

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'enseignement supérieur et de la Recherche scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté du génie de la construction

Département de génie mécanique



Mémoire de fin d'études



En vue de l'obtention du diplôme

MASTER PROFESSIONNEL EN GENIE MECANIQUE

OPTION : FABRICATION MECANIQUE ET PRODUCTIQUE

THEME
THEME

*Étude et conception du moule de thermoformage pour la
nouvelle contre-porte d'un réfrigérateur 320 L.*

ENIEM

Proposé par :

Mr: TABECHE.B ENIEM

Dirigé par:

Mr: ASMA.F

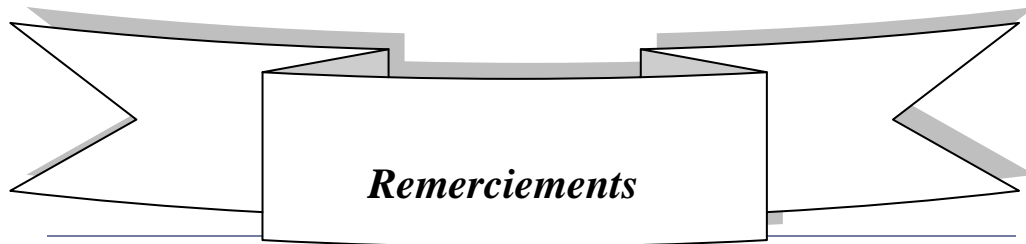
Réalisé par :

Mr : LOUNNAS Amar

Mr: SEGHIR Abdulkrim

Mr: VACHOR Rachid

PROMOTION 2013



Remerciements

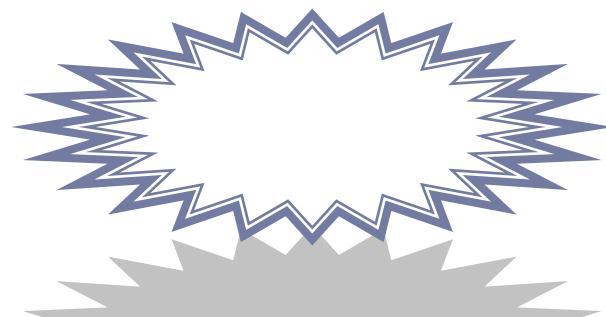
Nous exprimons nos profondes reconnaissances à notre encadreur de mémoire, M^r ASMA.F, pour son accueil, sa disponibilité et ses conseils qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

A tous les ingénieurs au niveau de l'entreprise (ENIEM) par leurs accueils, leurs aides et compréhensions pendant toute la durée de stage surtout notre co-promoteur M^r TABECHE.B

Nos remercieront également M^r Larbi.S, M^r Lattari.K, M^r Bouchenitfa.S et M^r Dahmani.M <<Enseignants au niveau de la faculté>> pour leurs accueils avec intérêt, disponibilité et compétence.

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 :

Ce modeste travail est dédié à eux qui ont cru en moi, aidé et soutenu tout au long de mon cursus universitaire :

**Mes parents*

**Mes frères et sœurs*

**Mes bons amis*

**A tous les étudiants de la promotion 2013*

KARIM

Dédicace :

Ce modeste travail est dédié à eux qui ont cru en moi, aidé et soutenu tout au long de mon cursus universitaire :

**Mes parents*

**Mes frères et sœurs*

**Mes bons amis*

**A tous les étudiants de la promotion 2013*

RACHID

Dédicace :

Ce modeste travail est dédié à eux qui ont cru en moi, aidé et soutenu tout au long de mon cursus universitaire :

**Mes chers parents*

**Mes frères et leurs femmes*

**Mes Sœurs et leurs maris*

**A ma cher petite sœur Wahiba*

**Mes bons amis*

**A tous les étudiants de la promotion 2013*

AMMAR

SOMMAIRE

Introduction Générale

Présentation de l'entreprise

Chapitre I : généralité sur le thermoformage et les Matériaux thermo-formable

Introductions

I.1.1.Présentations du thermoformage	1
I.1.2.Principe	2
I.1.3.Cycle de thermoformage	3
I.1.3.1.Le moule est placé sur le plateau porte-moule et abaissé dans la machine.....	4
I.1.3.2.Resserrage.....	4
I.1.3.3.Chauffage	4
I.1.3.4.Formage.....	5
I.1.3.5.Refroidissement.....	5
I.1.3.6.Découpage.....	5
I.1.4.Le thermoformage parmi les grands procédés de transformation	6
I.1.5.Machines de thermoformage	6
I.1.5.1.Description générale.....	6
I.1.5.2.Caractéristiques des machines à thermoformer.....	8
I.1.5.3.Paramètres de réglage d'une machine à thermoformer : cas de la machine de l'entreprise.....	9
I.2.Matériaux thermo-formables.....	10
I.2.1.Comportement rhéologique des polymères.....	10
I.2.2.Thermo-formabilité	13
I.2.3.Propriétés thermiques.....	14
I.2.3.1.Stress cracking (fissuration).....	14
I.2.3.2.Retrait	15
I.2.3.3.Charges.....	15
I.2.4.Matière d'œuvre	16
I.2.4.1.Mode d'obtention de la matière d'œuvre	16
I.2.4.2.Les matières utilisées :	16
I.2.5.Domains d'application et température de transformation des matières les plus utilisées en thermoformage	16
Conclusion	

Chapitre II : base et techniques de thermoformage

II.1.Base de thermoformage	19
II.1.1. Le poste de formage	19
II.1.2. Formage positif et formage négatif	20
II.1.3.Pression de formage résultante	22
II.1.4.Surface de formage, surface d'apport, bord de serrage	23
II.1.5. Sections de dégazage, perçages, ouïes, événements.....	24
II.1.6. Serre-flan et dévêtisseur	24

II.1.7. Dépouilles de démoulage	25
II.1.8. Contre dépouilles et inserts libres	26
II.1.9. Bullage, pré-aspiration, dégazage, pression compensée, mise à l'air libre	26
II.2. Technique de thermoformage	27
II.2.1. Thermoformage sous vide	28
II.2.2. Drapage	28
II.2.3. Thermoformage par moule et contre-moule	29
II.2.4. Thermoformage en bulle sous pression avec poinçon de pré-étirage	29
II.2.5. Thermoformage sous pression avec poinçon de pré-étirage	31
II.2.6. Thermoformage sous vide avec poinçon de pré-étirage	32
II.2.7. Thermoformage en relief profond sous vide	33
II.2.8. Thermoformage en relief profond sous vide avec bulle sous pression	33
II.2.9. Thermoformage sous pression en moule ferme	34
II.2.9. Thermoformage libre	35
II.2.10. Thermoformage mécanique	36

Chapitre III : Démoulage et finition des pièces thermoformées

III.1. Démoulage	38
III.1.1. Température de démoulage	38
III.1.2. Exécution d'outil pour un bon démoulage	38
III.1.3. Equilibre des pressions et air de démoulage	39
III.1.4. Vitesse de démoulage	40
III.1.5. Aides de démoulage	40
III.1.6. Déroulement de cycle	43
III.1.7. Démoulage de contre- dépouilles	43
III.1.7.1. Longueur de la rupture avec blanchiment	44
III.2. Finitions des pièces thermoformées	47
III.2.1. Séparation des pièces formées par découpe dans un plan	47
III.2.2. Découpe poinçon-matrice	49
III.2.3. La découpe multidimensionnelle de pièce formée	50
III.2.4. Découpe sur une fraiseuse de 5 axes	51
III.2.4.1. Avantages des fraiseuses de 5 axes	52
III.2.5. Découpe par laser	52
III.2.5.1. Avantages de la découpe laser	52
III.2.5.2. Inconvénients de la découpe laser	53
III.2.6. Découpe au jet d'eau	53
III.2.6.1. Avantages de la découpe à jet d'eau	53
III.2.6.2. Inconvénients de la découpe à jet d'eau	53
III.2.7. Ebavurage	54
III.2.8. Assemblage	54
III.2.8.1. Collage des plastiques	54
III.2.8.2. Soudure des thermoplastes	54
III.2.8.3. Scellage thermique	55
III.2.9. L'assemblage par vits et rivets	55
III.2.10. Le renforcement	55
III.2.11. Traitements de surfaces	56

Chapitre IV : Défauts en thermoformage

IV. Défauts en thermoformage.....	57
IV.1. Défauts de forme sur la pièce	57
IV.1.a. Conception des pièces thermoformées	57
IV.1.b. Ratio d'emboutissage	57
IV.1.C. Partie négatives latérales sur pièce formé	58
IV.1.d. Dépouille des parois latérales	58
IV.1.e. Précision des contours et rayons	59
IV.1.f. Forme des contours.....	59
IV.1.g. Réserves de finition et zone d'apport	60
IV.1.h. Changements de niveaux marches	61
IV.1.i. Nervures et plis	61
IV.2. Défauts sur le semi-produit.....	63
IV.2.1. Exemples des tolérances d'épaisseur, suivant les normes pour ABS	63
IV.3. Choix de la machine de thermoformage adaptée	64
IV.4. Défauts sur le moule de formage	65
IV.4.a. Choix de matériau.....	65
IV.4.b. Thermorégulation des moules	65
IV.4.c. Contrôle et régulation de la température du moule	65
IV.4.d. Stabilité mécanique des moules de formage	66
IV.4.e. Surface du moule de formage.....	66
IV.4.f. Perçages de dégazage	66
IV.5. Défauts lors d'échantillonnages	66
IV.6. Pression de formage inadéquate	67
IV.7. la prévention de plis	67
IV.7.1. Les plis en thermoformage peuvent être regroupés comme suit.....	67
IV.7.A. Plis inhérents au semi-produit	67
IV.7.B. Plis résultants de la forme du moule.....	67
IV.7.2. Les plis dus au mode de formage utilisé, apparaissent quand	68
IV.7.3. Les possibilités pour la prévention de plis.....	68

Chapitre V : Etudes et applications

Présentations de matériau (ABS)

V.1.Introductions sur les ABS	69
V.1.1. Thermoformage.....	69
V.1.2. Structure des ABS.....	69
V.1.3. Composition des ABS.....	70
V.1.4. Mélanges d'ABS avec d'autres polymères	71
V.1.5. Propriété des ABS.....	71
V.1.5.1. Propriétés chimiques	71
V.1.5.2. Propriétés mécaniques	71
V.1.5.3. Propriétés électriques.....	72
V.1.5.4. Propriétés thermiques	72
V.1.5.5. Caractéristiques spécifiques	72

V.1.5.6. Résistance a la flamme	72
V.1.5.7. Propriétés spécifiques	72
V.1.6. Mise en œuvre.....	73
V.1.6.1. Caractéristiques de mise en œuvre.....	73
V.1.6.1.1 Rhéologie.....	73
V.1.6.1.2 Séchage.....	73
V.1.6.1.3 Retrait au moulage	74
V.1.7. Applications	74
Bilan thermique sur l'échangeur	
V.1. Calcul du flux de chaleur arrivant sur l'échangeur.....	76
V.1.1 Calcul du flux de chaleur cédé par convection par l'air au moule	77
V.1.1.1. Calcul de la température de la feuille avant le soufflage.....	77
V.1.1.2. Calcul de la température T_{ff} de la feuille après le soufflage	78
V.1.1.3. Calcul de la température de l'air après soufflage	82
V.1.2. Calcul du flux de chaleur Φ_2 cédé par conduction par la feuille au moule.....	83
V.1.3. Calcul du flux de chaleur Φ_{pertes} cédé par le moule à l'air ambiant par convection et par rayonnement	84
V.1.3.1. Calcul du de chaleur Φ_{cv} cédé par le moule à l'ambiance par convection	84
V.1.3.1.1 Calcul du flux de chaleur Φ_3 cédé par le moule à l'air ambiant par ses faces latérales	84
V.1.3.1.2 Calcul du flux de chaleur Φ_4 cédé par convection par la face inférieure du moule vers le milieu ambiant :.....	86
V.1.3.2 Calcul du flux de chaleur Φ_r cédé par le moule à l'ambiance par rayonnement	88
Dimensionnement de l'échangeur	
V.1. Donné du problème	89
V.2. dimensionnement de l'échangeur	89
V.2.1. Méthode de calcul	89
V.2.1.1 Calcul de la température de sortie de l'eau	90
V.2.1.2 Calcul du coefficient d'échange convectif	90
V.2.1.3 Détermination du coefficient d'échange global K_r	91
V.2.1.4 Calcul de la longueur totale du serpentin	92
V.2.1.5 Calcul du nombre d'étage	92
V.2.1.6 Calcul de vérification du nombre d'étages	92
Dimensionnement de vérin	
V.1. Les type de vérins	93
V.1.1. Le vérin double effet	93
V.2. Dimensionnement de vérin	95
V.2.1. Détermination de la force théorique (sortante).....	96
V.2.2. Calcul coté piston	97
V.2.3. Calcul coté tige	97
V.2.4. Calcul F rentrante et F sortante	97

V.2.5. Calcul de section pratique	98
V.2.6. Calcul F sortante et F rentrante pratique	98

Chapitre VI conception

VI.1.Le but de conception	99
VI.2.Les Moule pour le thermoformage.....	99
VI.2.1.Moule Positif	100
VI.2.2.Moule Négatif	100
VI.3.Présentation du moule	101
VI.3.1.Principaux composante de moule.....	103
VI.3.1.1.L’empreinte.....	103
VI.3.1.2.L’échangeur	103
VI.3.1.3.Bride d’échangeur	104
VI.3.1.4.Vérin	104
VI.3.1.5.Bride de vérin.....	105
VI.3.1.6.Came.....	105
VI.3.1.7.Tuyaux.....	105
VI.3.1.8.Cadre	106
VI.3.1.9.Semelle.....	107
VI.3.1.10.Paroi	107

Installation de thermoformage

VI.1. de thermoformage But de l’installation.....	108
VI.2.La chaine de formage sous vide	108
VI.2.1.la chaine de formage sous vide	108
VI.2.2.dispositif de changement des feuilles	109
VI.2.3.Chargeur de pile de feuille.....	109
VI.2.4.Table d’empilement des feuilles	109
VI.2.5.Déchargeur	109
VI.2.6.Réservoir de stockage tampon	109
VI.2.7.Le réchauffeur.....	109
VI.2.8.Unité de refroidissement	110
VI.2.9.Changeur de matrice.....	110
VI.2.10.La matrice	110
VI.2.11.Le poinçon.....	110
VI.3.Installation de refroidissement	110
VI.3.1.Fonctionnement du dispositif	110
VI.4.Description de l’installation de refroidissement.....	111
VI.4.1.L’échangeur de chaleur.....	111
VI.4.2.Unité de refroidissement.....	111
VI.4.2.1.chauffe eau	112
VI.4.2.2.Refrodisseur.....	112
VI.4.2.3.pompe de circulation d’eau.....	112

VI.4.2.4.Réservoir tampon.....	112
VI.4.3.la tour de refroidissement.....	112
VI.4.4.Tuyauterie véhiculant l'eau de refroidissement.....	113
VI.4.5.Installation hydraulique.....	113

Commande numérique

VI.1.Fonction d'une machine CNC.....	114
VI.2.Qu'est ce qu'un programme CN.....	115
VI.3.Rappelle sur le F.A.O.....	115
VI.3.1.Les codes.....	115
VI.3.2.Codes spéciaux.....	118
VI.3.2.1. Spécifique FANUC.....	118
VI.3.2.2.Spécifique	118
VI.3.3.Codes CNC ISO de base FANUC.....	118
VI.3.4.Fonctions préparatoires G.....	119
VI.3.5.Fonctions auxiliaires M.....	120
VI.3.7.Axes.....	120
VI.4.Les lacunes du code G.....	121

Conclusion générale

Liste des figure

Chapitre I

Figure I.1.Principe du thermoformage : moule négatif	2
Figure I.2.principe de thermoformage : moule positif	2
Figure I.3.Variation des épaisseurs au cours du thermoformage : moule négatif [1].....	3
Figure I.4. Fixation de moule sur plateau porte-moule.....	4
Figure I.5. Resserrage.....	4
Figure I.6. Le cycle de chauffage.....	4
Figure I.8.refroidissement de la pièce thermoformé	5
Figure I.9.Machine de thermoformage discontinue	7
Figure I.10.Ligne de thermoformage continue.....	8
Figure I.11.Schéma d'une machine de thermoformage à moule positif.....	8
Figure I.12.Produits thermoformés.....	9
Figure I.13.Courbe du module d'Young en fonction de la température de polymères types [5]	11
Figure I.14.Évolution de la contrainte de déformation équivalente σ en fonction de la vitesse de déformation équivalente ϵ et du taux de déformation équivalent $\dot{\epsilon}$ pour le polystyrène [6].....	12
Figure I.15.Taux d'étirage H/D (moule négatif) de différents matériaux [9].....	14

Chapitre II

Figure II.1. Poste de formage d'une machine de thermoformage universelle	19
Figure II.2.Schéma d'outil sur une machine de formage par pression d'air pour formage-découpe combinés	20
Figure II.3.formage positif schématique ;b) formage négatif (schématique).....	20
Figure II.4.défauts et particularités typique sur une pièce formée en positif (schématiquement).....	21
Figure II.5.particularités typiques sur une pièce formée en négatif	21
Figure II.6. Représentation schématique de la pression de formage résultante en tant que somme des pressions de formage d'un semi-produit	22
Figure II.7.influence de la pression d'air locale en formage par le vide, en relation avec la localisation de la machine de thermoformage au-dessus du niveau de la mer.....	23
Figure II.8.surface de formage et de surface d'apport	24
Figure II.9.bullage sans serre-flan sur moule deux empreintes ;b) bullage avec serre-flan sur moule deux empreintes.....	25
Figure II.10. dévêtisseurs et serre-flan comme aides de démoulage.....	25
Figure II.11.dépouilles de démoulage	26
Figure II.12.a.outil de formage positif avec contre dépouille u, démoulage avec tiroir 1.haut) formage bas) démoulage	26
Figure II.13.b.outil négatif avec contre dépouille u, démoulage a la main avec insert libre 1.haut) coup. 2. bas) vue de dessus.....	26
Figure II.14.formage positif avec bullage	26
Figure II.15. Formage positif avec pré-aspiration dans le caisson de soufflage.	26
Figure II.16.formage positif-négatif avec pré-aspiration dans une cloche.....	26

Figure II.17.thermoformage par sous pression.....	28
Figure. II.18. Drapage.....	29
Figure II.19 . Thermoformage par moule et contre-moule	29
Figure II.20. Thermoformage en bulle sous pression avec poinçon de pré-étirage	30
Figure II.21.Thermoformage sous pression avec poinçon de pré-étirage	31
Figure II.22.Thermoformage sous vide avec poinçon de pré-étirage	32
Figure II.23.Thermoformage en relief profond sous vide	33
Figure II.24.Thermoformage en relief profond sous vide avec bulle sous pression.....	34
Figure II.25.Thermoformage sous pression en moule ferme	35
Figure II.26. thermoformage libre.....	36
Figure II.27. Thermoformage mécanique.....	36

Chapitre III

Figure III.1. Influence des dépouilles sur les démoulages	39
Figure III.2.vanne tarée pour dégazage rapide	40
Figure III.3. Outil avec éjecteur comme aide au démoulage.....	41
Figure III.4. devêtisseur comme aide au démoulage, fixé sur le cadre inferieur	41
Figure III.5. Pistons, aide au démoulage, pour pièce plats	42
Figure III.6. Piston d'emboutissage comme aide de démoulage pour moule mono-empreinte	42
Figure III.7. Démoulage en force d'une contre-dépouille grâce à la déformation élastique de la pièce formée	43
Figure III.8. Démoulage en force d'une contre-dépouille avec rupture et blanchiment en raison d'un allongement excessif de semi-produit.....	44
Figure III.9. Démoulage de contre-dépouilles par basculement de l'outil.....	44
Figure III.10. Démoulage de contre-dépouilles avec cloche auxiliaire pour les feuilles souples.....	45
Figure III.11. Outil de formage avec insert manuel.....	46
Figure III.12. Outil avec tiroirs actionnés par la pièce formée	46
Figure III.13.découpe de séparation du bord de serrage ; position de coupe A et B.....	47
Figure III.14. Scie horizontale à ruban	49
Figure III.15.outil de découpe poinçon-matrice sur presse de découpe.....	50
Figure III.16.découpe par cisaillement de pièce formée dans feuille multicouche	50
Figure III.17. Contour de découpe multidimensionnel	51
Figure III.18.contour de coupe multidimensionnel obtenu avec détoureuse manuelle guidée par gabarit	51
Figure III.19. Tête de broche d'une fraiseuse 5 axes	52
Figure III.20. Ebavureur	54

Chapitre IV

Figure VI.1. Rapport d'emboutissage de parties négatives latérales ; a) positif ; b) négatif.....	58
Figure VI.2. Formation des rayons	59
Figure VI.3. Contour de palette avec (un maintien) indique du produit	59
Figure VI.4. Contour de blister	60
Figure VI.5. Contour dans la zone de déchet pour une coupe en 3D	60
Figure VI.6. Contours dans la zone de déchet pour une coupe dans un plan.....	61
Figure VI.7. Grande zone d'apport pour une meilleure réparation d'épaisseur de paroi	61

Figure VI.8. Chargements de niveau ou de section	62
Figure VI.9. a) contour défavorable=formation de plis ; b) contour favorable sans formation de plis	62
Figure VI.10. *Formation contrôlée de plis* par nervurage.....	62

Chapitre V

Figure V.1. Vue d'un ABS au microscope électronique à transmission.....	70
Figure V.2. Variation de la viscosité des ABS en fonction de la vitesse de cisaillement.....	73
Figure V.3. Séchage des ABS avant mise en œuvre.....	74

Bilan thermique sur l'échangeur

Figure V.1: l'air de soufflage.....	79
Figure V.2 : Conduction par la feuille au moule	83
Figure V.3 : Convection par la face inférieure du moule milieu ambiant	86

Dimensionnement des vérins

Figure V.1.Symbole du vérin double effet.....	93
Figure V.2. Vérin double effet.....	94

Chapitre VI

Figure VI.1. a) pièce ; b) moule.....	99
Figure VI.2. principe de formage positif/négatif avec bullage et contre-pistonnage.....	100
Figure VI.3. Composante de moule.....	102
Figure VI.4. empreinte	103
Figure VI.5.Echangeur	103
Figure VI.6. bride d'échangeur.....	104
Figure VI.7. vérin.....	104
Figure VI.8.bride	105
Figure VI.9. Came	105
Figure VI.10.Tuyaux.....	106
Figure VI.11. Cadre.....	106
Figure VI.12. Semelle.....	107
Figure VI.13. parois	107

C.F.A.O

Figure VI.1. Architecture matérielle d'une CN.....	115
----------------------------------------------------	-----

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1. réglage d'une machine à thermoformer : cas de la machine de l'entreprise.....	9
Tableau I.2. caractéristiques de thermoformabilité de quelques polymères courants.....	13
Tableau I.3. différents matériaux thermo-formable avec leur domaine d'application et leur avantage.....	17
Tableau I.4. Plages de formabilité des principaux polymères utilisés en thermoformage (A : amorphe, SC : semi-cristallin) d'après [11].....	17

Chapitre III

Tableau III.1. Possibilités pour la découpe de pièces formées en un plan.....	48
-------------------------------------------------------------------------------	----

Chapitre VI

Tableau IV.1. Ratio d'emboutissage réalisable en thermoformage	58
Tableau IV.2. Tolérances d'épaisseur de semi-produits en ABS.....	63

Chapitre VI

VI.1 Common Fanoc G code.....	117
-------------------------------	-----

Liste des planches

Planche N° I : pièce

Planche N° II: moule

Planche N° II.1: empreinte

Planche N° II.2 : paroi

Planche N° II.3 : paroi

Planche N° II.4 : semelle

Planche N° II.5 : cadre de fixation

Planche N° II.6 : échangeur

Planche N° II.1.7 : Bride d'échangeur

Planche N° II.8 : came

Planche N° II.2. 9: Vérins

Planche N° II.10 : bride de vérin

Symboles utilisés et leurs significations

Symbole	Signification	Unité
Cp :	Capacité thermique	w/°c
f :	Coefficient de pertes de charge linéaire par frottement	adimens
λ :	Conductivité thermique du matériaux	w/m.°c
h :	Coefficient d'échange convectif	w/m ² .°c
K :	Coefficient d'échange global	w/m ² . °c
τ :	Coefficient de dilatation du solide	1/K
p :	périmètre de rectangle	m
Dh :	Diamètre hydraulique du tube ou d'un trou	m
ϵ_1 :	Facteur d'émission du matériau	adimens
Φ :	Flux thermique	w
\dot{m} :	Débit massique	kg/s
φ :	Densité de flux	w/m ²
e :	épaisseur	m
L :	longueur linéaire	m
ρ :	Masse volumique	kg / m ³
Gr :	Nombre de Grashofs	adimens
Pr :	Nombre de Prandtl	adimens
Nu :	Nombre de Nusselt	adimens
Re :	Nombre de Raynolds	adimens
q :	Quantité de chaleur	J
P :	Puissance thermique ou électrique	w
S :	Surface d'échange	m ²
t :	Temps	s
T :	Température	K ou c°

v :	Volume du solide	m^3
μ :	Viscosité dynamique du fluide considéré	m^2/s
V :	Vitesse du fluide	m/s
ξ :	Coefficient de dilatation linéaire	K^{-1}

Liste des abréviations

ISO : Organisation Internationale de normalisation, elle est chargée d'élaborer les normes a l'échelle mondiale. Son siège est à Genève.

AFAQ : Association française pour l'Assurance Qualité.

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 téréphtalate

PVC : polychlorure de vinyle

PE : Polyéthylène

OPS : Feuille de polystyrène orienté

POM : Polyoxyméthylène

PEGT : Polyéthylène téréphtalate non cristallisable

OPET : Polyéthylène téréphtalate orienté

CPET : Polyéthylène téréphtalate cristallin

EVA : Ethylène vinyle acétate

PA : Polyamide

PVDF : Polyvinylidène fluoré

LDPE : polyéthylène basse densité

HDPE : polyéthylène haute densité

HIPS : polystyrène choc

INTRODUCTION Générale

Introduction générale

Dans un secteur industriel fortement concurrentiel qui impose des exigences de qualité et de rentabilité, le technicien d'aujourd'hui doit être capable de raisonner et d'agir méthodiquement en appréhendant l'ensemble dans lequel il exerce son action. Sa culture technique et ses compétences lui permettent de s'adapter et de faire face aux évolutions technologiques.

L'objectif de ce projet est de faire une conception avec une étude sur un nouveau moule pour la fabrication de la nouvelle contre-porte du réfrigérateur 320 L avec le procédé de thermoformage. Aujourd'hui le thermoformage fait partie des grands procédés de transformation des polymères thermoplastiques. Le thermoformage offre de nombreuses possibilités de réalisations, des pièces de fines épaisseurs et de petites dimensions allant des pots de yaourt jusqu'aux baignoires.

C'est un projet qui a été proposé par l'entreprise ENIEM (Unité de Prestation Technique), dans le but d'améliorer leur produit pour satisfaire les demandes de marché qui augmentent jour après jour.

A partir de ce but tracé au niveau de l'entreprise, nous avons commencé à traiter notre projet étape par étape. En premier lieu pour pouvoir réussir un tel projet nous étions obligés de faire une analyse fonctionnelle des produits existants (ou en phase de développement) nécessaire pour améliorer ces produits. En effet, il n'est pas rare de constater qu'un moule soit modifié pour répondre au mieux aux besoins de l'utilisateur, besoins qui évoluent sans cesse. De plus, en cours de développement, cette analyse permet au concepteur de ne pas s'égarer dans des solutions techniques complexes ou inutiles.

Le produit à réaliser nécessite des techniques nouvelles à l'entreprise pour la réalisation des contre-dépouilles. Il nous est demandé donc de réaliser un mécanisme avec un système de vérins et cames.

Et dans ce but, les solutions doivent être réalisables dans la pratique. Regardant dans ce cadre les moyens disponibles au niveau de l'entreprise qui exige de produire des mécanismes moins chers et économiques pour un meilleur profit, par :

- Proposer des matériaux et des outillages de qualité avec le coût le plus moins cher ;
- Faire une conception de la nouvelle contre-porte et son moule ;
- Faire les calculs nécessaires pour les différentes parties du moule ;
- Proposer toute autre solution aux problèmes techniques que nous risquons de rencontrer.

Pour ce faire on a établi le plan de travail suivant :

Dans le premier chapitre nous donnons une description générale du thermoformage, de sa définition et son mode de fonctionnement. Ce procédé de mise en forme a pris dans la production industrielle contemporaine une place dont l'importance était imprévisible voici à peine quelques décennies.

A la fin du chapitre une présentation des matériaux compatibles avec une telle procédure de mise en forme est donnée.

Le second chapitre concerne les différentes bases et techniques de thermoformage, dont nous avons essayé de donner une présentation plus exacte et une vue plus proche sur ce procédé dans le but de réussir la réalisation de ce dernier dans la pratique.

Le troisième chapitre est une suite complémentaire des deux premiers chapitres. On parlera dans ce chapitre de démoulage et de finition des produits thermoformés. En premier lieu le démoulage est une séparation de la pièce de sa matrice.

La 2^{ème} partie de ce chapitre concerne la finition des pièces thermoformées. La finition des pièces dans l'industrie est la dernière étape dans la fabrication des produits. Cette finition nous donne la valeur et le coût réel de notre pièce.

Le quatrième chapitre est consacré pour les défauts qui peuvent se produire dans ce procédé de mise en forme.

Dans le cinquième chapitre, dans sa première partie nous avons cité quelques propriétés sur le matériau de la nouvelle contre-porte et le matériau du moule.

La 2^{ème} partie de ce chapitre, on évaluera, à partir des équations du bilan thermique et de corrélation issue de la littérature, les échanges qui s'opèrent dans l'appareil.

La 3^{ème} partie concernera le dimensionnement de l'échangeur de chaleur tenant compte du calcul des pertes de charge subies par le fluide.

La 4^{ème} partie est consacrée pour le dimensionnement des vérins.

