
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

**Conception et modélisation d'un moule
d'injection par soufflage**

Réalisé par :

- ABABSSA Nacer
- TIDJANI Moussa

Dirigé par : Mr. HIMEUR Nabil

Année universitaire : 2021 - 2022

REMERCIEMENTS

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

Nous souhaitons tout d'abord remercier Monsieur **HIMEUR 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.

Enfin nous tenons à remercier l'ensemble du corps enseignant de la filière génie mécanique, sans oublier bien sûr tous nos proches notamment nos parents pour leurs encouragements et leurs soutiens.

Dédicaces

À mes très chers parents, source de vie, d'amour et d'affection

À mes chers frères et leurs enfants, source de joie et de bonheur

À toute ma famille, source d'espoir et de motivation

À tous mes amis

À vous cher lecteur

Sommaire

Introduction générale	1
CHAPITRE I : généralité sur l'injection par plastique	
1 Introduction	3
2 Les matières plastiques	4
2-1 Définition des matières plastiques	4
2-2 Les polymères.....	5
2-2-1 les Thermoplastiques.....	5
2-2-2 Les thermodurcissables.....	5
2-2-3 Les élastomères.....	6
3 L'injection plastique	6
3-1 Historique.....	6
3-2 Définition	7
3-3 Machine de moulage par injection.....	7
3-4 Fonctionnement d'une presse à injecter.....	8
3-5 Les phases d'un cycle d'injection	9
3-5-1 La phase de plastification.....	9
3-5-2 La phase de remplissage.....	10
3-5-3 La phase de commutation et maintien.....	10
3-5-4 La phase de refroidissement	11
3-6 Structure d'un moule.....	12
3-7 Caractéristiques d'une pièce injectée.....	14
3-7-1 Le point d'injection	14
3-7-2 Les traces d'éjecteurs	15
3-7-3 Ligne de plan de joint.....	15
3-7-4 Les dépouilles.....	16
3-8 Les règles de base de la pièce.....	16
3-8-1 Les épaisseurs constantes.....	16
3-8-2 Rayonner les arêtes	16
3-8-3 Les dépouilles	17

3-8-4 Gérer les contre-dépouilles	17
4 L'extrusion	18
4-1 Principe de fonctionnement d'une extrudeuse	19
5 Machine associée aux procédés d'extrusion	20
5-1 Extrudeuse	20
5-2 Différents types d'extrudeuse	20
5-2-1 Extrudeuse à une vis	20
5-2-2 Extrudeuse à deux-vis	21
5-2-3 Sens de rotation des systèmes bi-vis	21
5-2-4 Obtention du rapport de compression	22
6 Les filières	22

CHAPITRE II : L'injection des plastiques par soufflage

1 Introduction	25
2 Principe de l'injection par soufflage	25
3 Injection-soufflage avec bi-étirage	26
3-1 Injection-soufflage avec bi-étirage en cycle chaud	27
3-2 Injection-soufflage avec bi-étirage en cycle froid	28
4 Le moule	29
4-1 matériaux choisir pour la fabrication de moules d'extrusion-soufflage	31
5 Machine d'injection soufflage (TONGDA HTSII/5L).....	33
5- 1 Caractéristiques techniques	34
6 Fabrication des bouteilles en PET par injection-soufflage avec bi-étirage en cycle froid	36
6- 1 Le poly (éthylène téréphtalate) (PET)	36
6- 2 Fabrication de la préforme.....	37
6- 3 Conditionnement thermique de la préforme	39
7 Les différentes températures d'injection et de soufflage des plastiques.....	39
8 Exemple de soufflage des bouteilles en PET.....	40
9 Contrôle d'épaisseur de paraison par l'automate.....	41
10 Extrusion-soufflage de grands corps creux	42

10-1 Défis et spécificités.....	42
10-2 Extrusion-soufflage.....	44
10-2-1 Description du procédé d'extrusion soufflage.....	44
10-3 Particularités du soufflage de grands corps creux.....	46
11 Différence entre Injection Soufflage et Extrusion Soufflage	48
12 Applications et polymères utilisés.....	49

CHAPITRE : III APPLICATION

1 Introduction	53
2 Généralité sur les logiciels de CAO	53
2-1 Les logiciels 2D.....	53
2-2 Logiciels 3D filaire	53
2-3 Logiciels 3D surfacique.....	53
2-4 Logiciels 3D volumiques.....	53
2-4-1 Avantage des logiciels 3D volumique.....	53
2-4-2 Inconvénients de logiciels 3D volumique.....	53
2-5 La CAO volumique au service du mouliste	54
2-6 Les avantages de la conception des moules par CAO	54
3 Méthodologie et conception de moules par logiciel CAO (SolidWorks).....	54
3-1 Conception du moule par SolidWorks.....	54
3-2 Application	55
3-3 Le choix de la machine.....	55
4 Conception et modélisation d'un moule d'injection par soufflage.....	56
4-1 Le choix d'un moule d'injection par soufflage	56
4-2 Forme de l'empreinte de la bouteille.....	57
5 Résultat et discussions	58
5- 1 La concentration des contraintes	58
5- 1-1 Les contraintes de Von Mises.....	58
5- 1-2 Contrainte principale maximale	59
5- 1-3 Contrainte principale minimale	59
5- 1-4 La contrainte axiale selon l'axe XX	60
5- 1-5 La contrainte axiale selon l'axe YY	60
5- 1-6 La contrainte axiale selon l'axe ZZ	61

5- 1-7 La contrainte tangentielle selon l'axe XY	61
5- 1-8 La contrainte tangentielle selon l'axe XZ	62
5- 1-9 La contrainte tangentielle selon l'axe YZ	62
5- 2 Les déplacements	63
5- 2 -1 Le déplacement principal	63
5- 2 -2 Le déplacement axial selon l'axe XX	63
5- 2-3 Le déplacement axial selon l'axe YY	64
5- 2-4 Le déplacement axial selon l'axe ZZ	64
5- 3 Les courbes de la contrainte Von Mises	64
5- 4 Résultat numérique	65
Conclusion générale	67
Résumé	68
Bibliographique	69

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Tableau indicatif pour une série de 500 pièces	3
Tableau I-2 : Paramètres de machine LS200PET	8
Tableau I-3 : Matériaux pour la fabrication des moules	13
Tableau II-1 : Caractéristique de la machine d'injection soufflage (TONGDA HTSII/5L).....	35
Tableau II-2 : Tableau des températures d'injection et de soufflage.....	39
Tableau II-3 : Propriétés des résines de soufflage.....	50
Tableau II-4 : Principales résines homologuées pour la production de réservoirs carburant..	51
Tableau III-1 : Tableau de caractéristique de la machine.....	56
Tableau III-2 : une récapitulatif des valeurs des contraintes	66
Tableau III-3 : une récapitulatif des valeurs des déplacements.....	66

Liste des figures

Figure I-1 : Formule chimique du polypropylène	4
Figure I-2 : Exemples de pièces obtenus par injection plastique	7
Figure I-3 : Machine de moulage par injection LS200PET.....	7
Figure I.4 : Presse à injecter.....	8
Figure I.5 : phase de plastification.....	9
Figure I-6 : phase de remplissage	10
Figure I-7 : phase de maintien et solidification	11
Figure I.8 : phase de refroidissement et d'éjection de la pièce.....	11
Figure I.9 : Structure d'un moule d'injection plastique	12
Figure I.10 : Moule d'injection plastique	13
Figure I.11 : les points d'injections	15
Figure I.12 : pièce avec rayon	16
Figure I.13 :: Etape de dépouilles de conception	17
Figure I.14 : Démoulage d'un boîtier avec connecteurs.....	18
Figure I.15 : procédé d'extrusion	18
Figure I.16 : Schéma représente l'opération de l'extrusion	19
Figure I.17 : Vue globale d'une vis sans fin d'une extrudeuse [9]	20
Figure I.18 : Classification des systèmes bi-vis	21
Figure I.19 : Schéma descriptif d'une extrudeuse bi-vis	21
Figure I.20 : Vis sans fin à étages de diamètres différents	22
Figure I.21 : Organe malaxeur à vis conique	22
Figure I.22 : schéma d'une filière	23
Figure II.1 : Injection soufflage	25

Figure II.2 : Séquence d'injection-soufflage	26
Figure II.3 : Injection-soufflage avec bi-étirage en cycle chaud.	27
Figure II.4 : Obtention d'une préforme par injection puis soufflage intermédiaire	28
Figure II.5 : Injection-soufflage avec bi-étirage en cycle froid.....	29
Figure II.6 : Injection-soufflage avec bi-étirage en temps réel	29
Figure II.7 : Moule de soufflage PET	30
Figure II.8 : Machine d'injection soufflage (TONGDA HTSII/5L)	33
Figure II.9 : Unité constitutive du poly (éthylène téréphtalate) (PET)	36
Figure II.10 : Exemple de préformes en PET - Géométries des préformes.....	38
Figure II.11 : Illustration du principe général de la fabrication d'une bouteille par injection soufflage en cycle froid par un soufflé	38
Figure II.12 : - Machine de soufflage des bouteilles en PET, remplissage et bouchage.....	41
Figure II.13 : 'épaisseur de paraison par l'automate	42
Figure II.14 : Étapes du procédé d'extrusion-soufflage	45
Figure II.15 : Particularités de l'extrusion-soufflage de grands corps creux	47
Figure II.16 : synoptique du soufflage monocouche par accumulation	48
Figure III.1 : Machine de moulage par soufflage de plastique	56
Figure III.2 : Lampèrent du Moule	57
Figure III.3 : Demi-moule d'injection par soufflage	57
Figure III.4 : Demi-moule d'injection par soufflage fini	58
Figure III.5 : Concentration des contraintes de Von Mises dans une partie de moule	58
Figure III.6 : contraintes principale maximale	59
Figure III.7 : contraintes principale minimale	59
Figure III.8 : contraintes axial σ_{xx}	60

Figure III.9 : contrainte axiale selon l'axe YY	60
Figure III.10 : contrainte axiale selon l'axe ZZ	61
Figure III.11 : contrainte transversale selon l'axe XY	61
Figure III.12 : contrainte tangentielle selon l'axe XZ	62
Figure III.13 : contraintes transversale selon l'axe YZ	62
Figure III.14 : Déplacement principale	63
Figure III.15 : Déplacement selon l'axe XX	63
Figure III.16 :Déplacement selon l'axe YY	64
Figure III.17 :Déplacement selon l'axe Z	64
Figure III -18 : La trajectoire sur la paroi de la bouteille.....	65
Figure III -19 : L'évolution des contraintes Von Mises.....	65
Figure III -20 : L'évolution du déplacement principal.....	65

Introduction générale

Les techniques de mise en forme des matériaux ont pour objectif de donner une forme déterminée au matériau tout en lui imposant une certaine microstructure, afin d'obtenir un objet ayant les propriétés souhaitées. C'est un travail qui nécessite de maîtriser parfaitement les paramètres expérimentaux (composition du matériau, température, pression, vitesse de refroidissement, etc.).

Les techniques de transformation des plastiques dépendent de la nature des polymères et de la destination des produits finis. Quelques méthodes sont régulièrement utilisées pour la fabrication industrielle : l'injection, l'injection soufflage, l'extrusion, l'extrusion soufflage, le thermoformage.

L'objectif de ce travail s'intéresse à une application sur la conception et à la modélisation d'un moule d'injection par soufflage, qui se concentre sur les paramètres et les propriétés des matériaux et leur comportement mécanique. Le travail est divisé en deux grandes parties : dans la première partie, l'étude porte sur la conception d'un moule d'injection, on respectant les normes de conception et de dessin technique, en utilisant le logiciel de conception SOLIDWORKS. La deuxième partie du travail est réservée à la simulation numérique des contraintes et des déplacements par logiciel ABAQUS

A cet égard ce travail est essentiellement axé sur trois chapitres :

Le premier chapitre expose quelques généralités sur l'injection plastique.

Le deuxième chapitre est consacré à la description de l'injection des plastiques par soufflage.

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

Chapitre I

Généralité sur l'injection par plastique

1 Introduction

L'injection plastique est une méthode de production faite pour la fabrication de pièces identiques en série. Elle commence généralement à être intéressante vis-à-vis des autres méthodes à partir de quelques centaines de pièces sans retouche ainsi qu'un ratio poids/solidité très intéressant. A partir d'un certain seuil, ce procédé de fabrication va souvent devenir économiquement plus intéressant que les autres méthodes notamment grâce à une matière première peu onéreuse, des temps de fabrication courts et un poids faible. L'injection plastique a également des atouts techniques. Cette méthode de fabrication permet d'avoir de beaux états de surface sans retouche

Tableau I.1 : Tableau indicatif pour une série de 5000 pièces [1].

	Aspect pièce	Résistance	Coût série	Délai prod	Poids pièce
Injection plastique	★ ★ ★	★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★
Usinage plastique	★	★ ★	★	★ ★	★ ★
Usinage métal	★ ★	★ ★ ★	★	★	★
Impression 3D	★	★	★	★	★ ★ ★

★ peu intéressant ★ ★ intéressant ★ ★ ★ très intéressant

2 les matières plastiques

2-1 Définition des matières plastiques

« Matière plastique, le plastique : n.m. Matière synthétique constituée de macromolécules et qui peut être moulée ou modelée. » (Définition du Petit Robert)

Sous la désignation « plastique » figurent aujourd'hui de nombreux objets aussi différents qu'une bouteille d'eau, une gouttière, un sac poubelle ou des fleurs artificielles. Cette énumération d'objets pourrait être encore élargie puisque les matières plastiques ne représentent qu'une partie des matériaux macromoléculaires encore appelés polymères. Ainsi, les tissus synthétiques (Nylon, polyesters, acryliques, ...), le revêtement en Téflon® des ustensiles de cuisine ou les colles et peintures font également partie des matériaux rassemblés sous la dénomination « polymères ». [2]

La matière plastique est un polymère principalement composé d'atomes de carbone, d'oxygène, d'hydrogène et d'azote. Il est fabriqué majoritairement par la polymérisation de l'éthylène, du propylène et de l'acétylène qui sont des produits intermédiaires issus du vapocraquage du pétrole, gaz naturel ou encore charbon

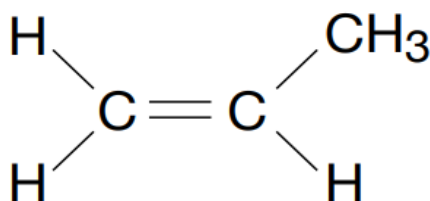


Figure I-1 : Formule chimique du polypropylène

Il existe deux grandes familles de plastiques. Les thermoplastiques et les thermodurcissables. Les thermoplastiques, majoritairement utilisés en injection plastique, extrusion, thermoformage, se déforment à la chaleur. Cette propriété leur confère d'être facilement modulables et d'être recyclables quasiment indéfiniment. À l'inverse, les thermodurcissables ne se déforment pas à la chaleur. Cette particularité leur confère de bonnes propriétés mécaniques, mais complexifie leur mise en application ainsi que le recyclage du matériau. Ils sont principalement utilisés dans des pièces très techniques ou de grandes pièces comme des coques de bateaux. Dans ce guide, nous nous concentrerons sur les thermoplastiques correspondant au procédé d'injection plastique mis en œuvre par Plastisem.

2-2 Les polymères.

Les polymères sont des matériaux composés de très longues chaînes (macromolécules), elles-mêmes formées de molécules élémentaires (monomères) assemblées entre elles. Ces chaînes sont principalement constituées d'atomes de carbone sur lesquels sont fixés des éléments comme l'hydrogène ou l'oxygène. D'autres éléments, notamment le chlore, l'azote ou le fluor, peuvent encore intervenir dans la composition de la chaîne. Trois grandes familles de polymères peuvent être distinguées : les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères.

2-2-1 les Thermoplastiques.

Les thermoplastiques ramollissent sous l'effet de la chaleur. Ils deviennent souples, malléables et durcissent à nouveau quand on les refroidit. Comme cette transformation est réversible, ces matériaux conservent leurs propriétés et ils sont facilement recyclables. Leurs polymères de base sont constitués par des macromolécules linéaires, reliées par des liaisons faibles qui peuvent être rompues sous l'effet de la chaleur ou de fortes contraintes. Elles peuvent alors glisser les unes par rapport aux autres pour prendre une forme différente et quand la matière refroidit, les liaisons se reforment et les thermoplastiques gardent leur nouvelle forme. Ils représentent 80% des matières plastiques consommées en Europe en 2000 soit plus de 35 millions de tonnes ! Avant transformation, ils sont sous forme de granulés ou de poudres dans un état chimique stable et définitif car il n'y a pas de modification chimique lors de la mise en forme. Les granulés sont chauffés puis moulés par injection et le matériau broyé est réutilisable.

2-2-2 Les thermodurcissables.

Les thermodurcissables sont des plastiques qui prennent une forme définitive au premier refroidissement. La réversibilité de forme est impossible car ils ne se ramollissent plus une fois moulés. Sous de trop fortes températures, ils se dégradent et brûlent (carbonisation). Les molécules de ces polymères sont organisées en de longues chaînes dans lesquelles un grand nombre de liaisons chimiques solides et tridimensionnelles ne peuvent pas être rompues et se renforcent quand le plastique est chauffé. La matière thermodurcissable garde toujours sa forme en raison de ces liaisons croisées et des pontages très résistants qui empêchent tout glissement entre les chaînes. Les thermodurcissables représentent 20% des matières plastiques consommées en Europe en 2000 soit environ 10 millions de tonnes. Les plus connus sont les

polyuréthanes, les polyesters, les phénoplastes, les aminoplastes, les élastomères, les résines époxydes et phénoliques Au départ, les thermodurcissables se présentent sous forme de poudres ou de résines qui subissent une transformation chimique au cours de leur chauffage, de leur refroidissement ou par l'action de durcisseurs.

2-2-3 Les élastomères.

Ces polymères présentent les mêmes qualités élastiques que le caoutchouc. Un élastomère au repos est constitué de longues chaînes moléculaires repliées sur elles-mêmes. Sous l'action d'une contrainte, les molécules peuvent glisser les unes par rapport aux autres et se déformer. Pour que le matériau de base présente une bonne élasticité il subit une vulcanisation. C'est un procédé de cuisson et de durcissement qui permet de créer un réseau tridimensionnel plus ou moins rigide sans supprimer la flexibilité des chaînes moléculaires. On introduit dans l'élastomère au cours de la vulcanisation du soufre, du carbone et différents agents chimiques. Différentes formulations permettent de produire des caoutchoucs de synthèse en vue d'utilisations spécifiques. Les élastomères sont employés dans la fabrication des coussins, de certains isolants, des semelles de chaussures ou des pneus.

3 L'injection plastique

3-1 Historique

La plasturgie existe depuis l'Antiquité avec notamment la caséine, mais elle se développe surtout au cours du 19e siècle avec la mise au point de nouveaux plastiques comme le Chlorure de Vinyle, les Celluloïds ou la Galalithe (à base de lait). À ce stade, ces nouveaux matériaux permettent de fabriquer de petits objets et commencent à se substituer à des matériaux existants. Ils restent néanmoins souvent usinés et non moulés. La première partie du 20e siècle voit les grandes découvertes de nouveaux polymères et des processus industriels. C'est notamment l'apparition de l'injection plastique. Sur cette période, on découvre la Bakélite, le Polychlorure de Vinyle - PVC, Poly méthacrylate de Méthyle - PMMA, le Polyéthylène Haute Densité - PEHD ou encore les Polyamides - PA. La demande pour ces nouveaux matériaux grandit notamment lors de la Seconde Guerre mondiale. La deuxième partie du 20e siècle verra l'essor de la plasturgie et ses entreprises seront comme nos start-ups actuelles. Bien que les principaux matériaux aient déjà été découverts, ils vont devenir de plus en plus performants et leur transformation industrialisée, notamment via l'injection plastique. Ainsi, la production de polymères est passée de 1.5 million de tonnes en 1950 à 348 millions de tonnes en 2017. [1]

3-2 Définition

Le procédé injection est destiné à produire très rapidement des objets en très grandes quantités. Cette technique permet d'obtenir en une seule opération des pièces finies en matière plastique, de formes complexes, dans une gamme de poids allant de quelques grammes à plusieurs kilogrammes. [3]



Figure I-2 : Exemples de pièces obtenus par injection plastique

3-3 Machine de moulage par injection.

