

Université ABBES LAGHROUR Khenchela



جامعة عباس لغرور خنشلة
Faculté de Sciences et Technologie
كلية العلوم والتكنولوجيا
Département de Génie Mécanique
قسم الهندسة الميكانيكية



Mémoire

de fin d'études Pour l'obtention du diplôme
de **Master (LMD)**

Spécialité : Génie Mécanique

Option : Construction Mécanique

Thème

**Etude bibliographique sur l'injection
par soufflage-conception d'un moule-**

Réalisé par :

- ADJROUD Badreddine
- HOGGAS Abdelhamid

Dirigé par : Mr. HIMEUR Nabil

Membres de jury :

Mr.Meddour B	MCA	Université de Khenchela	Président
Mr.Saoudi A.N	MCA	Université de Khenchela	Examineur

Année universitaire : 2021 - 2022

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je remercie mon dieu qui m'a donné la force et la patience pour terminer mes études.

J'adresse ma reconnaissance particulièrement à mes parents aussi ma femme, pour leur soutien et aide sans faille qu'ils ont apporté durant tout le cycle.

*Nous souhaitons tout d'abord remercier Monsieur **HJMEUR NABIL**, 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.

*Je tiens à remercier mes collègues du **NAFTAL***

Enfin nous tenons à remercier l'ensemble du corps enseignant de la filière génie mécanique, sans oublier bien sûr tous nos proches, et je remercie tous ceux qui ont participés de près ou de loin, à la Réalisation de ce travaille.

Dédicace

A mes parents

A mon épouse

A mes enfants

A mes sœurs

A mes frères

A mes amis

A toute ma famille

A mes collègues du NAFTEL

A tous mes enseignants durant mes études

INTRODUCTION GENERALE

1

Chapitre I GENERALITES SUR LES PROCEDES D'INJECTION PAR PLASTIQUE

1 Introduction	3
1-1 procédé d'injection plastique	3
2-1 Principe	3
2-2 Moulage par injection	3
2-3 Les étapes du procédé	3
3 Les machines utilisées en injection thermoplastique	5
3-1 Fonctionnement d'une presse à injection et de ses équipements	5
3-2 Description de la presse injection	6
3-3 Les différentes parties d'une presse à injection	7
3-3-1 Unité d'injection	7
3-3-2 Unité de verrouillage	7
4 Différents types des presses d'injection plastique	9
4-1 Presse à injection plastique horizontal	9
4-2 Presse à injection plastique vertical	10
5 Le moule	11
5-1 Vue éclatée	12
5-2 Terminologie des éléments constituant l'outillage	13
5-3 Eléments constitutifs d'un moule	14
6 Matériaux constitutifs de l'empreinte	17
6-1 Généralités	17
6-2 Les types d'empreinte de moule	18
7 Usinage de l'empreinte	19
7-1 Généralités	19
7-2 Electro-érosion enfonçage	19
7-3 Principe d'usinage par électro-érosion	20
7-4 Usinage à grande vitesse (UGV)	21
7-5 Comparaison UGV et ELECTRO-ERSION	21
8 Les dépouilles	22
9 Forme en contre-dépouille	22
10 Bien maîtriser le phénomène de retrait	23

11 Le plan de joint	24
12 Epaisseur de moule minimale	25
13 Epaisseur de moule maximale	25
14 Surface frontale ou surface projetée	25
15 Fonction guidage et positionnement	25
15-1 Centrage du plan de joint moule (Partie Mobile / Partie Fixe)	26
16 Fonction éjection	27

Chapitre II *Etude technologique du procédé de soufflage plastique*

1 Introduction	28
2 Histoire	28
3 Le procédé d'injection soufflage	29
3-1 Principe de l'injection soufflage	29
3-2 injection-soufflage avec bi-étirage	30
4 Matériaux de l'injection	32
4-1 Les polymères	32
4-2 Les thermoplastiques	32
4-3 Polymères thermodurcissables	33
4-4 Les élastomères	34
5 Typologies	34
5-1 Moulage par extrusion-soufflage	34
5-2 Moulage par extrusion-soufflage en continu	35
5-3 Moulage par extrusion-soufflage intermittent	36
5-4 Moulage par injection-soufflage	36
5-5 Moulage par injection-étirage-soufflage	38
6 Conception Des Outillages	39
6-1 L'alimentation des empreintes	39
6-2 Moule d'injection de la préforme	39
6-3 Moule de soufflage	39
7 Machines	40
8 Les Préforme	40
9 Comparaison De L'injection-Soufflage Et De L'extrusion- Soufflage	41
10 Exemple de soufflage de bouteilles en pet	41

CHAPITRE III *conception d'un moule par soufflage*

1- Introduction	45
2- Généralité sur les logiciels de CAO	45
2-1 Les logiciels 2D	45
2-2 logiciels 3D filaire	45
2-3 Logiciels 3D surfacique	45
2-4 Logiciels 3D volumiques.	45
2-5 Avantage des logiciels 3D volumique	45
2-6 Inconvénients de logiciels 3D volumique	45
3- Application	46
3-1 Méthode d'introduction	46
3-2 Paramètres d'efficacité des machines Blueline	46
4- la conception d'un moule par soufflage par SOLIDWORKS	47
4-1 La simulation numérique par l' ABAQUS	49
4-2 Caractéristiques mécanique du matériau du moule	49
5- Typologie	49
5-1 le chargement mécanique	50
5-2 les conceptions aux limites	50
5-3 le maillage	51
6- Résultats	51
6-1 La concentration des contraintes	51
6-1-1 Contrainte de Von mises	51
6-1-2 Contrainte principale maximale	52
6-1-3 Contrainte principale minimale	52
6-1-4 Contrainte normale σ_{XX}	53
6-1-5 Contrainte normale σ_{YY}	54
6-1-6 Contrainte normale σ_{ZZ}	54
6-1-7 Contrainte tangentielle τ_{XY}	55
6-1-8 Contrainte tangentielle τ_{XZ}	55
6-1-9 Contrainte tangentielle τ_{YZ}	56
6-2 Les déplacements	57
6-2-1 Le déplacement équivalent	57
6-2-2 Le déplacement axial U_x	57

6-2-3 Le déplacement axial U_y	58
6-2-4 Le déplacement axial selon l'axe ZZ	58
6-3 Les courbes de la contrainte Von Mises	59
6-4 Résultats numériques	60
7- Conclusion	61
CONCLUSION GENERALE	57

Liste des Figures chapitre I

Figure I.1 Les étapes du procédé d'injection-moulage des thermoplastiques.	4
Figure I.2 Schéma d'une presse à injection de plastique horizontale.	5
Figure I.3 Presse à injection plastique horizontale.	6
Figure I.4 Unité d'injection.	7
Figure I.5 L'unité de verrouillage.	8
Figure I.6 Unité de verrouillage.	9
Figure I.7 Presse à injection horizontale.	10
Figure I.8 Unité d'injection.	10
Figure I.9 Les différents éléments d'un moule d'injection.	11
Figure I.10 Vue éclatée d'un moule d'injection plastique.	12
Figure I.11 Matériaux élément standards du moule.	16
Figure I.12 Les différents types d'empreintes.	18
Figure I.13 Schéma du Principe de L'UEE.	19
Figure I.14 Machine d'électroérosion.	20
Figure I.15 Gamme d'obtention d'une empreinte.	21
Figure I.16 Les Dépouilles qui facilitent le démoulage de la pièce choix et valeurs.	22
Figure I.17 Exemple de moule avec contre d'épouille.	23
Figure I.18 Représentation du plan de joint d'un moule.	24
Figure I.19 Les centrages et les guidages à assurer sur une presse/moule.	25
Figure I.20 Centrage par le plan de joint incliné du moule.	26
Figure I.21 Les différents types d'éjecteur.	27

Liste des Figures chapitre II

Figure II.1 Le processus de moulage par soufflage	28
Figure II.2 séquence d'injection soufflage	30
Figure II.3 Injection-soufflage avec bi-étirage en cycle chaud	30
Figure II.4 Injection-soufflage avec bi-étirage en cycle froid	31
Figure II.5 Injection-soufflage avec bi-étirage en cycle froid	31
Figure II.6 moulage par extrusion soufflage	34
Figure II.7 moulage par injection d'une bouteille en plastique	36
Figure II.8 Noyaux cylindriques	40

Figure II.9 Noyaux coniques	40
Figure II.10 Noyaux et moule lisse	40
Figure II.11 Cycle d'injection	42
Figure II.12 Machine de soufflage des bouteilles pets	42

Liste des Figures chapitre III

Figure III.1 la forme de demi-moule d'injection par soufflage	47
Figure III.2.a demi-moule d'injection par soufflage	47
Figure III.2.b la forme de la bouteille (empreinte)	47
Figure III.3.a L'un quatrième du moule d'injection par soufflage sous SOLIDWORKS	48
Figure III.3.b L'empreinte dans le moule d'injection par soufflage sous SOLIDWORKS	48
Figure III.4 les dimensions du moule d'injection par soufflage sous SOLIDWORKS	49
Figure III.5 le chargement a l'empreinte dans le moule	50
Figure III.6 les conceptions aux limites	50
Figure III.7 le maillage	51
Figure III.8 La concentration des contraintes de Von Mises.	51
Figure III.9 La contrainte principale maximale.	52
Figure III.10 La contrainte principale minimale.	52
Figure III.11 Concentration des contraintes axiales σ_{XX}	53
Figure III.12 La concentration de la contrainte axiale σ_{YY}	54
Figure III.13 La concentration de la contrainte axiale σ_{ZZ}	54
Figure III.14 La concentration de la contrainte tangentielle τ_{XY}	55
Figure III.15 La concentration de la contrainte tangentielle τ_{XZ}	55
Figure III.16 La concentration de la contrainte tangentielle τ_{YZ}	56
Figure III.17 le déplacement principale	57
Figure III.18 Le déplacement axial U_x	57
Figure III.19 Le déplacement axial U_y	58
Figure III.20 Le déplacement selon l'axe ZZ	58
Figure III.21 La trajectoire sur la paroi de la bouteille	59
Figure III.22 L'évolution de la contrainte de Von Mises.	59
Figure III.23 L'évolution du déplacement équivalent	60

Liste des tableaux chapitre I

Tableau I.1 Matériaux pour la fabrication des moules. 15

Tableau I.2 Les coefficients de retrait des principales matières plastiques. 24

Liste des tableaux chapitre II

Tableau II.1 Les principaux thermoplastiques utilisés en plasturgie 33

Liste des tableaux chapitre III

Tableau III.1 Les principaux thermoplastiques utilisés en plasturgie 56

Tableau III.2 Comparaison de contraintes obtenues avec celles d'autres travaux 56

Introduction générale

L'industrie mécanique représente un secteur très important dans l'économie d'un pays. Elle est l'une des contraintes au progrès et au développement, C'est le niveau d'évolution de la modernité d'une nation.

La fabrication mécanique occupe une grande partie dans le développement industriel, elle participe à l'amélioration des performances des moyens de production locaux.

La nouvelle stratégie industrielle mondiale est basée sur la haute technologie et la modernité acquise par les grands constructeurs internationaux.

L'Algérie comme les autres pays du monde, a besoin de construire une base industrielle suffisante pour rattraper le retard dans ce domaine qui compte chaque jour des avancées extraordinaires. Les techniques d'usinage existent et sont de plus en plus performantes et cependant, l'application des principes de la mécanique reste la technique la plus intéressante dans la conception et la fabrication des différentes pièces. C'est dans cette optique que s'inscrit notre formation de master en construction mécanique.

Notre étude est une recherche sur la conception et la technologie des paramètres de moulage par soufflage pour la modélisation d'idées au niveau du moule, ce qui permet d'obtenir un moule plus économique et de grandes propriétés mécaniques.

Nous avons choisi dans un premier temps la conception d'un moule d'injection par soufflage sous logiciel Solidworks qui a permis la bonne conception de modélisation d'un demi-moule qui contient deux empreinte, tel que il représente l'un quatrième de demi-moule réelle , et dans un second temps une application par simulation numérique avec le logiciel Abaqus pour l'étude du comportement mécanique et comparais les résultats obtenir .

Pour mener ce travail, nous avons commencé par une synthèse bibliographique ou nous avons donné un aperçu général sur les procédés d'injection par soufflage.

Ensuite le deuxième chapitre montre une présentation sur étude technologique des paramètres du procédé de l'injection par soufflage.

Le troisième chapitre est réservé aux conceptions et modélisation d'un moule d'injection par soufflage.

Finalement nous avons clôturé cette etude par une conclusion générale

CHAPITRE I

Généralités sur les

procèdes

d'injection par

plastique

1 Introduction

Le procédé d'injection plastique occupe une place particulière par rapport aux autres procédés de mise en forme des matières plastique, il transforme le quart des produits en plastique et exploite la totalité des ressources.

Pour obtenir une pièce par injection plusieurs ressources sont utilisées, outre le personnel qualifié pour des opérations de réglages, contrôle et suivi, on trouve les presses d'injection plastique, qui peuvent être horizontale, verticale, bi-vis ou des presses spéciales, enfin le moule qui constitue le composant de base puisqu'il offre à la matière la forme de la pièce voulue.

Dans ce qui suit on tente de développer le procédé de l'injection plastique et les matériaux à injecter ainsi que les matériaux utilisés pour l'outillage (moule) et leurs éléments constitutifs.

2 procédés d'injection plastique

2-1 Principe

Le moulage permet de fabriquer un objet immédiatement utilisable, l'organe central de la machine est le moule contenant l'empreinte en creux de la pièce à réaliser. La machine doit permettre de remplir, cette forme avec la matière plastique choisie par l'utilisateur. La matière ne peut remplir, l'empreinte que sous forme fondue. Pour y parvenir, la matière doit être chauffée à une température supérieure au point de transition vitreuse ou au point de fusion. Sous cette forme, la matière peut être contrainte de remplir le moule par plusieurs techniques aux procédés dont le moulage par injection qui est le sujet de notre étude [1].

2-2 Moulage par injection

Le procédé de moulage par injection permet de produire à grande cadence, avec une grande régularité, et de façon automatique, des pièces de formes complexes, dont la masse varie de l'ordre du gramme jusqu'à plusieurs kilogrammes. On injecte selon des techniques présentant de grandes similitudes, des polymères thermoplastiques, des polymères thermodurcissables, et des élastomères. Les différences principales concernent les températures : le polymère thermoplastique « chaud » (entre 200 et 300 °C le plus souvent) est injecté dans un moule « froid » (entre 20 et 80 °C), tandis que les thermodurcissables et les élastomères « froids » (20 à 80 °C) sont injectés dans un moule « chaud » (environ 200 °C), qui va activer la réaction de polymérisation ou de vulcanisation [2].

2-3 Les étapes du procédé

Le procédé d'injection se déroule en cinq étapes :

Étape 1 (a) : la phase de dosage. Les granules de polymère tombent depuis une trémie dans un ensemble vis-fourreau. Ils sont ensuite fondus progressivement par actions conjuguées des colliers

chauffant le fourreau, du cisaillement de la matière, provoqué par la rotation de la vis et la friction des granulés (entre eux et contre les parois du fourreau et de la vis). La matière fondue est alors convoyée en avant de la vis (via un clapet anti-retour), dans l'espace créé par le recul progressif de cette dernière lors de sa rotation.

Étape 2 (b) : la phase d'injection. Grâce à un mouvement de translation de la vis, le polymère fondu est transféré du réservoir à un moule via des canaux. Ce mouvement de translation est généré par un vérin, à travers le clapet anti-retour qui, dans cette phase, empêche la matière de rebrousser chemin.

Étape 3 (c) : la phase de compactage. Le moule est composé de deux parties, une fixe et une mobile. Durant le compactage, le moule est maintenu sous pression pour rester fermé, pendant que la matière est compactée par la vis. Pendant cette phase, le polymère fondu continue à être injecté pour compenser le rétrécissement, ou retrait, de la matière qui refroidit.

Étape 4 (d) : la phase de refroidissement. Lorsque le polymère est entièrement figé au niveau du ou des seuils d'injection, il n'est plus nécessaire d'appliquer une pression de maintien, et la pièce continue de se refroidir jusqu'à ce qu'elle soit complètement solidifiée. La vis reprend son cycle de rotation à l'étape 1.

Étape 5 (d) : la phase d'éjection. Le moule s'ouvre, et la pièce formée est éjectée du moule [3].

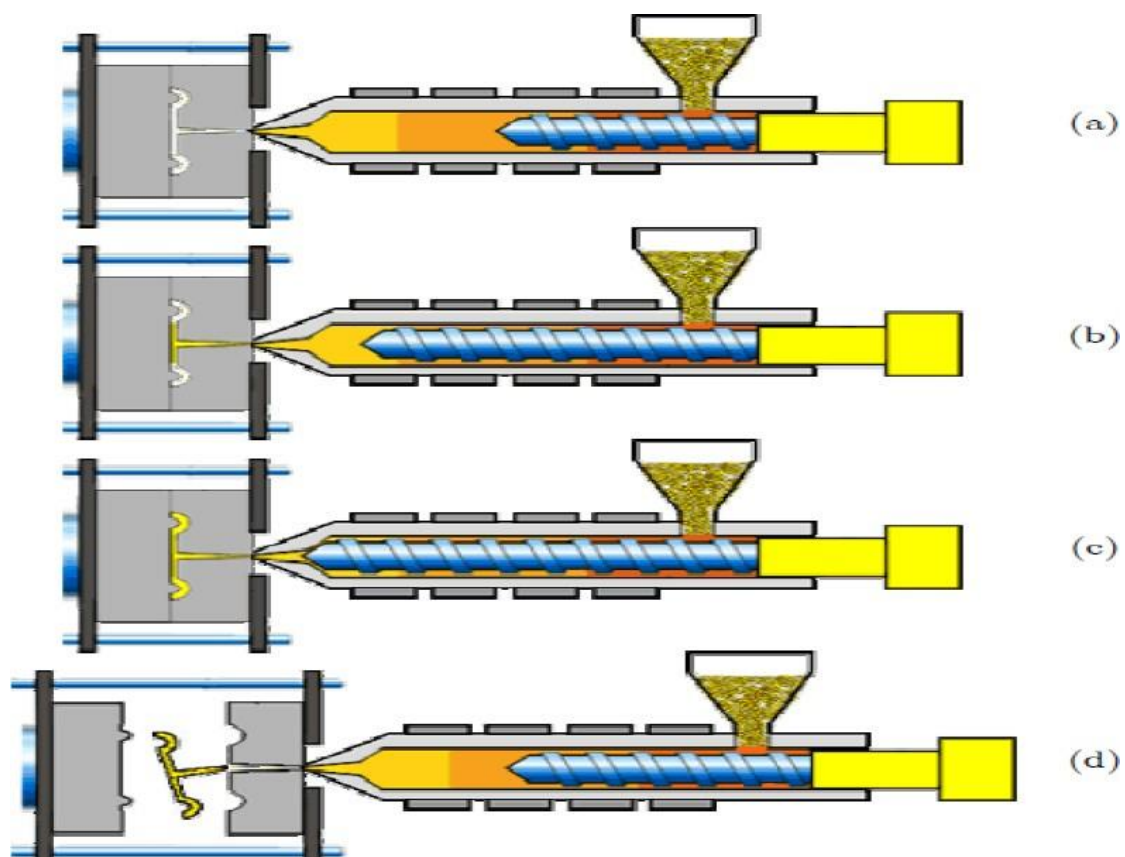


Figure I.1: Les étapes du procédé d'injection-moulage des thermoplastiques [4].

3 Les machines utilisées en injection thermoplastique

Les machines employées en injection plastique sont des presses à injecter. Elles sont utilisées pour des productions de grandes et très grandes séries allant jusqu'à plusieurs milliers de pièces. Les matériaux principalement employés sont les plastiques et les élastomères, ainsi que des métaux comme l'aluminium et le laiton.

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

Premièrement, il y a un groupe d'injection plastification. Il permet plusieurs applications comme l'alimentation en granulés et la fusion de la matière, par la suite dosée et injectée sous pression.

Deuxièmement, il y a un groupe de fermeture. Ce dernier permet de verrouiller, ouvrir, fermer le moule et d'éjecter les pièces. Ainsi, il est possible de fusionner la matière et de la transférer dans le moule [1].

3-1 Fonctionnement d'une presse à injection et de ses équipements périphériques

La figure suivante illustre une presse à injection de plastique horizontale et ses principaux composants.

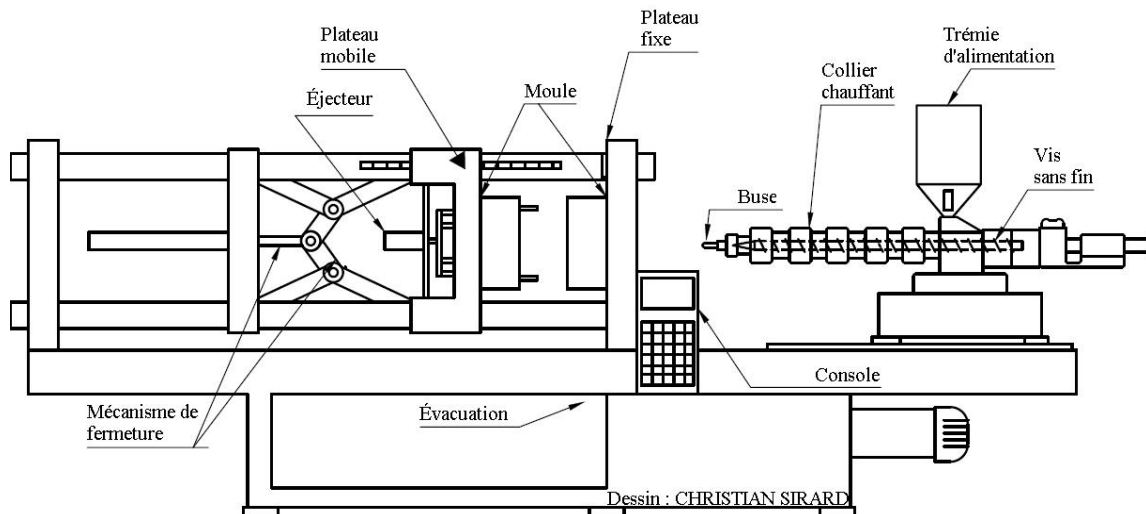


Figure I.2 : Schéma d'une presse à injection de plastique horizontale.

Une presse à injection de plastique fonctionne généralement de la manière suivante: La trémie est alimentée en granules de plastique, manuellement ou par un système automatisé. Les granules sont acheminées par gravité, via une goulotte d'alimentation, dans le baril d'injection contenant la vis sans fin. Le plastique est fondu par apport de chaleur dans l'unité d'injection (température pouvant atteindre 200°C [6, 7]) et la matière se déplace dans le baril d'injection Grâce à la vis sans fin. Cette

vis, en translatant vers le moule, sert aussi de piston pour injecter le plastique fondu sous pression dans les empreintes du moule fermé, à travers la buse communiquant avec un orifice de la partie fixe du moule installée sur le plateau fixe. Les empreintes ont une température pour permettre de refroidir le plastique fondu injecté et de le solidifier. Durant le refroidissement des pièces, la vis sans fin translate vers la trémie pour se charger en granules et se préparer pour la prochaine injection. Après un délai prédéterminé laissant aux pièces le temps de se solidifier, le moule s'ouvre. Une fois le moule ouvert, les éjecteurs sortent pour extraire les pièces moulées ou les décoller afin de faciliter leur extraction par un robot (équipement périphérique). Une fois les pièces extraites, le mécanisme de fermeture génère le mouvement de fermeture du plateau mobile : la partie mobile du moule se rabat sur sa partie fixe, c'est la fermeture du moule. Le moule fermé est donc prêt à recevoir l'injection de plastique fondu et le cycle reprend.

