

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI-OUZOU
FACULTE DE GÉNIE DE LA CONSTRUCTION
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MECANIQUE



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme master professionnel en génie
mécanique

Spécialité : Fabrication mécanique et productique

Thème

**Modification du noyau thermoformage de la
contre porte du congélateur 220F.
ENIEM**

Proposé par :

Réalisé par :

Mme : Hamal.L (ENIEM)

Mr : Arab Atmane

Dirigé par :

Mr : ASMA.F

Promotion : 2021/2022

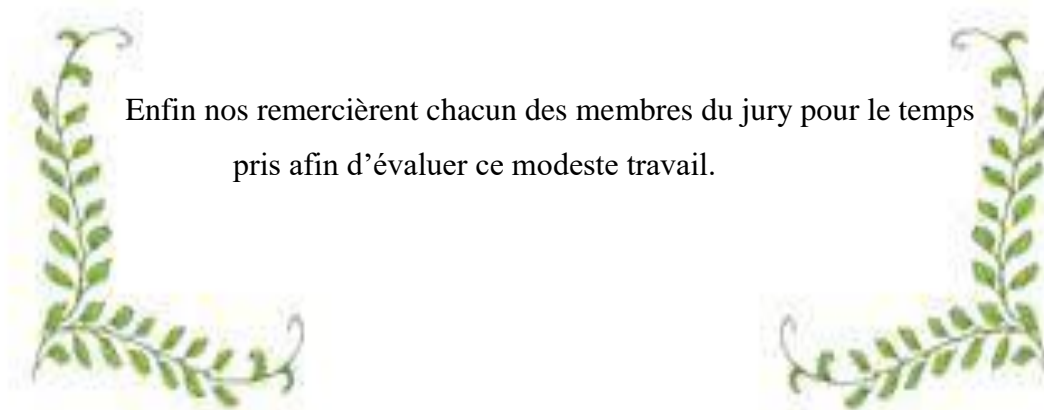


Nous exprimons nos profondes reconnaissances à notre encadreur de mémoire, Mr ASMA.F, pour son accueil, sa disponibilité et ses conseils qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

A tous les ingénieurs au niveau de l'entreprise (ENIEM) par leurs accueils, leurs aides et compréhensions pendant toute la durée de stage surtout Mme Messoudane.A ET notre co-promoteur Mme Hamal.L.

Nos remercieront également Mr Bey.A mon très cher ami qui m'a vraiment aidé dans ce travail.

De plus nos sincères remerciements vont à toutes nos familles au sens large du terme, parents, frères, sœurs, amis dont le soutien et les encouragements ont été permanents, trouvent dans ces quelques lignes l'expression de nos profondes reconnaissances.



Enfin nos remercieront chacun des membres du jury pour le temps pris afin d'évaluer ce modeste travail.



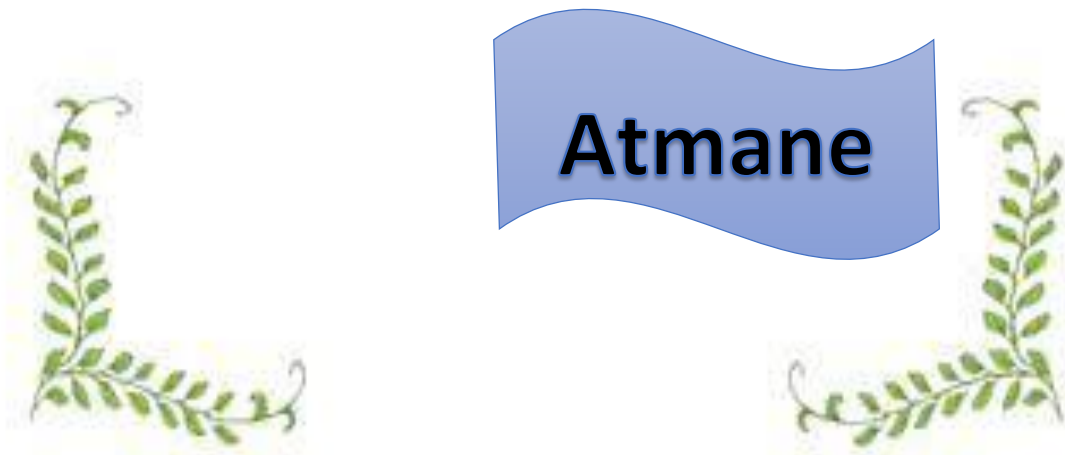
Dédicace

Je dédie ce travail :

A ma famille qui m'ont toujours soutenu tout au long de ma vie, qui m'ont orienté dans le bon chemin et qui ont tout fait pour que je réussisse, que Dieu vous bénisse et vous garde ;

A tous mes amis et tous ceux que j'aime ;

A toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Atmane

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des symboles

Listes des abréviations

Introduction générale

Présentation de l'entreprise (ENIEM)

Chapitre I : Procédé de thermoformage

Introduction :.....	1
I.1. Présentations du thermoformage :.....	1
I.2. Principe.....	2
I.3. Fonctionnement.....	3
I.4. Cycle de thermoformage.....	4
I.4.2. Resserrage :.....	4
I.4.3. Chauffage :.....	5
I.4.4. Formage.....	6
I.4.5. Refroidissement.....	6
I.4.6. Découpage.....	7
I.5. Technique de thermoformage : [8].....	7
I.5.1 Thermoformage sous vide.....	8
I.5.2 Drapage :.....	8
I.5.3 Thermoformage par moule et contre-moule :.....	9
I.5.4 Thermoformage en bulle sous pression avec poinçon de pré-étirage :.....	9
I.5.5 Thermoformage sous pression avec poinçon de pré-étirage :.....	11
I.5.6 Thermoformage sous vide avec poinçon de pré-étirage :.....	11
I.5.7 Thermoformage en relief profond sous vide :.....	12
I.5.8 Thermoformage en relief profond sous vide avec bulle sous pression :.....	13
I.5.9 Thermoformage sous pression en moule ferme :.....	14
I.5.10 Thermoformage libre :.....	15
I.5.11 Thermoformage mécanique :.....	16

I.5 Les matériaux utilisés :	17
I.6. La machine thermo-Formeuse (utilisée à l'ENIEM) : [10]	18
I.6.1. Critères de sélection des machines de formage sous vide dans (notre cas type rotatif)	19
I.6.2. Fonctionnement :	19
I.6.3. Composants de la Thermo-Formeuse : [10]	19
II.7. Avantages et Inconvénients du Thermoformage :	20
II.7.1. Avantages :	20
II.7.2. Inconvénients :	21
II.8. Conclusion :	21

Chapitre II : autres types de mise en forme des matière plastique

Introduction 22

II.1 Comment choisir le bon procédé de fabrication ? :	22
II.1.1 La forme de la pièce :	22
II.1.4 Matériau :	23
II.2.1 Les Moulages :	23
II.2.1.1 Le moulage par compression :	23
II.2.1.2 Le moulage par transfert :	24
II.2.1.3 L'injection :	25
II.2.1.4 Moulage par injection soufflage : [2]	27
II.2.1.5 Moulage au contact : [3]	28
II.2.1.6 Moulage sous vide : [3]	29
II.2.1.7 Moulage par réaction : Réaction injection Molding (RIM) :	30
II.2.1.8 Moulage par expansion :	31
II.2.2 Les extrusions :	32
II.2.2.1 Extrusion soufflage :	33
II.2.2.2 Extrusion gonflage :	34
II.2.2.3 Le calandrage : [5]	34
II.2.3 Thermoformage : [1]	35
II.2.3.1 principe du thermoformage : [1]	36
II.2.4 Autre technique :	37
II.2.4.1 Impression 3D :	37
II.2.4.2 Enduction :	38
II.2.4.3 Enroulement filamentaire : [6]	39
II.2.4.3 Moulage par pultrusion : [3]	40

II.2.4.4 Le procédé Rotomoulage :	41
II.2.4.4.1 Machines de rotomoulage :	42
II.2.4.4.2 Les phases du rotomoulage :	42
II.3 Conclusion	43

Chapitre III : étude et conception

INTRODUCTION 44

III.1. Histoire de sa découverte.....	44
III.2. Caractéristiques.....	44
III.3. Origine	44
III.4. Formes de polystyrène	45
III.4.1. Polystyrène standard (cristal).....	46
III.4.2. Polystyrène choc	46
III.4.1. Polystyrène expansé.....	46
III.5. Quelques propriétés du polystyrène.....	47
III.5.1. Propriétés électriques et thermiques.....	47
III.5.2. Comportement au feu	47
III.5.3. Vieillessement	47
III.5.4. Résistance aux produits chimiques – Corrosion.....	47
III.5.5. Autres propriétés.....	48
III.6. Utilisation du polystyrène	48
III.7. Avantages :	50

Introduction 51

III.1. Calcul du flux de chaleur arrivant sur l'échangeur	52
III.3. Dimensionnement de l'Échangeur	59

Introduction 62

III.1. Le but de conception	62
III.2. Principales composantes de moule.....	62
III.2.1. Noyau	62
III.2.2. L'échangeur	62
III.2.3. Pièces Latérales	63
III.2.4. Pièce de Coin	65
III.2.5. Semelle	65
III.2.6. Cadre	66
III.2.4. Paroi.....	67
III.3. Conclusion	67

<i>Conclusion Générale :</i>	<i>68</i>
<i>Références</i>	<i>69</i>

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I.1 : Principe du thermoformage.

Figure I.2 : Fixation de moule sur plateau porte-moule.

Figure I.3 : Resserrage.

Figure I.4 : Le cycle de chauffage.

Figure I.5 : Le cycle de formage.

Figure I.6 : refroidissement de la pièce thermoformée.

Figure I.7 : thermoformage par sous pression.

Figure I.8 : Drapage.

Figure I.9 : Thermoformage par moule et contre-moule.

Figure I.10 : Thermoformage en bulle sous pression avec poinçon de pré-étirage.

Figure I.11 : Thermoformage sous pression avec poinçon de pré-étirage.

Figure I.12 : Thermoformage sous vide avec poinçon de pré-étirage.

Figure I.13 : Thermoformage en relief profond sous vide.

Figure I.14 : Thermoformage en relief profond sous vide avec bulle sous pression.

Figure I.15 : Thermoformage sous pression en moule ferme.

Figure I.16 : Thermoformage libre.

Figure I.17 : Thermoformage mécanique.

Figure I.18 : Machine de formage sous vide.

Figure I.19 : les trois éléments de régulateur.

Chapitre II :

Figure II.1 : Principe du moulage par compression.

Figure II.2 : Principe de moulage par transfert.

Figure II.3 : Cycle d'injection.

Figure II.4 : Principe de moulage par injection soufflage.

Figure II.5 : Principe du moulage au contact.

Figure II.6 : Moulage sous vide.

Figure II.7 : Procédé RIM.

Figure II.8 : Bille de polystyrène expansée.

Figure II.9 : Emballages en polystyrène expansé.

Figure II.10 : Article obtenu par extrusion (profilés).

Figure II.11 : Principe de l'extrusion soufflage.
Figure II.12 : principe de l'extrusion gonflage.
Figure II.13 : Articles mis en forme par calandrage.
Figure II.14 : Le principe de calandrage.
Figure II.15 : principe du thermoformage.
Figure II.16 : Exemples des machine thermoformage.
Figure II.17 : Exemples des imprimant 3D.
Figure II.18 : Procédé de la technique d'enduction.
Figure II.19 : Description du processus d'enroulement filamentaire.
Figure II.20 : Moulage par pultrusion.
Figure II.21 : Le procédé Rotomoulage.
Figure II.22 : Exemple de poste de rotomoulage.
Figure II.23 : Les différentes phases d'obtention d'une pièce par rotomoulage.

Chapitre III :

Figure III.1 : Polymérisation du monomère de styrène en polystyrène.
Figure III.2 : Code d'identification du polystyrène.
Figure III.3 Types d'emballage de polystyrène post-consommation.
Figure III.4 : fiche technique de la plaque PS-HI.
Figure III.5 : Représentation du Flux de Chaleur absorbé par le moule.
Figure III.6 : Noyau de cotre porte 220F.
Figure III.7 : Echangeur.
Figure III.8 : Type des Pièces Latérales.
Figure III.9 : Porte pièce latérale conçue par SolidWorks.
Figure III.10 : assemblage des pièces latérales.
Figure III.11 : Pièce du coin réalisée par SolidWorks.
Figure III.12 : Semelle réalisée par SolidWorks.
Figure III.13 : Cadre de fixation accompli par SolidWorks.
Figure III.14 : parois

Liste de tableaux

Tableau I.3.différents matériaux thermo-formables avec leurs domaines d'application et leurs avantages.

LISTE DES SYMBOLES

- C_p : Capacité thermique en ($w/^\circ c$)
- λ : Conductivité thermique du matériau en ($w/m.^\circ c$)
- h : Coefficient d'échange convectif en ($w/m^2.^\circ c$)
- K : Coefficient d'échange global en ($w/m^2.^\circ c$)
- τ : Coefficient de dilatation du solide ($1/K$)
- Φ : Flux thermique en (w)
- \dot{m} : Débit massique en (kg/s)
- φ : Densité de flux en (w/m^2)
- e : épaisseur en (m)
- L : longueur en (m)
- ρ : Masse volumique en (kg/m^3)
- Gr : Nombre de Grashofs (Sans unité)
- Pr : Nombre de Prandtl (Sans unité)
- Nu : Nombre de Nusselt (Sans unité)
- Re : Nombre de Reynolds (Sans unité)
- q : Quantité de chaleur en (J)
- P : Puissance thermique ou électrique en (w)
- S : Surface d'échange en (m^2)
- t : Temps en (s)
- T : Température en (K ou c°)
- v : Volume du solide en (m^3)
- μ : Viscosité dynamique du fluide considéré en (m^2/s)
- V : Vitesse du fluide en (m/s)
- ξ : Coefficient de dilatation linéaire en (K^{-1})
- ε : Emissivité d'un matériau (Sans unité)
- σ : La constante de Stefan Boltzmann (Sans unité)
- C_f : Coefficient de trainée (Sans unité)

Liste des abréviations

C.A.O : Conception Assisté par Ordinateur.

F.A.O : Fabrication Assisté par Ordinateur.

ABS : Acrylonitrile butadiène styrène

PP : Polypropylène

PS : Polystyrène standard

PMMA : Polyméthacrylate de méthyle

PC : Feuille de polycarbonate expansé

PET : Polyéthylène téréphthalate

PVC : Polychlorure de vinyle

PE : Polyéthylène

HIPS : Polystyrène choc

CFC : Chlorofluorocarbures

SACO : Substances appauvrissantes de la couche d'ozone

PSE : Polystyrène expansé

PSE-M : Le polystyrène expansé moulé

PSX : Le polystyrène expansé extrudé

GPPS : General Purpose Polystyrene

PSR : Polystyrène rigide

SPI : La Society of the Plastic Industry

PBT : Polybutylène téréphthalate

RIM : Réaction injection Molding

Introduction général

Dans le monde industriel l'innovation, l'amélioration de la fonctionnalité, le cout de revient, le service après-vente et autres, sont des exemples sur la compétitivité et la qualité d'un produit.

Ses mêmes préoccupations sont exigées dans le processus de création de nouveau produit.

La diversification croissante de l'offre et la demande, exigent une perception de plus en plus exigeante des marchés et des utilisateurs en dépit de l'avancée des outils informatiques qui facilitent l'innovation. La conception est devenue un processus complexe et stratégique qui englobe les aspects fonctionnels, techniques, esthétiques et économiques, en prenant en compte de la culture de l'entreprise, mais aussi les contraintes et les normes liées à la sécurité et à l'environnement.

A l'ENIEM 'on nous a proposé l'étude et la conception d'un moule de thermoformage pour la modification du noyau de la contre-porte thermoformée de congélateur 220F.

Toutefois, la mise en forme des matière plastique en produits finis (plasturgie) nécessite des connaissances approfondies en chimie, en physique et en procédés de fabrication. Ces matériaux conservent leurs propriétés et sont facilement recyclables.

La mise en forme des polymères en produits finis dépend du design recherché, des caractéristiques mécaniques et physiques du matériau plastique utilisé ainsi que du moule considéré. Dans le cas des procédés tels que l'injection, le soufflage et l'extrusion, les matières utilisées sont des granulés polymériques. Pour ce qui est du procédé de thermoformage, les produits utilisés sont semi-finis sous forme de feuilles ou plaques de polymères. Dans ce travail, il sera le procédé de thermoformage.

Le principe du procédé de thermoformage consiste essentiellement à former, à l'aide d'un moule, une feuille thermoplastique ramollie par chauffage. La feuille ainsi déformée épouse la forme du moule et, en se refroidissant, conserve la forme de ce moule. En général, un appareil de thermoformage est constitué d'un poste de chauffage, d'un poste de formage, d'un poste de découpe et d'un poste d'empilage. Ces machines sont généralement équipées d'automates ou commandées par ordinateur pour le réglage et le suivi des principales opérations.

L'étude de ce moule est faite de manière à satisfaire certaines exigences à savoir :

► diminuer la mains d'ouvre.

- ▶ moins de vise.
- ▶ Réduire les couts de revient.
- ▶ Diminuer les temps d'interventions et de réparation.

Dans ce projet le travail est réparti comme suit :

Le premier chapitre : procédé de thermoformage.

Le deuxième chapitre : autres types de mise en forme des matières plastiques.

Le troisième chapitre : étude et conception.

Présentation de l'entreprise ENIEM

Introduction :

Il est impérativement nécessaire de mettre l'accent sur l'organisation et la politique de l'entreprise qui fera l'objet de notre étude.

Historique :

L'Entreprise Nationale des Industries de l'Électroménager (E.N.I.E.M) est constituée par le décret n°83 du 02 janvier 1983. Elle est issue de la restructuration organique de la SONELEC, créée en 1974 dont la production dans le domaine a démarré en 1977.

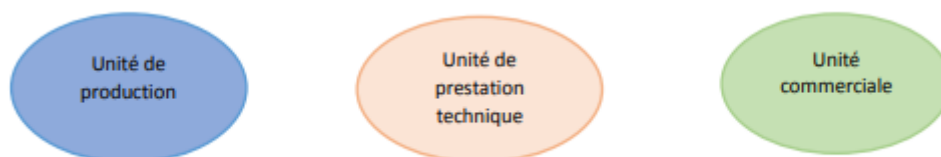
L'ENIEM a été transformée en entreprise publique économique (société par actions) le 08/11/1989 et elle a été dotée d'un capital social de 4 000 000 DA.

Son capital social 2009 est de 10 279 800 000 DA, il a été détenu en totalité par SGP INDELEC dont elle relève actuellement.

La localisation géographique :

Son siège social se situe au chef-lieu de la Wilaya de Tizi-Ouzou.

À la zone industrielle Aissat Idir de Oued-Aissi, distante de 7 km du chef-lieu de wilaya, sont implantées les unités suivantes :



La filiale sanitaire est installée à Miliana, wilaya d'Ain Defla.

La filiale lampe à Mohammedia, wilaya de Mascara.



Figure 01 : la situation géographique de l'ENIEM

Présentation et organisation de l'entreprise :

L'ENIEM est une entreprise algérienne consacrée à la fabrication des appareils électroménagers (réfrigérateur, cuissons, climatiseurs, lave-linge, chauffages, ...).

L'entreprise dispose de plusieurs unités de productions dont l'unités de froid, cuisson et climatisation sont implantées à la zone industrielle d'Oued-Aissi alors que son direction générale se situe à Tizi-Ouzou.

Jouissante de trente-cinq ans d'expérience, ENIEM domine le marché des ventes locales avec un chiffre d'affaire de cinq milliard et cinq cent millions dinars. Elle recrute environ 2500 employés répartis sur deux filiales (Filamp, EIMS), huit directions, service d'administration et cinq unités de fabrications.

La société commercialise sa gamme riche en produits à travers ses points de ventes et ses représentants officiels installés dans plusieurs zones et régions du pays.

Ancien organigramme de l'ENIEM :

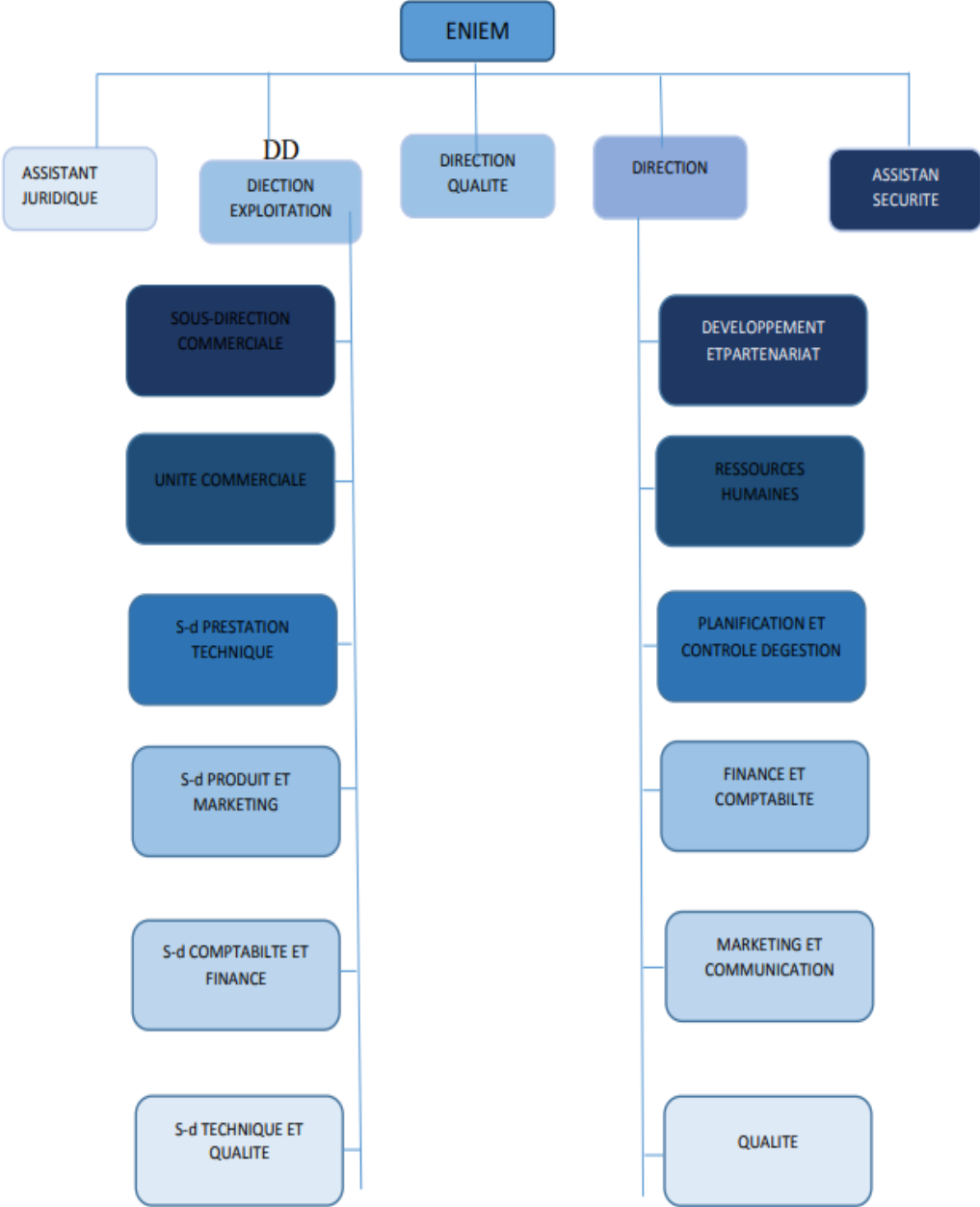


Figure 02 : Ancien organigramme de l'ENIEM (Source : document interne de l'ENIEM)

Nouvel organigramme de l'ENIEM (depuis 1996) :

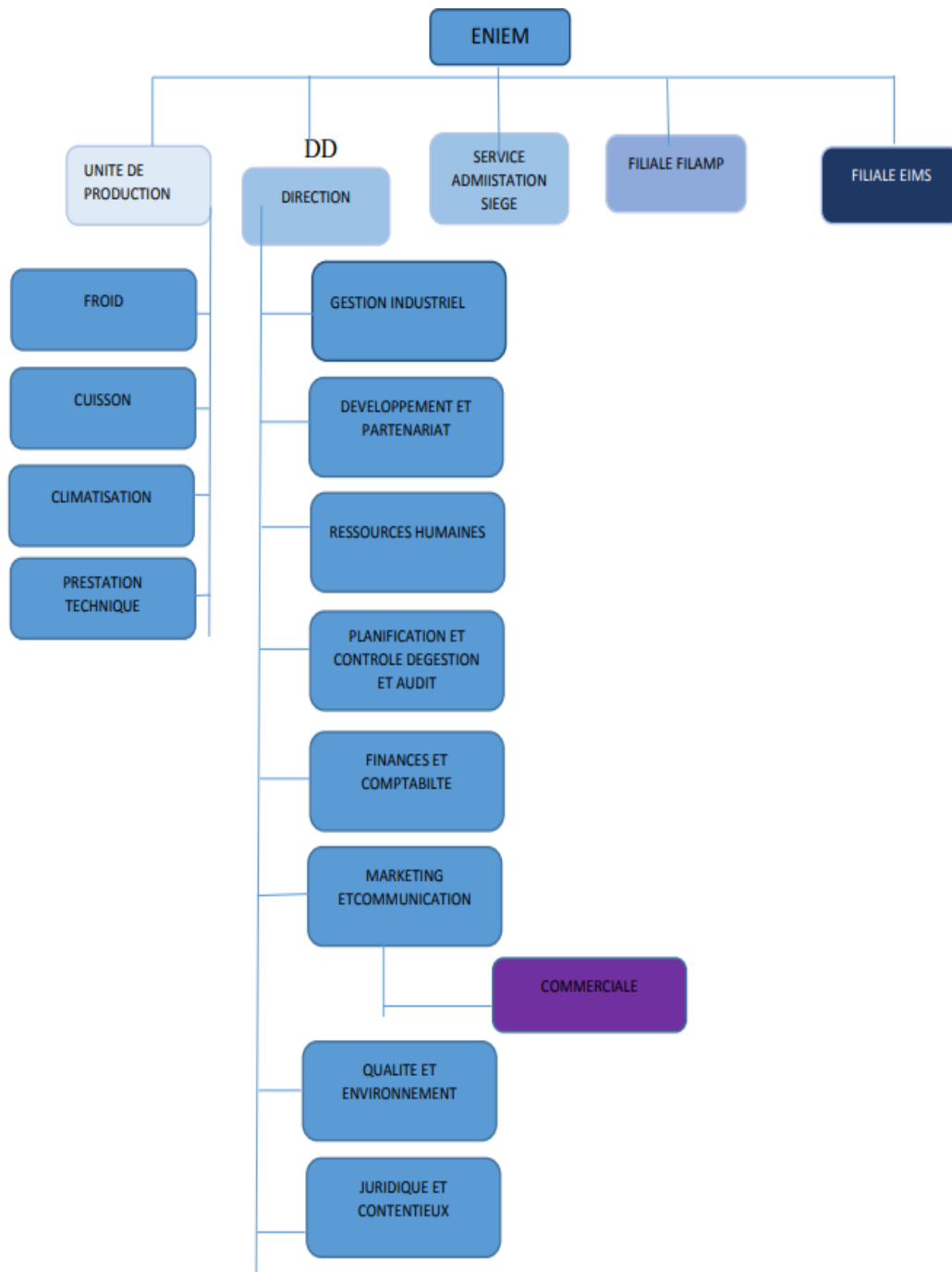


Figure 03 : Nouvel organigramme de l'ENIEM, 2009

Evolution de l'ENIEM :

1977	Démarrage de la production des réfrigérateurs petits modèles. Lic DIA-Bosch Allemagne Usine des cuisinières et des réchauds (> 2feux). Lic DIAG-SFPPLFFRIKCF	
1979	Montage des premiers climatiseurs type fenêtres Productions chauffres eau/bain.Lic BACH-RINS et MERY	
1982	Production de petits appareils ménagers MAC-SC	
1986	Exploitation de la nouvelle usine de réfrigérateurs et congélateurs grands modeles :lecTOSHIBA,Japon	
1987	Arrêt de production de PAM	
1989	Arrêt de production de réchauffage 2F Passage de l'ENIEM à l'autonomie	
1990	Arrêt de production des anciennes cuisinières et vente des équipements Fusion de l'ancienne et la nouvelle usine de réfrizérateurs –INTER-COOPS-TECHNIGAS	
1991	Entrer en services de la nouvelle usine cuisinière. INTER-COOPS-TECHNIGAS, Italie	
1992	Mise en place de l'usine de congélateurs horizontaux (bahut). Lic EMATEC, Liban.	
1993	Réalisation des radiateurs gaz butane à panneaux catalytique, produits conçus et réalisés par l'ENIEM	
1994	Réalisation de chaud plat au feu.	
1995	Production de réfrigérateurs 520L Montages des petits appareils managers. Lic ITALISTAMP	
1996	Entrée de la production de PAM/SC et MACIALISTAMP Reprise des comptoirs et armoires frigorifiques	
1997	Abondons réchaud 4 feux Changement des équipent dans le cadre des reconnaissances des CFC	Reconversion de CFC
1999	Certification de l'entreprise en normes ISO9001 par l'organisme français AFAON	

Figure 04 : Evolution de l'ENIEM (Source : documents internes de l'ENIEM)

Mission des unités :

- Unité Froid : Elle est chargée de la production des équipements, produits et composants relevant du domaine du froid (réfrigérateur).