La machine de moulage par injection de préformes PET est spécialisée pour différentes tailles de préformes PET. Avec la vis spéciale PET, elle augmente considérablement la vitesse de plastification et le poids de la grenaille. Nous fournirons les meilleurs services pour les machines de moulage par injection de préformes PET.



Figure I-3 : Machine de moulage par injection LS200PET(4).

Tableau I.1 : Paramètres de machine LS200PET [4].

LS200PET					
Unité d'injection					
Diamètre de vis [mm]	Rapport L/D de la vis [L/D]	Volume de tir (théorique) [cm ³]	Poids de tir [G]	Pression d'injection [Mpa]	Vitesse de la vis [tr/min]
65	26	970	1125	120	150
Unité de serrage					
Force de serrage (théorique) [KN]	Basculer le trait	Espace entre les tirants [mm]	Hauteur max. du moule [mm]	Hauteur min. du moule [mm]	Course d'éjecteur [mm]
2000	500	530*460	530	200	150
Autres					
Pression max. de la pompe [Mpa]	Puissance du servomoteur [KW]	Puissance de chauffage [KW]	Dimensions de la machine (l*W*h)[M]	Réservoir d'huile Cubage [L]	Poids de la machine (approximatif)[t]
18	30	22	6.5*1.4*2.0	350	6.5

3-4 Fonctionnement d'une presse à injecter

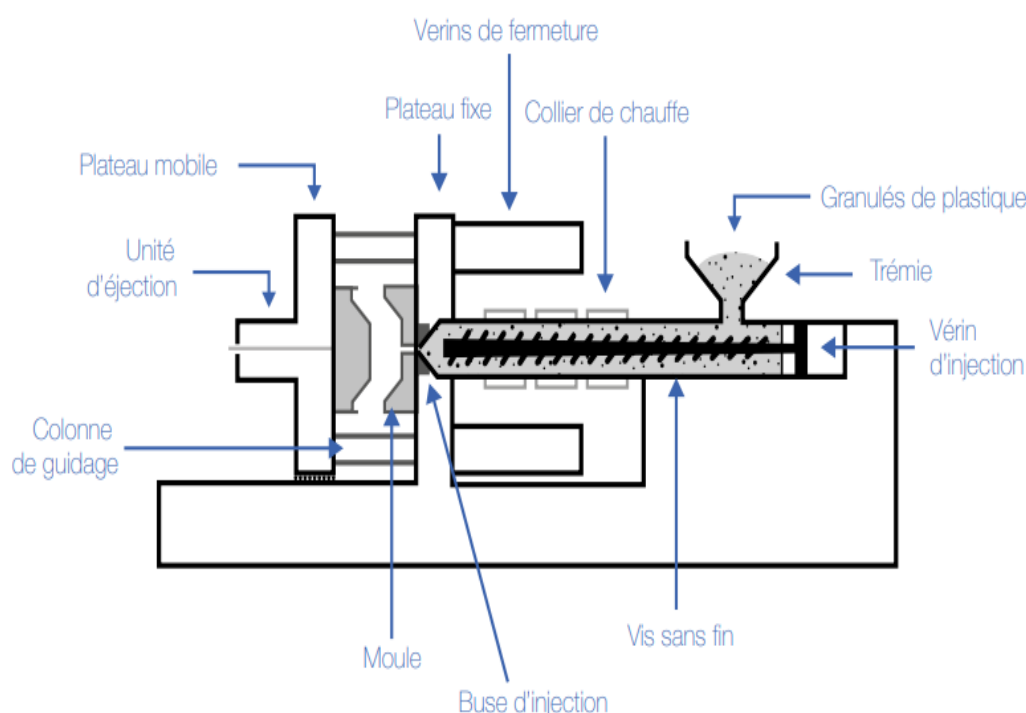


Figure I.4 : Presse à injecter

Le fonctionnement d'une presse à injecter pour la production de pièces est relativement simple. Des granulés de 2 à 3 mm de plastique sont versés dans la trémie. Ensuite, cette

matière est ramollie en étant portée à $200^{\circ}\text{C} - 250^{\circ}\text{C}$ grâce à l'action combinée de la friction de la vis et des colliers de chauffe. La matière ainsi malléable est poussée vers la buse puis injectée dans le moule grâce au vérin d'injection. La pression d'injection peut atteindre 2 500 bars. La matière se répartit de façon homogène dans la cavité de l'outillage pour prendre sa forme définitive. La pièce est ensuite refroidie en quelques secondes entre 50°C et 80°C afin de la solidifier. La presse ouvre l'outillage et les éventuels tiroirs, la pièce est éjectée par la batterie d'éjection et chute dans un bac ou est saisie par un robot manipulateur. La presse se referme et le cycle recommence.

3-5 Les phases d'un cycle d'injection [5]

Le cycle d'injection se décompose en quatre phases :

3-5-1 La phase de plastification

La phase de plastification a pour objectif de faire passer le polymère de l'état solide (sous forme de granulé) à l'état fondu. Cette transformation est réalisée par l'ensemble vis fourreau dont la fonction de broyer et de chauffer la granulé pour l'amener peu à peu à l'état fondu. Pour ce la, on anime la vis d'un mouvement rotatif qui a pour effet de transporter la matière de la zone d'alimentation vers la tête de fourreau. Au cours du transport, le polymère est chauffé et broyé, assurant ainsi par effet thermomécanique sa mise à l'état fondu (figure I.5).

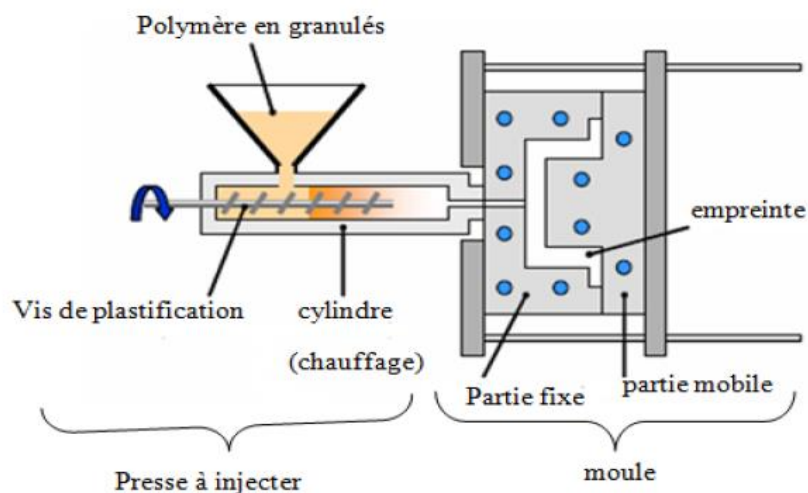


Figure I.5 : phase de plastification

3-5-2 La phase de remplissage

Une fois la matière accumulée en tête de fourreau, celle-ci est ensuite injectée dans l'empreinte de l'outillage par une avancée de la vis. Cette phase du cycle de transformation est appelée phase dynamique du remplissage. L'avancée de la vis est régulée en débit ou en pression pour maîtriser la vitesse d'injection du thermoplastique dans l'empreinte (figure I.6).

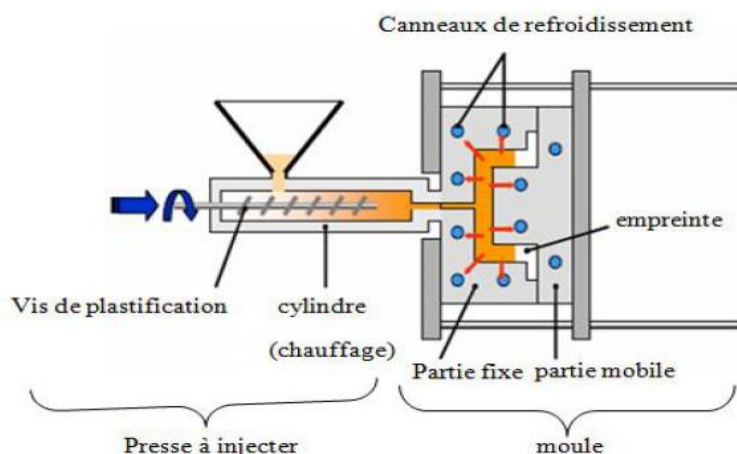


Figure I.6 : phase de remplissage

3-5-3 La phase de commutation et maintien

La commutation est l'instant clé du procédé d'injection. Il s'agit de l'instant de transition entre la phase de remplissage dynamique et la phase de maintien. A cet instant, le pilotage de l'injection passe d'une régulation en vitesse à une régulation en pression. En général, on choisit de commuter au moment où l'empreinte est complètement remplie. Cet instant est notifié par la présence d'un pic de pression d'injection prononcé. Cet événement est alors utilisé pour déclencher la commutation. Dès lors où la commutation est enclenchée, la presse appliquée au niveau du bloc d'injection une consigne de pression de maintien. Cette pression a pour objectif de maintenir la matière dans la cavité pour compenser les phénomènes de retrait volumique due au refroidissement de la matière. Une pression de maintien insuffisante conduit à la formation de défaut appelé retassures. Il s'agit de zone massive où le retrait de la matière laisse deviner des zones insuffisamment remplies. Une faible pression de maintien peut être également responsable de la formation de vacuoles. A l'inverse, une pression de maintien trop élevée contribue à générer des contraintes dans la pièce, qui auront pour effet au final de la déformer (figure I.7).

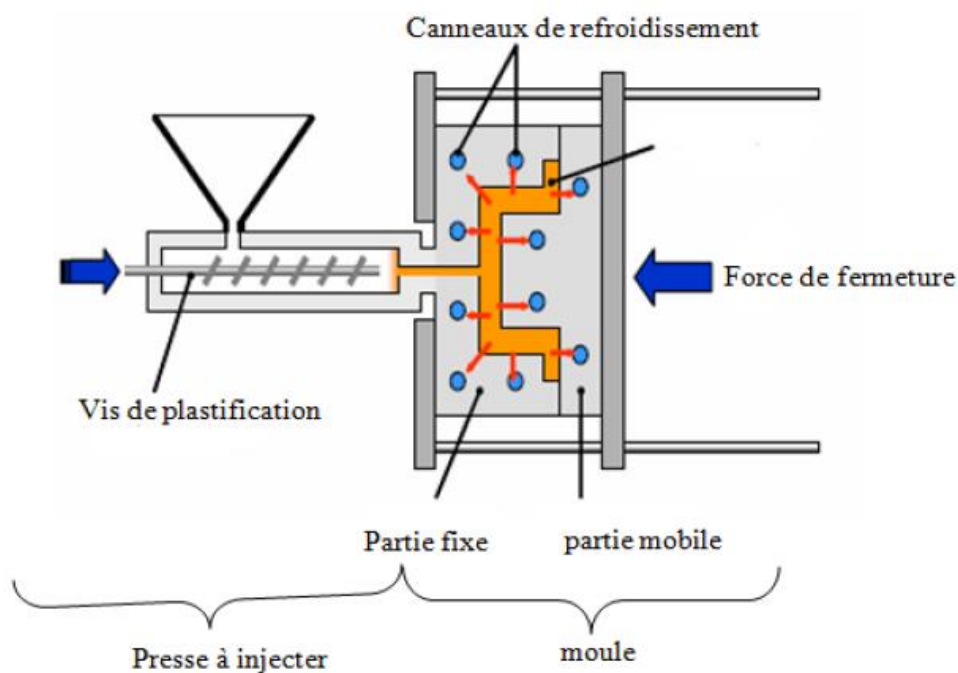


Figure I.7 : phase de maintien et solidification.

3-5-4 La phase de refroidissement

En parallèle de la phase de maintien, le polymère débute au contact de parois refroidies de l'outillage son retour à l'état solide. Cette phase appelée phase de refroidissement perdure jusqu'à ce que le polymère atteigne sa température de démoulage (figure I.9)

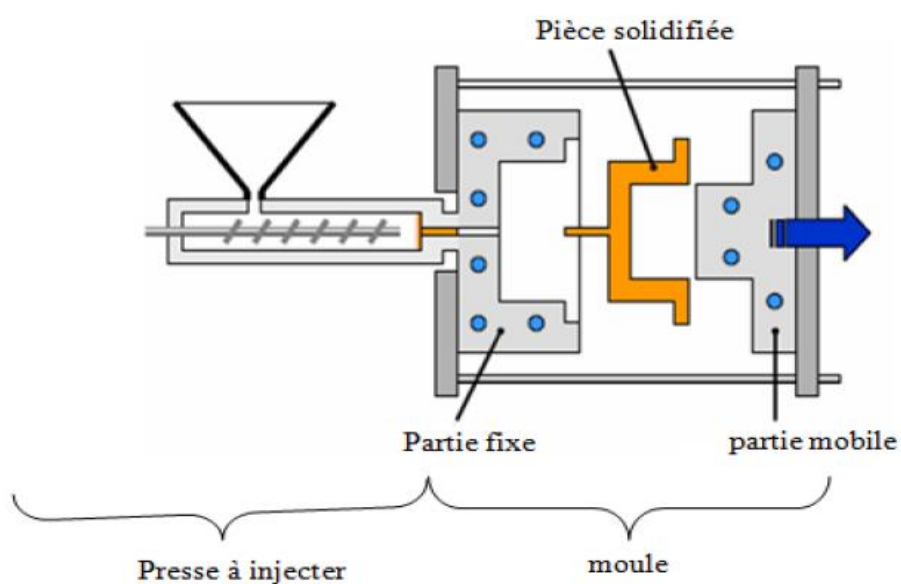


Figure I.8 : phase de refroidissement et d'éjection de la pièce

3-6 Structure d'un moule

Le moule, également appelé outillage, est un élément déterminant dans le processus de fabrication d'une pièce injectée. C'est lui qui va donner la forme définitive à la pièce. Généralement fabriqué en acier, il va peser de quelques dizaines de kilos à plusieurs tonnes

Partie mobile : partie du moule bridée sur le plateau mobile qui se déplace pour l'ouverture.

Partie fixe : partie du moule bridée sur le plateau fixe de la presse.

Batterie d'éjection : ensemble des éléments mobiles servant à éjecter la pièce.

Éjecteurs : de forme cylindrique dans la plupart des cas, il en existe de toutes formes et vont servir à éjecter la pièce.

Attelage d'éjection : élément permettant d'atteler la batterie d'éjection à la presse.

Plan de joint : cette zone correspond à la jonction entre les différentes parties du moule.

Tiroir : utilisé si la pièce a des formes qui ne peut pas être démoulées naturellement.

Pièce moulée : il s'agit de la pièce une fois injectée et refroidie qui aura alors pris la forme de la cavité usinée.

Buse d'injection : le plastique fondu venant de la vis sans fin passe par la buse afin de remplir la pièce injectée. Le surplus de matière restant dans la buse et dans le canal d'alimentation est appelé carotte.

Rondelle de centrage : cette rondelle sert à aligner le moule et l'unité d'injection de la presse pour se recentrer rapidement et simplement.

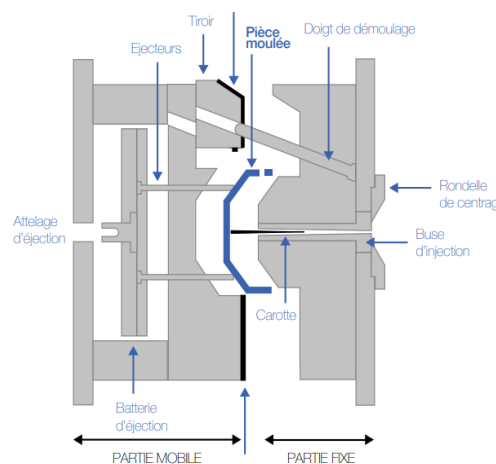


Figure I-9 : Structure d'un moule d'injection plastique



Figure I-10 : Moule d'injection plastique

Tableau I.2 : Matériaux pour la fabrication des moules [6]

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

3-7 Caractéristiques d'une pièce injectée

Les pièces fabriquées via un processus d'injection plastique vont avoir quatre caractéristiques qui vont les différencier des pièces fabriquées via un autre processus :

- Le point d'injection correspondant à l'entrée de la matière dans la pièce
- Les traces d'éjecteurs nécessaires pour démouler la pièce de l'outillage
- La ligne de plan de joint au niveau des zones de fermeture du moule
- Les dépouilles, pour faciliter la sortie de la pièce de l'outillage en limitant les contraintes et sans la rayer.

3-7-1 Le point d'injection

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

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

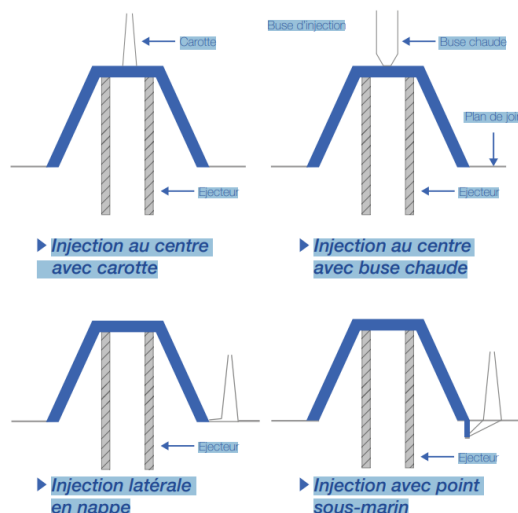


Figure I.11 : les points d'injections

3-7-2 Les traces d'éjecteurs

Lors de l'injection du plastique dans l'outillage, la matière va être soumise à de très fortes pressions qui vont la compresser et cette dernière va se rétracter de 0.5% à 3.0% lors du refroidissement et serrer le noyau central. Pour démouler la pièce, il faut donc la pousser via des éjecteurs guidés par une batterie d'éjection. La force nécessaire pour éjecter la pièce peut atteindre plusieurs tonnes. Les éjecteurs vont donc laisser sur la partie intérieure de la pièce de petites traces généralement de forme ronde ou rectangulaire. Ainsi, il est important de savoir de quel côté de la pièce il est possible de laisser ces marques sans altérer l'aspect ou les propriétés techniques de l'objet fabriqué. Pour des cas spécifiques, par exemple une pièce d'aspect visible des deux côtés, il est possible d'utiliser d'autres techniques d'éjection : plaques revêtisseuses, éjection par air comprimé ou encore utilisation de tiroirs latéraux. Ces techniques, plus onéreuses, sont à réserver aux cas très spécifiques.

3-7-3 Ligne de plan de joint

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

3-7-4 Les dépouilles

C'est la quatrième caractéristique d'une pièce fabriquée par la méthode de l'injection plastique. Contrairement aux trois précédentes qui sont principalement du ressort du mouliste, la pose des dépouilles est à prévoir lors de la conception de la pièce, cette partie-ci sera donc approfondie dans le chapitre « Concevoir sa pièce ». Il n'est pas possible - ou difficilement réalisable - de sortir une pièce d'un outillage avec des parois perpendiculaires au plan de joint. En effet, comme la matière se rétracte, et reste sous forte contrainte sur le noyau du moule, elle devient difficile à extraire sans déformation, casse ou rayure. Il faut donc mettre des dépouilles sur l'ensemble de ces parois avec des angles compris entre 1.0 et 5.0 degrés.

3-8 Les règles de base de la pièce

3-8-1 Les épaisseurs constantes

C'est certainement la règle la plus importante en plasturgie, car toutes les parois de la pièce, hors nervures, doivent être de la même épaisseur. L'épaisseur des parois des pièces est très importante. Elle va en effet influencer sur la rigidité de la pièce, son aspect et sur son poids. Si elle est trop fine, elle sera cassante et difficile à remplir. À l'inverse, si elle est trop épaisse elle présentera des risques de gauchissement, de retassures et le temps de cycle de production augmentera sensiblement. Généralement, les principaux thermoplastiques se travaillent pour les parties fonctionnelles entre 1.5 et 3.5 mm. Pour un boîtier électronique réalisé en ABS, une épaisseur de 2.5 mm des parois extérieures est généralement un bon compromis. Pour les boîtiers de moins de 5 cm, il est possible de descendre à 2.0mm et pour ceux de plus de 15 cm, il est préférable de monter à 3.0mm.

