie supérieure)</i> | 53 |
| 30 | <i>Fig.(4-8) lignes de joint</i> | 54 |
| 31 | <i>Fig.(4-9) surfaces de la pièce de la partie supérieur</i> | 55 |
| 32 | <i>Fig.(4-10) Le plan de joint pour les deux partie</i> | 56 |
| 33 | <i>Fig.(4-11) Insertion de noyau et d'empreinte pour la partie inférieur</i> | 57 |
| 34 | <i>Fig.(4-12) Insertion de noyau et d'empreinte pour la partie supérieur</i> | 58 |
| 35 | <i>Fig.(4-13) Insertion de noyau et de l'empreinte</i> | 58 |
| 36 | <i>Fig.(4-14) plaque porte empreinte d'un moule</i> | 60 |
| 37 | <i>Fig.(4-15) Moule pour la multi prise</i> | 61 |
| 38 | <i>Fig.(4-16) Moule pour la multi prise(vue en coupe).</i> | 61 |

Introduction générale

Le développement de la technologie est terriblement et rapide, il est dans tous les installations dans plusieurs domaines, y compris l'industrie du moulage pour divers pièces et nous devons seulement améliorant. Pour réduire le temps et le cout et possibilité de changer le cas échéant en utilisant la procédure le solid Works pour concevoir des moules avec la spécification requises ingénieur et mécanique par le client qui exigent des délais et le temps de mise en production de prix pour passer à l'étape de fabrication. Il faut assure que le moule produit des pièces qui répondant aux choix de client il vous reviendra souvent d'assumer les frais des modifications.

Les logiciels de CAO aide les concepteurs à développer des moules qui sont plus précis, font gagner de temps et améliorent la rentabilité avec ces logiciels on peut faire plusieurs fonction et un accès à une large gamme d'outils de conception de moules automatisée

Avec ce modeste travail on va présenter et fournir des informations sur la connaissance des matières es outillage et des outillages et des technologies de transformation et de conception, la mémoire va structurer comme suite;

Dans le premier chapitre nous allons montré les matières plastique.

Dans le deuxième chapitre nous allons décrire les techniques de l'injection plastique.

Dans le troisième chapitre nous montrer les règles de base de conception des moules.

Dans la partie expérimental nous avons deux chapitre le quatrième décrit toutes les étapes de conception de l'empreinte et de noyau à l'aide de logiciel SolidWorks .et le cinquième chapitre nous avons établir les équations théorique de moulage et d'injection dans le moule, et une étude technico-économique pour définir le cout totale de production.

1-1- Introduction :

Les matières plastiques sont des matériaux organiques (issus des êtres vivants) constitués de macromolécules obtenues par polymérisation de monomères. Elles sont produites par transformation de substances naturelles, ou par synthèse directe, à partir de substances extraites du pétrole, du gaz naturel, du charbon ou d'autres matières minérales.

Qu'est-ce que les monomères ?

Les monomères sont des molécules organiques, qui sont constituées essentiellement de carbone (C) et d'hydrogène (H). L'oxygène(O) et l'azote (N) sont en faibles proportions.

Qu'est-ce qu'un polymère ?

Molécule constituée de monomères unis les uns aux autres par des liaisons covalentes. (Liaison entre deux atomes résultant de la mise en commun de deux électrons provenant séparément de chacun d'eux).

Les caractéristiques d'un polymère dépendent en premier lieu du ou des monomères dont il est issu. Et un monomère peut conduire à deux polymères avec des propriétés mécaniques[1].

1-2-Histoire du plastique :

Le nom de plastique recouvre un ensemble de matériaux organiques de synthèse.

La matière de base de leur fabrication, la résine, est constituée de macromolécules appelées "polymères".

On y ajoute des additifs et adjuvants pour améliorer les propriétés chimiques et physiques de ces matériaux (résistance aux chocs, couleur, plasticité).

Les matières plastiques sont nées sont pratiquement avec le 20^e siècle.

L'histoire des matières plastiques remonte cependant à l'Égypte Antique, car les égyptiens employaient des colles à bases de gélatine, caséine et albumine.

L'histoire du plastique a commencé en 1838 lorsqu'Henri Regnault a synthétisé du Pvc pour la première fois, mais cette découverte est restée sans suite.

C'est en 1869 que les frères Hyatt ont mis au point le celluloïd qui est considéré comme la toute première matière plastique artificielle.

Le PVC ou chlorure de polyvinyle est inventé en 1880. En 1889, le chimiste français Jean-Jacques Trillat obtient de la galalithe durcissant la caséine du lait. Cette matière, plus dure que la corne, sera ensuite utilisée pour fabriquer les boules de billard ainsi que d'autres articles courants (boutons, bijoux fantaisie, stylos).[1]

1-3-Date importante de découvert : [2]

| Date de découvert | Produit découvert | Découvert par |
|-------------------|-------------------|---------------------------------------|
| 1913 | PVC | Par le professeur KLATTE |
| 1924 | plexiglas | Par BAKER |
| 1933 | polystyrène | Par WUFF en Allemagne |
| 1935 | polyéthylène | Grand Bretagne par FAWCETTE et GIBSON |
| 1938 | téflon | Par l'ingénieur ROY J. PLUNCKETT |
| 1946 | abs | Aux U S A |
| 1954 | polypropylène | Par l'italien NATTA |

1-4- L'origine du plastique :[2]

- Origine végétale :

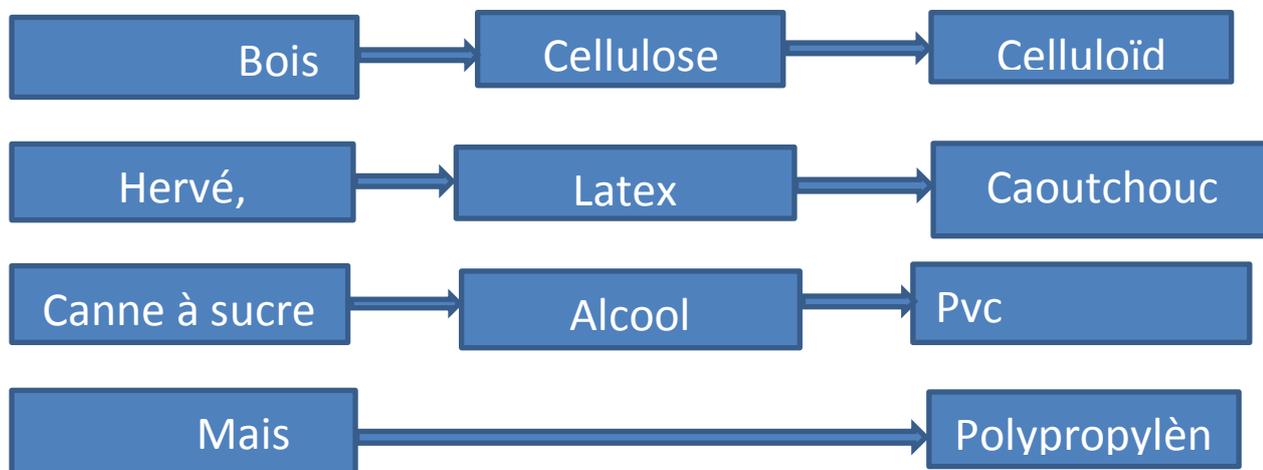


Fig.(1-1): Origine végétale :

- Origine naturelle : (90% de la production plastique)

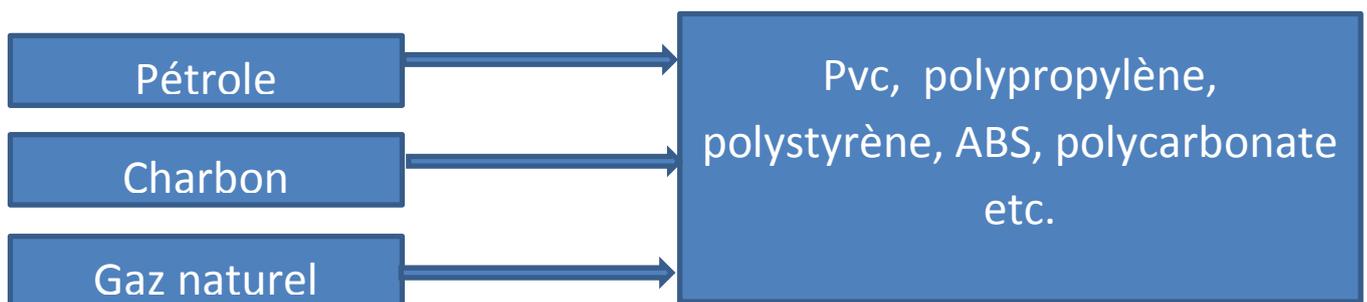


Fig.(1-2): Origine naturelle : (90% de la production plastique)

1-5- La polymérisation:**a). la polycondensation:**

Lors d'une polycondensation, de nombreuses petites molécules de type A, Ou en général de deux types : A et B, appelées monomères, se lient les unes aux autres, alternativement, un très grand nombre de fois, pour donner des molécules géantes appelées macromolécules. On utilise alors un catalyseur pour augmenter la vitesse à laquelle se fait la réaction. La polycondensation s'accompagne de la libération d'une espèce chimique comme l'eau par exemple[3].

b). La polyaddition:

La réaction chimique consiste à additionner un grand nombre de fois « n » un ou plusieurs monomères pour obtenir un polymère. Pendant cette réaction, une liaison parmi la double liaison entre les deux carbones se casse [3].

c). La polymérisation radicalaire:

La polymérisation radicalaire est une polymérisation en chaîne qui comme son nom l'indique fait intervenir comme espèce active des radicaux.

Elle est constituée de trois étapes simultanées :

- L'amorçage. Cette étape consiste à séparer l'amorceur (molécule chimique) qui va faire apparaître un radical sur chaque molécule. Ceux-ci vont amorcer la réaction.
- La propagation. Elle est la principale étape de la polymérisation radicalaire. C'est au cours de cette étape que la chaîne macromoléculaire se forme par addition successive d'unités monomères sur le « macro-radical » en croissance.
- La terminaison. Elle est la dernière étape qui consiste à associer de deux chaînes macromoléculaires entre elles[3].

1-6- Les différentes familles de plastique :

Il existe trois grandes familles de plastique : les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères. Elles ont toutes trois des propriétés différentes. Les thermoplastiques ont la propriété d'être malléables lorsqu'on les chauffe. Une fois refroidis, ce sont des plastiques durs.

Les thermoplastiques conservent leurs propriétés. Ils sont réversibles et facilement recyclables.

Dans les thermoplastiques, il existe entre autre : Polycarbonate (utilisé pour les fours à micro-ondes), PVC (utilisé pour l'isolation, et les contours de fenêtres), Polyéthylène (utilisé pour les sacs plastiques)

Le thermodurcissable est un polymère ne pouvant être mis en œuvre qu'une seule fois. Il est insoluble et une fois durci, on ne peut pas changer sa forme. C'est une résine utilisée dans l'industrie, qui, après polymérisation (montée en chaleur) ne reviendra pas à son état initial (liquide ou pâteux). Quelques exemples : le polyamide (circuits imprimés), le Polyester insaturé (fibres textiles).

Les élastomères ont les mêmes qualités élastiques que le caoutchouc c'est-à-dire qu'ils supportent de très grandes déformations avant rupture. Ils ont une contrainte : Ils peuvent se déformer. Ils ont une bonne élasticité, grâce à la vulcanisation qui consiste à cuire avec différents agents chimiques les molécules pour les rendre flexibles.

Les élastomères les plus utilisés sont :

- le caoutchouc naturel issu du latex.
- le poly isoprène synthétique
- le polybutadiène
- le styrène-butadiène

Grâce aux propriétés des différents plastiques, la diversité des demandes de l'utilisateur est satisfaite. Ces trois grandes familles regroupent donc une multitude de plastiques différents selon les caractéristiques attendues[3].

1-7- Propriétés des matières plastiques :

Les propriétés spécifiques des matières plastiques vont varier d'une matière à l'autre Les principales propriétés sont :

1-7-1- La Légèreté:

- La densité de la plupart des matières plastiques est comprise entre 0,9 et 1,8. Le plus souvent 1 [2].

1-7-2- La résistance mécanique:

- Elle est variable suivant la composition chimique [2].
- Les pièces plastiques sont plus légères que les pièces métalliques assurant les mêmes fonctions [2].

1-7-3- La transparence:

- Certains plastiques ont un coefficient de transmission de la lumière voisin de celle du verre, et bon nombre sont transparents ou translucides [2].

1-7-4- L'inaltérabilité:

- Ils résistent aux agressions extérieures et à de nombreux produits chimiques.
- Certains demandent une protection contre les ultra-violets [2].

1-7-5- L'esthétique:

Les couleurs sont variées et les possibilités de mise en œuvre nombreuses. L'aspect lisse et fini du matériau confère à l'objet une impression "design" [2].

1-7-6- L'isolation:

- Ce sont de bons isolants électriques, thermiques et acoustiques [2].

1-7-7- L'imperméabilité:

- Ils assurent une bonne barrière aux gaz et à l'eau [2].

1-7-8- La glisse:

- Ils possèdent le plus souvent un faible coefficient de frottement [2].

1-7-9- L'entretien

- Ils sont d'un entretien facile. - Ils ne nécessitent aucun traitement de surface. - Ils résistent à la corrosion [2].

1-7-10- L'asepsie naturelle:

- Les matières plastiques transformées à des températures supérieures à 150° C apportent l'asepsie aux

Emballages qu'elles permettent de fabriquer [2].

1-8- Les applications du plastique :

Les plastiques ont eu une utilisation croissante ces dernières années. En effet, ce matériau a des caractéristiques très avantageuses. Dans le milieu de l'agriculture, il a permis aux agriculteurs d'augmenter les rendements des récoltes plus précoces, de diminuer la dépendance vis à vis des herbicides et des pesticides, d'établir une meilleure protection de nos produits alimentaires et de conserver plus efficacement l'eau. Ceci grâce à l'utilisation de tuyaux en PVC, de bac de propagations, des filets de protection ou des plaques de plastique qui recouvrent les hangars et serres.

Le domaine du sport et du loisir a su aussi profiter des qualités du plastique qui y est un matériau primordial notamment pour les pistes d'athlétisme qui permettent de nouveaux

records, des vêtements respirant aux chaussures ultra légères et aux équipements de protection. Le plastique a entièrement révolutionné le monde sportif. Ceci sans oublié leur utilisation dans les stades. On notera qu'il a permis, notamment au football d'avoir des ballons plus rapides et des raquettes de tennis légères et solides. Dans le milieu marin, il permet de produire des coques.

Tout cela sans oublier qu'il est aussi très utile pour les équipements de protection comme les genouillères ou les casques pour le ski. Le plastique a littéralement révolutionné le sport moderne.

Les plastiques ont pris une place importante dans l'automobile depuis sa création. On le trouve autant dans le moteur (embrayage, pompe à huile...) que dans la carrosserie ou même dans l'habitacle (compteur, tableau de bord...). En effet,

C'est un composant plus léger, plus modelable, plus durable. C'est aussi un élément que l'on trouve de plus en plus dans notre quotidien. De plus, le plastique est facile à produire. En effet, contrairement au carbone, au cuivre etc., le plastique, à la sortie des usines de production, est prêt à être façonné.

Le plastique est donc réellement utile et présent dans notre quotidien [3].

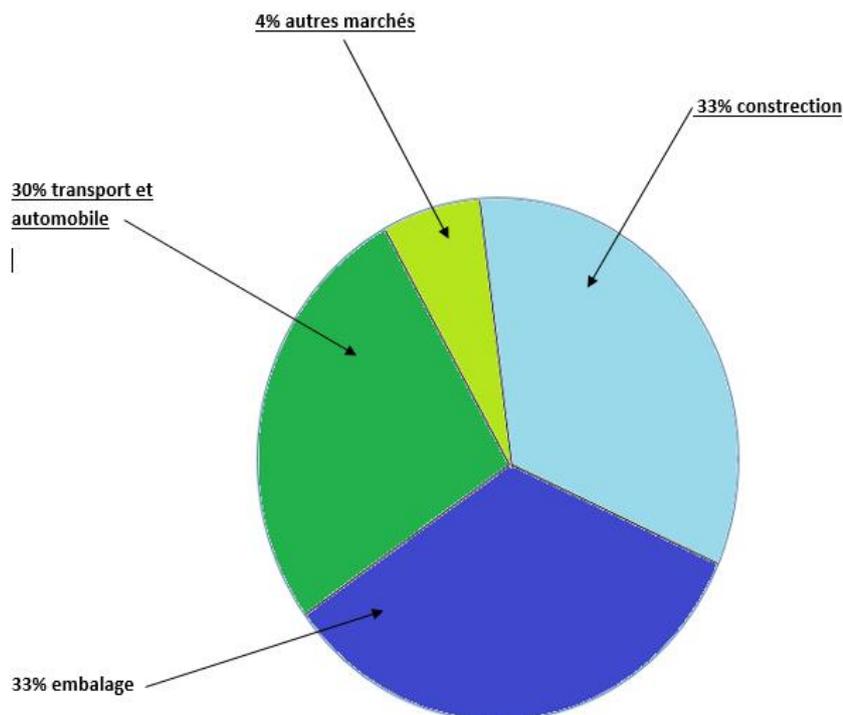


Fig.(1-3):Répartition des marchés de la plasturgie

1-9- Guide de sélection des matériaux :

Les plastiques sont utilisés de plus en plus pour remplacer d'autres matériaux comme le bronze, l'acier inoxydable, l'aluminium et la céramique. Voici les raisons les plus populaires pour passer aux plastiques :

- Longue durée de vie de la pièce
- Elimination de la lubrification
- Réduction de l'usure des pièces d'appui
- Augmentation de la vitesse de production/de ligne (rendement/productivité)
- Réduction de la puissance nécessaire au fonctionnement de l'équipement
- Inertie et résistance à la corrosion
- Réduction du poids

Etant donné le grand nombre de matériaux plastiques disponibles aujourd'hui, choisir le meilleur d'entre eux peut s'avérer intimidant. Voici des lignes directrices pour accompagner ceux qui sont moins familiers avec ces plastiques [4].

- Sélectionner un matériau n'est généralement pas une opération simple compte tenu de la grande variété proposée, le choix dépend autant du coût et des qualités propres au matériau, la sélection est plus souvent effectuée en équipe.

Pour la matière de l'adaptateur on a choisi un polymère, facile à fabriquer et cadences élevées par rapport aux autres matériaux (métaux, céramique...) et dans les polymères on a choisi les thermoplastiques par rapport aux autres familiers car c'est le plus utilisés ils représentent près de 90% des applications des matières plastiques et permettent des formes plus complexes [10].

1-10- Les Thermoplastiques :

Les thermoplastiques ramollissent et deviennent pâteux sous l'effet de la chaleur. Ils durcissent à nouveau quand on les refroidit. Tant que la température de décomposition n'est pas atteinte, cette transformation est réversible et peut être réalisée de façon répétée. Ces matériaux sont caractérisés par la présence d'un bain de fusion.

- Thermoplastiques amorphes

A température normale, les thermoplastiques amorphes se trouvent en phase d'élasticité énergétique, c'est-à-dire à l'état vitreux. Lorsque la température augmente, la force de liaison

entre les chaînes moléculaires diminue jusqu'à atteindre la température de transition vitreuse. Ce ramollissement est associé à une baisse notable de la résistance mécanique. Si la température continue d'augmenter, le plastique se liquéfie et, après dépassement de la température de fluage, se transforme en un bain de fusion liquide visqueux. Une augmentation supplémentaire de la température conduit finalement à la décomposition, lorsque la température de décomposition est atteinte.