- Unité Cuisson : Elle s'occupe de la production des équipements produits et composants relevant du domaine de la cuisson (cuisinière).
- Unité Climatisation : Elle assure la production des équipements, produits et composants relevant du domaine De la climatisation (climatiseurs et petit appareils ménagers).
- Unité Prestation Technique : Elle réalise des travaux ou prestations techniques et services pour le compte des autres unités ou pour des clients externes.
- Unité Commerciale : Elle est chargée de la commercialisation des produits fabriqués par les unités de production.
- Unité sanitaire : L'unité sanitaire de Miliana est acquise par l'entreprise ENIEM en l'an 2000. Elle n'entre pas dans le champ de certification de l'entreprise. La mission globale de l'unité est de produire et développer les produits sanitaires (baignoires, lavabos ...).
- Filiale Filamp : L'Unité Lampes de Mohammedia (ULM) qui a démarré en février 1979 pour fabriquer des lampes d'éclairage domestique ainsi que des lampes de réfrigérateurs est devenue filiale à 100% ENIEM le 01/01/1997. Cette filiale est dénommée « FILAMP ».

Objectif de L'ENIEM :

L'ENIEM s'est assignée plusieurs objectifs afin d'assurer un impact plus performant au niveau de ses fonctions à savoir :

- L'amélioration de la qualité des produits.
- L'augmentation des capacités d'études et de développement.
- L'amélioration de la maintenance d'outils de production et des installations.
- La réduction des couts et de la relance d'autres sources de revenus.

Chapitre I : Procédé de thermoformage

Introduction :

Le thermoformage est l'un des principaux processus de mise en forme des polymères permettant de réaliser, à partir de feuilles ou de plaques, généralement extrudées ou calandrées, des objets concaves avec des différentes épaisseurs et tailles. Il consiste à chauffer une feuille de polymère jusqu'à une température permettant sa déformation, puis à la mettre en forme dans ou sur un moule. Après refroidissement, on obtient l'objet désiré.

En pratique, le terme générique de thermoformage recouvre un large éventail de techniques, plus ou moins complexe et automatisé selon l'application. Cela peut être aussi simple que couvrir manuellement une feuille sur une forme (fabrication de baignoires par exemple) jusqu'aux lignes de thermoformage continues à hautes cadences intégrant éventuellement l'extrusion des plaques (pots de yaourts par exemple).

I.1. Présentations du thermoformage : [8]

La technologie de formage est largement utilisée dans l'industrie, allant de l'emboutissage, forgeage des métaux jusqu'au thermoformage des matières plastiques.

Le thermoformage permet à l'industrie de produire les objets les plus divers, comme les carters ventilateurs, plateaux d'emballage, pots de yaourt, baignoires, etc. L'objet thermoformé s'obtient en deux étapes de transformation du matériau initial. La matière plastique, produite par l'industrie chimique à partir de monomères, se trouve dans la plupart des cas, sous forme de granulés. La première étape de mise en forme consiste pour produire une feuille ou une plaque par la technologie d'extrusion. La deuxième étape en ligne ou en récupération est l'opération Thermoformage qui mène à l'objet final.



Le thermoformage permet de réaliser des objets d'épaisseurs très variables, de quelques dizaines de micromètres à plus d'un centimètre, de travailler à très hautes cadences de production, avec des outillages bon marché, qui compensent l'incapacité du coût de la matière première. Aujourd'hui, le thermoformage est l'un des grands procédés de transformation des polymères thermoplastiques.

Le principe est resté le même depuis plusieurs décennies.

Elles permettent de transformer facilement la plupart des matériaux thermoplastiques, le polypropylène, le polystyrène, le polychlorure de vinyle, le polyméthacrylate de méthyle, les multicouches associant plusieurs types de polymères. De plus en plus, on voit apparaître des polymères expansés qui confèrent aux objets, légèreté et isolation thermique. Les marchés intéressés sont ceux de l’emballage alimentaire, l’électroménager, le sanitaire, l’automobile, etc.

I.2. Principe :

Le thermoformage est une technique consistant à monter à hautes températures des plaques de différents matériaux pour ensuite les former grâce à des moules. Après le refroidissement les matériaux se figent et donnent ainsi forme à des plateaux ou autres produits. Il existe plusieurs façons de thermoformer : le drapage (le moule s’élève pour épouser la forme) et le thermoformage par le vide (la matière s’étale sous l’effet du vide sur le moule).

La transition vitreuse est le phénomène permettant le thermoformage. Effectivement, lorsqu’on chauffe les matériaux à hautes températures, ces derniers vont passer dans un état caoutchoutique permettant ainsi le thermoformage. Puis après refroidissement, les matériaux resteront figés selon la forme qu’on leur a imposée.

C’est un procédé de transformation « basse pression », qui impose de faibles contraintes à la feuille.

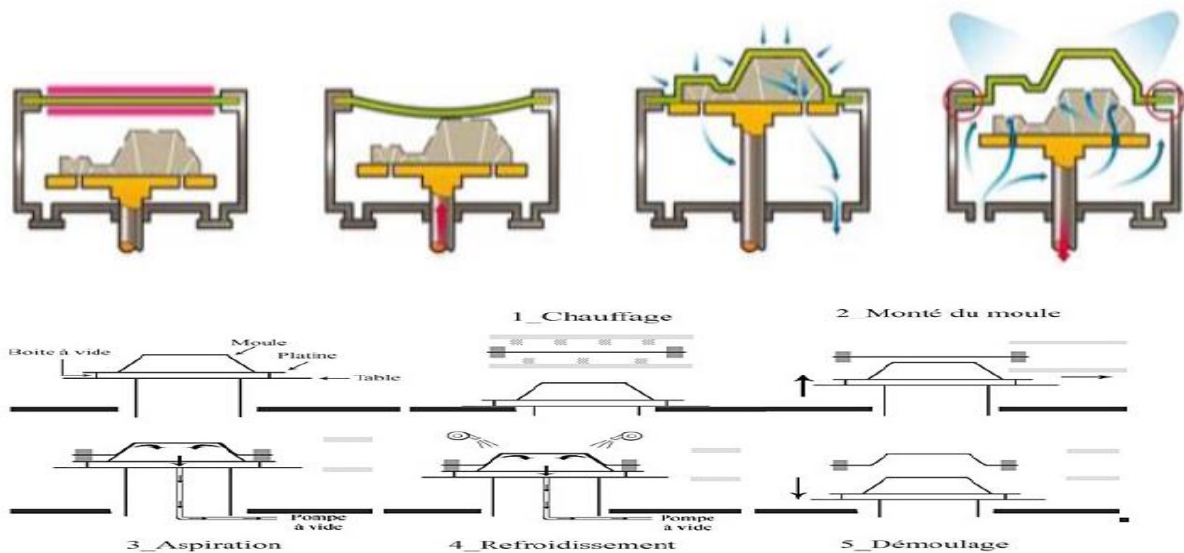


Figure I.1 : Principe du thermoformage.

Les différentes étapes pour un thermoformage sont :

- Chauffage des matériaux
- Elévation du moule
- Formage des matériaux selon le moule
- Refroidissement de la pièce thermoformée
- Démoulage et découpe de la pièce

Différentes matières thermoplastiques peuvent être utilisées pour le thermoformage, selon les besoins et exigences des produits. Actuellement on peut thermoformer de très bons matériaux pour avoir des produits très résistants. La plupart de ces matières sont recyclables et permettent donc, après extrusion de reproduire de nouveaux produits.

I.3. Fonctionnement :

Moule : les moules sont généralement en aluminium mais peuvent être en résine époxyde pour de petites séries, et en bois pour la fabrication d'échantillons. Les pièces sont réalisées avec des moules positifs ou négatifs :

- Positif : drapage, le moule vient s'appuyer sur la matière (avec ou sans gonflage) afin que celle-ci épouse sa forme.
- Négatif : le moule vient au niveau de la plaque, la matière vient ensuite s'y « étaler » sous l'effet de la pression ou par le vide (voir les différents types de thermoformage).

Un moule peut être négatif avec des parties positives (et *vice versa*).

Table : élément sur lequel repose l'ensemble du moule (boîte à vide + platine + moule) permettant de le mouvoir sur un axe vertical.

Platine : élément sur lequel est posé le moule.

Boîte à vide : cadre situé entre la platine du moule et la table permettant la création d'une boîte étanche dans laquelle on fait le vide.

Cadre supérieur / inférieur : élément permettant le maintien de la plaque durant le formage :

- Cadre inférieur : cadre sur lequel la plaque est posée ;
- Cadre supérieur : permet le maintien en position.

Chauffe supérieur / inférieur : les éléments de chauffe permettent l'élévation de la température de la matière pour la rendre malléable.

Radiant : élément en céramique constituant les chauffes.

Piston supérieur : permet de venir appliquer un contre-moule servant à plaquer la matière sur le moule afin de garantir des épaisseurs ou d'éviter les plis.

I.4. Cycle de thermoformage :

Le thermoformage est une technique qui consiste à former une pièce en plastique en la soumettant à la chaleur (et à la pression). La pression peut - être exercée soit par l'évacuation de l'air sous une paroi de la feuille, soit par pression d'air, soit par compression de la feuille chaude entre un moule concave et un moule convexe.

I.4.1. Le moule est placé sur le plateau porte-moule et abaissé dans la machine.

(Voir la figure I.2)

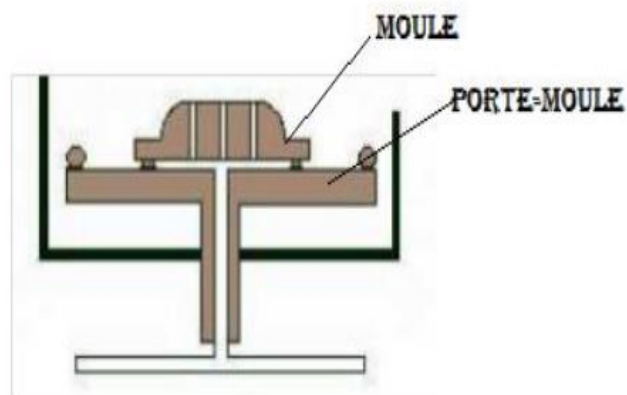


Figure I.2 : Fixation de moule sur plateau porte-moule.

I.4.2. Resserrage : le matériau est fixé sur un cadre. (Voir la figure I.3)

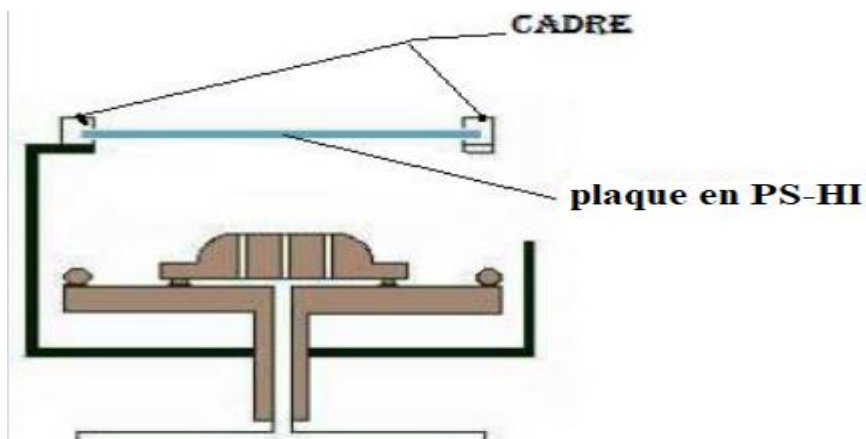


Figure I.3 : Resserrage.

I.4.3. Chauffage :

Le coefficient de chauffage est proportionnel à l'épaisseur de la feuille, lors du chauffage des feuilles, la température en surface n'est pas plus élevée que la température au centre de la pièce. Du fait de l'apport énergétique de la surface de la feuille détermine la longueur du cycle de chauffage, les feuilles minces peuvent - être chauffées à une densité énergétique élevée pendant un cycle relativement court.

La chaleur transmise vers la feuille est absorbée et doit - être conduite vers le centre, c'est ce processus de transmission thermique qui détermine le cycle de chauffage des feuilles très épaisses. L'utilisation d'appareils bifaces, qui permettent de soumettre les deux côtés de la feuille plastique à la chaleur émise, se traduit par une réduction de la durée des cycles de chauffage.

Du fait que les plastiques conduisent mal la chaleur, il est possible que la température en surface des feuilles épaisses atteigne un degré excessif. Par conséquent, le coefficient de chauffage doit - être réglé pour éviter la surchauffe en surface, donc, il faut prolonger le cycle de chauffage et employer des appareils à basse densité énergétique.

De surcroît, après avoir atteint la température de formage et après retrait de la source de chaleur, on laisse généralement un temps de pause pour que les températures atteignent un équilibre uniforme dans toute la feuille.

L'appareil de chauffage est placé au-dessus de la feuille à chauffer jusqu'à l'obtention de la température requise pour le formage (voir Figure I.4. Ci-dessous).

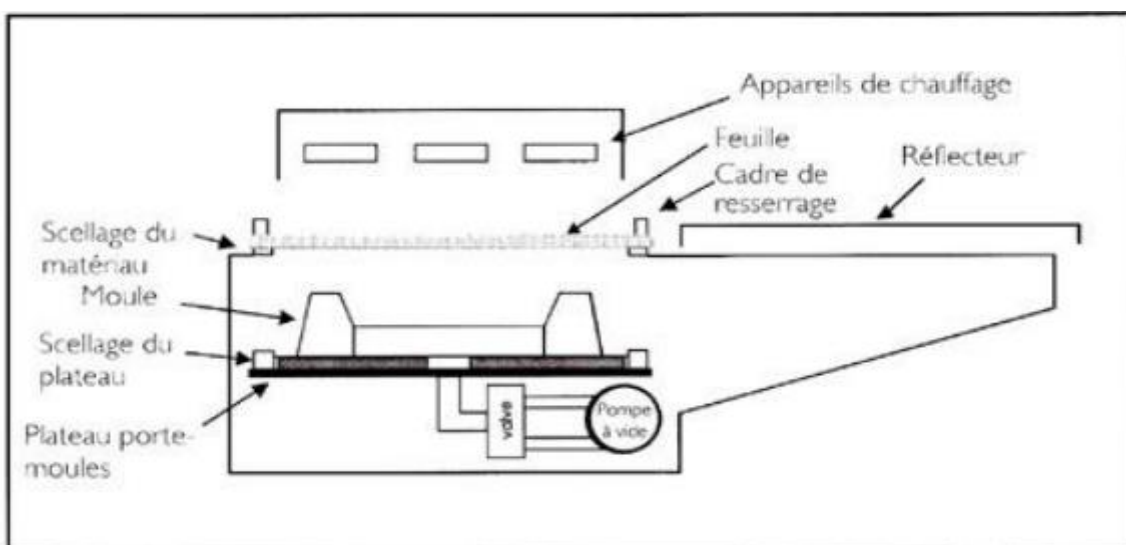


Figure I.4 : Le cycle de chauffage.

I.4.4. Formage : une fois la température optimum de thermoformage du matériau atteinte, on retire les appareils de chauffage. Le plateau et le moule sont élevés en position de formage. Le formage est réalisé par pression sous vide et/ou par un renfort mécanique. (Figure I.5).

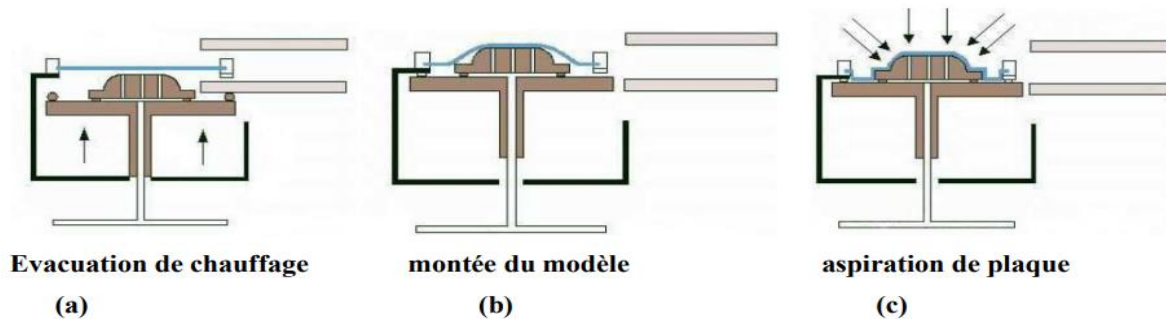


Figure I.5 : Le cycle de formage.

I.4.5. Refroidissement : la pièce est suffisamment refroidie afin de pouvoir la retirer sans défection. Le refroidissement de la pièce peut être renforcé par l'emploi de ventilateurs. (Voir la figure ci-dessous).

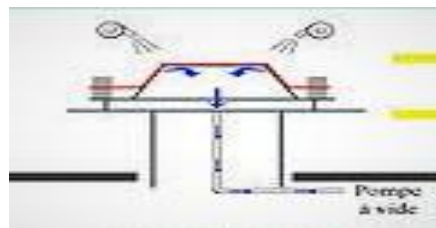


Figure I.6 : refroidissement de la pièce thermoformée.

L'échelle des températures de ramollissement de la plupart des styrènes se situe entre 90 et 100°C. La température de la feuille doit donc être abaissée à environ 10°C, afin que la pièce formée soit assez rigide pour être démoulée. La durée de ce processus est tributaire du système de refroidissement, ainsi que de l'épaisseur de la feuille. Le refroidissement des pièces s'effectue par suppression d'apport de chaleur au moule, ainsi que par exposition à l'air libre. Il est essentiel de contrôler le taux de retrait de la pièce. Cette étape passe généralement par un réglage de la température du moule.

On peut également refroidir les pièces, en utilisant des ventilateurs à haut débit. Les moules utilisés pour les hauts taux de rendement, sont généralement fabriqués en un matériau qui conduit bien la chaleur comme l'aluminium. Un refroidissement trop rapide de la pièce formée peut cependant entraîner d'importantes tensions thermiques qui ont pour conséquence

de déformer la pièce et/ou de minimiser ses propriétés physiques. C'est la raison pour laquelle, on laisse souvent les moules à une température comprise entre 35 et 65°C (l'ENIEM travaille à 40° C).

Après le refroidissement, les pièces sont parfois démoulées en intensifiant la pression de l'air à l'intérieur du moule pour soulever la pièce du moule (formage mâle).

I.4.6. Découpage : Tout surplus de matériau est alors éliminé (notamment autour des pinces de serrage du moule).

I.5. Technique de thermoformage : [8]

En thermoformage, le déroulement d'un cycle peut être divisé en deux étapes, le pré-étirage et le formage avec pour objectif celui d'obtenir une répartition d'épaisseur de paroi sur la pièce formée la plus régulière possible.

Le pré-étirage peut être opéré de différentes manières :

- Pré-étirage mécanique avec le moule de formage lui-même.
- Pré-étirage mécanique avec le piston auxiliaire.
- Pré-étirage pneumatique par bullage ou pré-aspiration.
- Combinaison des pré-étirages, mécanique et pneumatique.

L'objectif du pré-étirage est de réaliser une préforme dont les contours et la répartition d'épaisseur permettent d'obtenir un formage final, une pièce formée ayant une répartition d'épaisseur optimale. Le formage, suivant l'équipement de la machine et la construction de l'outil de formage, est opéré :

- Par le vide (formage par le vide),
- Par air comprimé (formage par pression d'air)
- Par le vide coté moule et air comprimé du côté opposé
- Par le vide des cotées (par ex. pour les mousses)
- Par embossage, perçage et calibrage additionnels, pour des surfaces limitées.
- À l'aide d'outils mécaniques tels que tiroirs, poinçons, le plus souvent, pour la prévention de plis pendant le démoulage.

I.5.1 Thermoformage sous vide :

Le thermoformage sous vide est le procédé de thermoformage le plus polyvalent et le plus utilisé. Le matériel est moins onéreux et plus facile à utiliser que dans la plupart des techniques sous pression ou mécanique. Pour le thermoformage sous vide, la plaque de thermoplastique est serrée sur un cadre et chauffée. Lorsque la plaque chauffée atteint l'état élastique, elle est placée par-dessus l'empreinte du moule négatif. L'air qui se trouve dans l'empreinte est alors extrait par application du vide et la plaque chauffée est appliquée avec force sur le profil du moule par pression atmosphérique. Si le moule négatif est relativement profond, un amincissement se produit généralement aux bords supérieurs de la pièce. Cet amincissement est dû au fait que la plaque chaude est d'abord aspirée vers le centre du moule. La partie de la plaque qui se trouve aux bords du moule doit subir l'étirage maximum et devient ainsi la partie la plus mince de l'article formée. Le thermoformage sous vide est généralement réservé aux formes simples et peu profondes. (Figure I-6)

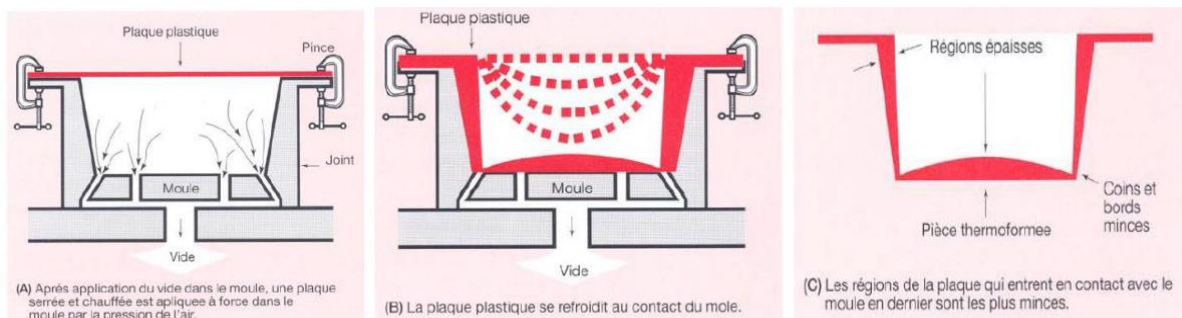


Figure I.7 : thermoformage par sous pression. [9]

I.5.2 Drapage :

Le drapage est similaire au thermoformage sous vide, sauf que la plaque est étirée mécaniquement après avoir été mise sur cadre et chauffée. Elle est ensuite soumise à un différentiel de pression pour la former sur un moule positif. Dans ce cas, toutefois, la plaque qui entre en contact avec le moule est proche de son épaisseur. Cette technique est toutefois complexe que le thermoformage sous vide. Les moules positifs sont plus faciles à fabriquer et généralement moins onéreux que les moules négatifs, mais ils se détériorent plus facilement.

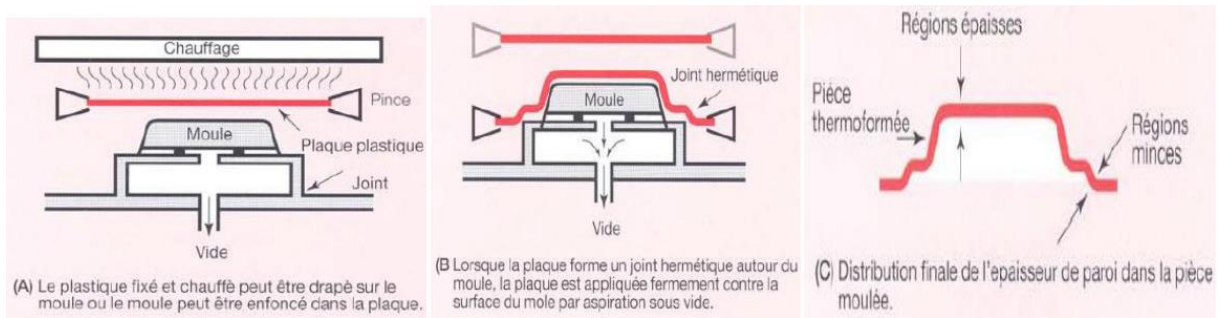


Figure I.8 : Drapage.

I.5.3 Thermoformage par moule et contre-moule :

Le thermoformage par moule et contre-moule est similaire au moulage par compression en sens que la plaque chauffée est emprisonnée entre deux matrices réalisées en bois, en plâtre, en époxy ou en un autre matériau. Bien qu'ils soient plus onéreux, les outillages à moule et contre-moule refroidis par eau permettent de fabriquer des pièces plus précises et dans d'étroites tolérances (voir les figures).

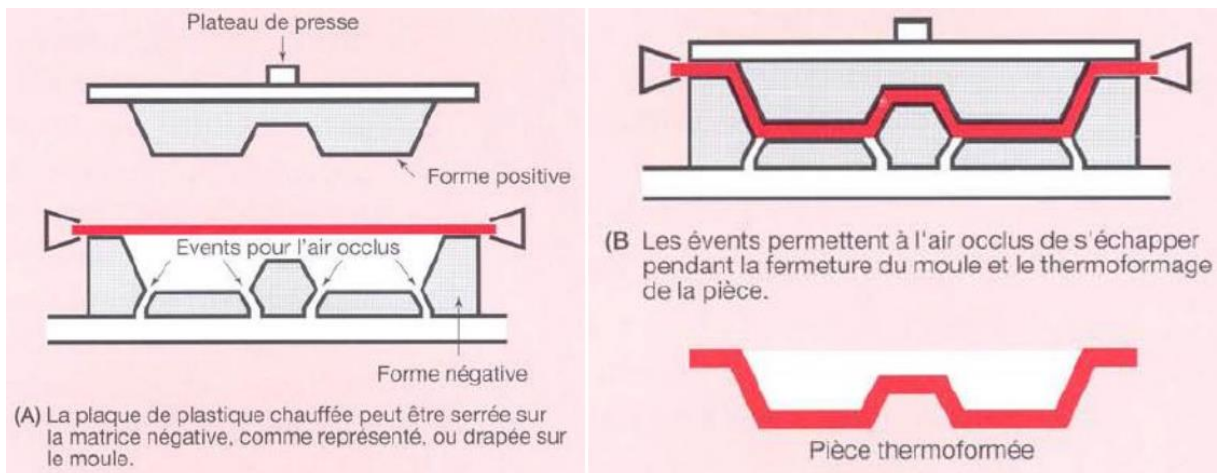


Figure I.9 : Thermoformage par moule et contre-moule.

I.5.4 Thermoformage en bulle sous pression avec poinçon de pré-étirage :

Cette technique peut être utilisée lorsque la plaque de thermoplastique doit être formée pour donner des articles profonds et dotés d'une bonne régularité d'épaisseur. La plaque, placée sur un cadre, est chauffée et une bulle est formée par de l'air sous pression régulée (voir figure I-10).

Lorsque la bulle s'est étirée jusqu'à atteindre une hauteur donnée, le poinçon de pré-étirage (qui est normalement chauffé) est abaissé pour appliquer à force la plaque étirée dans l'empreinte.

On peut jouer sur la forme et la vitesse du poinçon pour améliorer la répartition de la matière ; toutefois, le poinçon doit être aussi grand que possible pour pouvoir étirer le plastique jusqu'à adopter une forme proche de celle du produit fini. Le poinçon doit descendre dans l'empreinte sur 75% à 85% de la profondeur de l'empreinte. De l'air sous pression est alors envoyé par l'intermédiaire du poinçon tandis qu'un vide auxiliaire est appliqué dans l'empreinte.

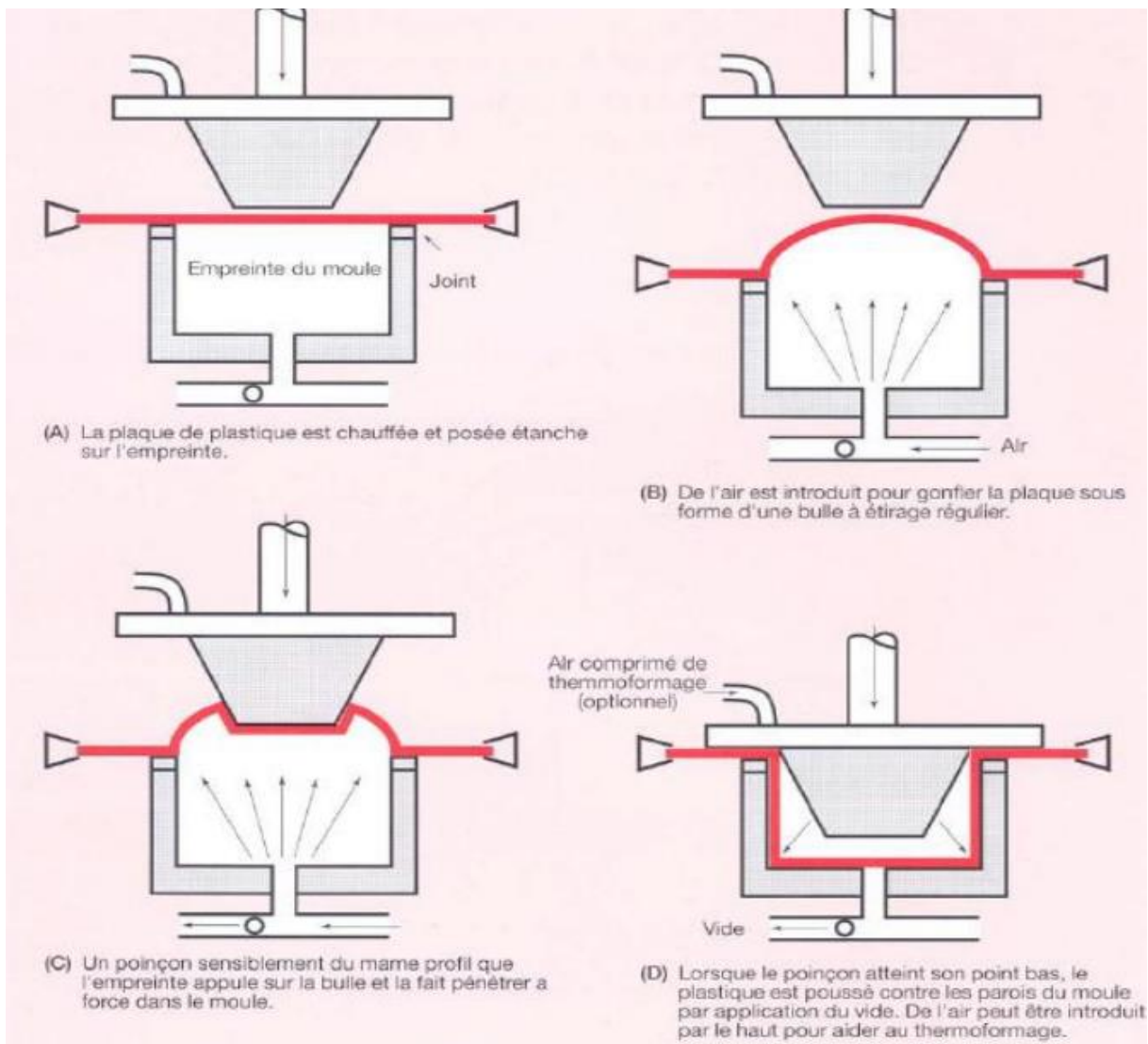


Figure I.10 : Thermoformage en bulle sous pression avec poinçon de pré-étirage.