Le dernier chapitre, présente en premier lieu notre moule en 3D et en 2D avec le rôle de ces différentes composantes. Cette conception a été faite à l'aide de logiciel solid works.

Suivie d'une fabrication assistée par ordinateur afin de réaliser notre moule à l'aide du logiciel Catia.

Une conclusion générale clôture le mémoire.

Présentation de l'entreprise

L'E.N.I.E.M, entreprise nationale des industries de l'électroménager, est une entreprise publique, économique, société par action au capital de 29 57 500 000 DA et d'un chiffre d'affaire de 7 milliards de DA, elle est issue de restructuration organique de la SONELEC en 1983, 08/10/1989 L'ENIEM passe à l'autonomie. Elle est implantée dans la zone industrielle de TIZI-OUZOU (Oued Aissi), sa mission essentielle est d'assurer la production, le montage, le développement et la recherche dans le domaine de l'électroménager. Elle assure aussi la sous traitance en maintenance (usinage-outillage).

La productivité est actuellement organisée au complexe d'appareils ménagers d'Oued Aissi en 5 unités :

- Unité froid.
- Unité cuisson.
- Unité climatisation.
- Unité de prestation technique.
- Unité de prestation service.

L'entreprise élargit ses activités par la prise en charge de la fonction commerciale et de la promotion de service après vente.

Après l'audit final de certification ISO 9002 effectuée à la fin de mois du mai 1998 par les experts de l'association française pour l'assurance qualité, les experts du comité après évaluation du dossier de L'E.N.I.E.M ont décidé de lui accorder la certification AFAQ pour une durée de 03 ans et ce pour les activités de fabrication et vente d'appareils électroménagers pour la grande distribution, les experts qui ont pris en considération la rapidité et l'efficacité de l'entreprise, ont exprimés leur confiance sur la volonté d'améliorer son système.

Chapitre I

Généralité sur le thermoformage et

Les Matériaux thermo-formable

Introductions :

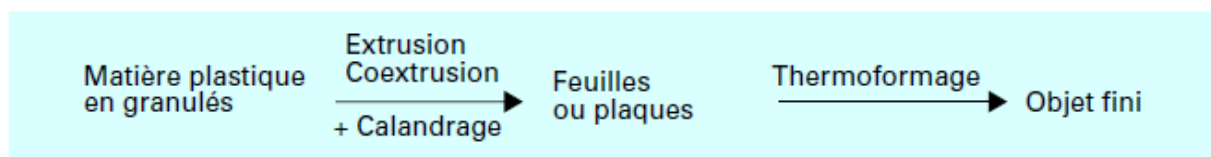
Le thermoformage est l'un des grands procédés de mise en forme des polymères permettant de réaliser, à partir de feuilles ou plaques généralement extrudées ou calandrées, des objets concaves d'épaisseurs et de dimensions diverses. Il consiste à chauffer une feuille de polymère jusqu'à une température 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 regroupe un large panel de technologies différentes, plus ou moins complexes et automatisées selon l'application. Il peut s'agir du simple drapage manuel d'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.1.1. Présentations du thermoformage :

Les techniques de formage sont utilisées très largement dans l'industrie, elles vont de l'estampage, forgeage des métaux au thermoformage des matières plastiques.

Le thermoformage permet la production industrielle d'objets les plus divers tels un carter de ventilateur, une barquette d'emballage, un pot de yaourt, une baignoire, 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 en la fabrication d'une feuille ou d'une plaque par la technique de l'extrusion. La seconde étape, en ligne, ou en reprise, est l'opération proprement dite du thermoformage, qui va conduire 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 le handicap du coût de la matière première. Aujourd'hui, le thermoformage est l'un des grands procédés de transformation des polymères thermoplastiques.

Si le principe est resté le même depuis plusieurs décennies, les installations ont quant à elles, évolué. Elles permettent de transformer facilement la plupart des matériaux thermoplastiques, le polypropylène, le polystyrène, le polychlorure de vinyle, le polyméthacrylate de méthyle, les

Chapitre I :généralité sur le thermoformage et les Matériaux thermo-formable

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.1.2.Principe :

Le thermoformage consiste à chauffer une feuille, ou une plaque, à une température permettant sa déformation dans un moule dont elle épouse la forme par action d'une différence de pression entre ses deux faces. Après refroidissement, on obtient l'objet désiré.

La mise en forme s'effectue généralement par une pression d'air sur la feuille, ou une dépression d'air sous cette dernière, souvent assistée mécaniquement par un poinçon (figure I.1-2).

Les moules peuvent être en plâtre, en bois, en résine, en métal ... l'aspiration de l'air par la pompe électrique permet l'utilisation de moules en positif et en négatif.

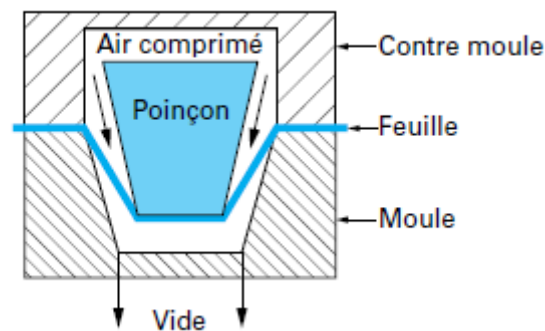


Figure I.1.Principe du thermoformage : moule négatif

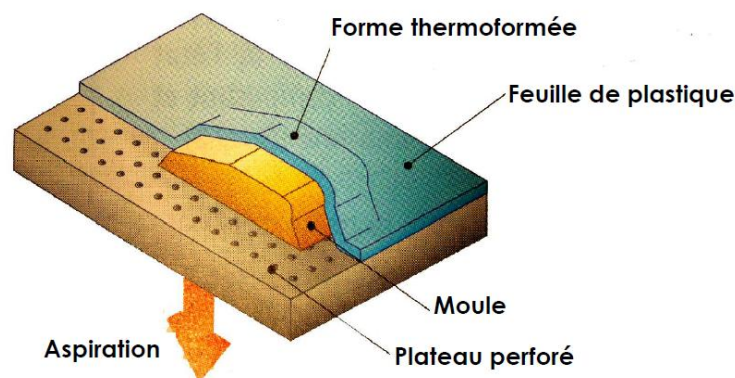


Figure I.2.principe de thermoformage : moule positif

C'est un procédé de transformation « basse pression », qui impose de faibles contraintes à la feuille. Les matériaux ne peuvent donc être formés que lorsque leurs propriétés mécaniques ont chuté, dans la zone du plateau caoutchoutique pour les polymères amorphes et dans la zone de la température de fusion pour les semi-cristallins.

L'art du thermoformage consiste à maîtriser le comportement de la feuille au cours de toutes les transformations qu'elle va subir notamment pendant le chauffage et le formage.

Si le principe général est le même, de nombreuses variantes existent, dans la géométrie des moules, dans le cycle de mise en pression, etc.

L'étirage que subit le matériau pendant sa déformation va conduire à une diminution et à une hétérogénéité de l'épaisseur dans l'objet fini (figure I.3). La recherche d'une répartition idéale des épaisseurs est à l'origine de différentes variantes du cycle de thermoformage.

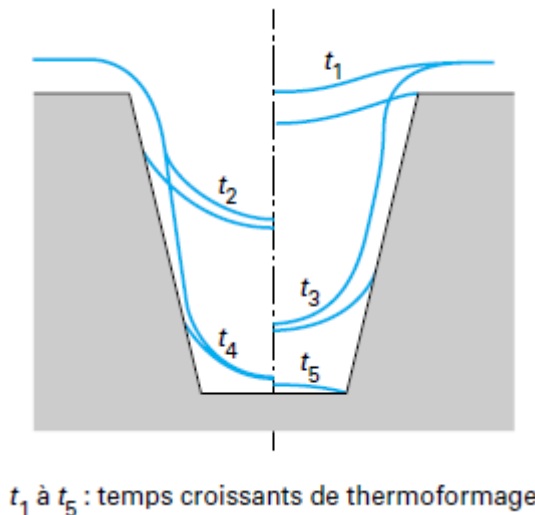


Figure I.3. Variation des épaisseurs au cours du thermoformage : moule négatif [1]

I.1.3. Cycle de thermoformage :

Comme son nom l'indique, 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 évacuation d'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. Ces procédés entrent dans la catégorie des techniques de formage sous vide.

Le processus de thermoformage standard se divise en trois étapes :

I.1.3.1. Le moule est placé sur le plateau porte-moule et abaissé dans la machine. (Voir la figure I.4)

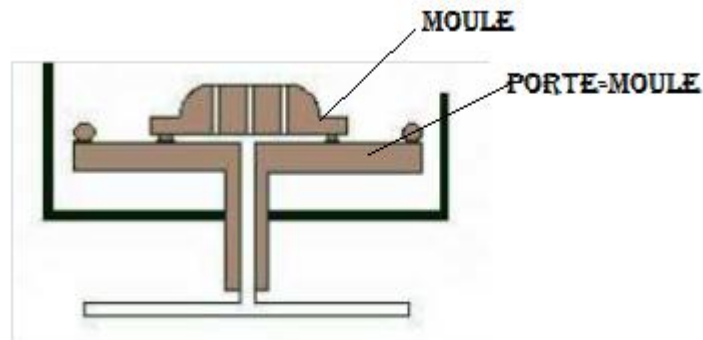


Figure I.4. Fixation de moule sur plateau porte-moule

I.1.3.2. Resserrage : le matériau est fixé sur un cadre. (Voir la figure I.5)

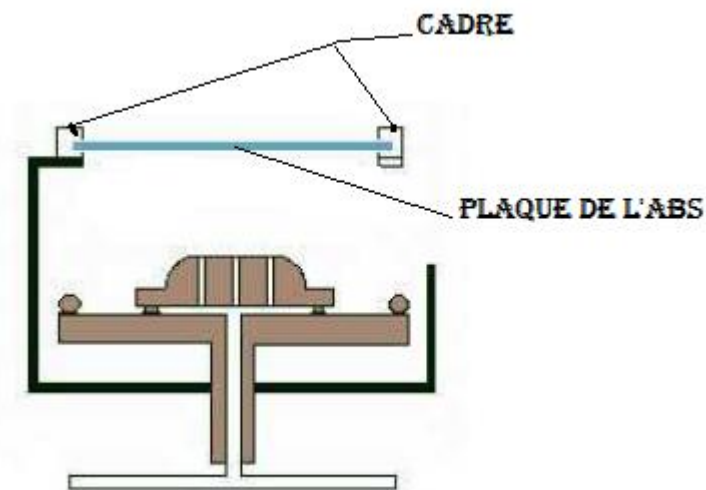


Figure I.5. Resserrage

I.1.3.3. Chauffage : 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.6 ci-dessous).

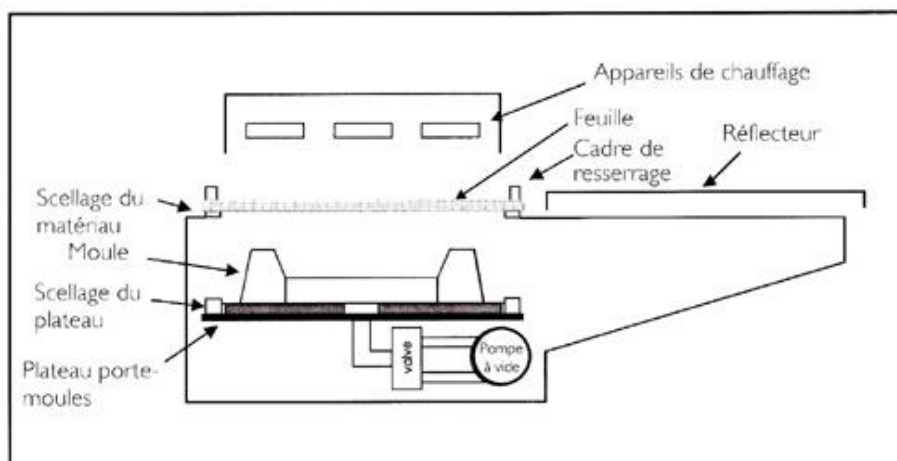
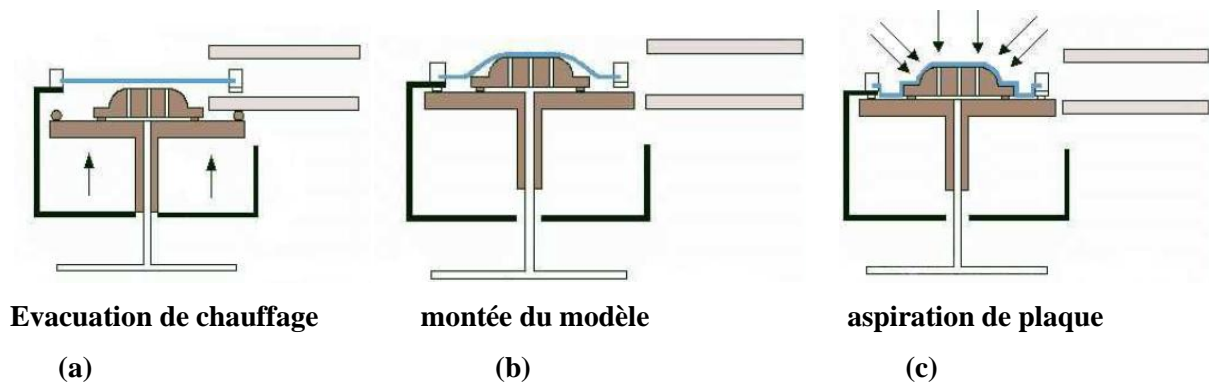


Figure I.6. Le cycle de chauffage

I.1.3.4. 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.7 (a.b.c))



I.1.3.5.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)

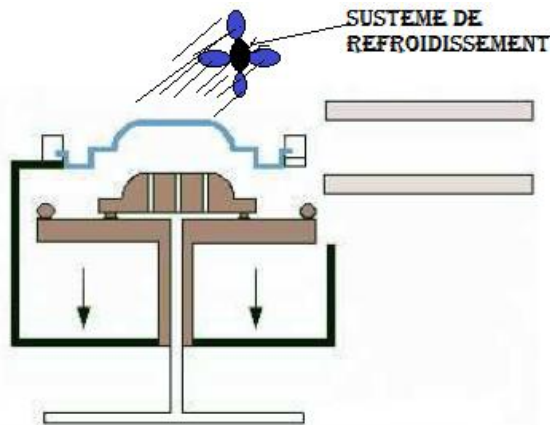


Figure I.8.refroidissement de la pièce thermoformée

I.1.3.6.Découpage:

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

Le thermoformage présente de multiples avantages :

- 1-L'équipement est moins coûteux que celui employé dans les techniques de moulage à injection et autres méthodes associées.
- 2-il est possible de réaliser des pièces dont les parois sont plus fines.
- 3-il est possible de réaliser des pièces de grande taille.
- 4-il est possible de raccourcir la durée du cycle complet d'exécution, de l'étape de la conception à celle de la production.
- 5-Les ajustements de moules et l'outillage sont moins coûteux.

I.1.4.Le thermoformage parmi les grands procédés de transformation :

Les techniques de transformation des matériaux thermoplastiques sont nombreuses, les plus concurrentes au thermoformage sont l'extrusion-soufflage et l'injection. Ces dernières utilisent directement la matière première, contrairement au thermoformage. La température de mise en œuvre y est beaucoup plus élevée ; les polymères thermoplastiques sont travaillés à l'état fondu, bien au-delà du plateau caoutchoutique. Le thermoformage, de par le fluage de la feuille qu'engendre son principe, les plis dus aux relaxations des contraintes du calandrage ne peut s'effectuer qu'à des températures plus basses, proches du plateau caoutchoutique.

Exemple : les températures d'injection ou d'extrusion-soufflage d'un polypropylène homopolymère se situent autour de 210-230 °C, les températures de thermoformage autour de 160 °C.

La rhéologie du matériau à la température de thermoformage présente donc un caractère viscoplastique bien plus prononcé. La caractérisation mécanique des matériaux dans cette phase s'avère particulièrement délicate, d'autant plus que le thermoformage conduit à un mode de déformation en biétirage. Les approches rhéologiques classiques, où l'on sollicite le matériau en cisaillement, ne sont donc pas pertinentes, et de nombreux tests, spécifiques au thermoformage, ont été développés pour cerner les limites des matériaux.

Il s'agit notamment des tests de thermoformabilité. Ils tentent de quantifier les limites de déformation que peut subir un matériau [1].

I.1.5.Machines de thermoformage :

Il y a une très grande diversité de machines de thermoformage, en correspondance avec la diversité des produits et des applications.

Les caractéristiques générales sont cependant les mêmes.

I.1.5.1.Description générale

Les installations se composent d'un poste de chauffe, d'un poste de formage, quelquefois au même endroit lorsque les éléments de chauffe sont mobiles, d'un poste de découpe et pour les installations « continues » d'un poste d'empilage.

Pour un fonctionnement optimal de l'ensemble, chaque étape ou poste doit faire l'objet du meilleur réglage.

Les matériaux semi-cristallins tels que le PP ont poussé les constructeurs à progresser techniquement. Les machines modernes sont très fiables et permettent de transformer une large gamme de produits.

Une machine de thermoformage discontinue (figure I.9) se définit par :

- la surface utile ;
- la profondeur de thermoformage ;

- le système de chauffe : type et puissance ;
- le système de refroidissement : type et puissance ;
- la taille et le mouvement possible du poinçon ;
- le système de mise sous vide et sous pression ;
- la consommation et la pression d'air utile ;
- la puissance électrique globale et les cotes hors tout.

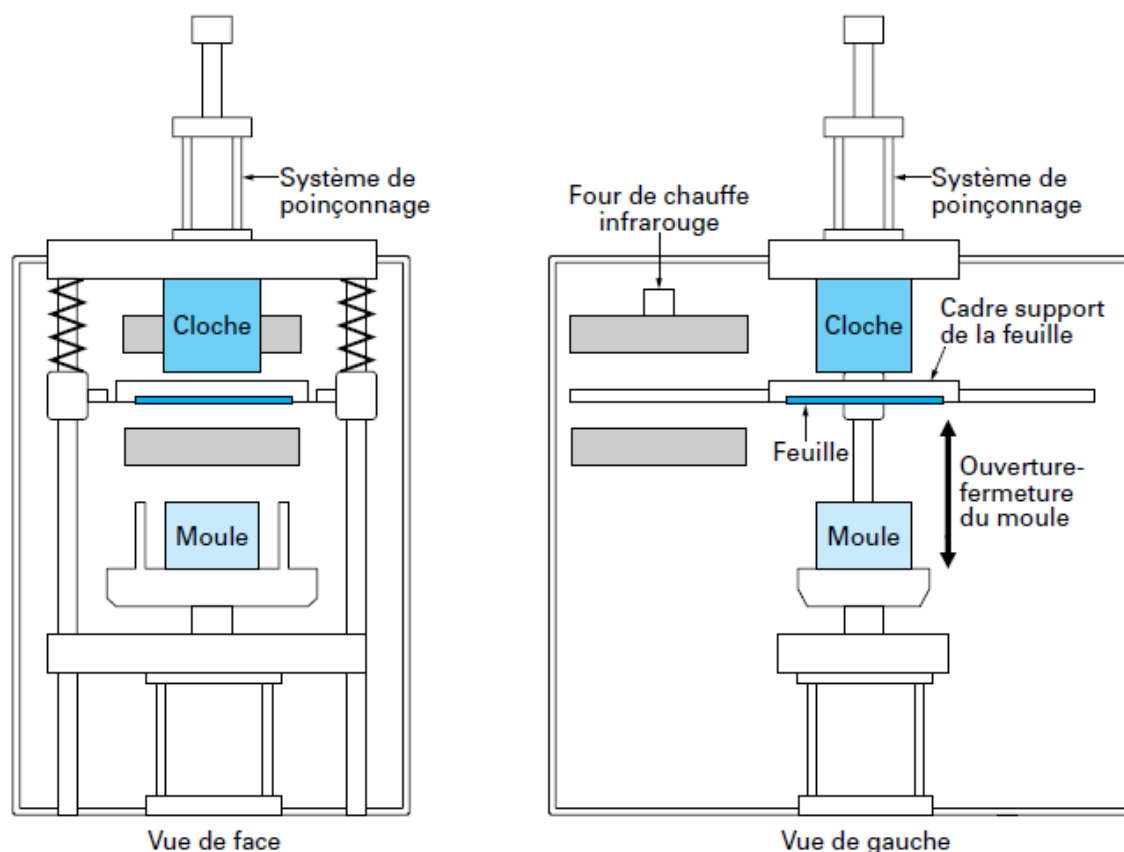


Figure I.9.Machine de thermoformage discontinue

Pour une machine continue (figure I.10), on considère en plus :

- la cadence maximale de production (la vitesse maximale est de l'ordre de 6 m/min) ;
- la possibilité de découpe intégrée au moule ;
- le système d'empilage ;
- le système de transport de la feuille avec les caractéristiques du moteur ;
- le système de découpe ;
- les mouvements des tables : mécanique ou hydraulique.

Tout investissement devra prendre en compte chacun de ces critères. La définition des matériaux devant être transformés est également indispensable pour bien orienter les choix techniques.

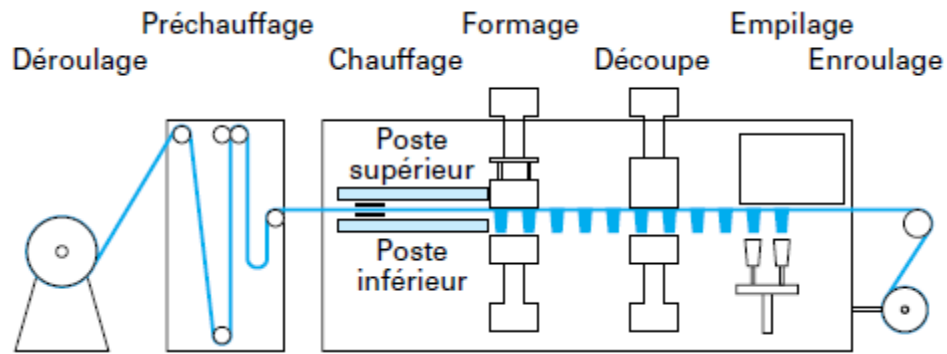


Figure I.10. Ligne de thermoformage continue

I.1.5.2. Caractéristiques des machines à thermoformer:

Dimensions maximum du cadre de serre-flan

Hauteur maximum du moule

Puissance des plaques chauffantes ou panneaux radiants (panneaux radiants composés de plusieurs zones)

Type de résistances radiantes utilisées:

Type de mesure de température (thermocouple ou capteur infrarouge)

Options possibles: bullage, pistonnage, démoulage par air comprimé

Type d'alimentation: (par porte bobine, dévidoir, et découpage)

Débit de la pompe à vide. Volume de l'accumulateur de vide

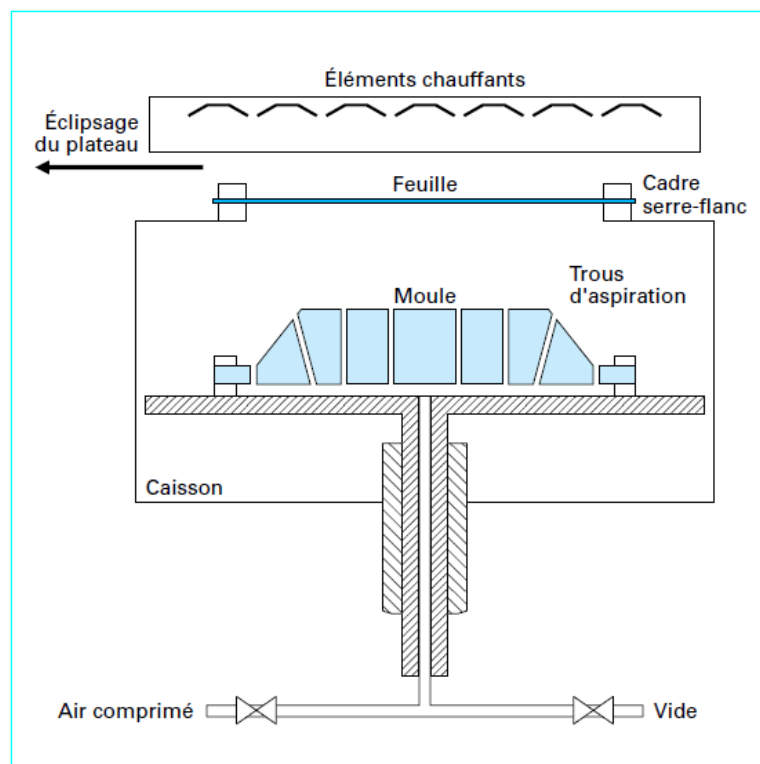


Figure I.11. Schéma d'une machine de thermoformage à moule positif

I.1.5.3. Paramètres de réglage d'une machine à thermoformer : cas de la machine de l'entreprise

étape du cycle	Réglages
chauffage de la plaque	- Température maximum des radiants pour diminuer le temps de chauffe sans brûler la plaque. - Temps de chauffage minimum pour obtenir une température suffisante de la plaque à thermoformer.
Montée de la table	Vitesse rapide pour améliorer le formage de la pièce et diminuer le temps de cycle
Bullage	- Réglage du débit et du temps de bullage pour obtenir une hauteur maximum de bulle sans formation de plis sur la pièce - Le temps doit être court mais avec un grand débit d'air (cadence)
Aspiration	- dépression et débit maximum pour former le plus rapidement possible la pièce sans plis ni marque due aux trous d'aspiration ($\varnothing 0.5$ maxi pour une plaque de 1mm)
Retard ventilation	le refroidissement peut commencer lorsque le formage de la pièce est fini
Ventilation	l'orientation et le débit des buses de ventilation doivent être réglés de façon à obtenir un refroidissement uniforme et ne pas marquer la pièce. le temps de refroidissement doit être minimum: la pièce ne doit pas se déformer lors du démoulage. Attention la T° d'un moule non régulé n'est pas constante.
Démoulage	Le débit et le temps de soufflage doivent permettre de décoller totalement la pièce avant la descente du moule
Retard descente table	le retard de descente table doit être légèrement inférieur au temps de démoulage La descente du moule doit se réaliser pièce décollée du moule.
Descente table	La première vitesse de descente doit être faible pour ne pas endommager la pièce lors du démoulage La deuxième sera rapide (cadence).

Tableaux I.1. réglage d'une machine à thermoformer : cas de la machine de l'entreprise

Des produits types du thermoformage sont ceux de l'emballage alimentaire. Mais on les retrouve aussi dans l'électroménager, l'automobile, etc. (figure I.12).

Dans l'emballage, les épaisseurs de feuille vont de quelques centaines de micromètres à environ 1 mm alors que pour d'autres applications, on peut atteindre plus du centimètre.

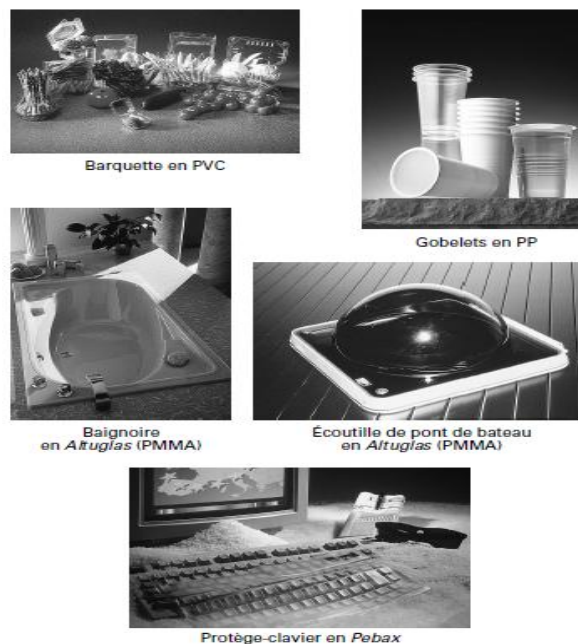


Figure I.12. Produits thermoformés

I.2. Matériaux thermo-formables

Les polymères thermoplastiques sont les matériaux thermoformables par excellence. Certains matériaux thermodurcissables, légèrement réticulés sont également des matériaux thermoformables, mais ils n'en représentent qu'une petite partie. On citera le cas de mousse de polyuréthane utilisée dans l'application des pavillons de voiture qui après polymérisation et réticulation subissent un formage à environ 110 °C. Elles présentent un caractère suffisamment thermoplastique pour accepter et conserver dans le temps la déformation.

Les taux de déformation sont cependant faibles en comparaison de ceux demandés aux thermoplastiques.

Les matières plastiques présentent des qualités physico-chimiques spécifiques (légèreté, inaltérabilité, résistance, isolation, simplicité de transformation, coloration) qui autorisent l'intégration de fonctions et la recherche de formes nouvelles, ouvrant la voie à des concepts et à des produits révolutionnaires.

Le thermoformage est basé sur le phénomène de transition vitreuse (T_g) des thermoplastiques. En effet, leur température de transition vitreuse passée, les thermoplastiques sont à l'état caoutchoutique, il devient alors facile de leur donner une nouvelle forme. Une fois la température descendue en dessous de la transition vitreuse, le polymère retourne à l'état solide (vitreux). [1]

I.2.1. Comportement rhéologique des polymères

Le mode de déformation imposé par le thermoformage est du type **étirage**, **biétirage**. Celui-ci s'effectue à des températures basses, autour de la température de fusion pour les polymères semi-cristallins, un peu au-delà de la transition vitreuse pour les polymères amorphes.