Comme mentionné plus tôt, les presses à injection de plastique peuvent être utilisées avec des équipements périphériques. Dobraczynski et Chatain catégorisent ceux-ci en trois groupes :

- **matériel de robotique** : conçu pour le chargement et le déchargement des moules.
- **matériel de traitement des pièces injectées** : dispositifs de décarottage, de triage pièce-carotte, de comptage et de stockage automatique, convoyeurs et tapis transporteurs... ;
- matériel de montage, connexion, démontage et stockage des moules [5].

3-2 Description de la presse injection

Une presse à injection, ou machine d'injection moulage, est constituée de deux unités principales ; l'unité d'injection, ou de plastification, et l'unité de moulage (moule et système de fermeture). Le plus souvent, les différents notables entre les types de machines concernent l'unité de plastification, notons qu'il existe des presses verticales et les presses horizontales, presses hydrauliques et les presses électrique. Elles présentent chacune des particularités plus ou moins intéressantes et adaptées à certaines fabrications.

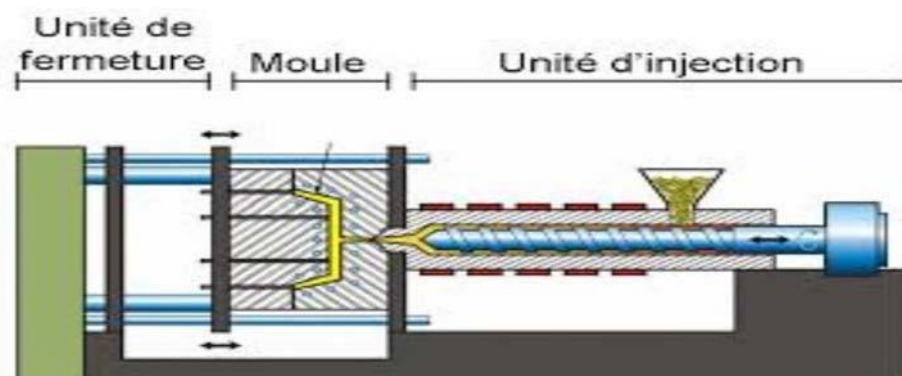


Figure I.3: Presse à injection plastique horizontale.

3-3 Les différentes parties d'une presse à injection

3-3-1 Unité d'injection

L'unité d'injection est responsable de l'échauffement et de l'injection de la matière du polymère dans un moule, la première partie de cette unité est appelée trémie, elle est constituée de façon à contenir une grande quantité de granulés du polymère, pour le fonctionnement de la trémie ; on entame un premier processus de l'opération et qui consiste à alimenter la machine en matière première, une fois le mécanisme de ce système enclenché on chauffe la matière jusqu'à liquéfaction du polymère. On assure ensuite l'injection du polymère « liquéfié ».

La poussée de la matière est réalisée par un arbre filtré appelle vis avec des gradations de diamètre pour chaque longueur importante, ce dernier aide l'augmentation de la force de poussée de la matière jusqu'au seuil d'injection [8].

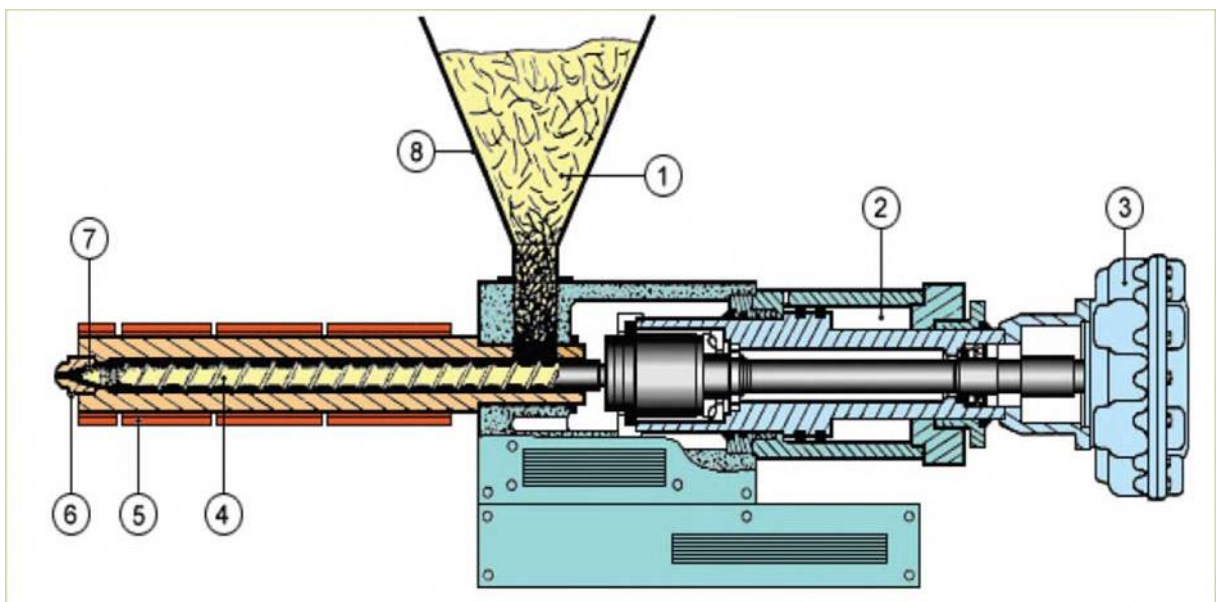


Figure I.4 Unité d'injection.

- | | |
|-----------------------------|------------------------|
| 1-Granulés. | 5- Fourreau chauffant. |
| 2-Vérin d'injection. | 6- Buse d'injection. |
| 3-Moteur de d'alimentation. | 7-Clapet. |
| 4-Vis sans fin. | 8- Trémie. |

3-3-2 Unité de verrouillage

L'unité de verrouillage opère de manière à assurer la jonction des deux moitiés de moule durant le remplissage et leur séparation pour l'éjection du produit, ces deux étapes respectivement appeler verrouillage et arrachage du moule, sont synchronisées avec l'opération de l'unité d'injection et coordonner via l'unité de commande.

Les deux moitiés de moule sont fixes aux plateaux fixe et mobile de l'unité de verrouillage .le plateau fixe est statique et usiné avec un alésage au centre destiné à accueillir la buse de l'unité d'injection lorsque le plateau mobile se déplace le long de a base de l'unité pour ouvrir et fermer le moule.

Le verrouillage commence lorsque le cylindre du dispositif de fermeture se rétracte en faisant pivoter le dispositif de fermeture entre les extrémités des quatre colonnes de verrouillage et l'avant du piston de verrouillage, le piston de verrouillage s'étend ensuite, tenant le moule fermé en transmettant une force suffisante au carter du dispositif de fermeture et aux colonnes de verrouillage fournit la force requise pour déplacer le piston durant les étapes de verrouillage et d'arrachage du moule.

Une fois la résine est solidifiée le moule s'ouvre pour éjecter les pièces terminées. L'arrachage de moule commence lorsque le piston de verrouillage se rétracte et le carter du dispositif de fermeture fait reculer les colonnes de verrouillage [8].

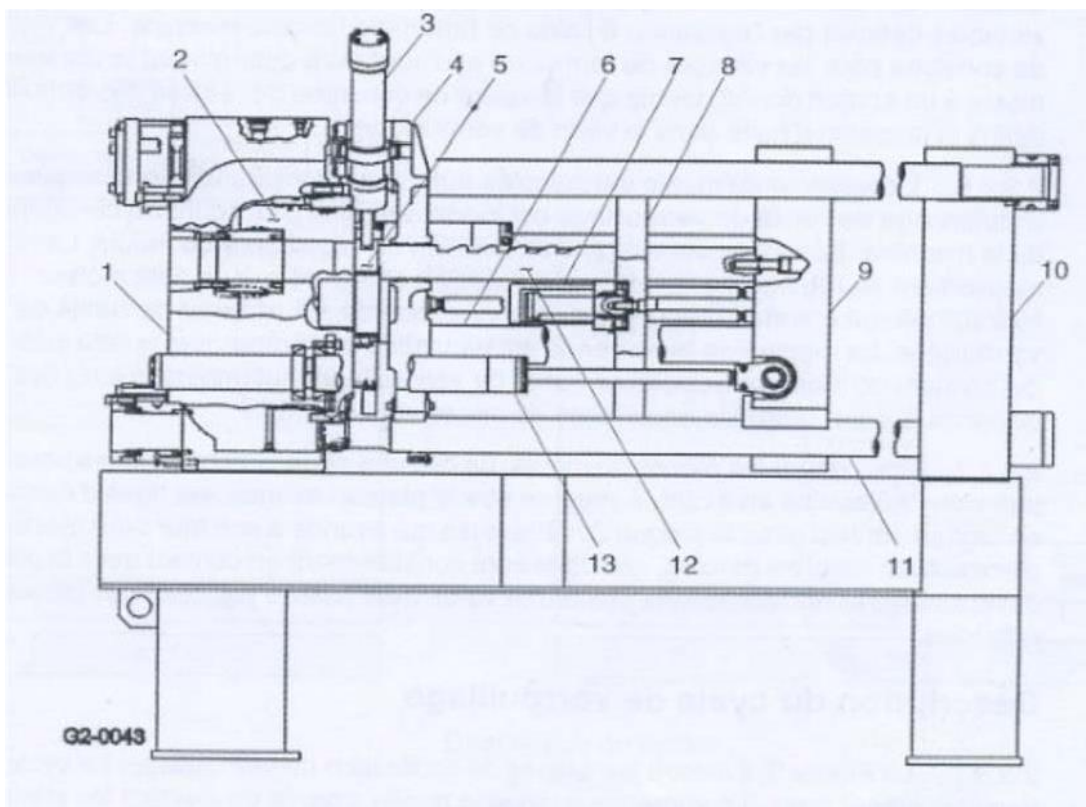


Figure I.5: L'unité de verrouillage.

- | | |
|---|--|
| 1- carter de vérin de verrouillage. | 8- plaque éjectrice. |
| 2- piston de l'unité de verrouillage. | 9- plaque mobile. |
| 3- cylindre de dispositif de fermeture. | 10- plateaux fixe. |
| 4- carter de dispositif de fermeture. | 11- colonne. |
| 6- dispositif de fermeture. | 12- colonne de verrouillage de la barre. |
| 7- colonne de verrouillage de sécurité | 13- vérin de course de moule. |

Généralement Il y a trois types de fermeture d'unité de verrouillage :

- **Fermeture mécanique**

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

- **Fermeture hydraulique**

Ce type de fermeture ne fait appel à aucun mouvement mécanique. Ceux- ci sont réalisés par des mouvements hydrauliques à l'aide d'un gros vérin central qui a pour but de faire l'approche du plateau mobile jusqu'au plateau fixe, et d'un vérin plus petit qui assure le verrouillage dans la phase finale de la fermeture.

- **Fermeture mixte**

Est un compromis entre la fermeture hydraulique et la fermeture mécanique, en effet les mouvements d'ouverture et de fermeture se font uniquement par des genouillères, tandis que le verrouillage est assuré par un ou des vérins hydrauliques [8].

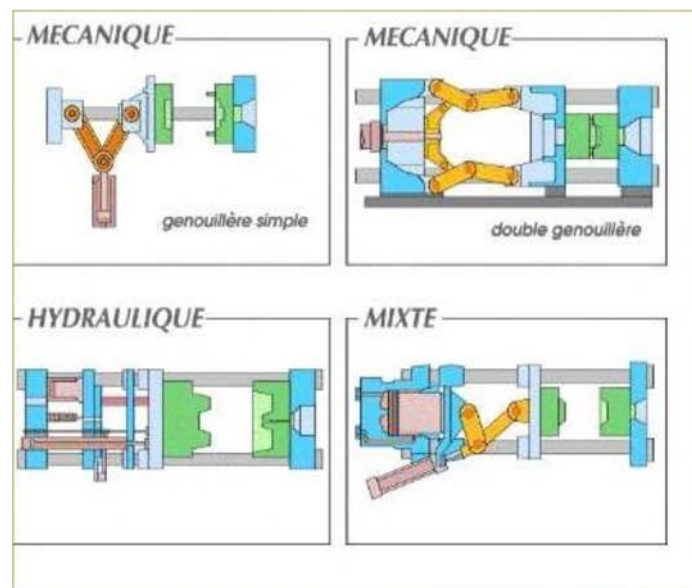


Figure I.6 : Unité de verrouillage.

4 Différents types des presses d'injection plastique

Il existe plusieurs des presses injections plastiques, permit celle dernières on trouve des presses injections hydrauliques, électriques, horizontales, verticales, les presses les plus utilisables dans les secteurs productions industrielles sont des presses horizontales.

4-1 Presse à injection plastique horizontale

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

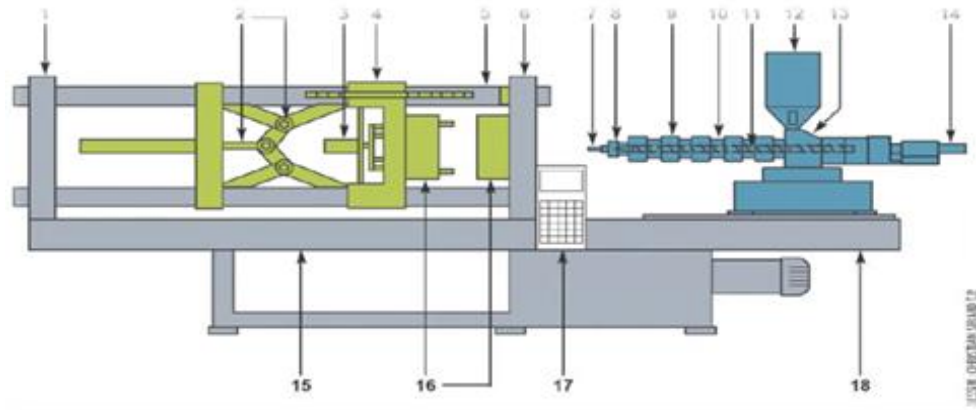


Figure I.7: Presse à injections horizontale.

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1-plateau arrière fixe. | 2-mécanisme de fermeture (ex : genouillère, vérin). |
| 3-éjecteur. | 4-plateau mobile. |
| 5- colonne de guidage. | 6- plateau fixe d'injection. |
| 8- tête de baril. | 9- collier chauffant. |
| 10- baril d'injection. | 11- vis sans fin. |
| 12- trémie d'alimentation. | 13- goulotte d'alimentation. |
| 14- motorisation de la vis. | 15- évacuation des pièces. |
| 16- moule. | 17- console de commande. |
| | 18- bâti. |

4-2 Presse à injection plastique verticale

Ce modèle de machine de moulage par injection est principalement déduit au moulage par injection sur les lignes de production de produits électroniques, d'ordinateurs, de prise d'alimentation, etc. Les produits réalisés n'ont pas d'exigences trop hautes envers le standard de précision. En général, on utilise le PVC, le PE, PP ou autre plastique d'injection comme milieu principal, les standards de modèles adaptés à ces produits ont en général une force de serrage de moule de 15T à 35T, etc. Comme les données concrètes des machines des diverses usines varient (capacité de moule, dispositifs, etc.) [3].



Figure I.8: Unité d'injection.

5 Le moule

Le moule est l'outil utilisé en injection des matières plastiques, qui remplit plusieurs fonctions et il a pour but de donner à la matière une forme finale nommée pièce ou article. Un moule est constitué principalement de composants illustrés par les figures suivantes (Fig. I.9 et Fig.I.10)

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

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

La conductivité thermiques des aciers dépend de la composition et de la charge en éléments d'alliages [F] et varie environ entre 15 et 40 $W.m^{-1}.K^{-1}$. Le choix des aciers pour moules d'injection ne doit cependant pas dépendre uniquement des propriétés thermiques mais aussi de la résistance mécanique et à la corrosion. L'augmentation des propriétés mécaniques se traduit par l'ajout d'éléments d'alliage qui peuvent être nuisibles aux propriétés thermiques (par exemple le chrome utilisé pour la résistance à la corrosion a tendance à faire diminuer la conductivité thermique).

A la fin de l'injection du polymère fondu dans la cavité du moule, on obtient la pièce sous sa forme complète. Pour l'éjecter, on doit actionner l'arbre d'éjection (Fig.), qui porte le plateau, cette dernière porte la pièce vers l'arrière en retrouvant sa position initiale [9].

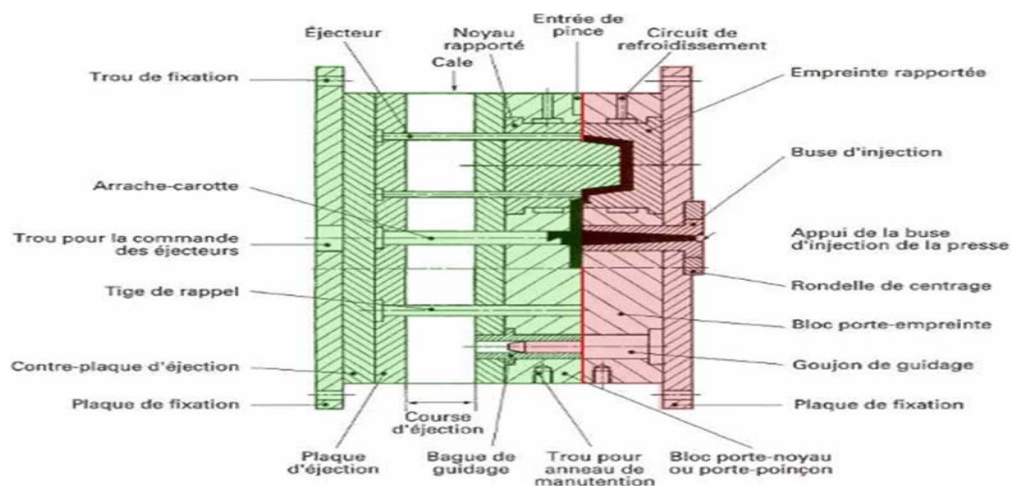


Figure I.9 Les différents éléments d'un moule d'injection.

5-1 Vue éclatée

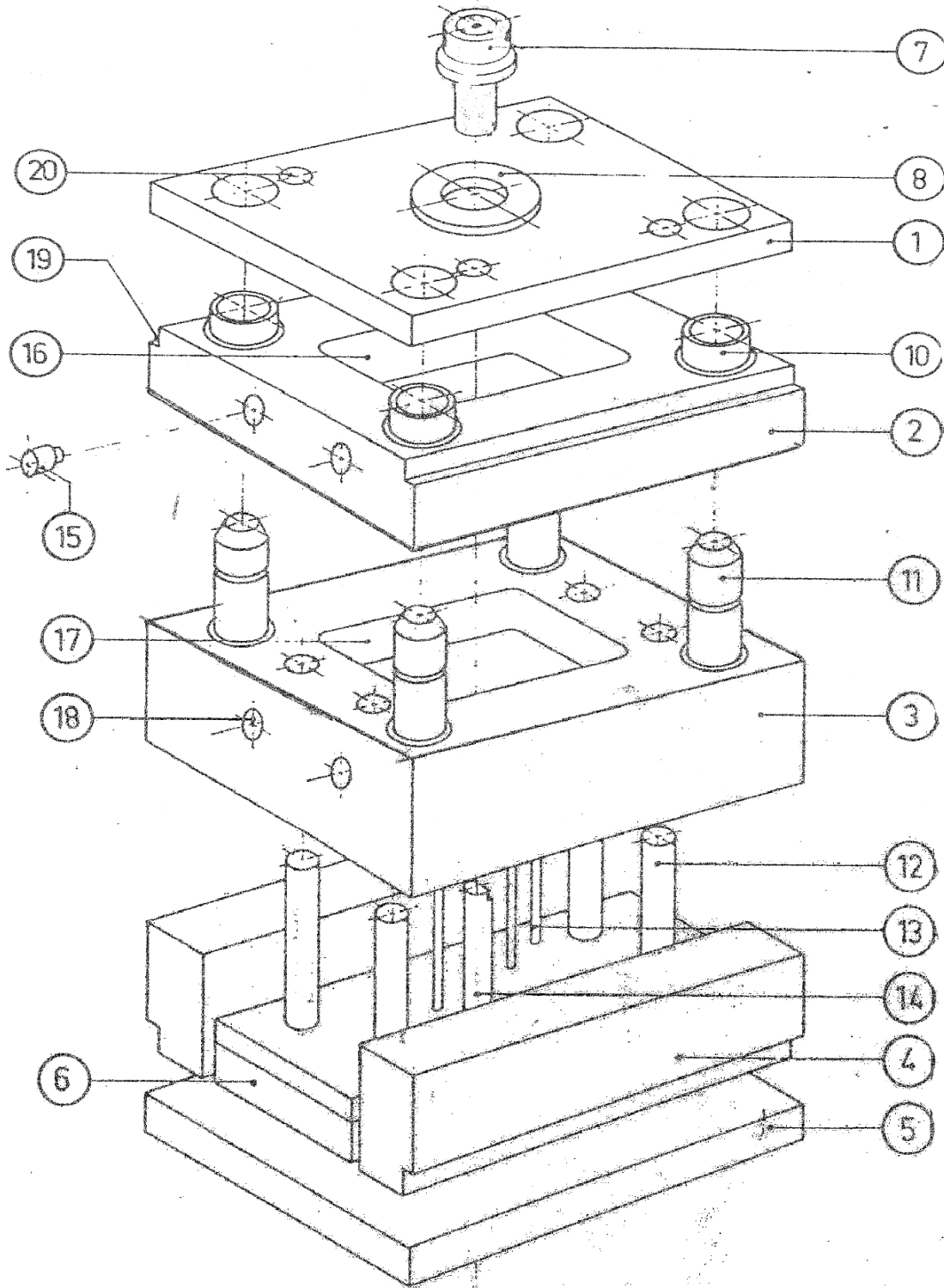


Figure I.10 Vue éclatée d'un moule d'injection plastique.

5-2 Terminologie des éléments constituant l'outillage

Repère	Désignation
01	Plaque arrière côté injection
02	Plaque porte empreinte côté injection
03	Plaque porte empreinte côté éjection
04	Tasseau
→ 05	Plaque arrière cote éjection
→ 06	Contre plaque d'injection
07	Buse moule
08	Rondelle de centrage
→ 09	Plaque porte éjection
→ 10	Bague de guidage
→ 11	Colonne de guidage
→ 12	Ejecteur de rappel
→ 13	Ejecteur
→ 14	Arrache carotte
15	Raccord rapide de circuit d'eau
16	Logement empreinte cote injection
17	Logement empreinte cote éjection
18	Circuit de régulation thermique
19	Rainure de bridage

 Batterie d'éjection

 Guidage moule

5-3 Eléments constitutifs d'un moule

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

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

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

Bague de guidage : Permet le guidage des colonnes de guidages
Plaque porte empreinte côté injection : Permet la fixation de la bague de guidage, contient le circuit de régulation de température.