I.5.5 Thermoformage sous pression avec poinçon de pré-étirage :

Le thermoformage sous pression avec poinçon de pré-étirage est similaire au thermoformage sous vide dans la mesure où un poinçon pousse la plaque dans une empreinte. De l'air comprimé envoyé par l'intermédiaire du poinçon applique ensuite une force à la plaque contre les parois du moule.

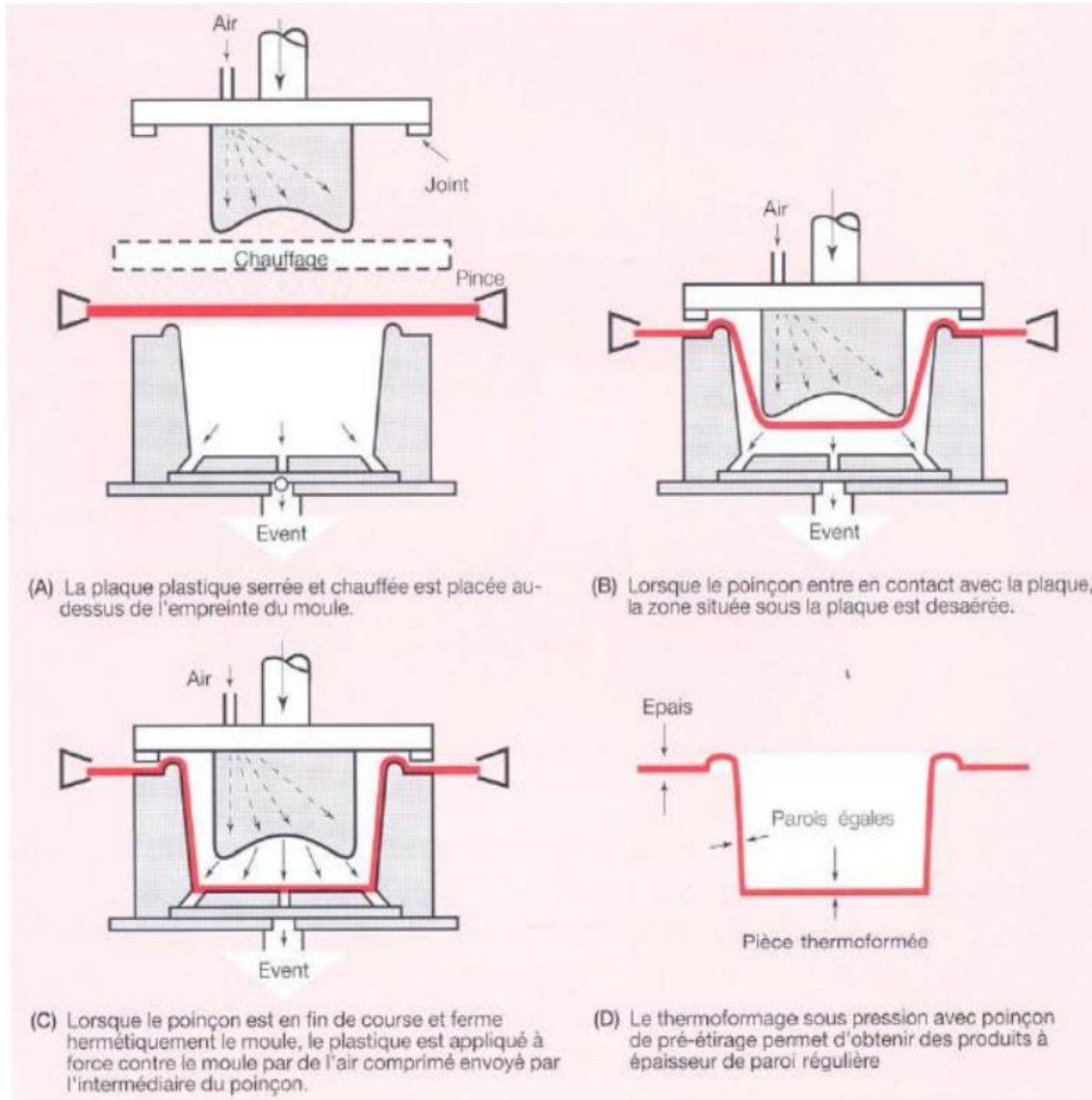


Figure I.11 : Thermoformage sous pression avec poinçon de pré-étirage. [9]

I.5.6 Thermoformage sous vide avec poinçon de pré-étirage :

L'amincissement aux angles ou à la périphérie des articles en forme de gobelet ou de boîte peut être évité à l'aide d'un poinçon de pré-étirage qui étire mécaniquement la matière

plastique et en fait pénétrer davantage dans l’empreinte. Le poinçon, dont les dimensions doivent être de 10% à 20% inférieures à celles du moule, doit être chauffé à une température immédiatement inférieure à la température de thermoformage de la plaque. Lorsque le moule a introduit à force la plaque chaude dans l’empreinte, l’air contenu dans le moule est aspiré pour former la pièce. Les deux procédés de thermoformage avec poinçon de pré-étirage sous vide et sous pression permettent de réaliser des emboutissages profonds, de réduire le cycle de refroidissement et de bien maîtriser l’épaisseur de paroi.

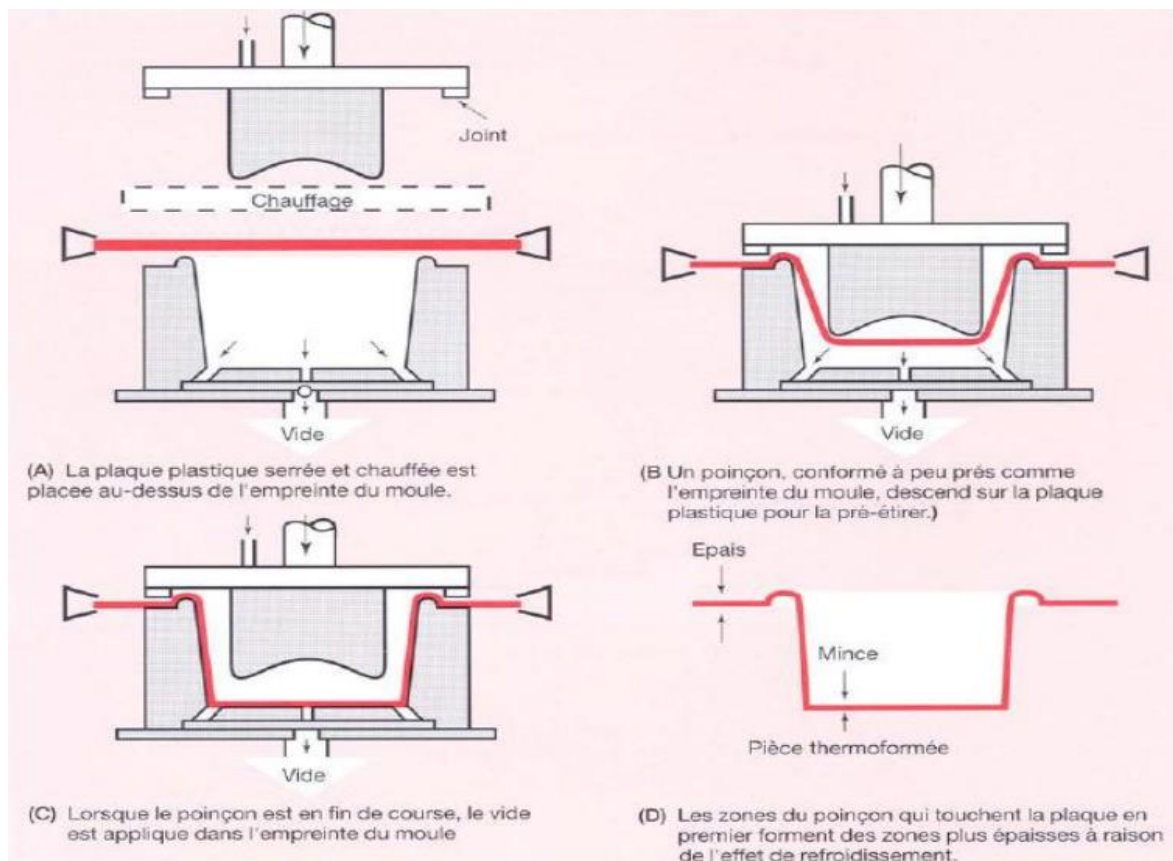


Figure I.12 : Thermoformage sous vide avec poinçon de pré-étirage.

I.5.7 Thermoformage en relief profond sous vide :

Pour le thermoformage en relief profond sous vide, la plaque chauffée et placée au-dessus d’un caisson dans lequel le vide est appliqué pour former une bulle à l’intérieur. Le moule positif est ensuite abaissé et, par annulation du vide, la plaque plastique se replie autour du moule. Un vide auxiliaire peut aussi être appliqué au moule positif. Le thermoformage en relief profond sous vide est utilisé pour les pièces compliquées comportant des évidements (voir figure I-13).

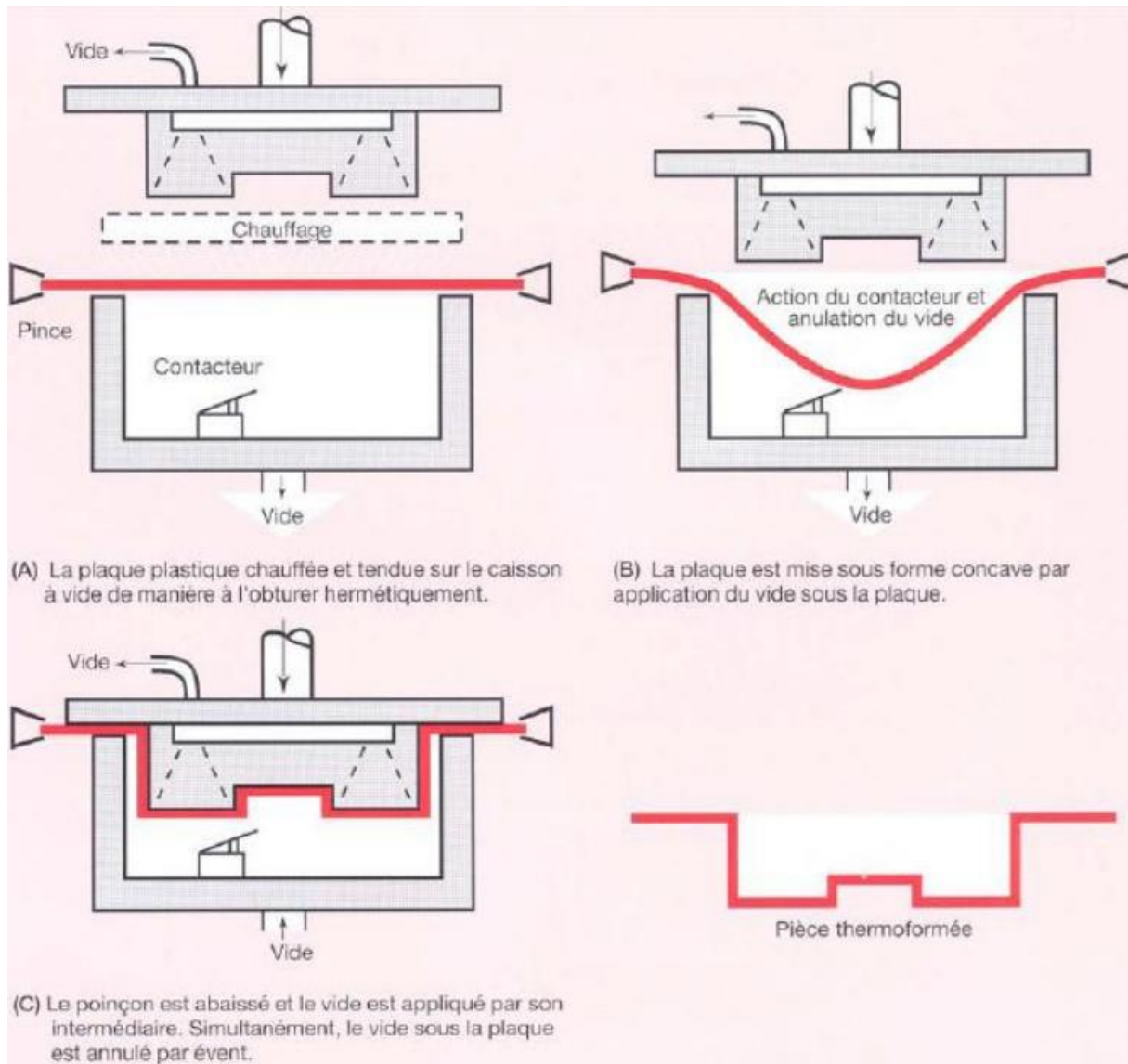


Figure I.13 : Thermoformage en relief profond sous vide. [9]

I.5.8 Thermoformage en relief profond sous vide avec bulle sous pression :

Pour le thermoformage en relief profond sous vide avec bulle sous pression, la plaque de thermoplastique est chauffée et étirée de 35% à 40% par de l'air sous pression. Le moule positif est ensuite abaissé, le vide est appliqué au moule positif et de l'air sous pression est envoyé dans l'empreinte négative. La plaque chauffée se replie alors sur le moule positif. Ce procédé permet de réaliser des emboutissages profonds et de former des pièces compliquées. Toutefois, le matériel est complexe et onéreux.

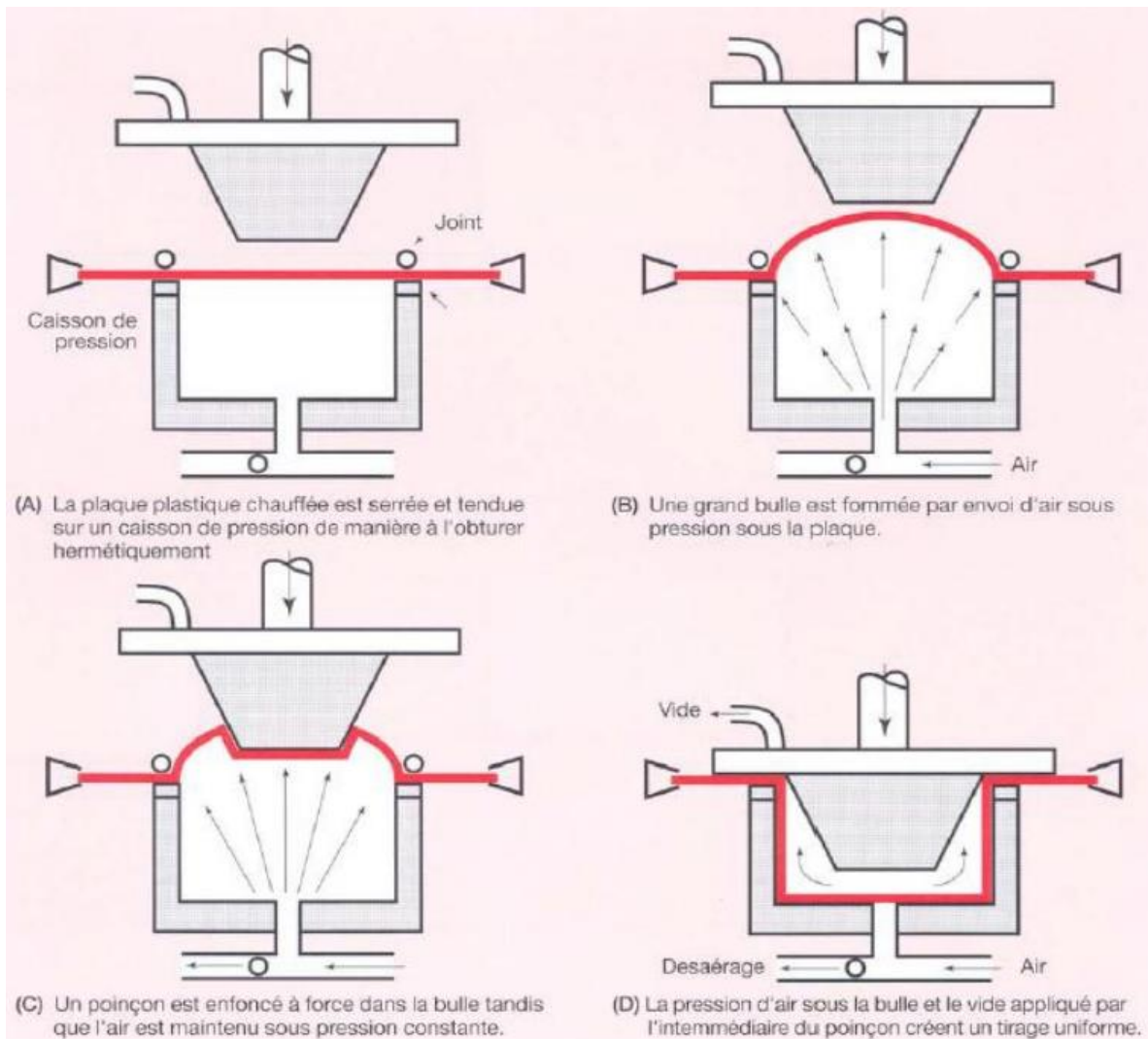


Figure I.14 : Thermoformage en relief profond sous vide avec bulle sous pression. [9]

I.5.9 Thermoformage sous pression en moule ferme :

Ce procédé est similaire au thermoformage sous vide, à la différence qu'il fait appel à la fois au vide et à de l'air sous pression pour faire pénétrer avec force la plaque de thermoplastique dans un moule négatif. Les figures illustrent les étapes du procédé.

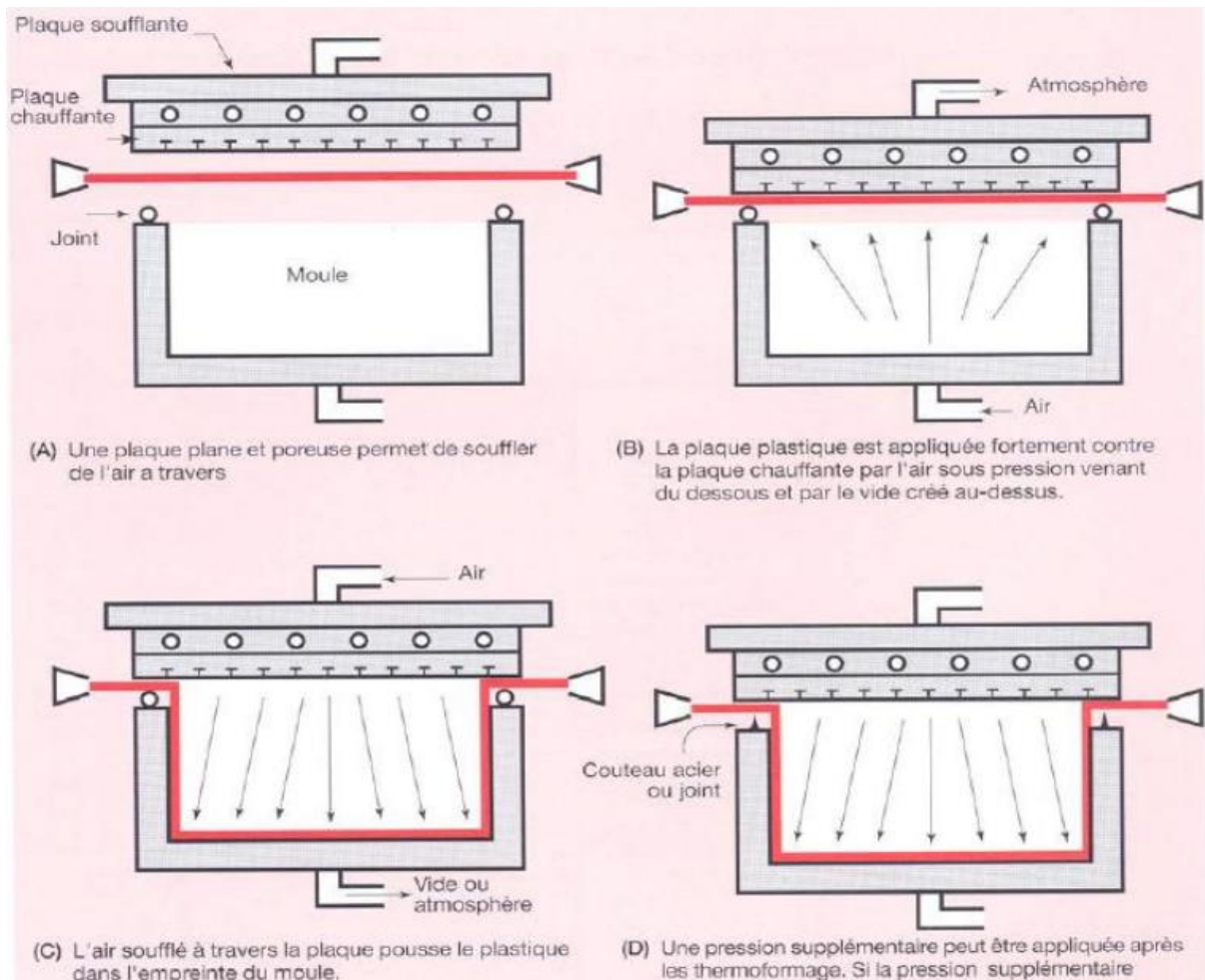


Figure I.15 : Thermoformage sous pression en moule fermé.

I.5.10 Thermoformage libre :

L'air sous pression forme un article lisse en forme de bulle comme ceux utilisés pour les lucarnes vitrées ou les couvercles de regard. Les deux faces de la pièce n'étant en contact qu'avec l'air, celle-ci sera exempte de marques, à moins qu'une butée ne soit utilisée pour former un contour spécial dans la bulle (voir figure I.16). Il sert à noter que les pressions d'air peu élever dans celle technique.

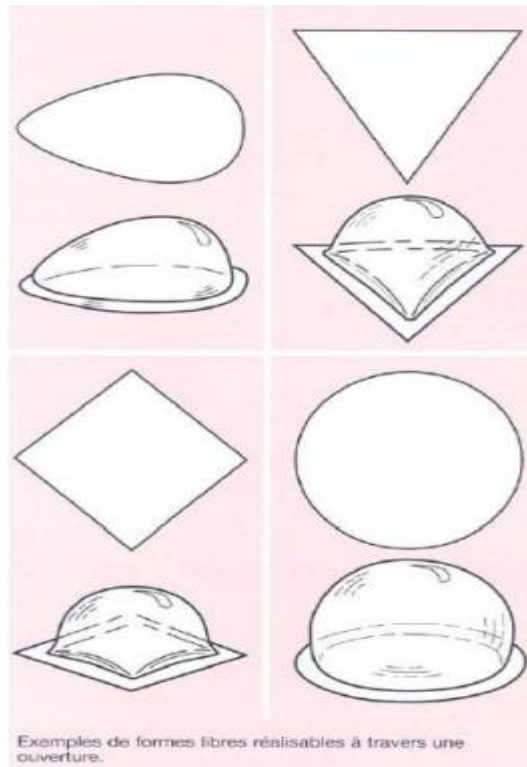


Figure I.16 : Thermoformage libre.

I.5.11 Thermoformage mécanique :

Le thermoformage mécanique ne fait appel ni au vide, ni à l'air sous pression pour former la pièce. Le procédé est similaire au thermoformage par moule et contre-moule, mais les moules utilisés ne sont pas jointifs. Seules les forces mécaniques de cintrage, d'étirage ou de maintien de la plaque thermoplastique chauffée sont utilisées pour former la pièce.

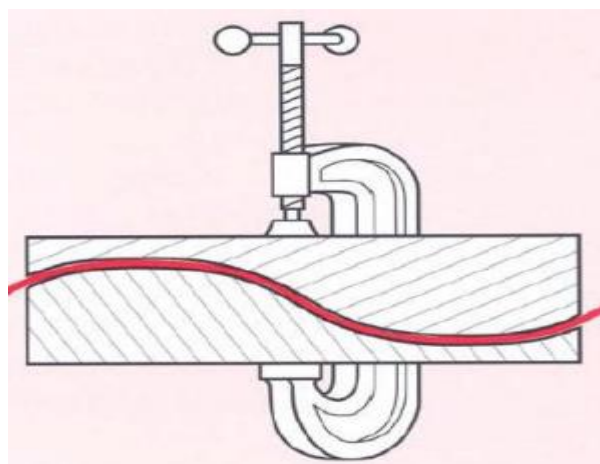


Figure I.17 : Thermoformage mécanique.

I.5 Les matériaux utilisés :

La matière utilisée est choisie en fonction de l'objet à fabriquer, des propriétés ou encore de la couleur souhaitée.

On utilise pour le thermoformage des matières thermoplastiques qui se déforment en chauffant, contrairement aux matières thermodurcissables qui, une fois mises en œuvre, ne peuvent plus être « fondues ».

Cependant, tous les matériaux thermoplastiques ne sont pas thermoformables. Il s'agit de polymères amorphes ou semi-cristallins à faibles taux de cristallinité (plus ce taux sera élevé, plus il faudra chauffer).

Le tableau ci-dessus illustre les différents matériaux thermo-formables avec leurs domaines d'application et leurs avantages.

matière	Domaine d'application	Avantages et inconvénients	T° de formage	T° de moule	T° de poinçon
A.B.S	- carrosserie de voitures - bateau -Planche à voile - moto – machine.	- faible prix de la matière - facilité de transformation - non auto-extinguible	140-200°	20-95°	80-120°
P.S-B	Idem a A.B.S+emballage de produits alimentaires et articles de consommation.	Idem à P.S-B -matière alimentaire sauf pour les matières grasses -faible résistance mécanique	130-200°	20-80°	80-120°
P.S	Produits alimentaires, conditionnement(blisters, pelliculage).	Idem à P.S-B -matière alimentaire -bonne transparence	110-160°	20-80°	80-120°
P.V.C	Idem a P.S-B+pièces doivent résister au feu.	Idem à P.S-B -matière auto-extinguible	140-180°	40-46°	60-150°
P.M.M.A	Cockpits d'avions, lampadaires, déflecteurs d'air pour automobiles.	-prix de matière élevé -Très bonnes propriétés optiques - bonne stabilité au vieillissement	110-160°	50-65°	80-120°
PC	Pièce devant résister à des efforts mécaniques importants : bouclier de C.R.S. panneaux publicitaires. Casques bulles de plafonds.	-très bonnes propriétés mécaniques -prix de matière très élevé -très bonne stabilité au vieillissement et à la chaleur	180-220°	40-150°	
P.P/PE	cartes, boîtiers pour l'industrie chimique feuille de skinpack	-très bonne résistance chimique et thermique. -bonne élasticité. -matière alimentaire.	160-220°	40-90°	80-130°

Tableau I.3.différents matériaux thermo-formables avec leurs domaines d'application et leurs avantages.

On peut ainsi utiliser le polylactide (PLA), mais aussi les matériaux issus de ressources locales comme les algues. Les matériaux issus de bactéries marines sont également possibles pour la création d'emballages plastiques. Cette liste de matériaux issus de ressources végétales n'est pas exhaustive puisque l'avenir proche nous apportera des nouveautés et de nouvelles avancées techniques.

Il est fréquent d'utiliser des associations de plusieurs polymères (ABS-PMMA, PS-PE). Moins fréquentes mais particulièrement utiles, des mousses de PE peuvent également être thermoformées ; éventuellement revêtues de tissu, on les retrouve dans les intérieurs de voitures, pour l'habillage et l'isolation phonique (ciel de toit).

La matière peut être directement thermoformée avec un film de protection ou d'un revêtement décoratif (imitation bois, cuir, etc.).

Le thermoformage est réalisé à partir de semi-produits, c'est-à-dire que la matière a été préalablement extrudée sous forme de plaques ou de film (bobines).

La plupart des polymères utilisés sont recyclables. L'utilisation de plastique rebroyé (issu de chutes ou de produits obsolètes) est courante et représente un intérêt économique.

I.6. La machine thermo-Formeuse (utilisée à l'ENIEM) : [10]

Il y a une très grande diversité des machines de thermoformage, en correspondance avec la diversité des produits et des applications. Les caractéristiques générales sont cependant les mêmes.

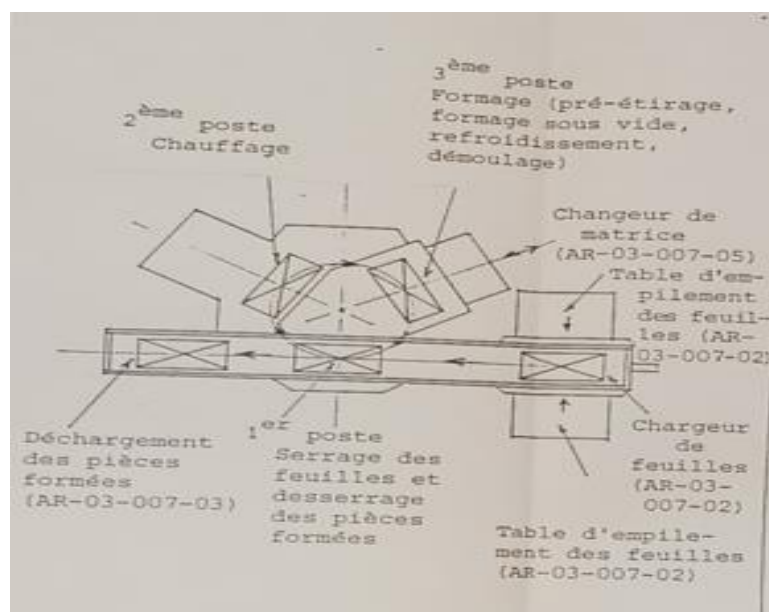


Figure I.18 : Machine de formage sous vide. [10]

I.6.1. Critères de sélection des machines de formage sous vide dans (notre cas type rotatif) : [10]

Trois machines de formage sous vide sont disponibles, à savoir : types-en une phase, type rotatif et type en ligne.