Les polymères amorphes présentent une plage de formage très grande comparée aux polymères semi-cristallins du fait d'un plateau caoutchoutique à très bas module d'Young et très étendu en température (figure I.13). Les semi-cristallins présentent une grande variation des propriétés mécaniques autour de la température de fusion et ont par conséquent une plage de formage beaucoup plus réduite. Ils demandent un meilleur contrôle ainsi qu'une grande homogénéité de la température de la feuille. [1]

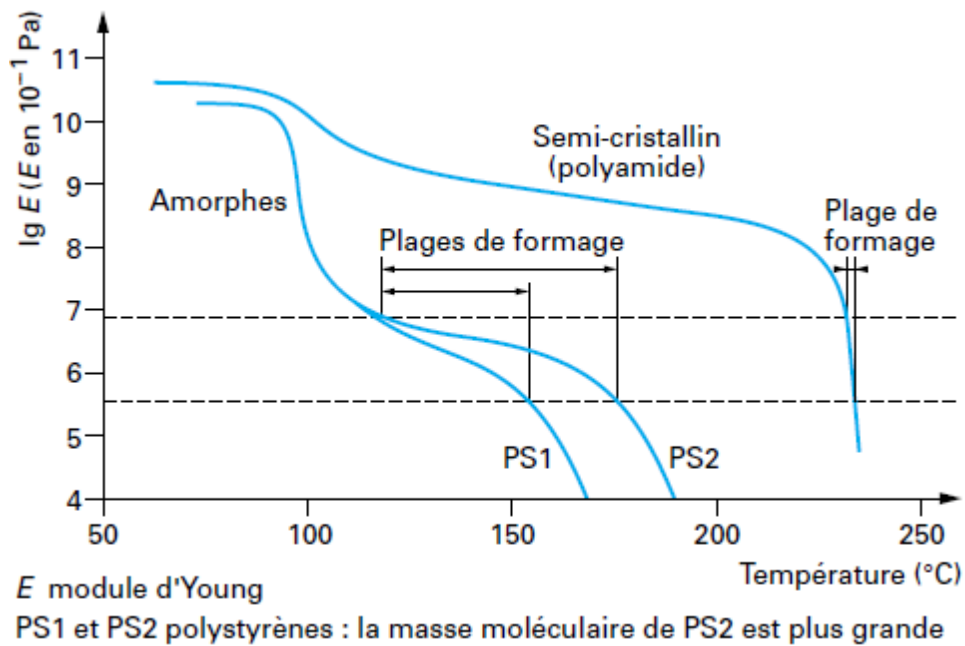
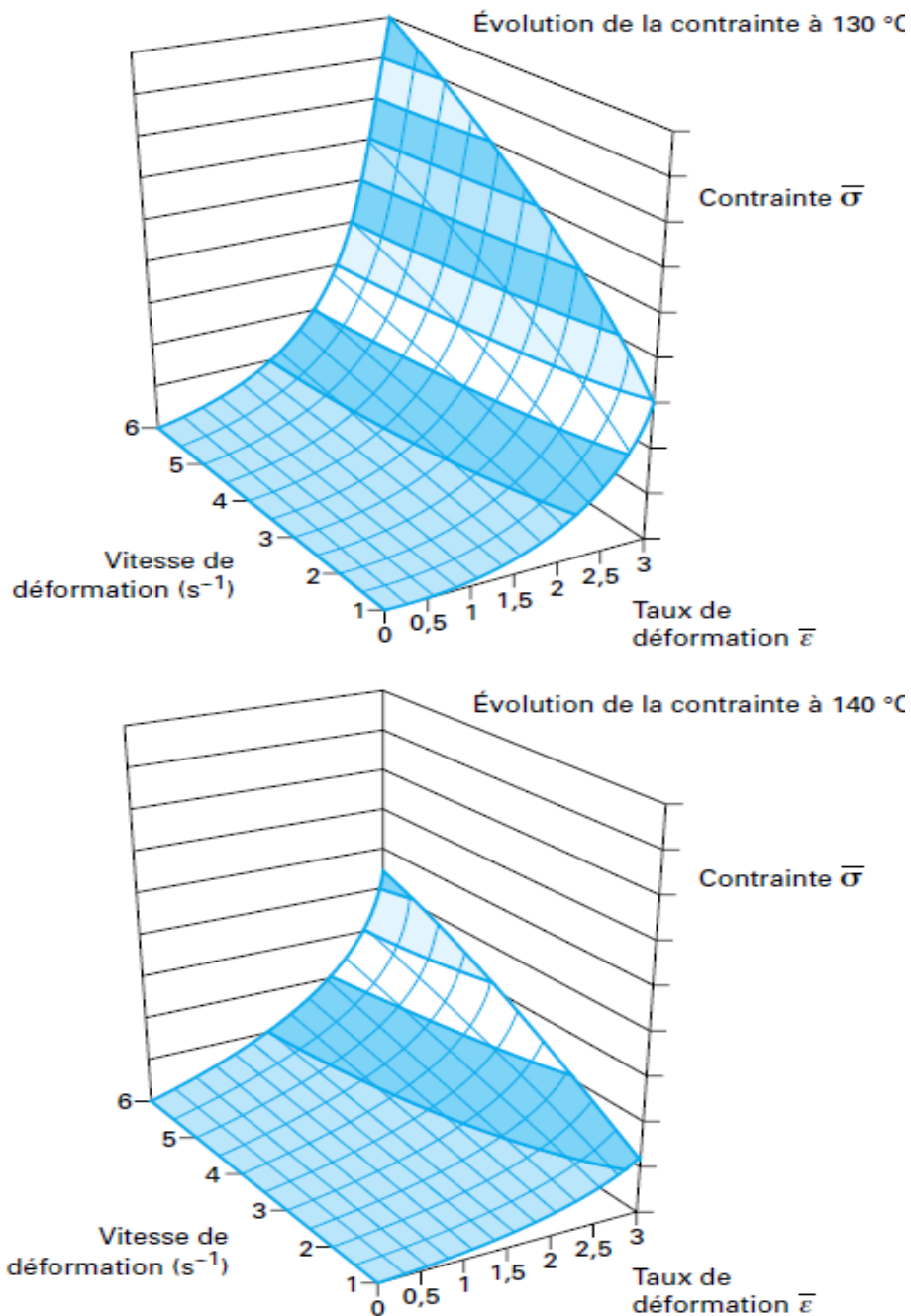


Figure I.13. Courbe du module d'Young en fonction de la température de polymères types [1]

Les propriétés rhéologiques des polymères dépendent de la température, mais aussi de la vitesse de déformation. (La figure I.14) nous montre comment les propriétés d'étirabilité du PS, polymère amorphe, dépendent de la vitesse de déformation. Plus la vitesse de déformation sera grande, plus la résistance mécanique du polymère sera importante même aux fortes températures. [1]



$$\text{Loi de comportement : } \bar{\sigma} = K_p(T) [1 - \exp(-w\bar{\epsilon})] \exp[h\bar{\epsilon}^2] \dot{\bar{\epsilon}}^m$$

Le coefficient K_p est un facteur d'échelle dépendant de la température, appelé aussi consistance,

m est le coefficient de sensibilité à la vitesse de déformation,

w est le coefficient viscoélastique,

h est le coefficient de durcissement,

T est la température.

Figure I.14.Évolution de la contrainte de déformation équivalente σ en fonction de la vitesse de déformation équivalente v et du taux de déformation équivalent ϵ pour le polystyrène [1]

Chapitre I :généralité sur le thermoformage et les Matériaux thermo-formable

Les études rhéologiques, même lorsqu'elles sont disponibles, ne permettent pas une extrapolation sûre de l'étirabilité limite des matériaux. Elles sont, en général, faites dans des conditions d'équilibre thermique, après relaxation des contraintes dues à l'extrusion, ce qui peut modifier notablement le comportement du matériau. [1]

I.2.2.Thermo-formabilité :

Le tableau I.2 donne les caractéristiques de thermoformabilité de quelques polymères courants.

Tableau 1 – Caractéristiques de thermoformabilité de polymères courants					
Polymère	Température de transition vitreuse (°C)	Température de fusion (°C)	Température du moule (°C)	Plage de température de thermoformage (°C)	Taux de retrait linéaire (%)
ABS	90 à 120	–	82	130 à 180	0,3 à –0,8
PMMA	100		90	150 à 190	0,3 à 0,8
PC	150		130	170 à 200	0,6 à 0,8
PET, PETG, CPET	70	255	60	120 à 170 150 à 180	0,2 à 0,4
HDPE	– 110	134	71	130 à 185	3 à 3,5
PP	5	165	10 (Transparence)	150 à 165	1,5 à 2,2
PS	90		80	130 à 182	0,3 à 0,5
PVC rigide	90		60	100 à 155	0,4 à 0,5

Tableau I.2.caractéristiques de thermoformabilité de quelques polymères courants.

La thermoformabilité d'un matériau est définie par le plus grand rapport de profondeur au diamètre H/D de moule que le matériau va encore draper sans se fissurer.

Plus ce rapport est élevé, plus le matériau est déformable et permet de réaliser des objets de grande profondeur. Ce rapport dépend des conditions de pression et température.

Sur la figure 15, on détermine une plage optimale de température, dite plage de thermoformabilité, où la thermoformabilité du matériau est la plus grande. En ordonnée, le rapport H/D, ou Ra. En abscisse, la température à laquelle on a effectué le thermoformage. La courbe donne, pour chaque matériau, la limite de thermoformage au-delà de laquelle, il y a rupture de la feuille testée. Les polymères amorphes (PMMA, PVC, PS, PC, ABS...) présentent une grande plage de thermoformabilité comparée à celle des semi-cristallins (PP, PE, EVA, PA 6, PET, PVDF, PTFE...).

Il n'existe pas de normalisation pour les essais de thermoformabilité. Les méthodes de thermoformage étant très variées, les résultats de ces tests ne sont qu'un guide, et sont relatifs à la méthode employée. De plus, les matériaux évoluent très vite et des différences notables peuvent être observées entre deux grades d'un même produit. [1]

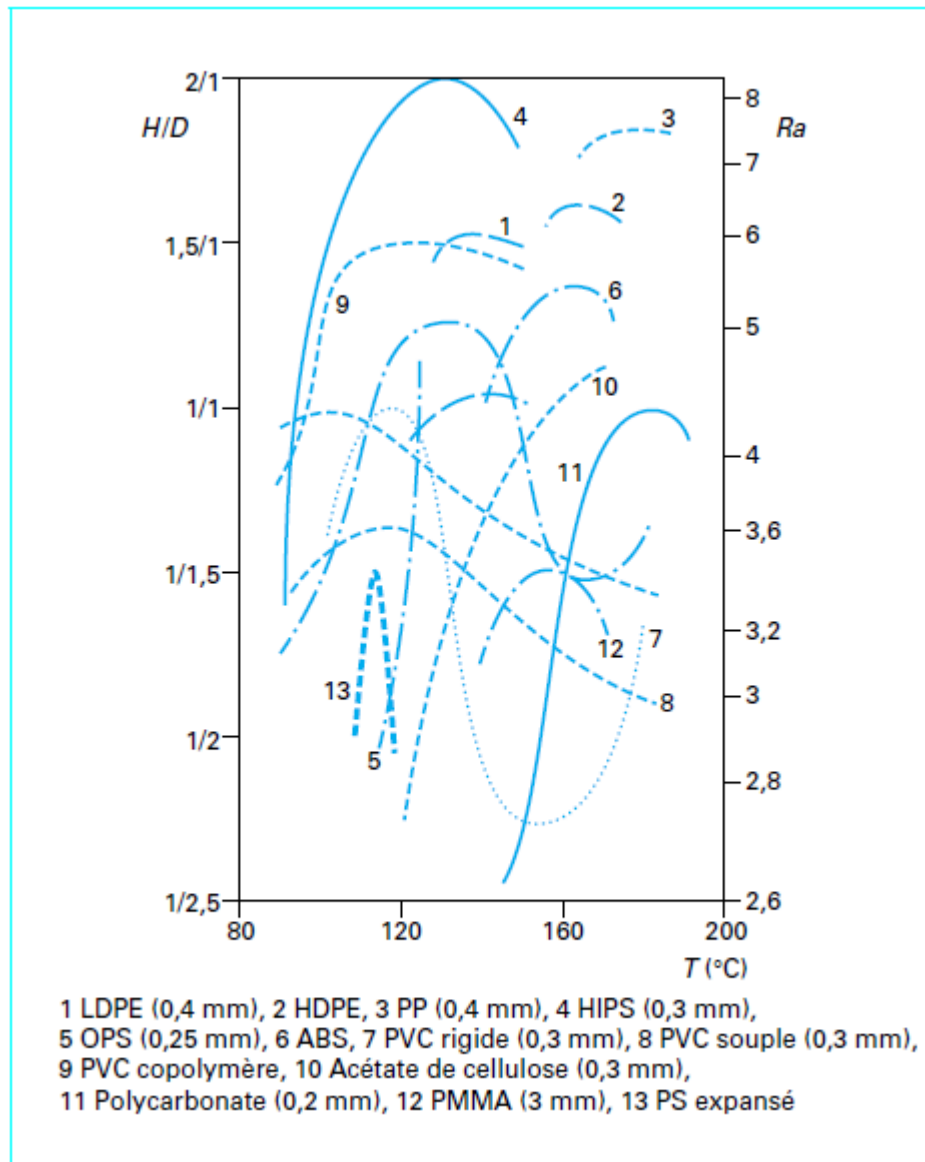


Figure I.15.Taux d'étirage H/D (moule négatif) de différents matériaux [1]

I.2.3.Propriétés thermiques

La mise en forme d'un objet nécessite une étape de chauffage de la feuille et une étape de refroidissement. La capacité du matériau à se réchauffer puis à se refroidir va être primordiale pour la cadence de production des installations. Là encore, les polymères amorphes sont avantagés, car ils nécessitent moins d'énergie, sauf pour ceux qui présentent une température de transition vitreuse très élevée.

I.2.3.1.Stress cracking (fissuration)

Le procédé de thermoformage induit de nombreuses contraintes.

Le matériau conserve la mémoire de son étirage et devient plus sensible aux agressions du milieu extérieur. C'est le cas par exemple du PS qui présente des fissurations après un long contact avec des huiles végétales. Les objets thermoformés sont souvent en contact avec des milieux agressifs :

détergents, UV, huiles, graisses, solvants et la résistance du matériau est toujours vérifiée sur l'objet thermoformé. Les endroits les plus fins ont subi les plus fortes concentrations de contraintes et c'est généralement là que les fissures apparaissent en premier.

I.2.3.2. Retrait :

Même si le refroidissement de l'objet est achevé avant le démoulage, la mobilité des chaînes moléculaires à la température ambiante va conduire sur une période de quelques minutes à plusieurs heures à un léger retrait dimensionnel.

Les conditions de refroidissement (temps et vitesse) vont influencer sur le retrait. Les valeurs données dans le tableau I.2 sont cependant représentatives et constituent une base pour le dessin des moules.

Pour les structures multicouches, le taux de retrait va dépendre des proportions des différents matériaux. La prévision est délicate, sauf dans les cas où un matériau représente une grande proportion ; c'est lui qui gèrera le retrait. [1]

Les contraintes induites par l'extrusion calandrage devront être minimales pour éviter de trop grands retraits lors de la chauffe. Ceux-ci, pouvant conduire à des plis dans la feuille et des tensions dans les chaînes de transport des machines continues. Les taux de retrait dans le sens de l'extrusion (sens longitudinal) sont très dépendants des produits. Ils vont d'environ 7 % pour le PS à plus de 20 % pour le PP.

Pour ne pas perturber le fonctionnement des installations de thermoformage, il est important de travailler toujours avec la même qualité de feuille. Les spécifications doivent porter sur :

- l'épaisseur et la tolérance d'épaisseur ;
- la brillance et la transparence si le critère est important ;
- la largeur et sa tolérance ;
- la température de fléchissement ;
- les taux de retrait longitudinaux et transversaux à la température de formage.

I.2.3.3. Charges

Les charges les plus couramment rencontrées sont le talc, l'oxyde de titane, le carbonate de calcium et la silice. On les emploie pour améliorer la rigidité des feuilles ou des plaques, pour diminuer le prix des matières premières et pour la coloration. La résistance au fluage à chaud est également améliorée, facilitant le thermoformage des semi-cristallins tels que le PP.

Le rapport H/D diminue cependant par rapport au polymère non chargé, l'allongement maximal du matériau chargé étant inférieur.

I.2.4.Matière d'œuvre

La matière d'œuvre est un semi-produit sous forme de plaque ou de feuille

I.2.4.1.Mode d'obtention de la matière d'œuvre

La matière d'œuvre est obtenue soit :

- par extrusion avec une filière à fente large pour obtenir des films de 0.1 jusqu'à des plaques de 14 mm
- par extrusion de gaines avec une filière tubulaire pour obtenir des films de faibles épaisseurs et étirés suivant deux axes.
- par extrusion calandrage ou laminage pour obtenir des films ou des plaques avec des aspects de surface particuliers : brillance, grainage ou décors.

I.2.4.2.Les matières utilisées :

Les matières amorphes :

Tous les thermoplastiques amorphes peuvent être thermoformés. Le thermoformage se fait entre la température de transition vitreuse et la température de fusion de la matière.

Les matières semi-cristallines

Le thermoformage est plus délicat (fusion franche et enthalpie de fusion importante) mais néanmoins possible. Le thermoformage s'effectue à une température très légèrement supérieure à la température de fusion de la matière.

Remarque :

Que se soit pour les matières cristallines ou les matières amorphes, les produits thermoformés sont des matériaux à haut poids moléculaire (longueur de chaînes macromoléculaires importante)

I.2.5.Domains d'application et température de transformation des matières les plus utilisées en thermoformage :

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

Matière	domaines d'application	avantages et inconvénients	T° de formage	T° de moule	T°de poinçon
A.B.S	carrosserie de voiture, 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 à A.B.S + emballage de produits alimentaires et articles de consommation	Idem à A.B.S - matière alimentaire sauf pour les matières grasses - faible résistance mécanique	130-200°	20-80°	80-120°
P.S	Produits alimentaires, conditionnement (blisters, pelliplacage)	Idem à A.B.S - matière alimentaire - bonne transparence	110-160°	20-80°	80-120°
P.V.C	Idem à P.S-B + pièces devant 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, bulles de plafonds, baignoires	- prix de matière élevé - très bonnes propriétés optiques - bonne stabilisation 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, borne signalétique	- 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	Carters, boîtiers pour l' industrie chimique feuille de skinpack	- très bonne résistance chimique et thermique. Bonne élasticité - matière alimentaire	160-220°	40-90°	80-030°

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

Le tableau I.4 regroupe les caractéristiques de « thermoformabilité » des principales classes de polymères utilisées en thermoformage, leur plage de mise en forme (plage de formage) et leurs températures caractéristiques (température de transition vitreuse, T_g , ou de fusion, T_f).

Polymère	Abréviation	Type	T_g (°C)	T_f (°C)	Plage de formage (°C)
Polystyrène	PS	A	90	-	130 - 182
Poly(chlorure de vinyle)	PVC	A	90	-	100 - 155
Poly(acryl butadiène styrène)	ABS	A	90 - 120	-	130 - 180
Poly (méthylméthacrylate)	PMMA	A	100	-	150 - 190
Polycarbonate	PC	A	150	-	170 - 200
Polypropylène	PP	SC	5	165	150 - 165
Polyéthylène téréphtalate	PET	SC	70	255	120 - 180
Polyéthylène haute densité	PEhd	SC	-110	134	130 - 185

Tableau I.4. Plages de formabilité des principaux polymères utilisés en thermoformage (A : amorphe, SC : semi-cristallin) d'après [2].

Conclusion

Le thermoformage est un procédé qui possède de réels atouts et qui semble avoir de belles perspectives devant lui pour évoluer vers des applications à haute valeur ajoutée, mais ceci dépendra des choix et de la volonté des industriels de la profession.

De par leur facilité de mise en œuvre, les polymères amorphes se situent en tête des applications thermoformage (PS, PVC, ABS, etc.). Parmi eux, le polystyrène reste le plus utilisé.

Les avancées technologiques des outils de production et des formulations de ces dernières décennies ont permis l'utilisation croissante des polymères semi-cristallins en thermoformage, et en particulier le polypropylène (PP) et le polyéthylène téréphtalate (PET).

Chapitre II

Base et technique de thermoformage

II.1.Base de thermoformage :**II.1.1: Le poste de formage :**

Le semi-produit chauffé à la température de plastification est formé sur le poste de formage. Un poste de formage (figure II.1a) comprend, indépendamment du type de machine, les éléments principaux suivants :

-deux tables indépendantes, mobiles dans le plan vertical, tables aménagées pour le montage des outils. Sur l'une des tables est fixé le moule de formage (figure II.2) ; sur l'autre table peut être monté un outil auxiliaire ou bien un poinçon pour un pré-étirage mécanique. Les deux tables ont des raccordements pour le vide et/ou l'air. Sur de nombreuses machines de thermoformage les deux tables sont identiques, sur d'autres, leur construction est différente. La hauteur de maintien du semi-produit sur le poste de formage, par rapport au sol, est la hauteur du plan de serrage ;

-un cadre de serrage pour la fixation du semi-produit pendant le cycle de formage. Cette fixation est effectuée :

-entre deux cadres

-entre un cadre et le moule formage

-entre le moule de formage et un contre-moule

La figure (II.1b) montre les endroits où l'étanchéité est nécessaire sur un poste de formage.

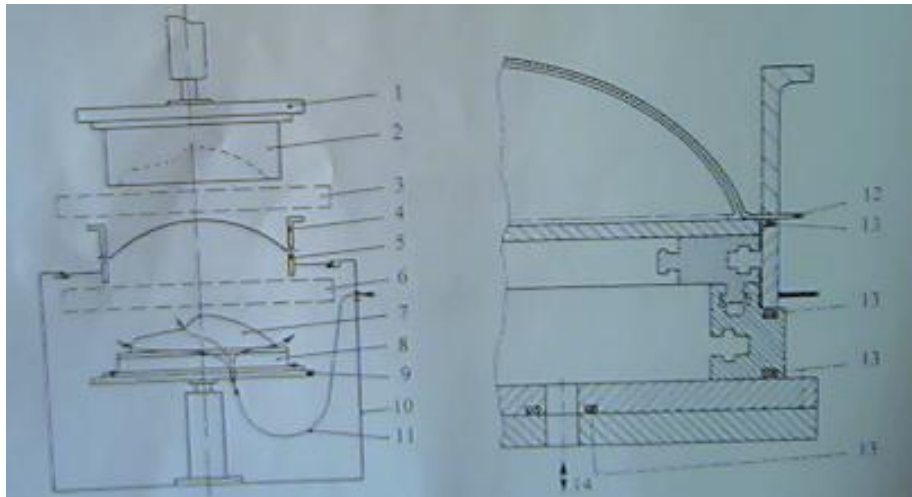


Figure II.1. a) Poste de formage d'une machine de thermoformage universelle ;

b) joints d'étanchéité sur un poste de formage

1. table supérieur ; **2.** Outil supérieur (piston supérieur) ; **3.** Chauffage supérieure ; **4.** Cadre supérieur ; **5.** cadre inférieur ; **6.** chauffage inférieur ; **7.** Outil inférieur ; **8.** Socle ; **9.** table inférieure ; **10.** caisson de soufflage ; **11.** air de bullage, vide ou air de démoulage ; **12.** semi-produit ; **13.** joints d'étanchéité

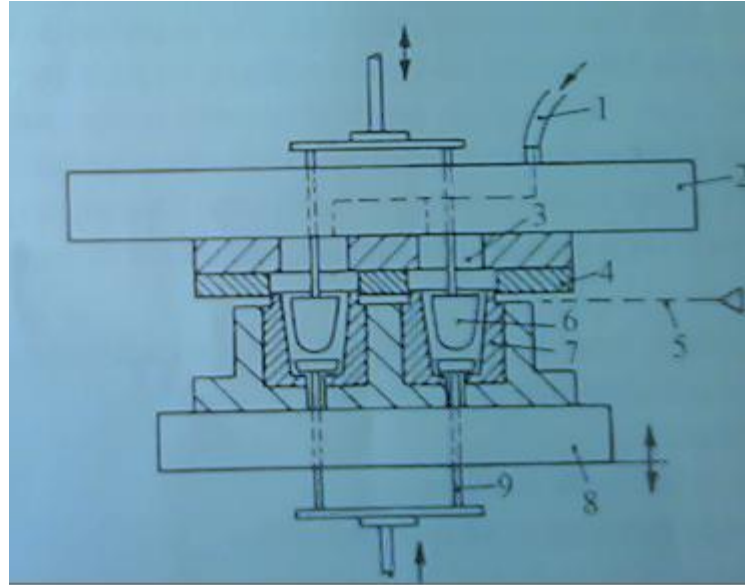


Figure II.2.Schéma d'outil sur une machine de formage par pression d'air pour formage-découpe combinés

1. air comprimé ; 2.table supérieure (traverse);3.enceinte de pression ; 4.plaque de découpe ; 5.plan de serrage ; 6.poinçon de pré-étirage ; 7.segment outil avec arête de coupe ; 8.table (inférieure) ; 9.éjecteur

II.1.2. Formage positif et formage négatif :

En thermoformage, le semi-produit chauffé ne vient au contact du moule de formage que d'un seul coté. Les contours de surface du moule de formage sont restitués avec précision sur la surface de contact du semi-produit. Sur le coté opposé, les contours ainsi que les dimensions de la pièce formée sont donné par l'épaisseur résiduelle de ses parois. Suivant que le coté interne au externe de la pièce formée est au contact avec le moule de formage, l'on obtient un formage positif ou un formage négatif (figure II.3)

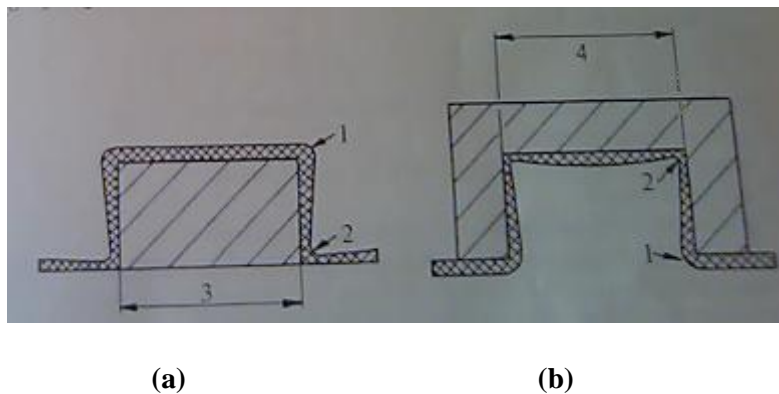


Figure II.3.formage positif schématique ;b) formage négatif (schématique)

1. parties épaisses ; 2.parties minces ; 3.cote intérieure pièce finie ; 4.cote extérieure pièce finie

En formage positif, le contour intérieur de la pièce formée est la partie formée la plus précise parce qu'elle est en contact avec le moule.

Pour les pièces formées en positif, il faut noter :

- une tendance à la formation de plis avec des moules hauts et de forme angulaire, particulièrement quand l'espace entre moule et cadre de serrage est important (figure II.4 et 5) ;
- une tendance à l'apparition de marque de gélification sur les angles (figure II.4 et 5) ;
- une épaisseur irrégulière des parois au voisinage du flan (figure II.4 et 5) ;
- des difficultés de démoulage quand la dépouille des parois est faible ;
- l'obligation d'utiliser un serre-flan additionnel pour limiter l'espacement entre les empreintes sur un moule positif multi-empreintes ;
- les outils de formage positif sont, le plus souvent, meilleur marché que les outils de formage négatif.

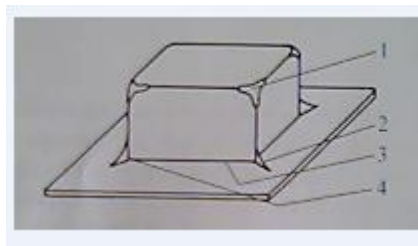


Figure II.4. défauts et particularités typique sur une pièce formée en positif (schématiquement)

1. marque de gélification ; 2. pli ; 3. partie mince ; 4. partie épaisse

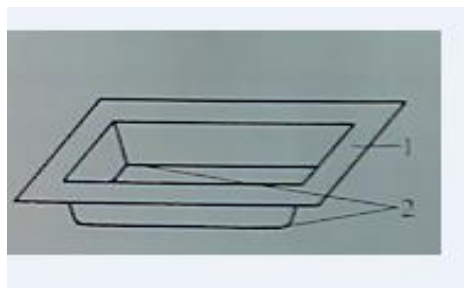


Figure II.5. particularités typiques sur une pièce formée en négatif

1. bord régulier ; 2. coins minces

Pour les pièces formées en négatif, il faut noter (figure II.5) :

- un bord épais (bridage),
- une épaisseur régulière du bord, sur toute la périphérie ;

- des coins minces,
- une démo-labilité pour les moule mono-empreint,
- les outils de formage négatif sont les plus souvent plus coûteux que les outils de formage positif,

II.1.3.Pression de formage résultante :

La netteté des contours de formage obtenue pour une pièce formée dépend non seulement de facteurs tels que la température de formage du semi-produit, son étirement et la température du moule, mais également et, pour une part importante, de la pression d'appui de la pièce formée chaude sur le moule.

Le drapage ou pré-étirement de la matière par le moule (figure II.6.a) exerce une pression dite « pression d'appui ». Le formage par le vide ou par pression d'air, en phase finale, exerce également, en complément, une pression dite « pression de formage » de sorte que, la pression résultante aux points de contact de la matière avec le moule, est la somme de ces deux pressions. Sur les parties chauffées du semi-produit qui ne sont pas encore en contact avec le moule après drapage et, qui s'opposent à l'étirement de la matière, s'exerce une « pression d'appui résultante » égale à la différence entre la pression de formage et la force de rappel du semi-produit pendant la phase de formage (figure II.6). Les pressions de formage usuelles sont en formage par pression d'air (surpression) :

- pour les pièces de grandes dimensions : de 2 à 3 Kg/cm² (2 à 3 bars),
- pour les pièces de petites dimensions ; jusqu'à 7 Kg/cm² (7 bars)

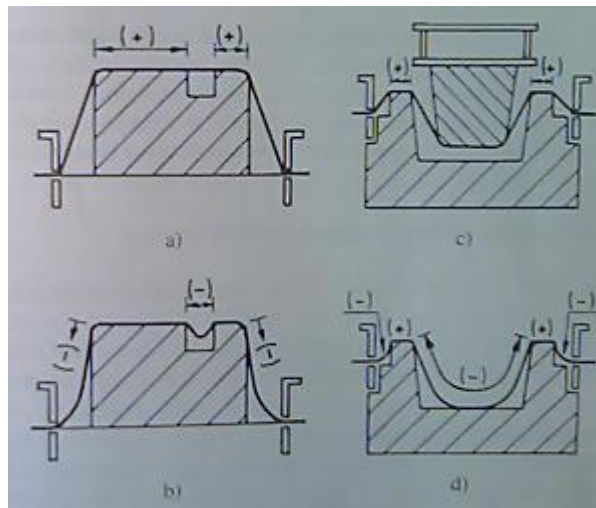


Figure II.6. Représentation schématique de la pression de formage résultante en tant que somme des pressions de formage d'un semi-produit ;

a) et **b)** moule positif ;**c)** et **d)** moule négatif ;(+)**surface de moule** sur lesquelles la pression de formage résultante est augmentée de la pression d'appui ;(-) **surface** sur lesquelles la pression de formage résultante est diminuée de la force de rappel du semi-produit.