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

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

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

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

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

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

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

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

Vis de fixations : Permet de fixer la plaque arrière cote injection sur la plaque porte empreinte cote injection.

Rainures de bridage : Permet le passage de la bride Raccord rapide du circuit d'eau : Permetun raccord rapide du circuit d'eau.

Circuit de régulation thermique : permet de réguler le moule avec de l'eau [11].

Tableau I.1 : Matériaux pour la fabrication des moules.

Application	Matériaux	État	Résistance ou Dureté	Observation
Carcasse et cales diverses	C 45	Trempe ou revenu	85-105 daN/mm ²	Traité pour les plaques formant le plan de joint et grandes séries.
	XC 38			
	XC 48			
Empreintes	40CMD8	Trempe Cémentation	80-180 daN/mm ²	Bonne résistance Haute limite élastique
	35NCD16			
	Z50CDV5			
	Z200C12			
Tiroirs	Z50CDV5	Trempe	80-180 daN/mm ²	Ou acier sulfurisé Pré-traité
	80Mn8			
	55Ni Cr7			
Plaques porte empreintes	40CMD8	Trempe	100-120 daN/mm ²	Pré-traité
Plaques dévêtisseuses	42CD5	Revenu		
Éléments mobiles	16NC6	Trempe Nituration Cémentation	100-200 daN/mm ²	Pièce de commerce Bonne résistance à l'usure
	100 C 6			
	40Ni Cr15			
	45Si Cr Mo6			
	35Ni Cr 6			

La figure I. 11 montre les éléments standards pour les matériaux employés dans la fabrication des différentes pièces du moule.

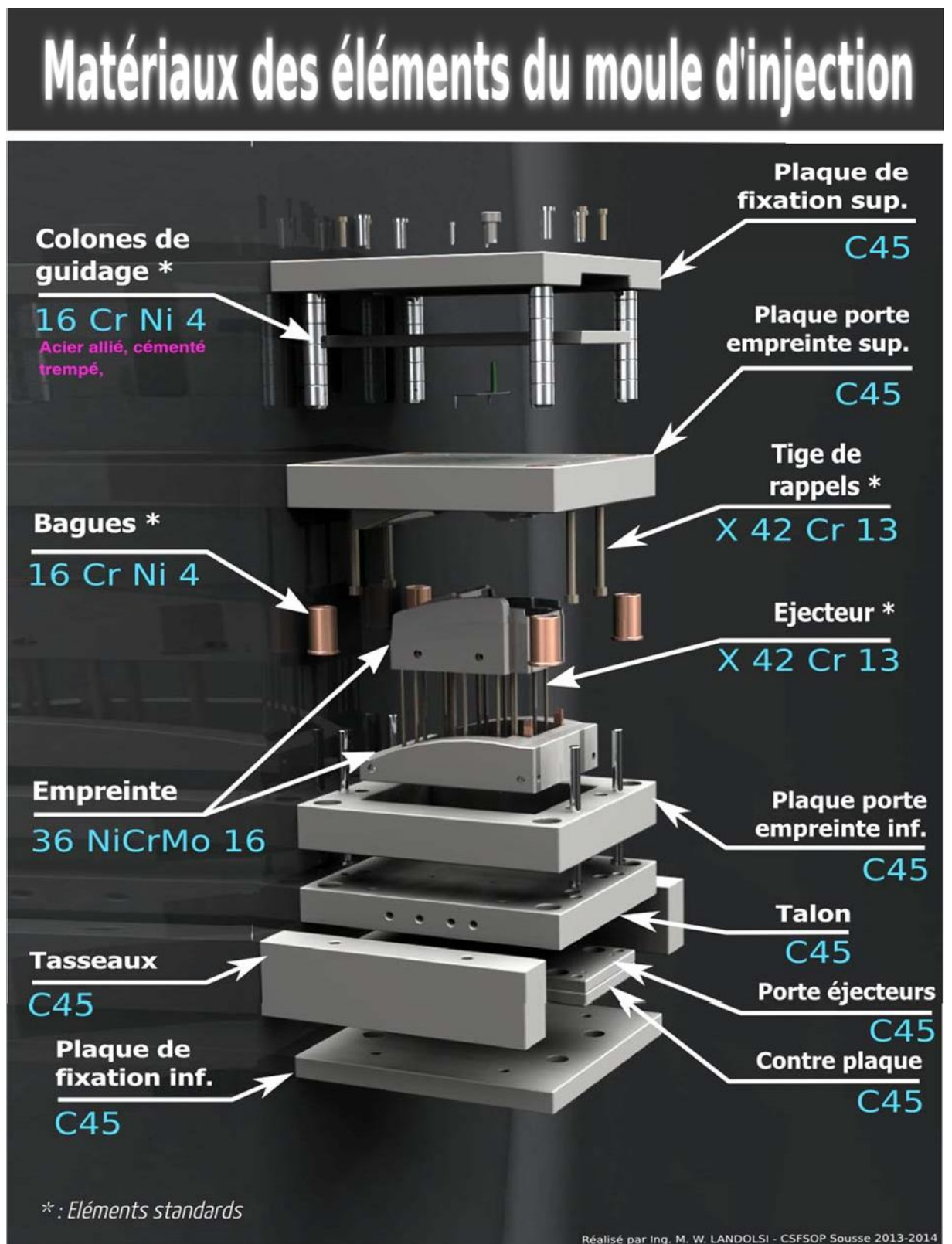


Figure I.11 : Matériaux élément standards du moule.

6 Matériaux constitutifs de l'empreinte

6-1 Généralités

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 priorité avant ceux des coûts 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 dimensionnelle 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, PTFE...).
- 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 [6].

6-2 Les types d'empreinte de moule

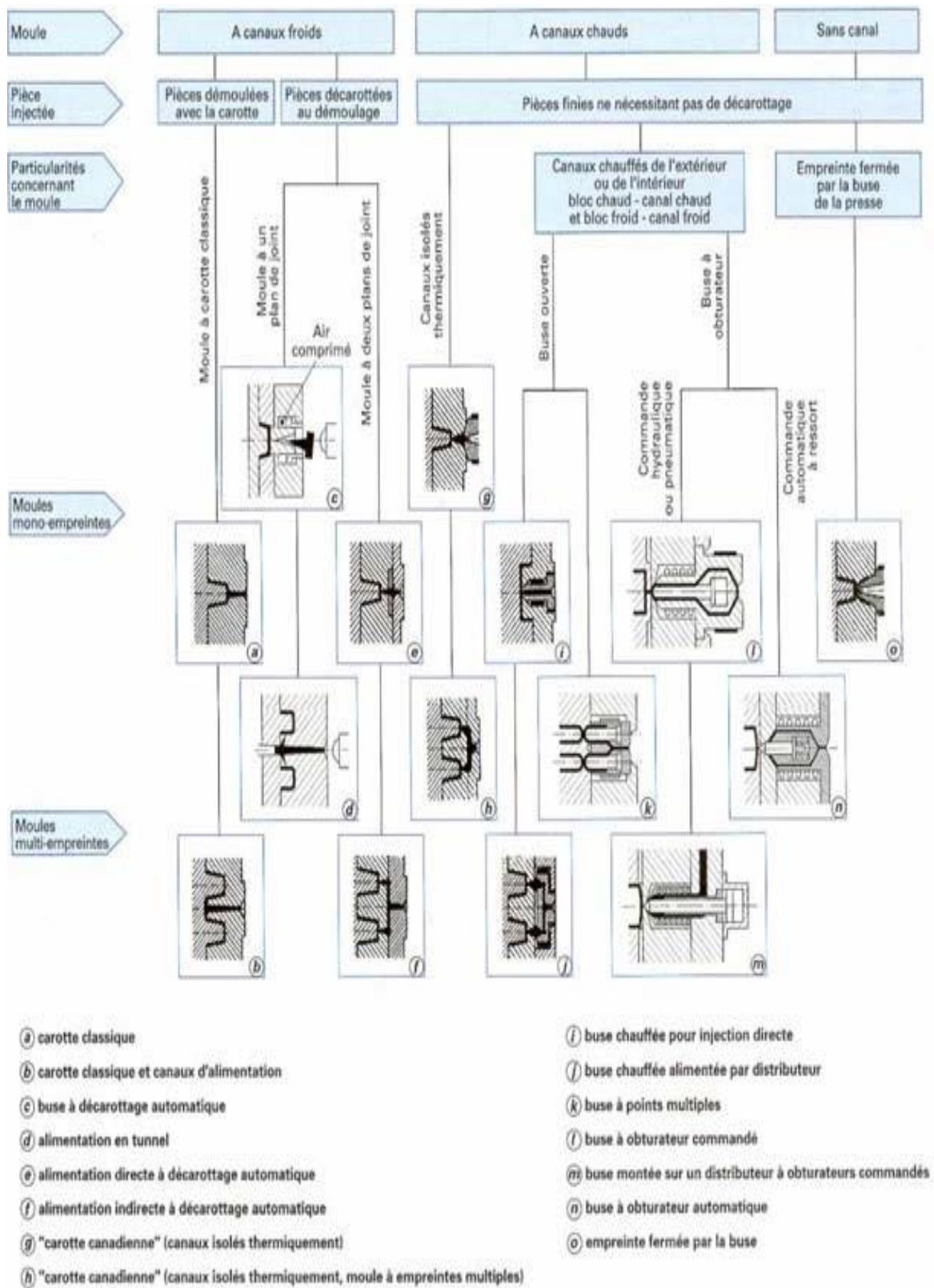


Figure I.12: Les différents types d'empreintes.

7 Usinage de l'empreinte

7-1 Généralités

Les empreintes sont les parties du moule qui servent à obtenir la pièce désirée. Il y en a deux par pièce moulée, une en partie fixe et l'autre en partie mobile. Généralement, l'empreinte ayant des reliefs est placée en partie mobile pour que la pièce ait tendance à rester dessus, permettant ainsi à la batterie d'éjection d'éjecter la pièce. La nature de l'acier utilisable pour fabriquer l'empreinte d'un moule est définie en fonction du nombre de pièces à mouler [7].

Il y a deux méthodes d'usinage pour obtenir l'empreinte du moule tel que électro-érosion enfonçage et l'usinage à grande vitesse (UGV)

7-2 Electro-érosion enfonçage

Ce procédé d'usinage électro-érosion consiste à enlever de la matière dans une pièce conductrice en utilisant des décharges électriques. Cette technique permet un usinage de précision pour tous types de matériaux (usinage aluminium, usinage inox...) quelle que soit la dureté. Pour usiner, il nous faut une ou plusieurs électrodes (cuivre ou graphite) devant être de la forme complémentaire à la forme à usiner. Celle-ci va alors s'enfoncer dans la pièce. Grâce à cette érosion par enfonçage.

L'enfonçage nous permet d'obtenir de grande précision ($\pm 0.005\text{mm}$) et obtenir des formes quelconques. L'état de surface est plus ou moins granité en fonction de l'intensité que nous réglons. Nous utilisons ce procédé d'électro-érosion par enfonçage pour la réalisation d'empreintes de moules pour l'injection plastique ou pour réaliser des cavités pour toutes sortes de pièces (formes non débouchantes ou spéciales) [14].

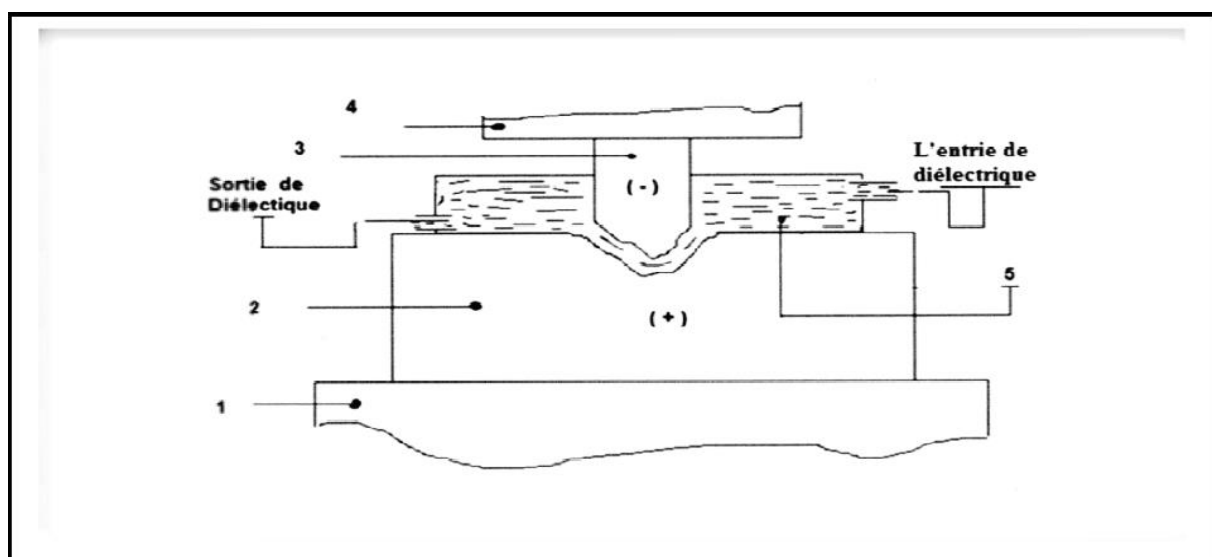


Figure I.13 : Schéma du Principe de L'UEE.

7-3 Principe d'usinage par électro-érosion

Si on applique une différence de potentiel (D.D.P) entre les électrodes, pour les faibles valeurs de tension « U » on remarque qu'il n'y a aucun phénomène d'enlèvement de matière et si la valeur de tension appliquée au borne des deux électrodes dépasse la tension de claquage « U_0 » du diélectrique qui de l'ordre de 15/25 V; on observe l'amorçage d'un arc électrique à l'endroit du plus fort champ électrique, il se forme un canal ionisé qui est conducteur de courant électrique alternative, à la formation de ce canal succède un passage massif du courant électrique qui provoque à l'enlèvement de la matière [15].

La machine qui utilise ce procédé d'usinage représenter dans la figure suivante :

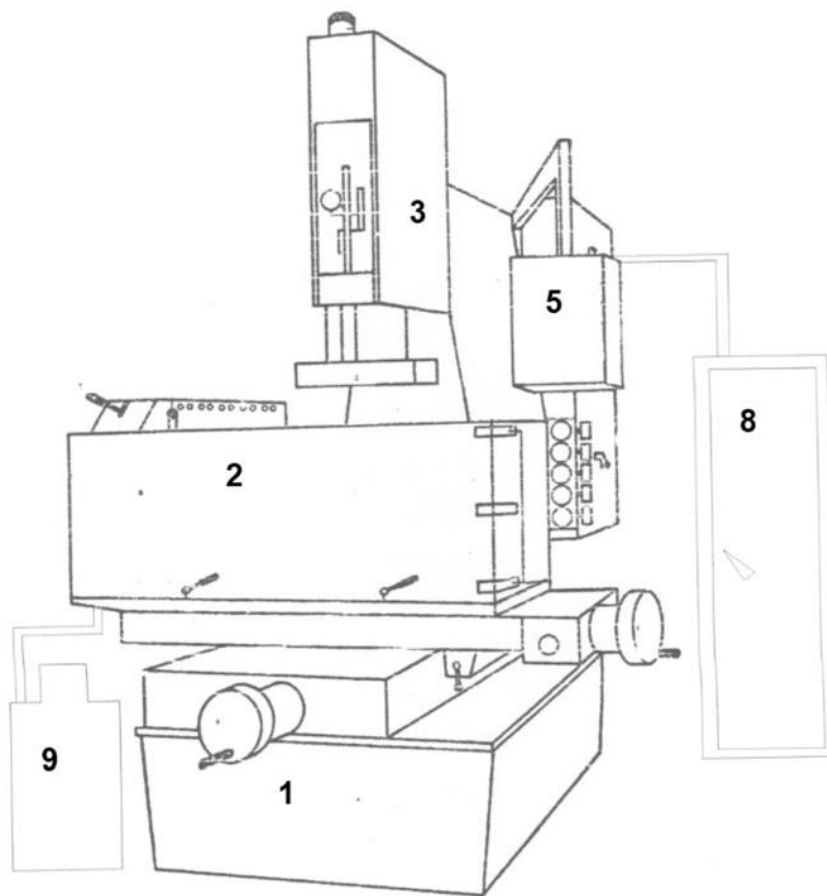


Figure I.14: Machine d'électroérosion.

Elément machine :

- | | |
|----------------------------|-----------------------|
| 1- Bâti | 5- Boite de commande |
| 2- Table de travail | 6- Levier |
| 3- Tête d'usinage | 7- Levier pour sortir |
| diélectrique | |
| 4- Porte outil | 8- Générateur |
| 9- Un circuit diélectrique | |

7-4 Usinage à grande vitesse (UGV)

L'arrivée de l'usinage grande vitesse (UGV) a profondément bouleversé l'industrie de la fabrication des moules d'injection plastique. Cette technologie a permis de diminuer les temps de production en se substituant à l'électroérosion lorsque la géométrie des moules le permet. Peu à peu des centres UGV à 5 axes apparaissent dans les ateliers de production car ils permettent non seulement de réaliser des surfaces qui n'étaient pas accessibles en trois axes mais aussi une amélioration de la qualité des surfaces usinées. Nous nous intéressons ici à la réalisation de surfaces dites «poli miroir» dans des aciers traités à 50 HRc sur des centres UGV à 5 axes [16].

7-5 Comparaison UGV et ELCTRO-ERSION

L'usinage, et particulièrement l'usinage grande vitesse (UGV), permet de réaliser des pièces aux géométries complexes en utilisant des machines multiaxes. Les difficultés liées à la génération de trajectoires d'usinage compatibles avec les formes complexes inhérentes aux outillages sont désormais bien connues.

Les progrès des techniques d'usinage tendent ainsi à limiter fortement l'utilisation de L'électroérosion, pourtant très utilisée jusqu'alors dans le domaine de l'outillage. En effet, plusieurs sources préconisent l'utilisation de l'UGV par rapport à l'électroérosion pour ce qui est de la fabrication d'un outillage. Par exemple, en comparaison avec l'électroérosion, l'UGV permet souvent d'obtenir des outillages dans un délai et à un coût plus faibles [JEG03] [ROD04] [TRA]. À titre d'illustration, la Figure présente la comparaison des procédés de réalisation d'empreinte d'outillages et le gain temporel potentiel lié à l'utilisation de l'usinage grande vitesse.

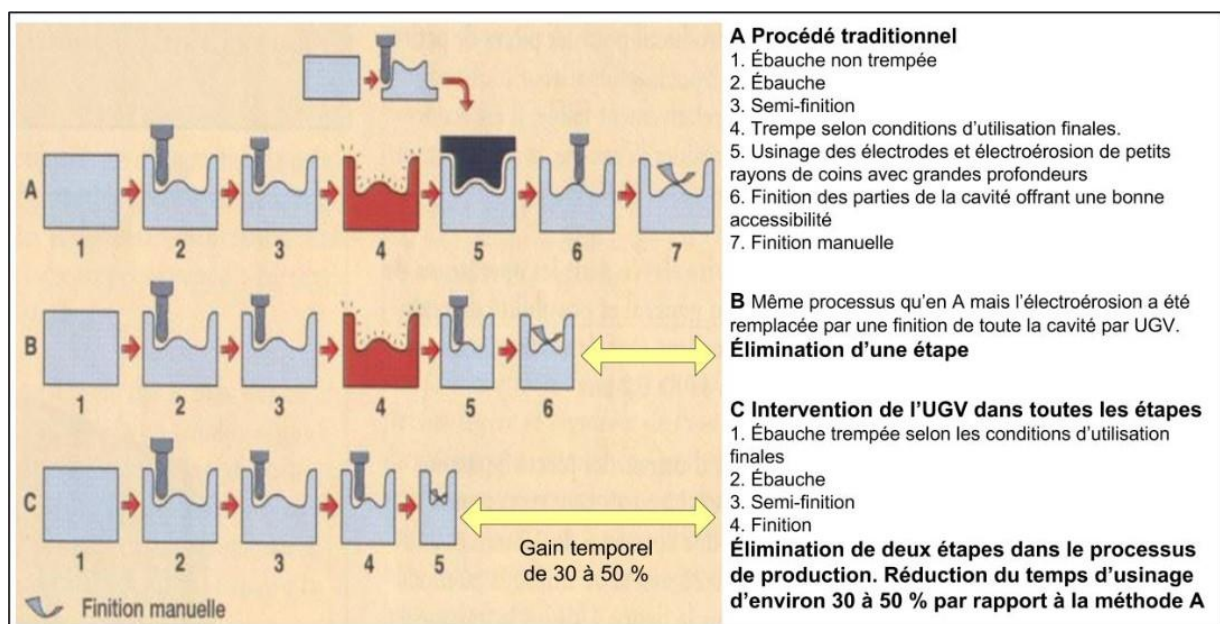


Figure I.15: Gamme d'obtention d'une empreinte.

De plus, d'un point de vue écologique, l'UGV semble une solution intéressante car c'est une technologie moins consommatrice d'énergie et l'utilisation de lubrifiants de coupe est de plus en plus faible (usinage à sec), par rapport à l'électroérosion pour laquelle il doit y avoir un contrôle constant de l'électrolyte pendant et après le processus. Pour la fabrication d'une matrice, l'UGV est reconnu comme étant plus adapté en ébauche, la finition pouvant se faire en électroérosion si les caractéristiques de l'outillage le demandent. Sinon, il convient de réaliser totalement l'outil en UGV [16].

8 Les dépouille

Pour faciliter le démoulage de la pièce, le moule doit avoir des dépouilles qui doivent être intégrées dans la forme de la pièce. La dépouille dépend essentiellement de l'état de surface de la pièce et de la précision de la géométrie des surfaces (grainage, poli glace, planéité, rectitude...). Dans une moindre mesure la dépouille dépend aussi de l'élasticité du thermoplastique [17].

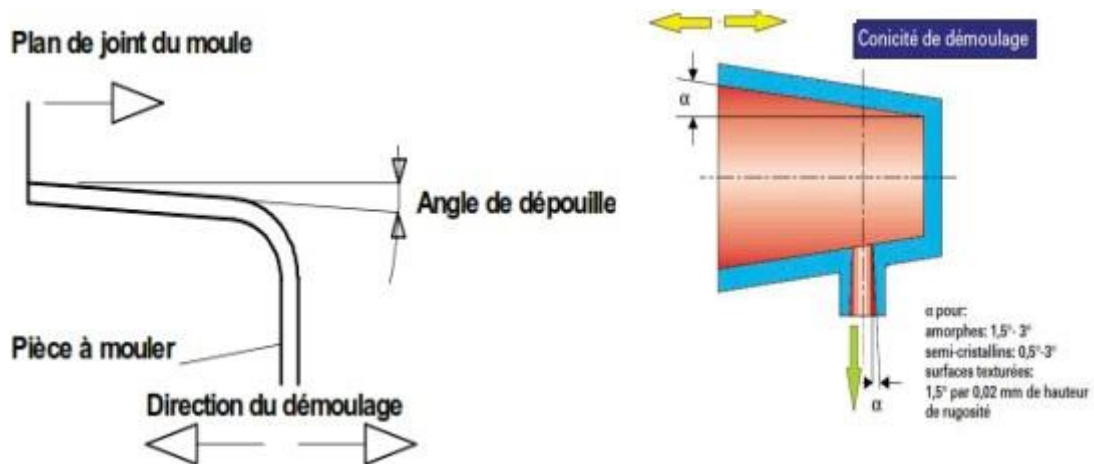


Figure I.16: Les Dépouilles qui facilitent le démoulage de la pièce choix et valeurs. [17]

9 Forme en contre-dépouille

C'est une surface formant empêchant un démoulage dans une direction perpendiculaire au plan de joint. Lors de la conception d'une pièce on évitera au maximum les surfaces en contre-dépouille car elles entraînent un moule plus couteux et plus complexes [18].