Le type rotatif est retenu par les raisons suivantes.

- Le temps de cycle doit être court (vu le nombre important de contre-portes à former).
- Ce type de machines convient mieux pour le formage en masse de feuilles préalablement coupées.
- les contre-portes former doivent être détournées et percées. Avec ce type de machine de formage sous vide, il est facile d'automatiser ces opérations de détournage et de perçage.
- avec cette machine, il est possible d'emboutir les feuilles.

I.6.2. Fonctionnement :

Cette machine se compose de 3 postes.

Dans notre cas la feuille est en PS-HI. Mise en place sur le premier poste (station n°1) est serrée par le cadre suspendu et chauffée au deuxième poste par les deux réchauffeurs céramique supérieur et inférieur.

Le réglage de tension de chaque élément chauffant est possible en fonction de la forme des pièces à chauffer. Le chauffage optimum pour le formage peut ainsi être assuré.

Le troisième poste, la feuille ramollie est pré-étirée en forme de semi-sphère.

Le moule de formage se soulève et le poinçon descend.

L'aire entre la feuille et le moule est évacuée en vue du formage.

Après le formage, la pièce formée est refroidie par le ventilateur et l'air comprimé et démoulé.

La pièce ainsi formée retourne au premier poste où elle est desserrée et déchargée par le déchargeur.

Au début, le moule est à une température inférieure à 40°C. Dès que la machine démarre, de l'eau chaude passe par le circuit de refroidissement pour le chauffer, et, le réglé à une température constante de 40°C. Lorsque la pièce chauffée par des résistances bifaces à 320°C, placée sur le moule, automatiquement, la température de ce dernier augmente, le thermostat va la détecter et va demander de l'eau froide pour la rabaisser jusqu'à 40°C.

I.6.3. Composants de la Thermo-Formeuse : [10]

- Chargeur des feuilles** : cette machine est montée sur la table d'empilement des feuilles.

Cette machine a pour fonction de prélever les feuilles une par une et de les placer au premier poste.

- **Chargeur de pile de feuille** : Décharger la table d'empilement de la palette vide et la recharger de la palette chargée de feuilles.
- **Table d'empilement de feuilles** : Pour faciliter le chargeur de feuilles à aspirer les feuilles, maintenir à la même hauteur, le niveau supérieur de la pile des feuilles.

La table monte ou descend pour se décharger de la palette vide et se charger de la palette chargée de feuilles.

- **Déchargeur (système pneumatique)** : A pour fonction de soulever par les deux côtés, au moyen de ventouses, les pièces formées, après leur desserrage, au niveau de premier poste.
- **Réservoir de stockage tampon** : Pour stocker de l'air comprimé employé pour le fonctionnement des vérins pneumatiques et soufflage des feuilles chauffées.
- **Régulateur** : Son rôle est de régler la pression de l'air comprimé.

Cette instrument est constitué des trois éléments représentés dans la (Figure I.19)

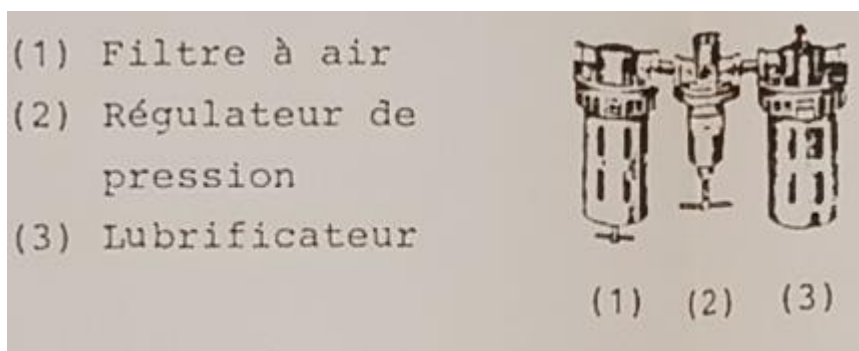


Figure I.19 : les trois éléments de régulateur. [10]

- **Unité de refroidissement d'eau** : Pour régler la température des pièces formées.
- **Changeur de matrice (système pneumatique)** : Pour remplacer la matrice.
- **Pompe à vide** : a pour fonction d'évacuer l'air contenu dans le moule de formage.

II.7. Avantages et Inconvénients du Thermoformage :

II.7.1. Avantages :

Pour les avantages qui sont très nombreux, à l'exemple de la :

- Possibilité de formage de grandes pièces.

- Fabrication de pièces facilement, avec un temps moindre, de bonne qualité et un cout de revient pas élever par rapport aux machines à injection plastique utilisées avant les thermoformeuses.
- Procédé de moulage sans investissement majeur en outillage.
- Offert en plusieurs couleurs et textures.

II.7.2. Inconvénients :

Les inconvénients de l'utilisation du thermoformage sont limités à la réduction des épaisseurs au niveau des angles de la pièce une fois formée, mais sans incidence sur le produit fini.

II.8. Conclusion :

Le thermoformage nous offre la possibilité de créer des pièces simples ou complexes, si on se soumet aux règles de formation, à un prix raisonnable, et il se trouve en concurrence avec l'injection et l'extrusion-soufflage. La température de mise en forme est la différence majeure entre le thermoformage et ces deux procédés (l'injection et l'extrusion-soufflage) qui utilisent directement la matière première qui est transformée à l'état fondu par contre le thermoformage nécessite un semi-produit (feuille généralement extrudée) à l'état caoutchouteux.

Chapitre II : autres types de mise en forme des matière plastique

Introduction :

Les techniques de mise en forme des matériaux ont pour objectif de donner une forme déterminée au matériau tout en lui imposant une certaine microstructure, afin d'obtenir un objet ayant les propriétés souhaitées. Comme pour les métaux, les produits en matières plastiques peuvent être fabriqués par enlèvement de matière, par pliage et par soudage. Ces techniques de transformation restent cependant marginales.

Généralement l'obtention des pièces de formes données est faite par des procédés de mise en forme permettant de réaliser des séries importantes ou de produit en continue.

La transformation a pour but dans des conditions techniques, économiques et écologiques satisfaisantes :

- Donner au polymère la forme et l'aspect requis pour obtenir les pièces ou produits semi-finis à fabriquer ;
- Conserver la forme et l'apparence jusqu'à la mise en service (et après) ;
- Amener les caractéristiques physiques, mécaniques et sensorielles au stade requis.

Les principaux procédés de fabrication industrielle sont :

Injection, moulage par injection-soufflage, extrusion, thermoformage, calandrage, rotomoulage, compression et autres techniques rarement utilisées telles que le revêtement, l'enroulement filamentaire, la pultrusion et le moulage par réaction.

II.1 Comment choisir le bon procédé de fabrication ? :

Lors du choix d'un procédé de fabrication, les facteurs suivants doivent être pris en compte :

II.1.1 La forme de la pièce :

La pièce comporte-t-elle des pièces internes compliquées ou nécessitent-elles des tolérances serrées ? Les options de fabrication possibles peuvent être limitées par la géométrie de la pièce. Il peut également être nécessaire d'effectuer une optimisation de la conception pour la fabrication (DFM design for manufacturing) pour rendre sa production plus économique.

II.1.2 Quantité/Prix :

Quel est le nombre total de pièces ou la production annuelle que vous prévoyez de fabriquer ?

Le coût initial des outils et des réglages pour certains procédés est élevé, mais le coût de chaque pièce produite est très faible. En revanche, le coût de démarrage d'un petit processus par lots peut être inférieur, mais en raison de temps de cycle plus longs, d'une automatisation

réduite et d'opérations manuelles plus importantes, le coût de chaque pièce reste le même ou augmente à mesure que la production totale augmente, ou diminué.

II.1.3 Délai de réalisation :

Combien de temps voulez-vous produire les pièces ? Certains procédés permettent de fabriquer des pièces en 24 heures, tandis que d'autres nécessitent un mois au plus en raison des outils et des réglages nécessaires à la production en série.

II.1.4 Matériau :

À quel type de pression et de contrainte vos pièces doivent-elles résister ? Le meilleur matériau pour une application donnée est déterminé par de nombreux facteurs. Il faut trouver un équilibre entre coût, fonctionnalité et contraintes esthétiques. Considérez les caractéristiques idéales recherchées pour votre application et comparez-les aux résultats possibles d'un processus donné.

II.2 Les principaux procédés de mise en forme :

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

II.2.1 Les Moulages :

II.2.1.1 Le moulage par compression :

- **Principe :** [1]

Le principe de base consiste à comprimer sous forte pression le polymère suffisamment ramolli pour lui faire prendre la forme de l'empreinte d'un moule chauffé.

Dans une deuxième étape, le polymère est solidifié soit par refroidissement, pour les thermoplastiques, soit par réticulation, pour les thermodurcissables.

La procédure finale de moulage dépend donc de la nature du polymère à mouler :

➤ S'il s'agit d'un thermoplastique, il faut d'abord le chauffer pour l'amener à un état rhéologique permettant sa mise en forme, l'élimination de l'air occlus, la cohésion des différents flux et/ou des particules de matière.

Lorsque la pièce est assez fluide et homogène, il faut la refroidir suffisamment pour permettre le démoulage sans l'altérer. Ce processus uniquement physique, assuré par le refroidissement du moule, est d'autant plus long que la pièce est épaisse et que les polymères, sauf exception, sont mauvais conducteurs de la chaleur ;

➤ S'il s'agit d'un thermodurcissable, silicone par exemple, il faut d'abord le chauffer, comme dans le cas précédent, pour l'amener à un état rhéologique permettant sa mise en forme, l'élimination de l'air occlus, la cohésion des différents flux et/ou de particules de matière. En plus, lorsque la pièce est convenablement fluidifiée et homogène, il faut continuer à la chauffer pour déclencher et assurer la réticulation ou le durcissement ou la vulcanisation jusqu'à un stade suffisant pour obtenir un niveau de propriétés mécaniques permettant le démoulage sans altérer la pièce. Ce processus, uniquement chimique, est assuré par le chauffage du moule et est d'autant plus long que la pièce est épaisse et que les polymères, sauf exception, sont mauvais conducteurs de la chaleur. En plus, la matière en contact avec la surface du moule réticule plus vite et plus intensément que le cœur de la pièce, ce qui pose des problèmes importants d'anisotropie. Si le démoulage est opéré avant la réticulation complète, une post-réticulation, en étuve par exemple, pourra apporter le complément nécessaire de réticulation.

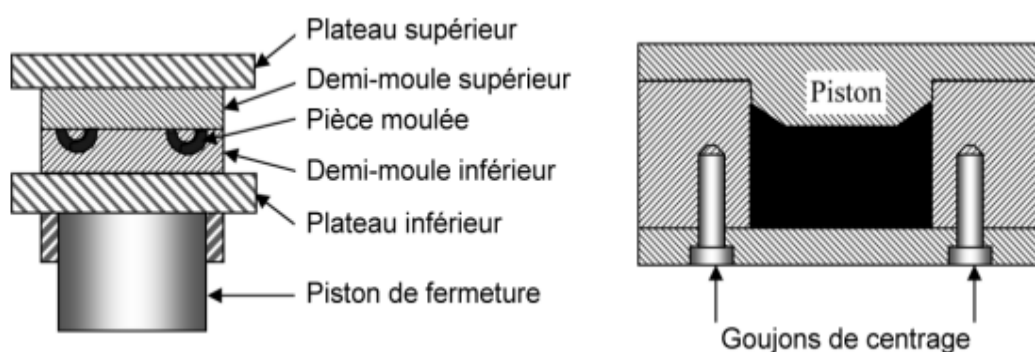


Figure II.1 : Principe du moulage par compression. [1]

II.2.1.2 Le moulage par transfert :

Le moulage par transfert est une méthode de moulage thermodurcissable largement utilisée dans la fabrication de dispositifs électroniques tels que les circuits intégrés, les condensateurs

et les diodes. Le processus consiste à ramollir le plastique en le chauffant et en le pressurant dans la chambre de transfert, puis en le poussant dans un moule fermé à travers l'orifice de décharge et le canal d'injection sous haute pression pour le traitement final. Cette méthode a l'avantage important de permettre une cohérence dimensionnelle.

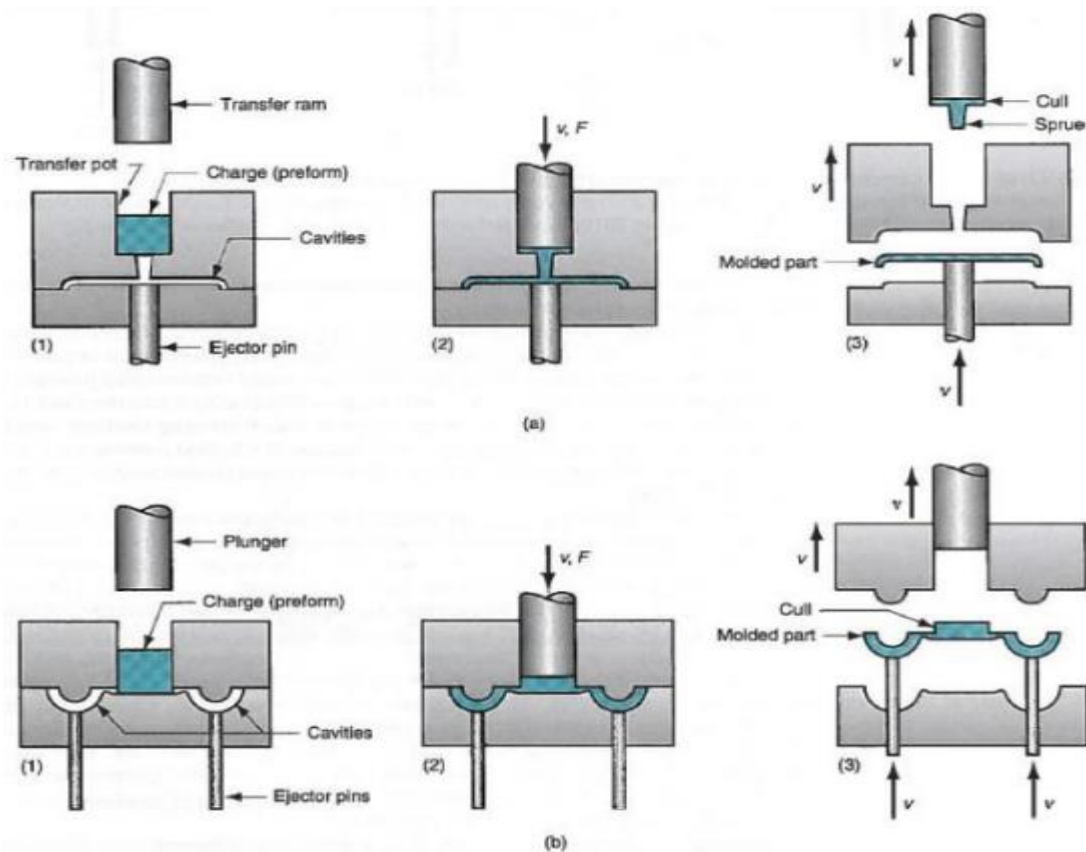


Figure II.2 : Principe de moulage par transfert.

(a) : Transfert par matrice

(b) : Transfert par l'outil (plunger).

II.2.1.3 L'injection :

• Procédé de mise en forme par injection plastique : [2]

La matière plastique avant transformation se présente sous forme de petit granulé dépassant rarement le quelques millimètres. Ces granules servent à alimenter la vis de plastification (type vis sans fin).

Celle-ci est chauffée et réglée en température via le fourreau de plastification. La rotation de la vis de plastification (entraînée par un moteur hydraulique) et l'action conjuguée de la température du fourreau permet de ramollir les granules de matière plastique les amenant jusqu'à un état de visqueux.

Cette matière est acheminée à l'avant de la vis de plastification donnant ainsi une réserve de matière prête à être injectée (c'est ce que l'on appelle la phase de dosage).

Viens ensuite la phase d'injection dynamique ou la matière présente à l'avant de la vis de plastification, est injectée sous forte pression à l'intérieur d'un moule (ou cavité) présentant la forme de la pièce souhaitée. Le moule est régulé à une température inférieure à la température de transformation (allant de 15 °C à 130 °C dans certains cas).

La 3^{ème} étape est la phase de maintien, où l'on applique une pression constante durant un temps déterminé afin de continuer à alimenter les empreintes malgré que celle-ci soit remplie. Ceci afin de palier au retrait de la matière durant le refroidissement. La pièce est refroidie durant quelques secondes puis éjectée.

Un nouveau cycle peut commencer Paramètres et réglages : Les temporisations principales à régler sont :

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

Autres paramètres :

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

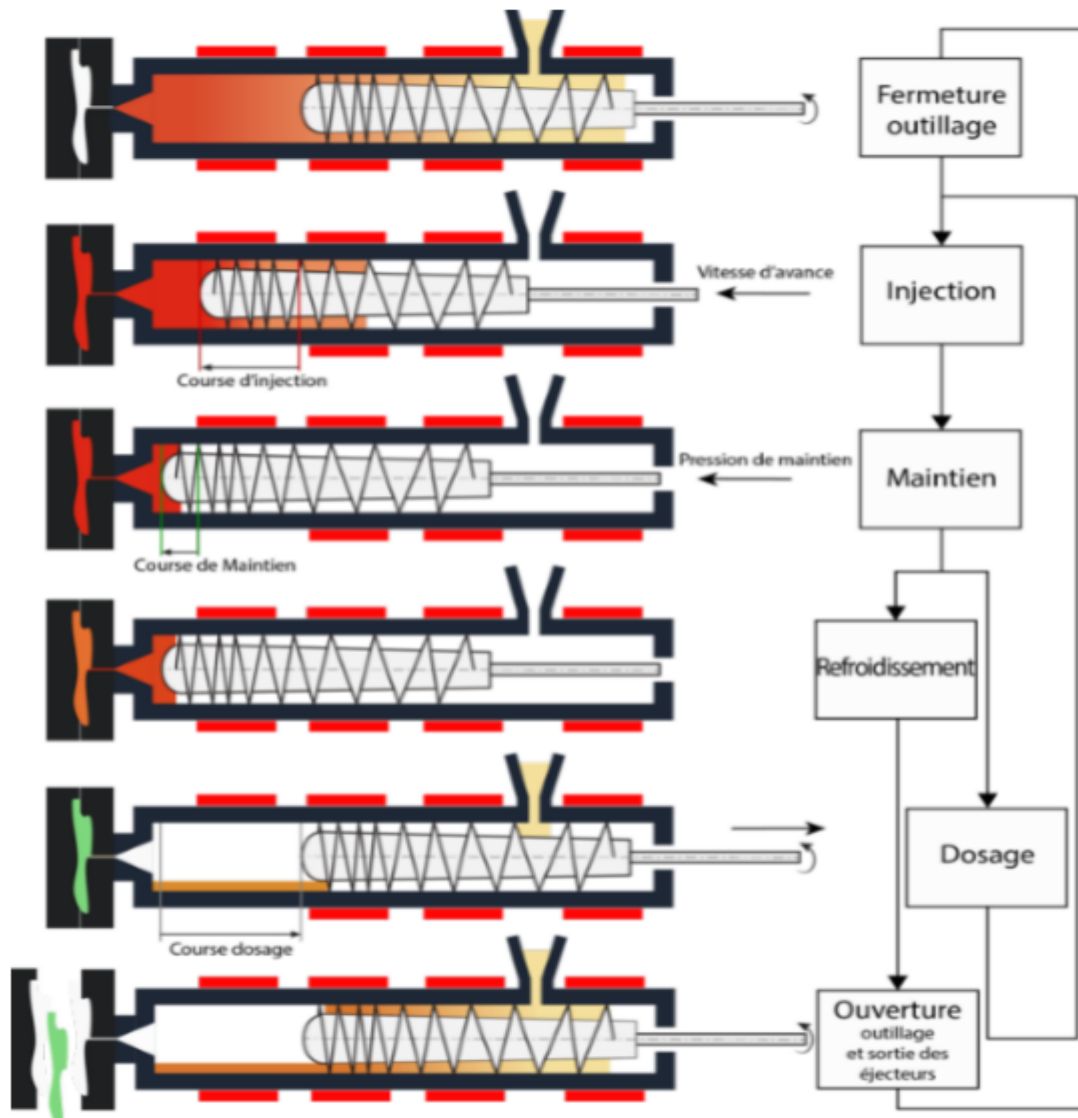


Figure II.3 : Cycle d'injection.

II.2.1.4 Moulage par injection soufflage : [2]

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

Une deuxième phase de soufflage. Cette phase consiste à souffler la préforme dans un moule.

Cette technique est principalement utilisée pour les thermoplastiques. Le cycle de fabrication comprend 5 étapes :

Les différentes étapes :

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

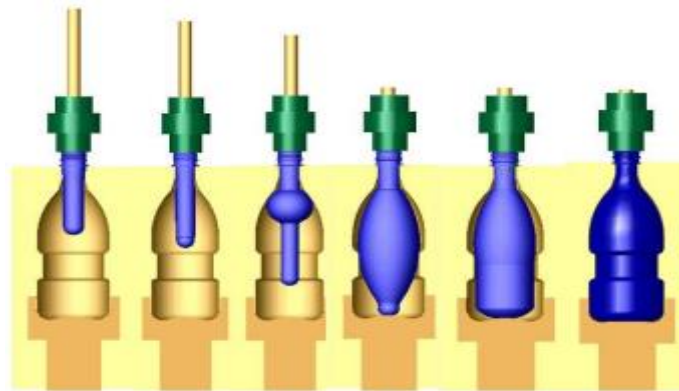


Figure II.4 : Principe de moulage par injection soufflage.

II.2.1.5 Moulage au contact : [3]

Avant moulage, le moule est revêtu d'un agent de démoulage, puis généralement d'une fine couche de résine de surface, souvent colorée, dénommée "gel Coat".

Le moulage est ensuite effectué selon les opérations suivantes :

1. Le moule est enduit avec de la résine catalysée et accélérée, au pinceau ou au rouleau.
2. Le renfort : mat, tissu, etc., est disposé dans le moule. Divers types de renforts peuvent être utilisés suivant les différentes parties de la pièce. Les renforts doivent alors se superposer.
3. Le renfort est ensuite imprégné avec la matrice, puis un ébullage est effectué avec un rouleau cannelé.
4. Après gélification de la première couche, les couches suivantes sont appliquées, en utilisant la même technique. Des inserts peuvent être mis entre ces couches : tubes, vis, écrous, armatures, etc.
5. Le démoulage est ensuite effectué après un temps qui dépend de la résine et de la température (de l'ordre de 10 heures).
6. La polymérisation est ensuite effectuée en milieu ambiant pendant plusieurs semaines.

Cette polymérisation peut éventuellement être accélérée par étuvage (par exemple 5 à 10 heures, aux environs de 80 °C).

7. Après polymérisation, on procède à la finition de la pièce : ébarbage, ponçage, éventuellement peinture, etc.

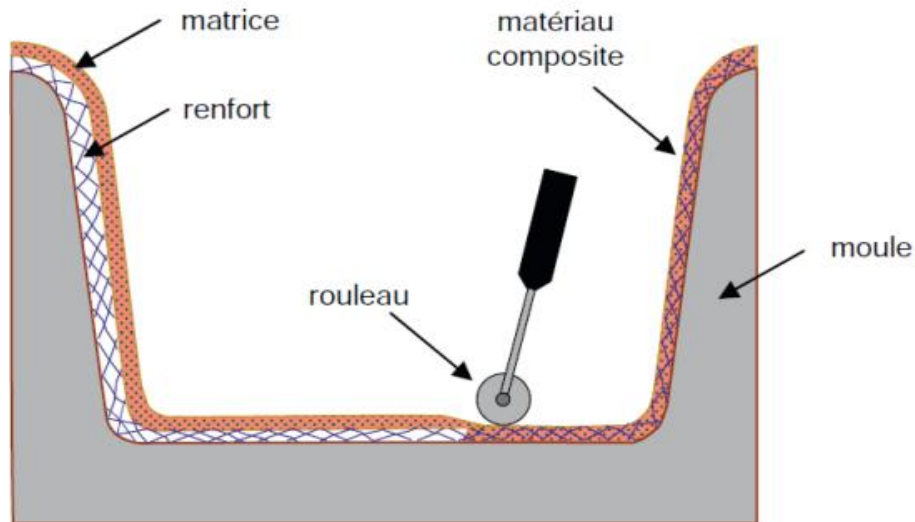


Figure II.5 : Principe du moulage au contact. [3]

II.2.1.6 Moulage sous vide : [3]

Le moulage sous vide consiste à utiliser simultanément le vide et la pression atmosphérique. Après enduction de gel-coat, on dispose le renfort sur un moule rigide, puis on coule la matrice. Le contre-moule, recouvert d'une membrane assurant l'étanchéité (feuille de caoutchouc, nylon, etc.), est ensuite emboîté. Une pompe à vide crée une dépression à travers le moule et le contre-moule poreux, qui étale et débulle la résine. Le contre-moule peut éventuellement être limité à la seule membrane d'étanchéité.

Ce procédé de moulage convient pour la fabrication de pièces en petites et moyennes séries. Il permet d'obtenir de bonnes qualités mécaniques, grâce à une proportion de résine uniforme et à une diminution des inclusions d'air. Dans le cas de l'utilisation d'un contre-moule rigide, un bel aspect de surface est obtenu sur les deux faces. Les cadences de production sont toutefois assez lentes.

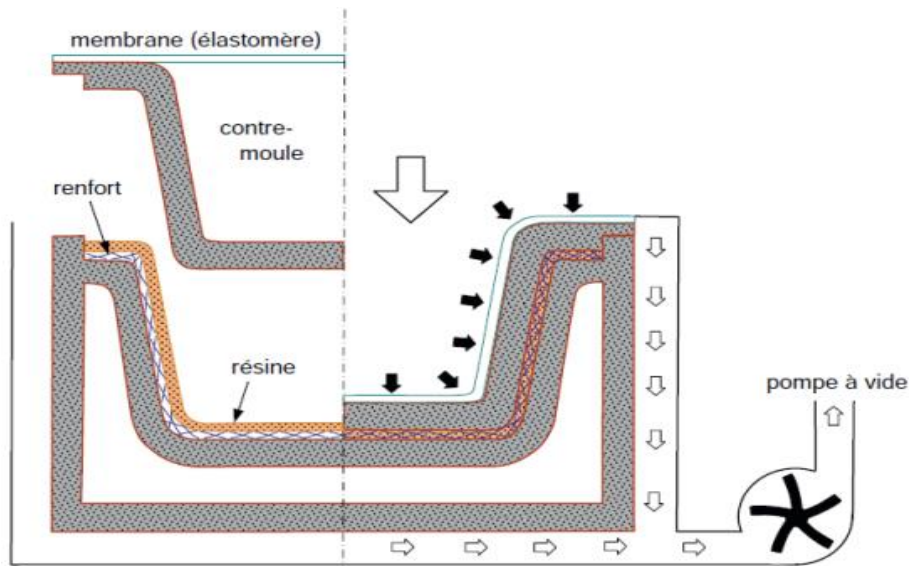


Figure II.6 : Moulage sous vide. [1]

II.2.1.7 Moulage par réaction : Réaction injection Molding (RIM) :

Est un procédé de moulage conçu pour produire des pièces en plastique similaires à l'injection mais adaptées aux petites séries.

Le processus consiste à injecter un mélange de deux composants liquides, polyol et isocyanate (et éventuellement d'autres additifs) dans un moule fermé, qui réagit l'un avec l'autre pour former un polymère. Le mélange est à l'état liquide lors de l'injection, qui se fait sur un moule en aluminium basse pression et une presse à faible puissance. Par rapport aux thermoplastiques, les avantages sont nombreux : les thermoplastiques sont injectés à l'état fondu, ils sont donc très visqueux. RIM est donc un véritable substitut au moulage par injection thermoplastique, utilisé pour mouler de petites séries des pièces en plastique, et est plus économique en termes d'investissement en outillage.

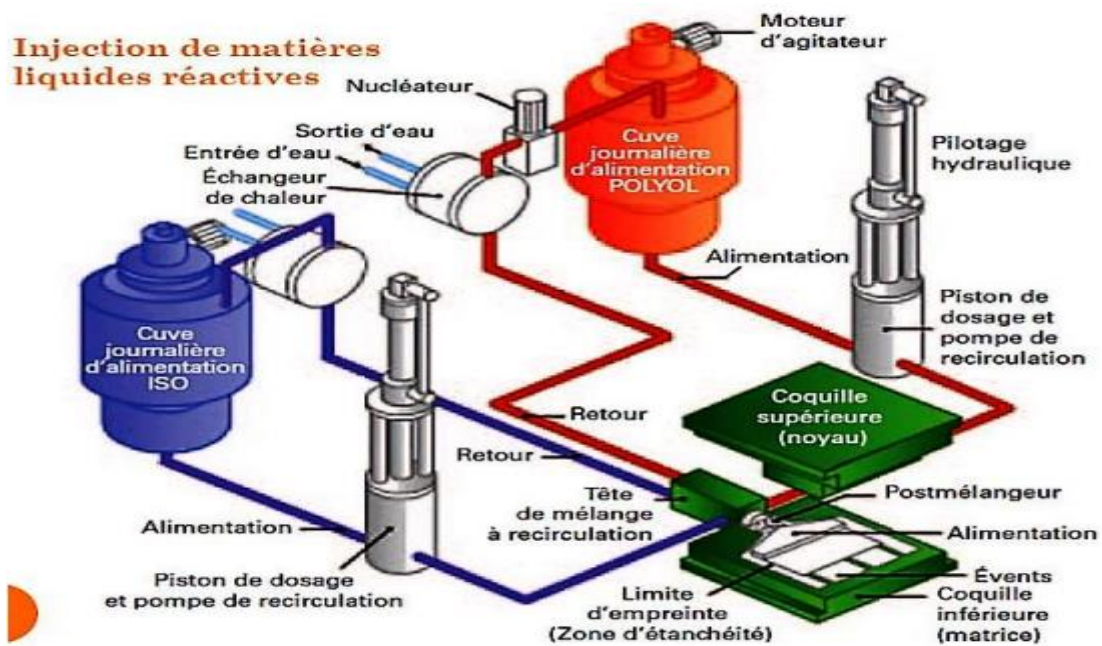


Figure II.7 : Procédé RIM.