3-8-2 Rayonner les arêtes

Rayonner les arêtes quand c'est possible permet d'éviter les amorces de rupture sur la pièce et permet un meilleur écoulement de la matière dans le moule lors de l'injection. Il est recommandé que le rayon intérieur fasse au minimum la moitié de l'épaisseur de la paroi. Le rayon extérieur doit quant à lui être dessiné de façon à ce que l'épaisseur de la paroi au niveau de l'angle reste identique au reste de la pièce.

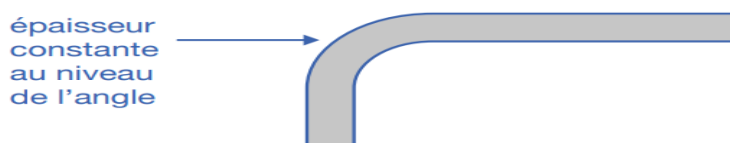


Figure I.12 : pièce avec rayon

Par exemple, pour une pièce avec une paroi de 3 mm, le rayon intérieur sera au minimum de 1.5 mm et le rayon extérieur de 4.5 mm.

3-8-3 Les dépouilles

La dépouille est une étape de conception importante. Elle interviendra généralement en toute fin de conception. Elle permet un bon démoulage de la pièce évitant ainsi des rayures qui pourraient se produire si l'on éjectait une paroi verticale sur une autre paroi verticale.

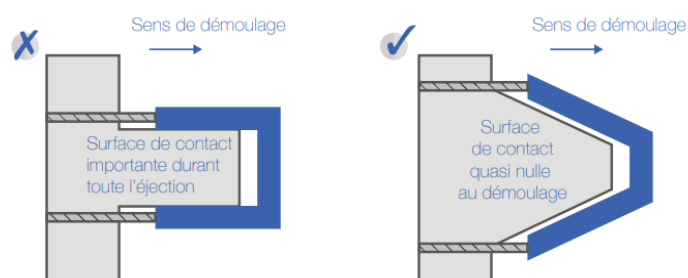


Figure I.13 : Etape de dépouilles de conception

En fonction de la matière et des états de surface de la pièce, l'angle de dépouille est compris entre 1.0 et 5.0 degrés. 1 degré : à éviter. Si nécessaire, utiliser un état de surface lisse type polissage miroir pour éviter les risques de rayures lors du démoulage. 3 degrés : dépouille couramment utilisée.

Elle permet l'utilisation d'un sablage ou d'un petit grain charmille type 18 ou 24 sur les pièces d'aspect.

5 degrés : à utiliser quand il y a un gros grain de finition ou avec certains plastiques comme les élastomères qui accrochent davantage à l'outillage.

3-8-4 Gérer les contre-dépouilles

Pour se démouler de l'outillage, une pièce en plastique, comme une gaufre, ne doit pas avoir d'éléments qui viennent latéralement empêcher son démoulage naturel.

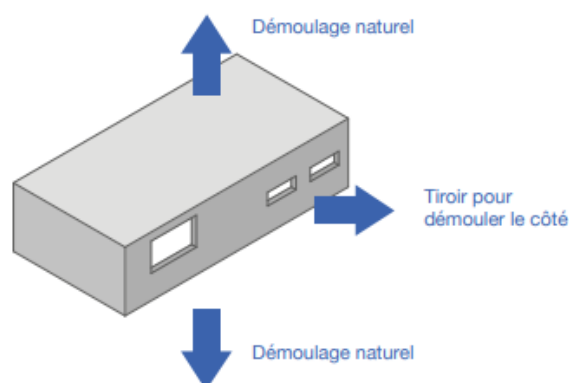


Figure I.14 : Démoulage d'un boîtier avec connecteurs

Si, néanmoins, dans le cadre de projet il y a une forme comprenant une ou plusieurs contre-dépouilles, il faudra alors incorporer au moule des tiroirs latéraux. Ces éléments additionnels du moule engendreront un coût supplémentaire non négligeable. Dans tous les cas il faut chercher à les limiter et mettre si possible tous les éléments en contre-dépouille sur la même face de la pièce afin de limiter le nombre de tiroirs

4 L'extrusion

L'extrusion des polymères est un des procédés essentiels pour former les matériaux thermoplastiques disponibles en granulés ou en poudre, l'extrusion consiste à convoyer le polymère solide puis à le fondre et à le soumettre à une pression grâce à l'action d'une vis qui tourne à l'intérieur d'un fourreau chauffé (voir figure I.10). Le polymère est ensuite forcé dans une filière d'extrusion puis refroidi, ce qui définit le type d'extrusion.

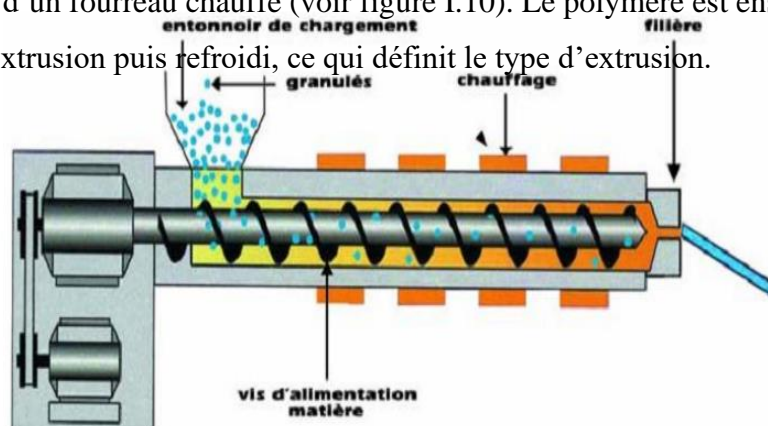


Figure I.15 : procédé d'extrusion

4-1 Principe de fonctionnement d'une extrudeuse

La principale méthode utilisée consiste à introduire la matière à la partie arrière d'une ou plusieurs vis, qui tournent dans un fourreau chauffé et remplissent la double fonction de malaxer la matière et de la forcer à travers l'outillage (filière) [7]. Les machines qui réalisent cette opération sont appelées extrudeuses. L'ancienne appellation "boudineuse" n'est plus utilisée. Le principe de l'extrudeuse était déjà matérialisé par les machines de fabrication des pâtes alimentaires, avant d'en arriver au boudinage du caoutchouc, qui précède de peu l'extrusion des thermoplastiques. Fondamentalement, une extrudeuse comprend une chambre chauffée, généralement horizontale, appelée fourreau, dans laquelle tournent une ou plusieurs vis entraînées par un réducteur motorisé. Ces vis, qui tournent dans une chemise en acier durci avec un jeu intérieur à quelques dixièmes de millimètres, provoquent un mélange, une chaleur de friction et une homogénéisation. Elles forcent la matière à travers des zones de chauffage graduelles, soigneusement contrôlées. À l'entrée du fourreau, située une trémie qui permet l'alimentation de la machine en matière à extruder. Cette matière peut être amenée réchauffée ou non soit sous forme de granulés, soit sous forme de poudre, préparés à l'avance. À la sortie du fourreau se trouve une tête qui permet le raccordement de la filière. À la sortie de la filière le profilé obtenu est chaud et déformable. Il doit être maintenu et refroidi pendant sa mise en forme définitive, opérations pour lesquelles des systèmes différents sont utilisés, le profilé est souvent calibré lors de son refroidissement pour assurer le respect des formes et des cotes imposées. Le profilé refroidi est entraîné au moyen d'un dispositif de tirage à vitesse réglable, puis réceptionné en rouleaux ou en longueurs (après sectionnement).

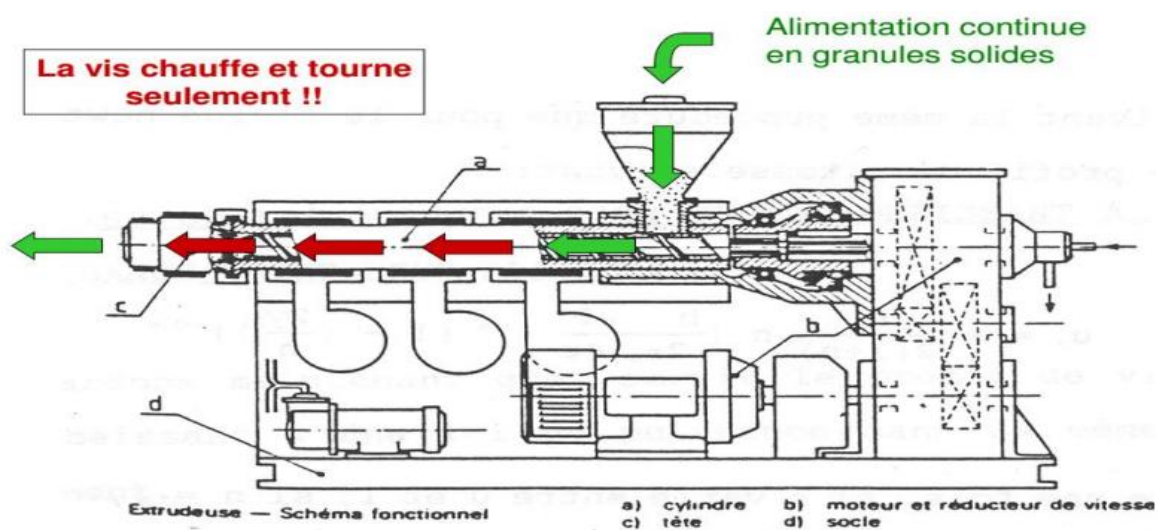


Figure I.16 : Schéma représente l'opération de l'extrusion.

5 Machine associée aux procédés d'extrusion

5-1 Extrudeuse

Une extrudeuse est une machine utilisée principalement dans le domaine de mise en forme des polymères, son rôle important dans ce secteur la rendue une machine indispensable dans la fabrication plastique, cette machine est constituée essentiellement de :

- Vis sans fin ;
- Fourreau ;
- Réservoir d'alimentation en matière première (grains de polymère) ;
- Filière ;
- Moteurs électrique assurant la rotation de la vis sans fin.

5-2 Différents types d'extrudeuse

5-2-1 Extrudeuse à une vis

Les extrudeuses mono vis sont caractérisées par le diamètre et la longueur de la vis. Cette longueur est exprimée en multiples du diamètre. Habituellement, les longueurs de vis se situent entre 15 et 30 diamètres. Les extrudeuses font appel à une source de chaleur extérieure. La chaleur nécessaire à la gélification est fournie par le frottement de la matière plastique sur la vis et le fourreau, ainsi que par la compression et la friction des particules de matières plastiques entre elles sous l'effet de cisaillement et de compression de la vis en rotation. Il faut noter que ces extrudeuses se comportent également dans une certaine mesure en extrudeuses adiabatiques. En effet, les calories nécessaires à la gélification sont apportées dans une proportion variable par l'énergie thermique extérieure et par les frictions internes [8]. Les vis sont généralement percées dans le sens de leur longueur, ce perçage ne débouchant pas du côté sortie matière. Ce forage permet la thermorégulation de la vis. Les vis d'extrudeuses mono vis sont interchangeables en fonction de la nature et des caractéristiques des matières thermoplastiques.

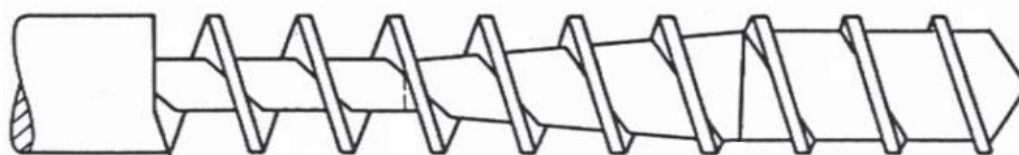


Figure I.17 : Vue globale d'une vis sans fin d'une extrudeuse [9].

5-2-2 Extrudeuse à deux-vis

Les extrudeuses double-vis sont particulièrement bien adaptées à la transformation de matières thermoplastiques pulvérulentes. La double vis à filets interpénétrant agit alors comme une pompe à vis.

À capacité équivalente la puissance-moteur est moins importante sur les double-vis que sur les mono vis, du fait que les frictions internes sur la matière sont moins élevées. Par contre, l'apport thermique du chauffage est supérieur pour assurer une même gélification

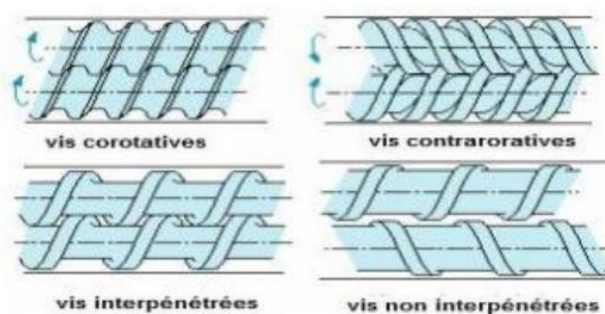


Figure I.18 : Classification des systèmes bi-vis

5-2-3 Sens de rotation des systèmes bi-vis

a) Les deux vis tournent dans le même sens. La matière a tendance à parcourir un chemin en huit, mais sans passer par le point de contact des vis. L'avantage se traduit par une augmentation du chemin parcouru par la matière. L'échauffement est plus régulier.

b) Les deux vis tournent en sens inverse (contre-rotation). La matière passe entre les deux vis et subit de ce fait un malaxage très important qui facilite la gélification. Dans l'état actuel des techniques une seule conception est à retenir pour les doublevis coniques, c'est le principe de la contre-rotation.

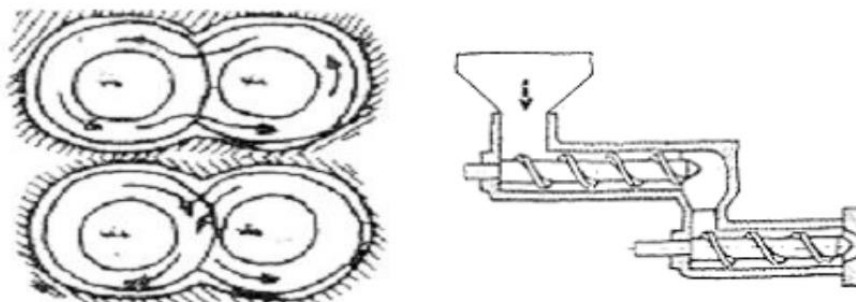


Figure I.19 : Schéma descriptif d'une extrudeuse bi-vis

5-2-4 Obtention du rapport de compression

Chaque constructeur propose sa méthode pour obtenir ce rapport sur la profondeur, et par la forme des filets. On trouve aussi des vis à étages de diamètres différents et d'autres coniques à axes convergents.



Figure I.20 : Vis sans fin à étages de diamètres différents

Plusieurs constructeurs prévoient maintenant des vis à différentes zones et intercalent parfois entre celles-ci des disques ou cylindres, lisses ou entaillés, qui agissent comme organe malaxeur ou créent des zones de décompression et de dégazage.



Figure I.21 : Organe malaxeur à vis conique

6 Les filières

La filière est une pièce placée à la sortie de l'extrudeuse comportant un ou plusieurs orifices par lesquels la matière s'écoule sous l'action de la pression. La géométrie des filières est définie par des paramètres procédés : matière première, recette, débit, dimensions produits... La filière permet de réaliser des produits de différentes formes, tailles et structures. Elles peuvent être de conceptions différentes selon le type de produit voulu. Elle est amovible et doit se démonter facilement pour être nettoyée ou changée. On peut classer les filières de la façon suivante :

- Filières sans poinçon pour les profils pleins (joncs, fils, plaques)
- Filières avec poinçon pour les profils creux (tube à section circulaire, rectangulaire, paraisons, gaines.
- Filières avec poinçon monté sur tête d'équerre pour la réalisation de gainage de câbles,

de gaines gonflées.

- Filières pour la Co extrusion (à entrées multiples pour les profils pleins, pour le gainage et pour l'extrusion de films).

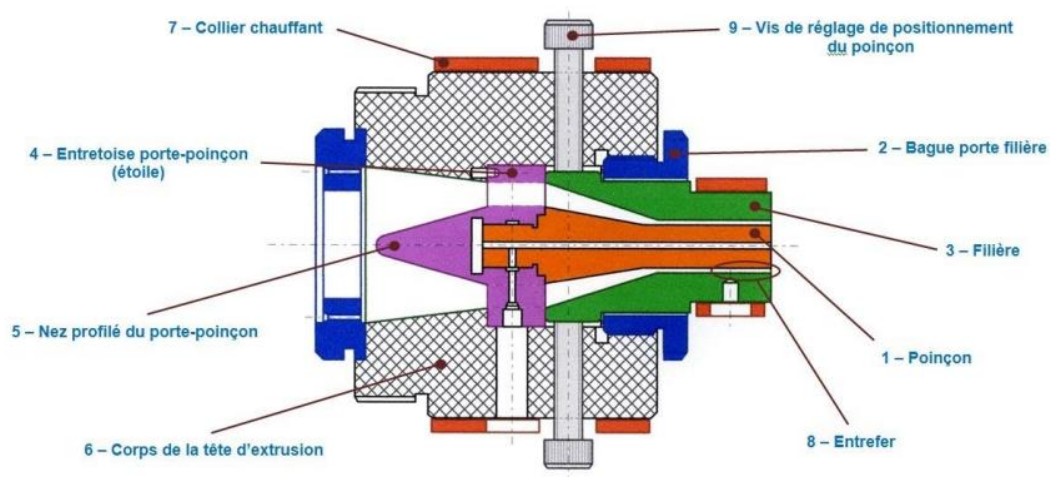


Figure I.22 : schéma d'une filière

Chapitre II
L'injection des
plastiques par
soufflage

1 Introduction

L'injection-soufflage est un procédé de mise en forme de matériaux polymères thermoplastiques qui est utilisé pour fabriquer des corps creux, tels que des flacons et bouteilles. Ce procédé 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. La préforme peut être stockée, transportée ou directement réchauffée pour être ensuite soufflée à la forme voulue. L'éprouvette est alors enfermée dans un moule de soufflage en deux demi-coquilles ayant la forme désirée. Une extrémité de la préforme est pincée. De l'air comprimé (le plus souvent) est ensuite injecté dans la cavité par l'orifice de la préforme afin de plaquer la matière contre l'empreinte refroidie et figer la pièce dans sa forme finale.