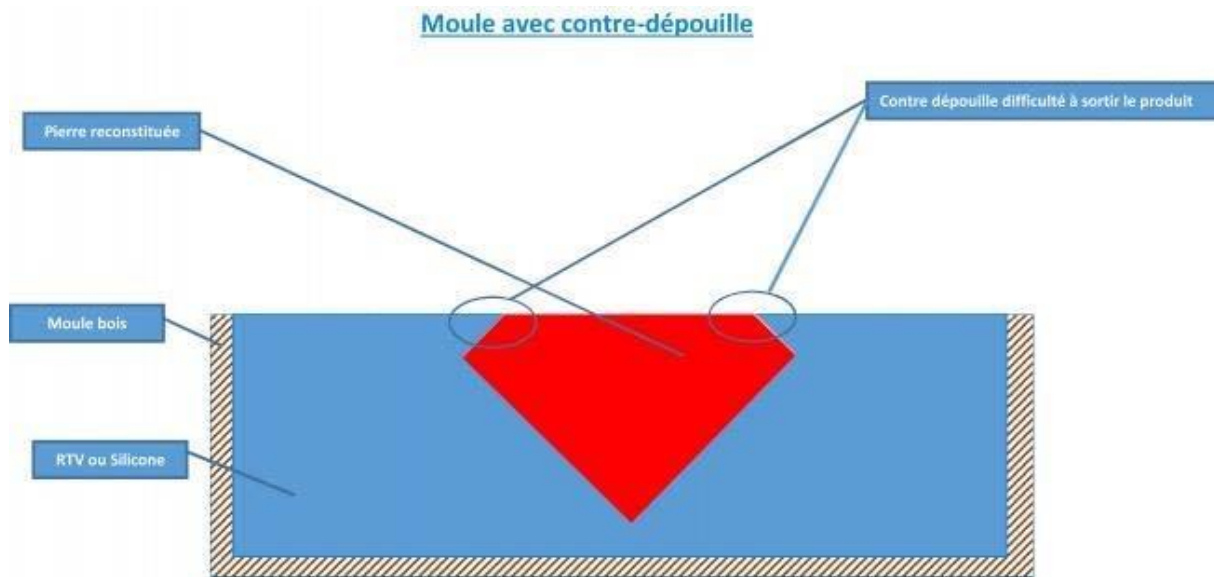


Figure I.17 : Exemple de moule avec contre d'épouille.

10 Bien maîtriser le phénomène de retrait

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

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

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

Le retrait commence à se produire pendant la transformation, lorsque la matière passe de l'état plastique à l'état solide (refroidissement) et que la masse fondue amorphe se transforme en une matière partiellement cristalline en se contractant. Ainsi, une pièce moulée par injection est plus petite que la cote du moule froid correspondant. Le retrait de moulage des matières partiellement cristallines est plus important que pour les matières amorphes.

On appelle retrait de moulage R_m la différence entre la cote du moule froid M_f et la cote L de la pièce moulée refroidie (24h après sa fabrication, DIN 16 901).

Le retrait de moulage est indiqué en % :

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

La diminution de volume de la pièce moulée n'est pas encore terminée. Le retrait se poursuit dans le temps et tend vers une valeur "définitive" d'autant plus vite atteinte que la température de stockage est élevée. Ce phénomène, essentiellement dû à une post-cristallisation est appelé.

Post-retrait P_r . Selon la norme DIN 53464, on entend par post-retrait la différence calculée entre la cote L de la pièce moulée et la cote L_1 de cette même pièce après un traitement ultérieur à une température donnée.

Le post-retrait est indiqué en % :

$$Pr = \frac{L - L1}{L} 100$$

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

$$Rt = Rm + Pr$$

Représentation schématique du retrait de moulage Rm, du post-retrait Pr et du retrait total Rt. [17]

Tableau I.3. Les coefficients de retrait des principales matières plastiques [12].

Matière	PMMA	PA	PA 30 % FV	PS	PS choc	POM	POM 30 % FV	ABS	Pehd	PVC	Pebd	PC	PP
Retrait %	0,4	1,5	0,5	0,6	0,5	2,6	1,2	0,6	3,5	0,5	2	0,6	2

11 Le plan de joint

Il est matérialisé par un plan tangent commun a la partie fixe et a la partie mobile de l'outillage. Il peut être décalé en fonction de l'outillage (tiroirs, poinçon...). Dans certains outillages on peut en avoir plusieurs (moules 3 plaques) [11].

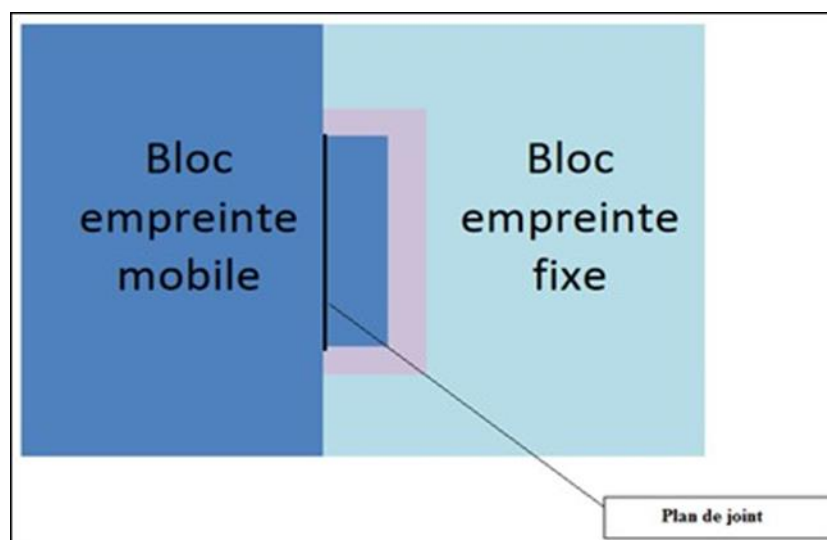


Figure I.18: Représentation du plan de joint d'un moule.

12 Epaisseur de moule minimale

Il est inutile d'obtenir une fermeture complète des plateaux lorsqu'aucun moule n'est monté dessus. La distance entre plateaux en position moule fermée, représente alors le moule d'épaisseur minimale exploitable.

13 Epaisseur de moule maximale

Si l'on veut conserver, pour la course d'ouverture de la presse, la valeur maximale possible en utilisant un moule plus épais que le moule minimal (cas fréquent), il est nécessaire de prévoir un réglage permettant de reculer le plateau mobile par rapport à la position correspondant à celle du serrage minimal. Ce réglage, ajouté à l'épaisseur du moule minimal, donne l'épaisseur maximale de moule possible dans ces conditions.

14 Surface frontale ou surface projetée

C'est la projection de la matière sur la surface totale des empreintes, y compris la surface des canaux d'alimentation ramenée sur un plan [20].

15 Fonction guidage et positionnement

Le moule étant composé de plusieurs parties séparées par le plan de joint, à la fermeture du moule celui-ci doit être guidé et recentrer pour que les parties moulantes de la pièce soit en correspondance entre les différentes parties du moule. Cette fonction assure le guidage et le positionnement de la partie mobile de l'outillage par rapport à la partie fixe [17].

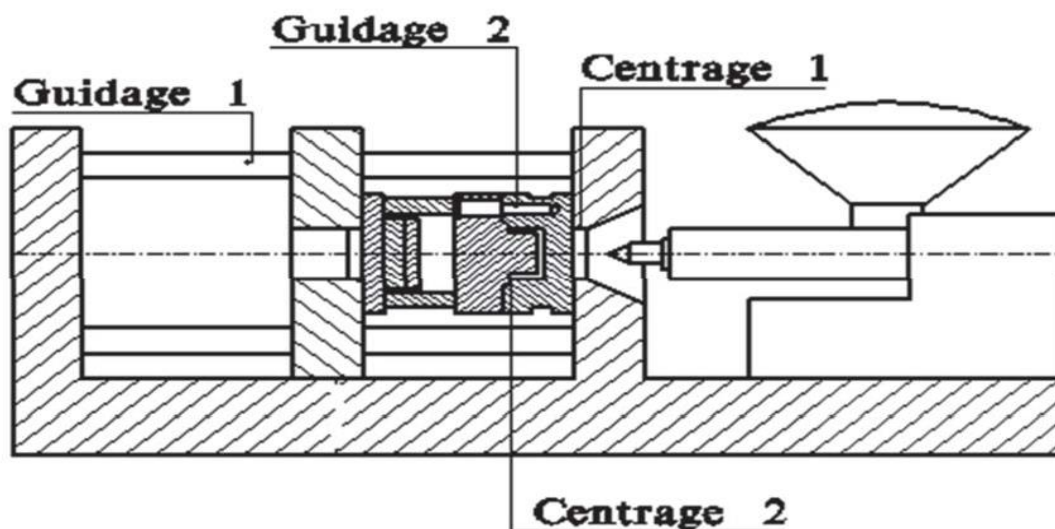


Figure I.19 : Les centrages et les guidages à assurer sur une presse/moule [17].

Bilan des centrages et des guidages :

- Guidage 1 : Mouvement linéaire du plateau mobile sur les colonnes presse.
- Guidage 2 : Mouvement de la Partie Mobile (PM) avec la Partie Fixe (PF) de l'outillage.
- Centrage 1 : Mise à l'axe de l'Axe Outillage sur l'Axe Presse.

- Centrage 2 : Mise à l'axe de l'axe de la partie mobile (PM) avec l'axe de la partie fixe (PF) de l'outillage [17].

15-1 Centrage du plan de joint moule (Partie Mobile / Partie Fixe)

La pression dans l'empreinte peut entraîner un glissement entre la partie fixe et la partie mobile. Le centrage évite le glissement entre les deux parties du moule.

Les formes de l'empreinte dans le moule peuvent faire s'excentrer la partie mobile de la partie fixe sous l'effet de la pression matière [17].

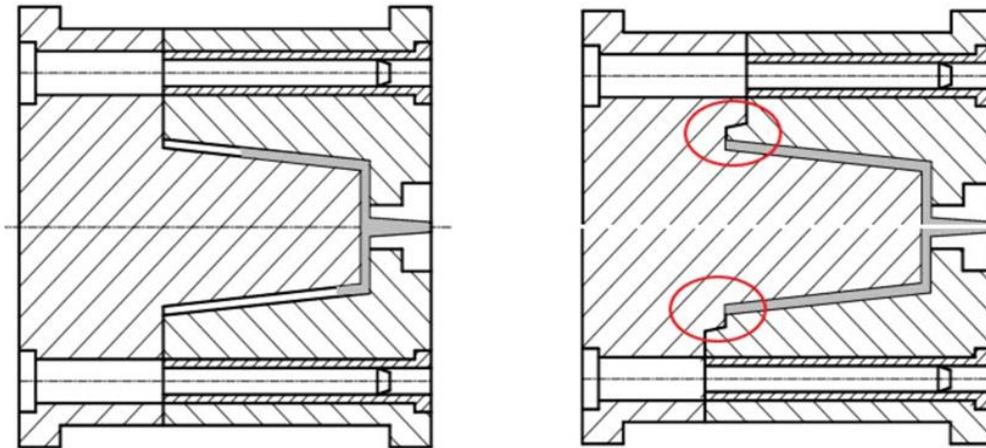


Figure I.20 : Centrage par le plan de joint incliné du moule.

Pour éviter une excentration des deux parties du moule, on procède à un recentrage :

- Soit par un "cône"
- Soit par des faces inclinées.
- Soit par des centreurs coniques ou droits [17].

16- Fonction éjection

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

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

Les éjecteurs sont des barres métalliques cylindriques pleines (parfois creuses) qui, lors de l'ouverture du moule, viennent pousser la pièce plastique pour l'extraire du moule. Il s'agit de la technique d'éjection la plus utilisée car elle peut s'appliquer à quasiment toutes les pièces plastiques

Les traces des éjecteurs sont souvent visibles sur la pièce et sont considérées comme

"inesthétiques". Les concepteurs de pièces injectées s'arrangent alors pour que ces traces d'éjecteurs se situent sur la partie cachée de la pièce plastique lors de son utilisation [20].



Figure.21 : Les différents types d'éjecteur.

CHAPITRE III

étude technologique du procédé de soufflage plastique

1- Introduction

Le moulage par soufflage (ou moulage) est un processus de fabrication pour former et assembler des pièces en plastique creuses. Il est également utilisé pour former des bouteilles en verre ou d'autres formes creuses.

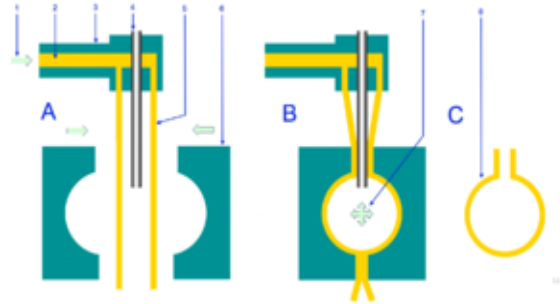


Figure II.1 Le processus de moulage par soufflage

En général, il existe trois principaux types de moulage par soufflage: le moulage par extrusion-soufflage, le moulage par injection-soufflage et le moulage par injection-étirage-soufflage.

Le processus de moulage par soufflage commence par la fusion du plastique et sa formation en une paraison ou, dans le cas du moulage par injection et injection-étirage-soufflage (ISB), en une préforme. La paraison est un morceau de plastique en forme de tube avec un trou à une extrémité à travers lequel l'air comprimé peut passer.

La paraison est ensuite serrée dans un moule et de l'air y est insufflé. La pression de l'air pousse ensuite le plastique pour qu'il corresponde au moule. Une fois le plastique refroidi et durci, le moule s'ouvre et la pièce est éjectée. Des canaux d'eau sont creusés dans le moule pour aider au refroidissement.

2- Histoire

Le principe du procédé vient de l'idée du soufflage du verre. Enoch Ferngren et William Kopitke ont produit une machine de moulage par soufflage et l'ont vendue à Hartford Empire Company en 1938. C'était le début du processus commercial de moulage par soufflage. Dans les années 40, la variété et le nombre de produits étaient encore très limités et le soufflage n'a donc décollé que plus tard. Une fois que la variété et les taux de production ont augmenté, le nombre de produits créés a rapidement suivi.

Les mécanismes techniques nécessaires pour produire des pièces à corps creux en utilisant la technique de soufflage ont été mis en place très tôt. Parce que le verre est très cassant, après l'introduction du plastique, le plastique a été utilisé pour remplacer le verre dans certains cas.

La première production de masse de bouteilles en plastique a été réalisée en Amérique en 1939. L'Allemagne a commencé à utiliser cette technologie un peu plus tard, mais est actuellement l'un des principaux fabricants de machines de moulage par soufflage.

Dans l'industrie des boissons gazeuses aux États-Unis, le nombre de contenants en plastique est passé de zéro en 1977 à dix milliards de pièces en 1999. Aujourd'hui, un nombre encore plus grand de produits est soufflé et on s'attend à ce qu'il continue d'augmenter.

Pour les métaux amorphes, également appelés verres métalliques en vrac, le moulage par soufflage a été récemment démontré sous des pressions et des températures comparables au moulage par soufflage plastique [23].

3- Le procédé d'injection soufflage

3-1 Principe de l'injection soufflage

L'injection-soufflage permet de réaliser des corps creux qui présentent de bonnes propriétés mécaniques. Cette technique est essentiellement réservée aux thermoplastiques. Le cycle de fabrication se compose de quatre étapes (**Figure II.2**).

- Réalisation par injection d'une préforme.
- Transfert de cette préforme dans une station de réchauffage pour que le matériau soit réchauffé dans un domaine d'état caoutchoutique.
- Transfert de la paraison chaude dans un moule et soufflage pour que le polymère vienne en contact avec les parois du moule.
- Refroidissement et éjection de la pièce.

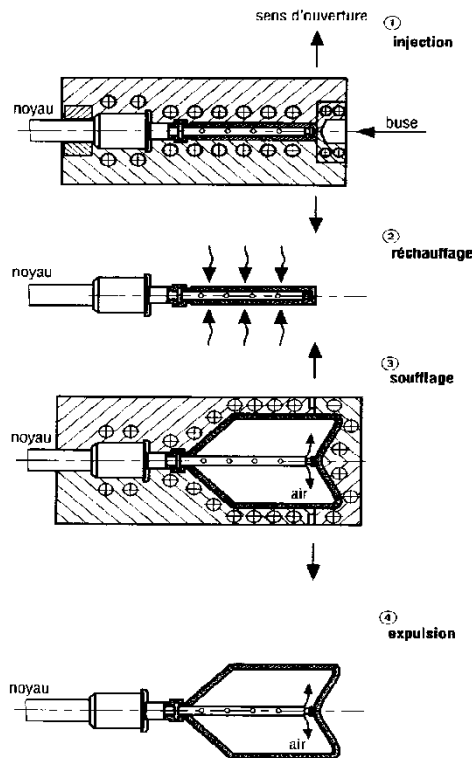


Figure II.2 séquence d'injection soufflage

3-2 injection-soufflage avec bi-étirage

C'est l'association de trois techniques : l'injection, le soufflage et le bi-étirage. Ces trois techniques peuvent être utilisées en ligne, ce que l'on appelle cycle chaud ou procédé en une étape, ou bien de façon séparée, ce que l'on appelle cycle froid ou procédé en deux étapes.

Dans ce procédé en une étape, il peut y avoir deux variantes :

- l'injection de la préforme puis, après conditionnement thermique, le soufflage avec bi-étirage du corps creux final (fig.II.3) ;

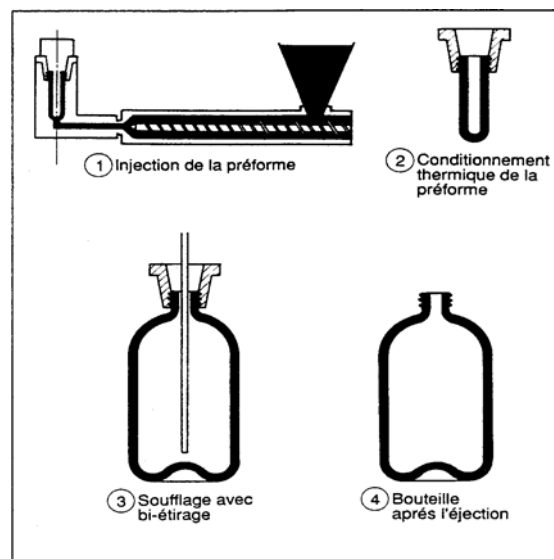


Figure II.3 Injection-soufflage avec bi-étirage en cycle chaud

L'injection de la préforme, puis, au poste de conditionnement thermique, le soufflage intermédiaire d'une préforme plus grande et pré-conditionnée : enfin, on procède au soufflage avec bi-étirage du corps creux final (fig. II.4).

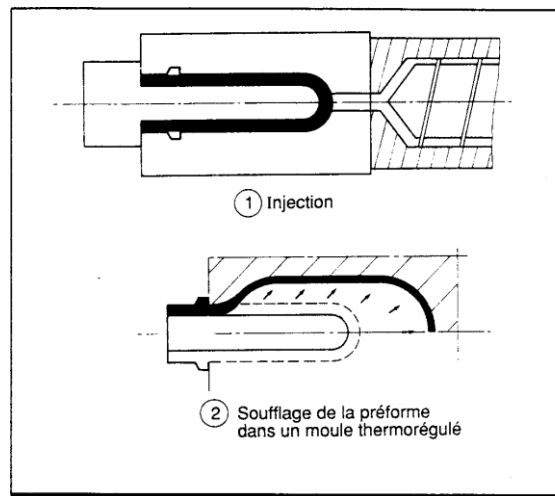


Figure II.4 Injection-soufflage avec bi-étirage en cycle froid

Dans ce procédé en deux étapes, on réalise l'injection d'un produit semi-ouvert : la préforme, puis la reprise de cette préforme par soufflage avec bi-étirage jusqu'à l'obtention de l'objet final : le corps creux. En fait, le procédé industriel sépare très nettement l'obtention de la préforme et celle du corps creux final

La préforme est obtenue par injection classique de la matière thermoplastique dans des moules multi-empreintes (première phase), puis est acheminée, éventuellement après stockage, vers la machine de soufflage avec bi-étirage. Lors de la phase finale, la préforme, qui se trouve à la température ambiante, est portée à la température de bi-étirage puis est étirée axialement par une tige d'élongation et radialement par gonflement à l'aide d'air comprimé. La matière se refroidit au contact des parois du moule et se solidifie à la forme désirée ; on peut alors procéder à l'évacuation du corps creux final (fig. II.5).

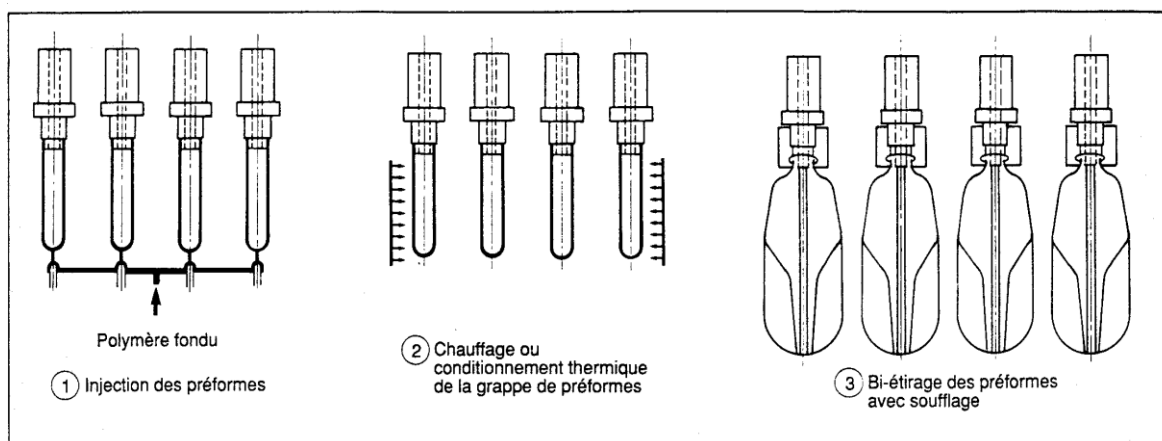


Figure II.5 Injection-soufflage avec bi-étirage en cycle froid.