II.2.1.8 Moulage par expansion :

- **Principe** : [2]

Au contact de la vapeur d'eau, la matière plastique (petites graines) se ramollit, alors que le gaz qu'elle contient se dilate : les graines gonflent, comme le pop-corn grâce à l'air qu'il contient. Cette première expansion est réalisée en usine dans des grandes cuves en inox et permet d'obtenir jusqu'à 30 fois le volume initial des billes de polystyrène.



Figure II.8 : Bille de polystyrène expansée. [2]

Après séchage des billes pré-expansées, stockées dans un silo, cette matière est introduite dans un moule fermé et est soumise à une nouvelle injection de vapeur d'eau. Le polystyrène

est un polymère qui se présente avant transformation sous forme de petites billes non expansées. Elles renferment des micro-inclusions à l'état liquide qui se transforment en gaz lors de l'expansion. Dans une chaudière, en présence de vapeur d'eau, la matière se ramollit et le gaz qu'elle contient se dilate. Les petites billes gonflent, comme du pop-corn, en gardant une forme sphérique régulière. Cette première expansion est réalisée dans de grandes cuves en inox et permet d'obtenir jusqu'à 30 fois le volume initial du polystyrène non expansé. Dans un deuxième temps, après séchage, les billes pré-expansées sont introduites dans un moule fermé et sont soumises à une nouvelle expansion grâce à l'injection de vapeur d'eau. Les billes augmentent de volume et collent les unes aux autres dans le volume intérieur du moule. Cette technique est utilisée pour fabriquer toutes sortes d'emballages en polystyrène expansé : emballages de protection pour appareils fragiles, caisses à poissons, barquettes alimentaires... Cette technique est surtout utilisée pour fabriquer toutes sortes d'emballages en polystyrène expansé : caisses à poissons, barquettes...



Figure II.9 : Emballages en polystyrène expansé.

II.2.2 Les extrusions :

L'extrusion est un procédé très utilisé en plasturgie puisque la majorité des matières thermoplastiques est au moins extrudée une fois lors de sa préparation, néanmoins d'autres sortent sous forme d'objets finis. Il est largement utilisé pour la fabrication des produits semi-ouvrés tels que : plaques, feuilles, tubes. L'extrusion consiste à transporter un polymère solide, puis à le faire fondre et à lui appliquer une pression par l'action d'une vis tournant dans un fourreau chauffant. Le polymère est ensuite forcé à travers la filière d'extrusion puis refroidi, ce qui détermine le type d'extrusion.

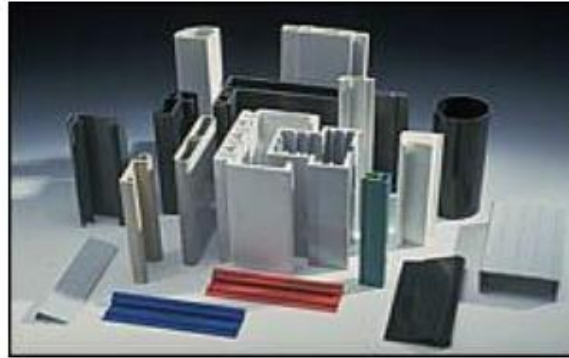


Figure II.10 : Article obtenu par extrusion (profilés).

• **Principe de l'extrusion :**

- 1) La matière est insérée dans l'extrudeuse (granulé au poudre).
- 2) Le cylindre chauffant permet de ramollir la matière.
- 3) La vis sans fin tourne et permet de fondre et homogénéiser la matière, celle-ci monte en pression en bout de vis.
- 4) La matière passe au travers la filière, qui va donner la forme finale du produit.
- 5) La matière est refroidie et conformée généralement sous vide (pour conserver les dimensions).
- 6) Les profilés sont tirés en bout de ligne puis occupés à longueur et palettiser.

II.2.2.1 Extrusion soufflage :

• **Principe : [4]**

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

Trois étapes principales peuvent être distinguées dans le processus d'extrusion-soufflage :

- Extrusion d'un tube de résine fondue appelé paraison,
- Mise en place de la paraison entre les deux moitiés d'un moule,
- Soufflage de la paraison pour lui faire prendre la forme du moule.

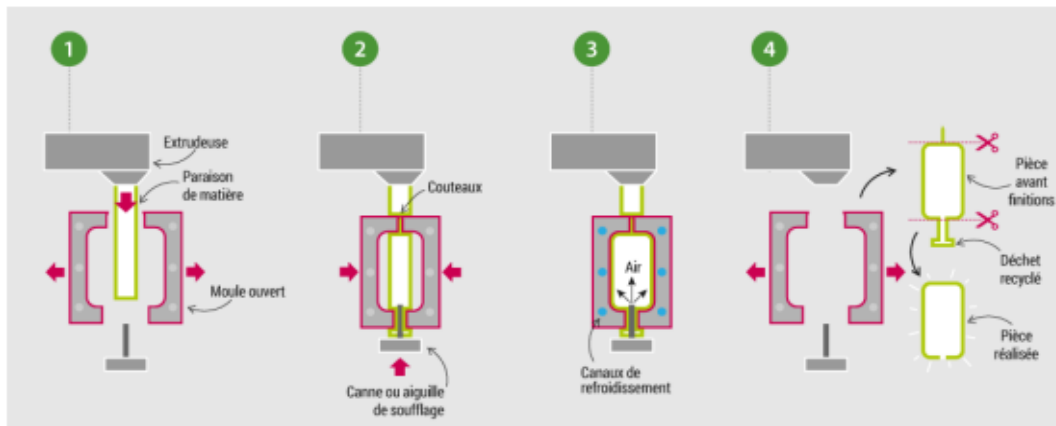


Figure II.11 : Principe de l'extrusion soufflage.

II.2.2.2 Extrusion gonflage :

C'est un procédé qui permet de produire des films et des gaines de différentes dimensions et couleurs. Le principe est d'extruder la matière à travers une filière annulaire et d'injecter de l'air au centre de la filière. Il se forme une bulle dont le diamètre correspond à la largeur de la gaine souhaitée. En ajustant la vitesse de traction de la table d'enroulement, une épaisseur variable (de 25 à 100 microns ou plus avec nos équipements) peut être obtenue. Les différents paramètres de réglage sont gérés par des équipements automatisés. Au cours du processus de fabrication, l'opérateur vérifiera régulièrement et veillera à la cohérence des caractéristiques de la gaine (taille, poids au mètre).

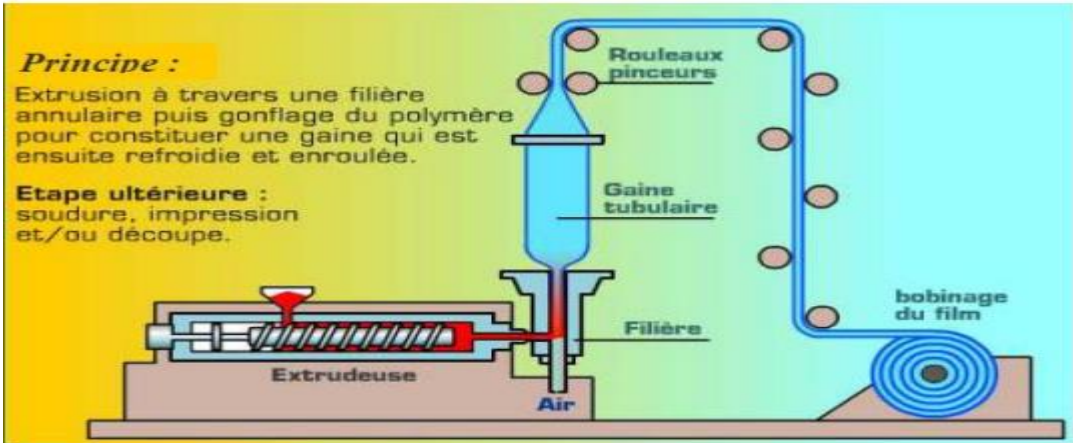


Figure II.12 : principe de l'extrusion gonflage.

II.2.2.3 Le calandrage : [5]

Le calandrage est un procédé de fabrication en continu de films de thermoplastiques par laminage de la matière entre plusieurs cylindres parallèles. Ces cylindres sont chauffés et entraînés mécaniquement et forment la machine de calandrage qu'on appelle : Calandre. Leur

nombre se situe généralement entre 3 et 6 cylindres. La feuille obtenue est étirée puis refroidie avant d'être enroulée.



Figure II.13 : Articles mis en forme par calandrage. [7]

Le principe schématisé par la figure suivante consiste à :

- plastifier ou fondre le thermoplastique par passage dans une extrudeuse ou un mélangeur ;
- laminer le thermoplastique plastifié ou fondu entre des cylindres tournant en sens inverses pour obtenir un film ou une feuille d'épaisseur constante. Les épaisseurs sont dans une gamme de 80-800 μm avant étirage et 25 μm et plus après étirage ;
- refroidir le polymère pour lui redonner sa consistance d'origine.

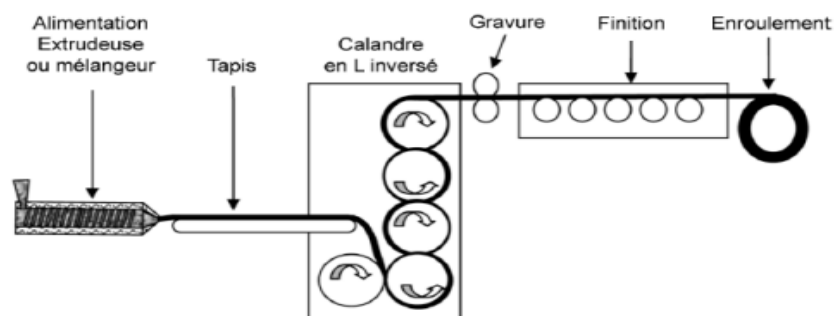


Figure II.14 : Le principe de calandrage. [7]

II.2.3 Thermoformage : [1]

Le thermoformage consiste à plaquer une feuille de thermoplastique ramollie par la chaleur sur les parois d'un moule pour lui en faire prendre la forme. Le formage peut être réalisé par

l'action directe du moule sur la feuille de thermoplastique (emboutissage) ou plus souvent par action combinée avec une aspiration ou une pression facilitant la mise en forme.

Après refroidissement partiel ou total, on procède au démoulage et découpage des bords.

II.2.3.1 principe du thermoformage : [1]

Le thermoformage est une technique de moulage.

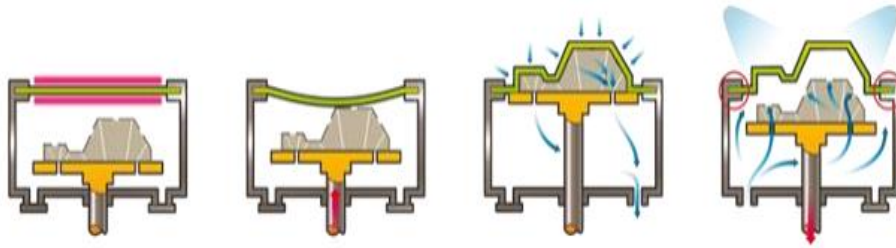


Figure II.15 : principe du thermoformage.

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

II.2.3.2 Machine de thermoformage et Outillages :

Les machines pour thermoformage, autrement appelées thermoformeuses sont utilisées dans la transformation des matières plastiques. Elles s'utilisent en effet dans un bon nombre d'applications. On les trouve par exemple dans le secteur médical, l'éducation, le secteur automobile, etc... Trois principaux types de thermoformage existent, dont le thermoformage par le vide, le thermoformage sous pression, et le thermoformage double coque. Le thermoformage présente de nombreux avantages considérables pour ses utilisateurs. Il offre par exemple l'avantage d'être d'une conception simple, ce qui lui vaut d'être peu coûteux par rapport aux autres types de machines. Sa compétitivité lui permet également de réaliser les

petites, moyennes et grandes séries. Le moule de la machine pour formage est dans la plupart du temps conçue en aluminium ; cependant, on la trouve également dans d'autres matières, telles que la résine époxyde, notamment pour les petites séries, et le bois qui s'utilise le plus souvent pour la fabrication d'échantillons. Deux principaux types de moules existent, dont les moules positifs et les moules négatifs.



Figure II.16 : Exemples des machines thermoformage.

II.2.4 Autre technique :

II.2.4.1 Impression 3D :

L'imprimante 3D fabrique des pièces 3D directement à partir du modèle CAO, en déposant des matériaux couche par couche jusqu'à ce que la pièce soit complètement fabriquée.

Fonctionnement :

Il y a 3 étapes principales :

➤ La première : est avant l'impression elle-même, c'est-à-dire lors de la préparation d'un fichier 3D de l'objet à imprimer. Le fichier 3D peut être créé à l'aide d'un logiciel de CAO, d'une numérisation 3D ou téléchargé directement depuis un site professionnel. Une fois que vous avez confirmé que votre fichier 3D est prêt à être imprimé, vous pouvez passer à la deuxième étape.

➤ La deuxième étape : concerne le processus d'impression. Tout d'abord, vous devez sélectionner le matériau à utiliser en fonction des propriétés de l'objet. La gamme de matériaux utilisés pour la recherche et le développement de l'impression 3D est très large. Ce dernier comprend différents plastiques, céramiques, résines, métaux, etc...

Cependant, l'utilisation la plus courante et la plus facilement disponible consiste à imprimer du plastique, de la résine, du métal, de la céramique ou du sable ; ensuite, de nombreuses options de finition peuvent être ajoutées pour vous permettre de créer le projet que vous souhaitez. D'autres matériaux ne sont actuellement utilisés que dans des expériences menées dans des laboratoires de recherche.

➤ La troisième étape : est pendant l'opération de rangement. Cette dernière est complexe et nécessite des compétences et des matériels spécifiques. Une fois l'objet imprimé, il ne doit pas être distribué ou utilisé, il doit être poncé/sablé, peint/ pour obtenir son aspect final. Vous devez également considérer la technologie d'impression 3D que vous souhaitez utiliser en fonction du matériau que vous choisissez.



Figure II.17 : Exemples des imprimant 3D.

II.2.4.2 Enduction :

La technique consiste à imprégner le support d'une surface en matière plastique pâteuse. Un rouleau d'enduction est utilisé pour déposer le polymère sur le support, puis l'épaisseur est égalisée en faisant rouler le support enduit sous la lame métallique. Il est possible de réaliser plusieurs enductions en continu pour obtenir des effets variés : la couche de protection puis la couche d'apparence, par exemple : l'application typique de ce procédé est l'enduction de tissus de sièges auto, vêtements, chaussures, meubles, toiles...

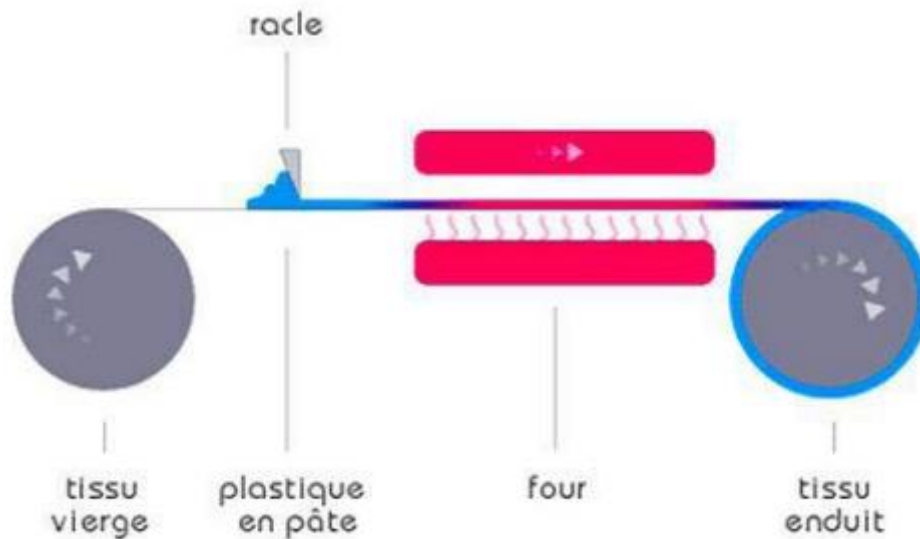


Figure II.18 : Procédé de la technique d'enduction.

II.2.4.3 Enroulement filamentaire : [6]

L'enroulement filamentaire est un procédé automatisé qui permet l'obtention d'un corps creux en bobinant sur un moule (ou mandrin) différents renforts continus imprégnés de résine. Le renfort le plus couramment employé est le « woven roving » qui constitue en fait des couches de renfort tissées, puisqu'on utilise au mieux les propriétés de résistance à la traction des fils. Cette méthode est limitée au moulage des pièces de révolution (tube, cône, réservoir, silo...). Pour les résines thermodurcissables comme pour les thermoplastiques, le renfort est enroulé autour d'un mandrin, soit respectivement après passage dans un bain de résine catalysée après chauffage. Les fibres sont fabriquées sous forme de filaments de très grande longueur (plusieurs kilomètres) et de très faible diamètre (quelques microns). Ces fibres sont regroupées par milliers pour constituer des mèches.

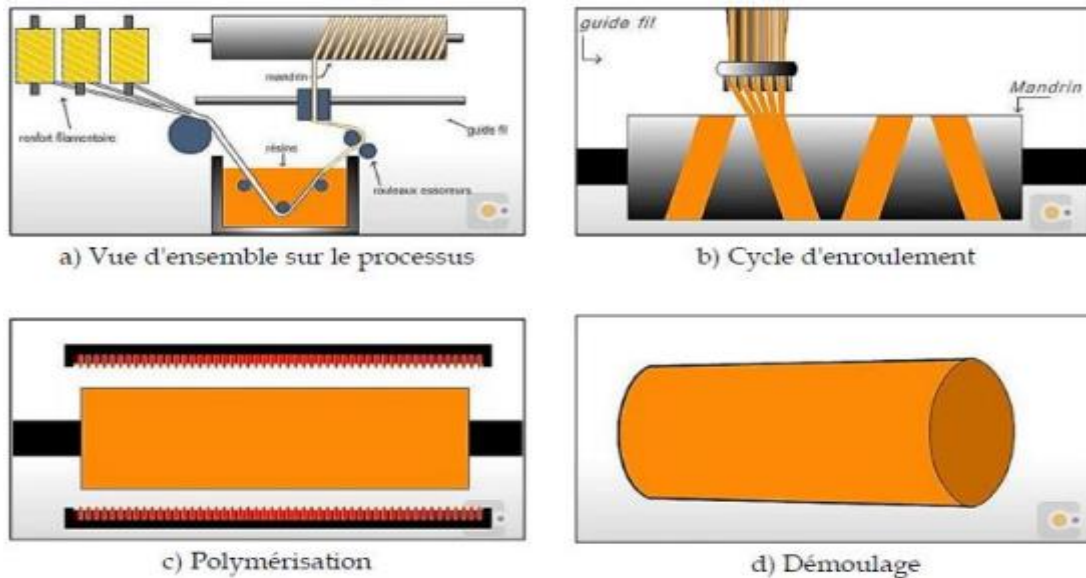


Figure II.19 : Description du processus d'enroulement filamentaire. [6]

II.2.4.3 Moulage par pultrusion : [3]

C'est un procédé résultant du verbe anglais « to pull » qui signifie tirer, et la fin du terme « extrusion » procédé de l'industrie du thermoplastique.

Le procédé de moulage par pultrusion sert pour la fabrication de profilés, rectilignes ou courbes, à section constante, hautement renforcés dans la direction principale.

Dans cette technique, les renforts : fils, stratifils, rubans, etc..., passent dans un bain de résine catalysée ou ils sont imprégnés. Ils traversent ensuite une filière chauffée dans laquelle ont lieu simultanément mise en forme du profilé et polymérisation de la résine.

Ce procédé est applicable aux résines thermoplastiques et thermodurcissables.

Les profilés obtenus ont des caractéristiques mécaniques élevés, compte tenu de la possibilité d'obtenir des proportions de renfort élevés jusqu'à 80% en volume. Le procédé est adapté aux productions d'assez grandes séries (vitesse de défilement jusqu'à 20 m/h). Il nécessite un investissement important de matériel. Exemple de fabrication : canne à pêche, profilés divers, raidisseurs, etc.

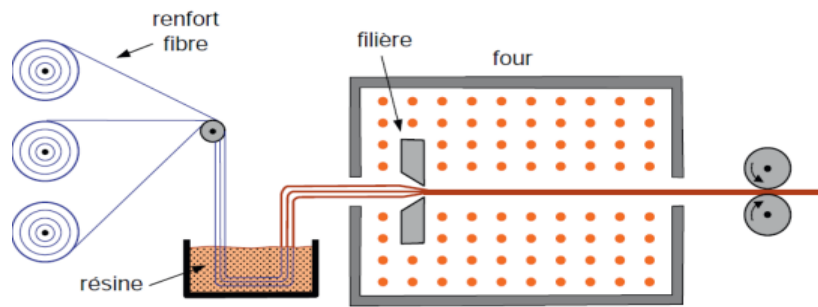


Figure II.20 : Moulage par pultrusion. [1]

II.2.4.4 Le procédé Rotomoulage :

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



Figure II.21 : Le procédé Rotomoulage.

La matière première est du plastique (en général du polyéthylène) sous forme de poudre. Elle est chargée dans un moule afin de reproduire la forme intérieure de ce moule.

II.2.4.4.1 Machines de rotomoulage :

Un poste de rotomoulage doit assurer principalement la rotation du moule autour de deux axes perpendiculaires. Le temps de cycle est important en comparaison aux autres procédés (15-40 minutes par cycle) ; donc ces postes ont une faible cadence de production.



Figure II.22 : Exemple de poste de rotomoulage.

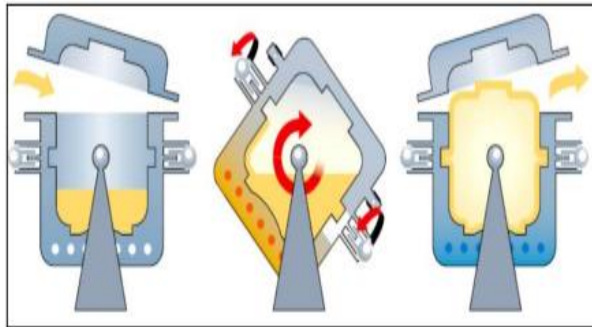


Figure II.23 : Les différentes phases d'obtention d'une pièce par rotomoulage.

II.2.4.4.2 Les phases du rotomoulage :

La mise en forme du rotomoulage comporte 6 phases :

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

Grâce au rotomoulage, on peut ainsi fabriquer des kayaks, des canoës, des barques, des planches de stand.

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

Elle a permis à de nombreuses marques de développer et mettre sur le marché de nombreux produits en vente.

II.3 Conclusion :

Les différents types de mise en forme des matières plastiques nous permettant la production en série des pièces avec une grande précision tout type de pièces et de produits finis ou semi fini en plastique.

Ces plastiques sont de plus en plus utilisés dans divers domaines comme l'automobile, la santé, les loisirs, afin d'améliorer nos conditions de vie et les performances des objets créés. Cependant, les déchets plastiques ainsi produits sont néfastes pour l'environnement.

Il faut donc trouver des solutions comme le recyclage, l'utilisation de plastiques recyclés et développer des solutions pour remplacer le plastique. Notre rôle est donc essentiel et nos mentalités doivent changer pour notre avenir.

Chapitre III : étude et conception

Présentations du Matériau de la Contre –Porte

INTRODUCTION :

Le polystyrène, plus communément appelés PS, fabriqué à partir de résines polystyrène choc spécialement formulées pour une application industrielle, le polystyrène est un matériau comparable à l'ABS pour sa très bonne résistance aux chocs. Il se présente sous différents aspects : mat, satiné sur une face, brillant, lisse 2 faces, grainé 1 face. Et différentes formulations qui lui permettent d'améliorer ses propriétés notamment pour les applications de thermoformage et de sérigraphie.

Le polystyrène est une matière très largement utilisée dans les différentes applications et les différents secteurs. De ce fait, de grands volumes de polystyrène postconsommation sont produits. Toutefois, le polystyrène postconsommation est traité différemment en comparaison avec les autres matières plastiques récupérées et mises en valeur. En effet, même s'il est recyclable, le polystyrène ne fait pas partie de la collecte sélective et cette matière rejoint dans sa grande majorité les sites d'enfouissement. Aussi, un mouvement de bannissement du polystyrène pour certains usages est en action dans certains pays.

III.1. Histoire de sa découverte :

Le polystyrène a été découvert dès 1839, mais n'a été exploité à grande échelle en Allemagne et aux États-Unis qu'à partir des années 1930.

Sa fabrication industrielle commença en 1933 et le procédé utilisé fut perfectionné au cours des décennies suivantes.

Le polystyrène expansé a été inventé par hasard en 1944 par Ray Mc Intire (1919-1996) un chimiste travaillant pour Dow Chemical.

III.2. Caractéristiques :

Le développement de la production industrielle du PS a débuté vers 1925. Les premiers succès ont été obtenus en Europe en 1930, plus spécifiquement en Allemagne, par les usines de IG-Farbenindustrie. Aux États-Unis, la première production à l'échelle industrielle a été réalisée en 1938 par Dow Chemical Company.

III.3. Origine :

Le PS est obtenu par la polymérisation du styrène (figure III.1), un matériau issu de la pétrochimie. Plus de 90 % de la production de styrène provient de la déshydrogénation de

l'éthylbenzène fabriqué à partir du benzène et de l'éthylène. Sa formule chimique est $(C_8H_8)_n$. Il ne contient que du carbone et de l'hydrogène comme éléments chimiques. [11]

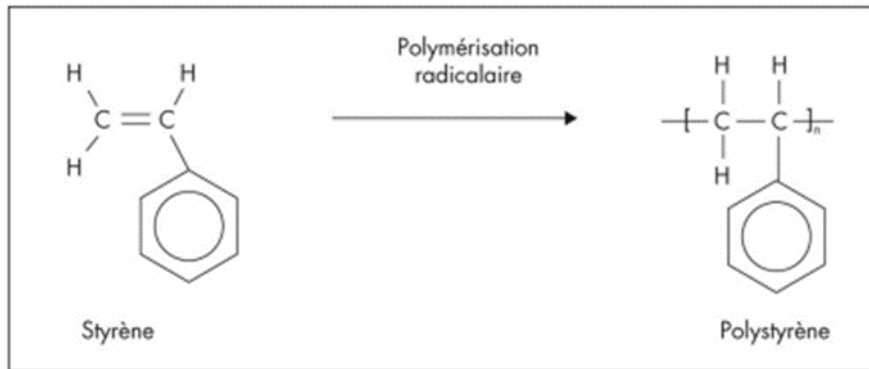


Figure III.1 : Polymérisation du monomère de styrène en polystyrène. [12]

Les produits commerciaux sont fabriqués à partir du PS atactique caractérisé par un arrangement irrégulier des atomes ; il est amorphe et ne peut cristalliser. Deux procédés de polymérisation sont actuellement utilisés pour la fabrication du PS : la polymérisation radicalaire en suspension et la polymérisation radicalaire en masse. Pour empêcher la polymérisation à basse température, lors du stockage et du transport du styrène liquide, le monomère est stabilisé avec des inhibiteurs tels que le 4-tert-butylcatéchol. [13]

III.4. Formes de polystyrène :

Les plastiques recyclables utilisés pour fabriquer des contenants alimentaires possèdent un code d'identification placé au centre d'un ruban Moebius pour symboliser le recyclage. Celui du PS est le numéro 6 (figure III.2). L'utilisation de ce système de codification développé par la Society of the Plastic Industry (SPI) pour différencier les diverses résines de plastique n'est pas obligatoire, mais volontaire.



Figure III.2 : Code d'identification du polystyrène. [14]

Il existe trois formes de polystyrène : PS standard (cristal), le PS choc (High Impact Polystyrene (HIPS)) et le PS expansé (PSE).

III.4.1. Polystyrène standard (cristal) :

Ce PS est également appelé le polystyrène d'utilisation général (General Purpose Polystyrene (GPPS)) ou bien le polystyrène rigide (PSR). C'est un polymère amorphe, transparent, brillant, rigide, cassant et pouvant être coloré. Il est souvent appelé PS cristal à cause de son aspect transparent. C'est le premier PS obtenu suite à la polymérisation. Toutes les autres formes du PS sont obtenues par modification de celui-ci. Le PS cristal peut également être façonné par injection et des pièces moulées, comme des gobelets transparents ou des boîtiers de Digital Versatile Disc (DVD), sont obtenues. Dans ce cas, il porte le nom de PS injecté.

III.4.2. Polystyrène choc :

Ce matériau résulte de la polymérisation du styrène en présence d'un élastomère renforçant. Généralement, le polybutadiène y est inséré à cette fin. Le PS choc est également un polymère amorphe constitué de deux phases distinctes : l'une continue, composée de PS, appelée matrice et l'autre discontinue comprenant des nodules de polybutadiène dispersés dans la matrice. La couleur du PS choc va de translucide à opaque, car les deux phases n'ont pas le même indice de réfraction. Sa résistance au choc est aussi une conséquence de cette structure à deux phases. Le niveau de résistance est lié à la teneur en polybutadiène. Les PS chocs supportent des impacts plus importants que le PS normal. [15] & [16]

III.4.1. Polystyrène expansé :

Il existe deux types de PSE : le PS expansé moulé et le PS expansé extrudé.