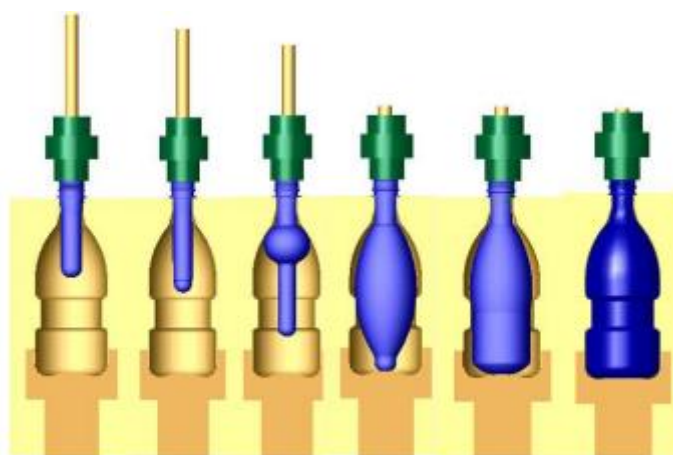


Figure II.1 : Injection soufflage

2 PRINCIPE DE L'INJECTION PAR 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 (fig. II-2).[10]

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

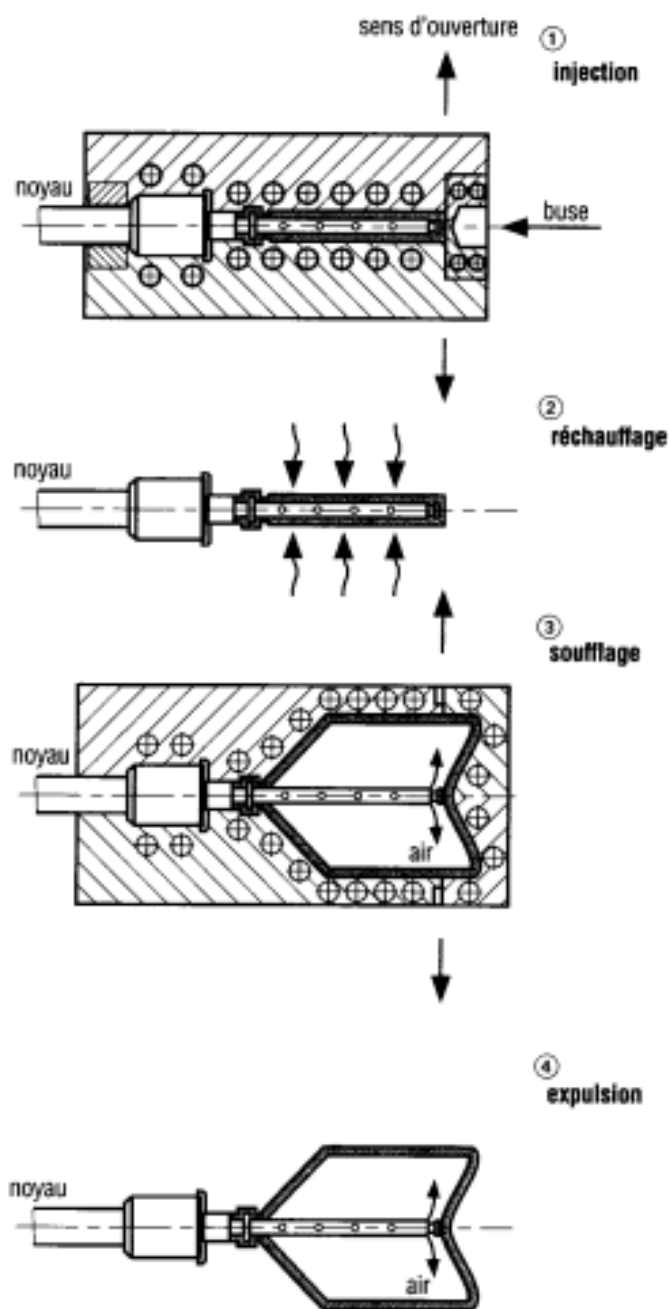


Figure II.2 : Séquence d'injection-soufflage [10]

3 INJECTION-SOUFFLAGE AVEC BI-ETIRAGE

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.

3-1 Injection-soufflage avec bi-étirage en cycle chaud

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) ; - 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).

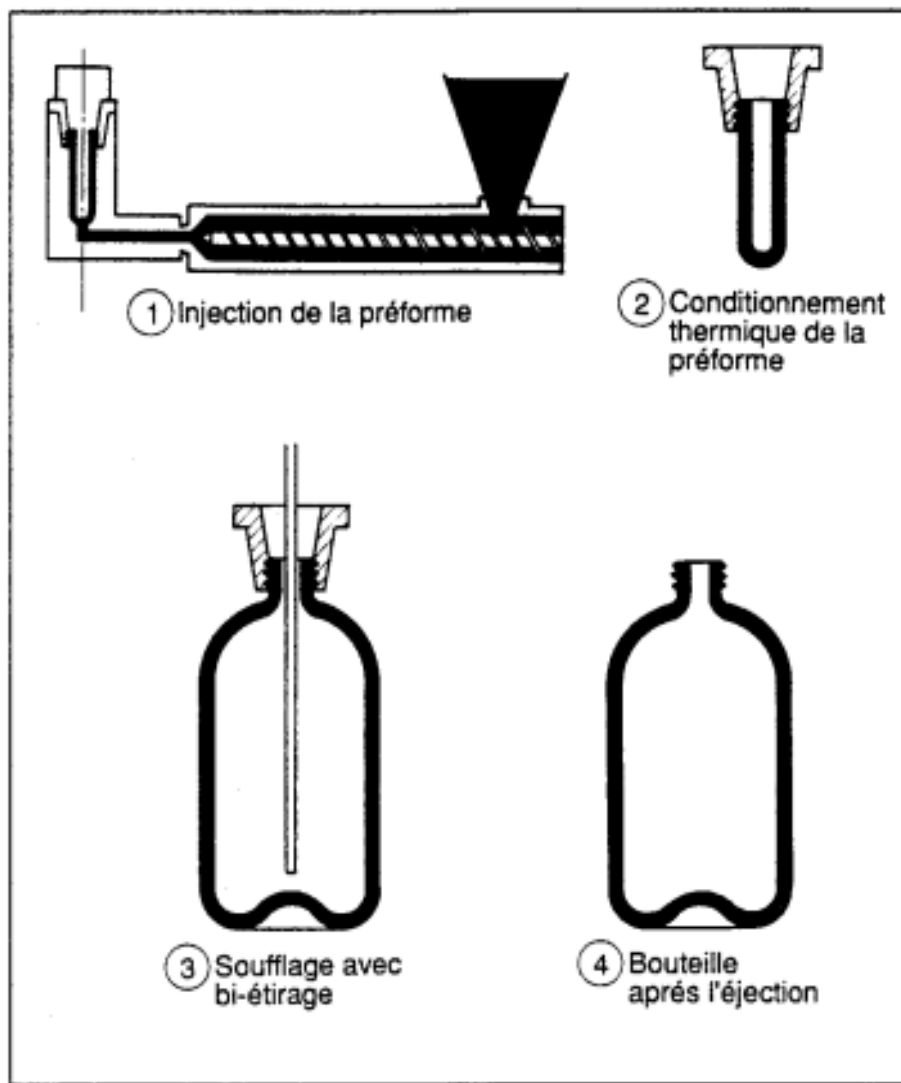


Figure II.3 : Injection-soufflage avec bi-étirage en cycle chaud.

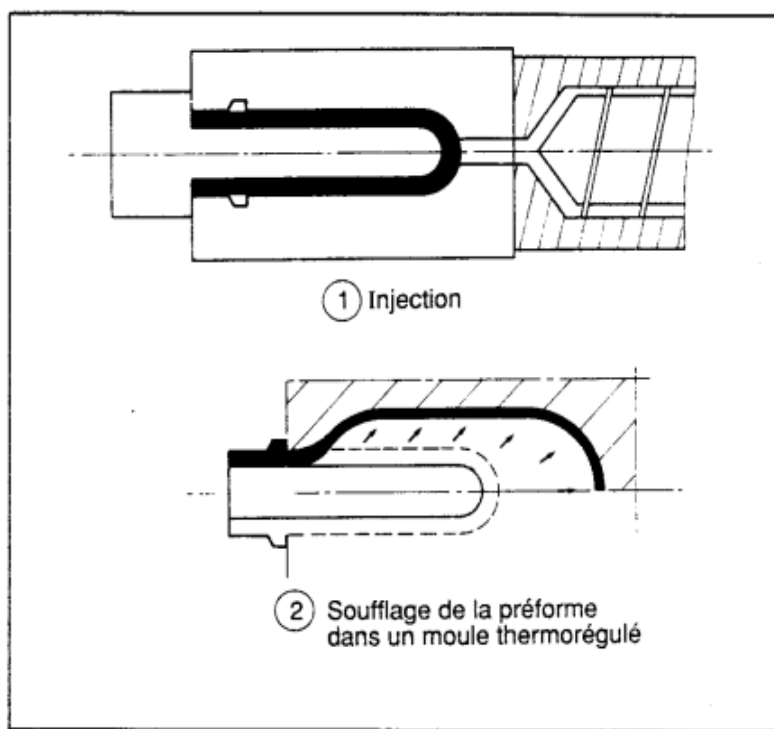


Figure II.4 : Obtention d'une préforme par Injection puis soufflage intermédiaire.

3-2 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 gonflage 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).

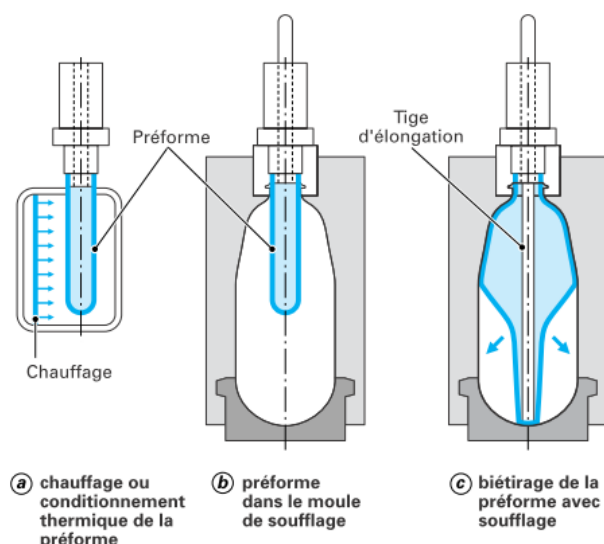


Figure II.5 : Injection-soufflage avec bi-étirage en cycle froid.

Bi étirage en temps réel :

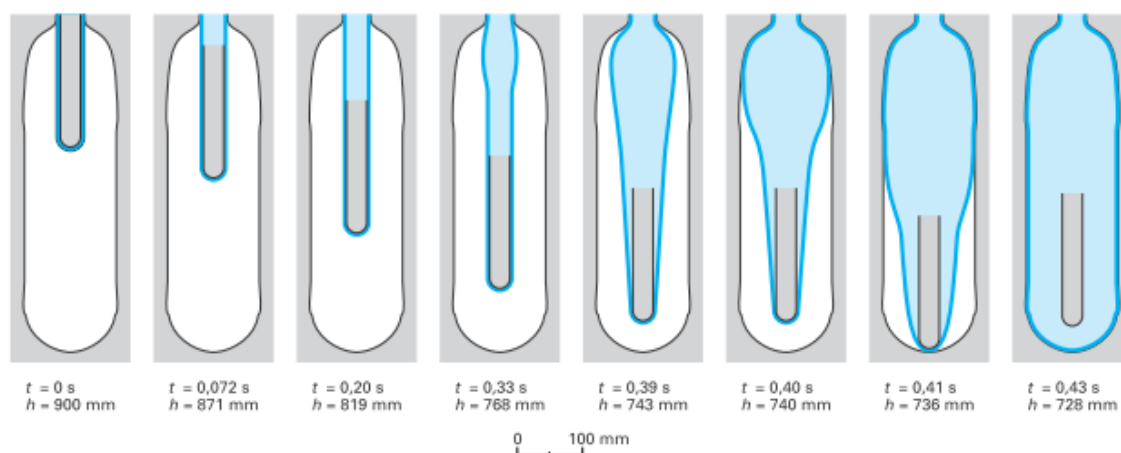


Figure II.6 : Injection-soufflage avec bi-étirage en temps réel [11].

4 Le moule

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

Le dimensionnement de l'outillage sera fonction de :

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

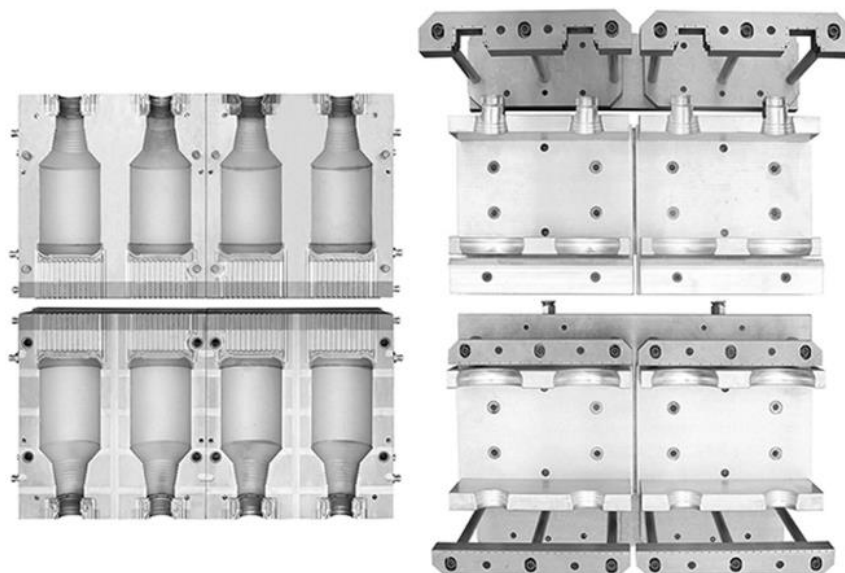


Figure II.7 : Moule de soufflage PET

4-1 matériaux choisir pour la fabrication de moules d'extrusion-soufflage

Les moules de soufflage nécessitent moins de matière et ont un choix plus large. Le choix des matériaux pour les moules de soufflage doit tenir compte de facteurs tels que la conductivité thermique, la résistance, la résistance à l'abrasion, la résistance à la corrosion, le polissage, le coût, les plastiques utilisés et les lots de production. Par exemple pour les plastiques produisant des substances volatiles corrosives (telles que le PVC, le polyacrylonitrile, le polyformaldéhyde, etc.), des matériaux résistant à la corrosion sont utilisés pour la fabrication de moules ou le revêtement de la cavité de moulage avec des métaux résistant à la corrosion. Il existe différents types de matériaux de fabrication.

1. Aluminium. L'aluminium est un matériau précoce et largement utilisé pour le moulage par extrusion. L'aluminium a une bonne conductivité thermique, une bonne usinabilité et une bonne ductilité, une faible densité, une faible dureté et une usure aisée. Les alliages d'aluminium s'useront mieux. L'aluminium de fusion est moins ductile, si inlays billette sont en acier ou en cuivre au béryllium

Fabrication d'alliages. La durée de vie du moule en aluminium est d'environ 100 000 à 200000 fois. L'aluminium est poreux et infiltre parfois de petites quantités de plastique fondu, ce qui affecte l'apparence des produits de moulage par soufflage. Cela peut être résolu en appliquant du mastic sur la cavité du moule, mais cela réduira les performances de transfert de chaleur entre le produit et la paroi du moule.

2. Alliage à base de cuivre. L'alliage de Cu-béryllium est un type de matériau couramment utilisé dans les moules de soufflage. Il présente une bonne conductivité thermique, une dureté, une résistance à l'usure, une résistance à la corrosion et une ténacité mécanique. Les principaux inconvénients sont un coût élevé, des performances de traitement mécaniques médiocres (le temps d'usinage est environ un tiers plus long que l'aluminium) et une densité trois fois supérieure à celle de l'aluminium. , ce qui augmente encore le coût (le cuivre au béryllium par unité de volume est environ six fois celui de l'aluminium). L'alliage de cuivre au béryllium peut être traité thermiquement pour augmenter la dureté (jusqu'à HRC40). L'alliage de béryllium au cuivre peut être usiné, coulé et extrudé à chaud pour La dureté de l'alliage de cuivre au béryllium contenant une teneur élevée en béryllium (par exemple, de 1,8% à 2,0%) est supérieure et il convient d'adopter une méthode de traitement mécanique. Pour fabriquer des moules irréguliers, utilisez des alliages de cuivre au béryllium avec une teneur inférieure en béryllium, tels que 1,65%. L'alliage de cuivre au

béryllium est principalement utilisé dans la fabrication d'inlays en billettes et est utilisé conjointement avec des moules en aluminium. Parfois (en particulier pour les plastiques corrosifs), l'ensemble des moules de soufflage sont complètement fous. e en alliage de cuivre au béryllium. Par exemple, l'alliage de cuivre au béryllium ne sera pas corrodé par le chlorure d'hydrogène produit lors du traitement du PVC. Cela empêchera également l'eau de s'écailler dans le canal de refroidissement et réduira l'efficacité du transfert de chaleur. Le moule en alliage de cuivre au béryllium est facile à réparer par soudage ou incrustation. Le béryllium est nocif pour la santé humaine. L'inhalation de poussière de béryllium est nocive pour les poumons. Il est également suspecté d'être un cancérigène. Outre l'alliage de cuivre au béryllium, des alliages Ni / Si / CU, Cr / CU et aluminium / bronze sont également disponibles pour la fabrication de moules de soufflage. La conductivité thermique des deux premiers alliages est environ 2 et 3 fois celle de l'alliage cuivre-béryllium, respectivement.

3. L'acier est principalement utilisé dans le soufflage du PVC et des plastiques techniques. Ceci est dû à la dureté extrêmement élevée, à la résistance à l'usure et à la ténacité de l'acier. Le principal inconvénient de l'acier est une faible conductivité thermique, qui doit être compensée par la conception du système de refroidissement et la température et l'état de l'écoulement du fluide de refroidissement. Le moule en plastique corrosif (comme le PVC) doivent être fabriqués en acier inoxydable. Les moules en acier peuvent être fabriqués par usinage, extrusion à froid, coulée ou soudage (pour les grands moules). La durée de vie d'un moule en acier peut atteindre 10 millions de fois. Ainsi, lorsque la quantité de produits de moulage par soufflage est grande, l'acier est une sorte de matériau préféré. L'acier (comme l'acier à outils commun) est également utilisé dans la fabrication de pièces de moules de soufflage pour résister à l'usure, telles que l'inlay billette, tige de traction, colonne de guidage, manchon de guidage et coffrage etc. les pièces nécessitent un durcissement de l'acier. Mais, l'acier est généralement moins utilisé dans la fabrication de moules de soufflage.

4. Autres matériaux.

En alliage de zinc. Il a une bonne conductivité thermique et un faible coût. Il peut être utilisé pour la coulée de gros moules ou de moules de forme irrégulière. L'alliage de zinc est moins dur que l'alliage d'aluminium. L'acier ou l'alliage de béryllium est donc utilisé pour la fabrication de billettes. Le zinc peut également être allié à l'aluminium ou au cuivre, qui a stabilité mais moins de résistance à la corrosion.

Alliage zinc-nickel-cuivre. Il peut également être utilisé comme matériau de moulage par soufflage ; sa conductivité thermique entre l'alliage de cuivre au béryllium et l'alliage

d'aluminium. Cependant, avec une conductivité thermique similaire, sa dureté est inférieure à celle du cuivre par alliage.

Résine (p. Ex. Polyacrylate, époxy) .Peut être utilisée pour la coulée de moules d'essai peu coûteux, de moules avec peu de temps de fabrication ou de moules pour échantillons. Ils peuvent être remplis de poudre de métal ou de fibre de verre pour améliorer la stabilité dimensionnelle et la conductivité thermique.

5 Machine d'injection soufflage (TONGDA HTSII/5L)

Cette machine (figure II.8) peut atteindre un volume de 5 litres dans le jerrycan. Il est largement utilisé dans une bouteille de 500 ml à 5000 ml. Nous pouvons avoir différentes options dans cette machine de 5 litres comme une seule station, une double station, une seule tête, plusieurs têtes, une bande de vue, une seule couche, plusieurs couches, une fonction d'ébavurage automatique, etc. Nous pouvons faire la configuration la plus appropriée en fonction de nos besoins.