3- Matériaux de l'injection

Les matériaux principalement employés dans l'injection sont Les polymères (thermoplastiques et thermodurcissables) et les élastomères, ainsi que des métaux comme l'aluminium et le laiton.

Les thermoplastiques déforment et sont façonnables sous l'action de la chaleur. Ils reprennent leur forme initiale en refroidissent sauf dans le cas de réchauffement répétés [4].

3-1 Les polymères

a) Définition

Le mot polymère vient du grec « polus » plusieurs, et « meros » partie. Un polymère est une macromolécule, organique ou inorganique, constituée de l'enchaînement répété d'un même motif, le monomère (du grec monos : un seul ou une seule, et meros ; partie) reliés les uns aux autres par des liaisons covalentes [3].

b) Propriétés des polymères

Lorsqu'on parle de propriété d'un matériau, on se réfère à la façon dont il réagit à une sollicitation. On pourrait aussi la nommer une sensibilité à cette stimulation, ou bien son inverse, la stabilité et la résistance. Ainsi, les propriétés thermiques décrivent le comportement du matériau vis-à-vis de la chaleur [3].

3-2 Les thermoplastiques

Les thermoplastiques sont des matériaux de la famille des plastiques, qui ont la propriété de se déformer lorsqu'ils sont chauffés, et de retrouver leurs propriétés physiques quand ils refroidissent tout en conservant la forme qu'on leur a donné.

Cette propriété est très intéressante pour leur mise en forme, d'autant plus que ce phénomène est totalement réversible, ils peuvent donc être recyclés très facilement.

Il existe une grande variété de thermoplastiques possédant des propriétés diverses. Leur température de transformation est en général comprise entre 100° et 300°. Leur résistance aux hautes températures est relativement limitée (rares sont ceux qui résistent à plus de 250°) et leur coefficient de dilatation thermique et à prendre en compte. Ils offrent pour la plupart une bonne résistance aux acides et aux bases, mais seuls certains d'entre eux peuvent résister aux solvants. Ils ont une conductivité thermique et électrique faible. Enfin la température à une influence non négligeable sur leurs propriétés mécaniques, il faut faire particulièrement attention aux risques de fluage lorsqu'ils sont utilisés à des températures élevées.

Les principaux thermoplastiques utilisés en plasturgie sont citez au tableau les suivants.

Tableau II.1 Les principaux thermoplastiques utilisés en plasturgie.

Propriétés de quelques thermoplastiques				
Code	Nom	Température de fusion (°C)	Température maxi d'usage (°C)	Module E (GPa)
ABS	Acrylonitrile butadiène styrène	105-120	70-85	2,5
PA-6	Polyamides (polycaprolactame)	215	85	1
PA-6,6	Polyamides(poly(hexaméthylène adipamide))	260	90	1,5
PC	Polycarbonate	220-250	120	2,4
PE-HD	Polyéthylène à haute densité	124-135	90	0,8-1,2
PE-LD	Polyéthylène à basse densité	100-125	70	0,15-0,3
PET Amorphe	Polyéthylène téréphtalate	255	100	2,7
PET Cristallin	Polyéthylène téréphtalate	260	100	4,1
PMMA	Polyméthacrylate de méthyle	130-140	60-90	3
PP	Polypropylène	165	100	1,3
PS Cristal	Polystyrène	100	60	3,2
PVC Rigide	polychlorure de vinyle ou chlorure de polyvinyle	100-120	65	2,4

3-3 Polymères thermodurcissables

Les thermodurcissables durcissent quand on les chauffe. Un exemple connu est celui des colles ou des peintures. Ils sont également très employés comme pièces de structure thermostables, par exemple les résines polyépoxydes, certains polyuréthanes, certains polyesters.

On les met en forme lorsqu'ils sont encore dans leur état mou, de la même manière que les thermoplastiques, avant qu'ils ne durcissent sous l'effet de la chaleur et d'additifs chimiques qui induisent la réaction de polymérisation.

On trouve plusieurs types de thermodurcissables et on cite les principaux suivant :

- Les polyuréthanes (PUR).
- Les polyptères instaurés.
- Les phénoplastes (PF).

3-4 Les élastomères

a) Définition

Les élastomères thermoplastiques (TPE), parfois appelée caoutchoucs thermoplastiques, sont une classe de copolymères ou un mélange physique de polymères (généralement une matière plastique et en caoutchouc) qui se composent de matériaux thermoplastiques et à la fois avec des propriétés élastomères.

Sous l'effet d'une contrainte, les molécules peuvent glisser les unes par rapport aux autres et se déformer [3].

b) Types d'élastomères thermoplastiques (TPE)

- TPE-O - oléfines thermoplastiques (mélange continu associant le dur et le mou).
- TPE-V - composé PP/EPDM vulcanisé.
- TPE-U - Polyuréthane thermoplastique.
- TPE-S - composé SBS, SEBS ou SEPS styrénique.
- TPE-E - composé de copolyester.
- TPE-A - Polyamide thermoplastique [3].

4- Typologies

4-1 Moulage par extrusion-soufflage

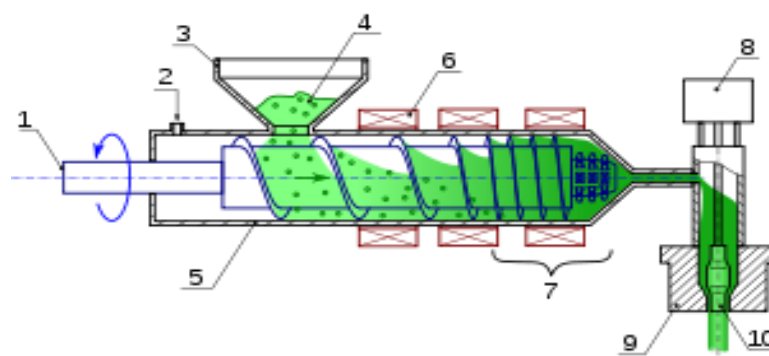


Figure II.6 moulage par extrusion soufflage

Dans le moulage par extrusion-soufflage (EBM), le plastique est fondu et extrudé dans un tube creux (une paraison). Cette paraison est ensuite capturée en la refermant dans un moule métallique refroidi. De l'air est ensuite insufflé dans la paraison, la gonflant sous la forme d'une bouteille, d'un récipient ou d'une pièce creuse. Une fois le plastique suffisamment refroidi, le moule est ouvert et la pièce est éjectée [24].

Exemples de pièces fabriquées selon le procédé EBM: la plupart des produits creux en polyéthylène, des bouteilles de lait, des bouteilles de shampoing, des conduits automobiles, des arrosoirs et des pièces industrielles creuses telles que des fûts.

Avantages

- Faible coût des outils et des matrices
- Cadences de production rapides
- Capacité à mouler des pièces complexes
- Les poignées peuvent être incorporées dans la conception

Désavantages

- Limité aux pièces creuses
- Faible résistance [de quoi?]
- Les Paraisons sont souvent constituées de matériaux mixtes (multicouches), pour augmenter leurs propriétés barrières, et ne sont donc pas recyclables
- Pour fabriquer des bocaux à col large, une coupe par rotation est nécessaire.

EBM droit

L'EBM droit est un moyen de propulser le matériau vers l'avant, similaire au moulage par injection, dans lequel une vis d'Archimède tourne, puis s'arrête et pousse la fonte.

Avec un accumulateur

Avec la méthode de l'accumulateur, un accumulateur rassemble du plastique fondu et lorsque le moule précédent s'est refroidi et qu'une quantité suffisante de plastique s'est accumulée, une tige pousse le plastique fondu et forme la paraison. Dans ce cas, la vis peut tourner en continu ou par intermittence [25]. Avec l'extrusion continue, le poids de la paraison entraîne la paraison et rend le calibrage de l'épaisseur de paroi difficile. Les procédés à tête d'accumulateur ou à vis alternative utilisent des systèmes hydrauliques pour pousser la paraison vers l'extérieur, réduisant rapidement l'effet du poids et permettant un contrôle précis de l'épaisseur de la paroi en ajustant l'espace de la matrice avec un dispositif de programmation de paraison. C'est aussi une façon de se transformer en accumulateur.

4-2 Moulage par extrusion-soufflage en continu

Le moulage par extrusion-soufflage continu est une variante du moulage par extrusion-soufflage. Dans le moulage par extrusion-soufflage en continu, la paraison est extrudée en continu et les pièces individuelles sont coupées par un couteau approprié.

Équipement d'extrusion continue

- systèmes de moulage par soufflage à roue rotative
- machines de navette

4-3 Moulage par extrusion-soufflage intermittent

Le moulage par extrusion-soufflage intermittent est une variante du moulage par extrusion-soufflage.

Machines d'extrusion intermittente

- machines à vis alternatives
- machines de tête d'accumulateur
- **Coupe par rotation**

Les récipients tels que les pots ont souvent un excès de matière en raison du processus de moulage. Ceci est coupé en faisant tourner un couteau autour du récipient qui coupe le matériau. Cet excès de plastique est ensuite recyclé pour créer de nouvelles moulures. Les Spin Trimmers sont utilisés sur un certain nombre de matériaux, tels que le PVC, le HDPE et le PE + LDPE. Différents types de matériaux ont leurs propres caractéristiques physiques affectant la coupe. Par exemple, les moulages produits à partir de matériaux amorphes sont beaucoup plus difficiles à couper que les matériaux cristallins. Les lames revêtues de titane sont souvent utilisées plutôt que l'acier standard pour augmenter la durée de vie d'un facteur 30 fois.

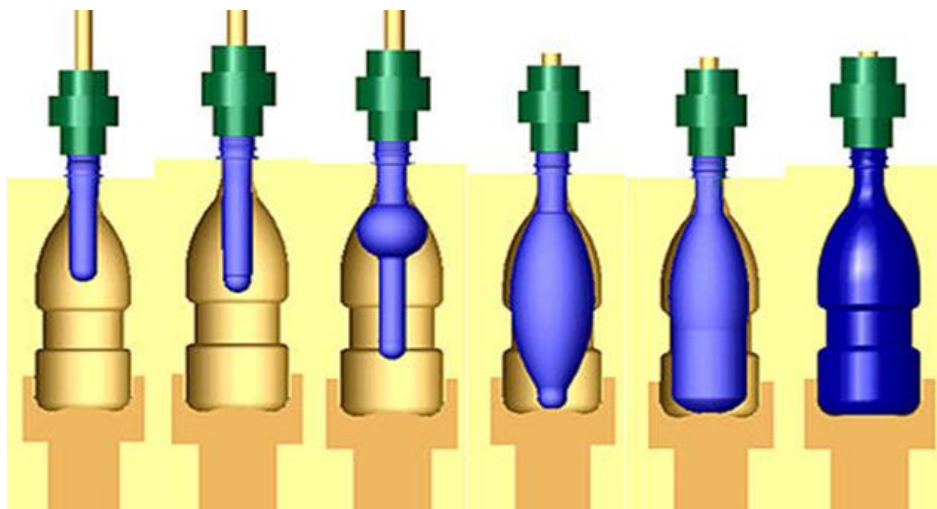
4-4 Moulage par injection-soufflage

Figure II.7 moulage par injection d'une bouteille en plastique

Le procédé de moulage par injection-soufflage (IBM) est utilisé pour la production d'objets en verre creux et en plastique en grande quantité. Dans le procédé IBM, le polymère est moulée par injection sur une broche centrale; puis la broche centrale est mise en rotation vers un poste de moulage par soufflage pour être gonflée et refroidie. C'est le moins utilisé des trois procédés de moulage par soufflage et il est généralement utilisé pour fabriquer de petites bouteilles médicales et individuelles. Le processus est divisé en trois étapes: injection, soufflage et éjection.

La machine de moulage par injection-soufflage est basée sur un ensemble cylindre et vis extrudeuse qui fait fondre le polymère. Le polymère fondu est introduit dans un collecteur de canaux chauds où il est injecté à travers des buses dans une cavité chauffée et une broche centrale. Le moule à cavité forme la forme externe, et est serré autour d'une tige centrale qui forme la forme interne de la préforme. La préforme se compose d'un goulot de bouteille / bocal entièrement formé avec un tube épais de polymère attaché, qui formera le corps. Semblable en apparence à un tube à essai avec un col fileté.

Le moule de préforme s'ouvre et la tige centrale est tournée et serrée dans le moule de soufflage creux et refroidi. L'extrémité de la tige centrale s'ouvre et laisse entrer l'air comprimé dans la préforme, qui la gonfle à la forme de l'article fini.

Après une période de refroidissement, le moule de soufflage s'ouvre et la tige centrale est tournée vers la position d'éjection. L'article fini est enlevé de la tige centrale et, en option, peut être soumis à un test d'étanchéité avant l'emballage. La préforme et le moule de soufflage peuvent avoir de nombreuses cavités, typiquement de trois à seize en fonction de la taille de l'article et du rendement requis. Il existe trois ensembles de tiges de noyau, qui permettent l'injection de préformes, le moulage par soufflage et l'éjection simultanés.

Avantages

- Il produit un col moulé par injection pour plus de précision.

Désavantages

- Convient uniquement aux bouteilles de petite capacité car il est difficile de contrôler le centre de la base pendant le soufflage.
- Aucune augmentation de la résistance de la barrière car le matériau n'est pas étiré biaxialement.
- Les poignées ne peuvent pas être incorporées.

4-5 Moulage par injection-étirage-soufflage

Le moulage par injection-étirage-soufflage a deux méthodes principales différentes, à savoir le processus à une étape et à deux étapes. Le processus en une seule étape est ensuite à nouveau décomposé en machines à 3 et 4 stations.

En une seule étape

Dans le processus en une seule étape, la fabrication des préformes et le soufflage des bouteilles sont effectués dans la même machine. L'ancienne méthode à 4 stations d'injection, de réchauffage, d'étirage, de soufflage et d'éjection est plus coûteuse que la machine à 3 stations qui élimine l'étape de réchauffage et utilise la chaleur latente dans la préforme, économisant ainsi les coûts d'énergie pour réchauffer et 25% de réduction de l'outillage. Le processus a expliqué: Imaginez que les molécules sont de petites boules rondes, lorsqu'elles ont ensemble de grands espaces d'air et un petit contact de surface, en étirant d'abord les molécules verticalement puis en soufflant pour s'étirer horizontalement, l'étirement biaxial donne aux molécules une forme en croix. Ces "croix" s'emboîtent en laissant peu d'espace car une plus grande surface est mise en contact, rendant ainsi le matériau moins poreux et augmentant la résistance de la barrière contre la perméation. Ce processus augmente également la résistance pour être idéal pour le remplissage de boissons gazeuses.

Avantages

Convient parfaitement aux petits volumes et aux petites séries. Comme la préforme n'est pas libérée pendant tout le processus, l'épaisseur de la paroi de la préforme peut être formée pour permettre une épaisseur de paroi uniforme lors du soufflage de formes rectangulaires et non rondes.

Désavantages

Restrictions sur la conception des bouteilles - seule une base de champagne peut être fabriquée pour les bouteilles gazeuses.

À deux étapes

Dans le processus de moulage par injection-étirage-soufflage en deux étapes, le plastique est d'abord moulé en une «préforme» en utilisant le processus de moulage par injection. Ces préformes sont réalisées avec les goulots des bouteilles, notamment des filets (la " finition") sur une extrémité. Ces préformes sont conditionnées et introduites plus tard (après refroidissement) dans une machine de moulage par étirage-soufflage à réchauffage. Dans le processus ISBM, les préformes sont chauffées (généralement à l'aide de radiateurs

infrarouges)

au-dessus de leur température de transition vitreuse, puis soufflées à l'aide d'air à haute pression dans des bouteilles à l'aide de moules de soufflage métalliques. La préforme est toujours étirée avec une tige centrale dans le cadre du processus.

Avantages

Des volumes très élevés sont produits. Petite restriction sur la conception de la bouteille. Les préformes peuvent être vendues en tant qu'élément terminé pour un tiers à souffler. Convient aux bouteilles cylindriques, rectangulaires ou ovales.

Désavantages

Coût en capital élevé. L'espace au sol requis est élevé, bien que des systèmes compacts soient devenus disponibles.

Voir également

- Mélangeur gravimétrique
- Moule-A-Rama
- Moulage
- Machine de formage de plastique

5- Conception des outillages

Les moules peuvent être mono ou multi-empreintes.

5-1 L'alimentation des empreintes

Elle est réalisée par un système de canaux chauffants, pour éliminer la présence de carottes.

5-2 Moule d'injection de la préforme

Les moules sont classiques dans leur conception sauf :

- le centrage du noyau,
- la régulation fine de la température, les zones sensibles sont : le col, qui devra être solide, la zone de liaison avec la partie très soufflée, le fond du récipient et, au milieu, une zone de fort allongement. Ces diverses zones nécessitent, pour le soufflage, des températures, de la matière, différentes.

5-3 Moule de soufflage

Ce moule doit assurer deux fonctions :

- évacuer les calories de l'objet soufflé le plus vite possible, comme un moule d'extrusion- soufflage,
- laisser évacuer l'air contenu dans le moule pour faciliter le soufflage.

6- Machines

Les machines, de grande productivité, sont conçues autour du principe de carrousel où une opération est réalisée sur des postes différents (injection, réchauffage, soufflage, éjection, etc.).

6- Les préformes

- **Noyaux cylindriques**

Noyaux lisses et empreintes lisses, épaisseur constante : moulage aisé, mais variation d'épaisseur au soufflage.

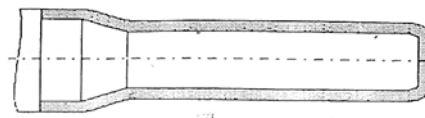


Figure II.8 Noyaux cylindriques

- **Noyaux coniques**

Dépouilles > 0,5%, et formes données par le moule : réalisation simple de plusieurs noyaux, mais forme extérieure pouvant nuire à l'état de surface de l'objet soufflé.

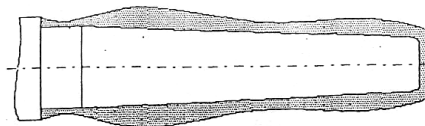


Figure II.9 Noyaux coniques

- **Noyaux étagés et moule lisse**

L'objet soufflé est très « propre », réalisation de plusieurs noyaux onéreuses, et démarrage de fabrication délicat.

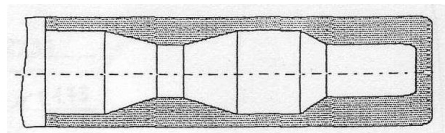


Figure II.10 Noyaux et moule lisse

8- Comparaison de l'injection-soufflage et de l'extrusion- soufflage

Ces techniques permettent de fabriquer des corps creux en grande série. En injection-soufflage, la forme intérieure de l'objet n'est pas obligatoirement homothétique de l'enveloppe extérieure (comme en extrusion-soufflage), ce qui autorise la conception de récipients avec des orifices de très grande résistance mécanique ou des pièces complexes avec des formes creuses.

L'injection-soufflage offre, par rapport à l'extrusion-soufflage, les avantages suivants :

- élimination des lignes de soudure, pas de soudure sur le fond de l'empreinte,
- fabrication précise du goulot des récipients, ou des parties fonctionnelles des pièces (réalisée à l'injection et indépendante du soufflage),
- régularité des épaisseurs après soufflage d'où un gain de poids (on peut prévoir aux endroits très étirés des surépaisseurs au moulage),
- possibilité de mouler des objets avec un grand facteur de forme.
- l'utilisation d'une préforme, permet de mieux programmer les épaisseurs de l'objet, grâce aux moules d'injection,

L'injection-soufflage comporte, par rapport à l'extrusion-soufflage, les inconvénients suivants:

- les possibilités de formes sont plus limitées que par extrusion-soufflage, par exemple, il est très difficile de concevoir un récipient avec une poignée,

9- Exemple de soufflage de bouteilles en PET

Le soufflage des bouteilles et flacons en PET est souvent réalisé au sein même de l'usine de produits alimentaires qui les utilise, afin d'intégrer en un même lieu toute la production et de ne pas avoir à transporter des emballages vides et encombrants.

Les préformes moulées par injection sont maintenues col en haut, elles descendent par gravité jusqu'à la roue d'alimentation qui les charge sur une chaîne de tournettes.

La progression de la chaîne de tournettes entraîne la rotation des préformes sur leur axe et leur défilement en continu dans le four. Les préformes y sont chauffées par une série de lampes infrarouges (IR) à quartz. Une ventilation assure un refroidissement superficiel des préformes, tandis que les IR les chauffent à coeur. La température est contrôlée et asservie sur toute la hauteur de la préforme : la zone située sous le col est chauffée davantage afin d'obtenir un taux d'étirage plus important ; les cols sont maintenus à basse température afin qu'ils ne soient pas déformés pendant le soufflage car ils doivent conserver le même diamètre jusqu'au

bouchage.