En formage par le vide, les pression de formage sont plus faibles et dépendent de la pression atmosphérique locale. Avec de très bonnes pompes a vide et au niveau de la mer, la pression de formage est voisine de 0.98 Kg/cm² (environ 0.98 bar).

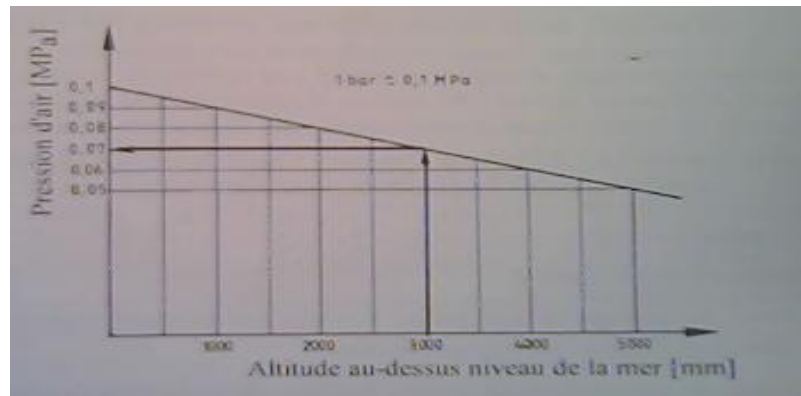


Figure II.7.influence de la pression d’air locale en formage par le vide, en relation avec la localisation de la machine de thermoformage au-dessus du niveau de la mer. [3]

Etant donné que la pression d'appui en formage par le vide correspond a la différence entre la pression atmosphérique appliquée sur un coté du semi-produit et le vide établi du coté opposé, celle-ci, même avec une pompe a vide optimale, dépend de la pression de l’air ambiant et de l’étanchéité. Pour une altitude croissante au-dessus du niveau de la mer, la pression de formage diminue (figure II.7).

II.1.4.Surface de formage, surface d’apport, bord de serrage :

A la surface de formage (figure II.8.a.c) correspond la surface comprise a l’intérieure du cadre de serrage. A la surface d’apport correspond (figure II.8.a.b) la surface de feuille étirée pendant le thermoformage. La nécessité d’avoir un bord de serrage, chauffé ou non, dépend des exigences que l’on a pour la pièce formée. Il s’ensuit :

- les parties du semi-produit non chauffée (par exemple un bord de serrage non chauffée) n’ont pas de retrait. Les parties formées, par contre, ont un retrait de transformation après formage ;
- un retrait, différent en plusieurs endroits, se traduit par une déformation de la pièce formée.

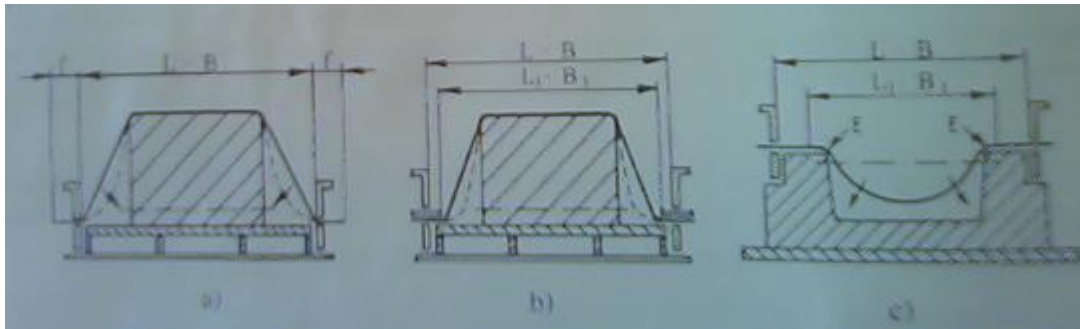


Figure II.8. surface de formage et de surface d'apport ; [3]

a) surface de formage équivalente à la surface d'apport en formage positif ; **b)** surface d'apport réduite au moyen d'un masque, en formage positif ; **c)** surface d'apport conditionnée par le mode de formage négatif

L.B : surface de formage ; **L1.B1** : surface d'apport ; **f** : bord de serrage ; **E** : début de drapage.

Pour la pratique, cela signifie :

-si le bord de serrage d'une pièce formée est détournée immédiatement après démoulage, son chauffage n'est pas nécessaire ;

-si le bord de serrage de la pièce formée doit demeurer, (procédé désigné « formage trimless »), il convient de chauffer celui-ci, par contact au moyen d'un cadre chauffant, à une température supérieure à la température du semi-produit.

II.1.5. Sections de dégazage, percages, ouïes, événements :

Pour évacuer l'air emmagasiné entre le plastique et le moule pendant le cycle de formage et ce, aussi rapidement que possible, par aspiration ou surpression, le moule doit être poreux ou bien comporter suffisamment d'évents percés ou ouïes de dégazage ;

II.1.6. Serre-flan et dévêtisseur :

Dans le cas où toute la surface de formage est occupée par un outil positif (moule multi-empainte figure II.9), il est préférable de répartir celle-ci en surfaces individuelles au moyen d'un serre-flan. Les espacements entre les segments individuels de l'outil peuvent être ainsi réduits. Les bulles individuelles permettent une meilleure répartition de l'épaisseur de paroi. Sur les machines à plaques, le serre-flan peut être remplacé par un piston supérieur. Les dévêtisseurs (figure II.10) facilitent le démoulage en maintenant la pièce pendant la phase de démoulage. Pour un semi-produit, tel que par exemple le PP, dont l'affaissement est important pendant le chauffage, un dévêtisseur peut servir de soutien dans une application avec un moule multi-empainte.

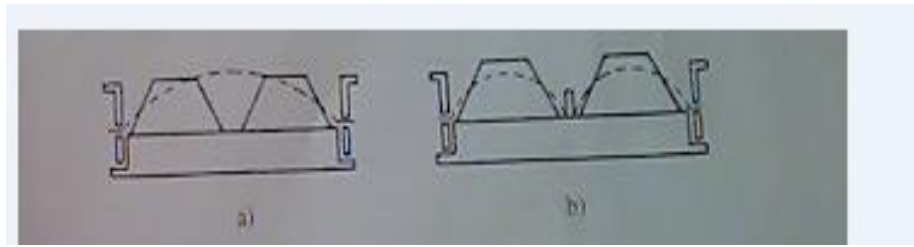


Figure II.9. bullage sans serre-flan sur moule deux empreintes ;b) bullage avec serre-flan sur moule deux empreintes.

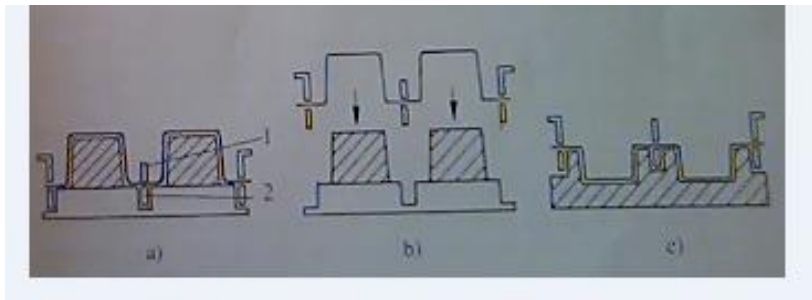


Figure II.10. dévêtisseurs et serre-flan comme aides de démoulage ; a) formage positif sur moule deux empreintes ;b) phase de démoulage ;c) formage négatif sur moule deux empreintes.

1. serre-flan ; 2. Dévêtisseurs

II.1.7. Dépouilles de démoulage :

En formage positif, le retrait de la pièce formée s'exerce sur le moule de formage ; en formage négatif, pour des moules mono-empreintes, le retrait de la pièce formée s'exerce dans la direction opposée du moule. Pour pouvoir démouler, les parois de l'outil de formage doivent avoir une pente. L'angle de la paroi par rapport à la direction de démoulage est appelé dépouille de démoulage (figure II.11). une dépouille de démoulage doit être choisie la plus grande possible.

Plus la dépouille est importante, d'autant est plus rapidement peut être opéré le démoulage ; le temps de cycle résultant est plus court. De même, le risque de déformation de la pièce formée pendant son démoulage est plus réduit. Dépouilles recommandée en formage positif et formage négatif :

$$\alpha = 3^\circ \text{ à } 5^\circ$$

$\alpha > 0.5^\circ$ pour un retrait $< 0.5\%$ et un démoulage lent.

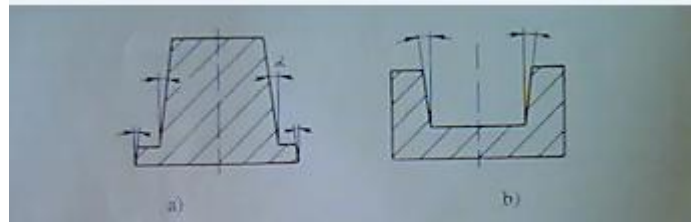


Figure II.11. dépouilles de démoulage ;a) formage positif ; b) formage négatif, outil mono-empreinte

II.8. Contre dépouilles et inserts libres :

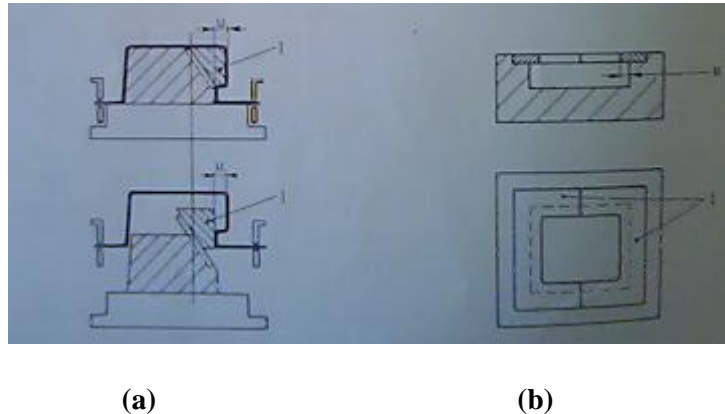


Figure II.12.a. outil de formage positif avec contre dépouille u, démoulage avec tiroir 1. haut) formage bas) démoulage

Figure II.13.b. outil négatif avec contre dépouille u, démoulage a la main avec insert libre 1. haut) coup. 2. bas) vue de dessus

Les contre-dépouilles sur une pièce formée (figure II.12 et II.13) ne peuvent être démoulées qu'au moyen d'inserts libres ou de tiroirs mobiles intégrés dans le moule.

II.1.9. Bullage, pré-aspiration, dégazage, pression compensée, mise à l'air libre :

Buller signifie étirer le semi-produit en formant une bulle par surpression (figure II.14). la pression de bullage est engendrée dans le caisson de soufflage et se situe le plus souvent en dessous de 0.03 bar. Pré-aspirer signifie préformer le semi-produit en formant une bulle par le vide (figure II.15 et II.16). En formage par le vide, le dégazage consiste à évacuer l'air contenu dans le moule de formage par dépression au moyen du vide.

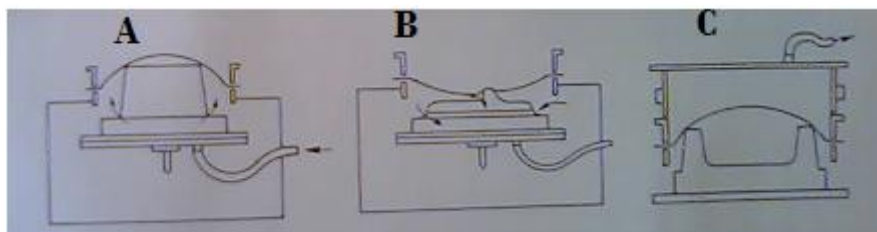


Figure II.14.A .formage positif avec bullage figure II.15.B. Formage positif avec pré-aspiration dans le caisson de soufflage. Figure II.16.C. formage positif-négatif avec pré-aspiration dans une cloche.

Aujourd'hui, sur toute machine à thermoformée standard, il est possible d'obtenir avant le démoulage une pression compensée. Dès la phase de formage achevée, en vue du démoulage, le vide ou l'air comprimé de formage doit être arrêté. L'équilibre de pression à l'atmosphère qui en résulte facilite le cycle de démoulage, le cycle de machine est notablement plus difficile à régler.

Pour le démoulage de pièces correspondant à des moules volumineux ou ayant une grande surface, il convient de souffler de l'air pendant le mouvement de démoulage. Cet air, venant occuper les volumes laissés vacants, permet de prévenir une éventuelle dépression causée par le mouvement du moule, dépression pouvant occasionner une déformation de la pièce. Le contrôle de l'admission d'air de démoulage constitue un cycle de dégazage ; la quantité d'air de démoulage doit être adaptée à la vitesse de démoulage.

II.2.technique de thermoformage :

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 au 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 côté 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'aides mécaniques tels que tiroirs, poinçons, le plus souvent, pour la prévention de plis pendant le démoulage. Mode type
-

II.2.1. 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 a 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 à force sur le profil du moule par pression atmosphérique. La pièce peut être démoulée lorsque la plaque est refroidie suffisamment.

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 formé. Le thermoformage sous vide est généralement réservé aux formes simples et peu profondes. Voir les figures II.17a.17b.17c.

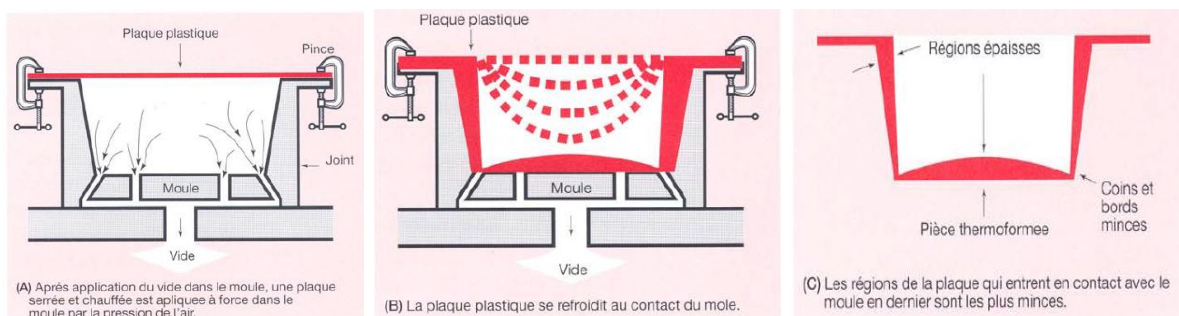


Figure II.17. thermoformage par sous pression.

II.2.2. Drapage :

Le drapage est similaire au thermoformage sous vide, si ce n'est qu'après avoir été mise sur cadre et chauffée, la plaque est étirée mécaniquement et soumise ensuite 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. Le drapage peut être appliqué aux articles jusqu'au rapport 4 de profondeur sur diamètre. 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.

Le drapage peut aussi être réalisé en utilisant le seul effet de la gravité. Pour le thermoformage en plusieurs empreintes, il est préférable d'utiliser des moules négatifs qui nécessitent moins d'espace que les moules positifs. Voir la figure II.18a.18b.18c

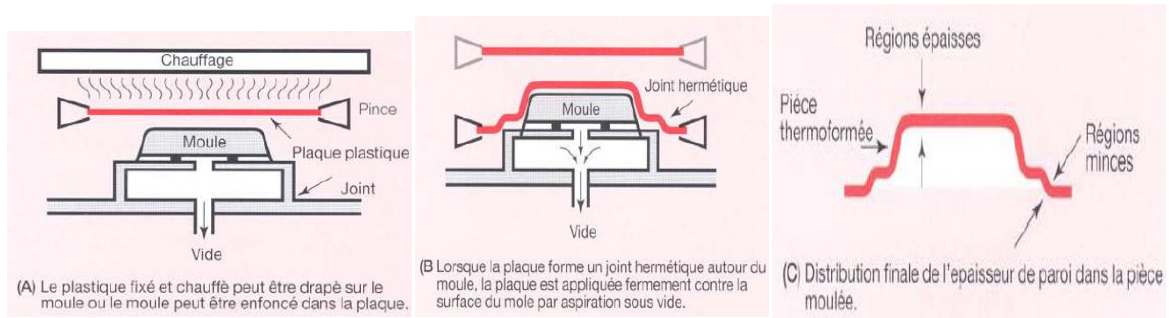


Figure. II.18. Drapage

II.2.3. 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 II.19a.19b)

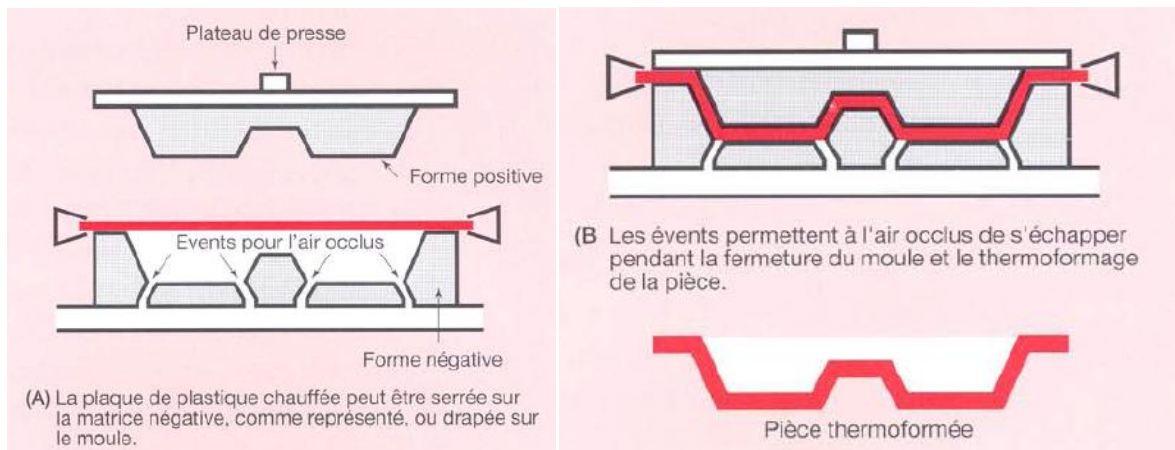


Figure II.19 . Thermoformage par moule et contre-moule

II.2.4. Thermoformage en bulle sous pression avec poinçon de pré-étirage :

La technique du thermoformage en bulle sous pression avec poinçon de pré-étirage 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 II.20a.20b.20c.20d).

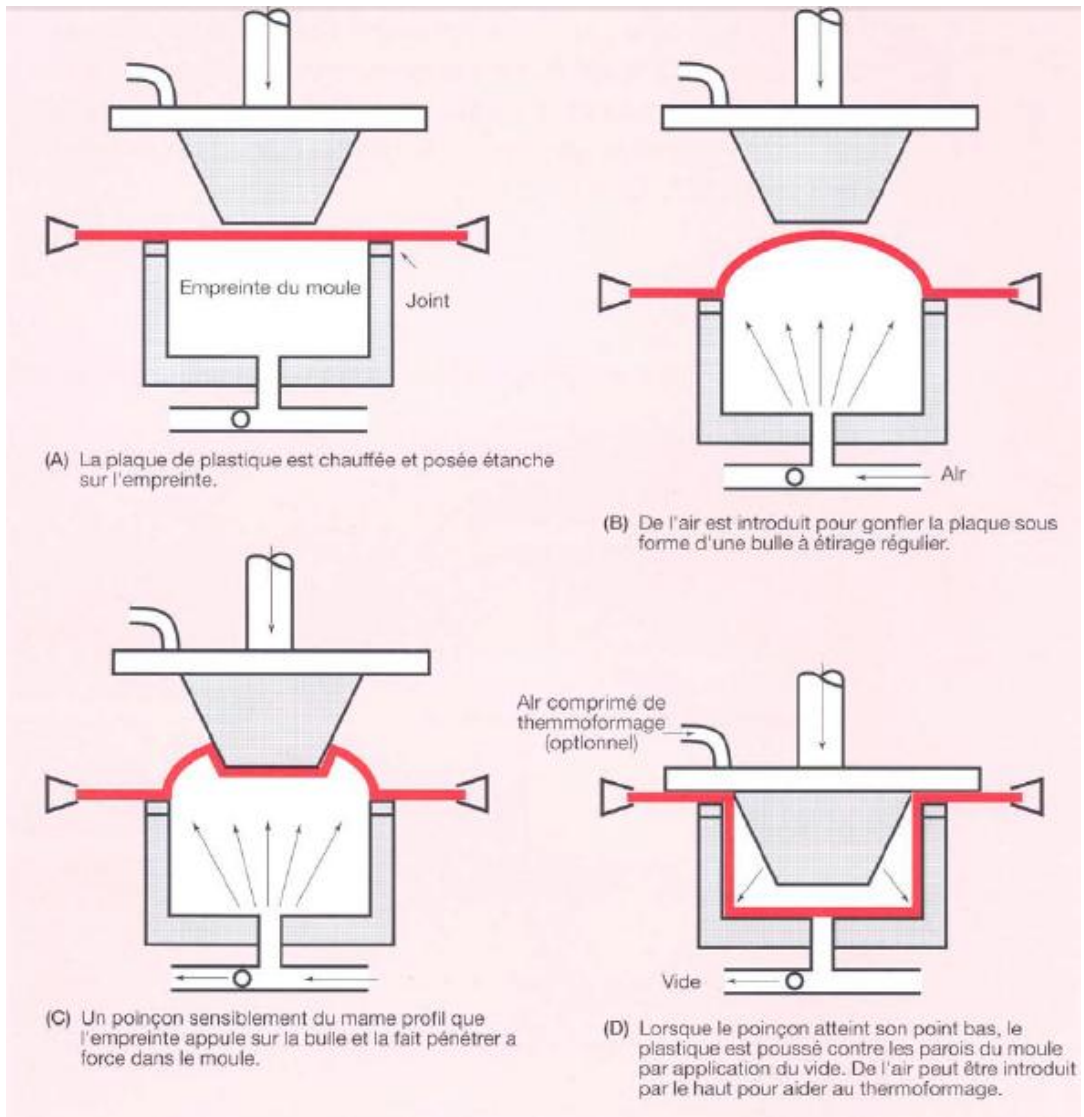


Figure II.20. Thermoformage en bulle sous pression avec poinçon de pré-étirage

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. Le moule négatif doit être muni d'évents pour permettre l'échappement de l'air occlus.

II.2.5. 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 à force la plaque contre les parois du moule. On peut jouer sur la forme et la vitesse du poinçon pour améliorer la distribution de la matière (voir la figure II.21a.21b.21c.21d).

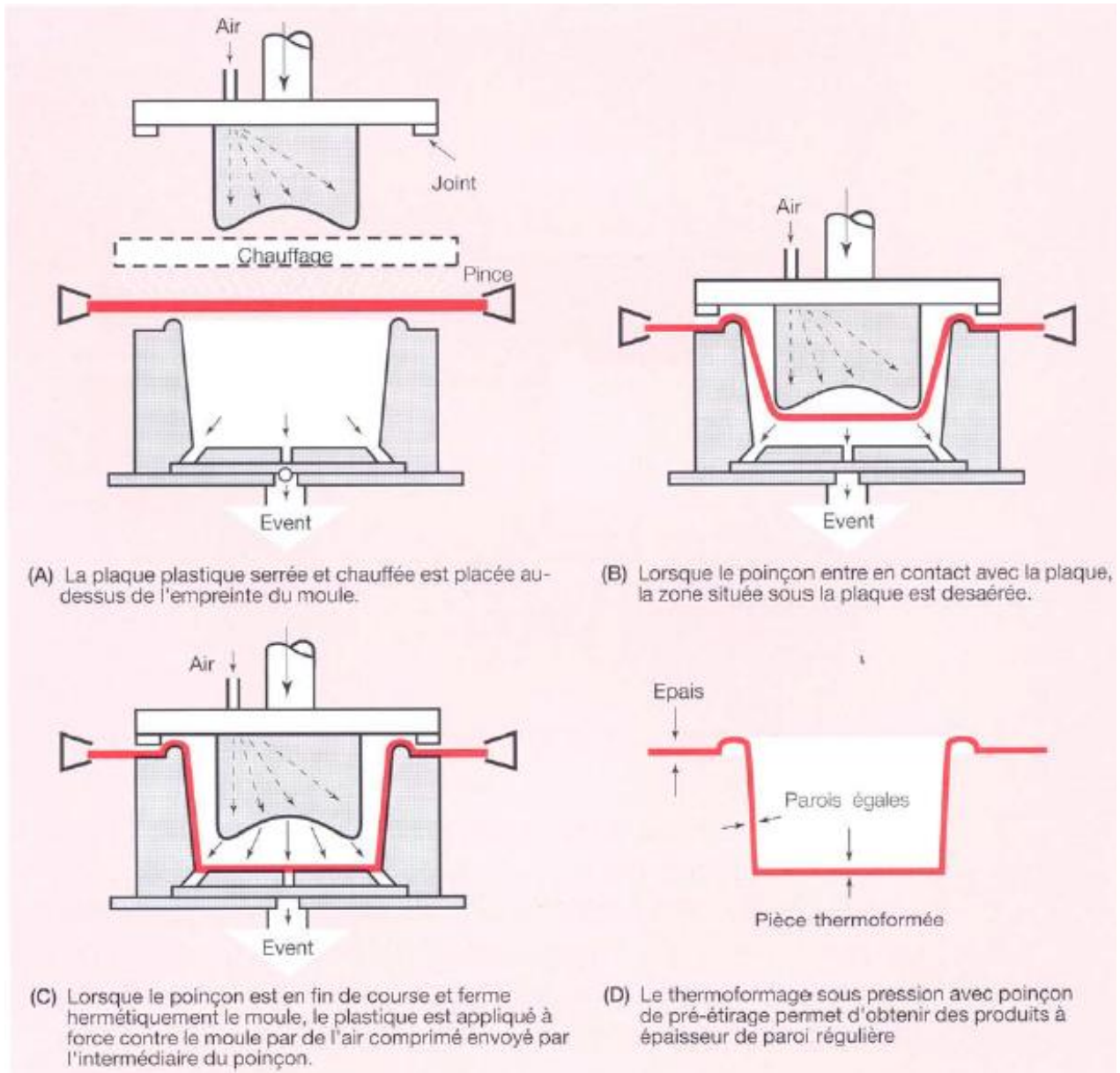


Figure II.21. Thermoformage sous pression avec poinçon de pré-étirage

II.2.6. 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'empreint, 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.

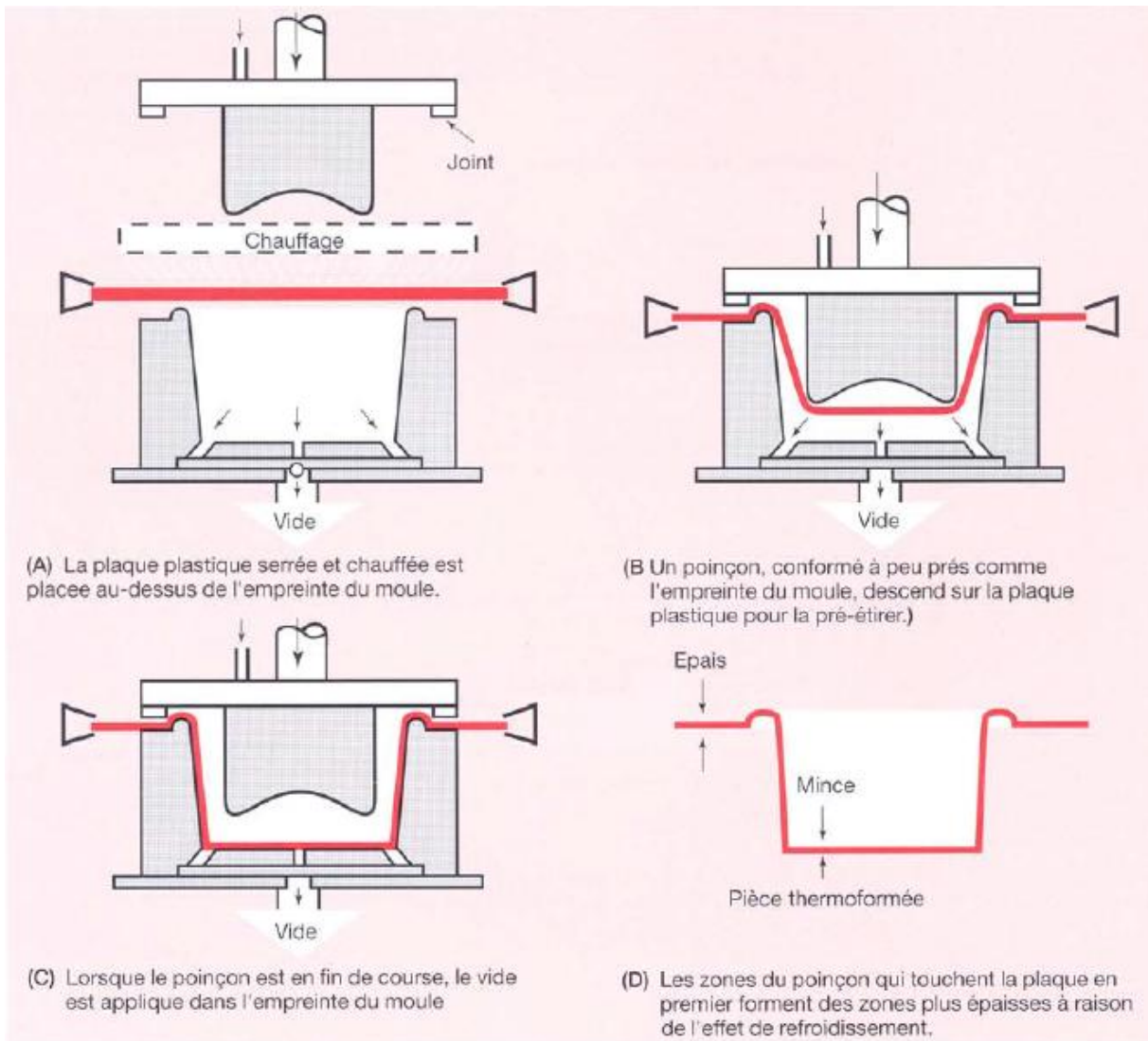


Figure II.22. Thermoformage sous vide avec poinçon de pré-étirage

II.2.7. Thermoformage en relief profond sous vide :

Pour le thermoformage en relief profond sous vide, la plaque chauffée est 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 figures 23a.23bet23c).