Figure II.8 : Machine d'injection soufflage (TONGDA HTSII/5L)[12]

5- 1 Caractéristiques techniques :

- **Système de contrôle électronique :** ordinateur japonais Mitsubishi PLC plus interface homme-machine (chinois ou anglais) papier rouge, fonctionnement à écran tactile. Tous les paramètres de processus, les modifications, la recherche, la surveillance, le diagnostic des défauts et d'autres fonctions sont réalisés sur l'écran tactile, sans contact avec le principe de fonctionnement, les composants et durables.
- **Système hydraulique :** contrôle de pression proportionnel, équipé de composants hydrauliques de marque importés, stables et fiables.
- **Système de plastification :** vis de mélange de plastification efficace, plastique pour assurer une qualité adéquate et uniforme.
- **Système de contrôle de vitesse :** contrôle de fréquence + réducteur de vitesse en acier allié, vitesse douce, faible bruit, durable
- **Mode d'ouverture et de fermeture, système mobile :** bras de poutre, trois heures, le centre du mode de serrage du moule, pour assurer une utilisation à long terme. Équilibre de la force de serrage, pas de déformation et utilisation d'un corps en mode translation (guide linéaire à billes), haute précision, moins de résistance, plus rapide.
- **Porte-aiguille de soufflage :** le porte-aiguille de soufflage à angle global, stable et non décalé, pour garantir que les produits coupent en douceur

Tableau II.1 : Caractéristique de la machine d'injection soufflage (TONGDA HTSII/5L) [12]

Désignation	unité	HTS – 5L	HTS(II)- 5L
Volume de production max	L	5	5
Station		Simple	Double
Cycle de séchage	Pc /h	700	700*2
Diamètre de la vis	mm	70	80
Rapport L/D vis	U/D	25	25
Puissance d'entraînement de la vis	Kw	22	30
Puissance de chauffage de la vis	KW	6,2	8,2
N° de zone chauffage (vis)	Zone	3	4
Sortie de PEHD	Kg /h	70	110
Puissance d'entraînement de la pompe hydraulique	Kw	11	11
Force de serrage	Kw	110	110
Distance plateau	mm	148x508	148x508
Cours de déplacement du moule	mm	450	450
Taille max. du moule	(L*H)(mm)	420x450	420x450
Diamètre max. (tête unique)	mm	145	145
puissance de chauffage (tête unique)	Kw	2,5	2,5
N°de zone de chauffage (tête unique)	Zone	3	3
Distance centrale de (Bi-tête)	mm	160.180	160.180
Diamètre max. (Bi-tête)	mm	80	80
N°de zone de chauffage (bi-tête)	Zone	5	5
Puissance de chauffage (bi-tête)	kw	2,88	2,88
Pression de soufflage	Mpa	0,6	0,6
Consommation d'air	M/Min	0,4	0,4
Pression de l'eau de refroidissement	Mpa	0,2-0,3	0,2-0,3
Consommation d'eau	L/Min	50	50
Taille de machine	(LxWxH)(m)	3,43x1,77x2,58	4,10x2,60x2,7
Poids de machine	Tonne	5	8

6 Fabrication des bouteilles en PET par injection-soufflage avec bi-étirage en cycle froid

Le procédé d'injection-soufflage en cycle froid est utilisé pour la fabrication de corps creux, tels que les bouteilles ou les flacons, destinés au conditionnement des eaux minérales plates ou gazeuses, des jus de fruits, ou encore des boissons carbonatées. A l'heure actuelle, ce procédé permet d'atteindre des cadences de production de l'ordre de 60 000 bouteilles par heure. Sur un marché de grande consommation comme celui de la boisson, ces hautes cadences sont nécessaires pour une bonne rentabilité. Le procédé d'injection-soufflage s'adresse essentiellement à des matières thermoplastiques. Citons par exemple le polypropylène (PP), ou encore le polylactide (PLA) qui est un polymère biocompatible issu de matières premières renouvelables. A l'heure actuelle, le poly(éthylène téréphtalate) (PET) reste toutefois le polymère le plus utilisé pour la fabrication des bouteilles par injection-soufflage

6-1 Le poly(éthylène téréphtalate) (PET)

Nature se mi-cristalline du PET : Le PET est un thermoplastique semi-cristallin de la famille des polyesters saturés. Il est obtenu par polycondensation à partir d'acide téréphtalique et d'éthylène glycol. La FIG II.9 illustre sa formule chimique

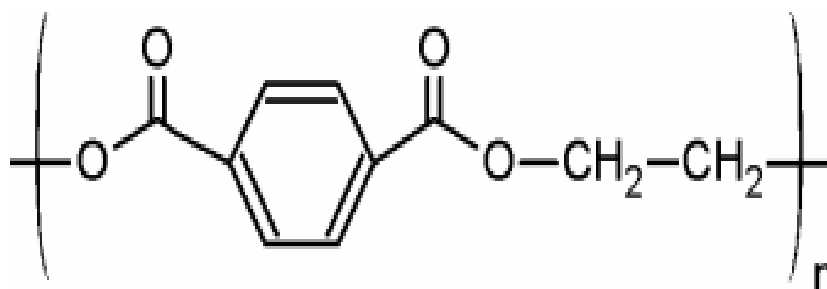


Figure II.9 Unité constitutive du poly (éthylène téréphtalate) (PET) [13]

La structure du PET peut être amorphe ou partiellement cristalline (jusqu'à 50 %). Entre sa température de transition vitreuse (environ 80 °C) et sa température de fusion (environ 250 °C), le PET peut cristalliser thermiquement, ou sous l'effet de la déformation. La cristallisation thermique peut avoir lieu lors du refroidissement du matériau depuis l'état fondu, ou lors de son chauffage depuis l'état vitreux (cristallisation dite froide). Cette cristallisation est fortement affectée par les vitesses de chauffage/refroidissement. Elle se

traduit par le développement de structures cristallines de type sphéroïdique, dont la taille caractéristique est de l'ordre de la centaine de micromètres. La cristallisation thermiquement activée représente une limitation pour la mise en œuvre du PET par injection-soufflage. D'une part, les cristaux formés sont suffisamment volumineux par rapport aux longueurs d'ondes du rayonnement visible pour opacifier le matériau (et donc la bouteille). D'autre part, les cristaux rigidifient le matériau et, par conséquent, nuisent à la bonne mise en forme de la bouteille. En revanche, le second type de cristallisation est recherché. La cristallisation induite, générée lors de la sollicitation du PET en élongation, confère au matériau des propriétés particulièrement intéressantes. Elle est une des origines du succès du PET sur le marché de l'emballage plastique, et a fortiori, sur le marché de la bouteille.

6- 2 Fabrication de la préforme

Le procédé d'injection-soufflage requiert la fabrication préalable d'un semi-produit, appelé préforme. Il s'agit d'une pièce cylindrique creuse, moulée par injection à partir de résine de PET. Cette préforme sera par la suite conformée en bouteille par une opération d'étirage soufflage. Lorsque l'injection de la préforme et le soufflage sont réalisés en ligne, le procédé est dit en cycle chaud (ou "one-step"). En revanche, si à l'issue de sa fabrication la préforme est stockée pour être soufflée ultérieurement (éventuellement sur un autre site de production) le procédé est dit en cycle froid (ou "two-step") [DEN-1989]. Cette seconde variante présente l'avantage de découpler la fabrication de la préforme de celle de la bouteille, ce qui permet de mieux gérer les flux de production et les éventuelles pannes. En contrepartie, elle génère des problèmes de stockage, ainsi que des problèmes de dégradation des préformes, notamment du fait de l'augmentation de leur taux d'humidité. Le cadre de cette étude étant limité au procédé d'injection-soufflage en cycle froid, nous n'aborderons pas les problématiques liées à la fabrication des préformes par injection-moulage. Soulignons toutefois que les préformes doivent impérativement être injectées à l'état amorphe. Pour cela, le PET, injecté à l'état fondu, est trempé dans le moule de la presse à injecter. En pratique, les moules d'injection sont réglés en température grâce à des canaux de refroidissement. Les vitesses de refroidissement (environ $300\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$) sont alors suffisamment élevées pour limiter la cristallisation thermique du PET. A l'issue de leur fabrication, les préformes présentent un taux de cristallinité inférieur à 5% [GOR-2001a]. Les préformes sont dimensionnées en fonction de la géométrie de la bouteille que l'on souhaite fabriquer, et des propriétés mécaniques du PET mis en œuvre. Pour une bouteille de 1.5 litre par exemple, la préforme aura typiquement une épaisseur comprise entre 3 et 4 mm, un diamètre variant de 20 à 30 mm,

une hauteur d'environ 100 mm, pour un poids total avoisinant 26 grammes. La FIG. II.10 illustre un exemple de préformes destinées à la fabrication de bouteilles d'eau minérale

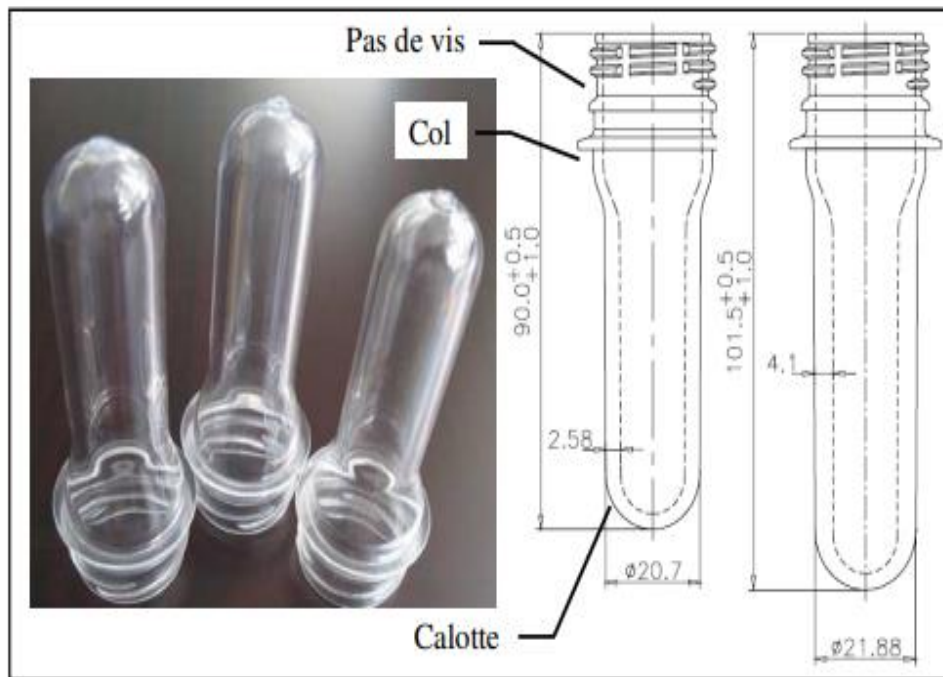


Figure II.10 : Exemple de préformes en PET - Géométries des préformes

Mise en forme de la bouteille : A l'issue de la période de stockage, la préforme est acheminée vers une machine de soufflage à l'aide d'une rampe d'accès. La bouteille est alors fabriquée en deux étapes (FIG. II.11)

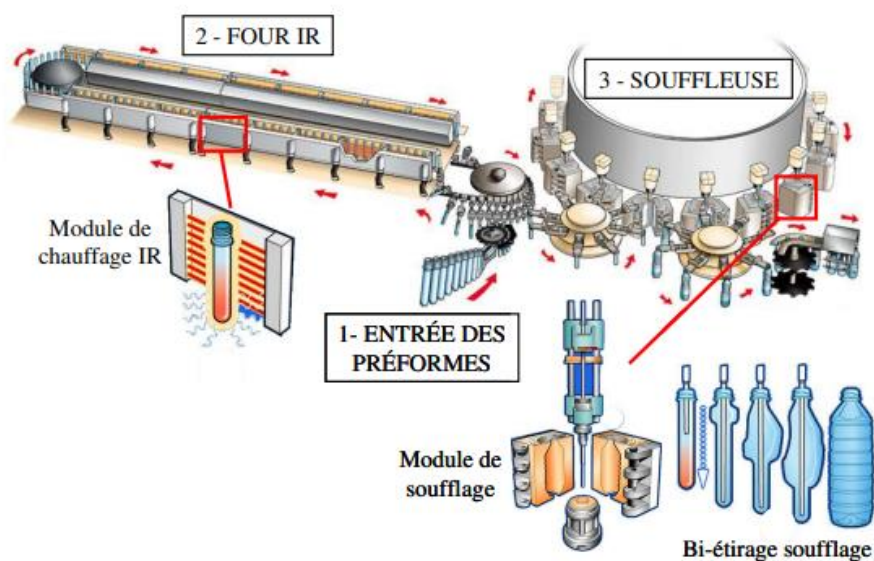


Figure II.11 : Illustration du principe général de la fabrication d'une bouteille par injection soufflage en cycle froid par un soufflé [14]

Principales propriétés d'une bouteille :

Les propriétés majeures utilisées pour mesurer la qualité d'une bouteille sont les suivantes :

- Ses propriétés mécaniques (par exemple sa résistance au choc, à l'écrasement, etc....).
- Ses propriétés optiques : notamment sa transparence vis à vis du rayonnement visible.
- Ses propriétés barrières : i.e. sa perméabilité au gaz. Cette propriété est cruciale pour le conditionnement des boissons carbonatées.

6- 3 Conditionnement thermique de la préforme :

La préforme étant stockée à la température ambiante (soit approximativement 20°C), une étape de conditionnement thermique est nécessaire afin d'amener sa température au delà de la température de transition vitreuse du PET (qui est d'environ 80°C). La gamme de température de formage est typiquement comprise entre 90 et 110°C pour le PET. Sur cette plage de températures, le PET adopte un comportement visqueux-caoutchoutique caractérisé, entre autres, par une forte élasticité qui autorise des taux de déformation pouvant atteindre 500 %. Le conditionnement thermique est réalisé par le passage de la préforme dans un four infrarouge (IR). La composition du four IR, ainsi que ses différents paramètres de réglage, seront présentés en détail dans la partie consacrée aux systèmes de chauffage. Le PET étant semi-transparent vis à vis du rayonnement IR, une fraction du rayonnement IR est absorbé dans l'épaisseur de la préforme, ce qui permet d'obtenir un chauffage "à cœur". Les temps de chauffage sont généralement de l'ordre de 15 s à 30 s. Nous présenterons ultérieurement les différentes problématiques relatives au chauffage des préformes

7 Les différentes températures d'injection et de soufflage des plastiques

Ci-après un tableau de comparaison entre les températures d'injection et de soufflage des plastiques.

Tableau II.2 : Tableau des températures d'injection et de soufflage.

Matières	Températures d'injection (°C)	Températures de soufflage (°C)
PP	240	160
PEHD	240	140
PEBD	220	120
PS	240	125
PO	190	160
PVC	180	120

8 Exemple de soufflage des bouteilles en PET

Nous étudions ici plus particulièrement le soufflage des bouteilles et flacons en PET (polyéthylène téréphtalate) parce qu'il 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 (figure II.12). 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 cœur. 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.

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).

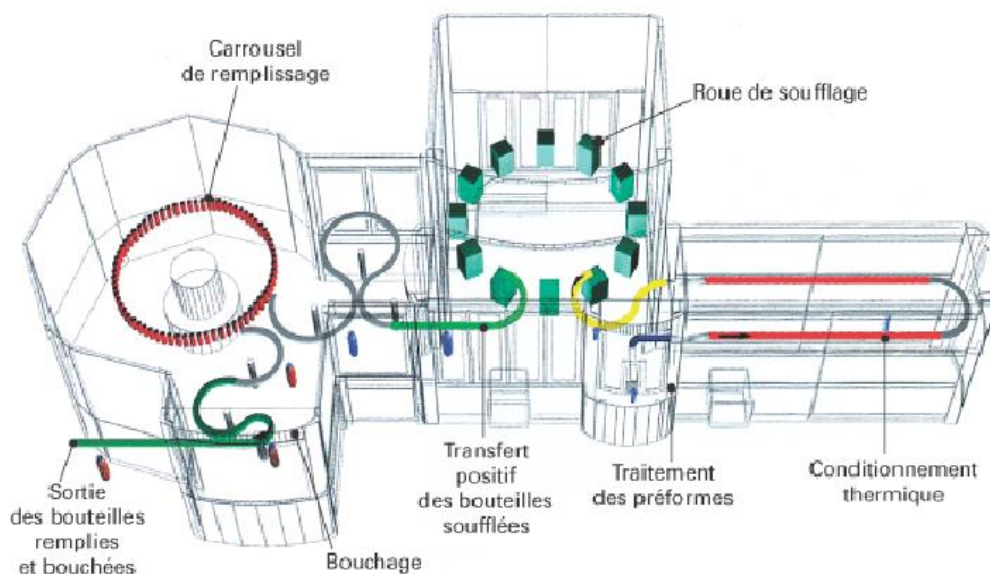


Figure II.12 : - Machine de soufflage des bouteilles en PET, remplissage et bouchage

9 Contrôle d'épaisseur de paraison par l'automate

D'une part, les automates des machines d'extrusion soufflage sont équipés d'un programme permettant d'ajuster et de contrôler l'épaisseur de la paraison, suivant 100 points de contrôle. Ceci permet de maîtriser de manière assez précise la répartition de la matière aux différents endroits du moule et de vérifier que les zones critiques ont suffisamment d'épaisseur.

Cette méthode permet ainsi de gagner du temps sur la préparation des pièces d'essais qui serviront à valider la conception du moule. C'est d'autant plus indispensable avec les moules aux formes complexes, car la matière peut être trop étirée et mal répartie si les réglages ne sont pas optimaux.

Il est possible d'anticiper les étirements et les épaisseurs matière en phase de conception à l'aide d'outil de simulation. La conception du moule et de la pièce peut être étudiée pour optimiser les étirements et les épaisseurs de matière.

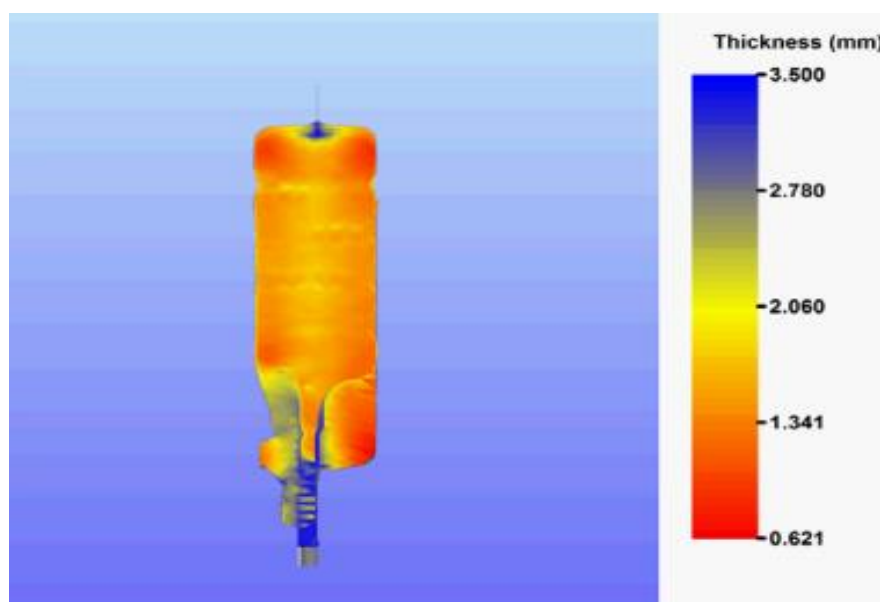


Figure II-13 : épaisseur de paraison par l'automate

10 Extrusion-soufflage de grands corps creux

L'extrusion-soufflage de grands corps creux a connu, depuis le milieu des années 90, un développement spectaculaire avec, notamment, l'émergence des réservoirs à carburant en matière plastique. Ces derniers remplacent progressivement les réservoirs métalliques : en 2010, près de 50 millions de pièces plastiques ont été produites au niveau mondial. Les parts de marché du réservoir plastique s'élèvent à environ 90 % en Europe, 85 % sur le continent nord-américain et atteignent 50 % en Asie, où le changement de matériau a démarré plus tardivement. Le succès du réservoir plastique auprès des constructeurs automobiles repose à la fois sur des arguments techniques et économiques. La solution plastique permet en effet un gain de poids, et offre l'avantage de la réalisation de designs plus complexes mieux à même de s'intégrer dans l'environnement véhicule. Elle présente une amélioration de la sécurité au regard des tests crash et feu. La grande inertie chimique des plastiques utilisés permet de franchir des effets de la corrosion qui s'appliquent aussi bien sur la face externe (environnement, sel de déneigement) que sur l'intérieur (biocarburants) des réservoirs en métal. Enfin, des voies existent afin d'assurer le recyclage dans la même application.[16]

10-1 Défis et spécificités

La fabrication de grands corps creux produits par extrusion-soufflage se heurte à trois difficultés principales :

1. Réaliser la distribution d'épaisseur souhaitée : si généralement, une distribution uniforme permet de réduire le poids, accélérer le refroidissement et diminuer les risques de déformations, certaines parties de la pièce (plages de soudure, goulot, embase, patte de fixation...) peuvent requérir des valeurs particulières qu'il faut pouvoir assurer ;
2. Obtenir la géométrie correspondant à la définition théorique : les pièces produites sont intégrées dans leur environnement avec des tolérances dimensionnelles étroites qui doivent être garanties tout au long de la vie du produit ;
3. Garantir les propriétés (mécaniques, étanchéité, perméabilité...) prévues par les cahiers des charges : le souci de la sécurité des personnes et de la qualité de notre milieu de vie engendre des normes de plus en plus sévères à respecter.