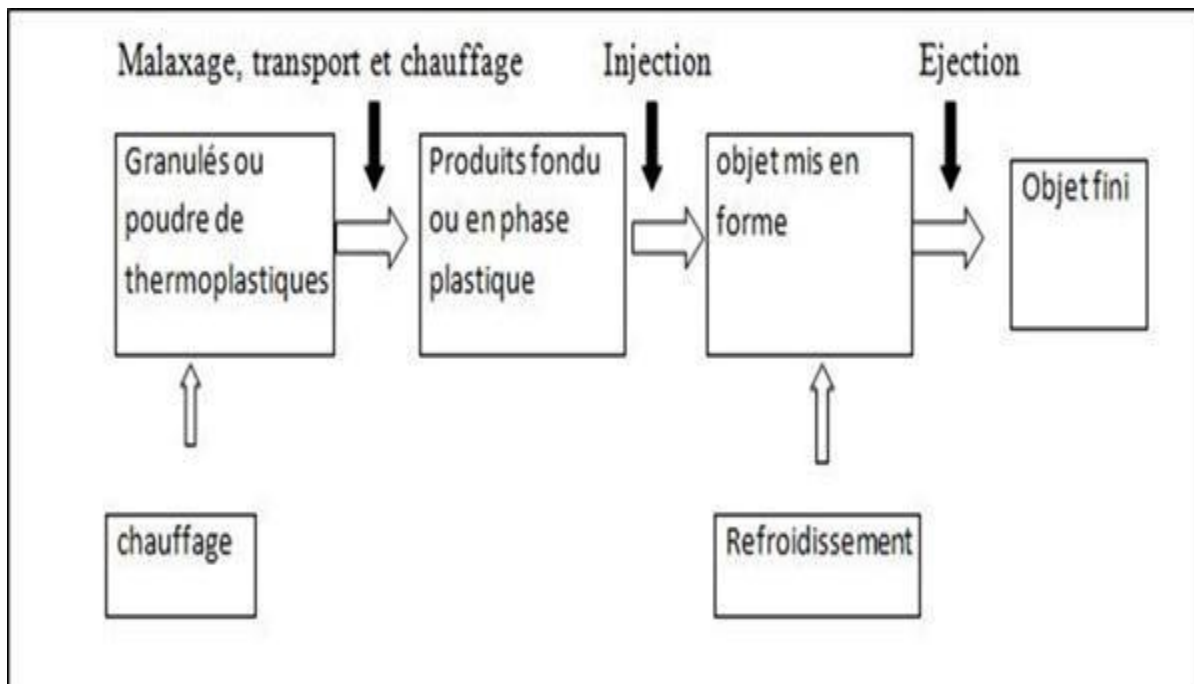


Figure II.11 Cycle d'injection

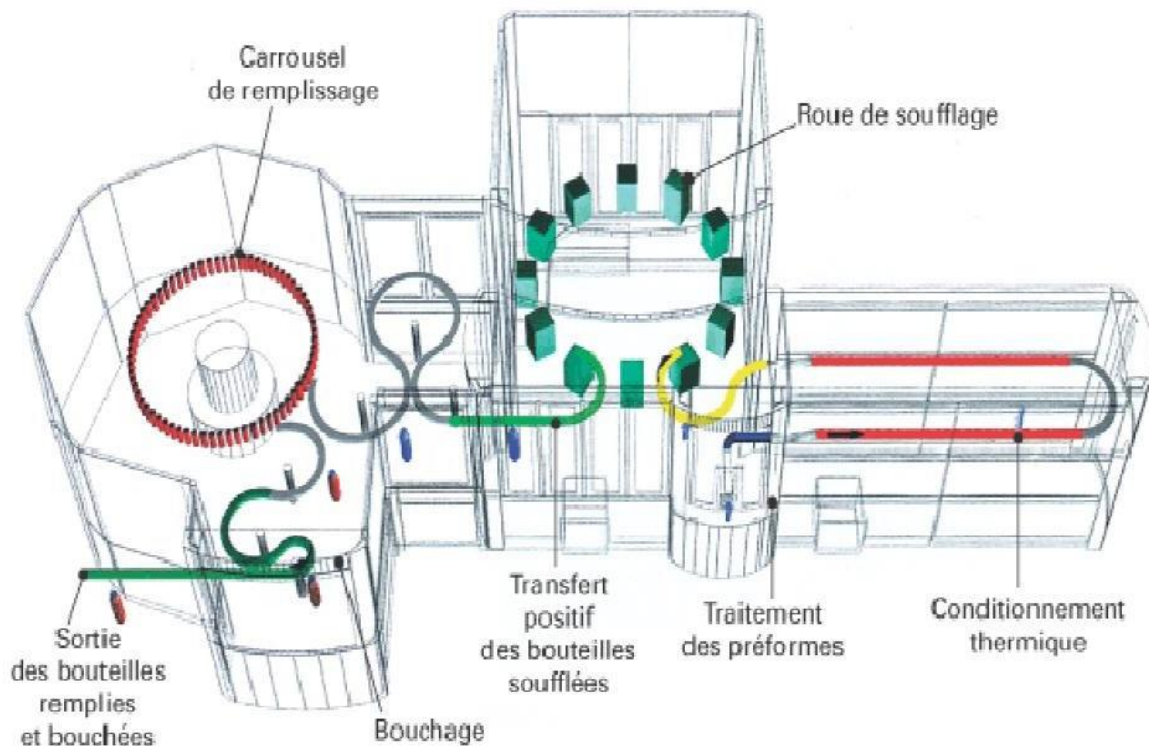


Figure II.12 Machine de soufflage des bouteilles pets

À la sortie du four, les préformes sont transférées vers une roue de soufflage ou vers une presse comportant un certain nombre de moules. La rotation de la roue de soufflage permet d'enchaîner les différentes phases de la bi-orientation. Le soufflage est effectué au moyen d'une tuyère (par exemple, tuyère-cloche sur les machines Sidel). Après descente de la tuyère, un étirage longitudinal est effectué par une tige d'élongation. Un pré-soufflage initie l'étirage latéral. À la fin de la course d'étirage, le soufflage à haute pression achève l'étirage latéral et bloque la paroi de la bouteille contre le moule.

Après refroidissement et ouverture des moules, les bouteilles ou flacons sont repris par des bras de transfert et évacués entre des rails de guidage et, dans la plupart des cas, ils sont immédiatement transférés aux étiqueteuses et soutireuses.

Les cadences de production s'étendent de 4 000 à 28 000 bouteilles par heure (bph).

CHAPITRE III

conception d'un

moule par

soufflage

1- Introduction

Les logiciels CAO sont aujourd'hui indispensables dans l'industrie des moules, la plupart 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 [25].

2- Généralité sur les logiciels de CAO

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 l'avec des outillés simples : cotation, fond de plan. Ces logiciels sont souvent utilisé en complément des logiciels 3D parce que la mise en plan est plus rapide.

2-2 Logiciels 3D filaire

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

2-3 Logiciels 3D surfacique

Ces logiciels sont plus adaptés à 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 [26].

2-4 Logiciels 3D volumiques

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

2-5 Avantage des logiciels 3D volumique

Dans les assemblages : l'identification les interférences entre les différentes 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 [26].

2-6 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.

3- Application

Les solutions techniques et technologiques permettent de fabriquer des récipients PET résistants à la température des liquides **jusqu'à 88°C**.

3-1 Méthode d'introduction

- choix libre de la forme de bouteille,
- application d'azote,
- réchauffage du moule de soufflage,
- refroidissement du récipient PET à l'aide de l'air comprimé grâce à la barre d'étirage,
- refroidissement supplémentaire du récipient PET après sa sortie du moule de soufflage,
- consommation d'air plus basse (env. 20-40%) « Remplissage à chaud+ » en comparaison avec un « remplissage à chaud classique »,
- fond standard,
- petit poids de la bouteille [28].

3-2 Paramètres d'efficacité des machines Blueline

BLUE LINE		Paramètres des bouteilles				Efficacité*		Volume le plus efficace
Machine d'étirage-soufflage de série Blueline	Cavités	Volume max.	Hauteur max.	Diamètre max.	Diamètre de col max.	Blueline HiTech	Blueline Standard	
Blueline_2	2	2,5 L	350 mm	110	38 mm	3600	3000	1,5 L bouteille standard de petit poids
Blueline_3	3	2,5 L	350 mm	110	38 mm	5400	4500	
Blueline_4	4	2,5 L	350 mm	110	38 mm	7200	6000	
Blueline_6	6	2,5 L	350 mm	110	38 mm	10000	9000	
Blueline_8	8	2,5 L	350 mm	110	38 mm	12000	-	
Blueline_1B	1	7,0 L	350 mm	190	45 mm	-	1000	5,0 L bouteille standard de petit poids
Blueline_2B	2	7,0 L	350 mm	190	45 mm	-	2000	
Blueline_3B	3	7,0 L	350 mm	190	45 mm	-	3000	
Blueline_4HF	4	2,5 L	350 mm	110	38 mm	-	5000	0,5 L bouteille avec du liquide chaud
Blueline_6HF	6	2,5 L	350 mm	110	38 mm	-	7000	
Blueline_8HF	8	2,5 L	350 mm	110	38 mm	-	9000	

*Efficacité définitive dépend du poids de préforme, conception de bouteille, etc; [28]

4- La conception d'un moule par soufflage par Solidworks

Nous avons évalué et optimisé le modèle en réalisant une étude de conception par CAO sous Solidworks, qui a permis la bonne conception de modélisation d'un demi-moule qui contient deux empreinte, tel que il représente l'un quatrième de demi-moule réelle, voir la figure 1

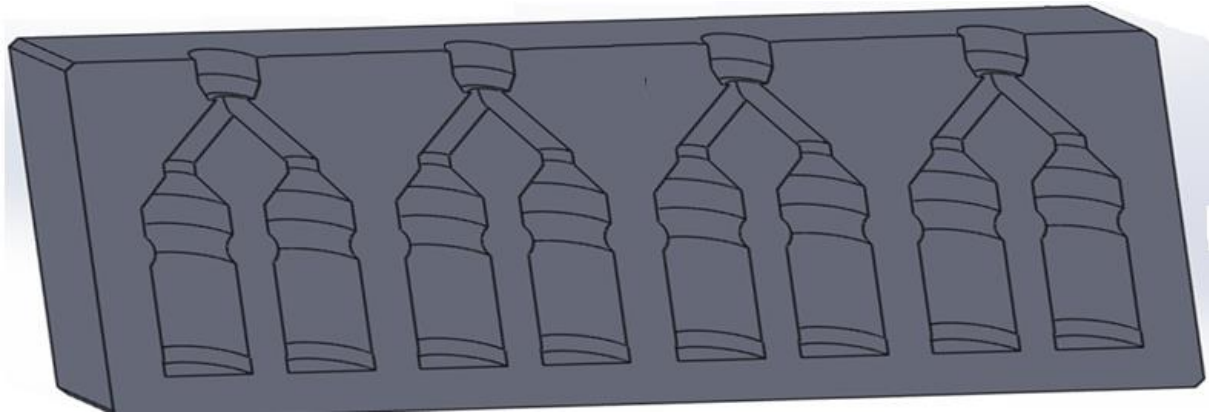
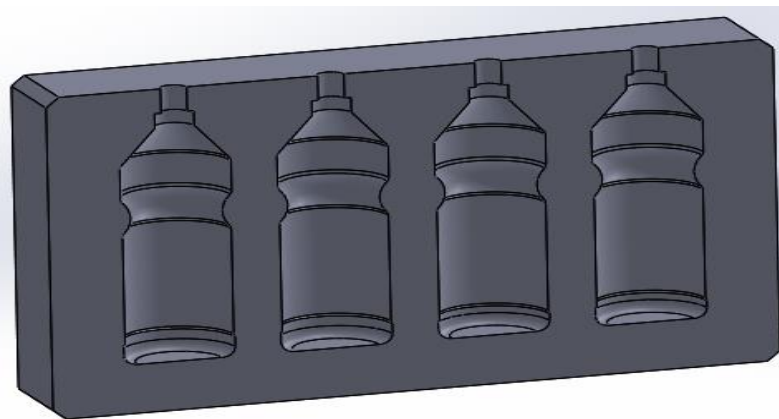


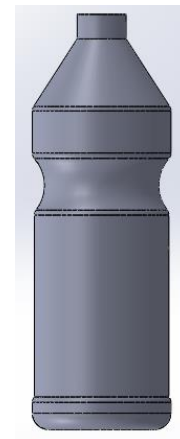
Figure III.1 La forme de demi-moule d'injection par soufflage

A partir de la forme de l'empreinte ou de la cavité dans le demi-moule réellement existant à l'injection par soufflage, voir les figures III.2 a et III.2 b



(a)

Figure III.2.a Demi-moule d'injection par soufflage



(b)

Figure III.2.b La forme de la bouteille (empreinte)

A- Notre objectif

Nous avons fait la conception sous Solidworks du moule qui contient huit empreintes, on peut dire que ça a doublé le rendement.

B- Choix du model

Le choix d'un quatrième de demi-moule comme un échantillon qui faciliter l'étude et simplifier la conception sous le Solidworks.

Les figures ci-dessous représentent notre model

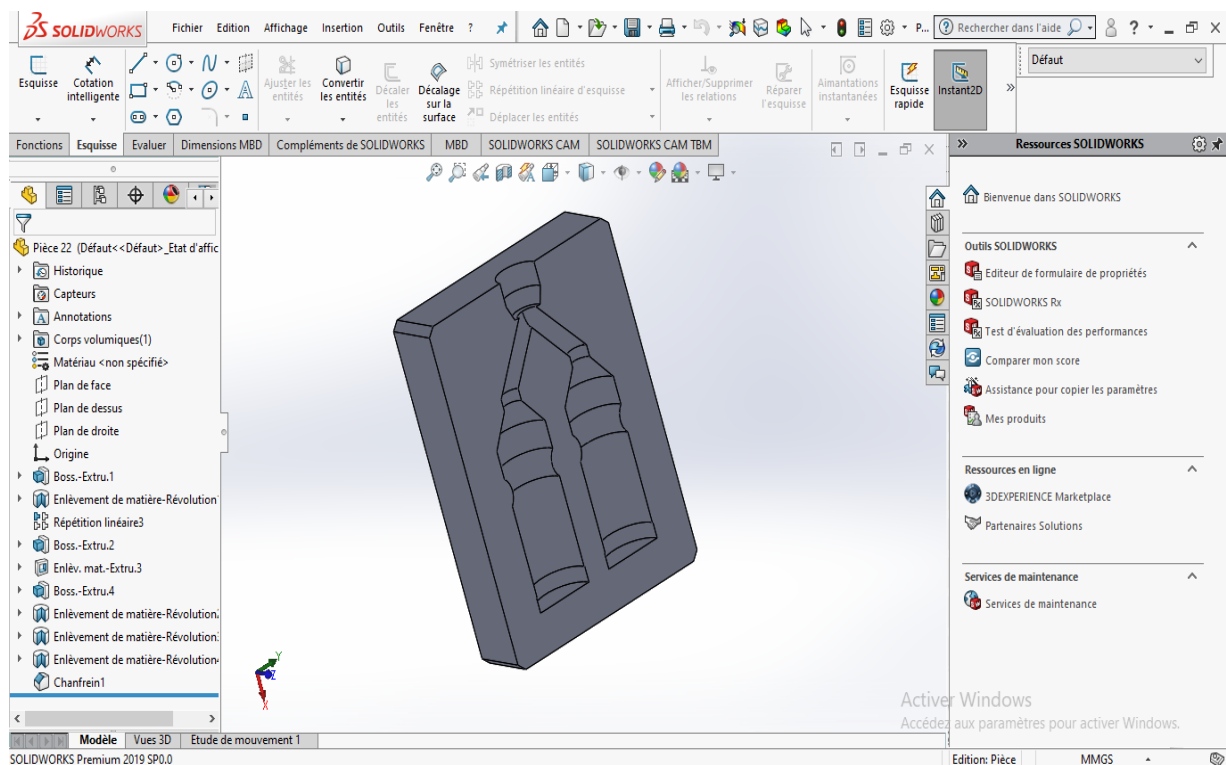


Figure III.3.a L'un quatrième du moule d'injection par soufflage sous SOLIDWORKS

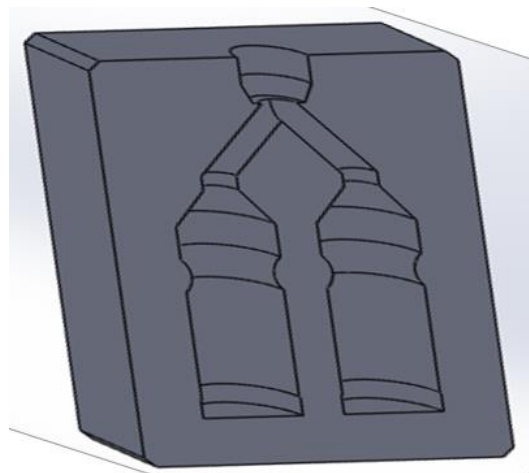


Figure III.3.b L'empreinte dans le moule d'injection par soufflage sous SOLIDWORKS

C- Dimensionnement du moule

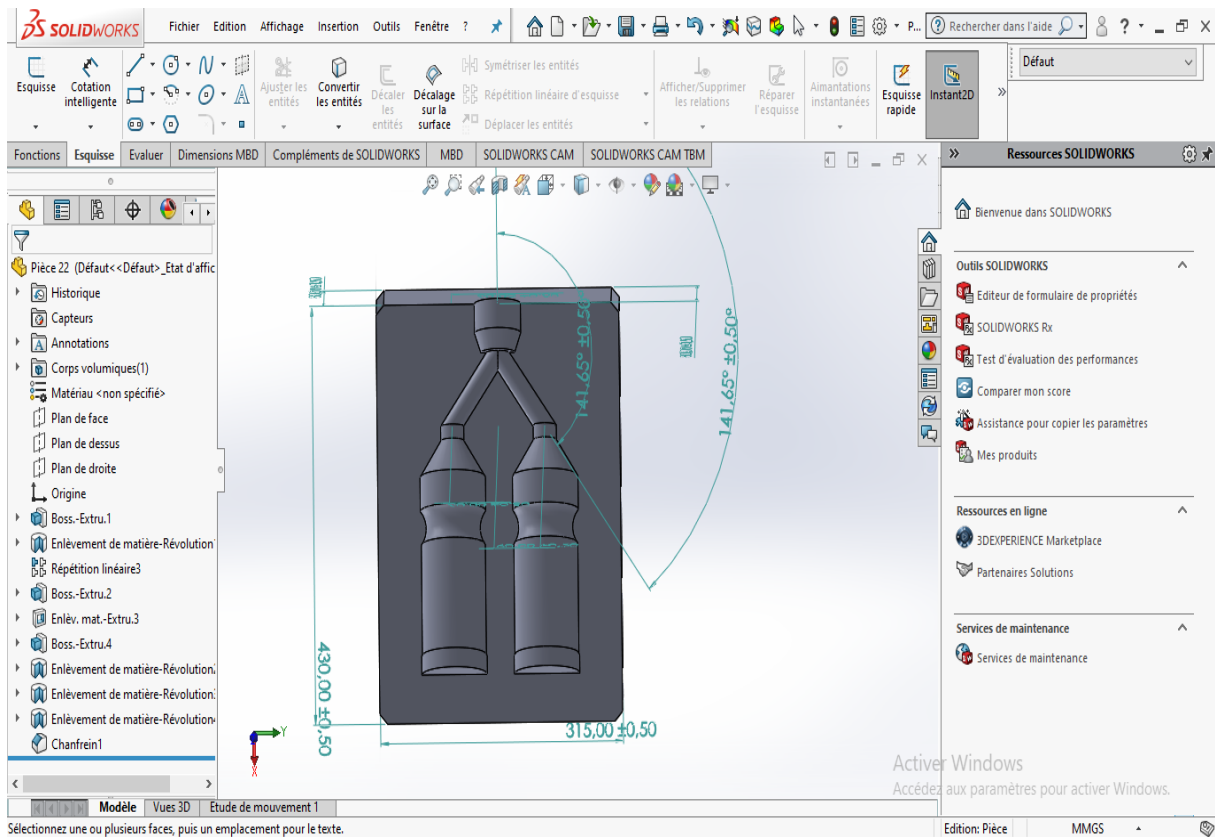


Figure III.4 Les dimensions du moule d'injection par soufflage sous SOLIDWORKS

4-1 La simulation numérique par l'ABAQUS

Pour réaliser la simulation avec le logiciel Abaqus on doit importer le modèle créé précédemment avec Solidworks .

4-2 Caractéristiques mécaniques du matériau du moule

Matériaux

Le moule d'injection-soufflage est fabriqué de l'acier thermo traitable: **C45 (XC48)**

Matériau	Module de Young (MPa)	Coefficient de poisson
C45 (XC48)	210 000	0,3

5- Type du chargement et les conditions aux limites

Le chargement mécanique est une pression appliquée à l'intérieur du moule de valeur (7 bar), qui ont supposé les conceptions aux limites est-il encastrée sur les côtés, voir les figures Fig.III.5 et Fig.III. 6

5-1 Le chargement mécanique

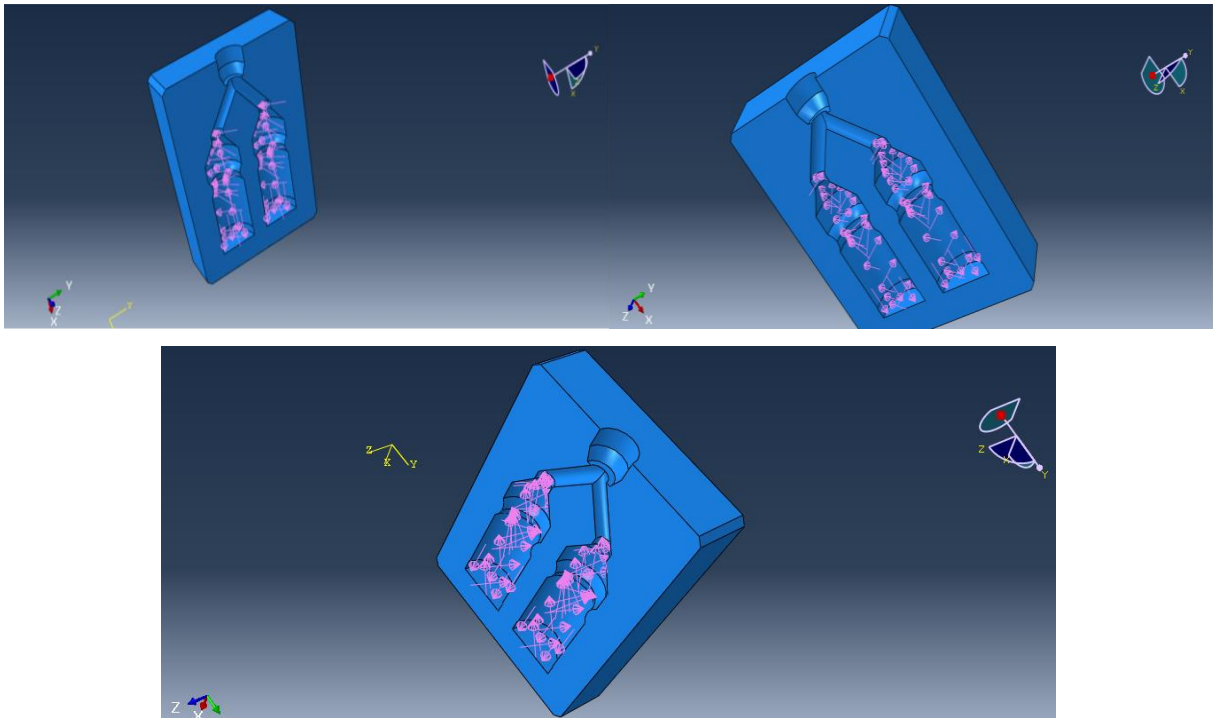


Figure III.5 Le chargement à l'empreinte dans le moule

5-2 Les conductions aux limites

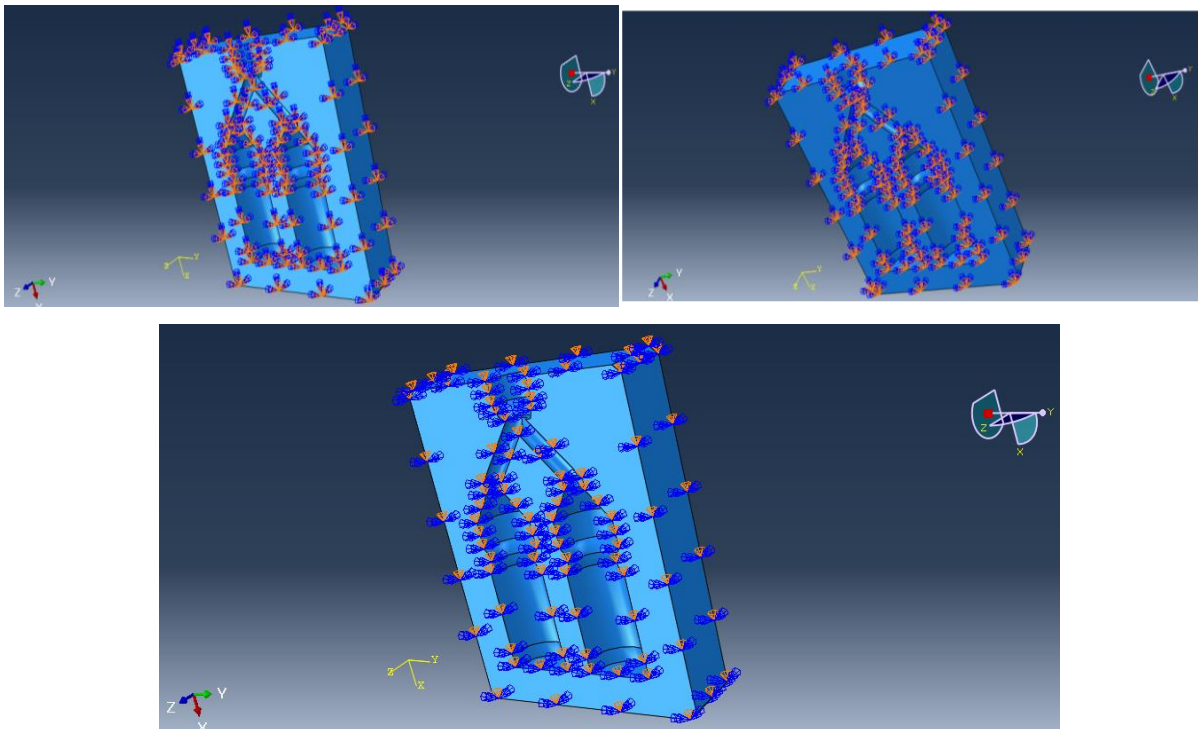


Figure III.6 Les conductions aux limites

5-3 Le maillage

L'éléments fini sélectionné est le tétraédrique à 4 nœuds, tel que :