- Thermoplastiques semi-cristallins

La plage de température de l'état vitreux des thermoplastiques semi-cristallins est supérieure à celle des thermoplastiques amorphes. En outre, en raison de leur part cristalline, leurs propriétés de résistance diminuent moins vite lorsque la température de transition vitreuse est atteinte. Au-dessus de la transition vitreuse, les plastiques passent dans un état viscoplastique et ne deviennent liquides visqueux qu'au-delà de la température de fusion des zones cristallines. Une augmentation supplémentaire de la température conduit enfin à la décomposition, lorsque la température de décomposition est atteinte [5].

Tableau de comparatif de quelques matières plastiques :

| Tableau comparatif des différentes matières plastiques | | | |
|--|---------------------------------------|---|--|
| Références commerciales | Matières Transformées | Applications | Caractéristiques Techniques |
| ABS | Acrylonitrile Butadiène Styrène | Plateaux et bacs de manutention Assises et dossiers de siège Mobilier urbain (poubelles, coffrets compteur d'eau ou électrique) - Capots de protection électrique - Capotages - Carters informatiques - Aménagement de mobilier hospitalier | Excellente tenue aux chocs, dureté de surface, facilité de transformation (thermoformage, pliage, collage, soudure, peinture), Pour certains produits protection U.V. très efficace bonne tenue aux intempéries |
| PC | Polycarbonate | Capots très sollicités mécaniquement - capots pour haute tenue température - plateaux de manutention - plateaux nécessitant une grande rigidité et une grande stabilité - pièces d'installation de sports d'hiver - etc... | Très grande dureté de surface, très grande résistance aux chocs, très grande résistance à la température, faible dilatation linéaire. |

| | | | |
|-----|------------------------|--|--|
| PP | Polypropylène | Capots pour une tenue chimique - plateaux de manutention pour tenue chimique et température - boîtes à effet charnières - boîtes alimentaires emballages alimentaires et pharmacopées. | Très bonne inertie chimique - bon isolant électrique - résistance aux agents lessiviels - bon effet charnière - bonne résistance température élevée - vicat 145°C - bonne résistance à la fissuration sous tension. |
| PS | Polystyrène | PLV - présentoirs publicitaires - carters plateaux repas - renforts de sièges - vasques - bac à plantes. | Grande facilité de transformation (thermoformage, découpe, soudure, etc...) - bonne rigidité - faible retrait (6%) - décoration aisée (sérigraphie, peinture). |
| PVC | Polychlorure de Vinyle | Tubes - gaines pour câbles - raccords - profilés - corps vieux - parfumerie - emballages thermoformés - pièces industrielles. | Rigidité - stabilité des pieds moulés - résistance à l'abrasion excellente - auto extingüibilité - incombustible - imperméable au gaz - perméable à la vapeur d'eau - bonnes propriétés électriques - bon comportement aux agents chimiques. |

Tableau (1-1) comparatif des différentes matières plastiques [6].

1-11- L'acrylonitrile butadiène styrène :

L'acrylonitrile butadiène styrène ou ABS est un polymère thermoplastique présentant une bonne tenue aux chocs, relativement rigide, léger et pouvant être moulé. Il appartient à la famille des polymères styréniques.

L'ABS est un plastique résilient et résistant au choc qui est largement utilisé dans de nombreux secteurs industriels. Il présente un faible coefficient de retrait et une haute stabilité dimensionnelle, et il offre une bonne résistance aux acides et aux bases.

L'ABS est un bon choix pour les appareils portables grand-public. Il est également relativement bon marché.

Le matériau ABS est biphasé (structure complexe), fabriqué en mélangeant un copolymère styrène-acrylonitrile (SAN, issu de styrène et d'acrylonitrile) avec un matériau élastomère à base de polybutadiène (du polystyrène ou du SAN a été greffé sur le tronc de polybutadiène). Les nodules (phase en îlots) de la structure élastomère sont noyés dans la matrice. La phase élastomère apporte de la résistance aux chocs et de la souplesse.

Il se recycle facilement par étuvage et peut se combiner avec les autres composés styréniques (PS, SB, SAN). Pour améliorer sa tenue thermique, un 4^e Co monomère (l'alpha-méthyl styrène) peut être incorporé. On parle alors d'« ABS Chaleur ».

En raison de ses bonnes qualités d'aspect de surface, de sa stabilité dimensionnelle et de son aptitude à la décoration (il est facile de le colorer), l'ABS est beaucoup utilisé pour des applications de capotage dans des secteurs tels que l'électroménager, la téléphonie, le matériel informatique et le jouet.

Il existe un grade spécial : l'ABS métallisable. La métallisation par galvanisation est répandue. Il faut d'abord rendre la pièce conductrice par dépôt, à partir d'une solution

colloïdale, d'une couche métallique. L'ABS est préalablement traité dans un bain d'acide chromique [7].

1-11-1- Propriétés de Acrylonitrile Butadiène Styrène(ABS) :

L'ABS c'est un matériau avec des bonnes caractéristiques mécaniques et optique, Electriques.....

Le tableau suivant donner les principales propriétés de l'ABS

| Nome de matériaux | Acrylonitrile butadiène styrène | |
|--|---------------------------------|--------------|
| | Méthode de test | valeur |
| Propriétés mécanique | | |
| Densité spécifique g/cm ³ | ASTM D792 | 1,04 |
| Résistance a la traction (type 1, 0.125) N/mm ² | ASTM D638 | 37 |
| Module d'élasticité en traction N/mm ² | ASTM D638 | 2320 |
| Allongement (type 1, 0.125) % | ASTM D638 | 3 |
| Résistance a la flexion (méthode 1) N/mm ² | ASTM D790 | 53 |
| Module d'élasticité en flexion N/mm ² | ASTM D790 | 2250 |
| Résilience IZOD (méthode A 23 °C) J/m | ASTM D256 | 106 |
| Coefficient de frottement μ | ASTM D1894 | 0,080 à 0,46 |
| Propriétés thermique | | |
| Résistance a la déformation a chaud, a | ASTM D648 | 96 |
| Résistance a la déformation a chaud | ASTM D648 | 82 |
| Température de fusion des F° | DTA | 407 à 501 |

| Propretés électrique | | |
|---|---------------------|--|
| Résistance volumique spécifique Ohms | ASTM D2575 | 3,0¹⁴ - 6,0¹³ |
| Constante diélectrique | ASTM D150-98 | 2,9 - 2,6 |
| facteur de dissipation diélectrique | ASTM D150-98 | 0,0053 - 0,0046 |
| Rigidité diélectrique V/mm | ASTM 149-09 | 320 - 100 |
| Densité g/cm³ | ISO 1183 | 1,04 à 1,11 |

Tableau (1-2) Propriétés de l'ABS. [8]

1-11-2- Les applications types de l'ABS sont les suivantes :[9]

- **Automobile**
 - console centrale
 - boîte à gants
 - tableau de bord inférieur
 - colonnes
 - appuie-genoux
 - console plafond
 - dossiers de siège moulés par soufflage
 - composants structurels
- **instruments électroniques**
 - cadres TV
 - enceintes moniteur d'ordinateur portable
 - dispositifs portatifs
 - panneaux LCD
 - claviers
 - adaptateurs et chargeurs
 - carcasses de téléphone mobile.

-1-Introduction:

L'Injection plastique, aussi appelée moulage par injection, est un procédé de mise en œuvre de matières thermoformables, notamment les matières thermoplastiques. Qui permet en un minimum d'opérations d'obtenir des pièces de formes simples ou complexes, pour de la petite à la grande série. La plupart des pièces thermoplastiques sont fabriquées avec des presses d'injection plastique : la matière plastique est ramollie puis injectée dans un moule, et ensuite refroidie.

2-2- Procédés de transformations du plastique par injection:

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 [11] :

- l'injection plastique
- l'injection soufflage
- l'extrusion
- l'extrusion soufflage
- le thermoformage
- l'expansion moulage
- le malaxage
- le rotomoulage

2-2-1- Procédé de l'injection:

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 [12].

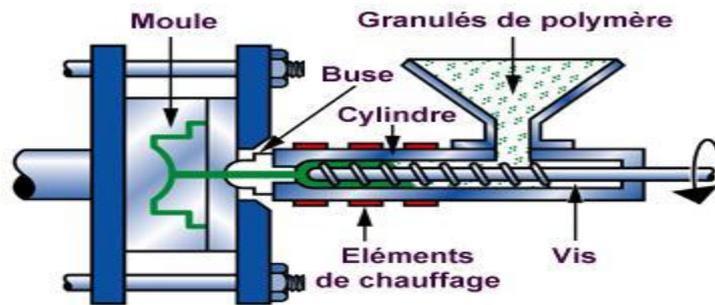


Fig.(2-1) procédé de l'injection

2-2-2-Injection soufflage:

Pour la conception des bouteilles, des flacons ou encore des biberons, on utilise l'injection soufflage. L'injection-soufflage permet d'avoir une cadence très élevée dans le cycle de fabrication qui se déroule en deux grandes phases. Dans l'atelier d'injection, on fabrique d'abord une préforme, pour façonner, une sorte d'éprouvette avec le goulot de la bouteille [13].

1. Dans l'atelier de soufflage, on chauffe de nouveau le plastique du tube que l'on va étirer dans un moule à l'aide d'une tige.
2. Pour que la matière prenne parfaitement la forme du moule, on lui envoie un jet d'air très puissant (le soufflage).
3. Le moule est ensuite refroidi et s'ouvre, la bouteille apparaît

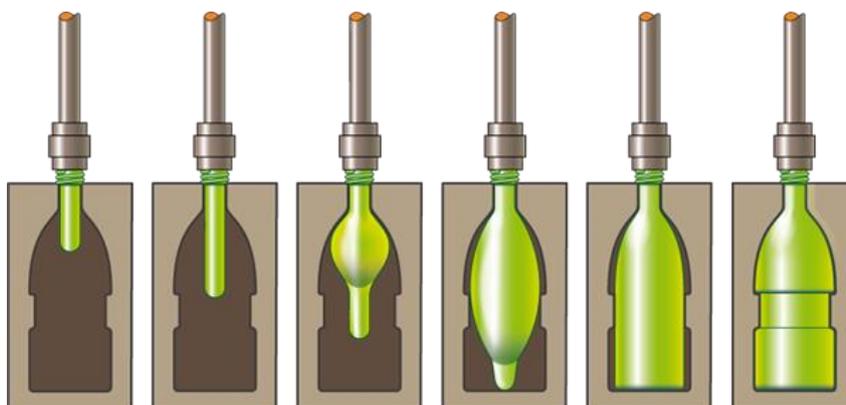


Fig.(2-2) injection soufflage

2-2-3-Extrusion:

L'extrusion est le procédé de transformation qui sert à fabriquer des pièces en longueur comme des tuyaux, des gouttières ou des tubes [13] :

1. On verse le polymère sous forme de granulés ou de poudre solide dans la trémie de l'extrudeuse.
2. La matière est entraînée par la vis sans fin qui tourne dans un cylindre chauffé.
3. Elle se liquéfie sous l'effet de la chaleur et de la friction.
4. La vis entraîne le plastique vers la sortie. La tête de sortie (pièce en acier aux formes variées) donne sa forme au produit au plastique qui est ensuite refroidi

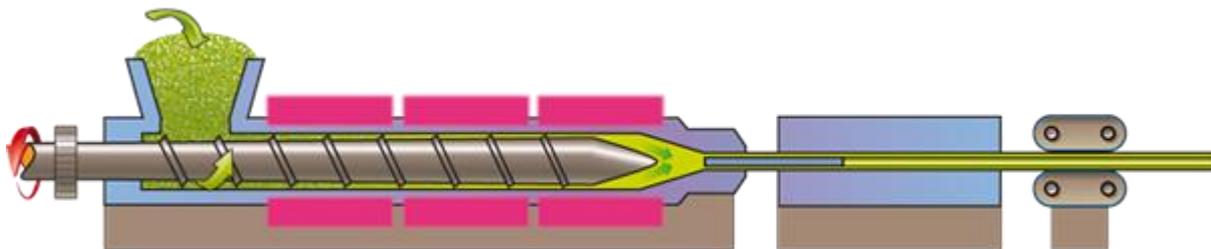


Fig.(2-3) extrusion

2-2-4-Extrusion gonflage:

Ce procédé est un dérivé de l'extrusion, il consiste à souffler en continu de l'air à l'intérieur d'un tube appelé paraison pour la faire gonfler. Ce procédé ne nécessite pas de moule, c'est l'air soufflé qui donne la forme et le refroidissement. Cette technique permet de fabriquer des en phase initiale, le principe est le même que celui de l'extrusion classique mais il n'y a pas de forme à la sortie de l'extrudeuse plastiques [13].

1. On insuffle de l'air comprimé dans le plastique ramolli.
2. Il se gonfle alors et s'élève verticalement comme une bulle de film très fin. On le laisse ensuite refroidir.
3. Avant de l'aplatir entre des rouleaux, on forme des soufflets et on prédécoupe les sacs.
4. On les enroule sur des bobines ou on forme des rouleaux

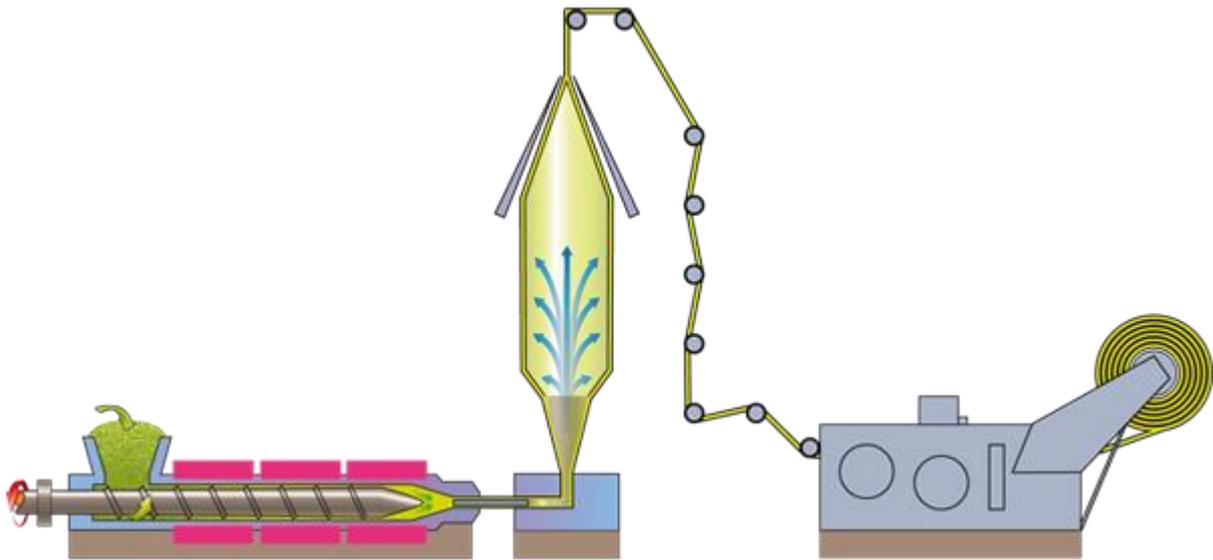


Fig.(2-5) Extrusion gonflage

2-2-5-Extrusion soufflage:

Ce procédé consiste à combiner la technique de l'extrusion avec celle du soufflage. Il permet de fabriquer des objets creux comme les bouteilles de lait ou les flacons de lessive par exemple. On réalise d'abord un tube par extrusion simple [13].

- 1.** Le tube extrudé (appelé paraison) est enfermé dans un moule de soufflage (2 demi-coquilles ayant la forme désirée).
- 2.** La paraison présente un orifice à son extrémité, qui est pincée (là où sera l'ouverture finale du récipient).
- 3.** Puis de l'air est injecté dans le moule afin que le tube adopte parfaitement les parois où il est très rapidement refroidi. Il suffit alors de démouler l'objet ainsi fabriqué et le tour est joué.

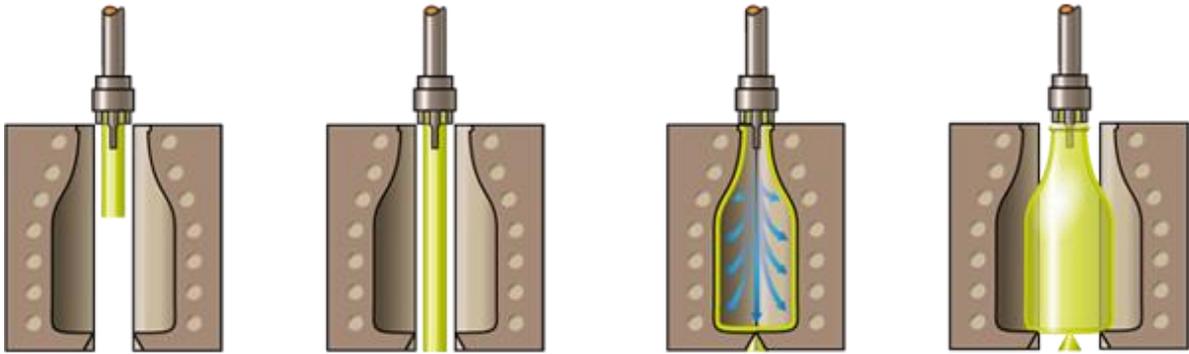


Fig.(2-6) extrusion soufflage

2-2-6-L'expansion moulage:

Le dernier procédé de transformation est appelé expansion moulage. Il sert à fabriquer toutes sortes d'emballages en polystyrène expansé [13].

1. Avant d'être expansé, le polystyrène se présente sous forme de petites billes qui renferment des micro-inclusions de gaz (à l'état liquide).
2. Au contact de la vapeur d'eau, la matière plastique se ramollit et le gaz qu'elle contient se dilate.
3. Les billes gonflent grâce à l'air qu'il contient, comme le pop-corn, mais avec une forme plus régulière.
4. Cette première expansion est réalisée en usine dans de grandes cuves en inox et permet d'obtenir jusqu'à 30 fois le volume initial des petites billes de polystyrène.
5. Ensuite, on sèche les billes pré-expansées dans un silo et on les introduit dans un moule fermé, soumis à une nouvelle injection de vapeur d'eau. Les billes reprennent leur expansion, occupent tout l'espace du moule et se soudent entre elles pour obtenir la forme désirée de l'emballage (Caisses à poissons, barquettes).

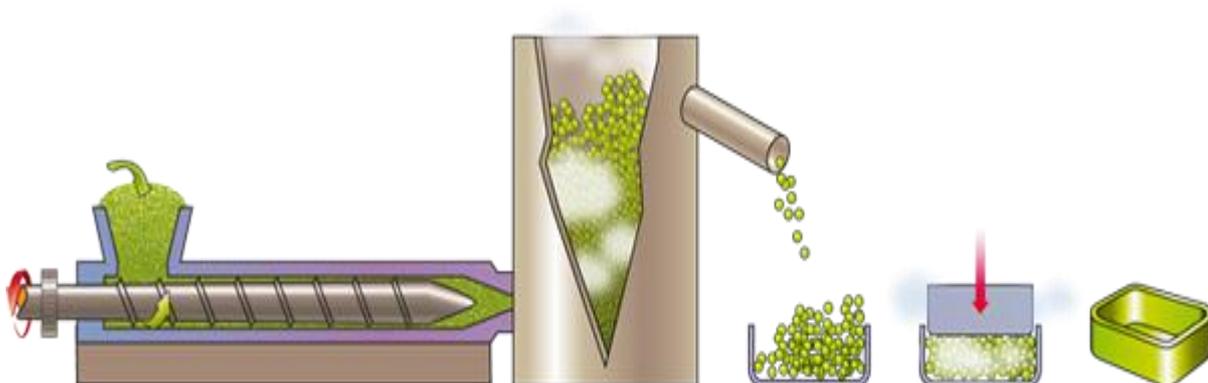


Fig.(2-7) L'expansion moulage

2-2-7-Thermoformage:

Derrière ce terme compliqué se cache le procédé de fabrication qui permet de réaliser toutes sortes d'objets aux formes creuses. Concrètement, pour les emballages, le thermoformage permet de créer des barquettes, des gobelets ou encore des pots de yaourt. Le thermoformage est une technique de moulage [13].