La maîtrise de ces problèmes nécessite une compréhension du procédé et des phénomènes physiques en jeu (rhéologie des polymères, retraits et relaxation des contraintes...), l'utilisation de résines et la mise en place de technologies adaptées ainsi que le retour de l'expérience accumulée au fil des années. Outre les spécificités techniques évoquées, les lignes de fabrication de grands corps creux se distinguent aussi par :

1. Les cadences faibles (de l'ordre de 30 à 60 pièces par heure), justifiées par les temps de refroidissements importants (40 s à 150 s) liés aux épaisseurs des pièces (3 mm à 10 mm) ; si le temps de démarrage d'une installation est compris entre 1 et 2 h, la stabilisation du procédé n'est souvent atteinte qu'après plusieurs heures, de sorte que les lignes de fabrication sont presque toujours exploitées en 3, voire 4 équipes
2. Des débits matière élevés (300 kg/h à 1 500 kg/h), dus aux poids des paraisons à produire (5 kg à 15 kg), le poids relatif des chutes, encore appelées carottes, se situant généralement entre 30 % et 50 % ; les taux de rebut au soufflage sont compris entre 1 % et 2 % ;
3. Des tailles d'outillage importantes, tant au niveau des filières (200 mm à 1 000 mm) que des moules de soufflage, conséquence des dimensions des corps soufflés (typiquement 1 000 mm à 2 500 mm en longueur, 500 mm à 1 200 mm en largeur et 300 mm à 700 mm en profondeur pour un réservoir à carburant) ;
4. Un encombrement relativement grand des équipements : l'empreinte au sol d'une souffleuse pour réservoir multicouche est de l'ordre de 20 m × 15 m, pour une hauteur sous crochet de l'ordre de 10 m. La longueur d'une chaîne de fabrication peut atteindre 100 m à 150 m, en tenant compte des utilités (compresseur, broyeur, groupe

froid, stockage et alimentation matière), des équipements de finition et de l'entreposage intermédiaire des pièces produites.

10-2 Extrusion-soufflage

10-2-1 Description du procédé d'extrusion soufflage

Les grands corps creux comme les réservoirs à carburant sont produits suivant le procédé d'extrusion-soufflage. Cette technique de mise en œuvre repose sur 9 étapes (Figure II-14) :

1. L'alimentation de la machine sous forme de granulés ou de poudre ; outre la résine vierge, on procède à ce stade à l'ajout éventuel de colorant, sous forme de mélange maître et à l'incorporation des chutes de production, sous forme de broyés ;
2. L'extrusion de la résine thermoplastique à l'aide d'un ensemble vis/fourreau appelé extrudeuse. Au cours de cette opération, la matière est comprimée et passe de l'état solide à l'état fondu avant de pénétrer dans la tête d'extrusion ;
3. Le formage d'une paraison ou cylindre de matière fondue au travers d'une filière annulaire ; celle-ci est la plupart du temps munie de dispositifs de régulation permettant de moduler son épaisseur ;
4. L'expulsion de la paraison soit de manière continue, soit par accumulation. Dans ce dernier cas, la matière nécessaire à la formation de la paraison est accumulée dans la tête avant son expulsion ;
5. La découpe et le pincement de la paraison entre les deux blocs d'un moule ;
6. Le soufflage de la paraison : à la fermeture du moule, de l'air ou un autre mélange gazeux est injecté assurant le placage de la paraison sur les parois ;
7. Le refroidissement de la pièce soufflée, par contact avec les parois refroidies du moule et par brassage intense du mélange gazeux compris dans le corps creux ;
8. L'ouverture du moule et l'extraction de la pièce ;
9. L'élimination des carottes, qui sont broyées et réintroduites dans le procédé

Après le soufflage proprement dit, a lieu une phase de post refroidissement, libre ou contraint, assurant la stabilité dimensionnelle nécessaire aux opérations ultérieures de finition. L'extrusion-soufflage possède de nombreux avantages. Elle permet :

- D'utiliser des moyens automatiques ;
- De réaliser des pièces de formes complexes et de grandes dimensions ;
- D'utiliser des moules présentant un coût raisonnable ;

Les cadences atteintes dépendent de l'efficacité du refroidissement : elles sont donc élevées, dans le cas de pièces fines de petites dimensions, plus faibles pour les grands corps creux d'épaisseur plus importante.

Le procédé comporte également un certain nombre d'inconvénients. Il demande :

- Une mise au point parfois délicate des épaisseurs ;
- Des tolérances sur les dimensions relativement larges ;
- Une thermique de moule bien contrôlée.

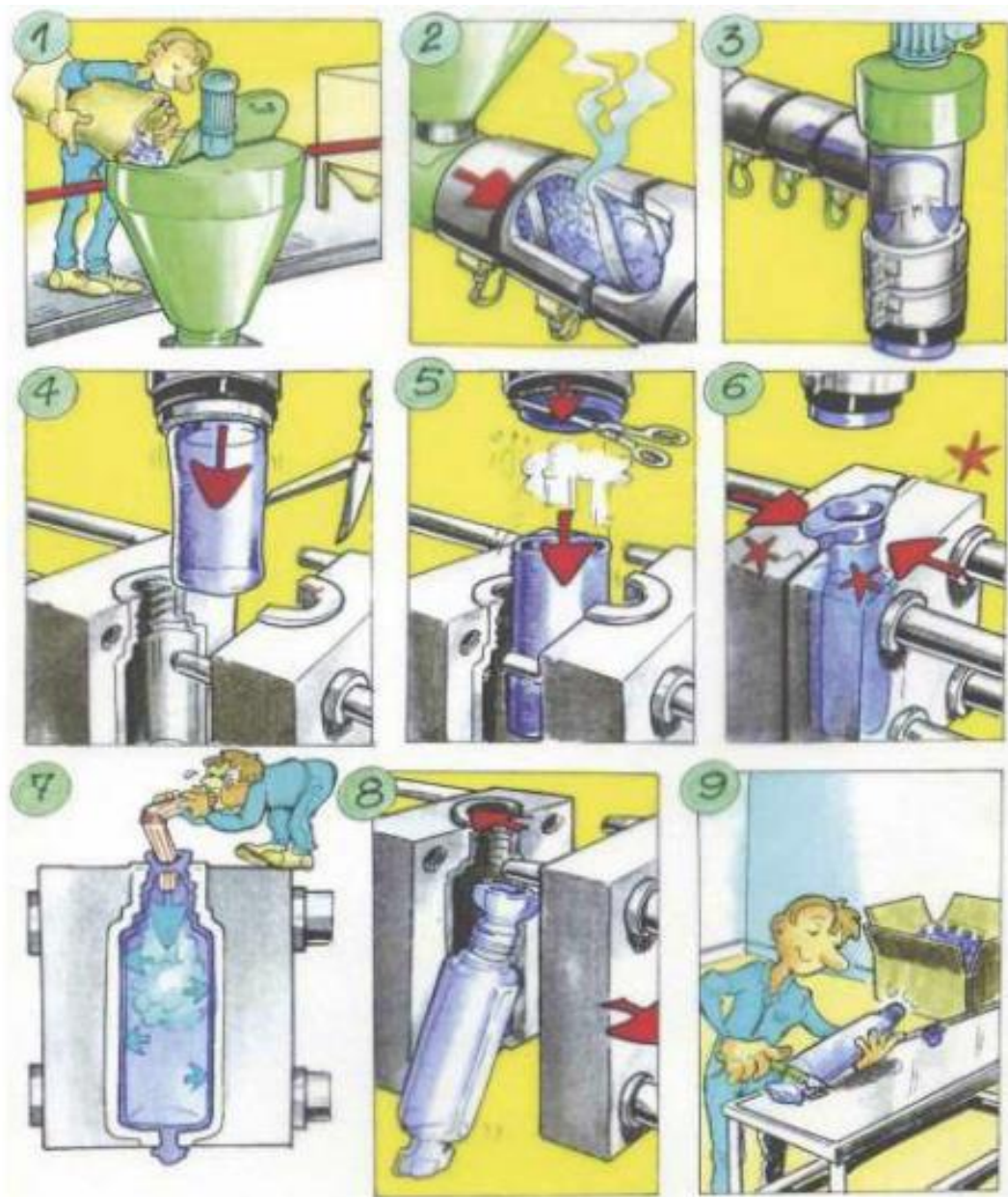


Figure II-14 : Étapes du procédé d'extrusion-soufflage

10-3 Particularités du soufflage de grands corps creux

1. Au vu de la taille de l'article, le poids de la paraison peut atteindre une voire plusieurs dizaines de kg ; dans le cas d'une tête à accumulation, le temps d'expulsion correspondant est généralement compris entre 5 s. et 15 s. dans le cas d'une extrusion continue, la matière est éjectée au fur et à mesure pendant le cycle de soufflage de la pièce précédente, d'une durée typique de 60 à 150 s.
2. En fin d'expulsion, le bas de la paraison est étiré et scellé ; la paraison est ensuite pré gonflée. Ces opérations sont destinées à lui assurer une configuration stable et reproductible ;
3. Après fermeture du moule, les gaz de soufflage sont introduits à l'intérieur de l'enveloppe au travers d'orifices ; ceux-ci peuvent prendre la forme de cannes ou d'aiguilles, logées dans la paroi du moule ;
4. Le refroidissement de la pièce est assuré par contact avec les parois du moule et par circulation du gaz à l'intérieur de l'enveloppe ; pendant cette étape, il est possible de procéder à un traitement de la surface interne, destiné à réduire la perméabilité de la peau interne (fluoration en ligne) ;
5. En fin de cycle, on procède à l'évacuation des gaz de soufflage via la canne et les aiguilles ;
6. Après ouverture du moule, la pièce brute est évacuée vers le poste de décarottage.

Un exemple de synoptique est présenté sur la figure **II-15**, dans le cas du soufflage monocouche par accumulation.

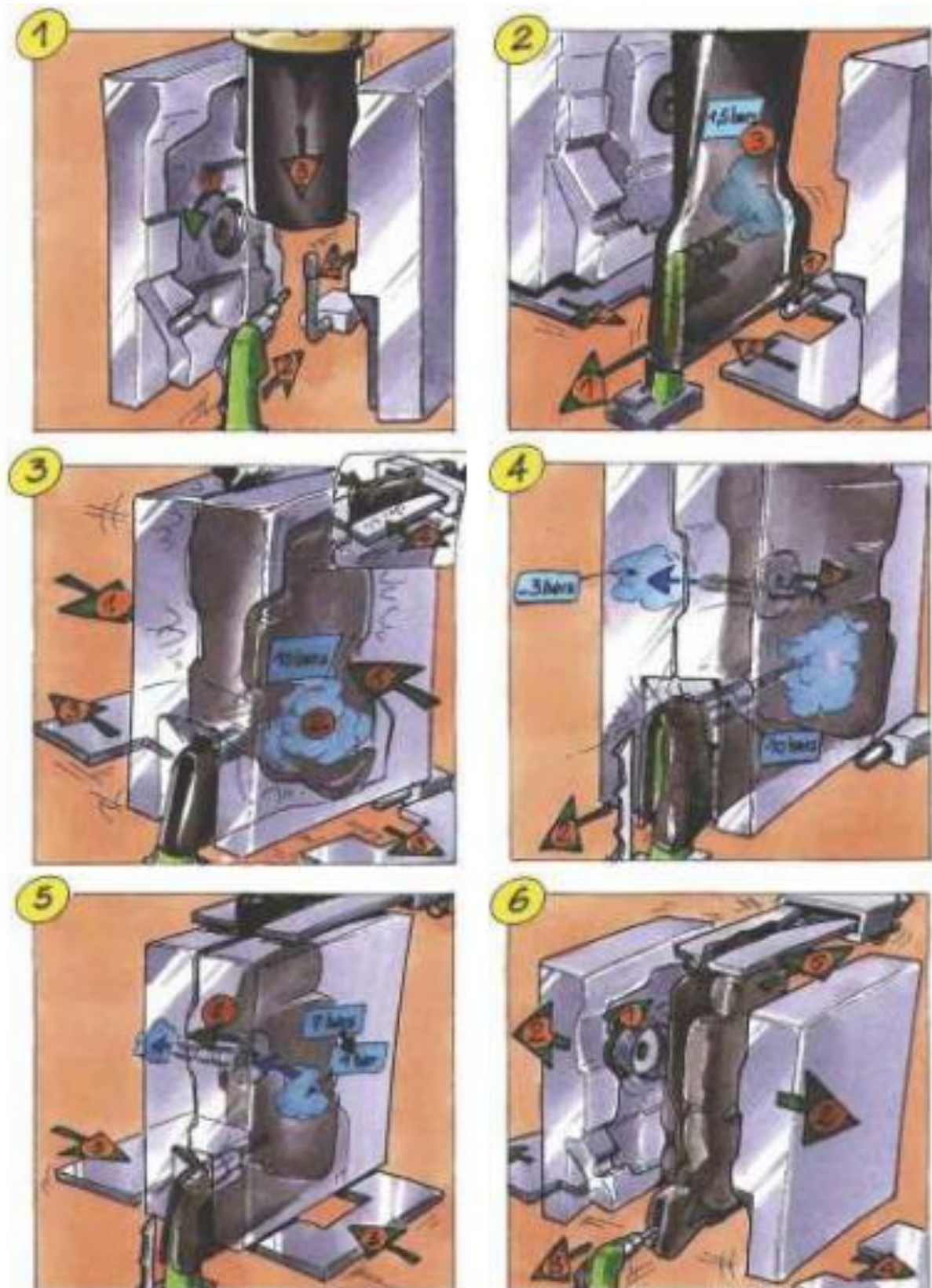


Figure II-15 : Particularités de l'extrusion-soufflage de grands corps creux

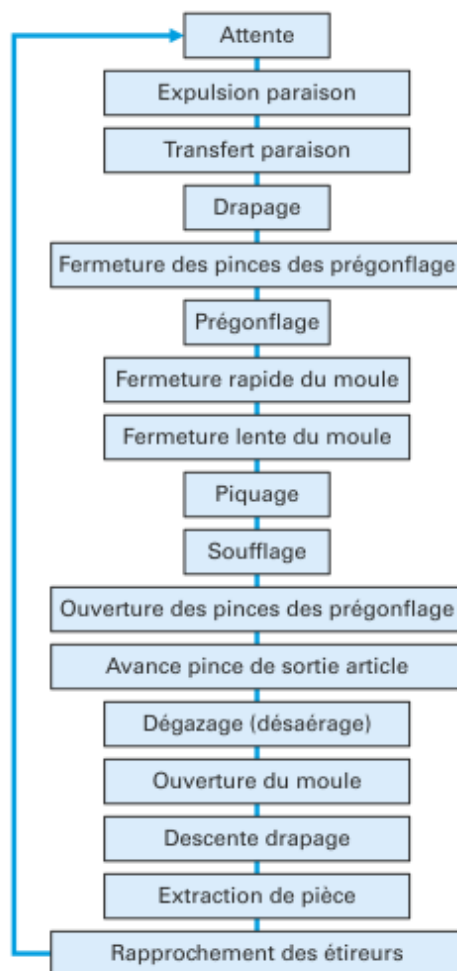


Figure II-16 : synoptique du soufflage monocouche par accumulation.

11 Différence entre Injection Soufflage et Extrusion Soufflage

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

Avantages

- Elimination 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
- Régularité des épaisseurs après soufflage d'où un gain de poids (de moins en moins vrai avec la régulation de paraison)
- Possibilité de mouler des objets avec un grand facteur de forme
- Augmentation des propriétés mécaniques par étirage bi-axial

- L'utilisation d'une préforme permet de mieux programmer les épaisseurs de l'objet, grâce au moule d'injection, ou en diminuant la longueur de paraison et son étirage en extrusion soufflage.

Inconvénients

- Les possibilités de forme sont plus limitées que par ES. Exemple : il est très difficile de réaliser un récipient avec une poigne en IS
- Les matériaux facilement bi-orientables sont peu nombreux : PET, PAN, PVC. De plus les investissements sont importants et la production pour être rentable, doit se situer entre 500 et 15 000 pièces par heure.

12 Applications et polymères utilisés

La résine de base utilisée pour les réservoirs à carburant est le polyéthylène haute densité (PEHD). Plusieurs types de contraintes guident le choix des matières utilisées ainsi que leurs propriétés rhéologiques, mécaniques et chimiques.

Les contraintes liées au procédé nécessitent :

- Un poids moléculaire élevé, de manière à limiter les phénomènes d'étirage lors de la phase d'expulsion : cette contrainte est particulièrement sévère dans le cas de l'extrusion continue ;
- Une largeur importante de la distribution de masse moléculaire, pour éviter les pressions élevées dans l'outillage ainsi que l'apparition de défauts de surface en sortie de filière ;
- Une bonne étirabilité, afin d'obtenir, lors du plaquage de la paraison sur les parois du moule, une distribution d'épaisseur la plus homogène possible ;
- Une bonne stabilité thermique, de manière à limiter les phénomènes de réticulation lors des arrêts ainsi qu'après les recyclages multiples des chutes de production ;

Les contraintes liées au produit demandent :

- Un poids moléculaire élevé, de manière à satisfaire les performances mécaniques (résistance à l'impact, fluage sous charge limité) ;
- une bonne résistance à la fissuration sous tension en présence de carburant ;
- Un indice de fluidité faible, afin d'éviter, lors d'un test de feu, un percement trop rapide de l'enveloppe ;

- Dans le cas de la fluoration en ligne, une teneur réduite en oligomères ainsi qu'en additifs, et ce afin d'assurer un bon accrochage de la couche fluorée ;
- Une bonne résistance au rayonnement UV.

Le tableau II.3 reprend les principales propriétés des résines utilisées dans le cas de soufflage de grands corps creux (ici réservoirs à carburant). Le tableau II.4 fournit les principaux grades homologués pour cette application.

Tableau II.3 : Propriétés des résines de soufflage

Caractéristiques	Méthode	PEHD (soufflage)
Densité	ISO 1183	0,943 à 0,953
MFI (190 ° C, 21,6 kg) (g/10 min)	ISO 1133	3,7 à 9,0
Module en traction (MPa)	ISO 527 (50 mm/min)	> 800
Limite élastique (MPa)	ISO 527 (50 mm/min)	> 23
Limite élastique (%)	ISO 527 (50 mm/min)	9 à 15
IZOD entaillé +23 ° C (kJ/m ²)	ISO 180/1A	> 23
IZOD entaillé -40 ° C (kJ/m ²)	ISO 180/1A	> 17
Température de fusion (° C)	ISO 3146	> 130
Vicat A – 1 kg (° C)	ISO 306	> 125
Vicat B – 5 kg (° C)	ISO 306	> 75
Période d'induction à l'oxygène « OIT » (min)	ISO 11357	> 30 min soufflage > 14 min soufflage mono
Résistance à la fissuration sous tension ESCR Bell test A (h)	ASTM D1693 A	> 500
Dureté Shore A	ISO 868	60 à 65

Tableau II.4 Principales résines homologuées pour la production de réservoirs à carburant

	Méthode	JPE HB111R	INEOS K46-06	LYONDELL BASELL 4261AG	EXXON BA46- 055	TOTAL MS201B
HLMI..... (g/10 min.)	ISO 1133	5,9	4,6	5,6	5,5	8
Masse volumique (kg/m ³)	ISO 1183	945	946	945	945	945
Module en flexion 23 ° C...(MPa)	ISO 178	1000	1000	1000	1100	1200
Limite élastique(MPa)	ISO 527	23	23	23	24	24
Tension à la rupture (Break).....(MPa)	ISO 527	41	37	42	40	43
Élongation à la rupture(%)	ISO 527	640	570	620	630	670
Charpy Impact -40 ° C (kJ/m ²)	ISO 179	9,8	9,3	9,9	9,9	9,5
Résilience en traction avec entaille 0 ° C(kJ/m ²)	ISO 180	158	147	157	146	140
Résistance à la fissuration sous tension FNCT 80 ° C 6 MPa(h)	ISO 16770	80	55	90	15	20
Résistance à la fissuration sous tension ESCR 10 % IGEPAL(h)	ASTM 1693A	>600	>600	>600	360	550

Chapitre III

Application

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.