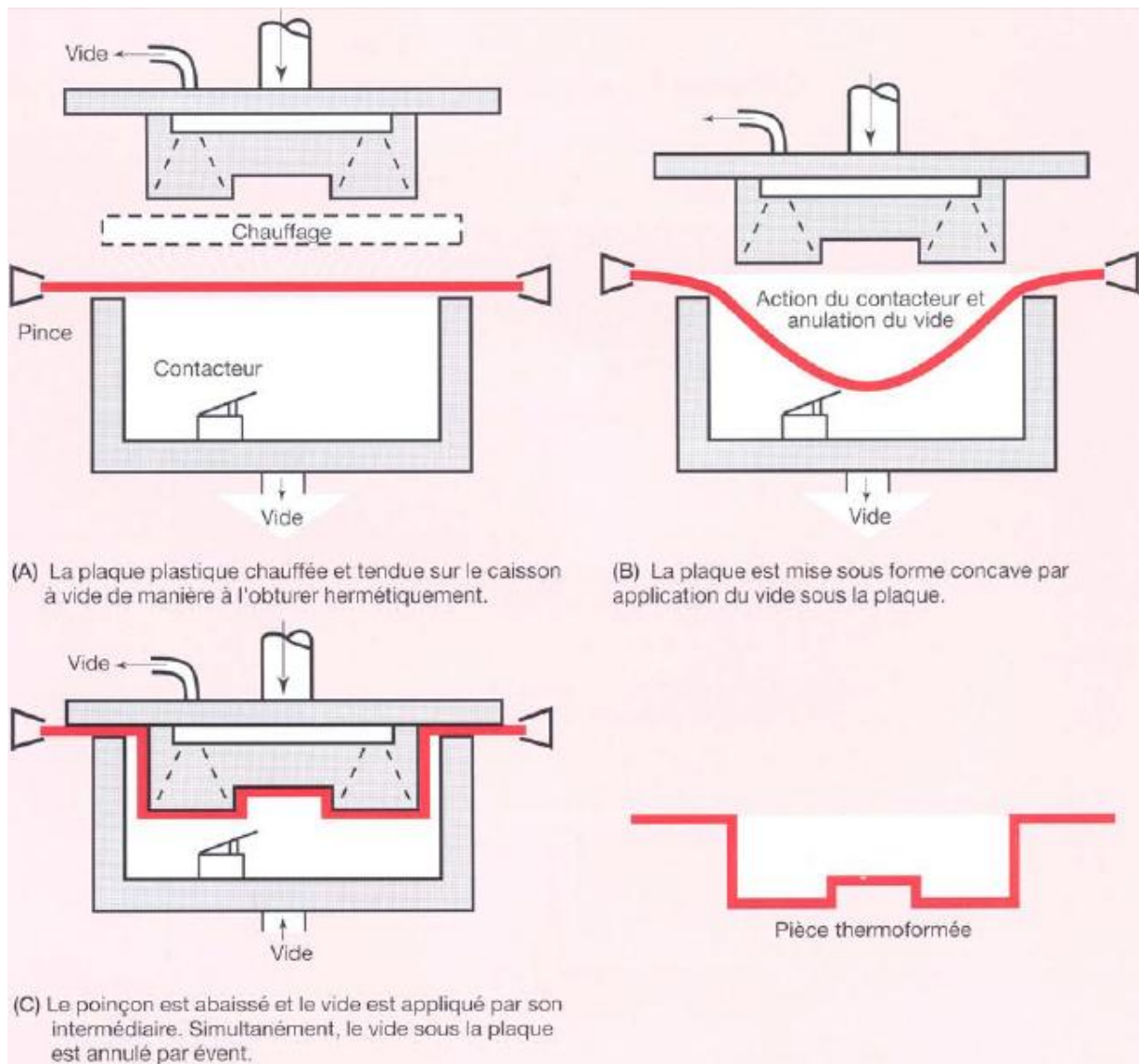


Figure II.23. Thermoformage en relief profond sous vide

II.2.8. 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 et appliqué au moule positif et de l'air sous pression est envoyé dans l'empreinte négative. La plaque chauffée se replis alors sur le moule positif. Ce procédé permet de réaliser des emboutissages profonds et de former des pièces compliquées ; toutefois, le matériel est complexe onéreux (voir figures II.24a.24b.24c.24d).

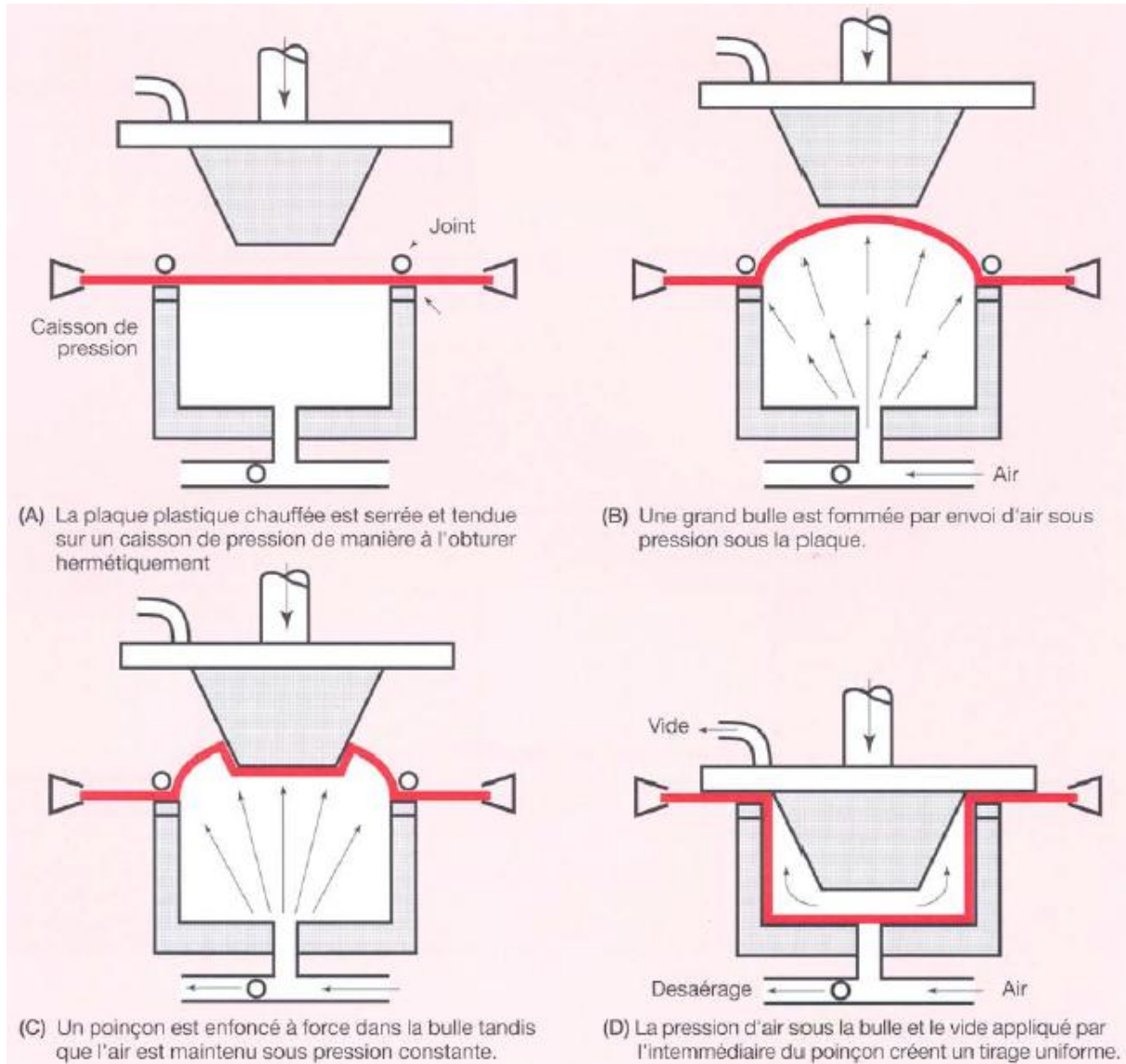


Figure II.24. Thermoformage en relief profond sous vide avec bulle sous pression

II.2.9. 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 à force la plaque de thermoplastique dans un moule négatif. Les figures II.25a.25b.25c illustrent les étapes du procédé.

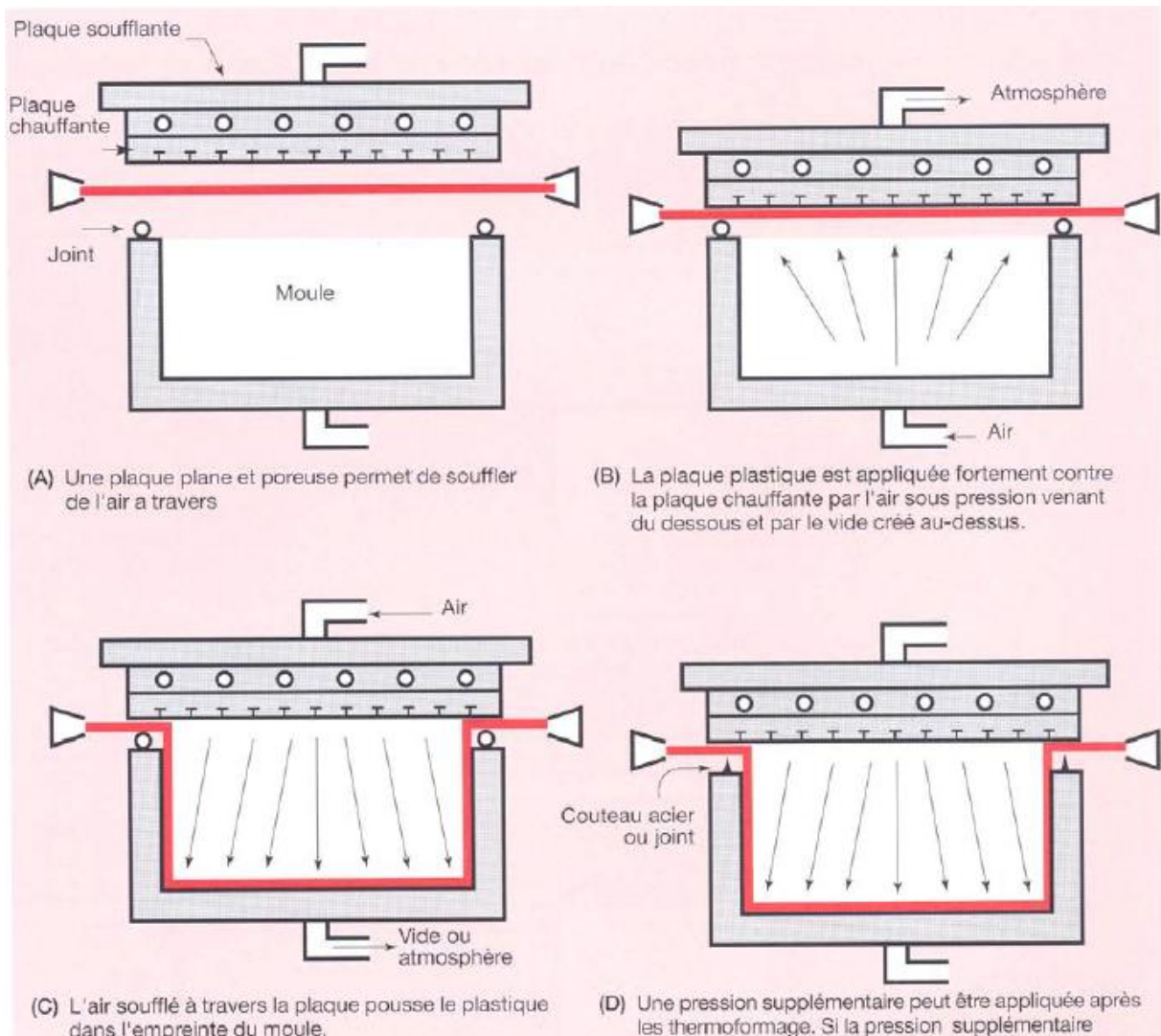


Figure II.25. Thermoformage sous pression en moule fermé

II.2.9. Thermoformage libre :

Pour le thermoformage libre, des pressions d'air de l'ordre de 2.76 Mpa peuvent être utilisées pour souffler une plaque de PET (par ex) à travers la silhouette d'un moule négatif. 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 II.26).

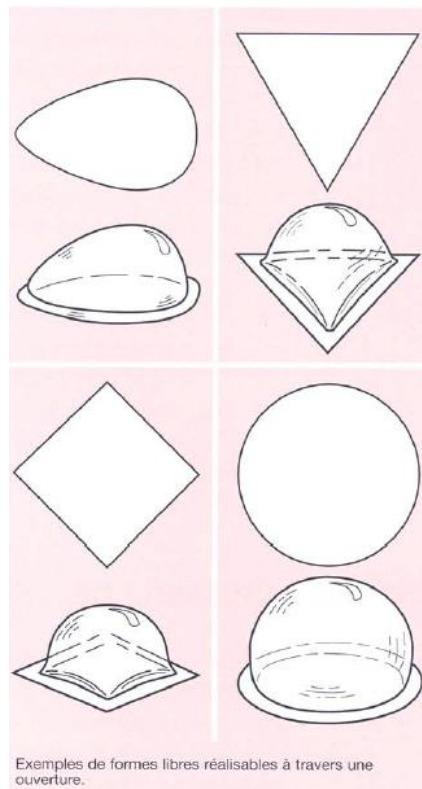


Figure II.26. thermoformage libre.

II.2.10. 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 à celui du 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.

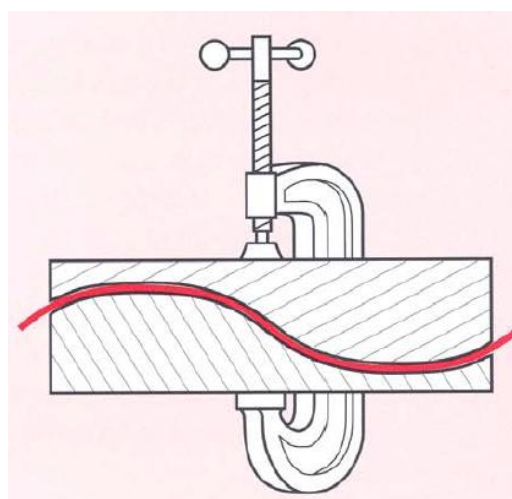
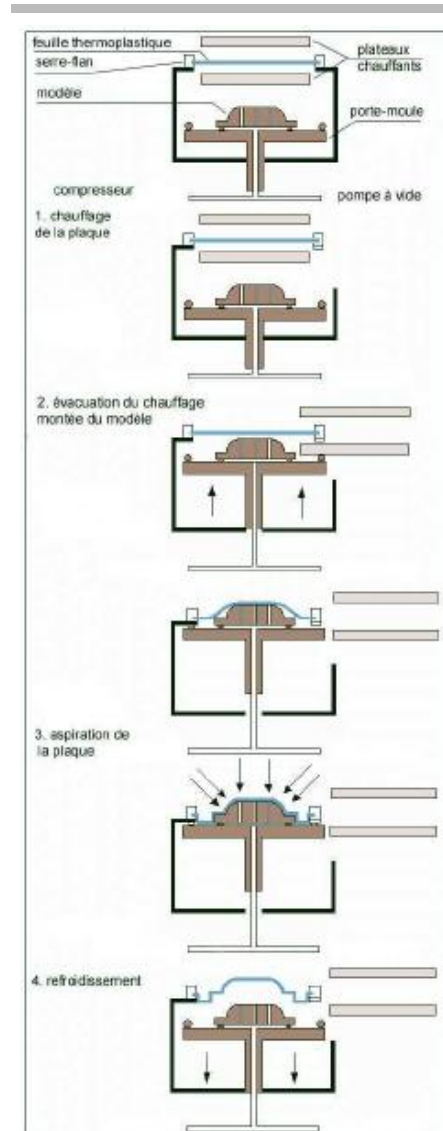


Figure II.27. Thermoformage mécanique

Dans ce projet nous nous intéresserons au thermoformage par le vide pour la fabrication de la contre porte. Les différentes étapes du thermoformage par le vide sont:

- Chauffage de la feuille en ABS (phase 1).
- Une fois la température optimum de thermoformage (T_g) du matériau atteinte, on retire les appareils de chauffage puis le plateau et le moule sont élevés en position de formage (phase 2).
- Le formage est réalisé par pression sous vide (Phase 3).
- Une fois la pièce formé, elle refroidit en restant sur le moule, puis elle est démoulée et évacuée (phase 4).
- Phénomène de retrait (phase 4): Même si le refroidissement de l'objet est achevé avant le démoulage, la mobilité des chaînes moléculaires à la température ambiante va conduire sur une période de quelques minutes à plusieurs heures à un léger retrait dimensionnel.

Les conditions de refroidissement (temps et vitesse) vont influencer sur le retrait. Le retrait est aussi la cause des pièces « voilées ». Un refroidissement efficace et homogène en atténuera l'effet.



Chapitre III

Démoulage et finition des pièces thermoformées

III.1. Démoulage

Le terme démoulage signifie (extraire la pièce thermoformée hors de l'outil de thermoformage). Les facteurs suivants influencent fortement la phase de démoulage :

- Température de démoulage,
- Dépouille de démoulage,
- Contre-dépouille,
- Formage positif ou négatif,
- Equilibre des pression/air de démoulage,
- Vitesse de démoulage,
- Aides au démoulage dans l'outil,
- Structure de surface de l'outil,

III.1.1.Température de démoulage : [3]

Une pièce ne peut être démoulée que lorsque ses parties les plus épaisses sont suffisamment refroidies pour permettre de retirer celle-ci, à l'état stable, hors du moule. Lorsque la pièce formée est encore trop chaude au démoulage, elle se déforme ; si par contre, elle trop froide, le temps de cycle est inutilement plus long que nécessaire.

Avec les moles positifs, en outre, un prolongement du refroidissement de la pièce rend son démoulage plus difficile en raison du rétreint de celle-ci sur le moule, rétreint dû au retrait de la matière. Lorsque la pièce est démoulée à une température plus élevée, ses dimensions sont plus grandes en raison d'une dilatation encore plus importante et son démoulage est en facilité. Pour les moules positifs, cela se traduit par un rétreint de la pièce sur le moule et pour les moules négatifs, par un décollement de celle-ci des parois du moule.

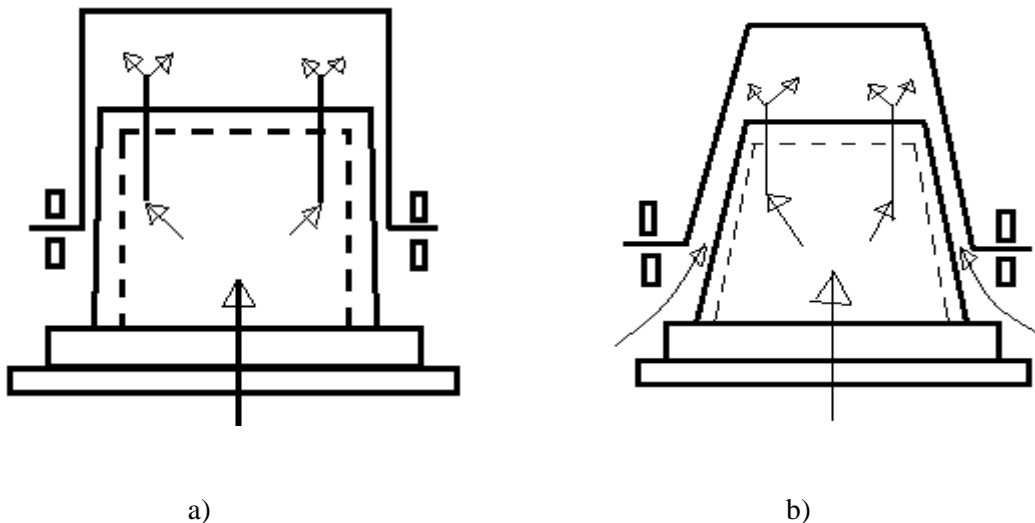
Pour un formage positif, un refroidissement trop poussé sur une pièce, en polystyrène standard ou acrylique (PMMA), par exemple, peut créer une amorce de déchirement au démoulage ou même avant le démoulage. D'autres plastiques comme par exemple le PC, dans des conditions analogues, ne se déchirent pas mais leur rétreint sur le moule est tel que leur démoulage est rendu difficile, sinon impossible. La pièce formée doit être découpée sur le moule, c'est-à-dire détruite quand la dépouille de démoulage est trop faible.

III.1.2.Exécution d'outil pour un bon démoulage

La figure III.1 montre qu'avec de faible dépouilles de démoulage, l'aide de démoulage doit s'écouler à travers l'outil, sur toute la course de démoulage .avec des dépouilles plus importantes, l'air de démoulage à travers l'outil est également nécessaire, cependant, l'ouverture de plus en plus grande

entre la pièce formée et le moule, sur la course de démoulage, facilite l'écoulement de l'air. Dans la pratique, il en résulte que :

Des dépouilles de démoulage trop faibles nécessitent une adaptation précise du flux d'air de démoulage avec la vitesse de démoulage. Cette adaptation est d'autant plus difficile que la vitesse de démoulage est grande. Avec de faibles dépouilles, seul un démoulage à vitesse réduite est possible ; Dans le cas où la pièce formée doit avoir des parois avec de faibles dépouilles, un formage négatif est préférable à un formage positif compte tenu de la plus grande facilité de démoulage ;



**Figure III.1. Influence des dépouilles sur les démoulages ; a) dépouille $< 0,5^\circ$;
b) dépouille $> 0,5^\circ$**

En formage négatif, sur des moules simples. Des parois verticales (0° de dépouille) sont réalisables quand le démoulage est exécuté très lentement, seulement pour des cas particuliers et en faible série. Une paroi verticale de 0° de dépouille a été réalisée pour une pièce similaire à un pot, d'une contenance d'environ 1 litre,

Pour les moules positifs, une dépouille inférieure environ $0,5^\circ$ doit être évitée. Une fois verticale avec une dépouille de 0° sur un moule positif est possible quand la paroi qui lui est opposée a une grande dépouille.

En générale, des dépouilles de démoulage d'au moins 3 à 5° doivent être retenues.

III.1.3. Equilibre des pressions et air de démoulage :

Pendant le temps de refroidissement, la pression de formage (vide ou air comprimé) maintient la pièce formée en pression sur les parois du moule. Avant la séparation de la pièce avec le moule par l'air de démoulage (air comprimé), la pression de formage (vide ou air comprimé) est

interrompue et le conduit de vide ou d'air comprimé raccordé au moule dégazé, de sorte qu'un équilibre avec la pression atmosphérique est établi. Ceci libère la pièce formée et crée, en même temps, une condition initiale reproductible pour la commande de l'air de démoulage.

Sur les outils travaillant uniquement en formage par pression d'air, il n'est pas utilisé de démoulage par l'air. Les pièces sont démoulées, mécaniquement à l'aide d'éjecteurs ou autres aides mécaniques de démoulage, puis l'air circule librement entre l'outil et les pièces formées.

III.1.4. Vitesse de démoulage :

Des séquences rapides sont plus difficiles à contrôler que des séquences lentes, ce qui est vrai également pour la circulation de l'air d'air démoulage, une insuffisance, aussi bien qu'un excès d'air de démoulage, pour une vitesse de démoulage donnée, déforment la pièce. Pour cette raison il faut privilégier une construction d'outils avec laquelle la plus grande quantité possible d'air de démoulage peut circuler librement.

III.1.5. Aides de démoulage :

La grande section de passage du dégazage rapide avec vanne tarée, illustrée figure 2, facilite le démoulage. Les vannes de ce type sont fabriquées dans des diamètres compris entre 40 et 80mm environ, pour augmenter les sections d'écoulement d'air, des buses d'un diamètre de 4 à 12mm sont également utilisées.

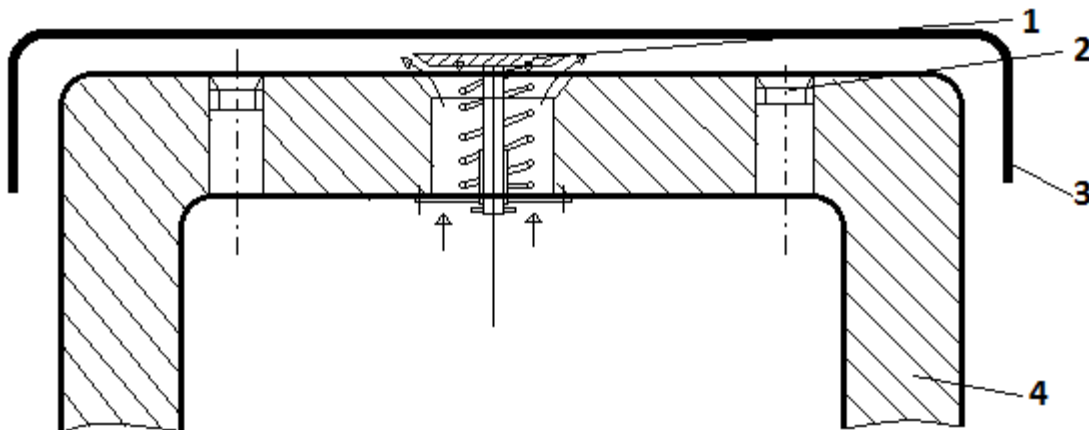


Figure III.2. vanne tarée pour dégazage rapide

1. vanne ; 2. Buse ; 3. Pièce formée ; 4. Outil

Des aides mécaniques, dans un outil et dans un cadre, sont illustrées par les figures III.3 et III.4. Le serre flan de la figure III.4, bien qu'éventuellement utilisable pour le démoulage, sera employé

uniquement dans le cas où une meilleure répartition de l'épaisseur de paroi, au voisinage du bord de la pièce pourra être obtenue.

Des pistons comme aide de démoulage, utilisés principalement pour empêcher une déformation, sont représentés figure III.5. Pour le thermoformage de pièces plates ayant une bonne répartition de l'épaisseur de paroi, il n'est pas besoin de piston d'emboutissage. Ces parois toutefois peuvent être utilement employées comme aides au démoulage pour empêcher des déformations sur les pièces au moment de leur séparation avec le moule.

Dans le cas de pièces difficilement déroulables, quel que soit le débit adopté pour l'air de démoulage celles-ci sont généralement déformées. Ici un piston, sous la forme d'un contre-moule au contour aussi fidèle que possible, sera utile. Après le refroidissement, le piston descend à une position distante de quelques millimètres des pièces formées (1 à 3 mm) ; les pièces sont soufflées contre le piston au moyen d'une grande quantité d'air, sans que celles-ci puissent se déformer. Le moule de formage se sépare ensuite des pièces.

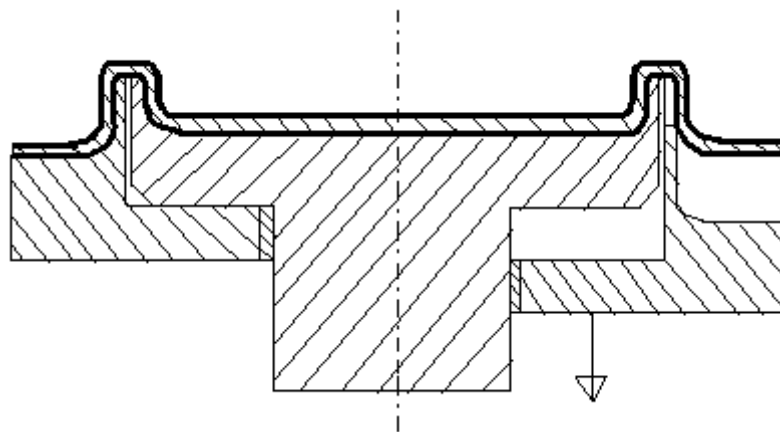


Figure III.3. Outil avec éjecteur comme aide au démoulage, (schématique) ; gauche : éjecteur en position formage ; droite : éjecteur en position démoulage

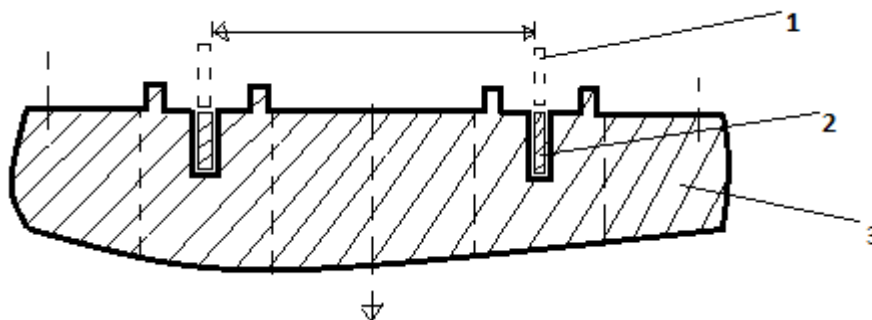


Figure III.4. devêtisseur comme aide au démoulage, fixé sur le cadre inférieur

1. serre-flan ; 2. devêtisseur ; 3. Outil

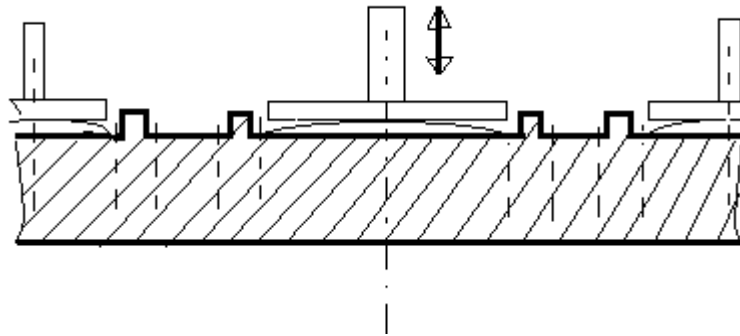


Figure III.5. Pistons, aide au démoulage, pour pièce plats

1. Outil

Remarque : lorsque des pistons d'emboutissage sont utilisés, aussi bien pour le formage que pour le démoulage, il faut distinguer : [3]

- Les automates pour bobines, sur lesquels le refroidissement de la pièce formée est assuré exclusivement au contact de l'outil ;
- Les machines à plaques, plus rarement les automates pour bobines, sur lesquelles le refroidissement de la pièce formée est assuré par la partie supérieure avec de l'air refroidi. Pendant le refroidissement, le piston supérieur ne doit pas se trouver dans le flux d'air correspondant ; pour cette raison, et avant le début de cette séquence, il est renvoyé en piston haute. Ceci induit pour certaines applications, deux descendes du piston dans le cycle : la première pour le formage, la seconde pour le démoulage.