●Le polystyrène expansé moulé (PSE-M) :

Est obtenu à partir d'un PS expansible composé de perles de PS (billes sphériques) de type standard (cristal) contenant un agent d'expansion (un solvant à forte tension de vapeur, p.ex. le pentane) ajouté lors de la polymérisation du PS. Ces perles subissent l'expansion par effet thermique (mélange avec de la vapeur d'eau), leur volume peut atteindre 60 fois le volume des perles pré-expansion. Elles sont ensuite stabilisées puis soudées entre elles dans des moules, par un nouveau chauffage à la vapeur. Il est important de préciser qu'auparavant les chlorofluorocarbures (CFC) étaient utilisés comme agent d'expansion. Suite à leur identification comme substances appauvrissantes de la couche d'ozone (SACO), ces derniers ont été retirés du marché. [17] & [18]

- Le polystyrène expansé extrudé (PSX) :

Est obtenu à partir d'un procédé d'extrusion. Le plus répandu est connu sous le nom direct gazing ou expansion physique. Il consiste à faire fondre sous pression dans une extrudeuse des granulés de PS cristal, puis à mélanger au polymère fondu un (ou des) agent(s) de nucléation et le (ou les) agent(s) d'expansion liquide(s) ou gazeux. Le mélange est maintenu sous pression et poussé à travers la filière. La plaque ou la feuille expansée obtenue est ensuite refroidie. Cette méthode permet la fabrication de matériaux faits de microbulles ; des isolants de plus haute densité sont ainsi obtenus. [19]

III.5. Quelques propriétés du polystyrène :

III.5.1. Propriétés électriques et thermiques :

Les polymères styréniques possèdent de bonnes propriétés d'isolation électrique. Ils peuvent recevoir des additifs pour devenir antistatiques ou conducteurs. Ils conduisent faiblement la chaleur.

III.5.2. Comportement au feu :

Les polymères styréniques sont facilement combustibles et dégagent une odeur sucrée. Lors d'une combustion, ils se décomposent vers 300 °C en formant du dioxyde de carbone (CO₂) et de la vapeur d'eau, mais les combustions incomplètes ajoutent de l'oxyde de carbone (CO). Puisque toutes les combustions ouvertes utilisent l'air contenant 78 % d'azote en plus de l'oxygène, des oxydes d'azote sont toujours présents. Pour améliorer leur tenue au feu, des additifs ignifugeants sont ajoutés pour certaines applications. La combustion ajoutera alors les produits de décomposition de ces ignifugeants. [16]

III.5.3. Vieillessement :

Une exposition prolongée à l'extérieur provoque l'oxydation des polymères styréniques. La couche superficielle des objets devient jaunâtre et s'effrite. L'incorporation d'agents protecteurs ou la coloration permet d'améliorer la résistance au vieillissement. Des produits de décomposition complémentaires résulteront de la combustion. [16]

III.5.4. Résistance aux produits chimiques – Corrosion :

Les PS sont facilement attaqués par de nombreux solvants organiques. Leur résistance aux produits inorganiques (comme des solutions aqueuses) et aux produits alimentaires est bonne. Ils ont une bonne résistance aux acides, bases, aux agents oxydants et réducteurs. Les PS gonflent ou se dissolvent au contact des acides concentrés et des hydrocarbures. Leur stabilité

dimensionnelle (capacité à maintenir ses dimensions face aux variations de température, d'humidité et à certaines charges physiques) est excellente. [15] & [20]

III.5.5. Autres propriétés :

Le PS possède un pouvoir calorifique élevé compris entre 31 700 et 41 200 kJ/kg. Il est imperméable et a une très faible absorption d'eau. Comme tous les polymères basés sur une chaîne d'hydrocarbure, le PS est classé comme non biodégradable dans un horizon séculaire.

III.6. Utilisation du polystyrène :

Les propriétés du PS et son faible coût d'achat permettent son utilisation dans de nombreuses applications et dans différents secteurs.

Le PSE présente certaines caractéristiques qui favorisent son utilisation dans diverses applications : il est léger, composé de 98 % d'air et de 2 % de matière solide, ce qui limite d'autant l'impact sur le poids. Il est moins dispendieux que d'autres types d'emballages et confère une protection aux produits fragiles suremballés. Ses propriétés d'isolant thermique permettent de garder les aliments au chaud ou au froid. Le PSE est abondamment utilisé et très prisé pour des emballages alimentaires, des contenants, des plateaux, etc. Il est également utilisé pour la fabrication de vaisselles à usage unique.

Sa constitution d'alvéoles remplies d'air procure au PSE d'exceptionnelles propriétés d'amortissement aux chocs. De ce fait, il est utilisé dans les emballages protecteurs pour l'expédition de matériel électronique et autres articles fragiles, pour l'emballage d'équipements électroniques comme les téléviseurs, les ordinateurs et les équipements stéréo.

Les propriétés de stabilité, de durabilité et d'insensibilité à l'action de l'humidité du PSE favorisent sa large utilisation dans l'isolation thermique, dans le secteur du bâtiment, de la construction et du froid (camions frigorifiques, glacières et chambres frigorifiques). Il est également utilisé en milieu agricole (contenants de semis et bacs à fleurs) pour le peu de développement des bactéries et moisissures qu'il permet.

Le PS standard est utilisé pour des applications où la transparence et la rigidité sont nécessaires. Il est utilisé dans des produits tels que des couverts, des tasses, des récipients de yogourt, de boulangerie et de fruits et légumes. Les boîtes de Petri et autres contenants de laboratoire tels que les tubes à essai et microplaques sont également faits à base de PS. Le PS est très utilisé dans les jouets, les équipements récréatifs et les articles ménagers. Il est utilisé

dans le domaine de l'audiovidéo : boîtiers de Compact Disc (CD) et de DVD, parties de téléviseurs, parties de chaîne stéréo.

Le PS choc est utilisé lorsqu'une résistance élevée aux chocs est recherchée. Les téléviseurs, dans les modèles les plus récents, sont constitués d'environ 20 % en poids de plastique et de 90 % de PS choc non ignifugé. On le retrouve également dans les électroménagers.

(Figure III.3) illustre différents produits selon le type de PS utilisé.



Figure III.3 Types d'emballage de polystyrène post-consommation. [21]

III.7. Avantages :

- thermoformable.
- Bonne résistance aux chocs.
- Très faible absorption d'humidité.
- Produits à 100% recyclable

Bilan thermique

Introduction :

L'échangeur de chaleur doit évacuer une quantité de chaleur issue de l'opération de formage sur le moule. Pour évaluer les échanges thermiques qui s'y produisent nous avons en recours à la méthode des bilans thermique.

On va utiliser dans les calculs la fiche technique et d'autres valeurs obtenu à l'ENIEM.

TP 5051


	DE/SQTQL Sce Etudes C.F : 721	FICHE TECHNIQUE	Document N° :071/2012 Etabli par : Fonction : Visa : Vittrifié par : Fonction : Visa : Approuvé par : Fonction : Visa :																																
Pièce/composant..... <input type="checkbox"/> Matière..... <input checked="" type="checkbox"/> Ensemble..... <input checked="" type="checkbox"/> Produit fini..... <input type="checkbox"/>		Désignation : FEUILLE H.I.S BLANC BLEUTE																																	
<p>I - Domaine d'utilisation: Les feuilles en H-I-S (Higt Impact Styrene) utilisées pour la réalisation des contre-portes de réfrigérateurs électriques par thermoformage.</p> <p>II - Présentation: Les feuilles doivent être en polystyrène super choc résistantes au cyclopentane avec une face brillante Les pièces fabriquées seront en contact des denrées alimentaires. Les feuilles HIS doivent se conformer à la législation concernant les matériaux utilisés au contact des aliments.</p> <p>III- Dimensions : (mm)</p> <p style="margin-left: 200px;"> Longueur : 1340 (+10/0) Largeur : 613 (+5/0) Epaisseur : 1,8 ± 0,05 Diagonal : 1473 (+12/0) </p> <p>IV -Caractéristiques:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>CARACTERISTIQUES</th> <th>CRITERES</th> <th>UNITES</th> <th>NORMES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1-Densité</td> <td>1,04(±0,01)</td> <td></td> <td>ISO 1183</td> </tr> <tr> <td>2-Résistance à la traction (contrainte au seuil d'écoulement)</td> <td>18</td> <td>N/mm²</td> <td>ISO 527</td> </tr> <tr> <td>3-Module d'élasticité à la traction</td> <td>>1400</td> <td>N/mm²</td> <td>ISO 527</td> </tr> <tr> <td>4-Allongement au point de rupture</td> <td>>30</td> <td>%</td> <td>ISO 527</td> </tr> <tr> <td>5-Temperature ramollissement Vicat B/50 (50°C/h, 50N)</td> <td>90</td> <td>°C</td> <td>ISO 306</td> </tr> <tr> <td>6-Choc IZOD (éprouvette entaillée)</td> <td>>70</td> <td>J/m</td> <td>ISO 180</td> </tr> <tr> <td>7-Choc CHARPY (éprouvette entaillée)</td> <td>7</td> <td>kJ/m²</td> <td>ISO 179</td> </tr> </tbody> </table> <p>V - Emballage : Les feuilles doivent être livrées sur palettes en bois, housées et cerclées de façon à protéger la qualité du produit qui ne doit en aucun cas se détériorer lors de la manutention, transport et le stockage. Et l'on doit lire sur l'emballage la désignation, le code, le nom du fabricant et le poids.</p> <p>VI- Exigences environnementales : Le produit doit être accompagné d'une fiche technique et de fiche de données sécurité. Il est préférable que l'emballage soit biodégradable, réutilisable ou recyclable.</p>				CARACTERISTIQUES	CRITERES	UNITES	NORMES	1-Densité	1,04(±0,01)		ISO 1183	2-Résistance à la traction (contrainte au seuil d'écoulement)	18	N/mm ²	ISO 527	3-Module d'élasticité à la traction	>1400	N/mm ²	ISO 527	4-Allongement au point de rupture	>30	%	ISO 527	5-Temperature ramollissement Vicat B/50 (50°C/h, 50N)	90	°C	ISO 306	6-Choc IZOD (éprouvette entaillée)	>70	J/m	ISO 180	7-Choc CHARPY (éprouvette entaillée)	7	kJ/m ²	ISO 179
CARACTERISTIQUES	CRITERES	UNITES	NORMES																																
1-Densité	1,04(±0,01)		ISO 1183																																
2-Résistance à la traction (contrainte au seuil d'écoulement)	18	N/mm ²	ISO 527																																
3-Module d'élasticité à la traction	>1400	N/mm ²	ISO 527																																
4-Allongement au point de rupture	>30	%	ISO 527																																
5-Temperature ramollissement Vicat B/50 (50°C/h, 50N)	90	°C	ISO 306																																
6-Choc IZOD (éprouvette entaillée)	>70	J/m	ISO 180																																
7-Choc CHARPY (éprouvette entaillée)	7	kJ/m ²	ISO 179																																
N°de révision	00																																		
Date de révision	31/05/2012		folio 1/1																																

Figure III.4 : fiche technique de la plaque PS-HI

III.1. Calcul du flux de chaleur arrivant sur l'échangeur :

Le calcul du bilan thermique est fait en tenant compte des hypothèses suivantes :

-le système moule+feuille de polystyrène High-impact (PS-HI) est sans perte vers le milieu ambiant par sa surface supérieure car il est isolé grâce au poinçon qui se pose dessus pour assurer un bon formage, ainsi la chaleur cédée par convection par la feuille de (HIS) et par conduction par le moule amputé du flux de chaleur perdu par les faces latérales du moule est totalement récupérée par l'eau circulant à l'intérieur de l'échangeur de chaleur (serpentin en cuivre).

-au point de contact entre la feuille et le moule, le flux de chaleur se transmet instantanément vu les faibles épaisseurs du moule et de la feuille ainsi que la valeur de λ élevée.

-les conductivités thermiques de la feuille de polystyrène super choc et du cuivre ainsi que celle du moule ne varient pas avec la température.

-le régime d'écoulement de l'eau à l'intérieur du serpentin est permanent.

-Dès que la feuille de polystyrène super choc(PS-HI) arrive sur la matrice (moule), elle est immédiatement soufflée par de l'air à l'aide d'une pompe à vide et puis aspirée après un temps =1,3 s pour être formée. En régime établi, le bilan thermique sur l'ensemble feuille (PS-HI) et le moule, permet d'écrire :

$$\Phi_{tot} = \Phi_1 + \Phi_2 - \Phi_{pertes} \quad (1)$$

Φ_{tot} : Le flux de chaleur total cédé par la feuille de PS-HI et l'air d'aspiration au moule.

Φ_1 : Le flux de chaleur cédé par convection par l'air d'aspiration au moule.

Φ_2 : Le flux de chaleur cédé par feuille de PS-HI par conduction au moule.

Φ_{pertes} : Le flux de chaleur perdu (cédé) par convection et rayonnement par les parois latérales et la paroi inférieure du moule à l'air ambiant.

III.2. Calcul du flux de chaleur cédé par convection par l'air au moule :

En faisant un bilan thermique sur la feuille + air de soufflage :

$$\Phi_1 = hcv . Sf . (Tif - Tff) \quad (2)$$

$$\Phi_1 = ma . cpa . (Tea - Tsa) \quad (3)$$

Sachant que :

hcv : Coefficient d'échange convectif entre la feuille et l'air.

Sf : Surface d'échange entre la feuille et l'air.

T_{if} : Température de la feuille de PS-HI avant le soufflage (à l'arrivée sur le moule après chauffage sur les radiateurs en céramique).

T_{ff} : Température de la feuille de PS-HI après soufflage.

• Calcul de la température de la feuille avant le soufflage :

Faisons un bilan thermique sur la feuille posée sur les réchauffeurs radiateurs en céramique
La chaleur émise par les deux radiateurs en céramique par effet Joule est totalement récupérée par la feuille par conduction en absence de pertes de sorte que :

$$q = -\frac{\lambda_f}{e_f} \cdot (T_f - T_{if}) \quad (4)$$

$$dq = p \cdot dt \quad (5)$$

Avec q : la chaleur produite par les radiateurs.

$$q = \int_0^t P \cdot dt = p \cdot t = 4kw \times 41s = 164kj \quad (6)$$

Telle que :

P : La puissance électrique d'un radiateur égale à 4kw

t : Le temps de réchauffage égale à 41s

T_f : Température de la feuille avant le réchauffage

λ_f : Coefficient d'échange conductif de la feuille

e_f : Épaisseur initiale de la feuille

Φ_{rec} : Flux de chaleur produit par effet Joule.

$$\Phi_{rec} = \frac{q}{t} \times 2 = \frac{164}{41} = 8kw \quad (7)$$

$$T_{if} = \frac{\Phi_{rec} \times e_f}{\lambda_f \times s_f} + T_f \quad (8)$$

$$T_{if} = \frac{8 \times 10^3 \times 1.8 \times 10^{-3}}{0.251(1350 \times 618) \times 10^{-6}} + 25 = 93.76^\circ\text{C} \quad (9)$$

$$s_f = (1350 \times 618)mm^2 \quad \lambda_f = 0.251w/m.^\circ\text{C} \quad e_f = 1.8mm$$

$$T_{if} = 93.76^\circ\text{C}$$

• **Calcul de la température T_{ff} de la feuille après le soufflage :**

L'application du bilan thermique sur l'air de soufflage et la feuille, se traduit par :

La chaleur émise par le solide en l'occurrence la feuille de HIS est totalement récupérée en l'occurrence l'air, et on obtient l'égalité suivante :

$$\rho_f \times V_f \times C_f \times \frac{dT}{dt} = hc \times SF \times (T - T_{ea}) \quad (10)$$

Telle que :

$\rho_f \times V_f \times C_f \times \frac{dT}{dt}$: Représente la chaleur cédée par la feuille pendant un temps dt .

$hc \times SF \times (T - T_{ea})$: Représente la chaleur reçue par convection par l'air de soufflage.

En utilisant la méthode de séparation de variable, nous obtenons :

$$dT = d(T - T_{ea})$$

$$-\frac{dT}{T - T_{ea}} = \frac{hc \times Sf}{\rho_f \times V_f \times C_f} dt \quad (11)$$

$$\frac{d(T - T_{ea})}{T - T_{ea}} = \frac{hc \times Sf}{\rho_f \times V_f \times C_f} dt \quad (12)$$

$$\log(T - T_{ea}) = \frac{hc \times Sf}{\rho_f \times V_f \times C_f} \times t + C \quad (13)$$

Le calcul de la constante C est issu de l'application de la condition initiale à l'équation

$$t = 0 \Rightarrow T = T_{if}$$

En remplaçant $t=0$ dans l'équation (13)

$$C = \log(T_{if} - T_{ea})$$

$$\text{D'où : } \log \frac{(T - T_{ea})}{(T_{if} - T_{ea})} = \frac{hc \times Sf}{\rho_f \times V_f \times C_f} \times t \quad (14)$$

$$\text{Ce qui implique : } T(t) = \exp \left[-\frac{hc \times Sf}{\rho_f \times V_f \times C_f} t \right] (T_{if} - T_{ea}) + T_{ea} \quad (15)$$

La pompe à vide a un débit volumique (\dot{V}) égale à $0.0133 \text{ m}^3/\text{s}$ qui débite une quantité d'air à la température $T_a=25^\circ\text{C}$ par une surface constituée de $n = 1698$ trous, de $\phi = 0.2\text{mm}$ placés sur toute la surface du moule (la matrice).

Le calcul de la vitesse de l'air au contact de la feuille passe par le calcul de la section totale des trous de soufflage de l'air.

Soient :

$S_{T,tr}$: La section totale des trous de Soufflage /Aspiration, (en mm²).

S_{tr} : La section d'un trou de Soufflage / Aspiration, (en mm²).

Telle que :

$$S_{tr} = \pi \times \frac{\phi}{4} \quad (16)$$

$$S_{T,tr} = S_{tr} \times n \quad (17)$$

n : Le nombre de trous de Soufflage / Aspiration

$$S_{tr} = 0.151 \text{ mm}^2 \quad \text{et} \quad S_{T,tr} = 266.586 \text{ mm}^2$$

La vitesse de l'air au soufflage Va est calculée comme suit :

$$\dot{V} = S_{T,tr} \cdot Va \quad \text{d'où} \quad Va = \frac{\dot{V}}{S_{T,tr}}$$

$$Va = \frac{0.0133}{266.586 \cdot 10^{-6}} = 49.89 \text{ m/s}$$

$$Va = 49.89 \text{ m/s}$$

Par application de la corrélation ci-dessous pour un écoulement de l'air en convection forcée sur une plaque sans rayonnement ; on aboutit aux résultats suivants :

$$hc = 7.15 \times Va^{0.78}$$

● Application Numérique :

$$hc = 7.15 \times 49.89^{0.78} \quad \rightarrow \quad hc = 150.92 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$t=1.3\text{s}$ (temps de soufflage). $Cf=2000$ (coefficient de Trainée), $Vf=1753245 \text{ mm}^3$ (volume de la feuille). Avec t et Cf sont des données.

D'où :

$$T_{ff} = \exp \left[- \frac{150.92 \times 1350 \times 618 \times 10^{-6} \times 1.3}{1080 \times 2000 \times 1753245 \times 10^{-9}} \right] (93.76 - 25) + 25$$

$$T_{ff} = 90.85^\circ\text{C}$$

$$\Phi_1 = 150.92 \times 1350 \times 618 \times 10^{-6} (93.76 - 90.85)$$

$$\Phi_1 = 366.41 \text{ w}$$

ρ_f : La masse volumique de la feuille est égale à 1080kg/m^3

• **Calcul de ϕ_2 :**

Le moule au contact de la feuille plus chaude que sa surface reçoit un flux de chaleur ϕ_2 par conduction, (voir la Figure III.5) ci-dessous :

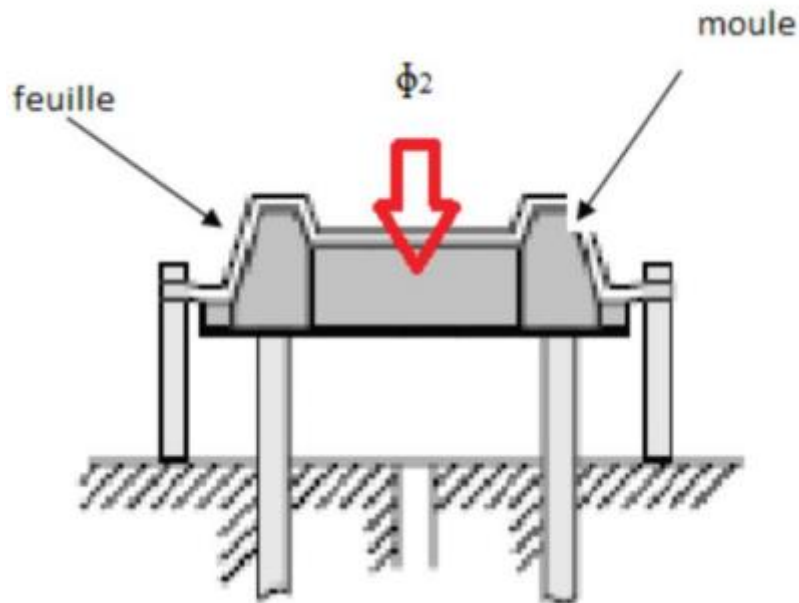


Figure III.5 : Représentation du Flux de Chaleur absorbé par le moule.

Sous l'effet de l'élévation de la température de la feuille celle-ci se dilate et change de dimensions.

Le calcul de la dilatation de la longueur, de la largeur et de l'épaisseur de la feuille se fait avec la relation suivante :

$$L'f = Lf \times \frac{(1 + \xi \times T_{if})}{(1 + \xi \times T_{af})} \quad \text{Avec} \quad \xi = 7 \times 10^{-5} K^{-1}$$

ξ : coefficient de dilatation linéaire

La longueur : $L'f = 1356.86\text{mm}$ Avec $Lf = 1350\text{mm}$

La largeur : $l'f = 621.01\text{mm}$ Avec $lf = 618\text{mm}$

L'épaisseur : $e'f = 1.81\text{mm}$ Avec $ef = 1.8\text{mm}$

Lf et $L'f$: la longueur de la feuille avant et après dilatation.

lf et $l'f$: la largeur de la feuille avant et après dilatation.

ef et $e'f$: l'épaisseur de la feuille avant et après dilatation.

De la même manière le calcul de dilatation surfacique et la dilatation volumique se fait avec les relations suivantes :

$$S'f = S\rho \frac{(1+2\xi \times Tif)}{(1+\xi \times Taf)}$$

$$S'f = 849740.6mm$$

$$Sf = 834300mm$$

$$\Phi_2 = -\frac{\lambda_f \times S'f}{e_f} (T_{mm} - T_{ff}) \quad (18)$$

D'où :

$$\Phi_2 = -\frac{0.251 \times 849740.6 \times 10^{-6}}{1.81 \times 10^{-3}} (40 - 90.85)$$

$$\Phi_2 = 6025.3W$$

• Calcul de Φ_{pertes} :

Le flux de chaleur perdu par le moule à l'air ambiant s'exprime par :

$$\Phi_{pertes} = \Phi_{cv} + \Phi_r \quad (19)$$

Φ_{cv} : Représente le flux total cédé par le moule à l'air ambiant par ces faces latérales par convection ;

Φ_r : Représente le flux de chaleur cédé par rayonnement avec les parois du moule.

• Calcul de Φ_{cv} :

Le flux Φ_{cv} sera calculé comme suit :

$$\Phi_{cv} = h_{ca} \times S_{Tpl} \times (T_{mp} - T_{aa}) \quad (20)$$

Avec :

h_{ca} : Coefficient d'échange convectif Moule-Air, ($h_{ca} = 28.5W/m^2\text{°C}$).

S_{Tpl} : Surface d'échange entre l'air et le moule, (en mm^2).

T_{mp} : Température des parois latérales du moule, (en °C).

T_{aa} : Température ambiante de l'air, (en °C).

Le calcul du coefficient d'échange convectif est évalué par application des corrélations usuelles de convection naturelle sur le système air ambiant-moule appliqué à des surfaces verticales :

$$h_{ca} = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} \quad (21)$$

Avec $Nu = f(Gr, Pr)$

$$Gr = 2806362349,76 \quad \text{et} \quad Gr \cdot Pr = 1986904543,63 \approx 1.9 \cdot 10^9$$

$Gr \cdot Pr \approx 1.9 \cdot 10^9 > 10^9$ D'après la corrélation, l'écoulement est turbulent.

Par application de cette équation :

$$Nu = 163.43$$

Le coefficient h_{ca} sera calculé avec l'équation (21)

$$h_{ca} = 28.5 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

• Calculons la surface d'échanges totale S_{Tpl} :

$$S_{Tpl} = S_{1pl} + S_{2pl} = [2 \times (618 \times 150)] + [2 \times (1350 \times 150)]$$

$$S_{Tpl} = 590400 \text{ mm}^2$$

Ce qui implique :

$$\Phi_{cv} = 28.5 \times 590400 \times 10^{-6} \times (40 - 25)$$

$$\Phi_{cv} = 252.4 \text{ W}$$

• Calcul du Φ_r :

$$\Phi_r = h_r \times S_{Tpl} \times (T_{mm} - T_{aa}) \quad (21)$$

Tel que : h_r représente le coefficient d'échange par rayonnement qui s'obtient par la relation suivante :

$$h_r = \varepsilon \times \sigma \times (T_{mm} + T_{aa})(T_{mm}^2 + T_{aa}^2) \quad (22)$$

Où ε : Emissivité de l'aluminium égale à 0.11

σ : La constante de Stefan Boltzmann égale à 5.67×10^{-8}

$$h_r = 0.711 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

D'où

$$\Phi_r = 6.3 \text{ W}$$

À partir de là, on déduit Φ_{pertes} qui représente le flux total cédé par les parois du moule par convection et rayonnement à l'air ambiant.

Application Numérique :

$$\Phi_{pertes} = 252.4 + 6.3 = 258.7W$$

De l'équation (1), on déduit Φ_{tot} :

$$\Phi_{tot} = 6133.01 W$$

III.3. Dimensionnement de l'Échangeur :

La phase de dimensionnement consiste principalement à déterminer la surface d'échange, nécessaire au transfert du flux de chaleur de la matrice vers l'eau de refroidissement, ce qui nécessite la connaissance des paramètres géométriques ainsi que les propriétés du fluide en l'occurrence l'eau. Cette détermination peut être faite par la méthode des Bilans Thermiques, quand on est en présence d'un échangeur à un seul fluide et cela moyennant les hypothèses suivantes :

- L'échangeur est sans pertes.
- Le coefficient d'échange global sera considéré constant le long de la surface d'échange.

Donnée du Problème :

Le problème consiste à extraire un flux de chaleur Φ_{tot} , issu de la matrice au moyen d'un serpentin rectangulaire d'une surface intérieure (17/15) mm et d'une épaisseur de 2 mm véhiculant de l'eau comme agent caloporteur à une température d'entrée $T_{ee}=25^{\circ}C$ et un débit de l'eau égal à 100 L/min.

Pour cela, une étude thermique (dimensionnement) s'impose.

Méthode de Calculs :

L'établissement des relations passe en général par une hypothèse essentielle :

- Le coefficient d'échange global K est admis comme étant constant tout au long de l'échangeur.

$$\Phi = K.S.\Delta T \quad (23)$$

La détermination du coefficient K et de la différence de température ΔT dépend de la direction de l'écoulement ; le coefficient de transmission de la chaleur K dépend essentiellement de l'échange superficiel de la chaleur ou de la vitesse de l'écoulement. À côté de la condition principale d'absorber un flux de chaleur avec des températures données. Des conditions

secondaires, Comme la réduction de la perte de charge ou la limitation d'une dimension constructive, nécessitent d'être étudiées. Il faut remarquer que le calcul des échangeurs ne peut tout d'abord donner que des valeurs indicatives sur les dimensions des surfaces d'échange ou sur le flux qui peut - être échangé. En effet, les coefficients d'échange de chaleur ne peuvent être calculés avec une précision suffisante d'après les relations (corrélations) indiquées dans la partie Bilan Thermique ; Que dans des conditions d'écoulement du fluide nettement définies et des enceintes d'écoulement géométriques simples.

• Détermination du coefficient d'échange global K :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h'_c} + \frac{e}{\lambda_e}}$$

h'_c : Coefficient d'échange convectif égal à $8881.6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

λ_e : Le coefficient d'échange conductif du serpentín en bronze égal à $0.56 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

e : Epaisseur de l'échangeur est égale à 2 mm

$$K = \frac{1}{\frac{1}{8881.6} + \frac{10^{-3}}{0.56}}$$

$$K = 526.79 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

• Calcul de la longueur totale du serpentín :

$$Se = \frac{\Phi_{tot}}{K \times (T_{se} - T_{ee})} \quad (24)$$

$$\Rightarrow Se = \frac{6133.01}{526.79 \times (65 - 25)}$$

$$Se = 0.58 \text{ m}^2$$

$$Se = PL$$

D'où

$$L = \frac{Se}{P}$$

$$L = \frac{0.58}{2 \times (17 + 15) \times 10^{-3}} = 9.09 \text{ m}$$

$$L \approx 9 \text{ m}$$

• Calcul du pas :

$$L_{tp} = L - (L_e \times N_e)$$

Avec :

L_{tp} : Longueur totale des pas, (en mm).

L_e : Longueur d'étage, (en mm).

N_e : Nombre d'étages égale à 10.

Application Numérique :

$$L_{tp} = 9 \times 10^3 - (470 \times 10)$$

$$L_{tp} = 4300mm$$

Ce qui implique :

$$p = \frac{L_{tp}}{N_e} = 430mm$$

Conception de moule

Introduction :

On modifie le noyau d'un moule de thermoformage à partir de modèle à réaliser (La contre porte 220F).

III.1. Le but de conception :

Le but essentiel de notre conception est de concevoir un modèle en 3D de notre moule avec ces diverses composantes est dans ce cadre en fait appel à l'outil informatique.