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 tâche ordinateur), le dessinateur peut se faciliter l'avec des outillés simples : cotation, fond de plan. Ces logiciels sont souvent utilisés 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 a pas des notions de matière et aucun calcul de masse ou volume ne peut être fait.

2-3 Logiciels 3D surfacique

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

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 les fabriquer comme on le faisait autrefois avec des bois.

2-4-1 Avantage des logiciels 3D volumique

Dans les assemblages : l'identification des 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'erreur.
- Les fonctions technologiques (perçage, tournage) sont prises en compte.
- On utilise directement la géométrie pour usiner la pièce.

2-4-2 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.

2-5 La CAO volumique au service du mouliste

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

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

- L'emploi des logiciels volumique 3D puissant est nécessaire pour pouvoir identifier modéliser chaque détail de l'empreinte de moule en ayant résolue les problèmes éventuels.

_ Le dessin technique se trouve alors largement simplifier, il suffit de découper les problèmes éventuels.

_ Le dessin technique se trouve alors largement simplifier, il suffit de découper les empreintes volumiques pour générer en automatique, toutes les vues, coups et sections nécessaires à la cotation des éléments du moule. [17]

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

- Proposer une visualisation des parties moulantes en cours d'étude, avec photo et vues 31 l'appui.

- Apprécier les zones de résistance créatique.

- Contrôler les possibilités de mouvement des ensembles mobiles de l'outil.

- Réaliser des plans fiables ave des coupes et des sections exactes.

- Préparer et simplifier le travail de FAO : le fichier livré au mouliste n'est pas celui pièce, mais celui des empreintes des moules.

3 Méthodologie et conception de moules par logiciel CAO (SolidWorks)

3-1 Conception du moule par SolidWorks

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

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

La majorité des logiciels assisté par ordinateur (SolidWorks, abaqus, pro/Eng, solipède, Catia.....) offrent des outils, qui permet la création des moules pour injection plastique à partir d'une pièce crée sous logiciel, ou d'une pièce importée d'un autre logiciel. Pour bien comprendre comment utiliser cet outil, nous avons présenté un exemple sous Solide Works.

3-2 Application

Durant la conception des pièces, nous avons utilisé les commandes du logiciel SolidWorks que : Esquisses, fonctions et surfaces.

Premièrement, nous avons conçu les quatre tuyaux de purge avec les modifications, puis en utilisant la commande « noyau-empreinte » on a déduit les empreintes (fixe et mobile). Mais nous avons remarqué que l'utilisation de deux empreintes ne nous permet pas le démoulage des tuyaux de purge, alors ont été obligé d'utiliser des tiroirs, en plus nous avons découpé les empreintes de manière à faciliter l'usinage. Et pour permettre l'éjection automatique des pièces moulées, on a prévu des plaques d'éjection (inserts) dans l'empreinte mobile. Et comme le matériau utilisé pour les empreintes est un matériau noble, on doit minimiser au maximum ces dimensions, afin d'éviter l'endommagement de ces derniers et augmenter leurs résistances, on a utilisé des portes empreintes avec des aciers résistants et moins chères.

Deuxièmement, nous avons conçu le reste des pièces constituant le moule en trois dimensions (3D) de manière à assurer les fonctions objectives et les normes de construction.

Ensuite, l'utilisation de la commande assemblages nous a permis d'effectuer le montage de toutes les pièces en formant un moule complet et la détection des interférences qui peuvent exister entre les pièces assemblées.

Finalement, la commande SolidWorks animato nous a permis d'élaboré une animation 3D qui rend notre conception très claire malgré sa complexité, et donne aussi une idée sur le fonctionnement et le montage d'un moule d'injection plastique. [17]

3-3 Le choix de la machine

Le choix de la presse est déterminé à partir de plusieurs facteurs tels que :

- Capacité d'injection.
- Force de fermeture.
- Puissance de plastification.
- Distance entre colonnes.
- Épaisseur minimale du moule.



Figure III-1 : Machine de moulage par soufflage de plastique

Tableau III-1 : Tableau de caractéristique de la machine

Modèle machine	HTII-6L/4	Tension nominale [V]	3 ^ø 380
Volume de produit [L]	06	Fréquence nominale [HZ]	50
Diamètre de la vis [mm]	80	Puissance totale installée [KW]	50
Poids total [T]	06	N=°	4652
Dimensions de la machine [L* W*H]	3300*4200*2000	Date : 11/05/2017	

4- Conception et modélisation d'un moule d'injection par soufflage

4-1 Le choix d'un moule d'injection par soufflage

Les contraintes subies par les moules de soufflage sont beaucoup plus faibles que dans le cas des moules d'injection car la pression de soufflage ne dépasse pas 10 bars, alors que les pressions d'injection atteignent 1000a à 1500 bars l'utilisation optimale de l'extrudeuse

nécessite une conception des moules permettant la production de pièce de qualité avec un cycle aussi court que possible.

4-2 Forme de l'empreinte de la bouteille

Nous avons tracé notre objet sous logiciel SolidWorks

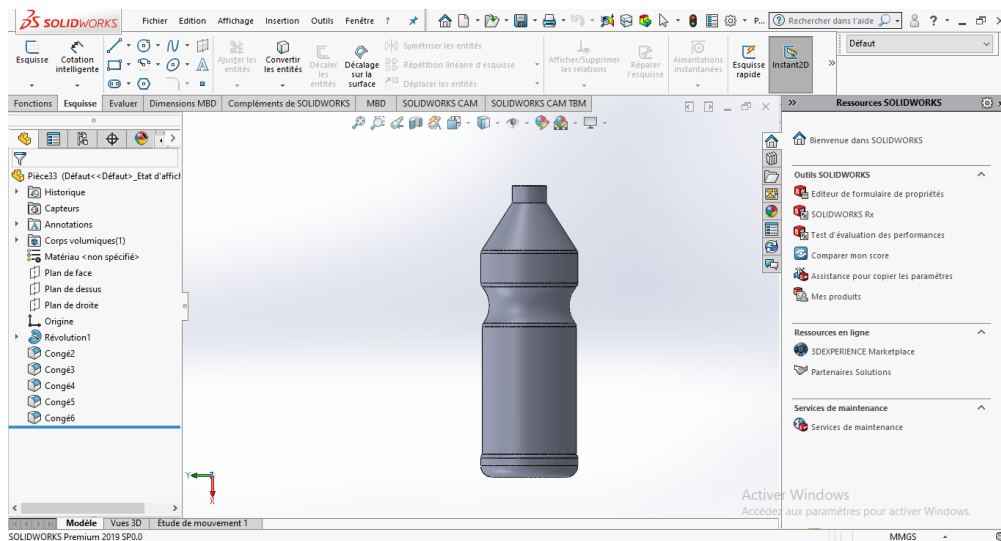


Figure III-2 : La forme de l'empirent dans moule

Nous utilisant la forme creuse de l'empreinte pour faire la conception de notre moule a quatre bouteille avec ces dimensionnements

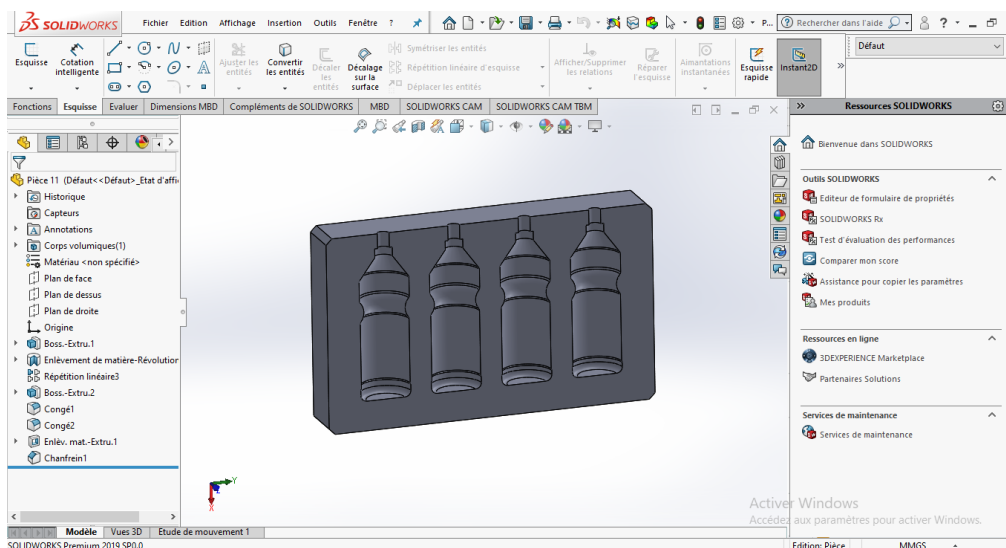


Figure III-3 : Conception d'un demi-moule d'injection par soufflage

Finalisée la conception de moule d'injection par soufflage

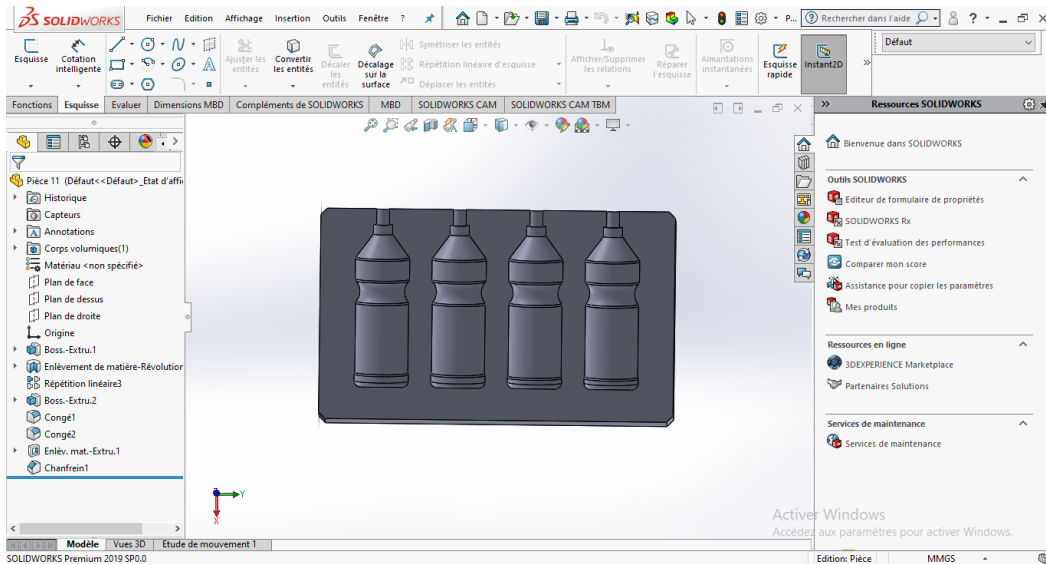


Figure III-4 : Demi-moule d'injection par soufflage fini

5- Résultat et discussions

Nous avons importé le demi-moule par logiciel Abaqus qui on va fait une conception par un autre logiciel SolidWorks premièrement.

5- 1 La concentration des contraintes

Nous avons illustré plisseurs cas d'après la simulation numérique

5- 1-1 Les contraintes de Von Mises

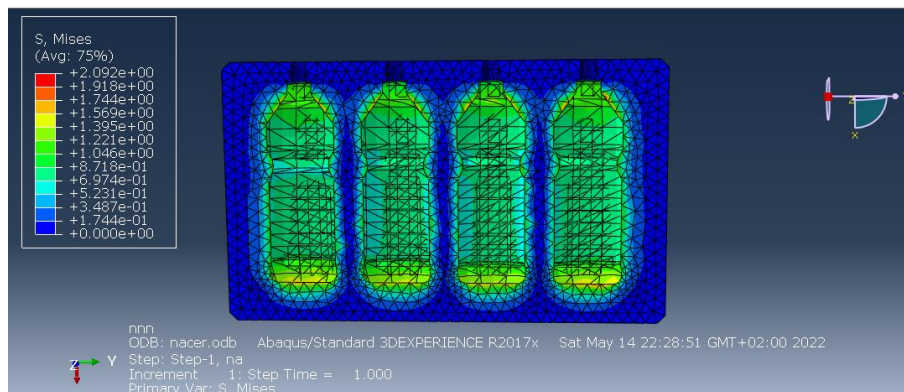


Figure III-5 : La concentration des contraintes de Von Mises au demi-moule

Les résultats obtenir d'après la simulation numérique voir les figures III-5

- La contrainte de Von Mises maximale est : $+2.092 \text{ N/mm}^2$.
- La contrainte de Von Mises minimale est : 0.00N/mm^2 .

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

5- 1-2 Contrainte principale maximale

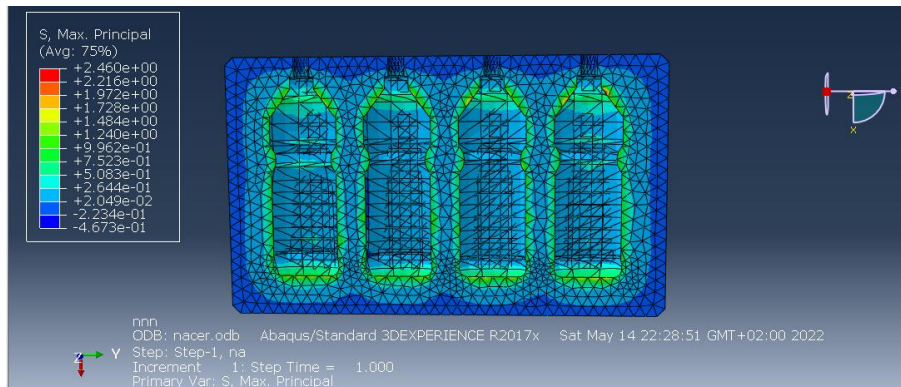


Figure III-6 : La contrainte principale maximale

Les résultats obtenir d'après la simulation numérique voir les figures III-6

- La contrainte principale maximale max est : $+2.460 \text{ N/mm}^2$.
- La contrainte principale maximale min est : -0.4673 N/mm^2 .

La concentration des contraintes principales maximales est concentrée sur les parois de surface de la bouteille, on peut dire que ce dernier est négligeable dans l'autre zone.

5- 1-3 Contrainte principale minimale

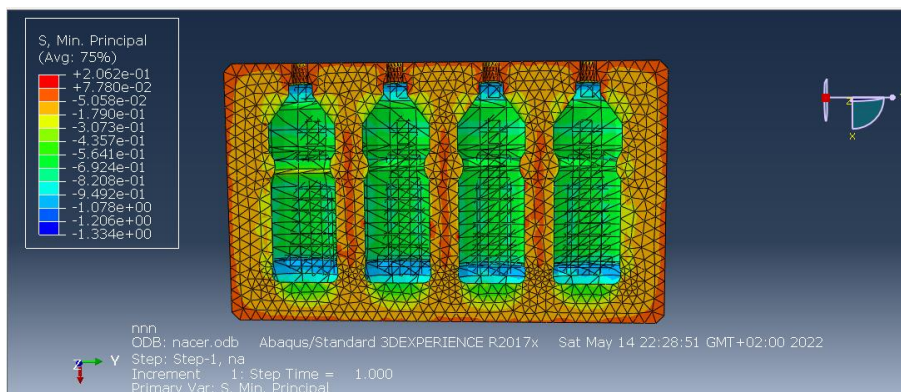


Figure III-7 : La contrainte principale minimale.

Les résultats obtenir d'après la simulation numérique voir les figures III-7

- La contrainte principale minimale max est : $+0.2062 \text{ N/mm}^2$.
- La contrainte principale minimale min est : -1.334 N/mm^2 .

La concentration des contraintes principales minimales est concentrée sur les parois de surface de la bouteille, on peut dire que ce dernier est négligeable dans l'autre zone surtout l'ouverture et le fonds de la bouteille.

5- 1-4 La contrainte axiale selon l'axe XX



Figure III-8 : La concentration de la contrainte axiale σ_{XX}

Les résultats obtenir d'après la simulation numérique voir les figures III-8

- La contrainte axiale σ_{XX} max est : $+0.7772 \text{ N/mm}^2$.
- La contrainte axiale σ_{XX} min est : -1.220 N/mm^2 .

La concentration des contraintes axiales selon l'axe XX 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, on peut dire que ce dernier est faible dans l'autre zone.

5- 1-5 La contrainte axiale selon l'axe YY

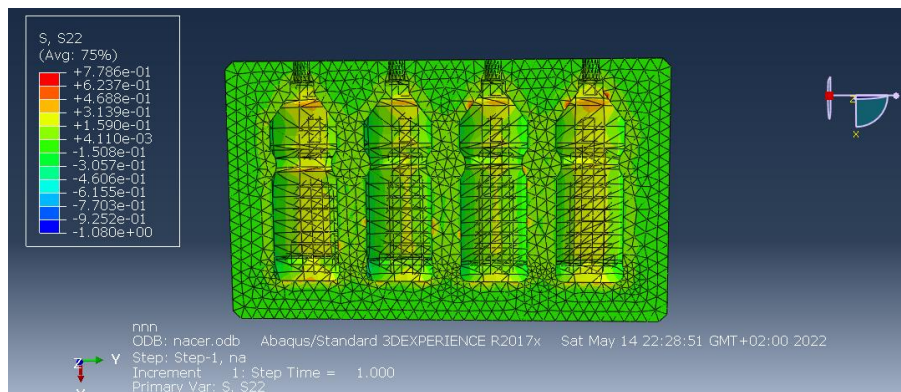


Figure III-9 : La concentration de la contrainte axiale σ_{YY}

Les résultats obtenir d'après la simulation numérique voir les figures III-9

- La contrainte axiale σ_{YY} max est : $+0.7786 \text{ N/mm}^2$.
- La contrainte axiale σ_{YY} min est : -1.080 N/mm^2 .

La concentration des contraintes axiales selon l'axe YY est concentrée sur le milieu de la direction d'injection, surtout sur le fond et l'ouverture de la bouteille, on peut dire que ce dernier est faible dans l'autre zone.

5- 1-6 La contrainte axiale selon l'axe ZZ

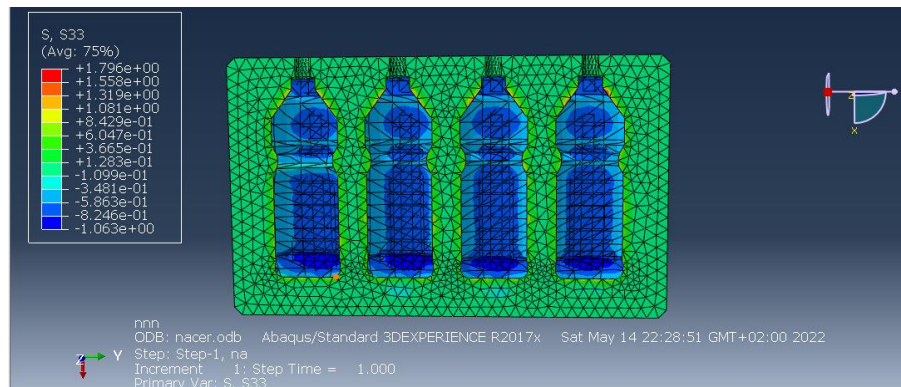


Figure III-10 : La concentration de la contrainte axiale σ_{ZZ}

Les résultats obtenir d'après la simulation numérique voir les figures III-10

- La contrainte axiale σ_{ZZ} max est : +1.796N/mm².
- La contrainte axiale σ_{ZZ} min est : -1.063 N/mm².