Les cas d'application pour la (deuxième descende du piston) sont les pièces difficilement démoulables, celles par exemple, qui ont des parois verticales, une rigidité faible et une forte tendance à la déformation, ou bien les pièces avec des contre-dépouilles.

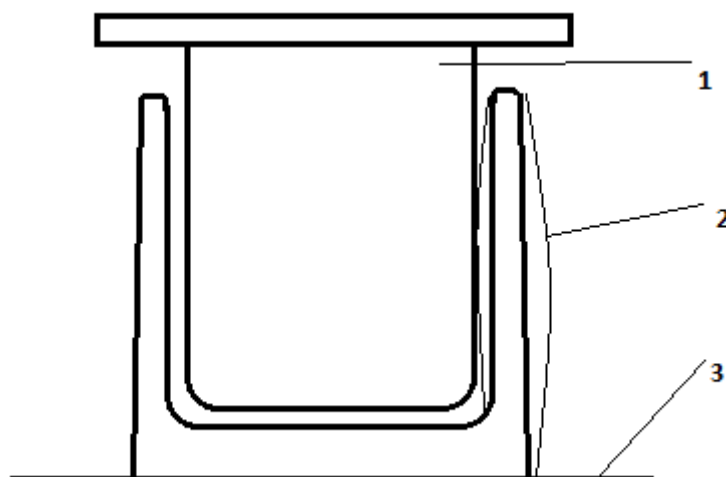


Figure III.6. Piston d'emboutissage comme aide de démoulage pour moule mono-empreinte

1. Piston supérieur ; 2. Contour pièce au démoulage ; 3. pièce

III.1.6. Déroulement de cycle :

- emboutissage avec piston supérieur,
- remontée du piston supérieur,
- refroidissement,
- nouvelle descente du piston supérieur dans le moule (deuxième descente),
- démoulage, l'air de démoulage plaque la pièce formée contre le piston supérieur,
- séparation du moule avec la pièce formée,
- remontée du piston supérieur,
- ouverture du cadre de serrage,
- déchargement de la pièce finie,

Des structures de surfaces brutes, sur les moules, sont plus favorables pour le démoulage que des structures des surfaces lisses, car l'air de démoulage peut circuler plus rapidement. Au demeurant, pour les surfaces avec un grain prononcé, il convient d'avoir une dépouille pour les cotés, si possible supérieure à 5° car sans cela, le grain risque d'être endommagé au démoulage.

III.1.7. Démoulage de contre- dépouilles :

Avec des plastiques appropriés, les petites contre-dépouilles peuvent être démoulées sans pièce mobile libre. La figure III.7 illustre, sur un pot empilable avec un bord de scellage, une contre-dépouille qui peut être démoulée sans l'aide d'une pièce mobile rapportée ou d'un tiroir.

Si la contre-dépouille est trop importante (figure 8), des blanchiments ou des déformations permanentes surviennent, pour certains plastiques, en raison des allongements sur la pièce formée. Un blanchiment résulte de modifications dans la pigmentation des pièces colorées dans la masse ou encore, pour les pièces transparentes, de modifications de la transparence en une couleur blanchâtre. La cause de cette modification, est un allongement excessif par pliage à une température inférieure à la température de ramollissement (température de la transition vitreuse). Les PS-HI et ABS sont sujets à ce phénomène de blanchiment.

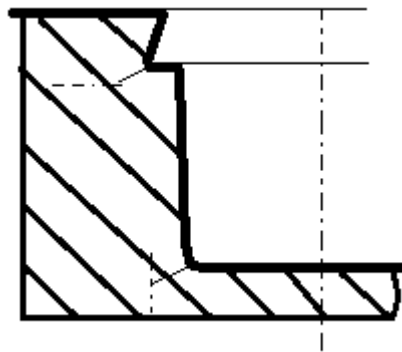


Figure III.7. Démoulage en force d'une contre-dépouille grâce à la déformation élastique de la pièce formée

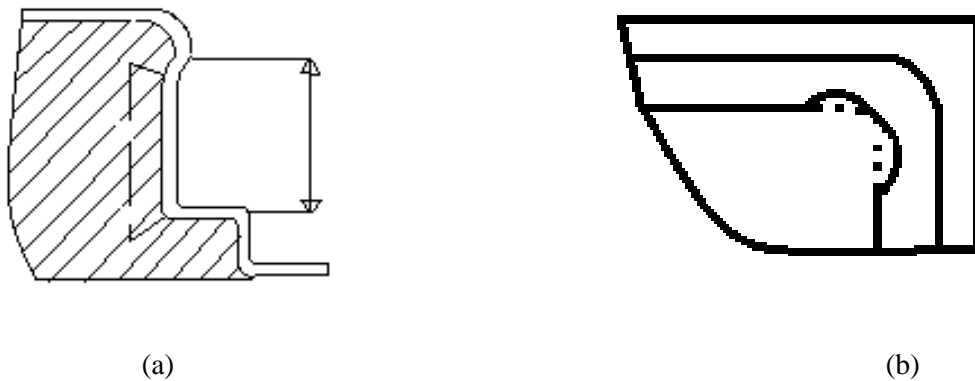


Figure III.8. Démoulage en force d'une contre-déouille avec rupture et blanchiment en raison d'un allongement excessif de semi-produit ; a) représentation en coupe ; b) vue de dessus

III.1.7.1. Longueur de la rupture avec blanchiment :

Une autre possibilité pour le démoulage de contre-déouilles est le basculement de l'outil (figure III.9). Quand la géométrie et la rigidité de la pièce formée le permettent, le basculement de l'outil peu intervenir pendant la descente de la table. Une charnière est montée sur le coté sans contre-déouille. Afin d'amortir le choc de l'outil à sa retombée après démoulage et, suivant le poids de celui-ci, des tampons caoutchouc ou un amortisseur sont utilisés (figure III.9)

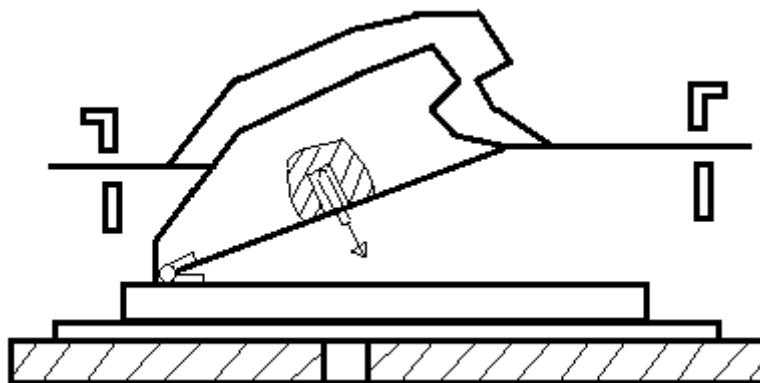


Figure III.9. Démoulage de contre-déouilles par basculement de l'outil

Les contre-déouilles, sur les pièces formées avec une feuille plastique souple, peuvent être démoulées au moyen d'une cloche ; le déroulement du cycle pour les machines à plaques est illustré à la figure III.10.

- thermoformage de la contre-déouille,
- refroidissement,

- la pièce est appliquée contre la cloche par l'air de démoulage,
- démoulage par la descente de l'outil,

Remarque : la cloche doit être suffisamment grande pour permettre un dégagement libre de la contre-dépouille pendant le démoulage. [3]

Pour les petites séries réalisées sur les machines à plaques, les contre-dépouilles peuvent être démoulées au moyen d'inserts libres mis en place retirés manuellement (figure III.11)

Déroulement du cycle :

- refroidissement,
- ouverture du cadre supérieur,
- retrait manuel de la pièce formée avec l'insert. Important : la table demeure en position haute,
- remise en place de l'insert dans l'outil (éventuellement utiliser un deuxième insert identique),
- descente de la table,
- mise en place d'un nouveau flan plastique,
- fermeture du cadre et de la grille de protection,
- chauffage
- formage

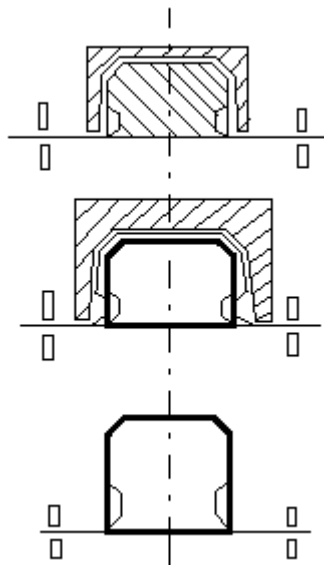


Figure III.10. Démoulage de contre-dépouilles avec cloche auxiliaire pour les feuilles souples

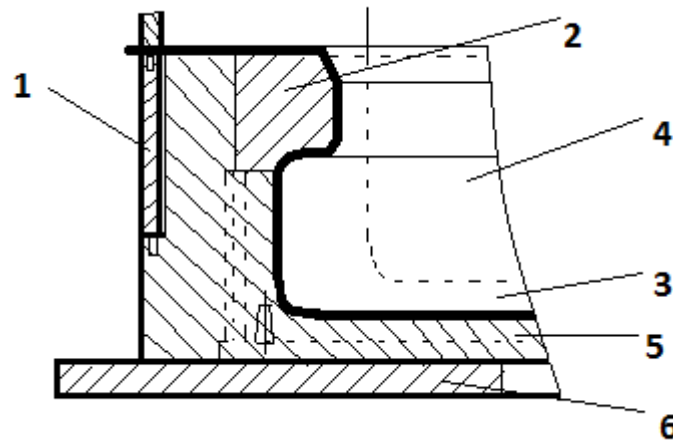
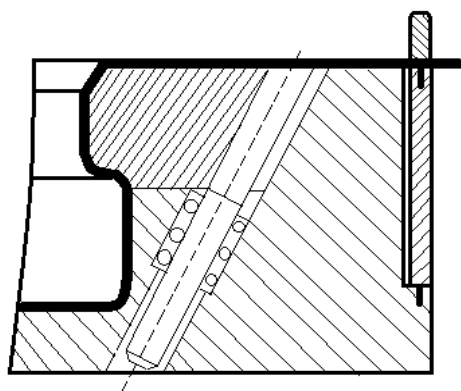


Figure III.11. Outil de formage avec insert manuel

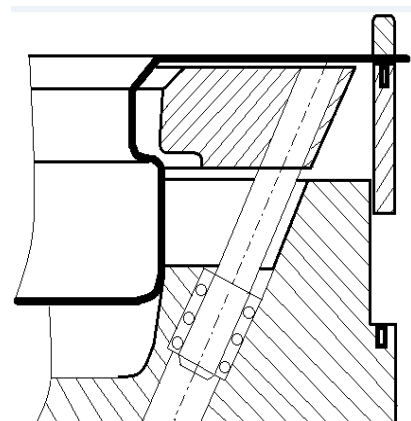
1. cadre ; 2. Insert, plusieurs par contre-dépouille continue ; 3. Pièce formée ; 4. Contour piston sup ; 5. Outil négatif

La figure III.12 illustre le démoulage de contre-dépouilles à l'aide de tiroirs actionnés par la pièce formée pendant le démoulage. A la fin du temps de refroidissement et après mise en route de l'air de démoulage, cadre fermé, l'outil de formage se retire de la pièce formée maintenue par le cadre, et actionne simultanément les tiroirs. Pour ce type de démoulage, la pièce formée doit avoir une stabilité suffisante.

Remarque : quand la rigidité de la pièce formée est trop faible pour actionner de tels tiroirs, leur commande doit être assurée, en fonction du temps ou de la course, par un dispositif approprié. La machine de thermoformage doit être équipée dans ce cas, d'une (commande pour tiroirs).



a)



b)

Figure III.12. Outil avec tiroirs actionnés par la pièce formée ;

a) En position thermoformage

b) En position démoulage

III.2. Finitions des pièces thermoformées :

Les pièces thermoformées, dans la majorité des applications, doivent faire l'objet d'un travail de finition. Pour les pièces technique, le travail de finition peut représenter jusqu'à 80% des coûts totaux de fabrication. Une grande partie des travaux de finition peut être effectuée, en ligne, dans le déroulement du process d'une installation complète car les installations de ce type ont une construction modulaire.

Les travaux de finition les plus importants sont :

- la séparation des pièces formées, découpe dans un plan ou découpe 3-D.
- l'ébavurage,
- l'assemblage par collage, soudure, scellage, vissage, rivetage,
- le renforcement,
- les traitements de surface.

III.2.1.Séparation des pièces formées par découpe dans un plan :

La figure III.13 montre deux possibilités pour la découpe, dans un plan, d'un bord de serrage ; le tableau III.1 donne une liste des matériels pour la découpe de pièces formées avec les positions de coupe possibles.

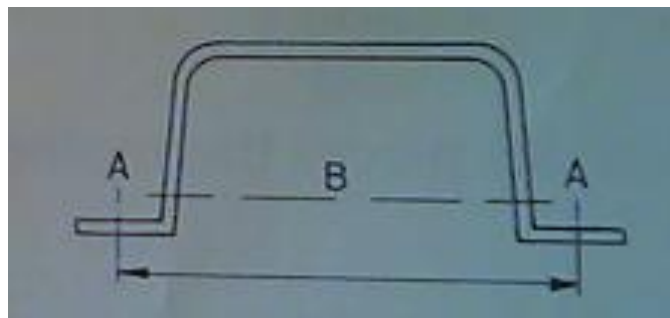


Figure III.13.découpe de séparation du bord de serrage ; position de coupe A et B

Equipement de coupe	Position de coupe (cf. fig. III.13)
Cisaille (seulement pour les thermoplastes tendres)	A
Scie vertical	A
Scie circulaire	A
Egohine	A et B
Toupie manuelle à fraise conique ou disque ⁽¹⁾	A et B
Robot 2-5 axes	A et B
Scie horizontale	B
Défonceuse	A
Découpeur a cylindre (outils à filets) ⁽²⁾	A
Presse à sommier ⁽³⁾	A
Outil de découpe par cisaillement, poinçon-matrice	A

1. guidage par gabarit ou dispositif similaire recommandé,
2. recommandé pour des épaisseurs, au point de coupe, jusqu'à 1,2 mm ; qualité moins bonne pour les épaisseurs supérieures
3. jusqu'à 2 mm, au point de coupe, avec outils de découpe chauffés.

Tableau III.1. Possibilités pour la découpe de pièce formées en un plan [3]

La découpe d'un bord de serrage au moyen d'une scie horizontale est illustrée figure III.14.1a la qualité de coupe et la formation de bavures, avec la découpe par scie a ruban, dépendant beaucoup de la denture et de l'affûtage du ruban, de ses vitesse de coupe et d'avance et également de son guidage et de celui de la pièce formée. Indépendamment de l'épaisseur matière au point de sciage, la hauteur du ruban par rapport au tapis du convoyeur ne doit pas être inférieure a 6 mm. Une scie ne peut pratiquement pas travailler sans bavure. Une coupe avec une bavure « soudée » a le souvent pour origine :

- une vitesse d'avance trop faible,
- une denture insuffisamment avoyée,
- une denture émoussée.

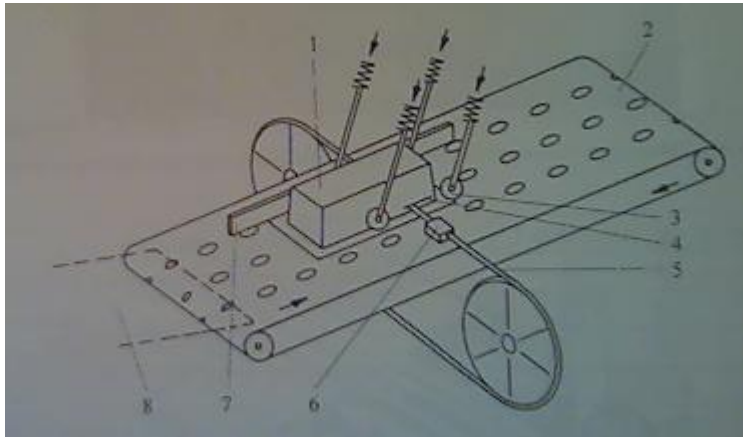


Figure III.14. Scie horizontale à ruban

1. pièce thermoformée ; 2. Convoyeur avec tapis a trous pour aspiration des copeaux ; 3. Serre-flan télescopique avec galet d'appui ; 4. Coupe de sciage ; 5. Ruban denté ou lisse ; 6. guidage du ruban ; 7. Butée ; 8. Rampe de déchargement de la thermoformeuse (pour liaison)

III.2.2. Découpe poinçon-matrice :

Les outils de coupe poinçon-matrice (figure III.15) donnent une très bonne qualité de coupe pour des jeux d'outils adéquats à partir d'une épaisseur de matière de 0.15 mm . Pour les épaisseurs importantes, la qualité de coupe dépend beaucoup de la nature du plastique à découper.

Les avantages des outils poinçon-matrice sont :

- une longue durée de vie, dépendant de la nature du plastique à découper,
- une grande qualité de coupe.

Leurs points défavorables sont :

- leur coût relativement élevé,
- leur inadéquation pour les films très minces $< 0.1 \text{ mm}$,
- les problèmes de coupe avec les feuilles multicouches, lorsqu'une couche extérieure est très mince et très souple. Influence du sens de coupe.

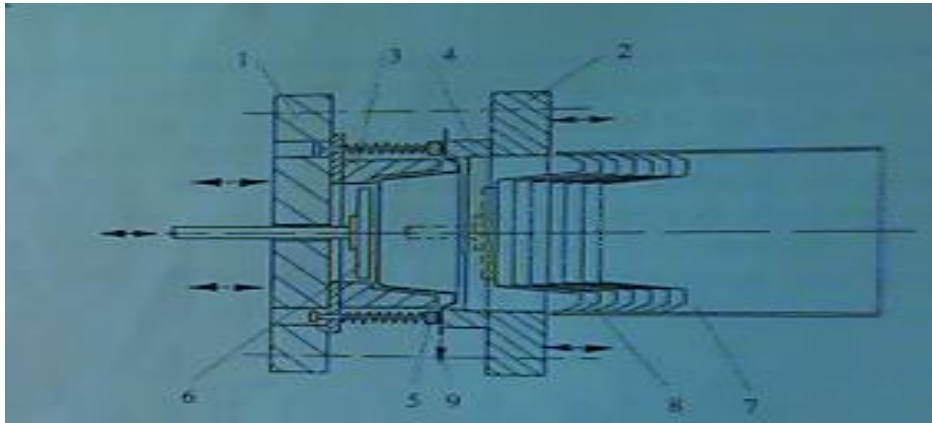
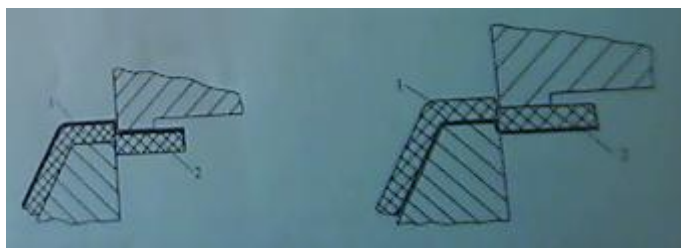


Figure III.15.outil de découpe poinçon-matrice sur presse de découpe

1. pont mobile ; 2. Pont fixe ou mobile ; 3. Poinçon de découpe ; 4. Plaque de découpe (matrice) ; 5.dévétisseur pour squelette ; 6. Ejecteur pour pièce formée découpée ; 7. Goulotte d'empilage ; 8. Pile de pièce finies ; 9. Evacuation du squelette.



(a)

(b)

Figure III.16.découpe par cisaillement de pièce formées dans feuille multicouche ;

a) la couche mince est comprimée sur la pièce formée ;b) la couche mince est dé-laminée de la pièce formée

1. pièce formée (découpée) ; 2.chute

III.2.3.La découpe multidimensionnelle de pièce formée :

Pour une découpe multidimensionnelle (figure III.17) nous avons les possibilités suivant :

- défonçage manuel avec fraise de type crayon,
- fraiseuses à 3 ou 5 axes,
- découpeurs laser axes,
- découpeurs a jet d'eau 5 axes.

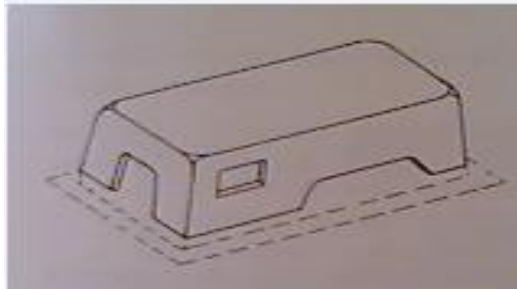


Figure III.17. Contour de découpe multidimensionnel

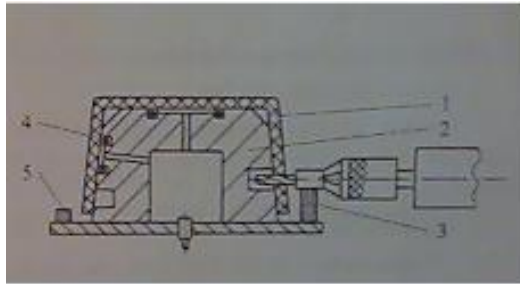


Figure III.18. contour de coupe multidimensionnel obtenu avec détoureuse manuelle guidée par gabarit

1. pièce finie, si besoin, découpe préalable du bord de serrage ; 2. Support de pièce ; 3. Gabarit de guidage ; 4. Maintien de la pièce formée par aspiration ; 5. Raccordement vide.

La figure III.18. Illustre une découpe 3-D, par fraisage manuel, avec gabarit de guidage.

III.2.4. Découpe sur une fraiseuse de 5 axes :

Sur une fraiseuse de 5 axes, il est possible d'exécuter la finition des pièces formées, épaisses ou minces, à partir de 0.5 mm, avec tous les matériaux plastiques. Les outils de fraisage doivent être en acier pour travail rapide (HSS) ou en matériaux durs (groupe K).

Pour un travail sur centre d'usinage à 5 axes (figure III.19), la pièce formée doit être fixée sur un support. La force de maintien est le plus souvent assurée au moyen du vide par aspiration. Pour obtenir une reproductibilité dimensionnelle dans l'usinage des pièces, les tolérances de leur répartition d'épaisseur, leur retrait et déformation, doivent être les plus faibles possibles. L'apparition de fissures sur la pièce peut résulter d'un mauvais choix d'agent de refroidissement et/ou d'un bridage trop fort.



Figure III.19. Tête de broche d'une fraiseuse 5 axes

III.2.4.1. Avantage des fraiseuses de 5 axes :

- vitesses de coupes élevées,
- surface de coupe propres, le plus souvent sans bavure, quand le choix de l'outil est correct et les conditions de coupe, optimale (vitesse de rotation, vitesse d'avance),
- des trous borgnes peuvent être également obtenus,
- investissement moins important, comparativement a celui d'un découpeur à laser ou a jet d'eau.

III.2.5. Découpe par laser :

Pour une découpe par laser, le robot 5 axes est équipé d'une tête laser en lieu et place d'un outil mécanique. Pour prévenir une combustion du plastique, la découpe laser s'effectue sous gaz de protection. Pour le travail des plastique, les puissances des lasers au CO₂ sont comprises entre 250 W et 1800 W. la largeur du trait de coupe est de l'ordre de 0.2 mm pour les épaisseurs de matière plastique de 3 a 4 mm pour une épaisseur de 10 mm et, 1 mm pour une épaisseur de 15 mm.

Les vitesses de coupe, suivant le plastique et son épaisseur, sont comprises entre 3 à 7 mètres/minute.

III.2.5.1. Avantages de la découpe laser :

- large du trait de coupe extrêmement réduite,
- possibilité de découper des contours compliqués avec des angles pointus,
- surfaces de découpées propres,
- aucun autre travail de reprise nécessaire,

- absence de support de pièce coûteux en raison des faibles forces de découpe utilisées,
- temps de réglage court.

III.2.5.2.Inconvénients de la découpe laser :

- coût d'acquisitions élevées,
- technique couteuse pour l'évacuation des gaz produits,
- tendance, pour certains thermoplastes, a la formation de contraintes de fissuration a l'endroit de la coupe en raison de la charge thermique élevée.

III.2.6.Découpe au jet d'eau :

Avec la découpe au jet d'eau, la coupe de plastique est effectuée par de l'eau, seule ou chargée de matière abrasives, forcée a des pression de 2500 a 4500 bars a travers des buses d'un diamètre de 0.12 a 0.4 mm. La qualité de coupe (profondeur de coupe et qualité des surfaces découpées) est d'autant plus grande que la pression de la pompe est élevée, le diamètre de buse est grand et la vitesse d'avance est faible.

La découpe à jet d'eau est exploitée dans l'industrie automobile, par exemple, pour les tableaux de bord, les garnitures intérieures, les tapis de soletc.

III.2.6.1.Avantages de la découpe à jet d'eau :

- aucune charge thermique du thermoplaste,
- larguer du trait de coupe très petite,
- possibilité se découper des contours intérieurs compliqués avec des angles pointus,
- aucune dégradation de l'environnement,
- temps de réglage court.
- coûts d'outillage relativement réduit pour les pièces rigides,
- avec des compléments abrasifs additionnés a l'eau, une découpe de matériaux très durs tels que la céramique ou l'acier trempé, est également possible.

III.2.6.2.Inconvénients de la découpe à jet d'eau :

- coûts d'acquisition élevés,
- relativement lente pour bien des thermoplastes compacts et l'obtention de section de coupe lisses,
- nécessité de support pour les pièces formées qui n'ont pas une grande rigidité,

III.2.7.Ebavurage :

Les pièces technique, fabriquées en petites séries et découpées avec des moyens simples, doivent être ébavurées ; c'est le cas une opération de sciage, de découpe avec une défonceuse manuelle et parfois, après un travail sur une fraiseuse 5 axes, quand les paramètres de coupe ou l'outil utilisés n'étaient pas optimaux.

L'ébavurage est le plus souvent opéré manuellement, au moyen d'un outil d'ébavurage pour tôle comme celui illustré la figure 8.13. Quand la bavure est grasseuse et soudé par fusion, l'ébavurage ne peut être exécuté qu'au moyen d'une lime ou d'une meule.



Figure III.20. Ebavureur

III.2.8.Assemblage :

Les procédés d'assemblage pour les pièces formées dépendent du mariage des deux matériaux retenus (plastique/plastique, plastique/textile, plastique/carton, etc.)

-collage, soudage, rivetage, thermoscellage, vissage, encliquetage,

III.2.8.1.Collage des plastiques :

Dans de nombreux cas, les colles appropriées sont à disposition dans le commerce. Les surfaces doivent être propres, exemptes de graisse et si possible rendues rugueuses. Les plastiques ayant des surfaces « antiadhésives » (par ex. PE.PP. POM) nécessitent des traitements de surfaces coûteux.

Pour cette raison, leur collage doit être évité. Dans le cas contraire, faire un traitement de surface par flammage, déchargement électrique ou procédé chimique.

III.2.8.2.Soudure des thermoplastes :

La soudure est exécutée pendant la fusion du matériau des deux éléments plastique a assembler. Seule les thermoplastes sont soudables et, en outre, un thermoplaste n'est soudable que sur lui-même ; les rares exceptions sont l'ABS et le PMMA. Pour obtenir une bonne liaison par soudure,

les surfaces soudées chaudes doivent être maintenues sous pression pendant leur refroidissement. Pour les températures de soudure élevées, les pressions de maintien sont plus faibles (formation d'un cordon de soudure) ; pour les températures de soudure basses, elles sont plus importantes. Les pièces thermoformées sont soudables principalement avec les procédés suivants :

- soudure thermique par éléments chauffants,
- soudure par friction/vibration,
- soudure par ultrasons (souvent non optimal en raison de la dispersion énergétique),
- soudure haute fréquence (uniquement pour les thermoplastes polaires).

III.2.8.3.Scellage thermique :

Le scellage thermique correspond à la liaison de deux matériaux d'emballage de même nature ou de nature différente (tableau 8.3), au moyen d'une couche thermoscellable . La couche thermoscellable sert d'agent de liaison activé par la chaleur. Les matériaux d'emballage supportant la couche thermoscellable ne prennent pas l'état plastique. Très souvent, Un seul des 2 matériaux comporte une couche thermoscellable sont comprises entre 60°C et 140°C. La soudure et le thermoscellage sont des procédés concurrents. Relevant de la technique de conditionnement, la liaison de matériaux différents, tels que le carton et le plastique, est assurée par thermoformoscellage avec la présence de l'enduction thermoscellable, sur le carton

III.2.9.L'assemblage par vits et rivets :

Pour l'assemblage des pièces thermoformées par vis. Prévoir suffisamment de matière plastique aux points de liaison et utiliser des vis plastique auto-taraudantes, afin d'obtenir des résistances convenables. Est recommandé, compte tenu des faibles propriétés de résistance des plastiques.