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

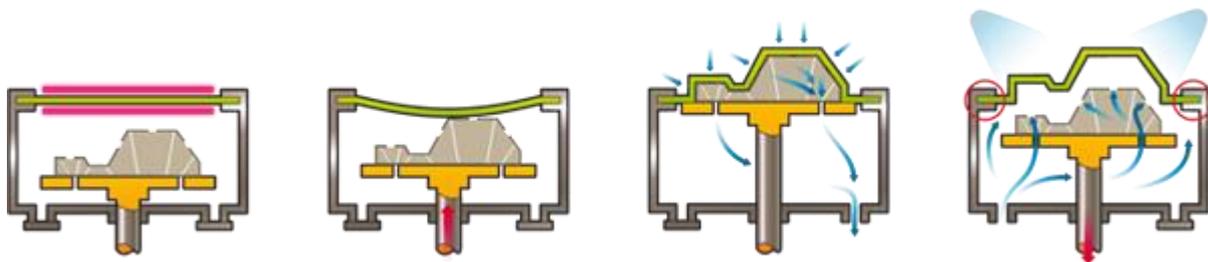


Fig.(2-8) Thermoformage

2-2-8-Calandrage:

Le calandrage permet de fabriquer des produits semi-finis, comme des films. Dans une machine appelée calandre, les matières thermoplastiques, mélangées à des additifs et des stabilisants, sont écrasés entre plusieurs cylindres parallèles.

La matière est chauffée puis malaxée par une vis sans fin spéciale, pour donner une pâte épaisse [13].

1. Elle le passe plusieurs fois entre les rouleaux pour une homogénéisation parfaite, un peu comme une guimauve.
2. Pour permettre la gélification de la matière, celle-ci passe entre 2 calandres chauffées, réglées selon différents paramètres (température calandres, pressions, vitesse rotation...).
3. L'écartement, la pression et le type de rouleaux vont donner les dimensions et les aspects des films (le grainage).
4. Les films sont mis en bobine ou coupés et empilés pour faire des feuilles, aux dimensions et épaisseurs souhaitées des objets à former.

Applications:

Le calandrage permet de fabriquer des produits semi-finis :

- Des feuilles ou des films qui seront transformés par la suite
- pour devenir des pots, des barquettes ou des gobelets.

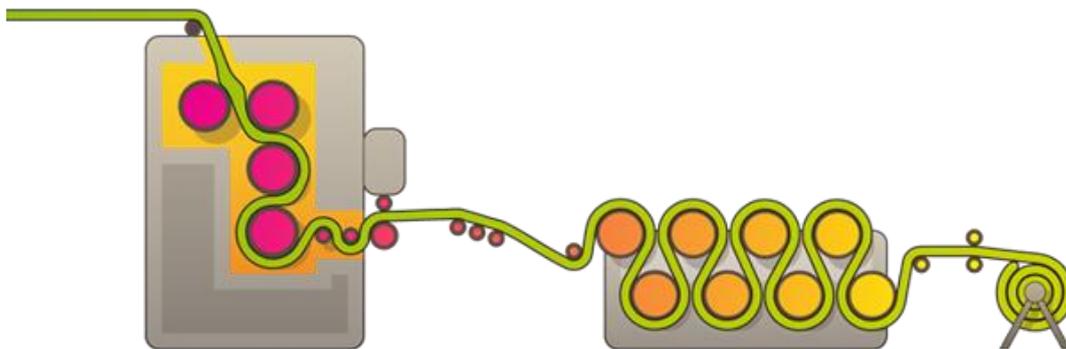


Fig. (2-9) Malaxage

2-2-9-Roto moulage :

une masse de poudre de polymère chargée dans le moule ensuite fermé , le moule tourne sur lui-même pendant une phase de chauffage le matériau réparti sur les paroi du moule la pièce se démoulée après le refroidissement , cette technique permet de produire des objets creuse comme les Kayaks[10] .

2-3-Machine d'injection:

Couramment appelée dans l'industrie presse à injection, ou presse à injecter, la machine à injection plastiques est utilisée pour la mise en œuvre des thermoplastiques. La machine à injection plastiques est utilisée pour réaliser les pièces de très nombreux produits manufacturés, utilisés notamment dans l'industrie automobile, l'électroménager, le mobilier ou le matériel informatique. La machine à injection plastiques permet en effet de réaliser des pièces de tailles diverses et de forme complexe en très grande quantité. La taille des pièces obtenues par la machine à injection plastiques peut aller de quelques milligrammes à plus de 500 kg.

2-4-Fonctionnement de la machine à injection plastiques:

Le fonctionnement de la machine à injection plastiques peut être décomposé en 4 étapes: la phase de plastification, l'injection, le refroidissement, puis l'éjection.

Lors de la phase de plastification, les granulés de matière plastique sont chauffés et homogénéisés par le biais d'une vis qui tourne et pousse cette matière à l'état fondu dans le moule de la machine à injection plastiques. Le moule, également appelé empreinte, est constitué de deux parties (une fixe et une mobile). C'est lui qui donne sa forme à la pièce. La température du moule de la machine à injection plastiques est régulée de façon à refroidir la pièce afin de la solidifier. La pièce ainsi obtenue est ensuite extraite du moule, grâce à l'ouverture de celui-ci et à un dispositif d'éjection.

2-5-Composants d'une presse d'injection :

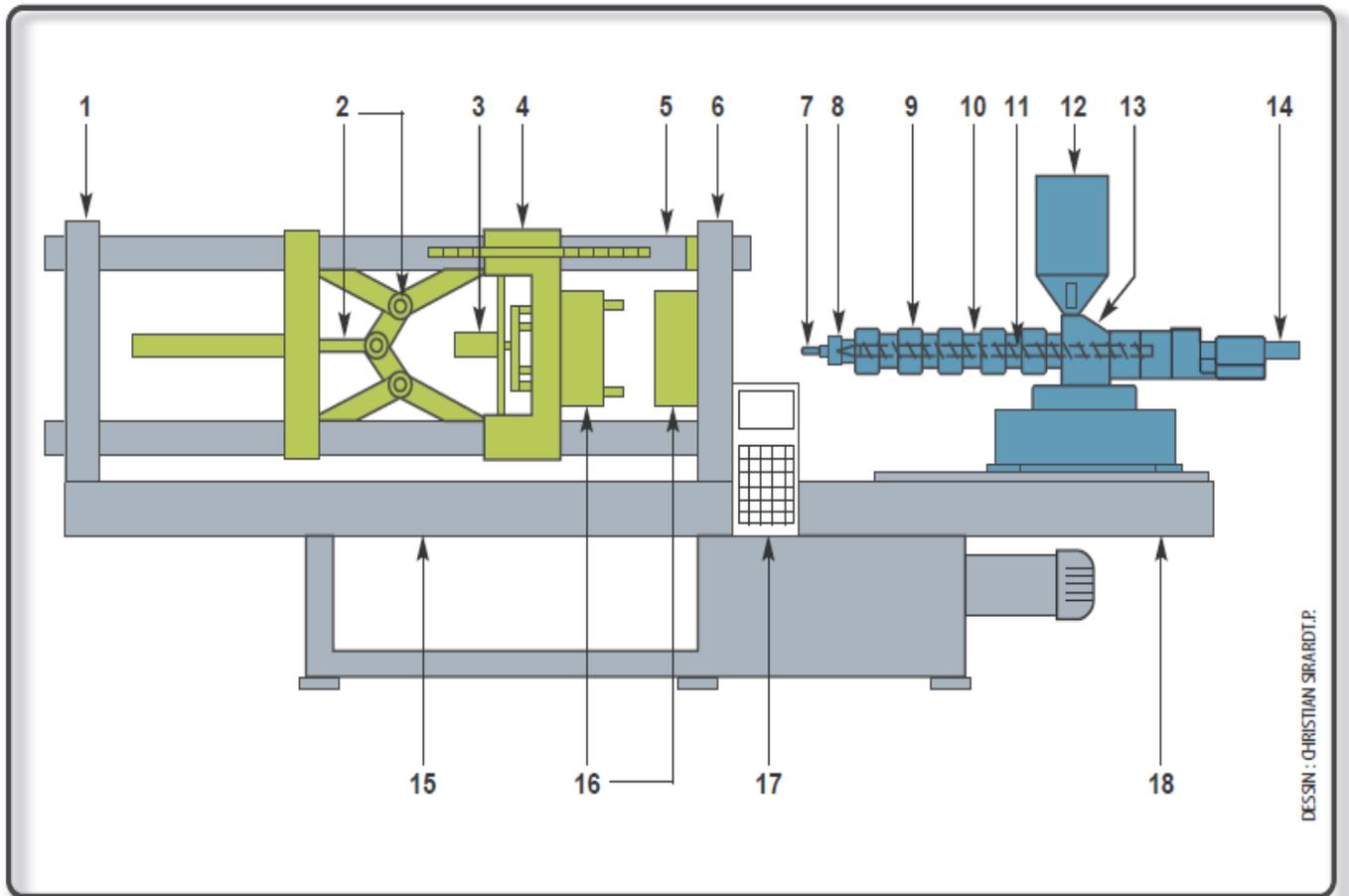


Fig.(2-10): presse d'injection plastique

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.
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.

2-6- Les caractéristiques d'une presse à injection :

Les caractéristiques fondamentales d'une presse à injection sont :

- La force d'injection c'est –à- dire la force produite par le piston lors de son avance sous l'action du système hydraulique qui la commande elle s'exprime en newtons.
- La pression d'injection qui est celle sous laquelle la matière a moulé pénètre dans le moule elle s'exprime en bar.
- La capacité d'injection qui est la masse maximale de matière injectable a chaque cycle suivant les machine cette masse peut varier de 15 g à 380 g.
- Le temps d'avance de piston, durée de parcours de piston dans le cylindre lors de remplissage d moule il s'exprime en seconde.
- La pression de verrouillage qui commande, pour une pression d'injection donne, la pression utilisable en objet moulé doit rester supérieure à la pression totale exercée par la matière dans le moule, si non ce dernier s'ouvrirait [14].

2-7-Les différentes presses d'injection :**2-7-1- Presse horizontale :**

L'axe de la vis est horizontale 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 [15].

2-7-2- Presse vertical :

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].

2-7-3- Presse électrique :

Les principales commandes de mouvements des presses sont hydraulique, mais dernièrement sont apparues des presses a commandé tout électrique par servomoteurs alternatif, qui apportent les avantages suivantes [15]:

- ✓ Meilleure précision (indépendance de la température d'huile).

- ✓ Démarrage plus rapide, cycle plus court.
- ✓ Consommation énergétique (-50%).
- ✓ Surface au sol réduite.
- ✓ Maintenance simplifiée.

2-8-Choix de la machine d'injection

Modèle : **VITA-D160/600**

2-8-1-Caractéristiques technique

a- Unité de fermeture : [16]

- Force de fermeture max = 1600 KN
- course d'ouverture max = 480 mm
- Passage entre colonnes H x V= 470*470

b- Ejecteur hydraulique : [16]

- force d'éjecteur = 34 KN
- course d'éjecteur = 150 mm

c- unité d'injection [16]

- pression d'injection = 1502 bar
- diamètre de vis = 50 mm
- poids max injectable = 370 g
- vitesse d'injection max = 113 mm/s
- débit d'injection = 221 cm³/s

d- caractéristiques générales : [16]

- puissance du moteur = 20 KW
- capacité huile = 350 L
- dimension machine = 7900 x 1400 x 1825 mm

- poids net de la machine = 5200 Kg

2-9-Les paramètres d'injection :

2-9-1-Température de mise en œuvre :

Le réglage de température du cylindre de plastification s'effectue selon les grades, entre 240 et 280C° ne température trop basse du matériau peut entrainer des tensions interne dans la pièce moulée par injection, tandis que des températures trop élevées pouvons être à l'origine d'une dégradation thermique du matériau avec des modifications des couleurs et des propriétés mécaniques.

Des températures de moule s'élevant selon les grades à des températures entre 40 et 120 C°, sont des importances capitales pour obtenir des pièces moulées sans tension internes

Une température de moule augmentée conduit en général à des plus faibles tensions internes[17].

2-9-2-Pression dans l'empreinte :

Pour assurer une bonne qualité et une bonne précision dimensionnelle, il faut par conséquent concevoir un système de régulation thermique optimum pour que la température soit la plus homogène possible.[17]

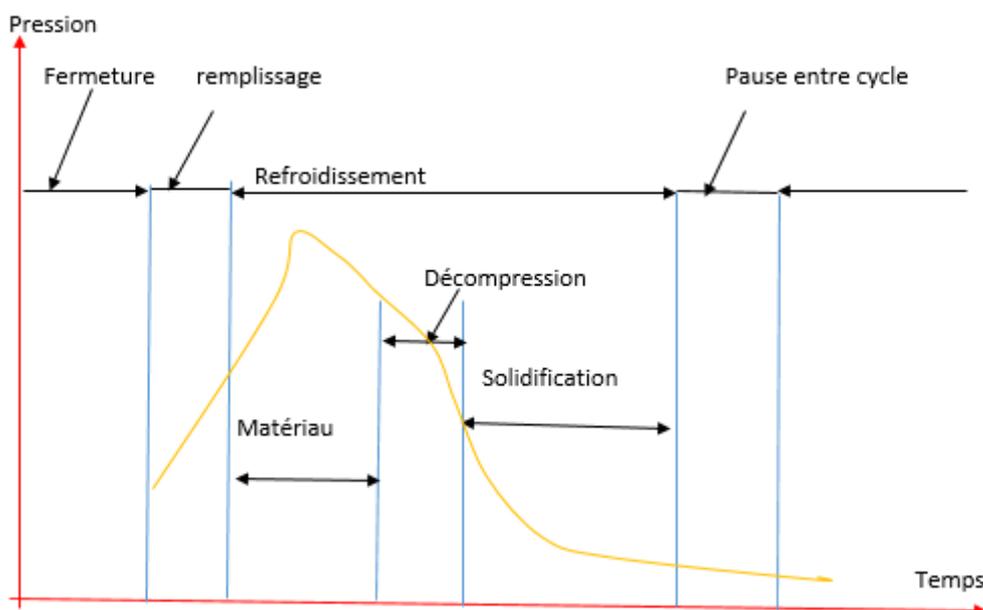


Fig.(2-11) La pression dans l'empreinte sur un cycle de moulage

2-10-Techniques d'injection :

Pour pouvoir optimiser les pièces moulées, l'injection s'est fortement différenciée en une bonne quinzaine de technique [18].

2-10-1-Injection a grande cadence :

Elle concerne les pièces de faibles épaisseurs et de gros, on utilise alors des presses a vitesse d'injection rapide et bien stabilisées, pour éviter les vibrations, avec des moules multiples empreinte et des systèmes a canaux chauds évitant le décarottage. [18]

2-10-2-Micro- injection :

On réalise ainsi des petits pièces et des éléments d'un poids de 0.10 g , platine de montre de 0.7g La plus petite pièce actuellement produite pèse seulement 0.014 g dans certains cas, il est alors nécessaire de faire le vide dans les micros empreintes du moule, car du fait la précision de fermeture. [18]

2-10-3-Injection lourde :

On pane de très grosse injection lorsque l'on utilise des presses de plus de 2000 t de force de fermeture, on utilise parfois des presses à mailles, dans lesquelles les classiques colonnes de retenues sont remplacées par des cadres d'acier qui bloquent le sommier et le plateau fixe.

Le moule et alors introduit sur une cote de la machine, puis roulé jusqu'aux plateaux de fixation.[18]

2-10-4-Injection séquentielle :

Alors que dans la méthode classique, tous les points d'injection sont alimentés simultanément, ici ils sont pilotes pour débiter seulement au fur et a mesure que chacun d'eux est passe par le flux de matière venant du point place plus en amont. [18]

2-10-5-Injection sur noyau fusible :

C'est une variante de la fabrication de pièces creuses ou complexe, qui concernent le moulage de pièces non déroulable. On pallie cet inconvénient en injectant le polymère sur un noyau fusible.

La technique comporte alors 4 phases :

- Moulage en coquille d'un noyau.
- Injection du plastique sur ce noyau.
- Fusion du noyau par induction magnétique et bain d'huile.
- Récupération de la pièce et de l'outillage fondu pour renoyautage.[20]

2-10-6- Sur-injection :

La sr-injection consiste, au noyau de plusieurs machines d'injection positionnée successivement sur le même moule, a injecter plusieurs matières de façon a former un objet complexe.[20]

2-10-7-Co-injection :

La co-injection consiste aussi a injecter successivement dans la même cavité diverses matières qui se superposent. Le moule mono empreinte passe successivement devant différents unîtes d'injection on les différents couches sont injectées.[20]

2-10-8-Injection assistée par gaz :

L'injection assistées par gaz est destiné a la fabrication de corps contenant une cavité de forme moins régulière. Deux variantes sont possible, l'injection terminée par pression de gaz et l'utilisation d'une masselotte de vidange.

Dans le premier cas, une cavité de moule d'injection est remplie a environ de 80% .Par canal d'injection , en introduit alors un gaz sous pression qui crée une bulle au sien de la matière chaud et applique celle-ci sur la paroi du moule.

L'autre technique consiste a remplir la cavité du moule complètement et a injecter un gaz dans celle-ci par un point oppose au point d'injection.

Ce gaz va repousser devant lui , vers masselotte placée sur le canal d'injection, la matière qui est encore à l'état liquide , créant ainsi un vide dans la pièce.[20]

2-10-9-Injection sur noyaux tournants_:

Injection sur noyaux tournants est une technique encore en plein développement qui nous s'applique toutefois qu'à la fabrication d'objets de révolution. Pour obtenir l'effet désire, on injecte la matière plastique sur un noyau mobile relie a un axe de rotation. Lors du

refroidissement de la matière injectée, on imprime aux noyaux un mouvement de rotation entraînant un cisaillement de la matière encore fondue en prisonnier entre les noyaux et la paroi de la cavité. Cette rotation au mouvement de la matière en se refroidissant, atteint soit la température de cristallisation, soit le début du plateau caoutchouteux, entraîne l'orientation circonférentielle des chaînes moléculaires.[20]

2-11-Refroidissement des moules :

Il faut évacuer le plus rapidement possible les calories amenées par la matière fondue, la régulation de température d'empreinte est capitale pour la qualité de la pièce, et son moindre coût de fabrication.

Pour cela trois principes sont à retenir :

- Les températures des deux faces du moule doivent être rigoureusement égales $\pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Les écarts de température doivent être inférieurs à 5°C sur toutes les parois d'empreintes.
- Se placer dans les conditions de régime turbulent pour le liquide de refroidissement.