Nombre d'éléments est : 21581

Le nombre de nœuds est de : 32942

Nombre de nœuds définis par l'utilisateur : 32942

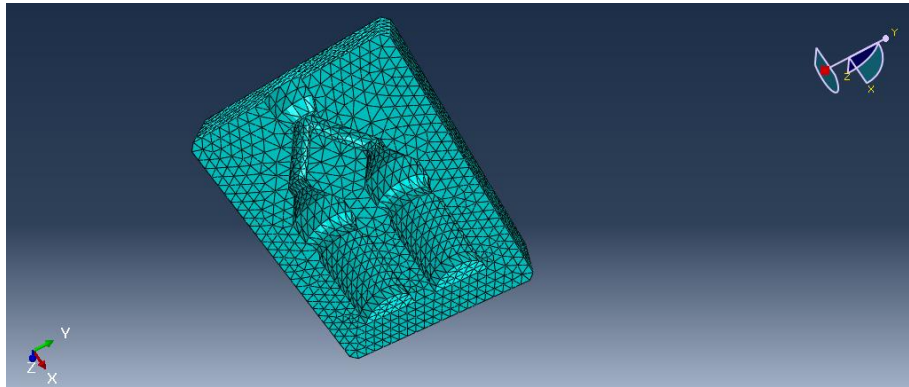


Figure III.7 Le maillage

6- Résultats

6-1 La concentration des contraintes

Les résultats obtenus par la simulation numérique sont les suivant :

6-1-1 Contrainte de Von mises

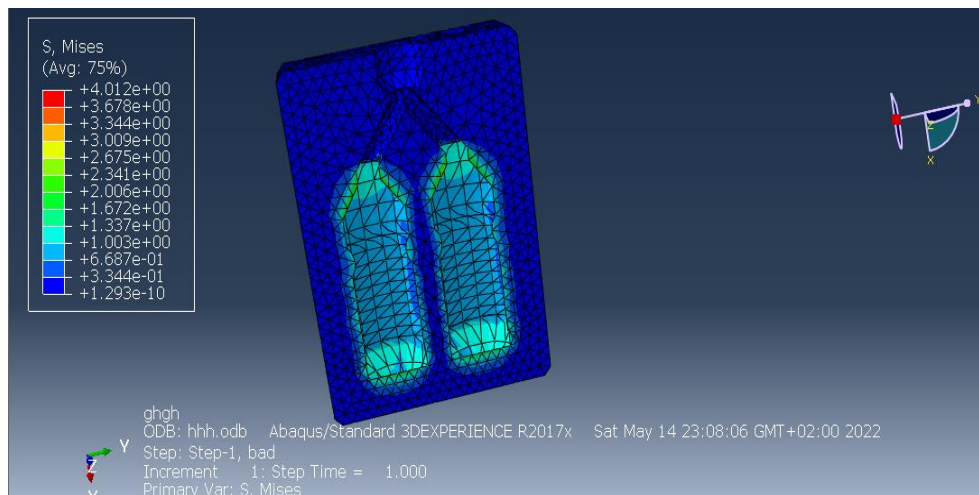


Figure III.8 La concentration des contraintes de Von Mises.

Les résultats obtenus d'après la simulation numérique voir la figure III-8 sur l'un quatrième du demi-moule on a :

- La contrainte de Von Mises max est : 4.012 N/mm^2 .
- La contrainte de Von Mises min est : $1.293 \times 10^{-10} \text{ N/mm}^2$.

La concentration des contraintes de Von Mises est observée sur les surfaces qui font face à la direction d'injection, c'est-à-dire dans le fond de la bouteille et la surfaces qui en faces le fond de la bouteille, tandis que au reste des zones la contrainte de Von Misés est très faible.

6-1-2 Contrainte principale maximale

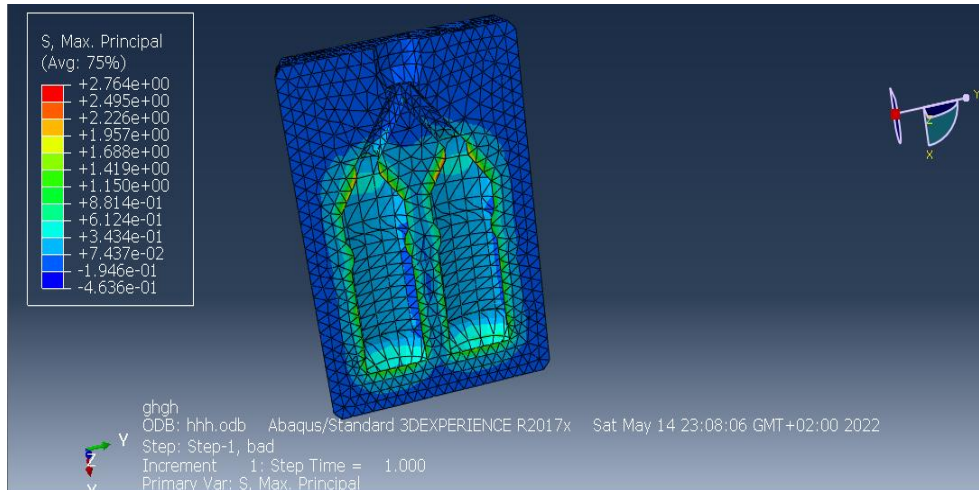


Figure III.9 La contrainte principale maximale.

Les résultats obtenus d’après la simulation numérique (Fig. III-9) sur l’un quatrième du demi-moule on a :

- La contrainte maximale principale max : $+2.764 \text{ N/mm}^2$.
- La contrainte maximale principale min : -0.4636 N/mm^2 .

La concentration des contraintes principale maximale est observée sur les surfaces qui font face à la direction d'injection, c'est-à-dire dans le fond de la bouteille et les surfaces en faces du fond de la bouteille, par ailleurs la contrainte principale max est faible.

6-1-3 Contrainte principale minimale

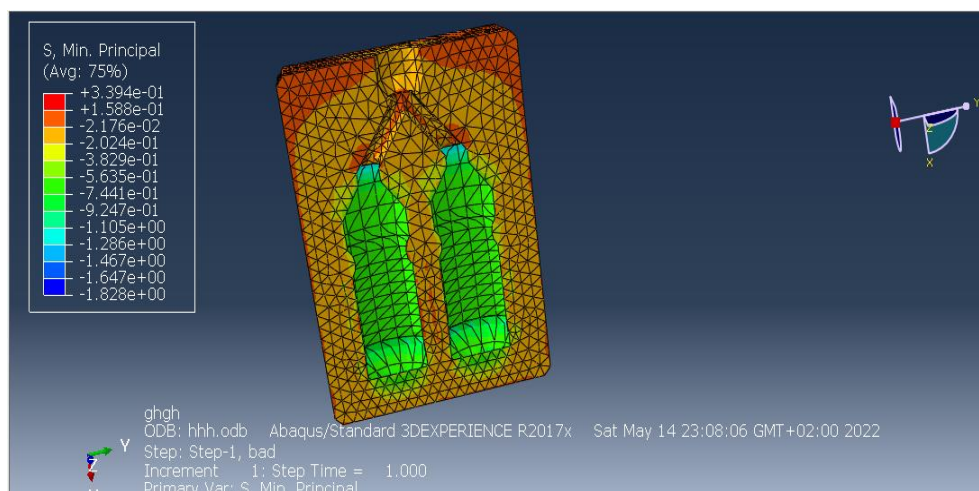


Figure III.10 La contrainte principale minimale.

Les résultats obtenir d'après la simulation numérique voir la figure III-10 sur l'un quatrième du demi-moule on a :

- La contrainte minimale principale max est : 0.3394 N/mm².
- La contrainte minimale principale min est : -1.828 N/mm².

La concentration des contraintes principale minimale est observée sur les parois de surface de surface de la bouteille, dans le reste des zones la contrainte principale min est négligeable.

6-1-4 Contrainte normale σ_{xx}

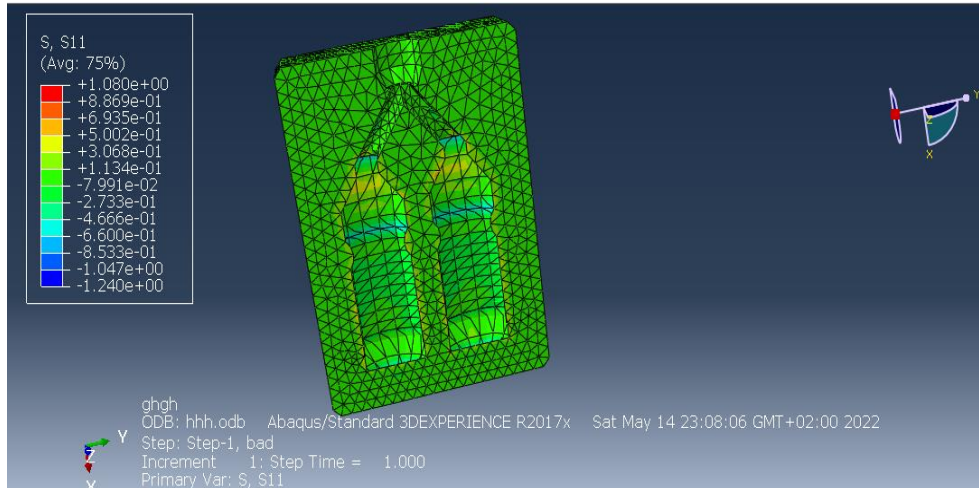


Figure III.11 concentration des contraintes axiale σ_{xx}

Les résultats obtenus d'après la simulation numérique (Fig. III-11) sur l'un quatrième du demi-moule on a :

- La contrainte axiale σ_{xx} max est : +1.080 N/mm².
- La contrainte axiale σ_{xx} min est : -1.240 N/mm².

La concentration des contraintes normale σ_{xx} est observée sur les parois de surface de la bouteille et à l'ouverture de la bouteille avec des petites valeurs est presque négligeable ailleurs.

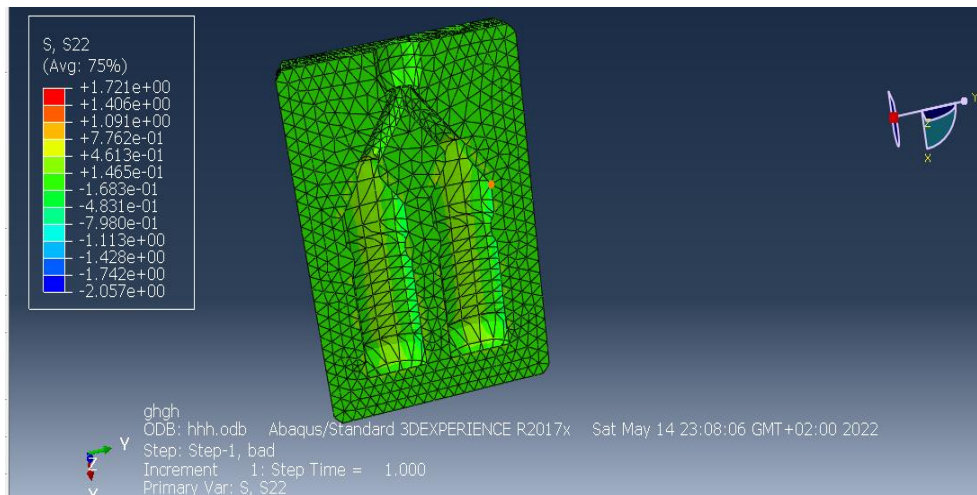
6-1-5 Contrainte normale σ_{yy} 

Figure III.12 La concentration de la contrainte axiale σ_{YY}

Les résultats obtenus d'après la simulation numérique voir la figure III-12 sur l'un quatrième du demi-moule on a :

- La contrainte axiale σ_{YY} max est : $+1.721 \text{ N/mm}^2$.
- La contrainte axiale σ_{YY} min est : -2.057 N/mm^2 .

La concentration des contraintes axiale selon l'axe YY est concentrée sur le centre des parois de la bouteille clairement, on peut dire que ce dernier est négligeable dans l'autre zone.

6-1-6 Contrainte axiale selon l'axe ZZ

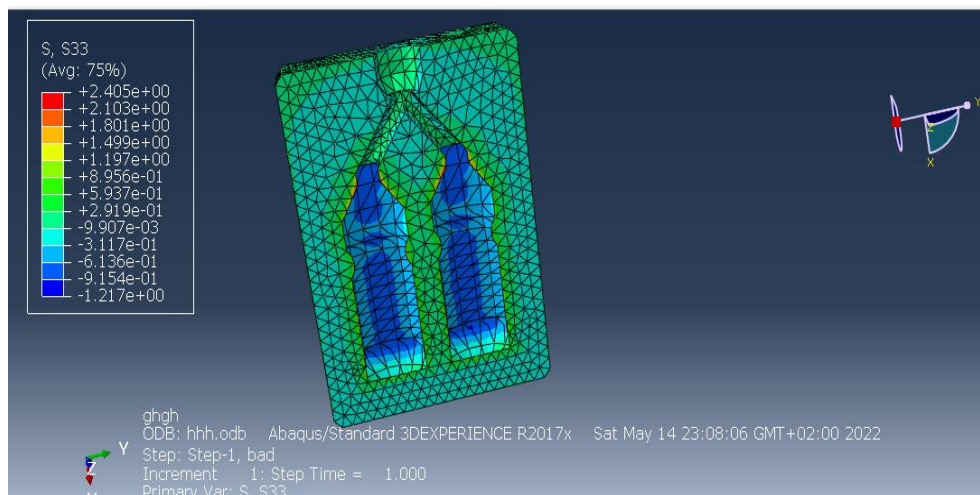


Figure III.13 La concentration de la contrainte axiale σ_{ZZ}

Les résultats obtenus d'après la simulation numérique voir la figure III-13 sur l'un quatrième du demi-moule on a :

- La contrainte axiale σ_{ZZ} max est : $+2.405 \text{ N/mm}^2$.
- La contrainte axiale σ_{ZZ} min est : -1.217 N/mm^2 .

La concentration des contraintes axiales selon l'axe ZZ est concentrée sur la partie de forme conique de l'ouverture de la bouteille et surtout les parois de la bouteille avec des valeurs moyenne.

6-1-7 Contrainte tangentielle τ_{xy}

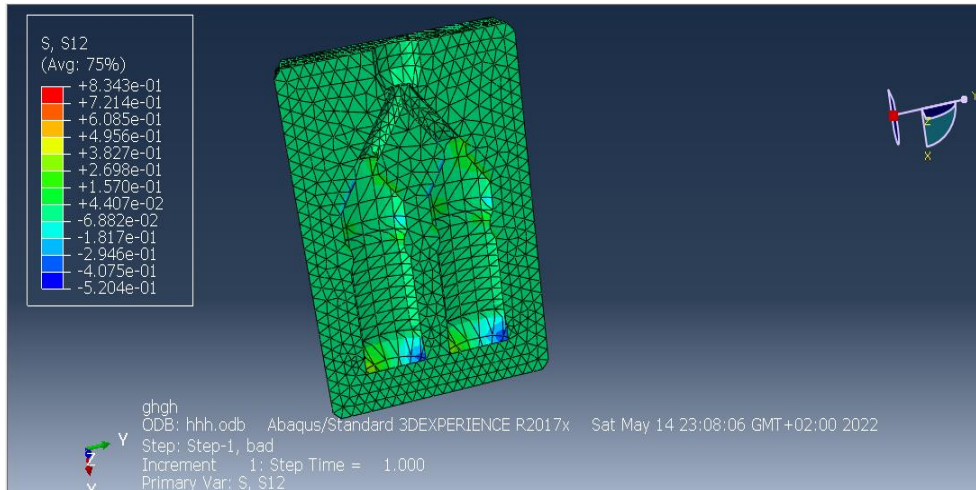


Figure III.14 La concentration de la contrainte tangentielle τ_{xy}

Les résultats obtenir d'après la simulation numérique voir la figure (III-14) sur l'un quatrième du demi-moule on a :

- La contrainte tangentielle τ_{xy} max est : $+0.8343 \text{ N/mm}^2$.
- La contrainte tangentielle τ_{xy} min est : -0.5204 N/mm^2 .

La concentration des contraintes tangentielle τ_{xy} est observée sur un seul côté de fonds de la bouteille en particulier sur la surface inclinée et elles sont faibles ailleurs.

6-1-8 Contrainte tangentielle τ_{xz}

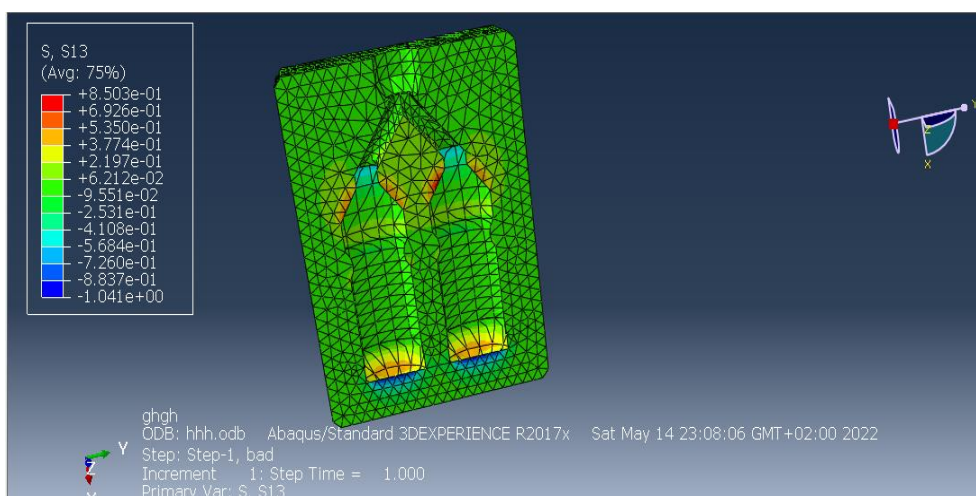


Figure III.15 La concentration de la contrainte tangentielle τ_{xz}

Les résultats obtenir d'après la simulation numérique voir la figure III-15 sur l'un quatrième du demi-moule on a :

- La contrainte tangentielle τ_{XZ} max est : +0.8503 N/mm².
- La contrainte tangentielle τ_{XZ} min est : -1.041 N/mm².

La concentration des contraintes tangentielle τ_{xz} est observée sur les parois coniques et le fonds de la surface de la bouteille, elles sont faibles ailleurs.

6-1-9 Contrainte tangentielle τ_{yz}

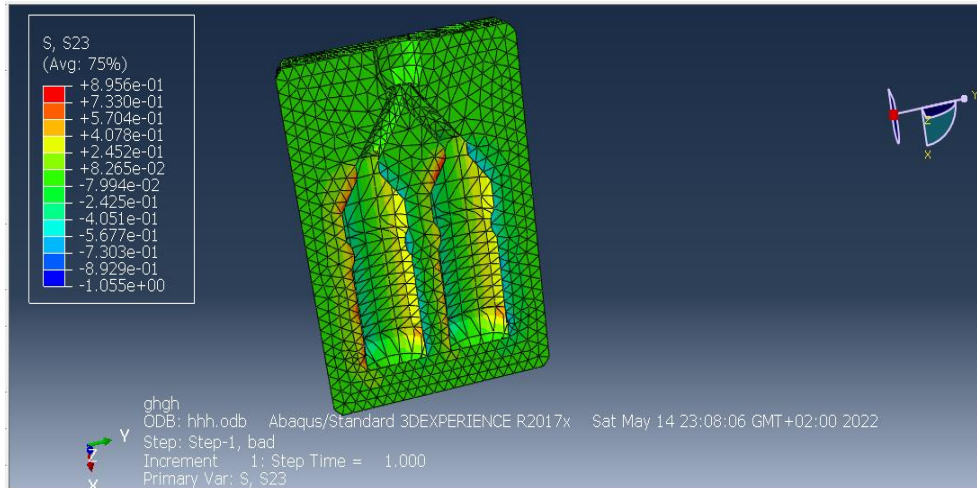


Figure III.16 La concentration de la contrainte tangentielle τ_{yz}

Les résultats obtenir d'après la simulation numérique voir la figure III-16 sur l'un quatrième du demi-moule on a :

- La contrainte tangentielle τ_{YZ} max est : +0.8956 N/mm².
- La contrainte tangentielle τ_{YZ} min est : -1.055 N/mm².

La concentration des contraintes tangentielle τ_{yz} est observée sur les parois côté gauche de la surface de la bouteille ,elles sont faibles ailleurs .

6-2 Les déplacements

6-2-1 Le déplacement équivalent

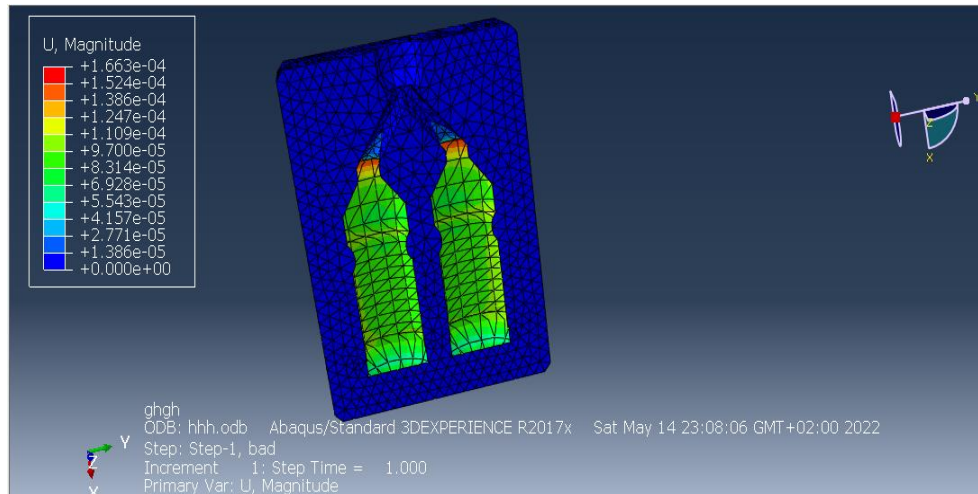


Figure III.17 le déplacement équivalent

Les résultats obtenus par la simulation numérique voir la figure III-17 sur l'un quatrième sont les suivants:

- Le déplacement principale max est : $+1.663 \times 10^{-4}$ **mm.**
- Le déplacement principal min est : **0.000 mm.**

Le déplacement équivalent ce concentre sur les surfaces de la gorge de la bouteille et sur les parois mais avec des valeurs négligeable.