III.2.10.Le renforcement :

La rigidité d'une pièce thermoformée dépend :

- Du module d'élasticité du plastique utilisé.
- De l'épaisseur des parois pouvant être obtenue par thermoformage,
- De la forme de la pièce (longueur, largeur hauteur, nervures, rayons etc.),
- De la température d'utilisation.
- Un renforcement après formage s'impose quand :

- La rigidité obtenue par thermoformage n'est pas suffisante,
- Un renforcement ultérieur est plus économique qu'une augmentation de l'épaisseur du semi-produit ou le choix d'un matériau plus onéreux.

Les possibilités de renforcement pouvant être utilisées sont :

- Le revêtement d'une couche de fibres de verre (injection de fibres),
- Le post moussage ou le moussage intégré,
- Le collage d'éléments de renfort,
- Le collage de résine dans les parties minces.

III.2.11. Traitements de surfaces :

Les surfaces des pièces thermoformées peuvent faire l'objet, en reprise, de nombreux traitements qui, le plus souvent, se déclinent en fonction de l'utilisation prévisionnelle des pièces et d'une nécessité technique ou seulement décorative.

Ces traitements de surfaces peuvent être :

- un traitement antistatique par la pulvérisation détergente,
- le meulage et le polissage,
- la peinture,
- l'impression,
- La métallisation (vaporisation) sous vide poussée,
- La galvanisation,
- Le flockage.

Chapitre IV

Défauts en thermoformage

IV. Défauts en thermoformage

En thermoformage, les principaux défauts peuvent avoir pour origine :

- la forme de la pièce,
- Le semi-produit,
- Le choix de la machine adoptée,
- La mise en place de la machine,
- la mise en route de nouveau moule de thermoformage,
- Le mode de travail utilisé pour les échantillonnages,
- Le chauffage,
- La puissance disponible en formage par le vide ou pression d'air.

Dans les chapitres suivants ne seront traités que les défauts les plus fréquents.

IV.1. Défauts de forme sur la pièce

Pour la conception optimale d'une pièce thermoformée, le projeteur doit connaitre toutes les possibilités du thermoformage ainsi que toutes les conditions du cahier des charges s'y rapportant comme, par exemple, la fixation, le montage, la finition, etc.

Les principales règles de conception sont évoquées ci-après.

IV.1.a. Conception des pièces thermoformées :

- La plupart des pièces injectées ne peuvent pas être fabriquées par thermoformage ; la réciproque est également applicable ;
- Les plans des pièces injectées doivent être contrôlés eu égard à la faisabilité en thermoformage, puis modifiés pour le thermoformage ;
- la cotation pour les pièces thermoformées doit être faite sur le coté en contact avec le moule de formage ;
- L'épaisseur de paroi de la pièce thermoformée est un résultat de l'étirement.

IV.1.b. Ratio d'emboutissage :

Le ratio d'emboutissage, hauteur H, diamètre D, ou largeur B, ne peut pas être choisi librement ; certaines conditions doivent être respectées et un piston peut être nécessaire. Le tableau IV.1 montre les limites des ratios d'emboutissage

Ratio d'emboutissage H : D ; H ; B	Moules positifs	Moule négatifs
0,3 : 1	Sans problème	piston pas nécessaire
0,4 : 1	Sans problème	Sans piston, seulement avec grands rayons de fond recommandés ; piston nécessaire pour une bonne réparation d'épaisseur de paroi.
1 : 1	Parfaitement réalisable.	
1,5 : 1	Limite d'étirement pour une bonne reproductibilité dimensionnelle de la pièce formée ; l'emboutissabilité du semi- produit utilisé constitue le facteur le plus important.	
>1,5 : 1	La reproductibilité dimensionnelle de la pièce formée en peut être établie qu'au moyen d'un échantillonnage.	

Tableau IV.1. Ratio d'emboutissage réalisable en thermoformage [3]

IV.1.C. Partie négatives latérales sur pièce formé :

Il n'est pas possible, en principe, de pistonner les parties négatives des parois latérales des pièces formées. Pour cette raison, celles-ci ne doivent pas être trop profondes. Le rapport d'emboutissage H : B (figure IV.1) ne doit pas dépasser la valeur 0,4 : 1. La précision des contours de formage obtenue sur ces parties négatives est d'autant plus faible, que la profondeur totale d'emboutissage des parois est importante.

IV.1.d. Dépouille des parois latérales :

La dépouille des parois latérales doit être aussi grande que possible afin de permettre un démoulage rapide et aisé. Des dépouilles trop faibles conduisent à des temps de démoulage trop longs, c'est-à-dire, des temps de cycle excessifs. Valeurs pour les dépouilles

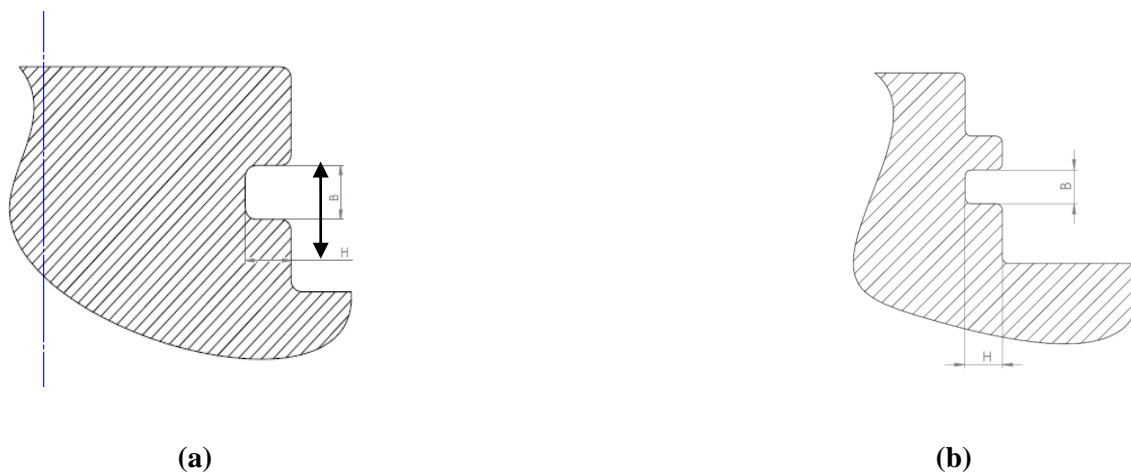


Figure IV.1. Rapport d'emboutissage de parties négatives latérales ; a) positif ; b) négatif

IV.1.e. Précision des contours et rayons :

Les rayons sur une pièce formée ne doivent pas être inutilement petits (figure IV.2) aux endroits de la pièce où le formage est effectué en dernier, la réalisation de petits rayons est difficile.

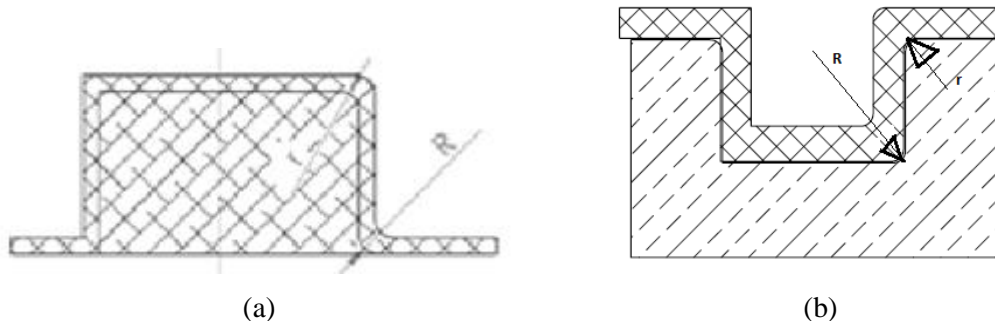


Figure IV.2. Formation des rayons ; a) en formage positif (à gauche, défavorable, à droite, correct) ;
b) en formage négatif ; (à gauche, défavorable, à droite, correct)

r en ces points, formage aisé des petits rayons ; R en ces points, de grands rayons sont nécessaires ou respectivement plus favorables que des petits rayons.

IV.1.f. Forme des contours :

La forme des contours pour le maintien de pièces sur des palettes ou dans des blisters peut être favorable ou défavorable. Les contours illustrés par les figures IV.3 et IV.4 montrent comment une conception adéquate permet d'éviter des étirements qui ne sont pas nécessaires, tout en assurant un emballage sécurisé du produit.

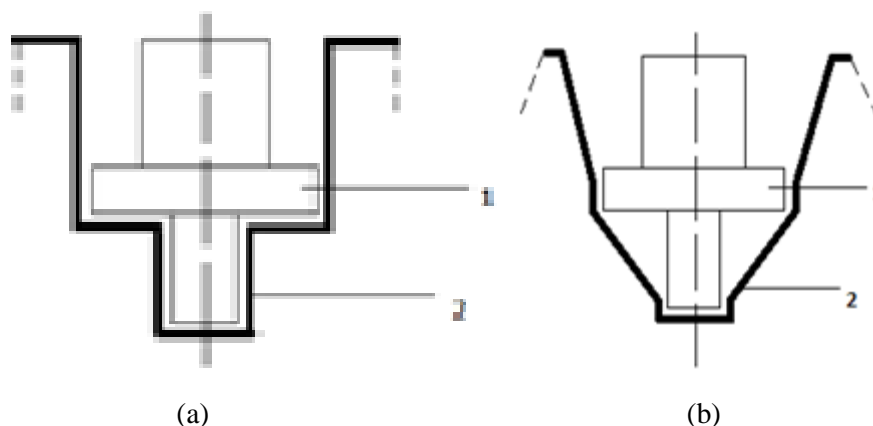


Figure IV.3. Contour de palette avec (un maintien) indiqué du produit ; a) défavorable ; **b)** favorable

1. produit conditionné ; 2, contour de la palette



Figure IV.4. Contour de blister ; a) défavorable ; b) favorable

1. Produit conditionné ; 2. Blister

IV.1.g. Réserves de finition et zone d'apport :

Les figures IV.5 et IV.6 illustrent comment il est possible d'aménager des réserves de transmission afin d'obtenir sur la pièce formée une répartition d'épaisseur de paroi favorable. On peut se baser pour cela sur une règle simple : prévoir dans la zone du déchet des contours de moule nécessitant un étirement ou un formage le plus réduit possible (grand rayons) la figure IV.7 illustre l'influence de la zone d'apport sur la répartition d'épaisseur de paroi. Si par exemple une pièce finie (figure IV.7) doit avoir une répartition d'épaisseur de paroi régulière dans le plant de coupe, il faut concevoir le moule de formage de façon à ne pas avoir de découpe aux



Figure IV.5. Contour dans la zone de déchet pour une coupe en 3D ; a) défavorable ; b) favorable

1. Ligne de coupe

Angles (figure IV.7b) ; il est préférable d'agrandir la zone d'apport (figure IV.7c) .la répartition d'épaisseur souhaitée au voisinage de la coupe est garantie ; il en résulte toutefois une chute matière plus importante.



Figure IV.6. Contours dans la zone de déchet pour une coupe dans un plan ; a) défavorable ; b) favorable

1. Ligne de coupe

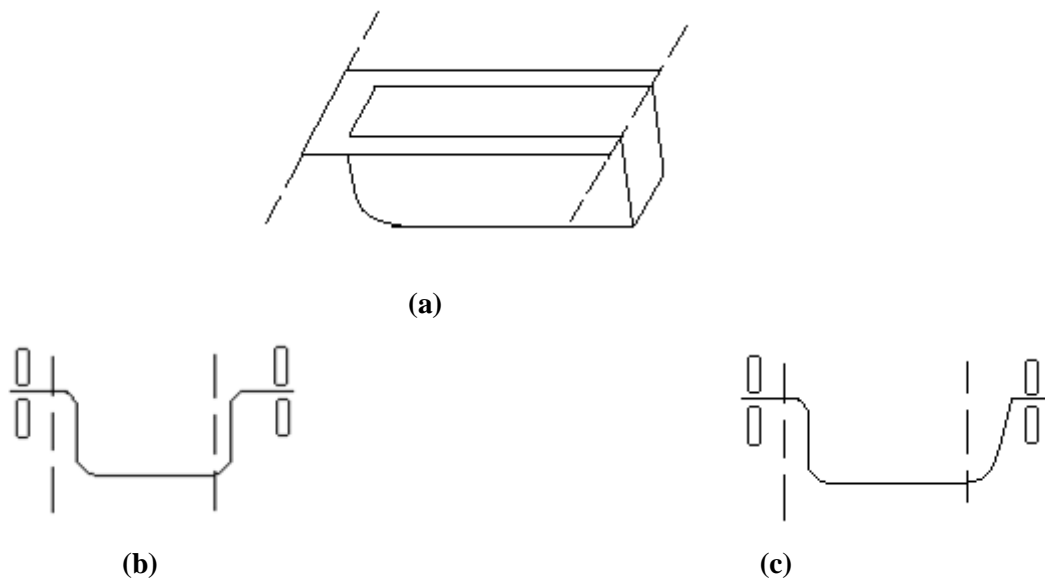


Figure IV.7. Grande zone d'apport pour une meilleure réparation d'épaisseur de paroi ;

a) Pièce finie après découpage ; b) zone d'apport trop petite ; c) d'une grande zone d'apport résulte une chute matière importante mais aussi une meilleure répartition d'épaisseur de parois

IV.1.h. Changements de niveaux marches :

Les changements de niveaux et les marches doivent être prévus avec une pente ou un rayon de raccordement (figure IV.8 et IV.9)

IV.1.i. Nervures et plis :

Dans le cas où une formation de plis, pendant le formage, ne peut pas être évitée en raison de rapports géométriques défavorable, par exemple, en formage positif, (figure IV.10), modifier la pièce de façon à masquer ces plis en leur donnant la forme de nervures absorbant les excédents de matière. La simulation du cycle de thermoformage, à l'aide d'un programme de simulation approprié, peut être ici très utile.



**Figure IV.8. Chargements de niveau ou de section ; a) défavorable, changement abrupt
 b) Favorable, raccordement par rayon ou pente
 1. Danger de formation de plis ---**



**Figure IV.9. a) contour défavorable=formation de plis ; b) contour favorable sans formation de plis
 (--- plis)**

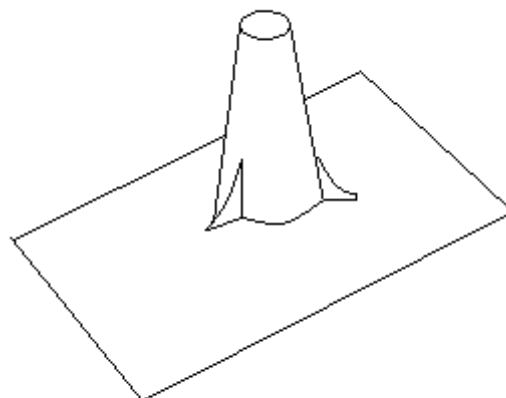


Figure IV.10. *Formation contrôlée de plis* par nervurage

IV.2. Défauts sur le semi-produit

Pour fabriquer des pièces formées d'excellente facture, suivant une qualité reproductible, la qualité du plastique pour le semi-produit doit correspondre exactement à celle de la matière de référence utilisée pour l'échantillonnage, ou bien, à la qualité matière prescrite. Tenir compte le cas échéant, des variations pouvant intervenir dans les charges utilisées lors de la fabrication de la matière.

Les tolérances d'épaisseur, dépendantes de l'épaisseur du semi-produit, du plastique, du process et des conditions de fabrication, doivent être également prises en compte. Elles se situent $\pm 10\%$ pour les semi-produits minces dont l'épaisseur est inférieure à 1 mm , ± 4 à 5% pour les plaques comprises entre 2 et 6 mm et jusqu'à environ $\pm 20\%$ pour les semi-produits coulés.

Ces tolérances d'épaisseur sont trop larges pour répandre à la fabrication de pièces formées de très grande qualité. Pour les tolérances d'épaisseur des semi-produits, nous avons à peu près :

Tolérances d'épaisseur en mm $\Delta s = \pm(0,05 + 0,03 \times s)\pm$

s =épaisseur du semi-produit en mm .

IV.2.1. Exemples des tolérances d'épaisseur, suivant les normes pour ABS :

Epaisseur semi-produits en mm	1	2	3	4	5	6	10
Tolérance d'épaisseur %	± 8	$\pm 5,5$	$\pm 4,7$	$\pm 4,2$	± 4	$\pm 3,8$	$\pm 3,5$
Tolérance d'épaisseur en mm	$\pm 0,08$	$\pm 0,11$	$\pm 0,14$	$\pm 0,17$	$\pm 0,2$	$\pm 0,23$	$\pm 0,35$

Tableau IV.2. Tolérances d'épaisseur de semi-produits en ABS [3]

Les feuilles extrudés ou calandrées, jusqu'à environ $0,5\text{ mm}$ d'épaisseur, peuvent être fabriquées sur les installations modernes, suivant une tolérance de $\pm 0,005\text{ mm}$. Les plaques pour des épaisseurs de 4 à 5 mm , sont fabriquées suivant une tolérance de $\pm 0,5\%$ quand il s'agit de séries importantes ou du même semi-produit, extrudé en interne par l'utilisateur sur une longue période.

Une feuille en bobine dont les lisières découpées ont une épaisseur différente peut être reconnue aux différents diamètres de la bobine. Quand c'est le cas, une formation de plis sous le

chauffage ou même une fréquente sortie de feuille hors des guide-chaîne de transport est très probable.

Lorsque la fabrication du semi-produit par extrusion ou calandrage est faite avec le même granulé, mais avec des réglages machine différents (vitesse de tirage, température à cœur et en sortie de filière etc.), les semi-produits obtenus ont un comportement différent au thermoformage. Pour fabriquer un semi-produit de qualité constante, il importe de n'admettre que des variations minimales de matière, d'utiliser si possible, la même installation d'extrusion ou la même calandre et de maintenir constants les paramètres de fabrication.

Les semi-produits plastiques hygroscopiques doivent demeurer dans leur emballage étanche à l'air jusqu'à leur utilisation sur la machine de thermoformage. La reprise d'humidité de ces semi-produits, suivant leur type, leur épaisseur et l'humidité environnante, est déjà effective dès la première demi-heure écoulée après leur sortie d'emballage ; c'est la raison pour laquelle ils doivent être emballés. Dans l'éventualité où un semi-produit de cette nature demeure déballé pendant deux heures avant transformation, sa reprise d'humidité sera telle que des difficultés surviendront au moment de son formage. Pour cette raison, il est recommandé de ne déballer qu'une quantité de plaques correspondant à une production de deux heures.

Les plaques qui ont repris de l'humidité ont tendance, déjà pendant leur chauffage mais surtout pendant leur étirement, à se déchirer, à se percer, à se gauchir et à donner des surfaces à l'aspect (peau d'orange). Les semi-produits fabriqués avec des mélanges recyclés peuvent présenter des amorces ponctuelles d'amincissement causées par des particules de papier, de bois ou de plastique à haute viscosité.

Un semi-produit multicouche peut se délaminer pendant le formage quand l'adhérence entre les matériaux est insuffisante.

IV.3. Choix de la machine de thermoformage adaptée :

Le choix de la thermoformeuse adaptée dépend des facteurs suivants :

- Dimensions de la pièce formée (longueur L, largeur B, hauteur H),
- Nature de plastique pour le semi-produit,
- type de semi-produit (plaques ou bobine),
- forme de la pièce,
- Précision désirée pour les contours,
- Quantité de la pièce à produire,
- thermoformeuse à disposition dans l'atelier,
- Coûts des outillages,
- Consommation matière et pourcentage des chutes,

- Coûts de personnel,
- coûts machine.

Lorsque la pièce doit être formée sur plusieurs machines ou selon plusieurs variantes, ses couts de fabrication respectifs doivent être appréhendés et comparés. Les couts d'outillage ont une grande incidence pour les petites séries et les couts matière ont une grande incidence pour les grandes séries. A l'achat de nouvelles machines, les couts d'entretien et de maintenance, le service et l'assistance du fournisseur sont à prendre en considération.

IV.4. Défauts sur le moule de formage :

IV.4.a. Choix de matériau :

Le choix du matériau pour réaliser un moule de thermoformage dépend de la série et de la qualité des pièces formées à fabriquer. Du bois en passant par la résine, l'aluminium et l'aluminium tempéré, les couts de fabrication des moules vont en augmentant.

IV.4.b. Thermorégulation des moules :

Les moules de formage en résine sont rarement tempérés, la conductibilité thermique de la résine ne permettant pas une thermorégulation optimale. Des temps de refroidissement réduits peuvent être obtenus qu'au moyen de moules thermo régulés, réalisés avec des métaux ayant une très bonne conductibilité thermique, comme par exemple, l'aluminium. Des longs canaux de refroidissement intégrés dans des moules volumineux, pour une thermorégulation directe, conduisent à des grandes pertes de charges si leur section de passage est trop faible. La réduction importante du débit du médium de thermorégulation altère celle-ci ou la rend inefficace ; la température du moule augmente d'une manière incontrôlée. La thermorégulation du moule peut être déterminée par le calcul d'une manière suffisamment précise, pour les moules refroidis indirectement, veiller à obtenir une surface de contact de transfert thermique avec la plaque de refroidissement, la plus grande possible. Le moule de formage doit avoir un nombre limité d'éléments assemblés sur la hauteur afin que soit conservé un flux d'échange thermique aussi grand que possible avec la plaque de refroidissement.

IV.4.c. Contrôle et régulation de la température du moule :

Les températures et la répartition de la température à la surface du moule sont déterminantes pour une qualité constante des pièces formées. Dans le cas où il est seulement possible de régler la température de l'eau sur l'échangeur thermique, un contrôle de la température du moule impératif. Il faut pour cela, au moyen de capteurs thermique logés dans le moule, pouvoir régler le débit ou la température d'eau afin d'obtenir des températures de moles aussi constantes que possible. Pour les outillages de formage-découpe combinés, cette pratique est usuelle. Il est important de placer les

capteurs thermiques aux endroits judicieux ; ici, l'expérience du transformateur et de mouliste est importante.

IV.4.d. Stabilité mécanique des moules de formage :

Les moules de formage doivent résister mécaniquement à la pression de formage et pour ce faire, disposer d'une stabilité suffisante.

IV.4.e. Surface du moule de formage :

Lorsque des petites déformations apparaissent à la surface des pièces formées (inclusions d'air) cela est du, en règle générale, à un nombre insuffisant de points de dégazage dans le moule. L'air emmagasiné entre le moule et la pièce ne peut pas s'évacuer. Pour cette raison, les surfaces des moules de formage doivent, autant que possible, être sablées ou bien rendues rugueuses. Les moules avec une surface polie sont l'exception ; on ne doit polir que les angles des moules positifs et les moules destinés au formage des pièces à transparence cristal.

IV.4.f. Perçages de dégazage :

Dans le cas d'un moule comportant plusieurs empreintes identiques réparties sur une surface de formage, il faut veiller au calibrage identique, non seulement des événements de dégazage sur les empreintes, mais également à celui des canaux d'aspiration jusqu'au raccord d'aspiration de la table. En aucun cas ces canaux ne doivent être trop petits, l'aspiration devant être partout identique.

Les trous de dégazage à la surface d'un moule de thermoformage ne servent pas seulement à l'évacuation de l'air produit pendant le formage, mais aussi au passage de l'air de démoulage. En particulier, pour obtenir un démoulage rapide avec des moules positifs de hauteur importante, une section de passage suffisante pour l'air de démoulage doit être à disposition. Dans ces cas, des événements laminaires ou des vannes sont à prévoir.

IV.5. Défauts lors d'échantillonnages :

Lors de l'échantillonnage, toutes les conditions doivent être identiques à celles de la fabrication en série. Les cotes et les tolérances admissibles d'une nouvelle pièce thermoformée doivent être connues de tous les participants, le conducteur de la machine et le personnel de finition.

Si le conducteur machine sait où se trouve la ligne de coupe d'une pièce formée, il peut lui-même décider de la précision de formage des contours dans la zone de déchet et ainsi, le cas échéant, permettre d'éviter des rebuts et économiser des coûts. Le semi-produit utilisé doit être, pour la qualité du plastique, la couleur, le grain, et le retrait impérativement identique au semi-produit prévu pour la production, afin d'éviter des problèmes dans la fabrication en série. Pour la coupe et la préparation des flans, il faut tenir compte de leur sens de fabrication (sens d'extrusion). La formation des plis et les

phénomènes de restraint dépendent du sens d'extrusion. Les socles des moules ainsi que les dimensions des cadres doivent être définis correctement pour une utilisation optimale des semi-produits. Le moule de formage doit être réalisé de manière à minimiser la distance entre la ligne de coupe de la pièce et le bord de serrage (déchet) les dimensions des zones doivent être identiques à celle du moule de production, l'échantillonnage et la production, toutes les fois que c'est possible, doivent être exécutés sur les mêmes types de machines.

Si, pour une question de coût, un échantillonnage est fait avec un moule positif et la production avec un moule négatif, les échantillons obtenus ne peuvent servir qu'à juger la forme générale et ne permettent aucune conclusion sur la stabilité, la répartition d'épaisseur de paroi et la précision de formage des contours pour les pièces de série.

IV.6. Pression de formage inadéquate :

La pression de formage, pour une géométrie des contours précise, est importante.

Une pression de formage insuffisante survient :

- Avec des joints d'étanchéité défectueux sur le moule et les cadres,
- Avec des socles de moule trop hauts sur les machines (monoposte)
- Lorsque des trous de fixation, dans la table de formage, ne sont pas utilisés et n'ont pas été obturés,
- Avec un cadre déformé du fait d'un serrage trop important ou insuffisant sur le poste de formage,
- Avec un socle de moule non plan,
- Avec un socle en bois, constitué par un empilage de plaques poreuses,
- Avec des raccords de tuyauterie non étanches,
- en raison d'une installation défectueuse de la machine, par exemple, une alimentation en air comprimé dont la section est sous-dimensionnée.

IV.7. la prévention de plis :

IV.7.1. Les plis en thermoformage peuvent être regroupés comme suit :

IV.7.A. Plis inhérents au semi-produit :

- Plis de surface dus à une flèche matière trop importante pendant le chauffage,
- Plis d'orientation dus à des tensions d'orientation trop importantes lors de l'extrusion de semi-produit.

IV.7.B. Plis résultants de la forme du moule :

- Plis d'angle sur les moules positifs,
- Plis au voisinage des raccordements de niveaux, aux angles, quand les pentes ou rayons de raccordement sont sous-dimensionnés,

- Plis résultant d'un espacement insuffisant entre les empreintes du moule pour les moules positifs multi-empreintes,
- Plis sur les moules négatifs profonds pour les rapports d'emboutissage supérieurs à 1 :0,4 et des rapports, longueur L/largeur B, extrêmes.

IV.7.2. Les plis dus au mode de formage utilisé, apparaissent quand :

- le bullage de préformage est trop important,
- la vitesse de formage est trop grande, la section d'aspiration étant trop importante,
- la vitesse du formage final est trop lente, une feuille mince étant déjà trop froide au moment de son formage.

Un pli ne se produit jamais quand le semi-produit est étiré ; il l'est seulement quand ce dernier se rétreint, la température étant trop basse et /ou la vitesse de rétraction trop élevée.

IV.7.3. Les possibilités pour la prévention de plis :

- moins chauffer le semi-produit sujet à une flèche importante ;
- chauffer d'avantage le semi-produit quand la pièce permet un formage sans ou avec peu de bullage et la flèche du matériau n'est pas encore trop prononcée ;
- réduire le bullage ; éventuellement moins chauffer et aspirer plus lentement tout en augmentant la température du moule ;
- réduire les surfaces d'apport ;
- maintenir la zone de plis sous la pression d'un piston à la forme. Pendant préformage du plastique, la zone de plis est pré-étirée à l'aide d'un piston ;
- modifier les contours du moule, en créant des surfaces supplémentaires par l'agrandissement des rayons ou des pentes, ou bien par l'agrandissement du volume de la partie du moule se trouvant sous les plis.

Chapitre V

ETUDES ET APPLICATIONS

Introductions

Les poly (styrène/butadiène/acrylonitrile), plus communément appelés ABS, constituent une famille de copolymères à usages « techniques » du fait de leurs propriétés physiques et chimiques élevées : rigidité, résistance au choc, tenue à la chaleur, aspect de surface et résistance à de nombreux agents chimiques.

Leur production industrielle et leur première commercialisation, par la société Uniroyal, remontent à 1948.

Ils trouvent actuellement de nombreuses applications en construction automobile, dans l'électroménager, dans les domaines des matériels de bureau et de jardin, des sports et loisirs, des jouets...

V.1. Thermoformage

En raison de leur viscosité « élongationnelle » élevée, les ABS sont particulièrement bien adaptés à ce procédé de transformation à partir de feuilles extrudées. Le chauffage des feuilles peut être effectué sur une ou deux faces par tout type d'éléments chauffants (infrarouge, quartz, etc.). Après chauffage, la température de surface des feuilles doit être comprise entre 160 et 200 °C. Les moules utilisés sont fabriqués généralement en aluminium mais aussi en bois, en résine époxyde chargée (pour des petites séries) et sont refroidis par circulation d'eau.

Tous les types de thermoformage sont utilisables :

- thermoformage sous vide ;
- thermoformage par air pulsé ;
- thermoformage mécanique.

Le démoulage s'effectue vers 80 °C.

V.2. Structure des ABS

Les ABS sont des polymères amorphes biphasiques, constitués d'une phase continue ou matrice (copolymère de styrène/acrylonitrile ou SAN) et d'une phase discontinue (nodules de polybutadiène greffés de copolymères de styrène/acrylonitrile). Les greffons assurent la compatibilité matrice-nodule et confèrent de bonnes propriétés mécaniques au polymère final. La taille de ces occlusions de caoutchouc est comprise entre 0,1 et 1 µm, voir au-delà, suivant la qualité de l'aspect de surface et la résistance au choc requises (figure V.1).