Les dispositifs de régulation thermique des moules d'injection thermoplastique sont en général réglés entre 50 et 80°C . Pour certains matériaux des températures de 200°C sont possibles.

Les fluides de régulation peuvent être les suivants, selon la gamme de température :

- Saumure, eau glycolée, pour les températures à 0°C .
- Eau pour les températures comprises entre 0 et 90°C .
- Huile ou fluide caloporteur synthétique pour les températures supérieures à 90°C .

Les circuits de refroidissement peuvent être de simple trous, des gorges, des puits, des caloducs. [20]

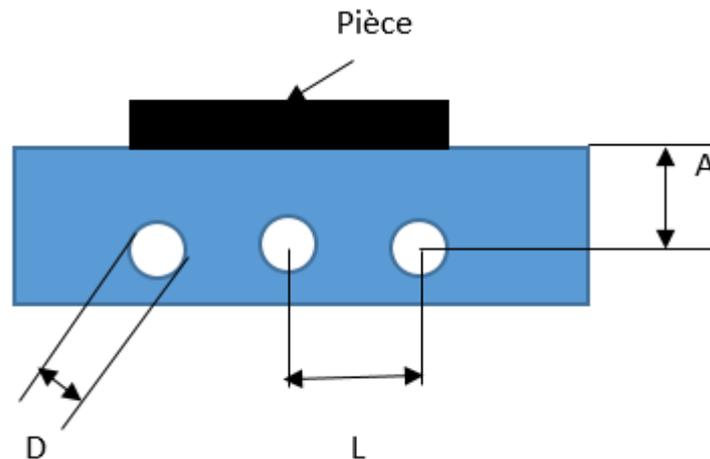


Fig.(2-11) position de canaux de refroidissement pour une plaque plane Avec :

$$L=2.5D$$

$$A=1.5\text{à}2D$$

Des précautions générales sont à prévoir lors de la définition d'un circuit de refroidissement :

- Bien repérer le circuit (entrée, sortie, sens de circulation).
- Utiliser de l'eau adoucie.
- Percer dans les empreintes seulement.
- Penser à concevoir un circuit tel que l'écoulement se fasse avec un nombre de Reynolds supérieur à 3500.
- Penser à refroidir au plus près de chaque point d'injection.
- Utiliser une pompe donnant une pression de refoulement minimale de 3 bars.

2-11-1-Le temps de refroidissement :

Avec un refroidissement suffisamment efficace, le temps au bout duquel la pièce peut être éjectée ne dépend que de son épaisseur et de ses caractéristiques thermique.

Et on a :

$$T_r = \frac{e^2}{\pi^2 * a} \ln \frac{8*(t_i - t_m)}{\pi^2*(t_d - t_m)} \quad (2-1). [10]$$

Avec :

T_r = temps de refroidissement en s.

e = épaisseur de la pièce.

t_m = température de la surface de l'empreinte.

T_d = température moyenne de la moulée au moment du démoulage.

a = coefficient de diffusion thermique du polymère.

T_i = température de d'injection.

2-12-Démoulage Ejection :

2-12-1-Démoulage :

Les pièces injectées sont retenues dans le moule, non seulement a cause la contraction thermique de celle-ci, qui provoque pendant le refroidissement leur serrage sur le ou les noyaux, mais aussi a cause de leur contre-dépouille ou des orifices latéraux qui les immobilisent.

Des solutions mécaniques permettant le démoulage des pièces comportant de tels orifices.

Pour évacuer les pièces injectées après leur solidification, il faut d'abord dégager tous les éléments qui s'opposent au démoulage, les mécanismes d'extraction tels que les éjecteurs, les plaques de dévêtissage, les poussoirs ou l'air comprimé agissent ensuite, ce paragraphe présente quelques-unes des solutions utilisées pour assurer l'éjection.[21]

On distingue quatre systèmes principaux :

- Extraction liée directement au mouvement d'ouverture de la presse qui agit sur les éjecteurs ou la plaque de dévêtissage.
- Libération de la pièce par le recul de pièces mobiles : tiroirs, coquilles, segments, noyaux.
- Dégagement par dévissage.
- Démoulage de pièces avec des éléments mobiles qui sont enlèves après éjection.

2-12-2-Ejection

L'éjection de la pièce doit être faite sans déformation de celle-ci. Elle se fait a une température correspondant approximativement a 50° C en dessous de la température Vicat du thermoplastique. L'automaticité de rejection doit être vérifiée pour toute nouvelle conception de moule pour des raisons économique évidentes. L'éjection peut être faite par éjecteur, par air, par roche tournante, lunette, ou plaque revêtisseuse, coulisseuse. [15]

2-12-3-Choix des éjecteurs :

- Ejection latérale : les dimensions des éjecteurs doivent être déterminées en fonction de l'épaisseur de la paroi et de la résistance de la matière :
- Ejection a lame : les lames usinées ou rapportées permettant d'éjecter de pièces peu épaisses. Les éjecteurs a lame doivent être guides pour éviter les risques de flexion ou de flambage [15].

3-1- Introduction:

Le moule est un ensemble mécanique de très grande précision qui permet de fabriquer des milliers de pièces en injection de matière plastique en fusion dans des empreintes prévues à cet effet, il est utilisé sur une machine appelée presse à injecter. Un moule est constitué de deux parties principales, une partie fixe pour l'injection de matière et l'autre mobile pour la fermeture du moule. Quand le moule est fermé, la surface de contact entre ces deux parties est appelée plan de joint, c'est au niveau de ce plan que la pièce devra se démouler, la difficulté est de définir physiquement sa position, pour ne pas laisser de traces sur la pièce moulée, les deux parties doivent s'emboîter parfaitement pour établir l'étanchéité. Lorsque le moule est fermé, il est sous pression.[21]



Fig.(3-1) :moule d'injection plastique

3-2-Modélisation de la pièce:

3-2-1- Règle de conception:

Les règles essentielles concernant la conception des moules pour thermoplastique sont: [23]

- Eviter les entailles et les arêtes aigües

- Eviter la variation importante sur les épaisseurs des parois
- Eviter les accumulations des masses
- Prévoir l'éventration du moule dans les zones d'écoulement ou dans les zones de soudure
- Prévoir des angles de démoulage

3-2-2- Règles élémentaires de conception plastique

La conception consiste à réaliser des pièces en plastique qui sera à la fois :[23]

- la plus légère possible : densité de la matière.
- la plus facile à mouler : conception du moule La plus simple.
- la plus facile à assembler : si elle est composée de plusieurs éléments.
- la plus résistante : résistance aux chocs et au vieillissement

3-2-3- Dessin de la pièce

La conception d'une bonne pièce plastique doit passer par le respect des règles qui visent à donner à la pièce l'aspect et la résistance souhaités et à permettre une réalisation de moule la plus simple possible à minimiser les reprises (décarottage, usinage...), et assurer une production économique. [10]

3-2-4- Epaisseurs de parois

Il ne faut pas que les épaisseurs de parois varient beaucoup. Les retassures, bulles, criques apparaissent dans les parties massives non alimentées en matière fondue pendant le maintien en pression et le refroidissement (épaisseur constante sur toute la pièce). [23]

3-2-5- Arrondis et congé de raccordement

Il faut prévoir des arrondis dans les angles pour éviter les concentrations de contraintes et favoriser l'écoulement pendant le remplissage .[10]

3-2-6- Les nervures:

Les nervures peuvent conduire à des surépaisseurs qui entraînent des retassures esthétiquement inacceptables. On évitera de mettre les nervures en face à face pour éviter un retrait trop localisé et donc une déformation de pièce.[10]

3-2-7- Les fonds de pièces

Les retraits des fonds de pièce occasionnent des déformations des récipients ou boîtes. Un fond bombe est dans ce cas préférable .[23]

3-2-8- Les dépouilles et contre-dépouille

Pour la plupart des applications, le retrait des plastiques impose que l'on prévoit des dépouilles sur les parties intérieures afin de faciliter le démoulage et l'éjection. De la même manière, on évitera les parties de pièce en contre dépouilles qui obligent à utiliser des tiroirs. La réalisation des tiroirs est élevée. [10]

3-2-9- Filetages et Taraudages

Ce sont des fonctions très délicates à réaliser. Tous les filets dans une même direction doivent avoir le même pas pour permettre le dévissage simultané des broches et le démoulage des pièces. [10]

3-2-10- Le choix du plan de joint

En fonction des possibilités de moulage et de réalisation du moule, ce choix peut devenir très délicat quand les dépouilles sont difficilement compatibles avec les fonctions que la pièce doit assurer certains détails de conception ne sont pas compatibles avec n'importe quel plan de joint.[10]

3-2-11- Les pièces complexes

Il est parfois préférable et astucieux de décomposer la pièce en plusieurs éléments simples à produire qui, une fois montés, donnent la pièce. [23]

3-3- Les éléments de base:**3-3-1- Plaque porte empreinte:**

La plaque porte-empreinte, dans le cas d'empreintes rapportées, c'est dans cette plaque que sont fixées les empreintes, cette seconde plaque porte le plus souvent les circuits de refroidissement du demi moule avant, elle assure aussi le centrage de la buse de moule et son appui. [10]

3-3-2- La semelle avant:

La semelle avant permettant de fixer la face avant du moule sur le plateau fixe de presse, elle supporte donc les taraudages de fixation, la rondelle de centrage, elle peut supporter aussi les blocs portes empreintes, mais on préfère souvent adjoindre une autre plaque. [10]

3-3-3- La semelle arrière

Elle est pour la fixation de demi-moule mobile sur le plateau, elle doit permettre le passage de la queue d'éjection centrale ou des commandes latérales. [10]

3-3-4- Le système d'alimentation**3-3-4-1- La buse:**

Elle supporte l'appui du nez de presse, l'étanchéité à ce niveau doit être parfaite, le contact se fait souvent selon deux rayons, le rayon de la buse du moule étant supérieure de 1mm (par exemple) à celui du nez de presse, le canal de la buse de presse doit être cylindrique et inférieure au début de la cheminée de moule, au bas de la cheminée, il est souvent placé un éjecteur centrale court avec centre dépouille permettant le reçu de la goutte froide et le maintien de la grappe en partie mobile. [15]

3-3-4-2- Les Canaux

Les économies de matière les voudraient courts et de faible section, mais les contraintes d'écoulement préfèrent les fortes sections. La section idéale est circulaire, mais d'autres formes peuvent convenir. Dans un moule avec plusieurs empreintes, la présence d'un dispositif d'équilibrage des pertes de charge facilite la mise au point du moulage et permet de remplir toutes les cavités d'empreintes en même temps. Les logiciels de prédiction des écoulements permettent de pré-dimensionner et rééquilibrer les canaux d'alimentation. [15]

3-3-4-3- Les seuils d'injections

Ils doivent permettre un remplissage adéquat de l'empreinte (rapide si la pièce est mince, lent si la pièce est épaisse) et un temps de figeage cohérent avec le volume de la pièce.

Ils doivent aussi, pour des impératifs d'esthétique, laisser une trace minimale. Le seuil est l'endroit où la section de matière est la plus mince généralement. La multiplication des seuils favorise le remplissage et la qualité en règle générale de la pièce sans augmenter le temps de cycle. Par contre, le trajet d'écoulement étant généralement plus long, le coût d'usinage des canaux est plus important, ainsi que le volume des carottes. De plus, le décarottage est plus difficile et les seuils pour les pièces difficiles à remplir, limitent pour la capacité de verrouillage de la machine et sans impératif esthétique.[15]

3-4- L'architecture du moule

La conception de la pièce et le choix de son type d'alimentation déterminent le choix de l'architecture du moule et les difficultés d'usinage et de moulage.

3-4-1- Moule à deux plaques

Les moules à deux plaques sont les plus simples et plus fréquents. La plaque A est fixe et la plaque B mobile. La résine fondue est injectée à travers la carotte du côté A, le long d'un canal sur le plan de joint, vers la ou les cavités.

Ces moules sont en fait des moules à deux plaques modifiées, avec une plaque centrale entre les plaques mobile et fixe de la presse. Cette plaque centrale isole les carottes et canaux des pièces. Lorsque le moule s'ouvre, les pièces sont éjectées de la partie mobile. La carotte et les canaux se détachent et restent entre la plaque centrale et la partie fixe.

Ce système offre plusieurs avantages, comparé au moule à deux plaques, D'abord, le dégagement est automatique au cours du processus d'éjection. Ensuite, les possibilités de sélection du nombre et de l'emplacement des seuils sont plus variées .[24]

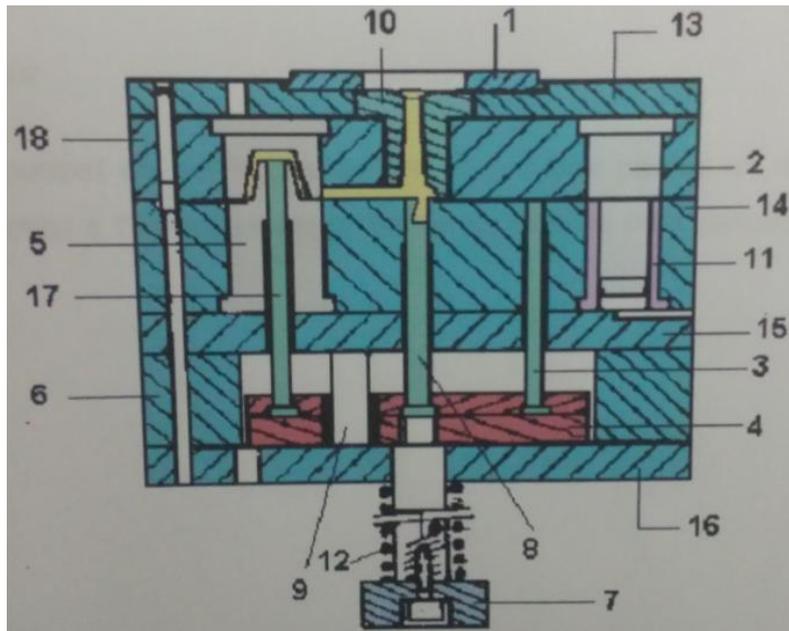


Fig.(3-2): Injection

Nomenclature :

1. Bague de centrage
2. Colonne de guidage
3. Rappel d'éjection
4. Plaque d'éjection
5. Empreinte
6. Tasseaux
7. Queue d'éjection
8. Arrache carotte
9. Plot de soutien
10. Contre buse
11. Bague de guidage
12. Ressort de rappel
13. Plaque de fixation A.V
14. Plaque porte empreinte Int
15. Plaque intermédiaire
16. Plaque de fixation A.R
17. Ejecteur
18. Plaque porte empreinte Sup

3-4-2- Moule a tiroir

Ce moule permet de sortir des pièces offrant des parties en contre-dépouille ou trou. Le tiroir se retire a l'ouverture de la partie supérieure pour permettre rejection de la pièce.[23]

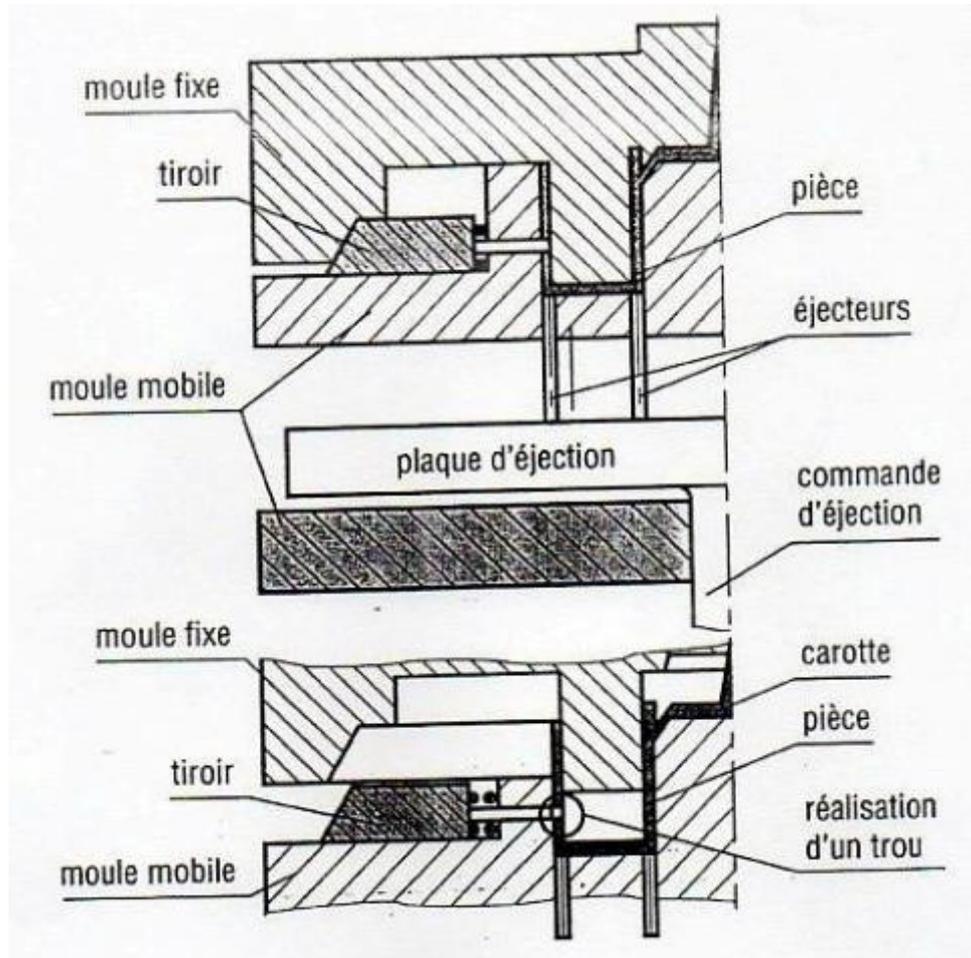


Fig.(3-3): Moule a tiroir

3 4-3- Moule a coquilles

Ce moule permet de réaliser des contre-dépouilles extérieures, mais il faut soigner la fermeture du moule et surveiller la fermeture de la machine.[23]

3-4-4 moules a canaux chauds;

Les moules a canaux chauds remplacent les moules de carotte et canaux froids avec un distributeur chauffé a l'électricité qui conserve cette potion du dosage a l'état fondu. La résine est injectée dans les cavités directement depuis les points d'injection du distributeur.[24]

Les avantages des canaux chauds

- réduction du volume de matière engagée, donc réduction de l'énergie consommée pour chauffer le cylindre et plastifier la matière.
- utilisation de presses plus petites car les canaux ne créent pas de force réactions et le volume injecté est inférieur,
- temps de cycle plus court (pas d'attente de refroidissement des canaux),
- plus grand choix pour le positionnement des points d'injection et pertes de pression plus faibles.



Fig.(3-4): Régulateur de température pour un moule à canaux chauds

3-5- Empreintes du moule

3-5-1- Nombres d'empreintes

Ce nombre est fonction d'impératifs technique : temps de cycle, précision et reproductibilité des empreintes, tolérances de fabrication de la série de pièce.