La concentration des contraintes axiales selon l'axe ZZ est concentrée sur la partie de forme conique de l'ouverture de la bouteille, on peut dire que ce dernier est faible dans l'autre zone.

5- 1-7 La contrainte tangentielle selon l'axe XY

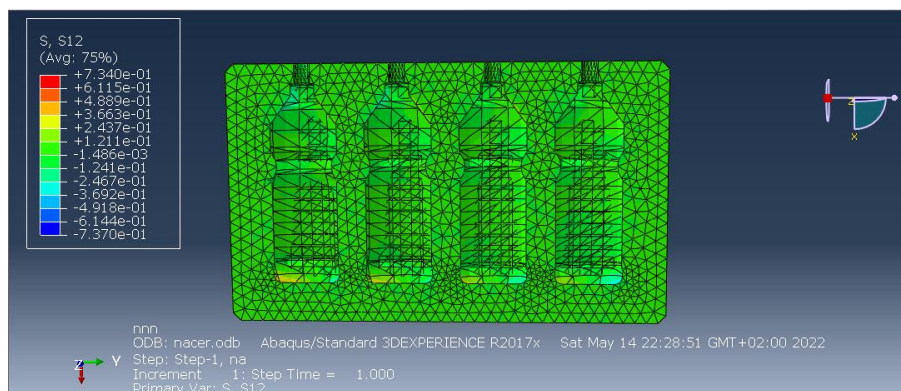


Figure III-11 : La concentration de la contrainte tangentielle τ_{XY}

Les résultats obtenir d'après la simulation numérique voir les figures III-11

- La contrainte tangentielle τ_{XY} max est : +0.7340N/mm².
- La contrainte tangentielle τ_{XY} min est : -1.080 N/mm².

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 avec des valeurs faible, on peut dire que ce dernier est négligeable dans l'autre zone.

5- 1-8 La contrainte tangentielle selon l'axe XZ

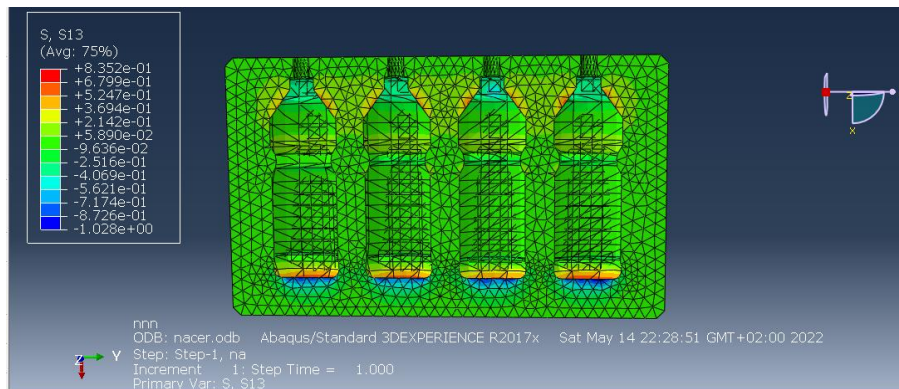


Figure III-12 : La concentration de la contrainte tangentielle τ_{xz}

Les résultats obtenir d'après la simulation numérique voir les figures III-12

- La contrainte tangentielle τ_{xz} max est : +0.8352N/mm².
- La contrainte tangentielle τ_{xz} min est : -1.028 N/mm².

La concentration des contraintes tangentielle selon l'axe XZ 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, on peut dire que ce dernier est négligeable dans l'autre zone.

5- 1-9 La contrainte tangentielle selon l'axe YZ



Figure III-13 : La concentration de la contrainte tangentielle τ_{yz}

Les résultats obtenir d'après la simulation numérique voir les figures III-13

- La contrainte tangentielle τ_{yz} max est : +0.6756N/mm².
- La contrainte tangentielle τ_{yz} min est : -0.8771N/mm².

La concentration des contraintes tangentielle selon l'axe YZ est concentrée sur les parois de surface de la bouteille, on peut dire que ce dernier est négligeable dans l'autre zone.

5- 2 Les déplacements

5- 2 -1 Le déplacement principal

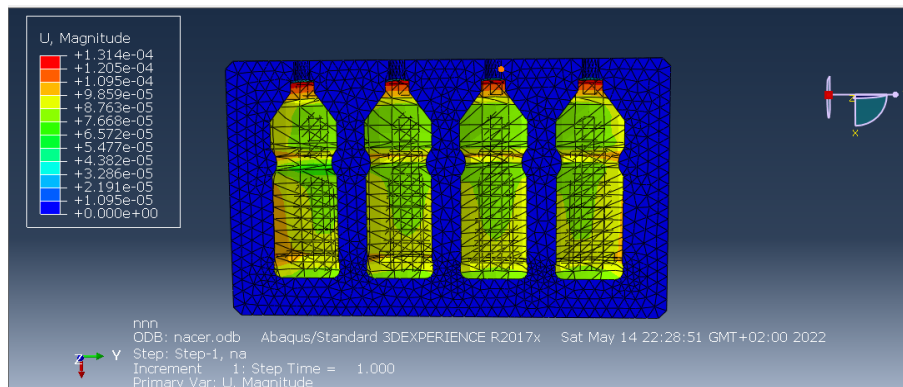


Figure III-14 : Le déplacement principal

Les résultats obtenir d'après la simulation numérique voir les figures III-14

- Le déplacement principal max est : $+1.314 \times 10^{-4}$ **mm**.
- Le déplacement principal min est : 0.00 **mm**.

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

5- 2 -2 Le déplacement axial selon l'axe XX



Figure III-15 : Le déplacement axial selon l'axe XX.

Les résultats obtenir d'après la simulation numérique voir les figures III-15

- Le déplacement axial max selon l'axe XX est : $+1.132 \times 10^{-4}$ **mm**.
- Le déplacement axial min selon l'axe XX est : -8.287×10^{-5} **mm**.

Le déplacement axial selon l'axe XX il est concentré de façon dégradée de bas vers l'ouverture de la bouteille avec des valeurs négligeable.

5- 2-3 Le déplacement axial selon l'axe YY

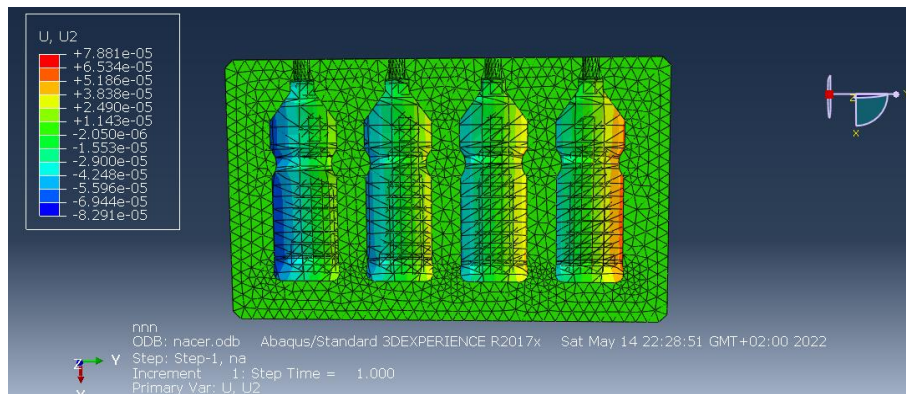


Figure III-16 : Le déplacement axial selon l'axe YY.

Les résultats obtenir d'après la simulation numérique voir les figures III-16

- Le déplacement axial max selon l'axe YY est : $+7.881 \times 10^{-5} \text{mm}$.
- Le déplacement axial min selon l'axe YY est : $-8.291 \times 10^{-5} \text{mm}$.

Le déplacement axial selon l'axe YY il est concentré de façon dégradée de la paroi de la bouteille vers le center avec des valeurs négligeable.

5- 2-4 Le déplacement axial selon l'axe ZZ

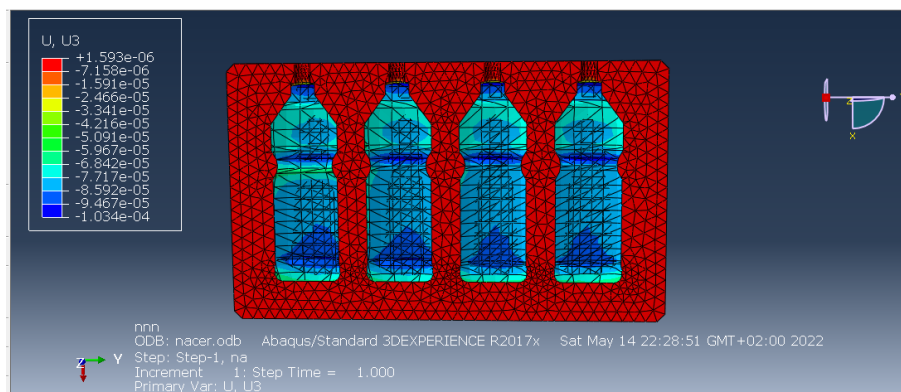


Figure III-17 : Le déplacement axial selon l'axe ZZ.

Les résultats obtenir d'après la simulation numérique voir les figures III-17

- Le déplacement axiale max : $+1.593 \times 10^{-6} \text{mm}$.
- Le déplacement axiale min : $-1.0340 \times 10^{-4} \text{mm}$.

Le déplacement axial selon l'axe ZZ il est concentré sur le fond et la surface conique de la bouteille aussi sur le diamètre gorgée au milieu de celle-ci avec des valeurs très négligeables.

5- 3 Les courbes de la contrainte Von Mises

Nous avons choisir la trajectoire (L) sur la paroi de la bouteille suivant :

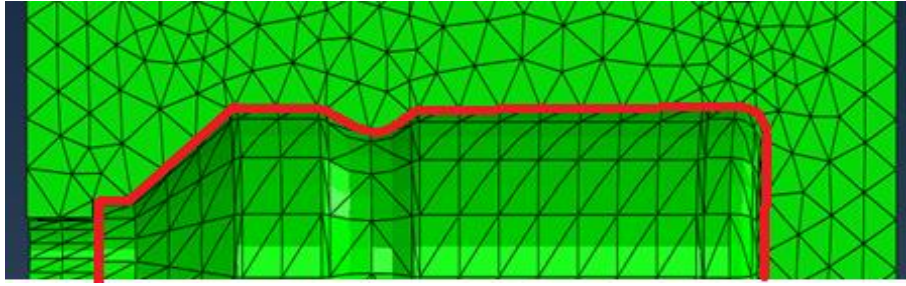


Figure III-18 : La trajectoire sur la paroi de la bouteille

On va obtenir la courbe des évolutions des contraintes Von Mises :

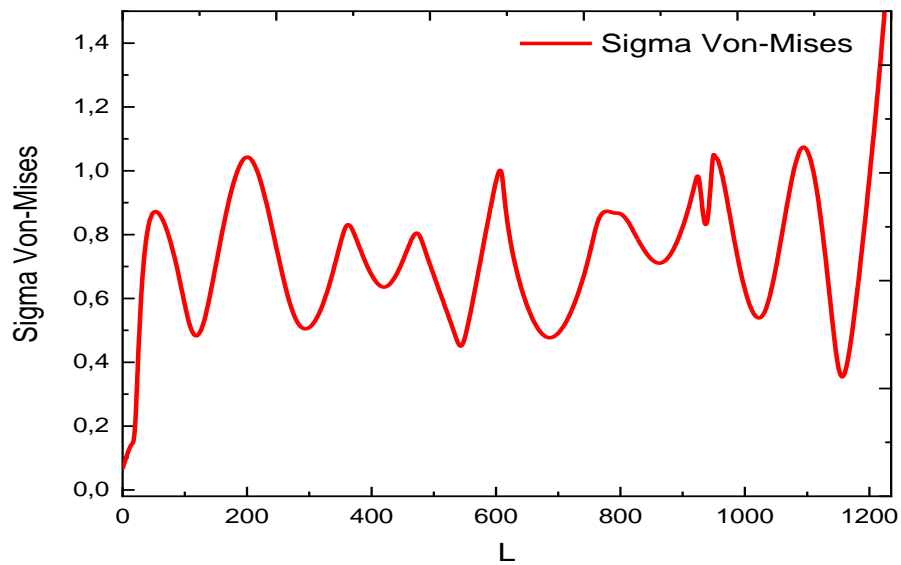


Figure III-19 : L'évolution des contraintes Von Mises.

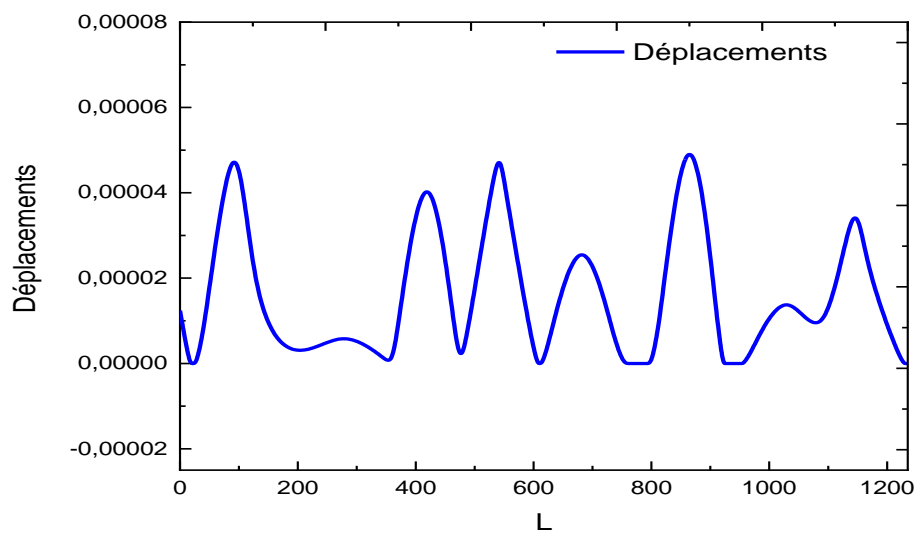


Figure III-20 : L'évolution du déplacement principal

5- 4 Résultat numérique

D'après la simulation numérique, nous extrairons un récapitulatif des valeurs des contraintes.

Tableau III-2 : Une récapitulatif des valeurs des contraintes

Les contraintes N/mm ²									
	Von Mises	Principal		Axial			Tangentiel		
		Max	Min	σ_{XX}	σ_{YY}	σ_{ZZ}	τ_{XY}	τ_{XZ}	τ_{YZ}
Max	+2.092	+2.460	+0.2062	+0.7772	+0.7786	+1.796	+0.7340	+0.8352	+0.6756
Min	0	-0.4673	-1.334	-1.220	-1.080	-1.063	-1.080	-1.028	-0.8771

Aussi, nous extrait une récapitulatif des valeurs des déplacements.

Tableau III-3 : Une récapitulatif des valeurs des déplacements

Les déplacements mm				
	Principal	Axial		
		XX	YY	ZZ
Max	+1.314x10 ⁻⁴	+1.132x10 ⁻⁴	+7.881x10 ⁻⁵	+1.593x10 ⁻⁶
Min	0.00	-8.287x10 ⁻⁵	-8.291x10 ⁻⁵	-1.0340x10 ⁻⁴

Conclusion générale

L'injection par soufflage est un procédé de mise en forme de matériaux polymères thermoplastiques qui est utilisé pour fabriquer des corps creux, tels que des flacons et bouteilles.

Dans ce contexte nous avons fait une étude c'est une application sur la conception et à la modélisation d'un moule d'injection par soufflage, qui se concentre sur les paramètres et les propriétés des matériaux et leur comportement mécanique.

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 de modélisation d'un demi-moule qui contient quatre empreintes, et dans un second temps une application par simulation numérique avec le logiciel Abaqus pour l'étude du comportement mécanique et l'investigation des résultats, nous avons finalement conclu ce qui suit :

La concentration des contraintes généralement est concentrée 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 axiales est tout le temps concentré sur la surface ce qui rend opposé au sens des contraintes dont les valeurs peuvent être faibles.

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.

Résumé

Le moulage par injection et soufflage ou plus simplement l'injection-soufflage est un procédé de mise en forme de matériaux polymères thermoplastiques ou du verre qui est utilisé pour fabriquer des corps creux, tels des flacons et des bouteilles, et le domaine de la fabrication et la conception des moules l'injection-soufflage il est très vaste.

Notre étude c'est une application sur la conception et à la modélisation d'un moule d'injection par soufflage, qui se concentre sur les paramètres et les propriétés des matériaux et leur comportement mécanique.

Abstract

Injection and blow moulding or more simply injection-blow moulding is a process of shaping thermoplastic polymer materials or glass that is used to make hollow bodies, such as vials and bottles, and the field of manufacture and design of molds injection-blowing it is very vast..

Our study is an application on the design and modeling of blow molds, which focuses on the parameters and properties of materials and their mechanical behavior.

ملخص

القولبة بالحقن والنفخ هي عملية تشكيل مواد البوليمر الحراري أو الزجاج التي تستخدم لتصنيع أجسام مجوفة ، مثل القوارير والزجاجات ، مجال التصنيع وتصميم قوالب النفخ بالحقن يعتبر مجال واسع جداً. أما دراستنا فهي عبارة عن تطبيق على تصميم ونمذجة قولبة النفخ ، والتي تركز على معلومات وخصائص المواد وسلوكها الميكانيكي.

BIBLIOGRAPHIE

- [01] FLORIAN LEFEBVRE Couverture et Schémas : SOPHIE DELANNOY Soutien technique et relecture : BENOIT VANNESTE, JEREMY DELEPINE, JEAN-PHILIPPE FLECHELLE et LAURE MARCHAL Les fondamentaux de la conception d'une pièce pour l'injection plastique Par Plastisem.
- [02] <https://www.cercle-recyclage.asso.fr/publications/dossiers/item/604-plastique2-dossier-plastique.html>
- [03] Enseignants : SAIDI. B. HAMMAMI.T et LOUATI. H Cours de PMF des Matières plastiques
- [04] <http://lisonginc.com/Products/PET-Special-Machine/1s200pet-28.html>
- [05] N. BRAHMIA, " Contribution à la modélisation de la cristallisation des polymères sous cisaillement : application à l'injection des polymères semi-cristallins ", Thèse doctorat, Institut national des Sciences Appliquées de Lyon, 2007
- [06] Les plastiques dans notre vie collège de Monteil 2012.
- [07] L'ISLE-ADAM, Les plastiques en débat. Ensemble Scolaire Notre Dame 39 rue Saint Lazare, 2010. (Principe de fonctionnement de l'extrudeuse)
- [08] <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physiquerheologie-209>
- [09] JEAN-FRANCOIS AGASSANT , PIERRE AVENAS, JEAN PHILIPPE SERGANT BRUNO VERGNES, MICHEL VINCENT « Mise en forme des polymères Approche thermomécanique de la plasturgie » 4^e édition
- [10] Michel Bellet MINES ParisTech - PSL ResearchUniversity, Bernard MonasseMINES ParisTechSimulation numérique des procédés de soufflage Article · January 2002 Techniques de l'Ingénieur
- [11] RECORD ETUDE N° 00-0905/1A janvier 2003 Les grands procédés de mise en oeuvre des matières plastiques issues de processus de régénération de déchets Efficacité économique des filières de recyclage des plastiques Etat de l'art
- [12] <https://fr.tongdamachine.net/product/51-blow-moulding-machine/>
- [13] <https://fr-academic.com/dic.nsf/frwiki/1353794>
- [14] Yun Mei LUO Modélisation thermo-visco-hyperélastique du comportement du PET dans les conditions de vitesse et de température du procédé de soufflage THESE Pour l'obtention du titre de Docteur de L'UNIVERSITÉ PARIS-EST

Références Bibliographiques

- [15] ANVIPLASTURGIE Guide sur l'extrusion soufflage Découvrez les avantages et caractéristiques de cette technologie pour votre projet de fabrication de pièces plastiques
- [16] Plasturgie : fabrications de corps creux, de films et de fils Techniques de l'Ingénieur
- [17] [https://www.minedetalents.fr/formation/formation-dessinateur-dao-cao-3d solidwor](https://www.minedetalents.fr/formation/formation-dessinateur-dao-cao-3d-solidwor)