Notre conception assistée par Ordinateur a été réalisée sur le logiciel SolidWorks 2014, dont nous avons quelques connaissances de par notre formation antérieure.

III.2. Principales composantes de moule :

III.2.1. Noyau : la figure III.6 représente la matrice de notre moule qui a pour but d'obtenir la forme de la nouvelle contre porte sur la plaque de PS-HI, et ça après chauffage de la plaque suivie d'aspiration qui permet d'obtenir la forme désirée.

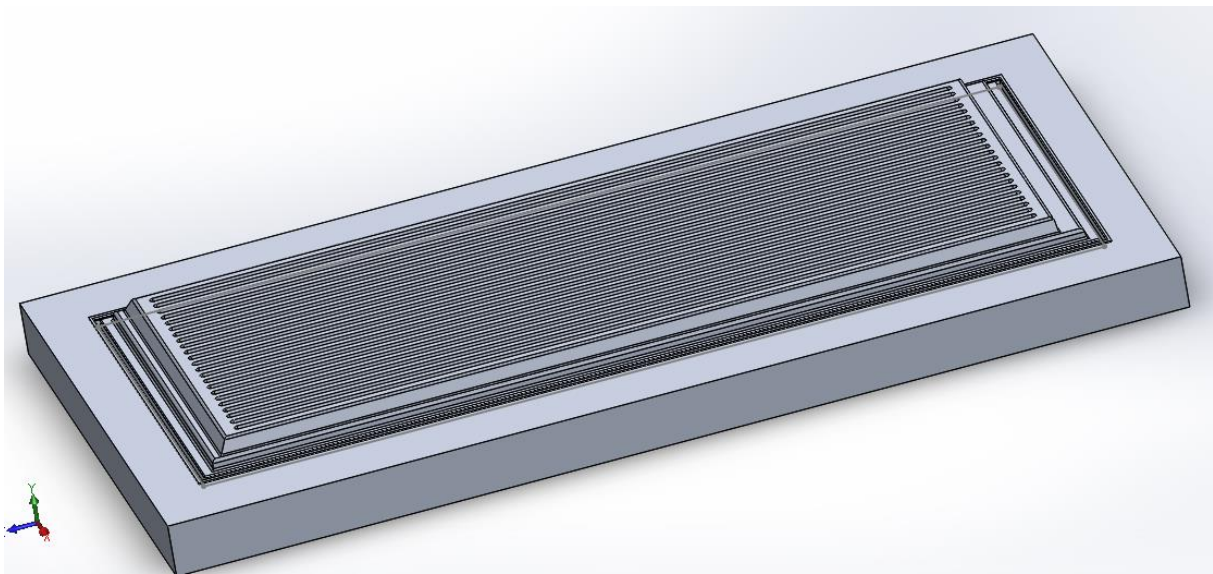


Figure III.6 : Noyau de cotre porte 220F.

III.2.2. L'échangeur :

La figure III.7 illustre un système de refroidissement appelé l'échangeur de chaleur, qui est encastré sur la matrice.

Le but essentiel de cet appareil est d'assurer le passage du flux de chaleur de la matrice vers l'eau dans le cas d'un refroidissement ou vice versa dans le cas d'un réchauffage.

Les changes de chaleur se font essentiellement par conduction et convection entre l'eau de circulation et les parois de la matrice en contact avec le serpentín.

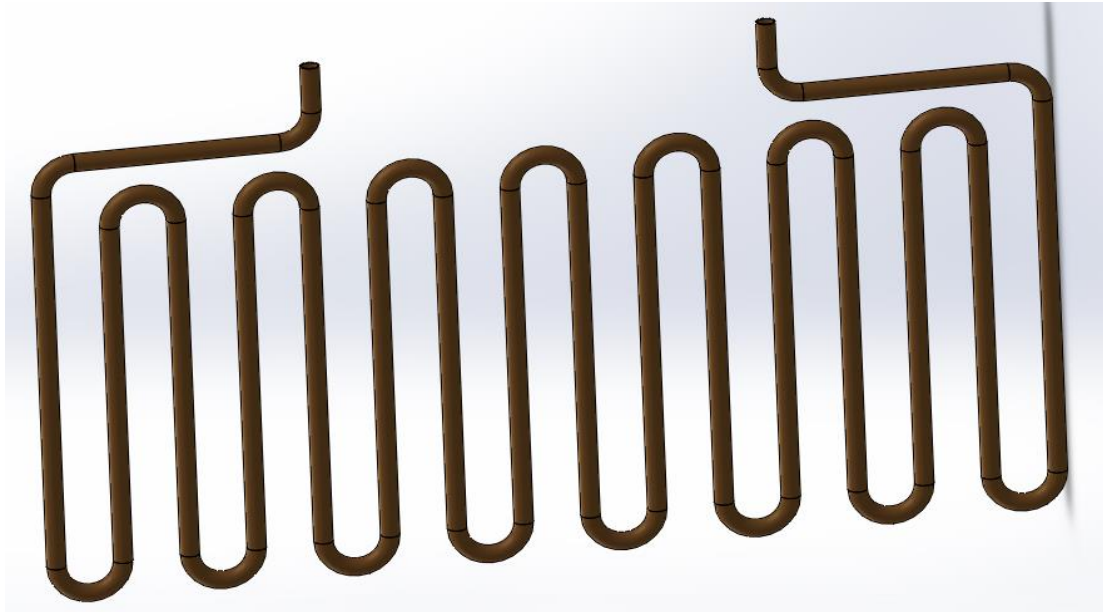


Figure III.7 : Echangeur.

III.2.3. Pièces Latérales :

Selon la position et la forme, nous avons trois (04) types de pièces latérales à concevoir aussi par SolidWorks.

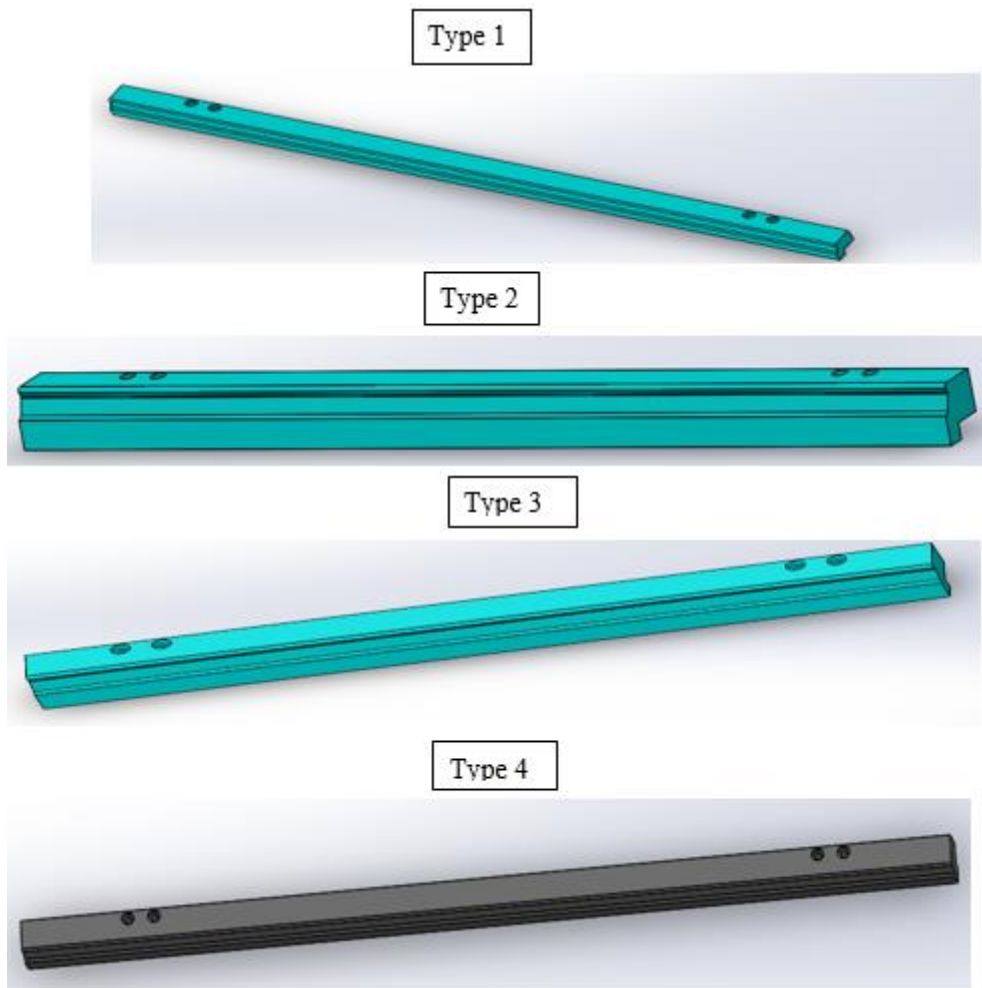


Figure III.8 : Type des Pièces Latérales.

Ces pièces ont un mouvement de rotation afin de permettre l'éjection de la contre porte en évitant sa détérioration. Pour avoir ce mouvement, on a besoin d'un mécanisme qu'on a conçu nous-même, (voir la Figure III.9).

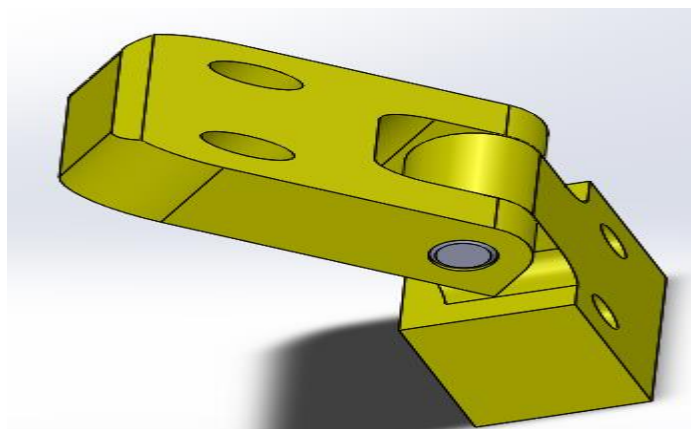


Figure III.9 : Porte pièce latérale conçue par SolidWorks.

Ce mécanisme aide la pièce rapportée à faire un mouvement de rotation pour éviter l'adhérence de la pièce finie sur le noyau, qui induit l'écrasement de cette partie précise.

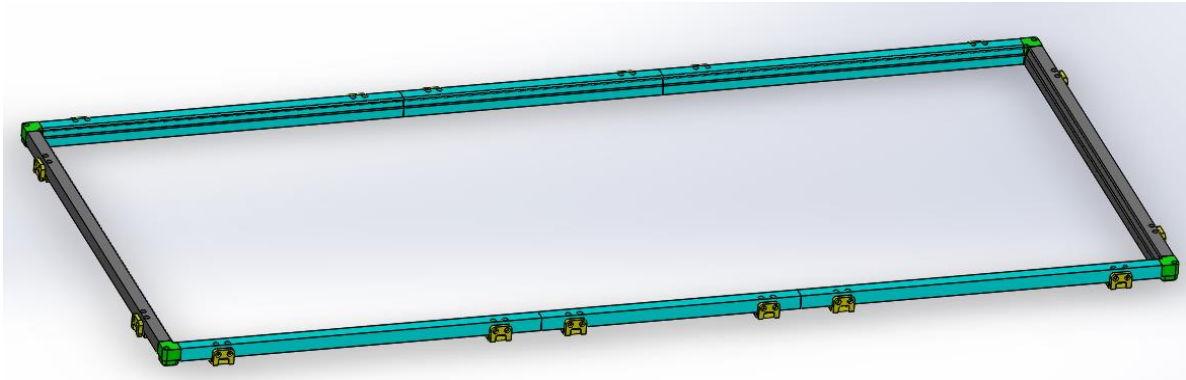


Figure III.10 : assemblage des pièces latérales.

III.2.4. Pièce de Coin :

Ces pièces sont fixées sur les blocs avec des vis, elles permettent le guidage des pièces latérales pour avoir un bon fonctionnement.

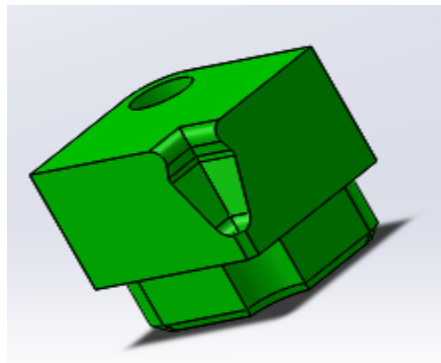


Figure III.11 : Pièce du coin réalisée par SolidWorks.

III.2.5. Semelle :

Cette semelle est la base du moule, elle nous permet :

- Un bon positionnement de la matrice par les quatre (04) tenons de guidage.
- Une bonne fixation de la matrice par les pattes de serrages à la table inférieure de la machine.

Elle possède un trou permettant le passage d'air, Soufflage/Aspiration.

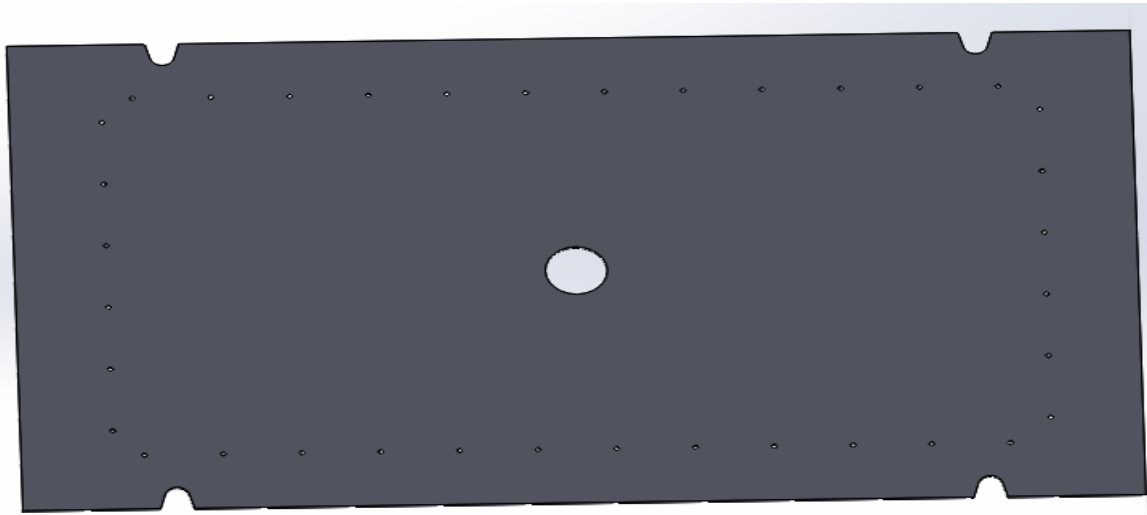


Figure III.12 : Semelle réalisée par SolidWorks.

III.2.6. Cadre : Il nous assure le blocage de la paroi avec la semelle.

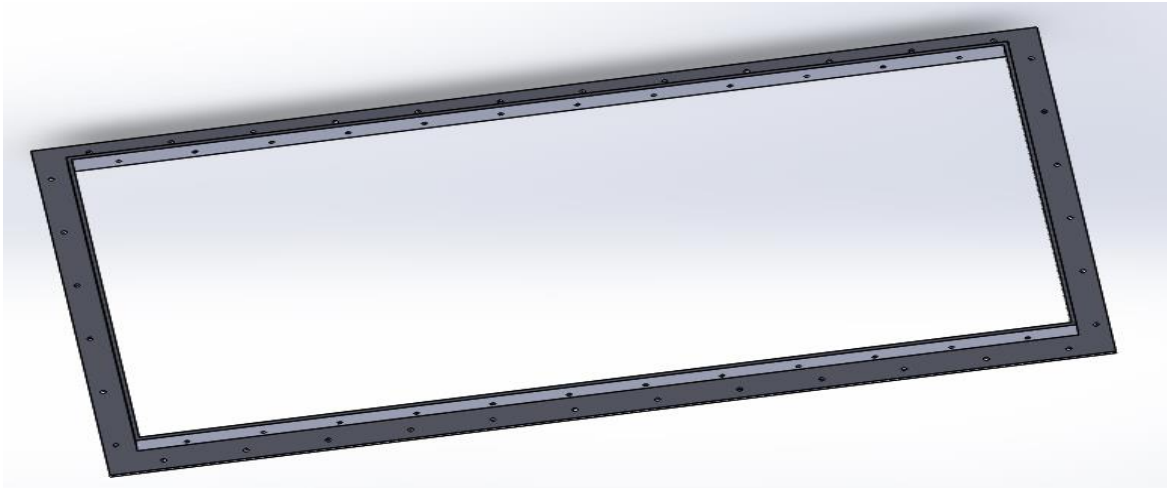


Figure III.13 : Cadre de fixation accompli par SolidWorks.

III.2.4. Paroi :

Afin de rassembler toutes les pièces du moule, nous avons conçu une cage qui permet de positionner et fixer ces pièces entre elles, muni d'un joint d'étanchéité, pour un bon fonctionnement et former une chambre fermée.

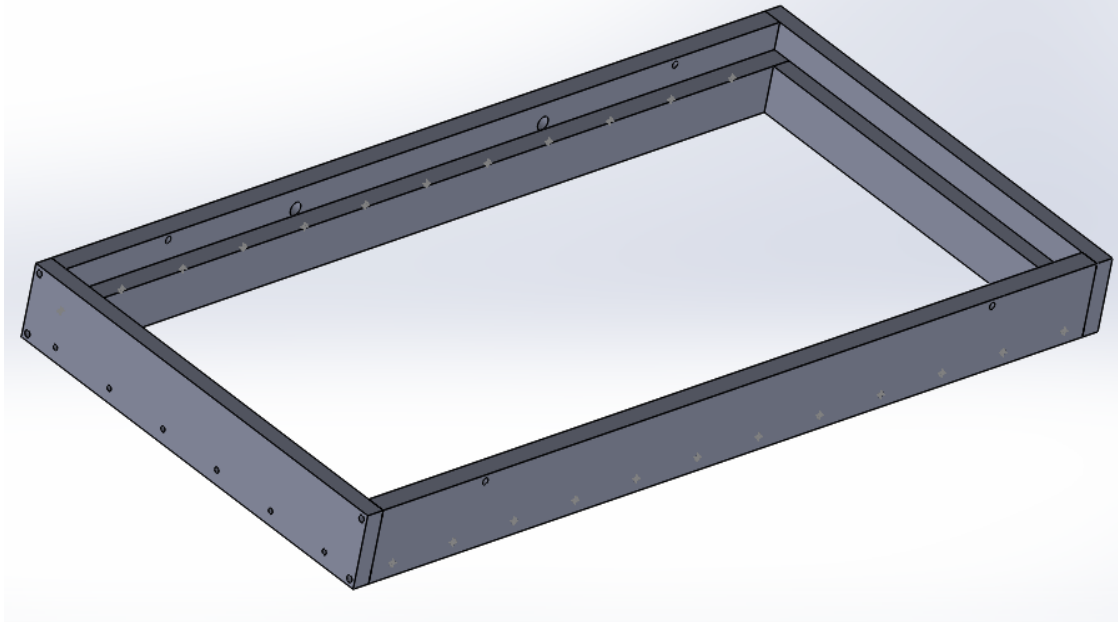


Figure III.14 : parois

III.3. Conclusion :

À partir de ce chapitre, on peut déduire que pour une bonne conception d'un moule de thermoformage, le concepteur doit suivre toutes les étapes nécessaires :

- Enumérer les composants du moule ;
- Choix des matériaux ;
- Étude Thermique du Bilan ;
- Dimensionnement ;
- Toutes ces étapes sont impératives pour le bon fonctionnement du moule.

Conclusion Générale :

Le processus de fabrication des différents moules de thermoformage continue d'évoluer au fil des années. Il permet d'obtenir des produits sous diverses formes selon les besoins, et de bonne qualité, répond aux normes industrielles et environnementales.

A l'issue de cette étude, nous avons considéré avoir terminé le travail qui nous a été confié. Nous souhaitons d'être à la hauteur de l'espérance de la direction de l'ENIEM, et La solution qu'on a proposer a été bien accueillie.

Le but de ce projet est de modifié et d'effectuer une conception avec une étude sur le noyau thermoformage de là contre porte du congélateur 220F. Pour ce faire, nous avons d'abord dû concevoir la contre-porte via la Conception Assistée par Ordinateur avec Solide Works. Ensuite on a utilisé l'outil de moulage sur solide Works, nous avons réalisé la fabrication assistée par ordinateur du moule de la contre-porte.

Ce projet nous à apporter beaucoup dans notre formation de master, car effectivement, nous avons pu effectuer un projet concret dans son intégralité. Nous avons découvert, appris et utilisé nos Connaissance de toutes les différentes étapes d'une conception par thermoformage. Nous savons maintenant comment concevoir des modèles CAO.

Plus précisément, ce qu'il faut réaliser et de trouver la meilleure solution qui passe par le meilleur compromis entre la durée de vie du produit et coût d'investissement, mais cela laisse un bon choix pour les fabricants.

Cette étude permettra à l'entreprise :

- ▶ De réduire les coûts de revient du moule, habituellement acheté à l'étranger en devises.
- ▶ diminuer le nombre de vis.
- ▶ L'intervention rapide dans sa maintenance.
- ▶ Gain de temps dans sa manutention.

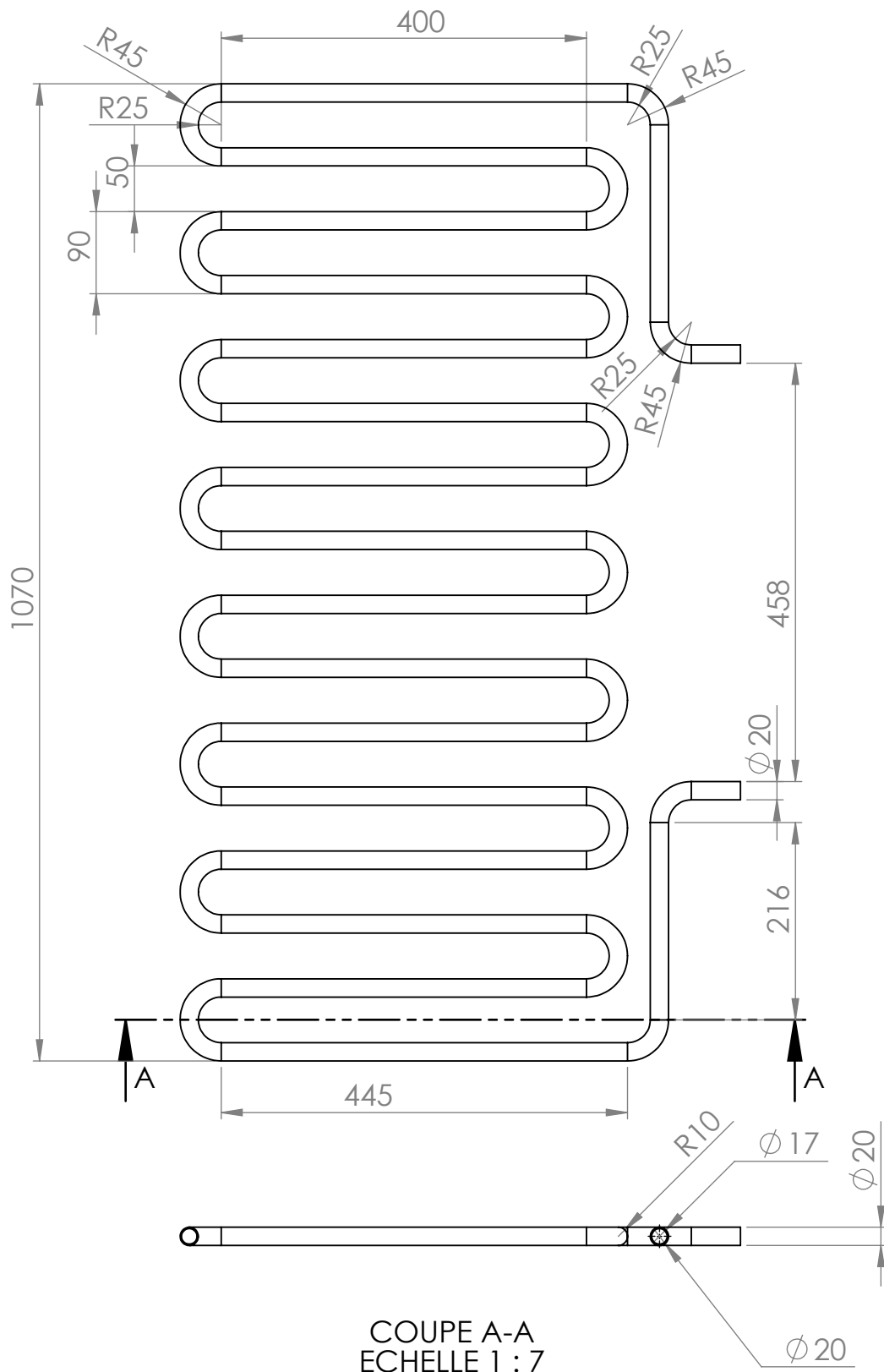
Nous voulons que ce projet soit viable localement, dans ces différentes parties commençant de l'étude passant de la conception et en finissant avec la Fabrication Assistée par Ordinateur.

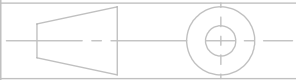
Au final, nous espérons que ce travail va être un plus pour notre faculté et une référence pour d'autres promotions qui veulent traiter de sujets similaires. Surtout que c'est un nouveau sujet dans cette catégorie car il traite une procédure très importante dans l'industrie mondiale.

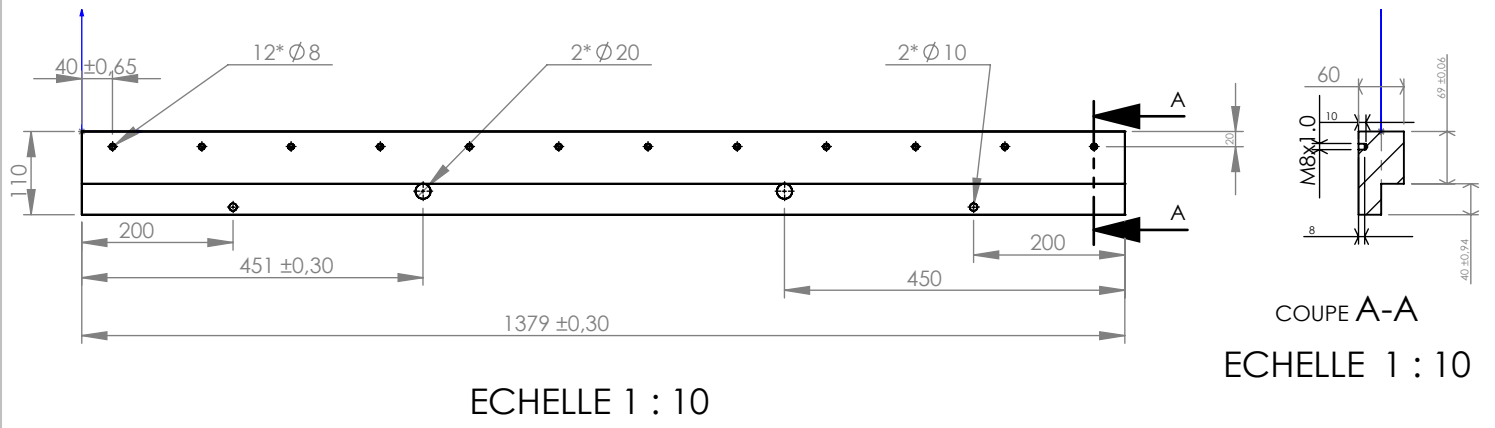
Références

- [1] B. Michel, Aide-mémoire transformation des matière plastiques, Paris, 2010.
- [2] M. Melas, Etat de l'art concernant les grands procédés de mise en oeuvre des matières plastiques issues de processus de régénération de déchets, Janvier 2003.
- [3] J.-M. Berthement, Matériaux composites et comportement mécanique et analyse des structures., Paris : Lavoisier, 2012.
- [4] M. Melas, Etat de l'art concernant les grands procédés de mise en oeuvre des matières plastiques issues de processus de régénération de déchets, Janvier 2003.
- [5] B. Said, T. Hammami et H. Louati Cours de PMF des matières plastique..
- [6] M. Haddad, Développement d'un procédé d'enroulement filamentaire adapté aux matériaux composites sandwich et caractérisation mécanique des matériaux, thèse pour obtenir le grade de doctorat, 2018.
- [7] <https://choucheneslim.wordpress.com>.
- [8] Mr : LOUNNAS Amar, SEGHIR AbdIkrim et VACHOR Rachid, Étude et conception du moule de thermoformage pour la nouvelle contre-porte d'un réfrigérateur 320 L. ENIEM, Mémoire d'ingénieur, Département de génie mécanique, Université M. MAMMERI de Tizi-Ouzou, 2013.
- [9] : Adolf Illig : Pratique du thermoformage, Hermès science publication. Mai 1993. CM 36.
- [10] Cahier de charge ENIEM.
- [11] Sfeir, J-M. et Vignes J-L. (2008). Éthylbenzène C₈H₁₀, Styrène C₈H₈. Société Chimique de France. Mis à jour, en septembre 2008.
<http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/Donnees/orga/etbenz/cadetb.htm> (Page consultée le 14 octobre 2013).
- [12] Technique de l'Ingénieur (s. d.). PS : élaboration et propriétés. Généralités sur le polystyrène. <http://www.techniques-ingenieur.fr/fiche-pratique/materiaux-th11/abc-plastiques-dt50/ps-elaboration-et-proprietes-0728/> (Page consultée le 14 octobre 2013)
- [13] Maul, J., Frushour, B. G., Kontoff, J. R., Eichenauer, R., Orr, K. H., Schade C. (2012). Polystyrene and styrene copolymers. Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry. Vol. 29, p. 475- 522.
- [14] Ville de Montréal (2011). Projet pilote de recyclage du plastique no. 6. 26 mai 2011.
http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=7017%2C71575596&_dad=portal&_schema=PORTAL&id=2003&ret=%2Fpls%2Fportal%2Furl%2Fpage%2Fd_durable_fr%2Frep_utilitaires%2Frep_actualites%2Factualites (Page consultée le 21 octobre 2013).
- [15] Heim, P. Vuilleman, B., Machon, J-P., Seguela, B., Wirth R. et Verney, V. (2012). Polymères styréniques. In Carrega, M. et Verney, V. et coll. Matière plastique. Propriété, mise en forme et applications industrielles des matériaux polymères (Chap. 8, p. 191-209). 3ème Édition.