Les critères économiques sont temps d'occupation des machines, nombre de démoulages annuels, ou hebdomadaires, production et stockage des pièces. Pour que toutes les pièces d'une même moulée soient identiques, il faut qu'elles se remplissent en parfait synchronisme, que le polymère subisse les mêmes pènes de charges, parcourt la même distance, change de direction le même nombre de fois. L'alimentation des empreintes deux par deux permet de résoudre plus facilement ce problème.[25]

3-5-2- Matériaux constitutifs de l'empreinte

Le choix des matériaux de l'empreinte dépend de la destination du moule. Pour les moules de grandes séries, les critères de longévité sont pris en compte en photo avant ceux

des couts de la matière première et de son usinage. Les moules expérimentaux ou ceux destinés à la fabrication de très petites séries peuvent, par contre, être réalisés avec des matériaux moins résistants, si les conditions de fonctionnement des moules (surtout lorsqu'il s'agit d'essais) sont sensiblement identiques à celles du moule de production. Ces matériaux doivent avoir

- une bonne résistance à l'abrasion causée par le frottement des charges contenues dans la matière injectée et le mouvement des éléments mobiles de l'empreinte
- une bonne usinabilité et une bonne aptitude au polissage, indispensables pour faciliter le respect du cahier des charges concernant l'état de surface des éléments moulants et la réalisation de formes complexes ;
- une précision et une stabilité dimensionnelles correctes après les traitements thermiques dont il faut connaître les effets, compte tenu des dimensions et des tolérances de l'outillage dont dépend l'un des éléments de calcul du retrait de la pièce injectée.
- une résistance à la corrosion chimique indispensable à cause des produits dégagés par l'injection de certaines matières plastiques (PVC, acétate de cellulose, PIM...) ;
- une bonne conductivité thermique : cas des métaux, contrairement aux résines chargées avec lesquelles on observe des cycles d'injection très longs malgré l'incorporation de circuits de refroidissement. [21]

3-5-2-1- Acier

Ce sont les matériaux le plus souvent utilisés pour la construction des empreintes. Par un choix et un traitement thermochimique judicieux, on obtient des éléments résistants à la fatigue et aux contraintes mécaniques, ainsi que des surfaces polies et dures s'opposant très bien à l'abrasion. Le mode de fabrication de l'empreinte amène les moulistes à choisir des aciers faciles à usiner et à polir, en tenant compte, pour le choix et l'usinage, des traitements thermiques envisagés. [21]

3-5-2-2- Alliage de cuivre

L'utilisation de ces matériaux est préconisée dans les cas suivants :

- pour la fabrication par coulée de plusieurs empreintes identiques qu'il serait relativement onéreux d'usiner par fraisage (par exemple les reliefs ornementaux,

- lorsqu'il est nécessaire d'obtenir un refroidissement plus rapide des pièces on peut alors employer un alliage cuivre béryllium qui a une conductivité thermique 4 à 6 fois plus grande que celle de l'acier ; S'il est indispensable que les empreintes aient une très grande résistance à la corrosion. [21]

3-5-2-3- Alliage d'aluminium

On les utilise pour les moules prototypes. Leur composition est la suivante Zn : 4 à 6 % ; Mg : 2 à 2,5 % ; Cu : 0,8 à 1,6 % ; Cr : 0,1 à 0,25%

La teneur en aluminium correspond au complément à 100 %. Leur dureté est voisine de 150 HB. Leur usinage est facile et particulièrement rapide par électroérosion, leur polissage est de très grande qualité et leur masse est seulement le tiers de celle du même moule en acier. Les empreintes prototypes peuvent être remplacées par d'autres en alliages plus résistants, dans des carcasses qui pourront alors être employées pour un moulage en série.[21]

3-5-3- Régulation de température

Le moule doit être muni de circulation de fluide pour réguler la température de la paroi de l'empreinte d'un cycle à l'autre, et pour évacuer les calories de l'objet moule avec une rapidité suffisante. Si la température augmente légèrement à chaque moulée, le temps de cycle augmente. Plus l'empreinte comporte de pièces constituées, et plus la circulation de fluide sera complexe et délicate. De plus les broches et les noyaux évacuent très mal les calories, car ils ne bénéficient pas de la masse métallique du moule, mais de petites sections pour conduire les calories. [23]

3-5-4- Fermeture du moule

Le dispositif de manœuvre des plateaux porte moule doit assurer l'ouverture, la fermeture, et le verrouillage du moule avec une force suffisante. Ces fonctions importantes peuvent être assurées de différentes manières.[23]

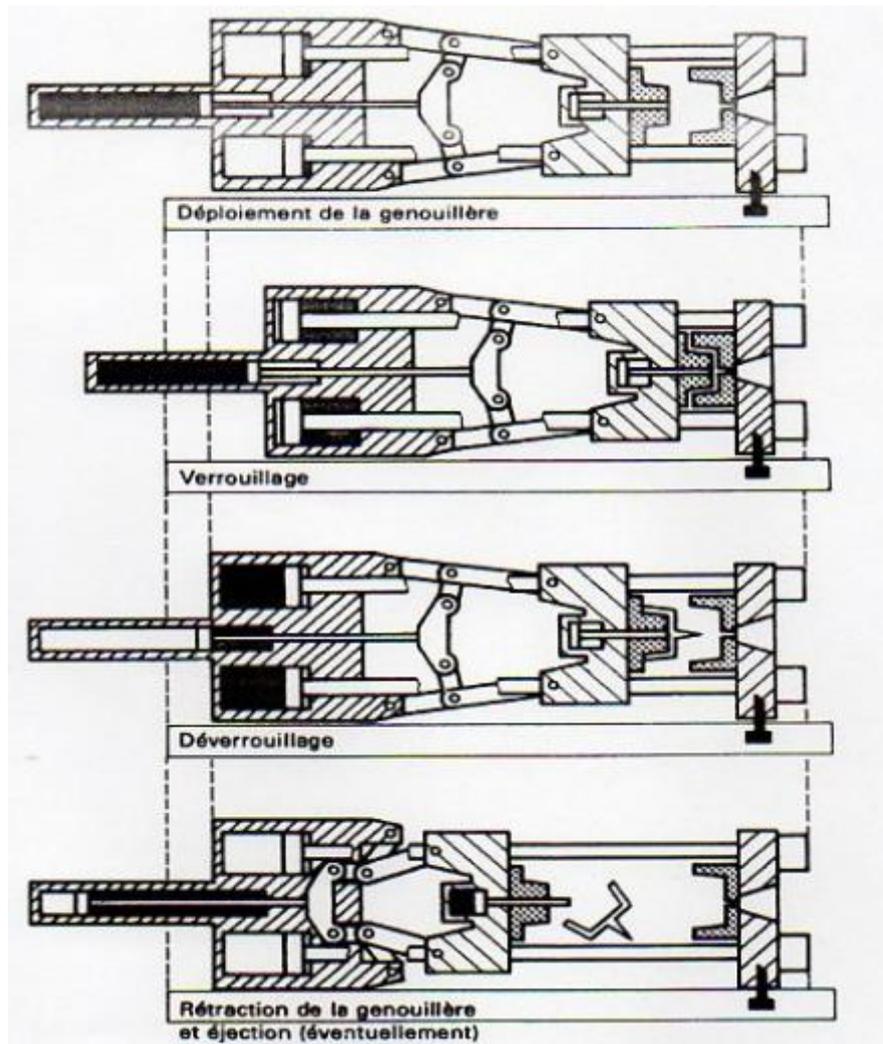


Fig.(3-5): Fermeture de moule

3-5-4-1- Fermeture mécanique par genouillère

L'avance rapide de la partie mobile est assurée par genouillère. Le verrouillage du moule est fourni par la mise en traction des colonnes de la machine, au moment où le moule est verrouillé. La genouillère est actionnée par un vérin hydraulique, ce système est très simple mais n'assure pas une force de fermeture constante et reste difficile à régler.[23]

3-5-4-2- Fermeture hydraulique avec genouillère

Le déplacement rapide pour l'approche des parties du moule à genouillère. mais le verrouillage est obtenu par un ou plusieurs vérins hydrauliques quand la genouillère est alignée. [23]

3-5-4-3- Fermeture hydraulique a un vérin

Un seul vérin a deux étages fournit l'avance et le verrouillage du moule. C'est un dispositif lent.

3-5-4-4- Fermeture hydraulique multi-vérins

Dans ce cas, les fonctions d'avance rapide et verrouillage sont dissociées et remplies par des verins distincts, utilisés les uns après les autres. Aujourd'hui, on commence à voir apparaître sur le marché des machines entièrement électriques, sans centrales hydrauliques. La fermeture est mécanique avec commande par moteur électrique et la vis est également entraînée par un autre moteur. [23]

3-6- Autres fonctions assurées par le moule

Le moule assure en complément de la production de la pièce, les fonctions suivantes:

- le guidage et centrage des plaques portant les empreintes par des colonnes,
 - le déplacement et butée de la plaque n°2 dans un moule à 3 plaques ainsi que le rappel des plaques pendant la fermeture,
 - le mouvement des tiroirs et des coquilles par des pentes, des doigts inclinés, des cames, des moteurs ou des vérins hydrauliques asservis.
 - l'escamotage et rappel des broches de contre-dépouilles intérieurs,
 - l'injection de la pièce et le rappel de rejection mécanique ou hydraulique pour une éjection du côté de la partie fixe de la fermeture de la presse,
 - le décarottage automatique et le contrôle de la non présence de carotte de pièce avant la commande de fermeture du moule,
- le positionnement des inserts avant la fermeture du moule.
- la mesure et le contrôle de l'injection, par des capteurs de pression ou de force, ou par des capteurs de déplacement pour mesurer l'ouverture du moule pendant le remplissage,
 - les sécurités : des capteurs de position sont parfois nécessaires pour contrôler et commander les phases de l'ouverture ou de la fermeture du moule pour ne pas risquer d'endommager les tiroirs ou les surfaces des empreintes. [23]

3-7- Fabrication de moule

Les outillages peuvent être réalisés par différents procédés :

3-7-1- Usinage a grande vitesse (UGV)

L'usinage a grande vitesse est une technique qui est apparue suite aux importantes innovations mise en œuvre au cours de ces dernières années. L'UGV s'applique a ('ensemble des techniques d'usinage. La notion de grande vitesse peut s'adresser a la vitesse de coupe, la vitesse d'avance par tour restant inchangée, alors que la vitesse d'avance relative outille-pièce est augmentée proportionnellement a la vitesse de coupe. Généralement, les moules et outillages sont réalisés dans des aciers durs, souvent fortement alliés a des résistances mécaniques comprises entre 650 a 1800 Mpa. De plus les échanges thermiques peuvent affecter la structure métallurgique de l'alliage a la surface et introduire des contraintes résiduelles superficielles qui peuvent être prétraitées. La chaleur produite lors de la formation du copeau n'a pas le temps de diffuser ni dans le matériau de la pièce usinée, ni dans l'outil. Le matériau n'est plus affecté, et la qualité d'état de surface est meilleure. [26]

3-7-2- Usinage par enlèvement de particules ou électroérosion

Le métal est enlevé par étincelles électriques éclatant entre une électrode outil et la pièce a usiner qui sont immergées dans un liquide diélectrique. Chaque étincelle agit comme une source thermique ponctuelle qui provoque localement la fusion et la vaporisation des matériaux constituant l'électrode et la pièce. Il n'y a pas de contact, entre l'électrode et la pièce qui sont distantes de l'intervalle d'étincelage ou gap, dans la valeur est d'environ quelques dixièmes de millimètre. On obtient directement ainsi une très grande précision l'ébauche Ra 10 a 30 pm, finition Ra 0.4 a 1.6 pm), bien adapté a la reproduction d'empreintes multiples. Pour la réalisation des filières de formes, on utilise également l'électroérosion par fil. [26]

3-7-3- Forçage a froid

Le forçage a froid a la presse hydraulique d'un poinçon de forme dans une empreinte de dureté inférieure, en métal de type Plast om, qui se déforme progressivement jusqu'a épouser la forme du poinçon. Ce procédé est également utilisé pour produire des empreintes multiples précises, mais de faibles tailles. [18]

3-7-4- Electro-dépositions

L'Electro-dépositions permet de déplacer par électrolyse assez forte de métal (Cu + Ni) sur un modèle a reproduire, après d'avoir rendu conducteur par un dépôt de cuivre chimique. Le temps de formation du dépôt est de l'ordre d'un a deux mois, pour pouvoir disposer d'une forme reproduite, avec son grain, qui sera ensuite ajustée dans la carcasse du moule. On peut procéder par projection de métal plus rapide, mais les détails a reproduire sont alors moins précis. [18]

3-8- Remplissage du moule

3-8-1- Organes constitutifs de la machine

Une machine d'injection classique comporte essentiellement :

- une trémie d'alimentation en granules.
- un cylindre, ou fut de plastification, chauffe.
- une vis piston avec clapet anti-retour.
- , - un dispositif de manipulation et de retenue du moule.

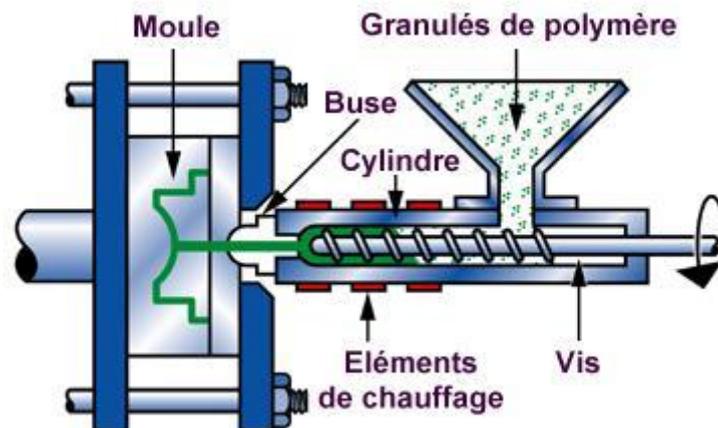


Fig.(3-6): Procède de l'injection

3-8-2- Chauffage du filet

Le chauffage de filet (200 a 300°C) est réalise par des colliers chauffants qui permettent d'atteindre une température interne de plastification de 150 a 250 °C. En fait rapport

calorifique est réalisée pour moitié par les résistances électrique et pour l'autre motile par brassage et frottement. [10]

3-8-3- Système vis-piston

Le dispositif remplit les deux fonctions de plastification et d'injection en un seul mécanisme. Pour la plastification, la vis tourne et plastifie la matière. Les granules sont chauffés, fondus, et homogénéisés pendant leur transport de la trémie vers la buse. Pour doser la quantité de matière nécessaire à l'injection d'une pièce, le dispositif vis-piston peut reculer dans le fourreau de la machine et doser la quantité voulue de matière plastifiée devant la vis, la vis s'arrête de tourner et de reculer. Pour injecter un vérin hydraulique pousse la vis, celle-ci plaque le clapet sur son siège, la matière ne peut plus refluer vers l'arrière. L'ensemble injecte sous pression dans le moule, la matière dosée. Pendant cette phase, l'hydraulique peut être asservie pour harmoniser le remplissage du motile en fonction de la pièce et de la matière injectée. [10]

3-8-4-Clapet de vis

La pression d'injection peut atteindre plus de 1 000 bars, et celle développée dans le moule, du fait des pertes de charges. Dans la pratique et pour des polymères courants, elle est de l'ordre de 300 bars. Il y a donc lieu de prévoir une fermeture efficace, que l'on réalise souvent à l'aide d'un système à genouillère à commande hydraulique. Suivant le sens de l'injection, on notera encore deux configurations possibles :

- presse horizontale. L'axe de la vis est horizontal et le plan d'ouverture du moule est vertical. L'ouverture provoque alors la sortie immédiate de la pièce par gravité après éjection
- presse verticale, 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 composées de nombreux inserts métalliques. [10]

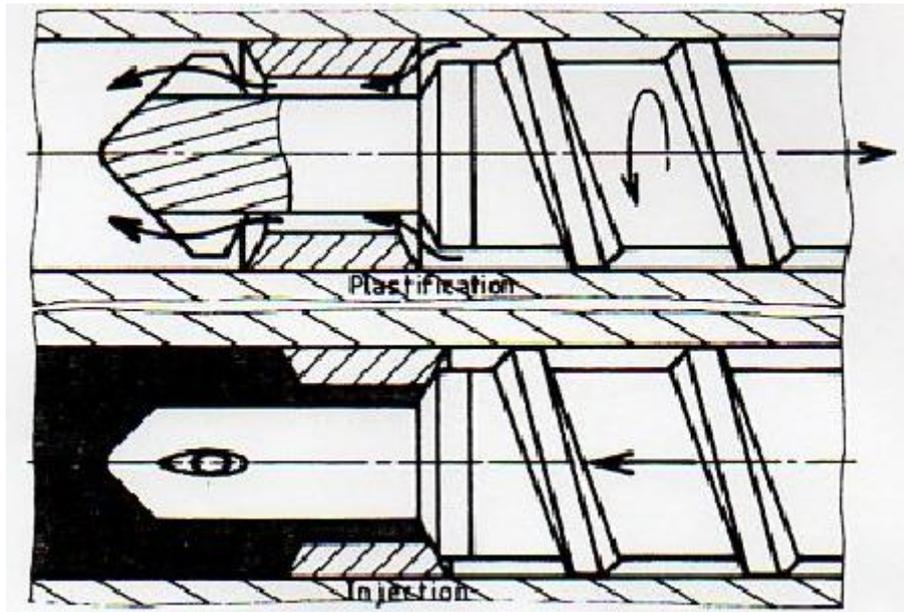


Fig.(3-7): Fonction du clapet

3-9- Cycle de moulage

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

- fermeture du moule rapide en début de course, puis lente à la fin,
- verrouillage du moule ; une force importante en fonction des critères techniques (matière à injecter, forme des pièces,...) est appliquée pour maintenir les deux surfaces des parties fixes et mobiles en contact,
- injection de la matière, de l'entrée du moule vers les empreintes destinées à modeler la pièce. Cette matière est diffusée de manière homogène dans les empreintes pour bien les remplir,
- refroidissement rapide des empreintes pour solidifier la matière,
- ouverture lente du moule en début de course, puis rapide en fin,
- éjection de la pièce solidifiée.

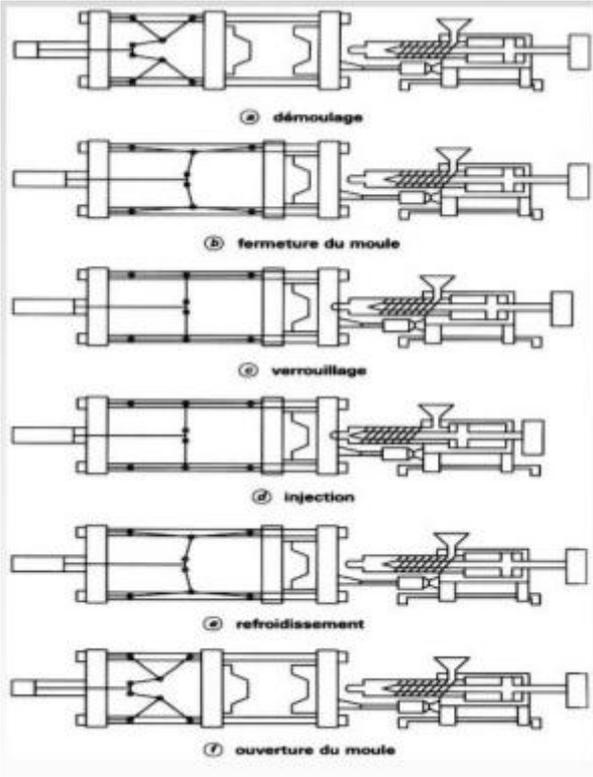


Fig.(3-8):Cycle de moulage

4-1- Introduction

Les logiciels CAO sont aujourd'hui indispensables dans l'industrie des moules, la plus part des logiciels de conception comporte une partie pour la conception des moules, ou un module spécifique, ce dernier pour la modélisation de l'empreinte, la création automatique d'assemblage du moule et la simulation d'écoulement de la matière.