6-2-2 Le déplacement axial U_x

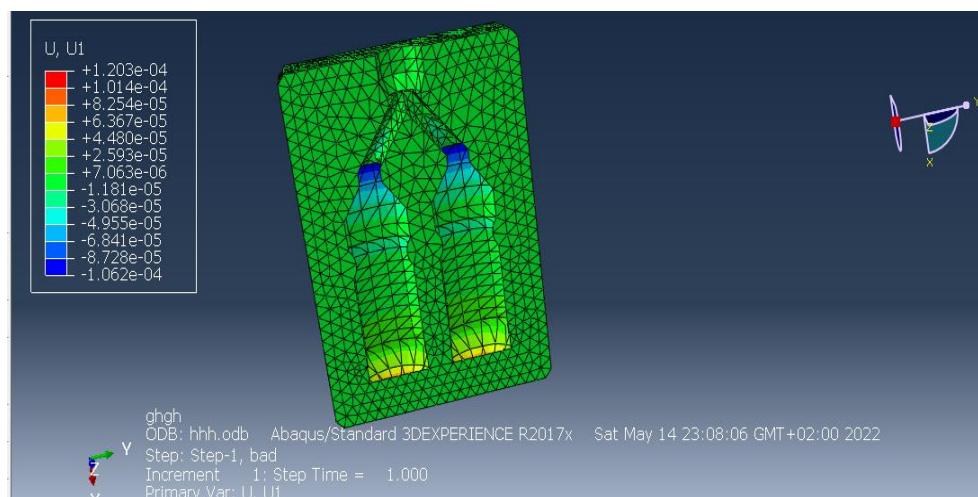


Figure III.18 Le déplacement axial U_x

Les résultats obtenus par la simulation numérique voir la figure (III-18) sur l'un quatrième sont les suivants:

- Le déplacement axial max selon l'axe XX est : $+1.203 \times 10^{-4}$ **mm.**
- Le déplacement axial min selon l'axe XX est : -1.061×10^{-4} **mm.**

Le déplacement axial U_x est concentré de façon dégradé de bas vers l'ouverture de la bouteille avec des valeurs négligeable.

6-2-3 Le déplacement axial U_y

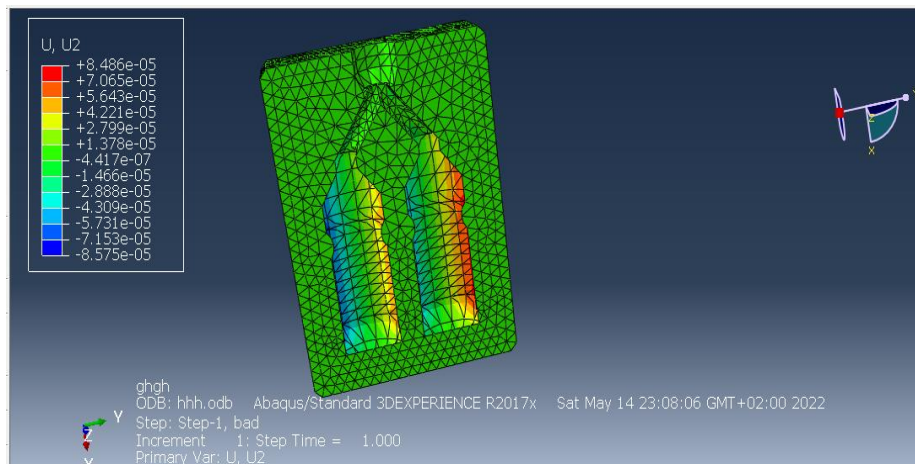


Figure III.19 Le déplacement axial U_y

Les résultats obtenus par la simulation numérique voir la figure (III-19) sur l'un quatrième sont les suivants :

- Le déplacement axial selon l'axe YY max est : $+8.486 \times 10^{-5}$ **mm.**
- Le déplacement axial selon l'axe YY min est : -8.575×10^{-5} **mm.**

Le déplacement axial U_y est concentré de façon dégradée de droite vers la Gauche des parois de la bouteille avec des valeurs négligeable.

6-2-4 Le déplacement axial selon l'axe ZZ

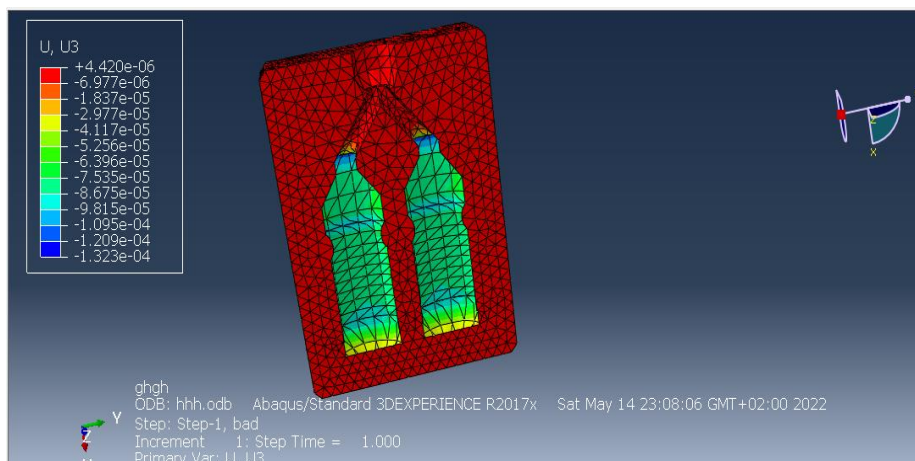


Figure III.20 Le déplacement selon l'axe ZZ

Les résultats obtenus par la simulation numérique voir la figure III-20 sur l'un quatrième sont les suivants :

- Le déplacement axial selon l'axe ZZ max est : $+4.420 \times 10^{-6}$ **mm.**
- Le déplacement axial selon l'axe ZZ min est : -1.323×10^{-4} **mm.**

Le déplacement axial U_z est concentré de façon dégagée à partir de le fonds vers l'ouverture de la bouteille avec des valeurs négligeable.

6-3 Les courbes de la contrainte Von Mises

Nous avons choisi sur les parois de la bouteille comme suite :

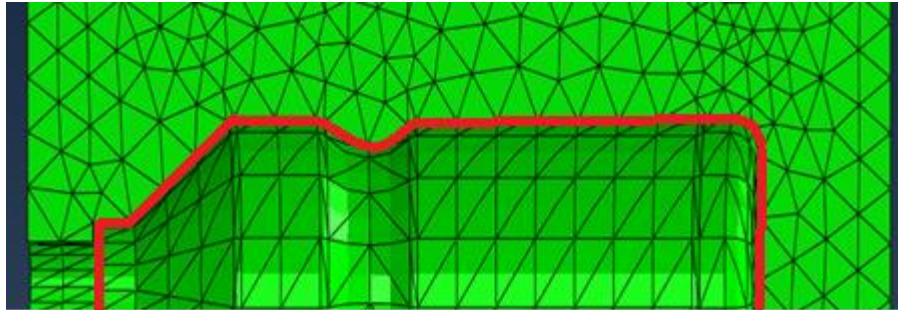


Figure III.21 La trajectoire sur la paroi de la bouteille

On obtient la courbe d'évolution de la contrainte de Von Mises :

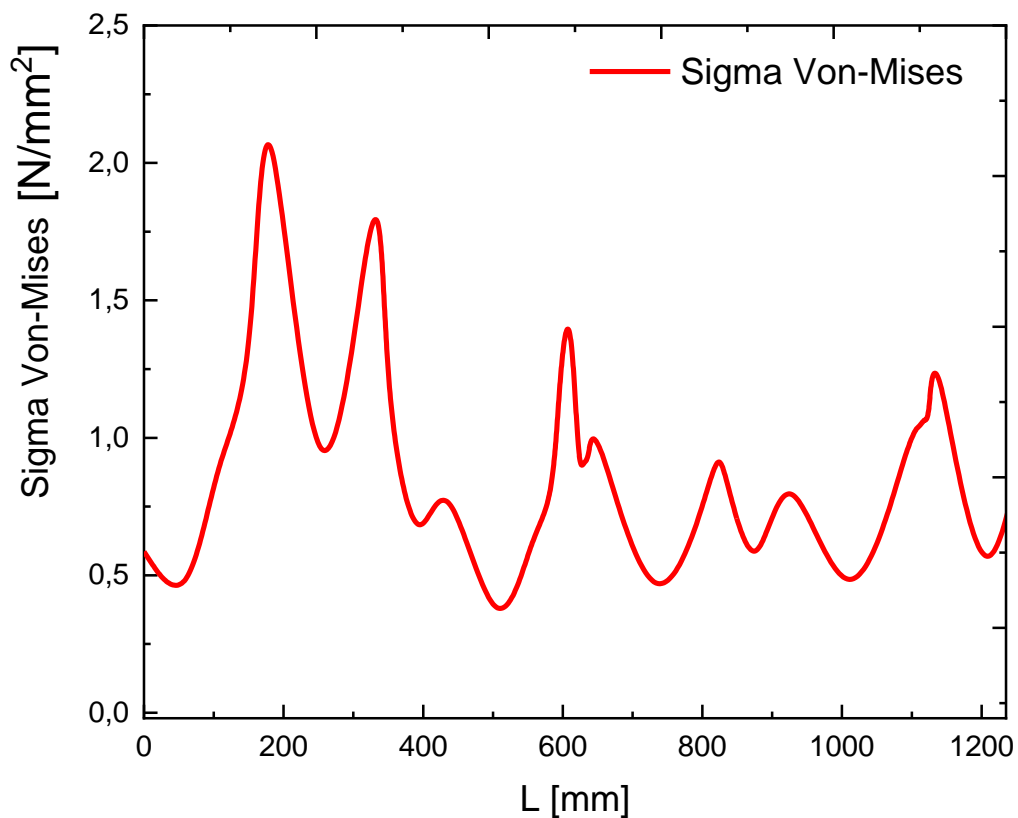


Figure III.22 L'évolution de la contrainte de Von Mises.

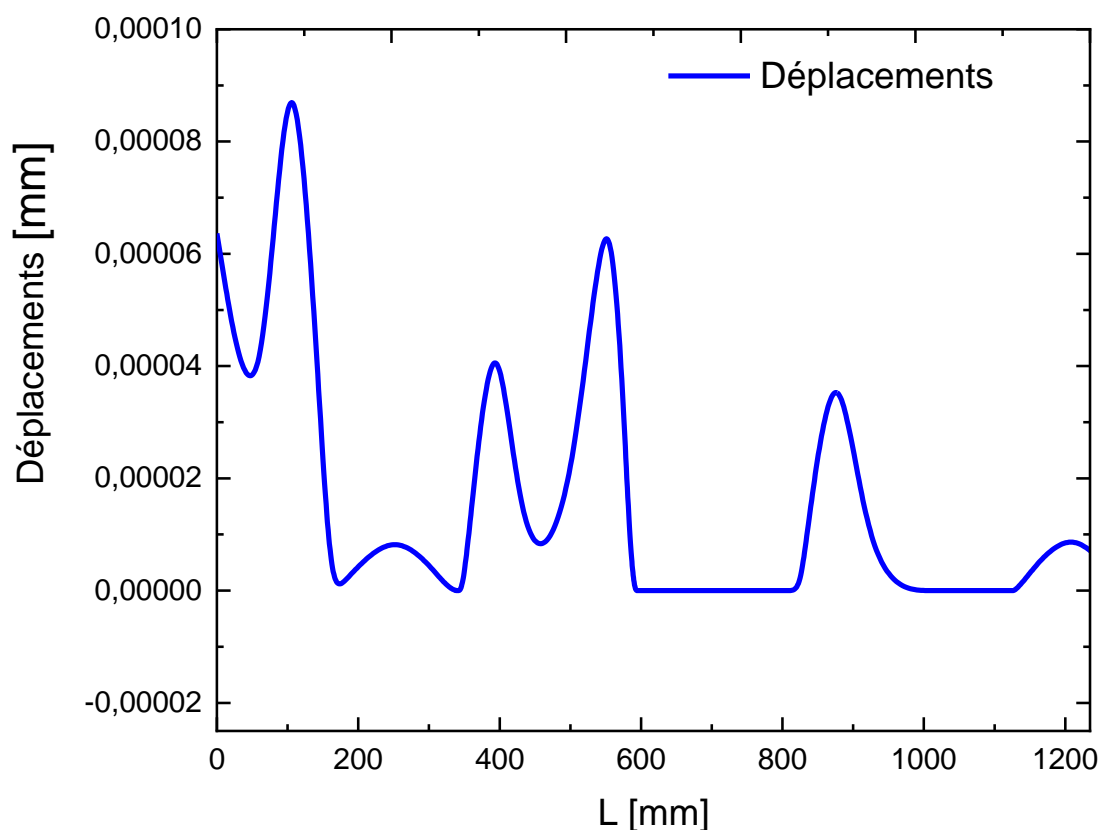


Figure III.23 L'évolution du déplacement équivalent

6-4 Résultats numériques

On extrait un récapitulatif des valeurs des contraintes, pour pouvoir les comparer avec celles obtenus par les collègues [27] qui travaillent sur un moule simple de quatre empreinte d'injection par soufflage.

Tableau III.2 comparaison des contraintes obtenues celles d'autres travail

Les contraintes									
	Von Mises	Principale		normale			Tangentielle		
		Max	Min	σ_{XX}	σ_{YY}	σ_{ZZ}	τ_{XY}	τ_{XZ}	τ_{YZ}
Max[27]	+2.092	+2.460	+0.2062	+0.7772	+0.7786	+1.796	+0.7340	+0.8352	+0.6756
Min[27]	0	-0.4673	-1.334	-1.220	-1.080	-1.063	-1.080	-1.028	-0.8771
Max	4.012	+2.764	+0.3394	+1.080	+1.721	+2.405	+0.8343	+0.8503	+0.8956
Min	1.293x10 ⁻¹⁰	-0.4636	-1.828	-1.240	-2.057	-1.217	-0.5204	-1.041	-1.055

On la même façon on fait avec le déplacement.

Tableau III.3 La comparaison des résultats des déplacements

Les déplacements mm				
	équivalent	Axial		
		X	Y	Z
Max[27]	$+1.314 \times 10^{-4}$	$+1.132 \times 10^{-4}$	$+7.881 \times 10^{-5}$	$+1.593 \times 10^{-6}$
Min[27]	0.00	-8.287×10^{-5}	-8.291×10^{-5}	-1.0340×10^{-4}
Max	$+1.663 \times 10^{-4}$	$+1.203 \times 10^{-4}$	$+8.486 \times 10^{-5}$	$+4.420 \times 10^{-6}$
Min	0.000	-1.061×10^{-4}	-8.575×10^{-5}	-1.323×10^{-4}

7- Conclusion

Nous pouvons conclure notre travail ainsi :

- ✓ La concentration des contraintes généralement est observée sur la surface qui fait face à la direction d'injection.
- ✓ La concentration des contraintes sont de valeurs faibles.
- ✓ La concentration des contraintes tangentielle est observée sur la surface qui fait face à la direction d'injection, elles sont faibles ailleurs.
- ✓ Les déplacements équivalents et axiaux ont des valeurs négligeables.
- ✓ On déduit de la comparaison qu'il y a des différences contraintes très importantes, mais pour les déplacements ce sont faibles.

Conclusion générale

La mise en forme de matériaux plastiques qui est utilisé pour fabriquer des corps creux, tels que des flacons et bouteilles, Cela consiste à combiner la technique d'injection avec celle du soufflage. La matière est injectée pour former une « éprouvette » (préforme) qui peut intégrer le vissage final de la pièce.

Notre étude est une recherche sur la conception et la technologie des paramètres de moulage par soufflage pour la modélisation d'idées au niveau du moule, ce qui permet d'obtenir un moule plus économique et de grandes propriétés mécaniques.

Nous avons utilisé dans un premier temps la conception d'un moule d'injection par soufflage sous logiciel Solidworks qui a permis la bonne conception d'un demi-moule qui contient deux empreintes, de telle façon qu'il représente l'un quatrième de demi-moule réel , et dans un second temps une application par simulation numérique avec le logiciel Abaqus pour l'étude du comportement mécanique on a comparu les résultats obtenus, finalement on a conclu ce qui suit :

La concentration des contraintes généralement est observée sur la surface qui fait face à la direction d'injection, c'est-à-dire dans le fond de la bouteille, mais dans les parois des surfaces de la bouteille on peut dire que celle-ci est négligeable.

La concentration des contraintes tangentielle est concentrée sur la surface qui fait face à la direction d'injection, c'est-à-dire dans le fond de la bouteille et la surfaces qui en faces le fond de la bouteille les parois de surface de la bouteille, on peut dire que ce dernier est négligeable dans l'autre zone.

La concentration des contraintes tangentielles est concentrée sur la surface qui fait face à la direction d'injection, c'est-à-dire dans le fond de la bouteille et dans les surfaces qui font également face au fond de la bouteille et sur la surface des parois de la bouteille avec des valeurs faibles, on peut dire que ce dernier est négligeable dans l'autre zone.

Le déplacement principal ce concentré sur les surfaces de la gorge de la bouteille et sur les parois avec des valeurs peut être négligeable.

Le déplacement axial il est concentré de façon dégradée axial sur la surface de la bouteille avec des valeurs négligeable.

La comparaison permet de conclure qu'il y a des variations de contraintes très importantes, mais pour les déplacements elles sont très réduites.

Références

- [1] support de cours /conceptec/injection thermoplastique/machines injection thermoplastique.
- [2] documents /Mécanique industrie /plasturgie-élastomères/matériaux.
- [3] Djermoune Mokhtar, «étude et conception d'une vis de transport pour l'injection Plastique», mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de master, mira Bejaia 2017/2018.
- [4] Ahmed Hamadi, «Conception Générale des moules pour injection plastique», Mémoire du diplôme d'ingénieur, département de mécanique, université de M'sila, 2003
- [5] <http://www.Irsst.qc/media/documents/pubirsst/r-822>
- [6] Techniques de l'Ingénieur, traité Plastiques et Composites.
- [7] <https://www.directindustry.fr/fabricant-industriel/moule-extrusion-soufflage-mono-empreinte-246701.html>
- [8] Boufkhed Hicham, «étude technologique et la maintenance préventive d'une presse à injection pet», mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de master, département de génie mécanique, Bejaia 2016/2017.
- [9] Belaribi Abdelkarim, «Etude du procédé de production des pièces par injection des thermoplastiques », mémoire du diplôme de master académique, département de mécanique, université de M'sila, 2016/2017.
- [10] <https://Conceptec.net/techniques-de-base/conception/moules-et-outils/254-les-types-des-moule-d-injection-des-plastique>
- [11] support de cours, Lycée Schwendi plasturgie /Moules d'injection
- [12] [Conceptec.net/techniques de base/conception/127-le choix des matériaux des moules d'injection des plastiques.](https://Conceptec.net/techniques-de-base/conception/127-le-choix-des-matériaux-des-moules-d-injection-des-plastiques)
- [13] [Conceptec.net/techniques de base/conception/moules et outils/254-les types des Moule d'injection des plastiques](https://Conceptec.net/techniques-de-base/conception/moules-et-outils/254-les-types-des-Moule-d-injection-des-plastiques)
- [14] [https:// Precis-fil/électroérosion enfonçage](https://Precis-fil/électroérosion-enfonçage)
- [15] Rahal Adel «usinage par électroérosion », mémoire présentée en vue de l'obtention du diplôme de master 02, département de génie mécanique, université Badji Mokhtar Annaba, 2016/2017.
- [16] <https://hal.archives-ouvertes.fr/>
- [17] Technologue pro/cours-procédés mise en forme matières plastiques/ Chapitre 4-conception moules injection matières plastiques.pdf

- [18] Schwendi plasturgie free /lycée/cours/Moules d'injection.pdf.
- [19] Rêve de pierre /france/forum-auto construction pierre
- [20] Technologue pro/cours conception moules /chapitre-3-Conception moule injection plastique.
- [21] Gassou Mostafa et Rahmani Ahmed « étude de la qualité des pièces fabriquées en moulage par injection », mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de master, département de génie mécanique, université Kasdi Merbah Ouargla, année universitaire: 2012 /2013
- [22] Djermoune Mokhtar « étude et conception d'une vis de transport pour l'injection plastique ». Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de master filière : génie Mécanique spécialité : fabrication mécanique et productique, année universitaire 2017-2018.
- [23] Jan Schroers; Thomas M.Hodges; Golden Kumar; Hari Raman; Anthony J.Barnes; Quoc Pham; Theodore A. Waniuk (février 2011). "Moulage par soufflage thermoplastique des métaux». *Matériaux aujourd'hui*. 14 (1–2): 14–19. doi : 10.1016 / S1369-7021 (11) 70018-9.
- [24] John Vogler (1984). *Recyclage à petite échelle des plastiques*. Publication de technologie intermédiaire. p. 6.
- [25] *Technologie de moulage par extrusion-soufflage*, Publications Hanser Gardner, ISBN 1-56990-334-4
- [26] <https://www.minedetalents.fr/formation/formation-dessinateur-dao-cao-3d-solidwor>
- [27] Tidjani Moussa Et Abbasa Nacer «Conception et modélisation d'un moule d'injection par soufflage», mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de master2, département de génie mécanique, université ABBES LAGHROUR khenchela, année universitaire: 2021 /2022
- [28] Document : STM Sp. z o.o.ul. Piaskowa 12 78-520 Złocieniec Poland

Résumé

Le moulage par soufflage est un procédé dans lequel la pression d'air est utilisée pour étendre la matière plastique dans la cavité du moule. Ce procédé est utilisé dans la fabrication de pièces creuses en matière plastique à parois minces, tels que bouteilles et récipient.

Notre étude est une recherche sur la conception et la technologie des paramètres de moulage par soufflage pour la modélisation d'idées au niveau du moule, ce qui permet d'obtenir un moule plus économique et de grandes propriétés mécaniques.

Abstract

Blow molding is a process in which air pressure is used to expand the plastic material into the mold cavity. This process is used in the manufacture of hollow plastic parts with thin walls, such as bottles and containers.

Our study is a research on the design and technology of blow molding parameters for mold-level idea modeling, resulting in more economical mold and great mechanical properties.

ملخص

القولبة بالنفخ هي عملية يتم فيها استخدام ضغط الهواء لتوسيع المادة البلاستيكية في تجويف القالب. تستخدم هذه العملية في

تصنيع الأجزاء البلاستيكية المجوفة ذات الجدران الرقيقة، مثل الزجاجات والأوعية

دراستنا عبارة عن بحث حول تصميم وتكنولوجيا معالم قولبة النفخ لنمذجة فكرة على مستوى القالب، مما ينتج عنه قالب

اقتصادي أكثر وخصائص ميكانيكية رائعة