- [16] Heim P., Linarès, O. et Hym, L. (2002). Polystyrène et copolymère de styrène. Technique de l'Ingénieur. <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/matieres/thermoplastiques-monographies-42147210/polystyrene-et-copolymeres-de-styrene-am3340/> (Page consultée le 14 octobre 2013).
- [17] Beghin, B. (1998a). Le cahier technique du PSE. Extrait de la collection des Techniques de l'Ingénieur- Traité Plastique et composites. Fiche no1 : Fabrication du polystyrène expansible en perle. Mai 1998, 2 p.
- [18] Beghin, B. (1998b). Le cahier technique du PSE. Extrait de la collection des Techniques de l'Ingénieur- Monographie de thermoplastiques. Fiche no2 : Production de PSE à partir de perles de polystyrène expansible. Partie 1 : de la préexpansion à la stabilisation. Septembre 1998, 2 p.
- [19] Wyart D. (2008). Polystyrène expansé ou PSE. Base documentaire scientifique et technique - Techniques de l'Ingénieur, 10 juillet 2008. <http://www.techniques-ingenieur.fr/base/documentaire/materiaux-th11/matieres-thermoplastiques-monographies/42147210/polystyrene-expanse-ou-pse-am3341/production-du-polystyrene-expanse-extrude-pse-e-ou-xps-am3341niv10003.html> (Page consultée le 28 octobre 2013).
- [20] Carraher C-E., Jr. (2011). Carraher's Polymer Chemistry. Eighth Edition. CRC Press. Taylor & Francis Group. 788 p.
- [21] Regroupement recyclage polystyrène (RRPS) (2013). Collecte sélective des contenants et emballages en polystyrène. 30 avril 2013. Présentation PowerPoint fournie par Madame Hélène Gervais, Agente de développement industriel, Recyc-Québec.
- [22] www.Wikipédia.com.

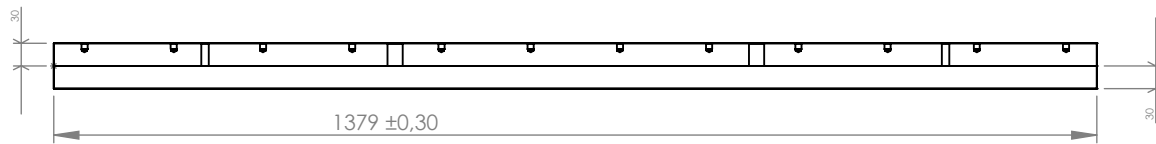


6	1	ECHANGEUR DE CHALEUR	BRONZE D'ALUMINIUM
Rep	Nbr	Désignation	Matière
ECHELLE 1:7		MOULE DE THERMOFORMGE	Réaliser par : Arab Atmane
			Pro : 2022
A4		Université Mouloud Mammeri	

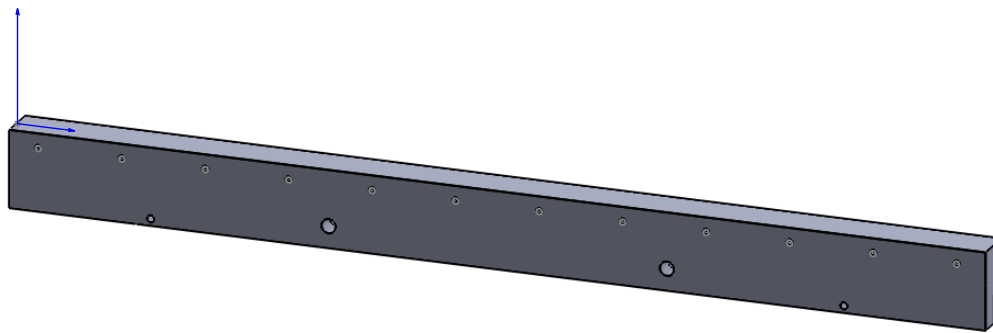


ECHELLE 1 : 10

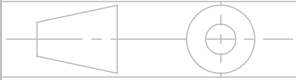
COUPE A-A
ECHELLE 1 : 10

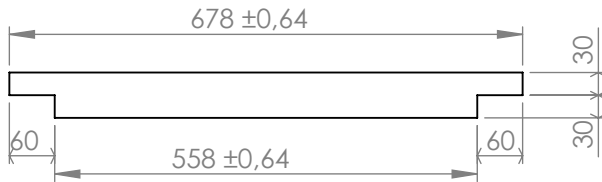
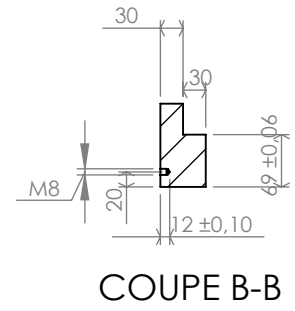
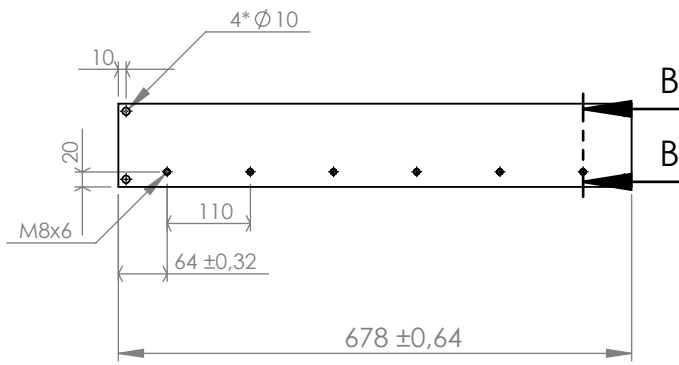


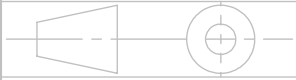
ECHELLE 1 : 10

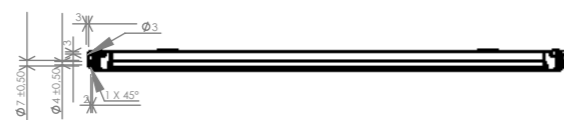
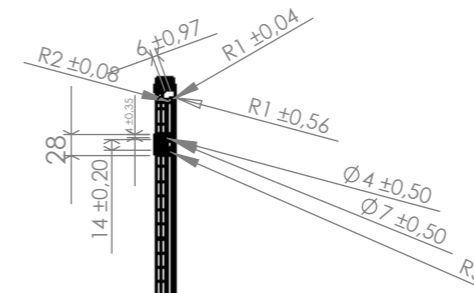
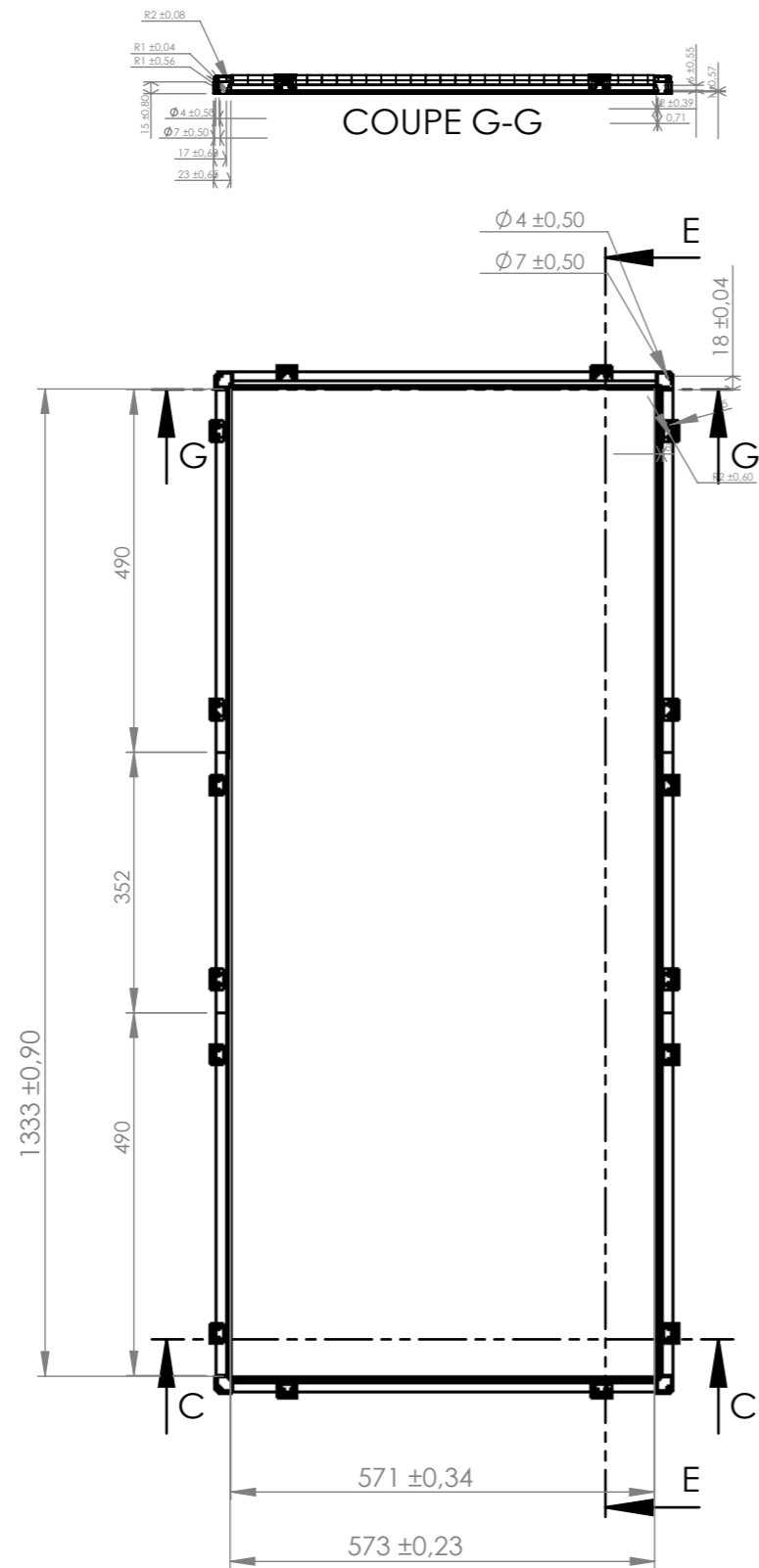


ECHELLE 1 : 10

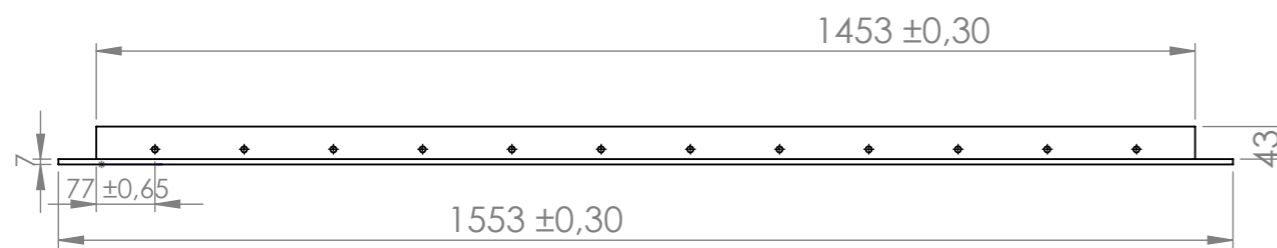
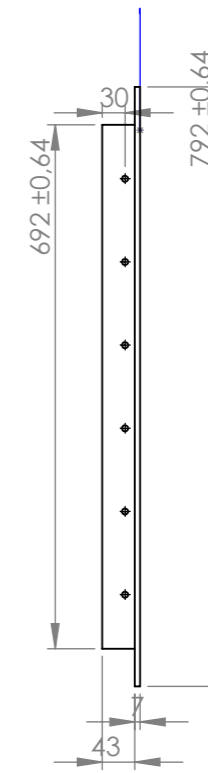
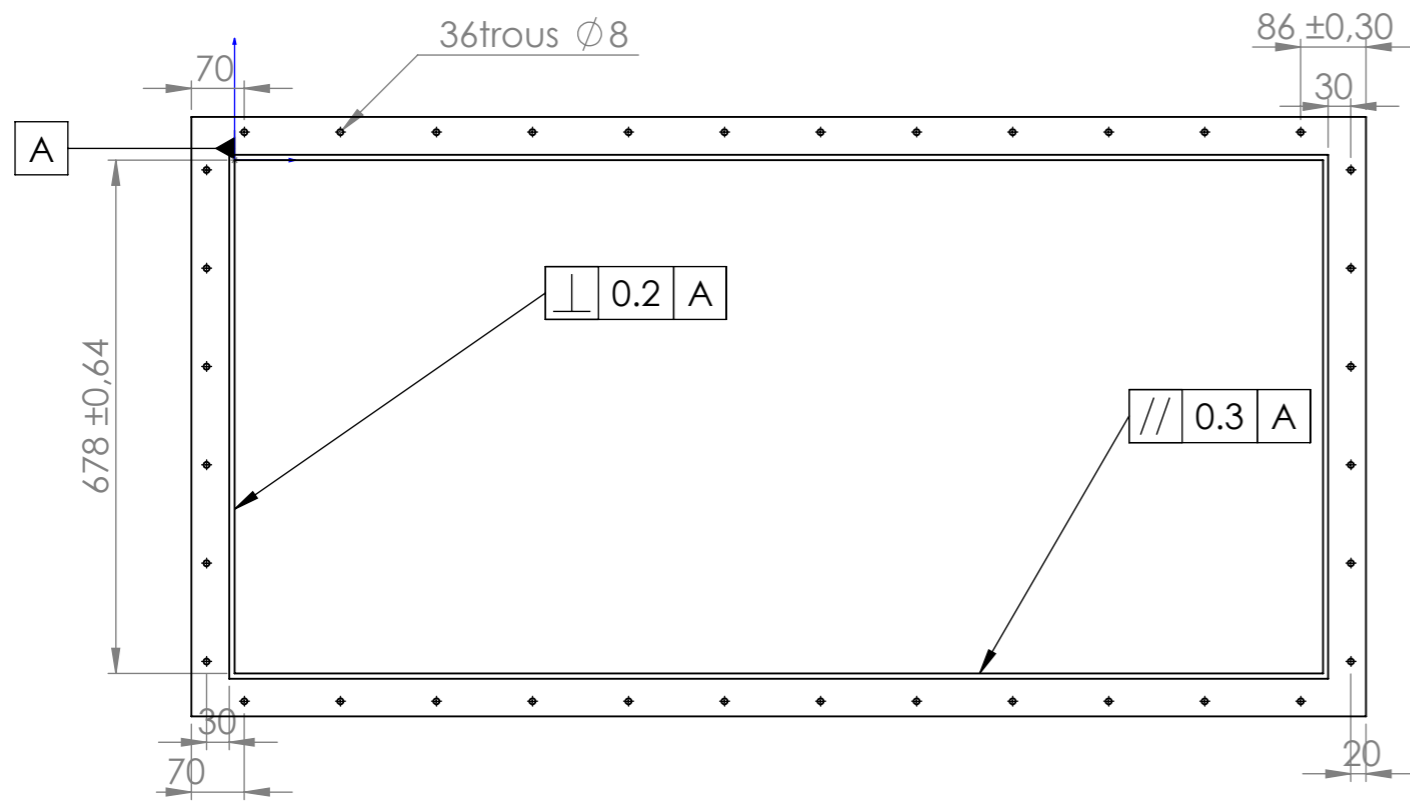
3	2	PAROI	Al Mg 5
Rep	Nbr	Désignation	Matière
ECHELLE 1/10		MOULE DE THERMOFORMGE	Réaliser par : Arab Atmane
			Pro : 2022
A4		Université Mouloud Mammeri	




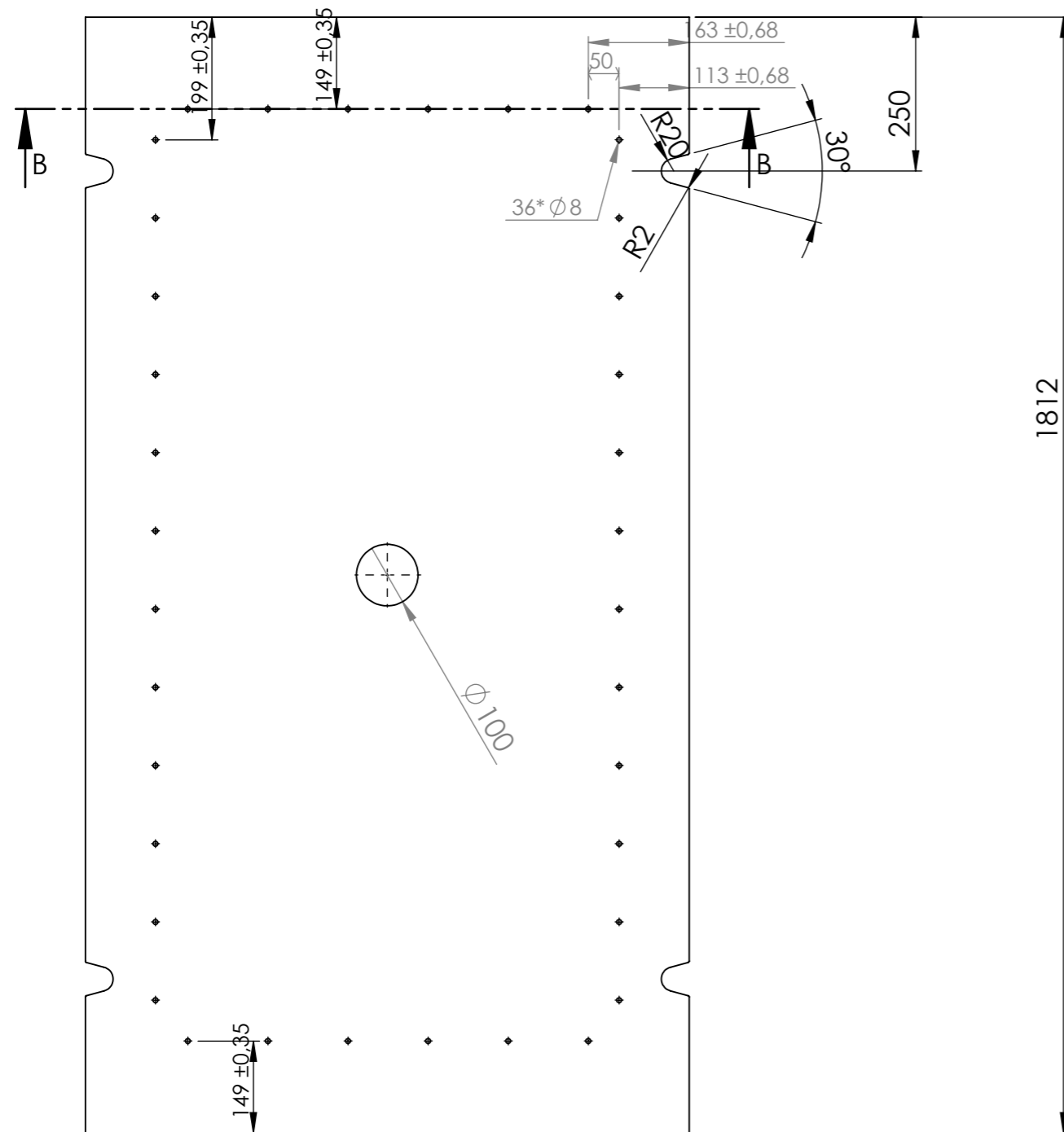
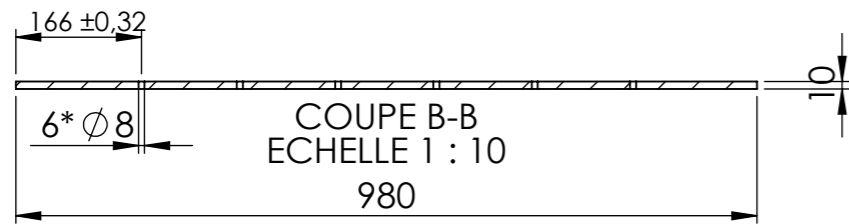
2	2	PAROI	Al Mg 5
Rep	Nbr	Désignation	Matière
ECHELLE 1/10		MOULE DE THERMOFORMGE	Réaliser par : Arab Atmane
			Pro : 2022
A4		Université Mouloud Mammeri	



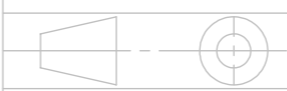
6	1	Assemblage des pieces latérales	BRONZE D'ALUMINIUM
Rep	Nbr	Désignation	Matière
Echelle 1:10		MOULE DE THERMOFORMAGE	Réaliser par : Arab Atmane
A3			Pro : 2022
		Université Mouloud Mammeri	

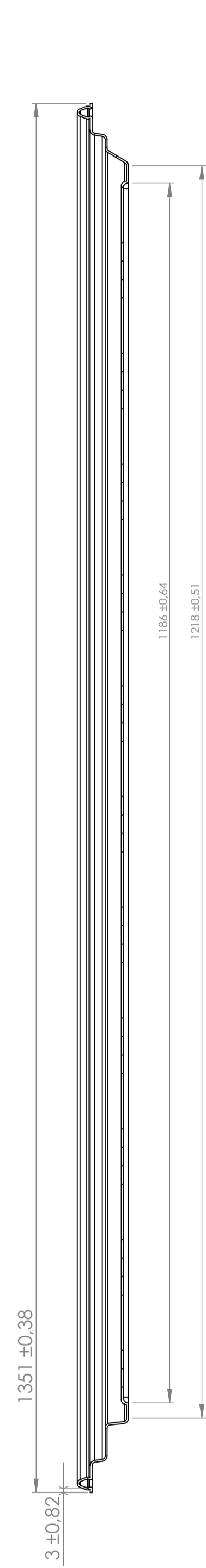
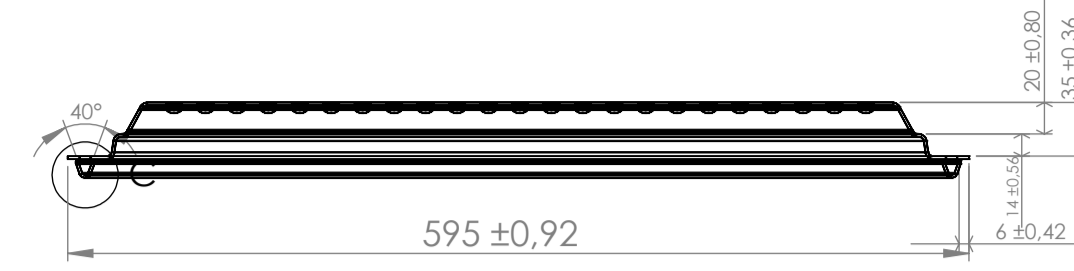
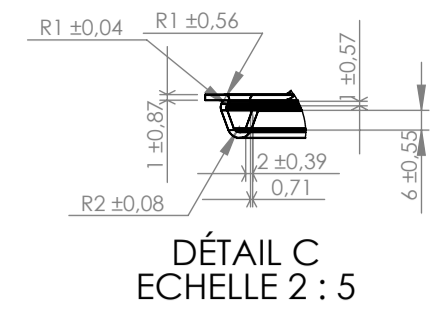


5	1	CADRE	C 35
Rep	Nbr	Désignation	Matière
Echelle 1:5		MOULE DE THERMOFORMAGE	Réaliser par : Arab Atmane
			Pro : 2022
A3		Université Mouloud Mammeri	

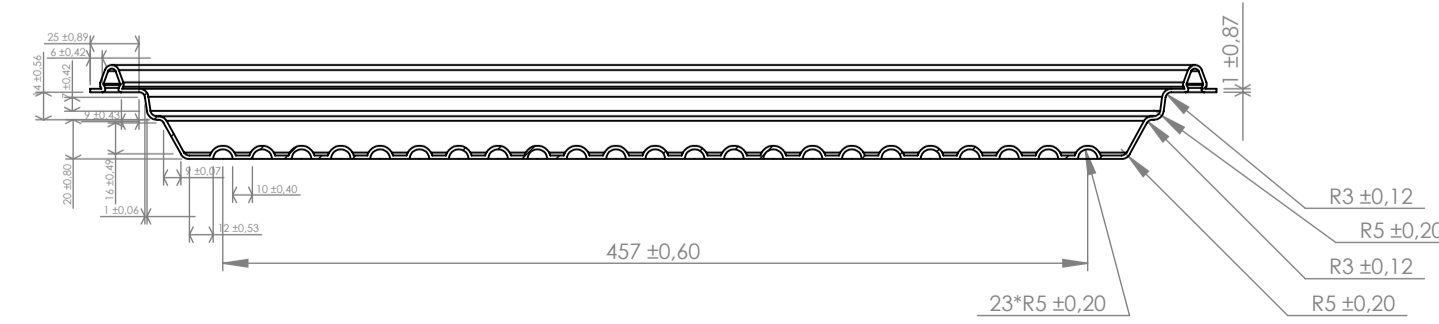
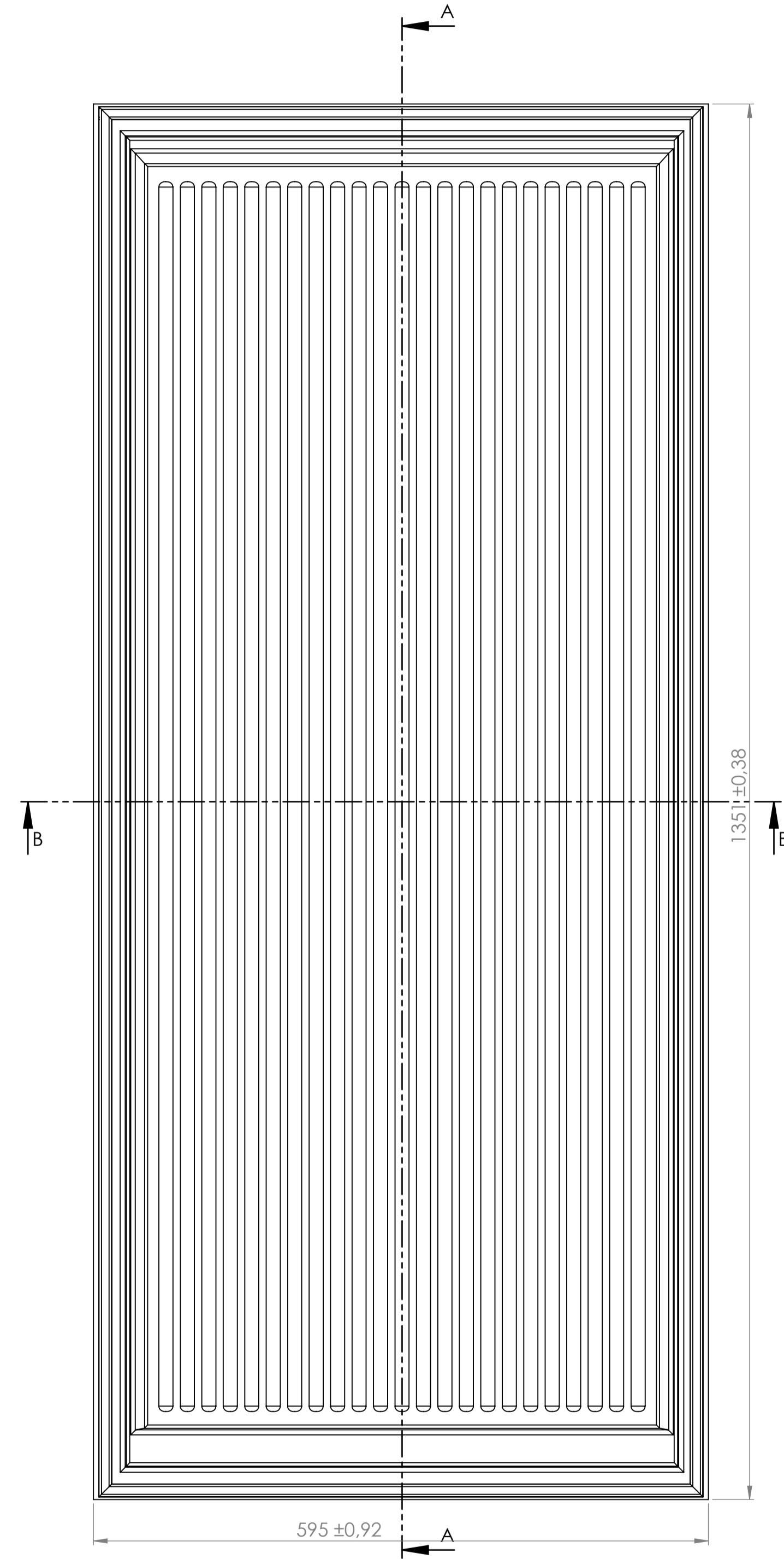


ECHELLE 1 : 10

6	1	SEMELLE	C 35
Rep	Nbr	Désignation	Matière
Echelle 1:10		MOULE DE THERMOFORMAGE	Réaliser par : Arab Atmane
			Pro : 2022
A3		Université Mouloud Mammeri	



COUPE A-A
ECHELLE 1 : 4



COUPE B-B
ECHELLE 1 : 4



ECHELLE 1 : 4

1	1	CONTRE-PORTE	PS-HI
Rep	Nbr	DESIGNATION	Matière
Echelle 1 : 4	MOULE DE THERMOFORMGE		Réaliser par : Arab Atmane
A1	Université Mouloud Mammeri		Pro:2022