4-2-Généralité sur les logiciels de CAO

4-2-1-Les logiciels 2D

Ils sont proches de la planche de dessin, on parle de DAO (dessin assisté par ordinateur), le dessinateur peut se faciliter la tâche avec des outillés simples : cotation, fond de plan...

Ces logiciels sont souvent utilisé en compliment des logiciels 3D parce que la mise en plan est plus rapide.

4-2-2-Logiciels 3D filaire

Ces logiciels permet de travailler dans les trois dimensions mais seulement avec des entités géométrique simple, il n'y pas des notions de matière et aucun calcul de masse ou de volume ne peut être fait.

4-2-3-Logiciels 3D surfacique

Ces logiciels sont plus adaptés a la définition de surface gauche pour la carrosserie automobile, les pièces plastiques, la voilure en aéronautique, un spécialiste est indispensable pour avoir de bon résultants car les fonctions utilisées sont complexes.

4-2-4-Logiciels 3D volumiques

La majorité des logiciels de conception est basé sur cette technologie, la conception des pièces s'effectue avec des entités volumique, cela permet d'avoir l'illusion de modèles virtuellement les pièces avant de la fabriquer comme en le faisait autrefois avec des bois.

✓ Avantage des logiciels 3D volumique

- dans les assemblages ; l'identification les interférences entre les déférentes pièces est rapide

- les calculs de masse, de centre de gravité, de moment d'inertie, sont quasiment immédiats.
- Le logiciel connaissant parfaitement la pièce, la mise en plan se fait sans risque d'erreurs.
- Les fonctions technologiques (perçage, tournage) sont prises en compte.
- On utilise directement la géométrie pour usiner la pièce.

✓ **Inconvénients de logiciels 3D volumique :**

- Le temps de conception est plus long que 2D.
- Les fichiers sont plus nombreux et plus gros.
- Les modifications ne sont pas facilitées par les liens entre tous les fichiers.
- La mise en plan du modèle est moins performante que sur un logiciel 2D.

4-2-5-La CAO volumique au service du mouliste

L'étude des moules est souvent réalisée à la planche par BE prestataire pour définir la cinématique, l'injection, le système d'injection...

Cependant certaines caractéristiques géométriques doivent être fournies par le mouliste au BE prestataire pour l'aider à définir et figer la cotation des éléments du moule.

L'emploi des logiciels volumiques 3D puissants est nécessaire pour pouvoir identifier et modéliser chaque détail de l'empreinte de moule en ayant résolu les problèmes éventuels.

Le dessin technique se trouve alors largement simplifié, il suffit de découper les empreintes volumiques pour générer en automatique, toutes les vues, coupes et sections nécessaires à la cotation des éléments du moule.

4-2-6-Les avantages de la conception des moules par CAO

- Proposer une visualisation des parties moulantes en cours d'étude, avec photos et vues 3D à l'appui.
- Apprécier les zones de résistance créative.
- Contrôler les possibilités de mouvement des ensembles mobiles de l'outil.

- Réaliser des plans fiables avec des coupes et des sections exactes.
- Préparer et simplifier le travail de FAO : le fichier livré au mouliste n'est pas celui de la pièce, mais celui des empreintes des moules.

4-3-Méthodologie et conception de moules par logiciel CAO (Solide Works) :**4-3-1-Conception du moule par Solide Works :****4-3-1-1-Introduction :**

Le logiciel Solide Works aide les concepteurs à développer des moules qui sont plus précis, font gagner du temps et améliorent la rentabilité. Avec le logiciel Solid Works, vous avez non seulement la capacité de définir la géométrie des moules, mais vous avez aussi accès à une large gamme d'outils de conception de moules automatisée. Vous êtes donc en mesure de vos conceptions de moules avant de les envoyer à la production.

De plus, vous pouvez identifier automatiquement les contre-dépouilles, compléter les tiroirs, vérifier les angles de dépouilles et définir les lignes de joint, créer les plans de joint, identifier les caractéristiques de remplissage correctes. Le logiciel Solid Works vous permet d'effectuer toutes ces fonctions dans l'environnement de modélisation et de gestion des plans qui vous est familier. Vous avez accès à une gamme complète de bases de moules et à d'autres composants standard, ainsi qu'à l'intégration de solutions partenaires du FAO.

La majorité des logiciels assistés par ordinateur (Solid Works, Pro/Eng, Solid Edge, Catia,...) offrent des outils, qui permettent la création des moules pour injection plastique à partir d'une pièce créée sous logiciel, ou d'une pièce importée d'un autre logiciel.

Pour bien comprendre comment utiliser cet outil, nous avons présenté un exemple sous Solid Works (fig.4-3).

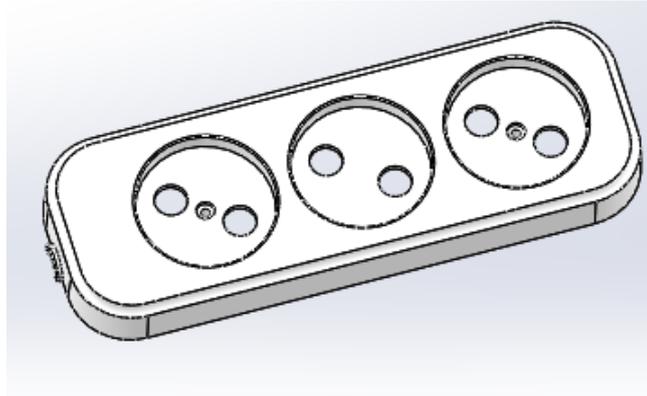


Fig.(4-1) partie supérieur

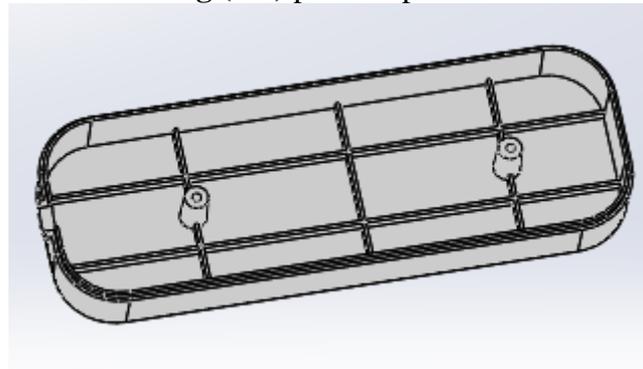


Fig.(4-2) partie inférieur

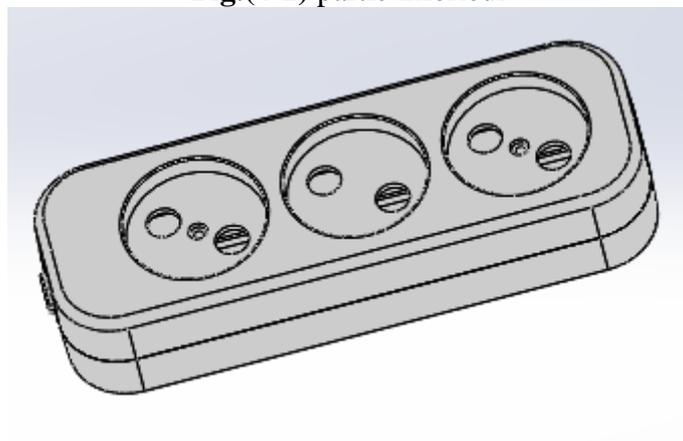


Fig.(4-3) : Assemblage de la pièce à injecter (multi prise A 3)

4-3-1-2-Préparation et analyse de la pièce a injecter

a- Détection de contre dépouilles

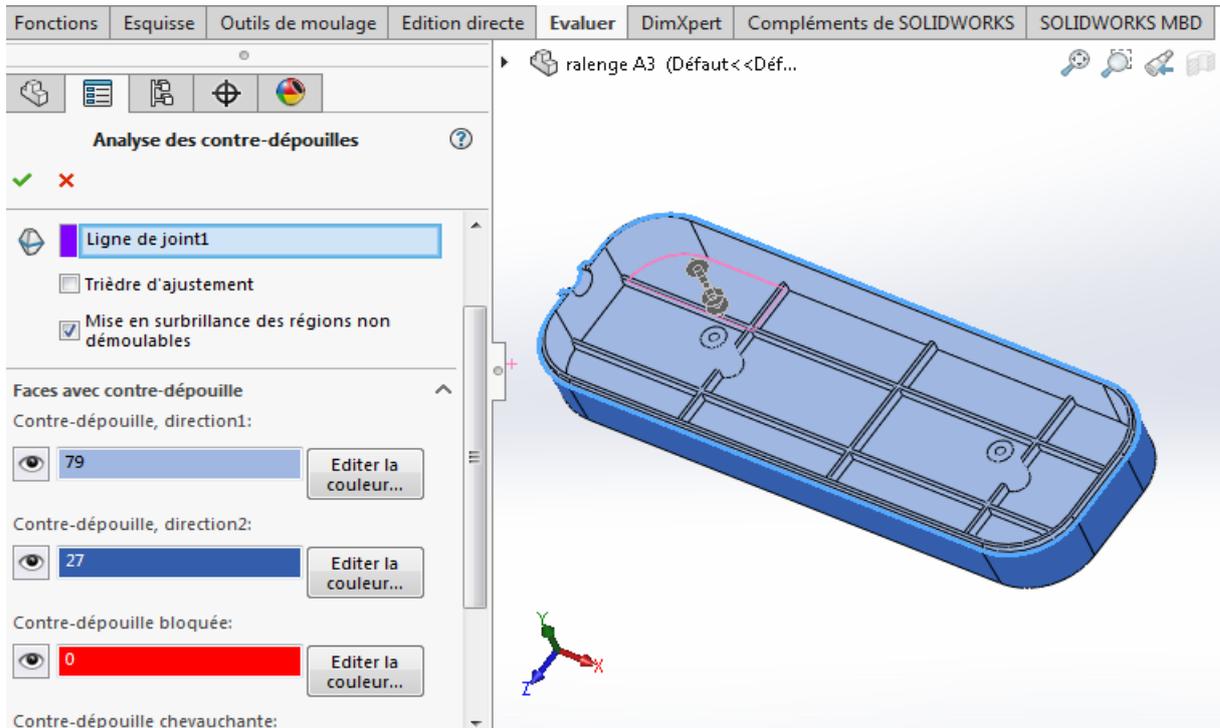


Fig.(4-4) Recherche de contre dépouilles de la partie inférieure

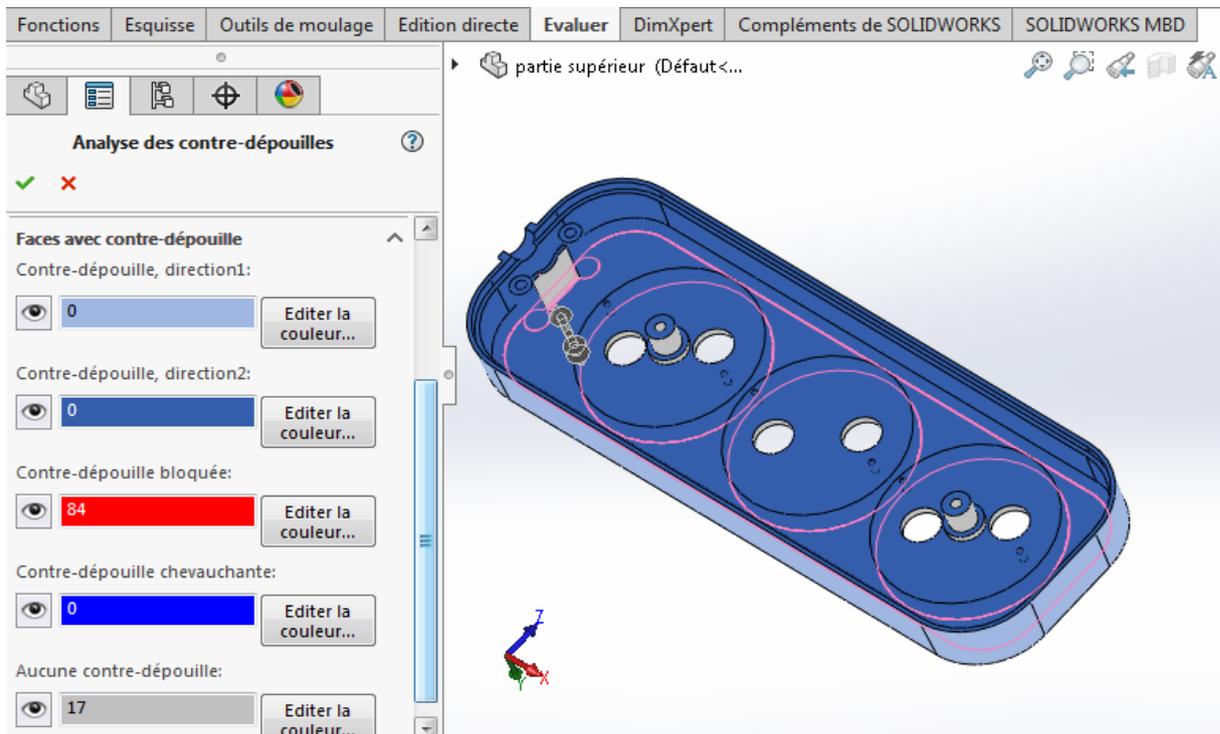


fig.(4-5): Recherche de contre dépouilles de la partie supérieur

On utilise l'outil "détection de contre dépouille" pour repérer d'éventuelle zones de blocage du model susceptible, d'empêcher l'injection du moule avec les plan de jointe spécifique pour créer le noyau et l'empreinte.

Ces zones nécessitent une glissière ou tiroir, qui glisse habituellement dans une direction perpendiculaire aux segments de noyau et l'empreinte lorsqu'ils sont séparés.

b- Analyse de dépouille de la pièce

Pour la conception des pièces en plastique et de moule, on utilise l'outil "analyse de la dépouille" pour assurer que la dépouille sur leurs pièces s'effectue correctement.

Avec l'analyse de la dépouillé , il examine les faces du modèle pour assurer qu'elles présentent une dépouille suffisante pour permettre à la pièce de sortir correctement du moule

Pour les faces qui nécessitent la dépouille, on utilise la fonction dépouille qui incline ces faces dans le modèle, selon un angle spécifique.

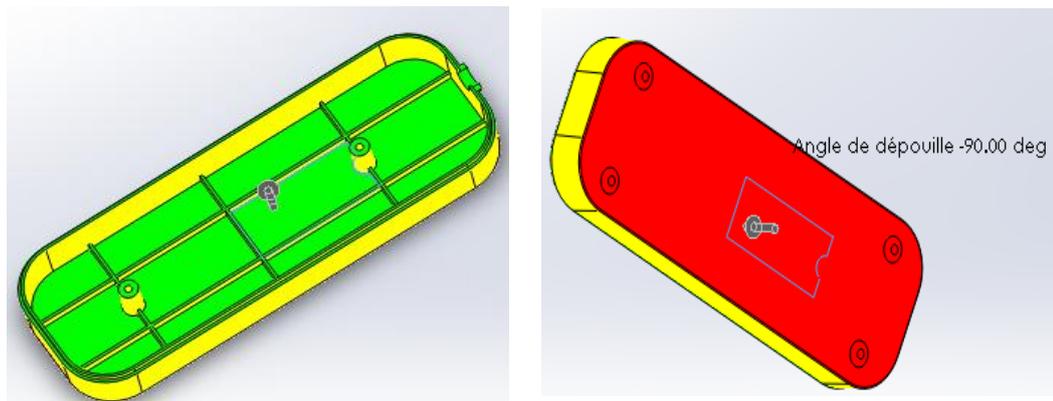


Fig.(4-6): analyse de dépouille de la pièce (partie inferieure)

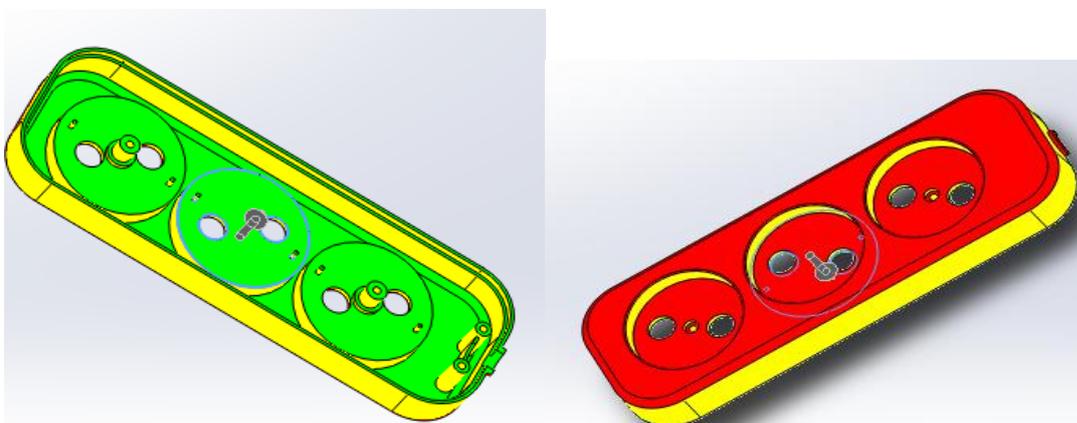


Fig.(4-7) analyse de dépouille de la pièce (partie supérieure)

4-3-1-3-Créations des parties moulantes

a- Misse à l'échelle moulante

La pièce moulée est petite que l'empreinte du moule. Lors de la création un modèle, un plastique liquide est injecte dans un bloc moule alors ferme. Un système de refroidissement du noyau et de l'empreinte abaisse la température du plastique en fusion.

Au cours de cette opération, le plastique se rétracte. Ainsi, pour prendre en compte ce facteur de contraction, nous doit prévoir une misse a l'échelle légèrement supérieure a celle du modèle avant de créer le noyau et l'empreinte. on utilise l'outil " échelle" pour l'application d'un coefficient de rétraction afin de prendre en compte la concentration de la matière plastique lorsqu'elle refroidit.

Le coefficient de rétraction est une valeur connue, calculée en fonction du type de plastique et des conditions de moulage.

b- Lignes de joint

On peut créer la ligne de joint automatiquement ou manuellement a l'aide de l'outil ligne de joint, qui a deux fonction : la première pour le contrôle de la dépouille, et l'autre pour la création de plan de joint.

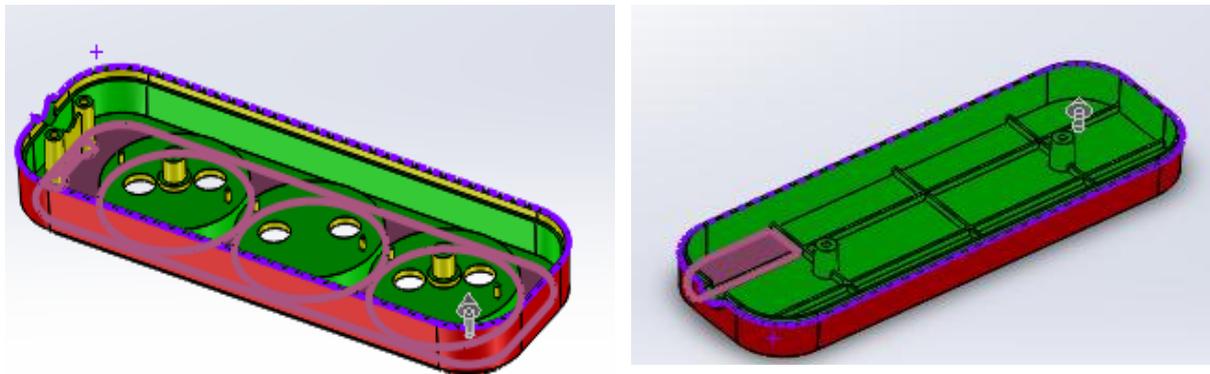
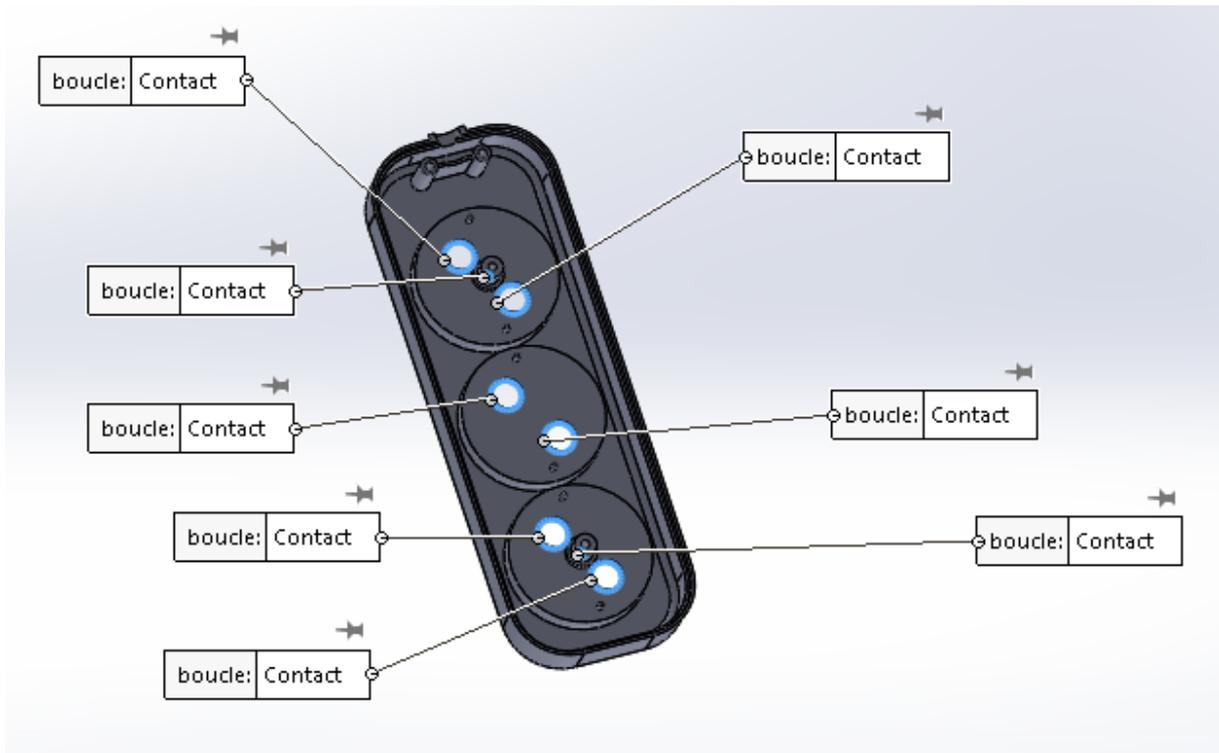


Fig.(4-8) lignes de joint

c- Les surfaces d'arrêt :

**Fig.(4-9)** surfaces de la pièce de la partie supérieur

Le concepteur crée les surfaces d'arrêt qui recouvrent les zones ouvertes de part et d'autre de la pièce pour empêcher le plastique fondu de s'écouler aux endroits où le noyau et l'empreinte sont en contact dans le moule. Toute fuite empêcherait la séparation du noyau et de l'empreinte. Une surface d'arrêt ferme une zone ouverte en créant un raccord surfacique délimité par des arrêtes formant une boucle continue.

d- Le plan de joint

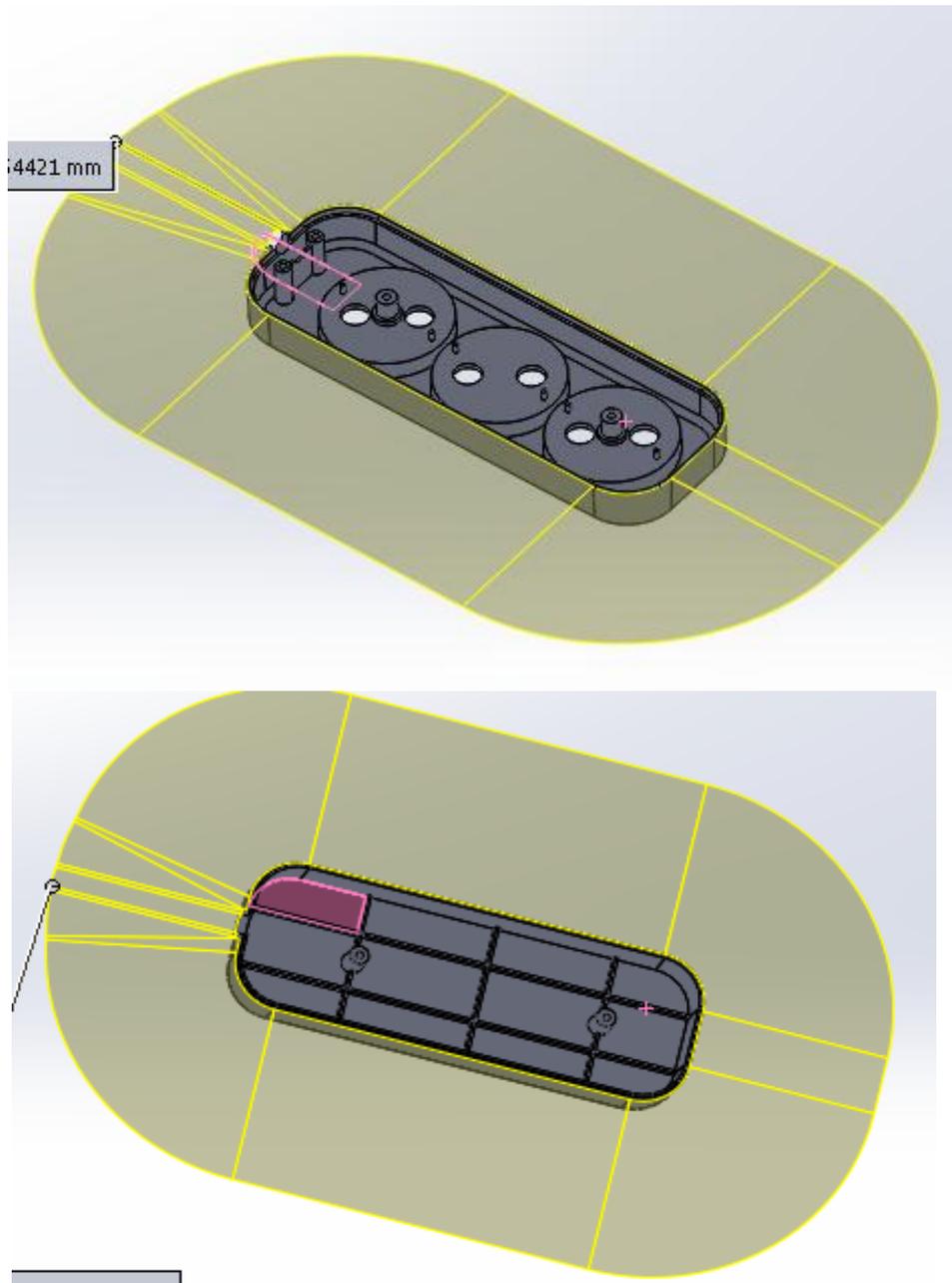


Fig.(4-10) Le plan de joint pour les deux partie

Les plans de joint sont utilisés pour séparer l’empreinte du moule de son noyau. Les logiciels de CAO pour la conception des moules créent le plan de joint par extrusion de la ligne de joint.

e- Insertion de noyau et d’empreinte

Dans cette étape, on crée simultanément les deux parties principales du moule à l’aide de l’outil “noyau/empreinte” sous forme des pièces dérivées qui deviennent les moitiés des moules après les coupes.

- L’empreinte : est la partie femelle du moule, elle est creusée de l’intérieur et le métal fondu ou le plastique modèle est versé de sorte qu’il puisse prendre la forme de l’empreinte pour créer le composant.
- Le noyau : est la partie mâle du moule et définit le secteur ou le métal fondu ne devrait pas atteindre.

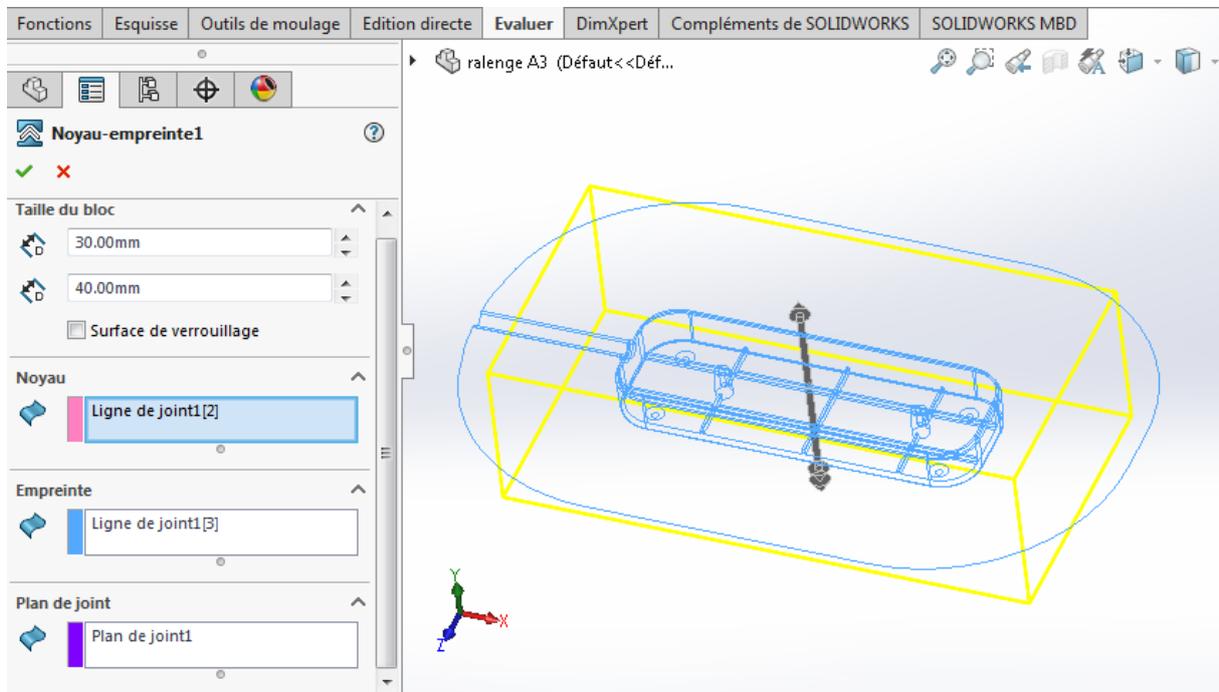


Fig.(4-11) Insertion de noyau et d’empreinte pour la partie inférieure

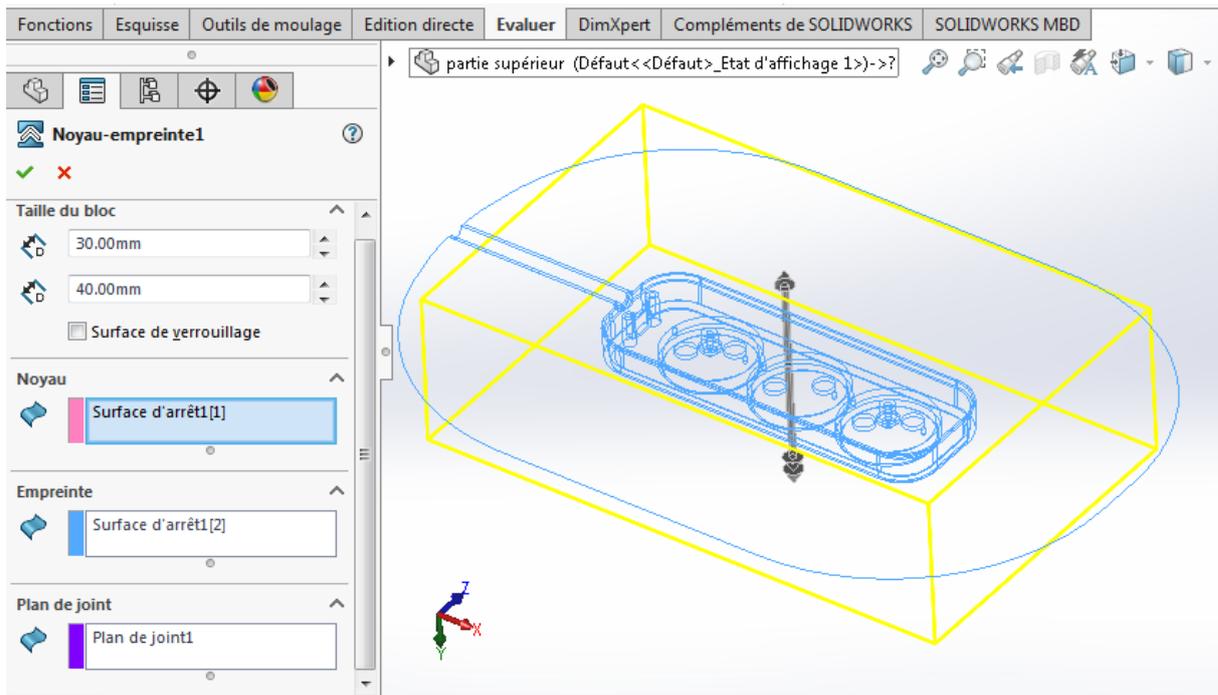


Fig.(4-12) Insertion de noyau et d’empreinte pour la partie supérieure

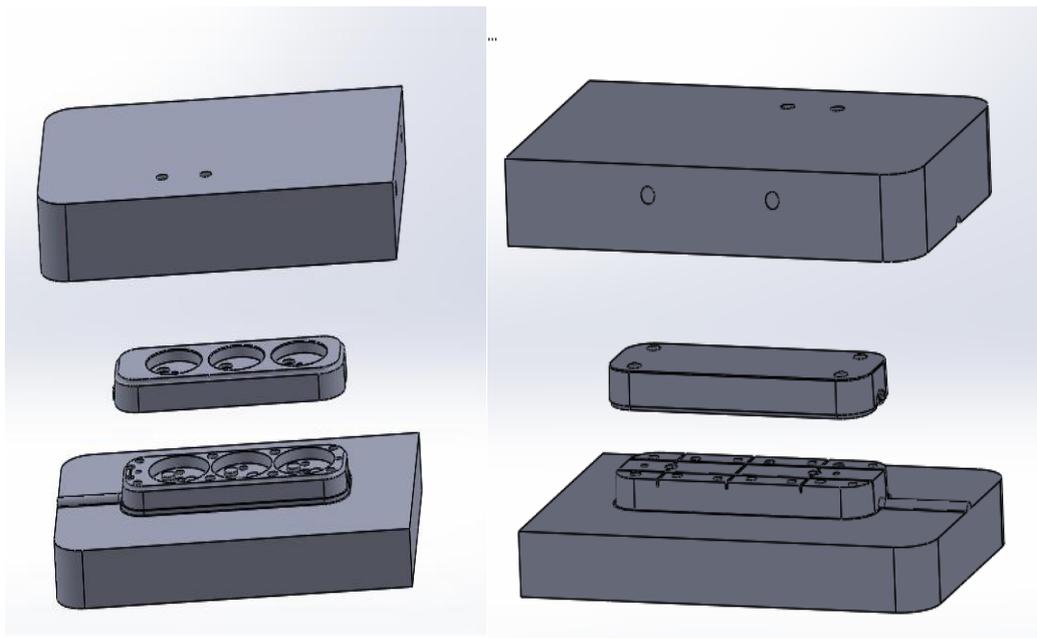


Fig.(4-13) Insertion de noyau et de l’empreinte

4-3-2-Carcasses de moule

Les carcasses de moule sont des assemblages totalement contraints qui contiennent des composants standards. “Mouldbase” est un catalogue d’assemblage et de composants de moules standards intégrés dans le SOLID WORKS. Permettant des gains de temps

importants. On peut citer un assemblage de moules standards en quelques minutes au lieu de plusieurs heures.

✓ **Avantage d'utilisation des moules standards**

- Diminution du prix de revient de l'outillage.
- Diminution de délai d'approvisionnement.
- Diminution du temps de l'étude.
- Réutilisation de certains éléments.

4-3-3-Les éléments standardisés :

L'outil de conception de carcasse permet de la création automatique des logements pour tous composant comme : les plaques supérieures et inférieures, vis, éjecteurs, bagues, etc. ainsi que la visualisation simplifiée par suppression temporaire de l'affichage composants non nécessaires a la poursuite du processus de création.

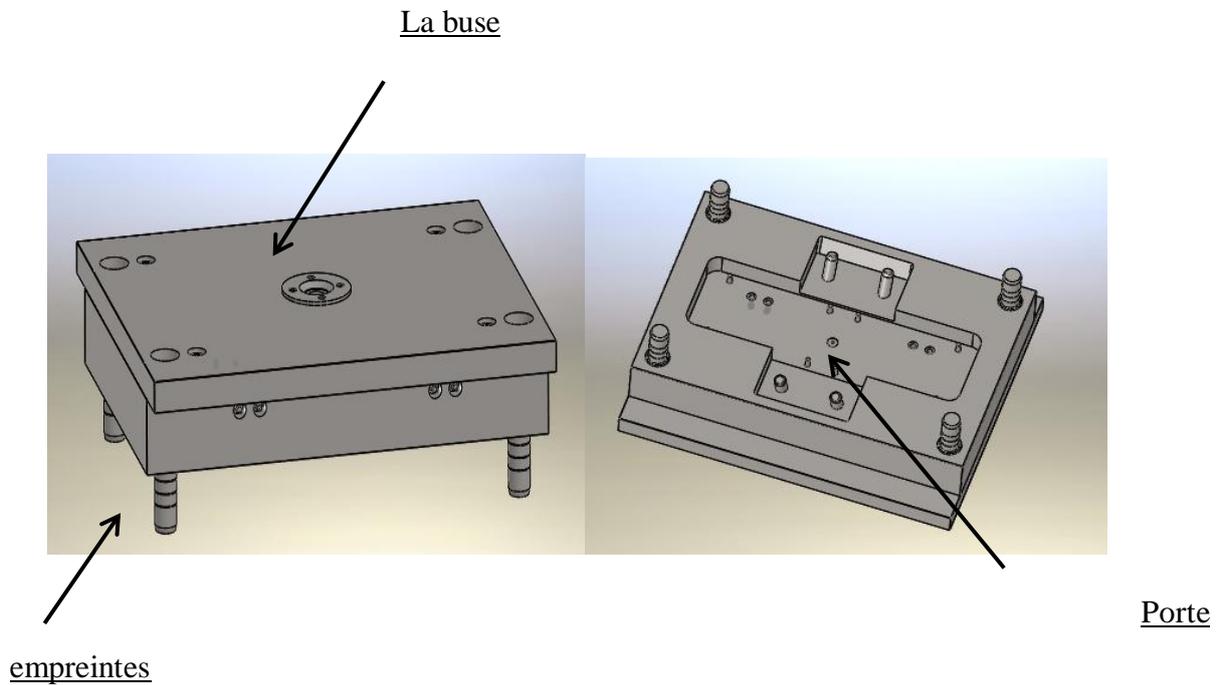
On peut créer facilement des composants individuels que component un assemblage de carcasse moule.

Spécification des propriétés des composent :

1. Choix du vendeur ou standard.
2. Réglages de style et Taille de composant.

On peut également éditer un composant pour modifier n'importe lequel de ses paramètres après sa création.

Mais dans notre étude on a obtient un moule standards a partir de la bibliothèque de solid works et on a fait placé l'empreinte et le noyau .

4-3-4-Elément standard du moule :**a- Plaque porte empreinte:**Colonnes de guidage**Fig.(4-14)** plaque porte empreinte d'un moule**b-colonnes de guidage**

Colonnes de guidage sont des pièces normalisées trempées et durcies aux diamètres extérieurs rectifiés avec précision et d'une longueur aux tolérances étroites.

Plusieurs diamètres différents longueurs sont disponibles, chaque cote de montage souhaitée est obtenue simplement en raccourcissant les longueurs normalisées.

c-Ejecteurs

Module de conception d'éjecteurs permet à l'utilisateur d'ajouter facilement des éjecteurs.

c- Montage d'empreinte sur la carcasse du moule

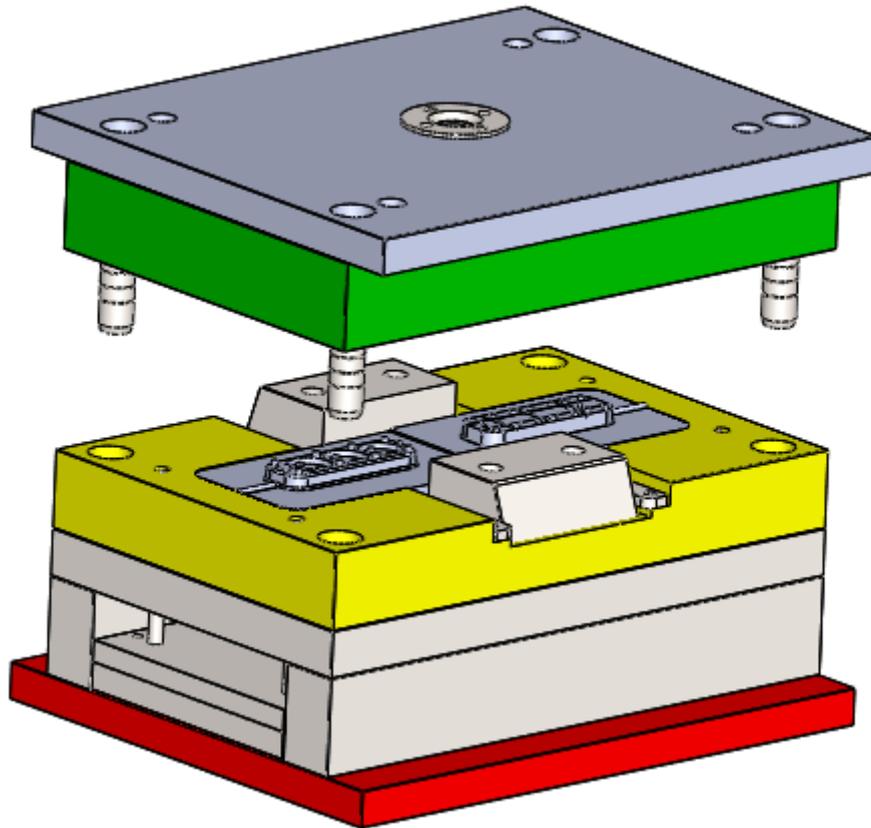


Fig.(4-15) Moule pour la multi prise

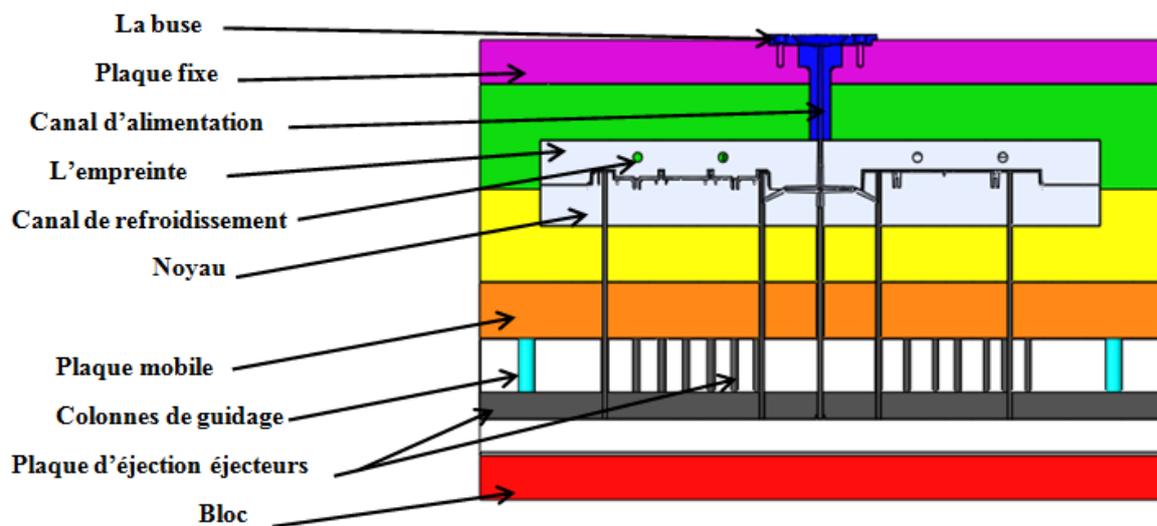


Fig.(4-16) Moule pour la multi prise(vue en coupe).

4-4- conclusion

L'utilisation de C.A.O. (Solid Works) permet de créer des pièces selon la demande du client quelle que soit la forme et mis dans des moules avec des caractéristiques variées sa dépend de la pièce et de la machine mais il est nécessaire pour le concepteur des moules de être informé des choses importantes :

Comprendre et respecter les règles de conceptions des pièces en matière plastique.

La maîtrise de logiciel de conception et de la simulation.

Possibilité et la facilité de modification des pièces et des moules.

5-1- Détermination du nombre d'empreinte :

Le nombre d'empreinte dans le moule d'injection est dans la plus part des cas déterminés en fonction des performances de la machine mais quelques fois par la forme de la pièce. Dans notre étude en vas déterminer le nombre d'empreinte suivant les caractéristiques de la machine :

Avec

$$n = (C_i - V_g) / (V_p) \quad (5-1) [10]$$

n : le nombre d'empreinte

C_i: capacité d'injection de la machine.

V_g : volume de la grappe.

V_p: volume de la pièce injectée.

les donnée :

$$C_i = 406 \text{ cm}^3$$

$$V_g = 3 \text{ cm}^3$$

$$V_p = 61 \text{ cm}^3$$

Donc :

$$n = (406-3) / 61 \quad (5-2) [10]$$

$$n = 6.5$$

Le nombre d'empreinte doit être inférieur à 6.6. Alors:

$$\mathbf{n = 6}$$

5-2- calcul du canal d'alimentation :

$$\alpha = 2^\circ.$$

$$L = 116.56 \text{ mm}$$

$$e = 2 \text{ mm}$$

$$d = e + 1,5 \text{ mm} \quad (5-3) [10]$$

$$D = \text{tg}(\alpha) \cdot L \cdot e + d \quad (5-4) [10]$$

Donc:

$$d = 3.5 \text{ mm}$$

$$D = \text{tg}(2) \cdot 116.56 \cdot 2 + 3,5$$

$$\mathbf{D = 11.64 \text{ mm}}$$

5-3- Calcul des canaux de distribution :

Calcul de diamètre des canaux circulaires :

D_{c1} : le diamètre de canaux circulaire.

$$D_{c1} = e + 1,5 \text{ mm}$$

$$\mathbf{D_{c1} = 3,5 \text{ mm}}$$

Puisque la longueur de canal est longue ($L \geq 15D_{c1}$), on utilise un facteur correctif K_1 Avec :

$$K_1 = 1 + 1,5 \times 10^{-3} \times L \quad (5-5) [10]$$

D'où le diamètre corrigé

$$D_c = D_{c1} \times K_1 \quad (5-6) [10]$$

$$D_c = 3,5 \times (1 + 1,5 \times 10^{-3} \times 116.56)$$

$$\mathbf{D_c = 4.2 \text{ mm}}$$

✓Le fond du canal de distribution est égal :

$$0,9 \cdot D_c = 3.78 \text{ mm}$$

$$a = \text{arc tg} \left[\frac{(4,2 - 3,78) / 2}{(4,2 / 2)} \right] \quad (5-7)[10]$$

$$\mathbf{a = 6^\circ}$$

5-4- Les seuil d'injection :

D'après la figure : on a pris le diamètre du seuil en fonction de la masse moulée

✓Le poids de la pièce. 62g Donc on va prendre :

✓Le diamètre du seuil : $d = 1.2\text{mm}$

✓La longueur du seuil : $I = 1.5\text{mm}$

| Masse moulée | Diamètre de seuil |
|--------------|-------------------|
| <10 g | 0.4 – 0.8 mm |
| 10 - 20 g | 0.8 – 1.2 mm |
| 20 – 40 g | 1.0 – 1.8 mm |
| 40 – 150 g | 1.2 – 2.5 mm |
| 150 – 300 g | 1.5 – 2.6 mm |
| 300 – 500 g | 1.8 – 2.8 mm |

Tableau(5-1) diamètre de seuil en fonction de la masse moulée[10]

5-5- Refroidissement du moule :

5-5-1- Calcul de temps de refroidissement t_r :

Les données considérer :

- Matière ABS
- Poids de la moulée $P = 0.124\text{ kg}$.
- Epaisseur de la pièce : $S = 2 \times 10^{-3}\text{ m}$.
- Diffusivité thermique de surface : $a = 5.10^{-8}\text{ m}^2/\text{s}$.
- Température d'injection $T_i = 250\text{ C}$.

- Température de la surface d'empreinte : $T_m = 25^\circ\text{C}$.

- Température moyenne de la moulée au moment du démoulage: $T_m = 70^\circ\text{C}$.

Application numérique :

D'après la loi de FOURIER :

$$dT / dt = a * (d^2 T / dx^2) \quad (5-8) [10]$$

$$t_r = (S^2 / a * \pi^2) \times \text{Ln} [8 * (T_i - T_M) / \pi^2 (T_M - T_m)]$$

$$t_r = (2^2 * 10^{-6} / 5 * 10^{-8} * \pi^2) \times \text{Ln} [8 * (250 - 25) / \pi^2 (70 - 25)]$$

$$t_r \mathbf{8.05 = s}$$

C'est le temps de refroidissement pour avoir une température de démoulage $T_m = 70^\circ\text{C}$.

5-5-2- Calcul de la quantité de chaleur horaire :

$$Q_h = p * N * (H_i - H_m) \quad (5-9) [10]$$

Avec :

Q_h = quantité de chaleur horaire en (J).

p : masse de matière fondue en (kg).

N : la quantité de chaleur libérée par heure

H_i : enthalpie de la matière de début de refroidissement en (kcal/kg).

H_m : enthalpie de la matière de fin de refroidissement en (J).

$$\text{On a:} \quad N = 3600 / T_{\text{cycle}} \quad (5-10)[10]$$

$$\text{Et :} \quad T_{\text{cycle}} = A + B + C_v + t_r \quad (5-11)[10]$$

Avec :

A_1 : le temps de remplissage de la moulée (d'après BMS).

C_v : cycle à vide de la presse.

T_r : temps de refroidissement.

B : autres temps technologique.

Application numérique :

| indice | A ₁ | C _v | T _r | B |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----|
| Valeur(s) | 12 | 1 | 8.05 | 13 |

$$T_{\text{cycle}} = 12/2 * 1 + 8,05 + 13$$

$$t = 28.05(s)$$

$$N = 3600 / 28.05$$

$$N = 128.42 \text{ kcal/h}$$

$$Q_h = 0.124 \times 128.42 \times (70 - 16)$$

$$Q_h = 859.9 \text{ kcal th}$$

5-5-3- Calcul du la quantité de chaleur à évacuer dans l'outillage :

$$Q_{\text{cycle}} = p \times (H_i - H_m) \quad (5-12)[10]$$

Avec

Q_{cycle} : quantité de chaleur évacué en (J).

H_i : l'enthalpie de ABS à la température T_i .

H_m : l'enthalpie de ABS à la température T_m .

P : la masse de matière fondue (la moulée) en kg.

Application numérique :

- D'après les données qu' étai fournier par la société BMS l'enthalpie de matière ABS:

$$H_i = 70 \text{ kcal/kg}$$

$$H_m = 16 \text{ kcal/kg}$$

$$p = 0,124 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{cycle}} = 0,124 \times (70 - 16)$$

$$Q_{\text{cycle}} = 6.7 \text{ kcal}$$

5-6- Etude économique :

Prix de revient de la pièce : P

On calcule le prix de revient à partir les données suivantes:

• Matière :

- poids de matière utilisé (kg).
- prix de matière pour la pièce (kg/pièce).
- coût de la matière utilisée pour la pièce (DA/pièce).

• Transformation :

- coût horaire machine (DA/k).
- coût horaire main-d'oeuvre (DA/h).
- coût horaire de la maintenance (DAM).
- cadence.

• Outillage :

- amortissement du moule.

• Frais de finition.**• Frais devers.****Application numérique :****• Matière :**

- poids de matière utilisé 0,124 Kg.
- prix de matière pour la pièce (ABS) = 220 DA.
- coût de la matière utilisée pour la pièce = P₁

$$P_1 = 220 \times 0.124$$

$$P_1 = 27.28 \text{ DA/pièce.}$$

• Transformation :

-coût de transformation de la matière P_2

$$P_2 = (P_3 / N_h)$$

Avec :

P_3 : prix horaire de la machine.

$$P_3 = a + b + c$$

a : amortissement horaire de la machine.

$$a = 4500 \text{ DA/h.}$$

b : coût horaire de la maintenance.

$$b = 420 \text{ DA/h.}$$

c : coût horaire de l'ouvrier.

$$c = 150 \text{ DA/h.}$$

$$\mathbf{P_3 = 5070 \text{ DA/h.}}$$

N_h : le nombre de pièce produite par heure (la cadence).

$$N_h = (3600 \cdot N^{\text{NBR}} \text{ d'empreinte}) / t_{\text{cycle}}$$

$$N_h = (3600 \cdot 6) / 28.05$$

$$N_h = 770 \text{ pièce/h.}$$

$$\mathbf{P_2 = 6.58 \text{ DA/pièce.}}$$

• **Outillage :**

-amortissement du moule P_4

$$P_4 = p_5 / N_p$$

P_5 : Cout du moule.

$$P_5 = 12 \cdot 10^7 \text{ DA.}$$

N_p : nombre de pièce à produire.

$$N_p = 200000 \text{ pièces.}$$

$$P_4 = (12 \cdot 10^7) / (2 \cdot 10^5)$$

$$P_4 = 60 \text{ DA/pièce.}$$

• **Frais de finition :**

P_6 (d'ébavurage, d'emballage....ect.)

$P_6 = 5$ DA/pièce.

• **Frais divers** : P_7 (contrôle, stockage...etc.)

$P_7 = 5$ DA/pièce.

Alors :

$$P = P_1 + P_2 + P_4 + P_6 + P_7$$

$$P = 28.27 + 6.58 + 60 + 5 + 5$$

Et on aura le prix de revient de la pièce :

$$\mathbf{P = 104.85 \text{ DA.}}$$

Conclusion générale

On a vu les principaux technologiques d'obtention des pièces en moulage par injection plastique, nous avons présenté dans ce travail et expliqué les techniques concernées la conception des moules à l'aide de logiciel Solid Works.

Nous avons démontré et cité la modélisation et les étapes de création d'empreinte et noyau pour un moule standard se trouve dans la bibliothèque de logiciel CAO (Solid Works).

Dans ce travail les concepteurs des pièces peuvent faire des modifications (ajoute un interrupteur pour la sécurité, design de pièce,) d'une méthode simple et rapide non compliquée avec des solutions différentes mais les résultats sont les mêmes.

Le domaine de conception des moules est très grand, nous avons donné des informations complètes et importantes que vous sachiez ce domaine.

Bibliographie

- [1] les plastiques dans notre vie collège de Monteil 2012
- [2] origines plastiques de Jacky Aubry
- [3] les plastiques en débat ensemble scolaire Notre Dame 2010 2011
- [4] Article (2007-2016 © the Quadrant group of companies)
- [5] outils PFERD pour l'usinage des matières plastiques
- [6] thermoformages plastiques de Rhône Alper 2013 2015
- [7] Wikipédia <http://retrObright.wikispaces.com>
- [8] sociétés WEFAPRESS spécialisé dans le domaine de plastique
- [9] articles de resinex France 2016
- [10] mémoire « étude et conception d'un moule d'une prise » 2008/2009
- [11] procédé de fabrication plastique <http://www.plasturgie-cojema.com/>
- [12] procédé e l'injection <http://www.rose-plastic.fr/3515.html>
- [13] [http:// www.valorplast.com./ le-campus/collège/la-transformation/](http://www.valorplast.com./le-campus/collège/la-transformation/)
- [14] c.corbet. Matières plastiques. Edition CASTELLA (1998).
- [15] H.H.kausch. Matièreaux polymère, propretés mécaniques et physiques
- [16] catalogue Mateu & solè société espagnol pour la fabrication de machine pour les thermoplastiques.
- [17] J-P.Trotignon. Matières plastiques : propriétés, misse en oeuvre, normalisation.
- [18] A.DESSARTHE, H. GUYOT .M. CARAYOL "technique de fabrication des pièces en plastique" CETIM 1994.
- [19] mémoire de SABRINA JOCELYN département de mathématiques et de génie industriel École polytechnique de Montréal. Avril 2012.
- [20] M.Ashby. Traite des matériaux, sélection des matériaux presse polytechnique université de remande(2001).
- [21] G. paquet. Guide de l'usinage, DELAGRAVE(2000).

- [22] mise en œuvre presse polytechnique et université de remende (2001).
- [23] F.Agassant. La mise en forme des matières plastiques.
- [24] D. Spenle. Guide de calcul en mécanique. Edition HACHETTE(1999).
- [25] J.Rollet. Travail des plastiques. DELAGRAVE(1970).
- [26] injection des thermoplastiques ; les moules, technique de l'ingénieur A 3680.

Abréviation et symboles

Abréviation

SAN : styrène acrylonitrile

HD : high définition

3D : trois dimensions

2D : deux dimensions

PS : polystyrène

SB : styrène butadiène

ASTM : American société for testing

ISO : internationale standard organisation

TD : thermodurcissable

TP : thermoplastique

DAO : dessin assisté par ordinateur

CAO : conception assisté par ordinateur

FAO : fabrication assisté par ordinateur

Symboles

R_v : retrait volumique

Q : la quantité de chaleur

M : la masse

H : enthalpie de la matière

T_c : temps de cycle

S : épaisseur de la pièce

ΔP : variation de la pression

T_r : temps de refroidissement

T_d : température moyenne de la moulée au moment de démoulage

a : coefficient de diffusion thermique de polymère

t_m : température de la surface de l'empreinte