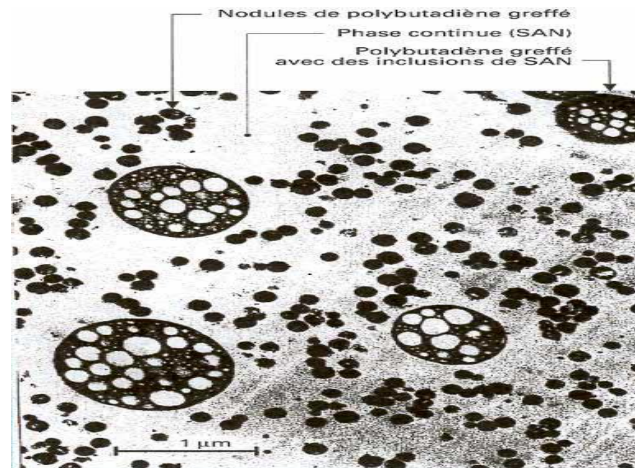


Figure V.1. Vue d'un ABS au microscope électronique à transmission [4]

V.3. Composition des ABS

Un ABS est essentiellement caractérisé par trois propriétés physiques liées à sa composition initiale (nature et proportions des différents monomères) :

La résistance au choc est principalement fonction du taux de caoutchouc :

- ABS « mi-choc » : 10 à 14 % de butadiène ;
- ABS « choc » : 14 à 18 % de butadiène ;
- ABS « très haut choc » ou « superchoc » : 18 à 25 % de butadiène.

(Pour-cent en masse des monomères engagés dans la copolymérisation).

La tenue à la chaleur est en fonction de la composition et de la matrice (si le taux de caoutchouc n'excède pas 15 %) :

- ABS « standard » : matrice en poly (styrène/acrylonitrile) SAN ;
- ABS « mi-chaleur » : matrice SAN + 10 % d' α méthylstyrène ;
- ABS « super-chaleur » : matrice SAN + 40 % d' α méthylstyrène.

La fluidité est fonction du taux de butadiène et de la fluidité intrinsèque de la matrice, elle-même directement déterminée par la masse molaire de la matrice.

Chaque type d'ABS correspond à un compromis entre ces trois propriétés auxquelles on ajoute la brillance et la rigidité. Par ailleurs, l'emploi d'additifs permet d'obtenir des grades spéciaux d'ABS :

- ignifugé ;
- pour galvanoplastie ;
- « allégé » (c'est-à-dire contenant des agents porogènes) ;
- renforcé par des fibres de verre ;
- antistatique ;
- modifiant pour élastomère thermoplastique
- à faible volatilité ;

- à faible coefficient de friction ;
- pour adhésion sur support ;
- modifiant pour PVC
- type « cage de Faraday » (c'est-à-dire renforcé avec des fibres d'acier pour une protection contre les effets électromagnétiques et électrostatiques).

Dans certains ABS, le caoutchouc de butadiène est remplacé en partie par un caoutchouc d'acrylate de butyle afin d'améliorer la tenue aux agents atmosphériques. Dans ce cas, les ABS sont communément appelés **ASA** (acrylonitrile/styrène/acrylate de butyle).

L'introduction d'un quatrième monomère, du méthacrylate de méthyle, conduit à des ABS transparents.

V.4. Mélanges d'ABS avec d'autres polymères :

- Alliages ABS-élastomères thermoplastiques
- Alliage ABS-PVC
- Alliage ABS-polycarbonate
- Alliage ABS-polyamide

V.5. Propriété des ABS

V.5.1. Propriétés chimiques :

- Bon compromis choc/rigidité. Légèreté.
- Bonne stabilité dimensionnelle.
- Facilité d'usinage.
- Excellent isolant électrique.
- Facilité de soudage ou de collage.
- Se prête bien à la décoration.

V.5.2. Propriétés mécaniques :

La qualité principale de l'ABS est la résistance aux chocs à basse température (- 40°C)

- Il détient une bonne rigidité.

Module de flexion 1700 N/mm².

- Grâce aux nodules de butadiène dispersés dans la matière, l'ABS est peu sensible à la fissuration, les nodules arrêtant la propagation de la fissure.

V.5.3. Propriétés électriques :

L'ABS est un excellent isolant électrique, compte tenu de sa forte résistivité volumique.

-L'ABS est très électrostatique.

-L'humidité n'a aucune influence sur les propriétés électriques de l'ABS.

V.5.4. Propriétés thermiques :

L'ABS a une bonne tenue au froid - 40°C en continu.

-Température de fléchissement sous charge (HDT - 1,8N/mm²) 85 à 110°C suivant les grades ce qui lui permet une utilisation en continu à 80°C.

-Température de transition vitreuse de 100°C.

-Zone de fusion _ 220°C.

V.5.5. Caractéristiques spécifiques :

L'ABS est insensible à l'action de l'humidité.

-L'ABS résiste bien :

- aux solutions salines, d'acides et de bases diluées,

- à la plupart des alcools,

- au pétrole, aux huiles animales, végétales, minérales et les graisses.

-L'ABS ne résiste pas :

- aux acides oxydants : acides nitriques, sulfuriques,

- aux acides organiques : acides acétiques, formiques,

- aux cétones : acétone, méthyléthylcétone (MEC)

- aux esters : acétate d'éthyl,

- aux hydrocarbures aliphatiques,

- aux hydrocarbures aromatiques,

- aux hydrocarbures halogénés.

V.5.6. Résistance a la flamme :

-L'ABS brûle en dégageant une épaisse fumée noire.

-Il est classé HB selon les normes UL 94.

-Il existe des qualités auto-extinguibles qui sont classées UL 94 V0 en 1.5 mm.

V.5.7. Propriétés spécifiques :

L'ABS peut être soudé par toutes les techniques de soudage des plastiques.

-L'ABS se colle facilement avec de nombreux solvants : cétones, esters, chloroforme, perchloréthylène, etc...

-L'ABS se prête bien à toutes les techniques de décoration : peinture, impression, métallisation, galvanoplastie, marquage à chaud, flockage.

V.6. Mise en œuvre

V.6.1. Caractéristiques de mise en œuvre

V.6.1.1 Rhéologie

À l'état fondu, les ABS sont des fluides non newtoniens et présentent un caractère viscoélastique. Comme le montre la figure V.2, la viscosité apparente décroît lorsque la vitesse de cisaillement augmente.

Mesurée au rhéomètre capillaire (méthode ASTM D 3835), la

viscosité apparente des ABS à 230 °C se situe :

-entre 95 et 130 Pa · s à 3 000 s⁻¹ (*) ;

-entre 3 200 et 7 500 Pa · s à 15 s⁻¹ (*).

(*) Taux de cisaillement.

Pour caractériser la viscosité des ABS, la norme ISO 1133 permettant de mesurer l'indice de fluidité à chaud, c'est-à-dire une viscosité à faible taux de cisaillement, est souvent utilisée.

Le choix d'un ABS de viscosité donnée sera fonction du procédé de mise en œuvre choisi ainsi que du dessin de la pièce (moulage par injection).

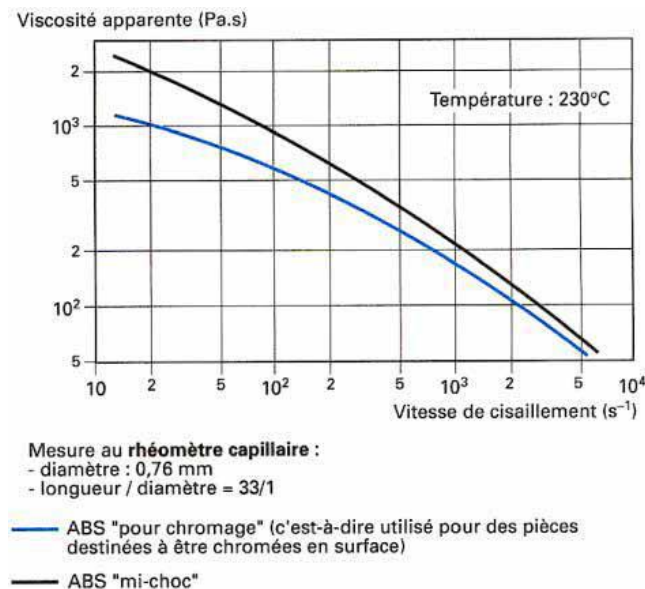


Figure V.2. Variation de la viscosité des ABS en fonction de la vitesse de cisaillement [4]

V.6.1.2 Séchage

Les ABS sont légèrement hygroscopiques. Afin d'obtenir (par injection ou extrusion) des pièces d'un tel aspect de surface, l'ABS doit être séché dans une étuve pendant 2 à 4 h à 80°C. La figure V.3 présente l'humidité résiduelle en fonction du temps de séchage.

Une fois séché, le matériau doit être très vite injecté, sans attendre une nouvelle reprise d'humidité qui interviendrait en 2 à 4 h.

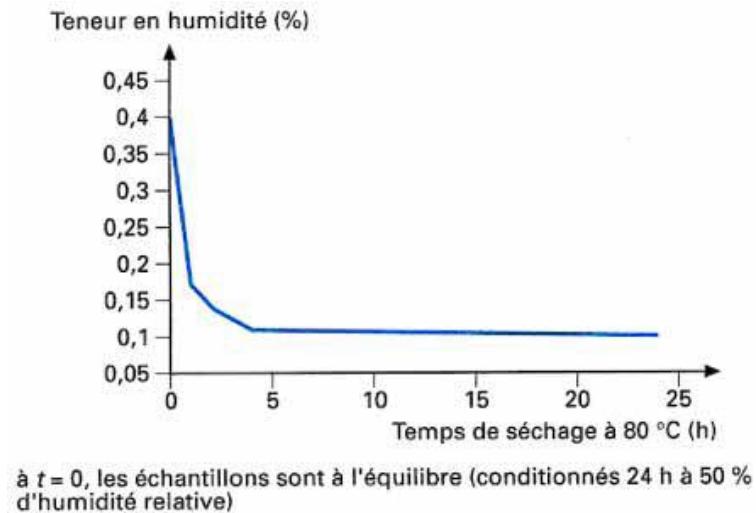


Figure V.3. Séchage des ABS avant mise en œuvre [4]

V.6.1.3 Retrait au moulage :

Comme tous les polymères amorphes, l'ABS a un retrait au moulage assez faible, de l'ordre de 0,4 à 0,6 %.

V.7. Applications :

- Electroménager.
- Bureautique.
- Téléphones, répondeurs, clavier d'ordinateur.
- Automobile.
- Beauté, hygiène.
- Sport, loisirs.
- Jouet.

Présentation du Matériau du Moule.**Introduction :**

L'aluminium est un métal très répandu sur la terre, le troisième élément après l'oxygène et le silicium. Les bauxites qui sont des roches riches en aluminium (45 à 60%) constituent actuellement la source quasi exclusive de ce métal.

L'aluminium est obtenu à partir de l'alumine par électrolyse dans une cuve comportant un garnissage en carbone (cathode). L'aluminium formé par électrolyse se dépose au fond de la cuve.

Les propriétés de l'alliage d'aluminium (Al Mg5) :

Nous avons proposé l'utilisation de cet alliage pour sa disponibilité au niveau de l'entreprise et principalement pour ses diverses propriétés qui répondent à nos besoins, parmi les quelles nous citons :

- bon conducteur de la chaleur et de l'électricité
- faible masse volumique : 2,7 kg/dm³
- point de fusion : 658° C
- faible module d'Young : 70000 N/mm² 70000 Mpa 70000 DaN/mm²
- le coefficient de rigidité par unité de masse est sensiblement égal à celui de l'acier
- faible limite élastique
- fort allongement à la rupture (tôles minces, feuilles, papier)
- La résistance à la corrosion est bonne à condition que la couche d'alumine soit formée car ensuite elle empêche la corrosion de pénétrer dans l'aluminium.
- Par contre l'association avec un métal plus électropositif (acier, alliages de cuivre) détruit la couche d'alumine qui ne peut donc plus protéger l'aluminium.
- L'emploi de l'aluminium est surtout motivé par sa faible masse volumique (le tiers de celle de l'acier et du cuivre).
- C'est un matériau qui se moule bien. Il est aussi utilisé dans l'industrie électrique et l'électroménager, grâce à sa bonne conductibilité (677 % de celle du cuivre).
- L'aluminium est employé aussi comme isolant thermique.
- Excellente résistance à la corrosion atmosphérique, très bonne usinabilité, excellente soudabilité. Bonne aptitude à l'anodisation de protection. [5]

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.

V.1. Calcul du flux de chaleur arrivant sur l'échangeur : [6]

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

-le système moule+feuille de résine ABS 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 résine 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 résine λ_f et du cuivre λ_{ech} ainsi que celle du moule λ_m 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 résine ABS 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 $t_s = 1,3$ s pour être formée

En régime établi, le bilan thermique sur l'ensemble feuille ABS 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 résine ABS 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 résine ABS 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.

V.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 :

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

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

Sachant que:

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

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

Tif : Température de la feuille de résine avant le soufflage (à l'arrivée sur le moule après chauffage sur les radiateurs en céramique.

Tff : Température de la feuille de résine après soufflage

V.3. Calcul de la température de la feuille avant le soufflage Tif :

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 :

$$q = -\frac{\lambda_f}{e_f} \cdot (Tf - Tif) \quad (4)$$

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

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

ef : Épaisseur initiale de la feuille

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

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

$$\Phi_{rec} = 8 kw$$

$$T_{if} = \frac{\phi_{rec} \times ef}{\lambda_f \times Sf} + T_f$$

$$T_{if} = \frac{8 \times 10^3 \times 1,8 \times 10^{-3}}{0,15 \times (613 \times 1595) \times 10^{-6}} + 25 = 123,18^\circ c$$

$$Sf = (613 \times 1595)mm^2$$

$$\lambda_f = 0,15w/mk$$

$$ef = 1,8mm$$

$$T_{if} = 123,18^\circ C$$

V.4. 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 :

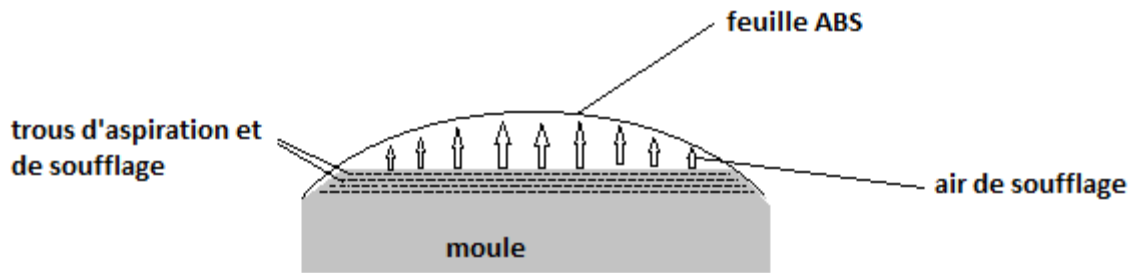


Figure V.1: l'air de soufflage [7]

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

$$-\rho_f \times V_f \times C_f \frac{dT}{dt} = hc \times S_f \times (T - Tea) \quad (8)$$

Telle que :

$-\rho_f \times V_f \times C_f \frac{dT}{dt}$: représente la chaleur cédée pour la feuille pendant un temps dt

$hc \times S_f \times (T - Tea)$: représente la chaleur reçue par convection par l'air de soufflage

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

Comme : $dT = d(T - Tea) \approx cste$

$$-\frac{dT}{T-Tea} = -\frac{hc \times S_f}{\rho_f \times V_f \times C_f} dt$$

$$\frac{d(T-Tea)}{T-Tea} = \frac{hc \times S_f}{\rho_f \times V_f \times C_f} dt$$

$$\log(T - Tea) = \frac{hc \cdot S_f}{\rho_f \times V_f \times C_f} \times t + R \quad (9)$$

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

$$t = 0 ; \rightarrow T = T_{if}$$

En remplaçant t dans l'équation (9)

$$R = \log (T_{if} - T_{ea}) \tag{10}$$

$$\text{D'où } \log \frac{(T - T_{ea})}{(T_{f1} - T_{ea})} = \frac{hc \times S_f}{\rho_f \times V_f \times C_f} \times t$$

L'équation (9) tenant compte de (10) donne :

$$\frac{(T - T_{a1})}{T_{f2} - T_{a1}} = \exp \left(- \frac{hc \times S_f}{\rho \times V_f \times C_f} t \right)$$

ainsi:

$$T(t) = \left[\exp \left(- \frac{hc \cdot S_f}{\rho_f \times V_f \times C_f} t \right) \times (T_{f2} - T_{ea}) + T_{ea} \right] \tag{11}$$

La température de la feuille après le soufflage T_{ff} s'obtient en remplaçant t dans l'équation (11) par sa valeur qui correspond à la durée du soufflage et vaut 1,3s

Les grandeurs géométriques S_f et V_f seront déterminées tenant compte de la dilatation de la feuille de résine sous l'effet de la chaleur.

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 :

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

ξ : Coefficient de dilatation linéaire

La longueur : $L'_f = 1605,94 \text{ mm}$ avec $L_f = 1595 \text{ mm}$

La largeur : $l'_f = 617,20$ mm

$l_f = 613$ mm

L'épaisseur : $e'_f = 1,81$ mm

$e_f = 1.80$ mm

L_f et L'_f la longueur de la feuille avant et après dilatation

l_f et l'_f la largeur de la feuille avant et après dilatation

e_f 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 :

$$S' = S \rho \frac{(1+2\xi \times T_{if})}{(1+\xi \times T_{af})}$$

et

$$V' = V \rho \frac{(1+3\xi \times T_{if})}{(1+3\xi \times T_{af})}$$

$$S'_f = 992834,13 \text{ mm}^2$$

$$V'_f = 45287,57 \text{ mm}^3$$

$$S_f = 977735 \text{ mm}^2$$

$$V_f = 17599,23 \text{ mm}^3$$

D'autre part, la masse volumique de la feuille de résine varie avec la température. La relation suivante permet de calculer la variation de la masse volumique comme suit:

$$\rho' = \rho \frac{(1+3\xi \times T_{if})}{(1+3\xi \times T_{af})}$$

$$\rho'_f = 1071.53 \text{ Kg/m}^3$$

avec

$$\rho_f = 1050 \text{ Kg/m}^3$$

Le calcul de T_{ff} nécessite l'évaluation du coefficient d'échange convectif h_c :

La pompe à vide débite une quantité d'air \dot{m} à la température $T_a = 25^\circ\text{C}$ par une surface constituée de $n=304$ trous, de $\phi = 0.8 \text{ mm}$ 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

S_{tr} : La section d'un trou de soufflage /aspiration

Telle que :

$$S_{tr} = \pi \times \frac{(\phi)^2}{4}$$

$$S_{T.tr} = S_{tr} \times n$$

n : nombre de trous de soufflage/aspiration

$$S_{tr} = 0.5 \text{ mm}^2 \quad \text{et} \quad S_{T.tr} = 152 \text{ mm}^2$$

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

$$\dot{m} \text{ va} = S_{T.tr} \times V_a \quad \text{D'où} \quad V_a = \frac{\dot{m} \text{ a}}{S_{T.tr}}$$

Avec $\dot{m} \text{ va}$: le débit volumique de l'air soufflé et aspiré par la pompe à vide.

V_a la vitesse de l'air lors du soufflage et de l'aspiration

$$\dot{m} \text{ va} = 800 \text{ l/min} = 0.0133 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_a = 87.5 \text{ m/s}$$

Par application de la corrélation ci-dessous pour un écoulement de l'air en convection forcée sur une plaque sans rayonnement, [9] on aboutit à:

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

$$\text{AN} \quad hc = 7.15 \times 87.5^{0.78} \quad hc = 233.92 \text{ w/ m}^2 \text{ K}$$

D'où la température de la feuille après le soufflage T_{ff} :

La température T_{ff} est donnée par application de la relation (9) :

$$\text{AN} \quad T_{ff} = \left[\exp \left(- \frac{233.92 \times 9777735 \times 10^{-6.13}}{2000 \times 1050 \times 1759923 \times 10^{-9}} \right) \times (123.18 - 25) + 25 \right]$$

$$T_{ff} = 115.56^\circ\text{C}$$

Φ_1 Se calcule avec la relation (2) :

$$\Phi_1 = 1769.69 \text{ W}$$

V.5. Calcul de la température de l'air après soufflage T_{sa} :

Par le fait de phénomène de convection forcée, l'air plus chaud qu'à son entrée dans le moule ressort avec la température T_2 telle que:

D'après la relation (3)

$$\Phi_1 = \dot{m}a \cdot Cpa \cdot (T_{sa} - T_{ea})$$

D'où l'on tire :

$$T_{sa} = \frac{\Phi_1}{\dot{m}a \times Cpa} + T_{ea}$$

Cpa : représente la chaleur massique de l'air à la température du film T_{film}

$\dot{m}a$: représente le débit massique de l'air de soufflage.

$$T_{film} = \frac{T_{ea} + T_{if}}{2}$$

AN $T_{film} = 125,04^\circ\text{C}$ avec $T_{if} = 123,5^\circ\text{C}$ et $T_{ea} = 126,9^\circ\text{C}$

D'où $T_{sa} = T_{film} = 125,04^\circ\text{C}$

V.6. Calcul du flux de chaleur Φ_2 cédé par conduction par la feuille au moule:

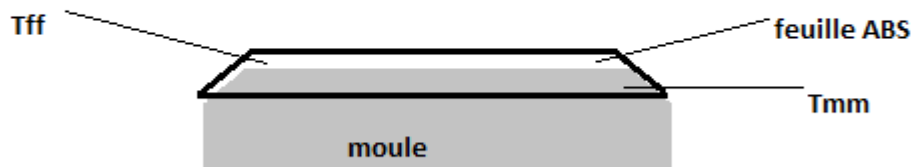


Figure V.2 : Conduction par la feuille au moule [7]

Le moule au contact de la feuille de résine plus chaude que sa surface reçoit un flux de chaleur Φ_2 par conduction, et ce flux se traduit par la relation suivante:

$$\Phi_2 = - \frac{\lambda_f \cdot S'_f}{e'_f} \cdot (T_{mm} - T_{ff})$$

AN
$$\Phi_2 = - \frac{0,15 \cdot 992834,13 \cdot 10^{-6}}{1,81 \times 10^{-3}} \cdot (40 - 115,56)$$

$$\Phi_2 = 6217\text{w}$$

V.2. Calcul du flux de chaleur Φ_{pertes} cédé par le moule à l'air ambiant par convection et par rayonnement :

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

$$\Phi_{pertes} = \Phi_{cv} + \Phi_r$$

Φ_{cv} : Représente le flux total cédé par le moule à l'air ambiant par ces faces latérales et sa face inférieure par convection.

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

V.2.1. Calcul du flux de chaleur Φ_{cv} cédé par le moule à l'ambiance par convection :

Le flux total cédé par le moule à l'air ambiant est la somme du flux cédé par les faces latérales et celui cédé par la face inférieure du moule à l'ambiance, qui se traduit par l'expression suivante :

$$\Phi_{cv} = \Phi_3 + \Phi_4$$

V.2.a. Calcul du flux de chaleur Φ_3 cédé par le moule à l'air ambiant par ses faces latérales :

Le flux Φ_3 sera calculé avec la relation :

$$\Phi_3 = h_{ca} \cdot S_{T,pl} \cdot (T_{mp} - T_{aa}) \quad (12)$$

Avec h_{ca} : coefficient d'échange convectif moule-air.

$S_{T,pl}$: Surface d'échange entre l'air et le moule.

T_{mp} : Température des parois latérales du moules.

T_{aa} : Température de l'air ambiant.

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

$$h_{ca} = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} \quad (13)$$

Avec $Nu = f(Gr, Pr)$

$$Gr = 2806362349,76$$

et

$$Gr \cdot Pr = 1986904543,63 \approx 1.9 \cdot 10^9$$

Vérifions la nature de l'écoulement :

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

Par application de cette équation :

$$Nu = 0.13 \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/3} = 163,43 \quad [7]$$

Le coefficient h_{ca} sera calculé avec l'équation (13) :

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

Calculons la surface d'échange totale $S_{T,pl}$ des parois latérales avec l'air ambiant :

$$S_{T,pl} = S_{1,pl} + S_{2,pl} = [2 \times (1595 \times 150)] + [2 \times (613 \times 150)]$$

$$S_{T,pl} = 662400 \text{ mm}^2$$

On calculera le flux de chaleur Φ_3 cédé par les parois latérales du moule à l'air ambiant avec l'équation (12) :

$$\Phi_3 = 28,5 \times 0,6624 \times (40 - 25) = 283,17 \text{ W}$$

Φ_3 Représente les pertes de chaleur par convection du moule vers le milieu ambiant

V.2.b. Calcul du flux de chaleur Φ_4 cédé par vers la convection par la face inférieure du moule milieu ambiant :

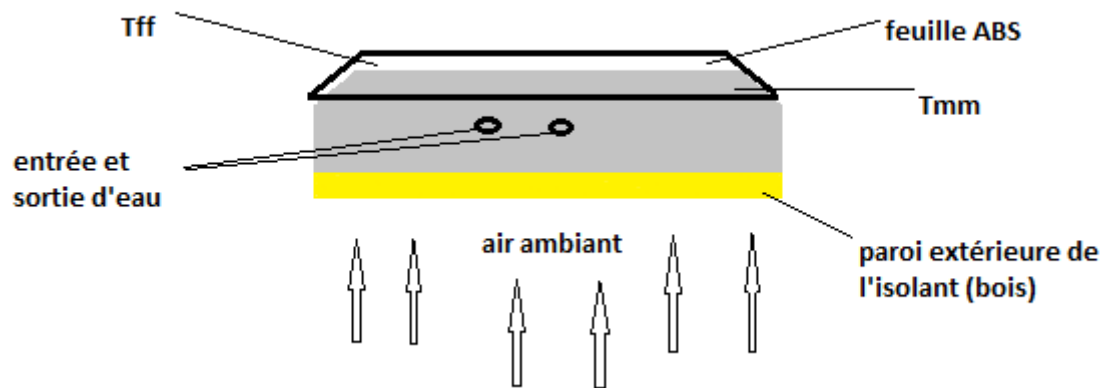


Figure V.3 : Convection par la face inférieure du moule milieu ambiant [7]

La face inférieure du moule est recouverte d'une couche de bois pour l'isolation avec l'ambiance.

L'application du bilan thermique sur cette face et l'air ambiant se traduit par :

La chaleur perdue par conduction de la surface extérieure de la face inférieure du moule est reçue par convection par l'air ambiant :

$$\Phi_{4=} = k \cdot S_{im} \cdot (T_{pei} - T_{mm}) \tag{14}$$

$$\Phi_{4=} = h'_{ca} \cdot S_{im} \cdot (T_{pe} - T_{aa}) \tag{15}$$

Tel que :

S_{im} : représente la surface de la paroi inférieure du moule.

T_{pei} : représente la température de la paroi extérieure de l'isolant.

K : représente le coefficient d'échange global entre la paroi intérieure de l'isolant et l'ambiance.

h'_{ca} : représente le coefficient de l'air et l'isolant.

Pour calculer T_{pei} , procédons par itération successives :

Soit T_{pei} la température extérieure de l'isolant (bois) .en première approximation supposons :

$$T_{pei} = \frac{T_{mm} + T_{aa}}{2}$$

AN
$$T_{pei} = \frac{40 + 25}{2} = 32,5^\circ\text{C}$$

Calculons à présent h'_{ca} par les corrélations usuelles sur des surfaces horizontales en convection naturelle [10] :

$$Gr=1403181174.88$$

$$Pr=0.708$$

$$Gr \times Pr=993452271.81$$

$$2 \cdot 10^7 \leq Gr \times Pr \leq 3 \cdot 10^{10} \quad \text{donc l'écoulement est turbulent.}$$

$$\text{Par application : } Nu = 0,14 \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/3}$$

$$Nu=139.69$$

Et on déduit h'_{ca} par application de la relation (13) :

$$h'_{ca} = 2.21 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{°C}$$

Et on calcule K avec l'équation suivante:

$$\frac{1}{K} = \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h'_{ca}}$$

$$K=1.71 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Avec e_i : épaisseur de la couche d'isolant (bois) égale à 30mm.

λ_i : conductivité thermique de l'isolant égale à 0.23 W/m.k

Et on calcul Φ_4 : avec l'équation

$$\Phi_4 = -k \cdot S_{im} (T_{pei} - T_{mm})$$

$$\text{AN} \quad \Phi_4 = -1.71 \times 1955470 \cdot 10^{-6} (32,5 - 40)$$

$$\Phi_4 = 25.07 \text{ W}$$

Calcul de T'_{pe}

$$T'_{pe} = \frac{\Phi_4}{h'_{ca} \times S_{im}} + T_{aa}$$

$$\text{AN} \quad T'_{pe} = 36.6 \text{°C}$$

Le flux total cédé par le moule à l'air ambiant est :

$$\Phi_{cv} = \Phi_3 + \Phi_4$$

$$\text{AN } \Phi_{cv} = 308.24\text{W}$$

V.2.C. Calcul du flux de chaleur Φ_r cédé par le moule à l'ambiance par rayonnement :

Le moule cède un flux de chaleur Φ_{cv} par rayonnement avec les parois du local supposées à la même température que l'air ambiant. Ceci se traduit par l'équation ci-dessous où il a été fait hypothèses que le moule est un seul corps cubique ou on néglige le rayonnement de sa face inférieure vu la faible émissivité du bois et les grandes dimensions du local qui se traduit par un flux échangé par la face inférieure du moule et le local très faible. La face supérieure du moule, le poinçon dessus, est isolé. Donc on aura quatre parois rayonnantes à la température de 40°C avec le local.

$$\Phi_r = h_r \cdot S_{Tp,l} \cdot (T_{mm} - T_{aa}) \quad (16)$$

Tel que : h_r représente le coefficient d'échange par rayonnement qui s'obtient par application de l'équation suivante :

$$h_r = \varepsilon_1 \sigma (T_{mm} + T_{aa}) (T_{mm}^2 + T_{aa}^2) \quad (17)$$

Où ε_1 est l'émissivité de l'aluminium égale à 0.11.

σ est la constante de Stefan Boltzmann égale à $5.67 \cdot 10^{-8}$.

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

$$\text{D'où } \Phi_r = 7.06 \text{ w}$$

A 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.

$$\text{Tel que : } \Phi_{pertes} = \Phi_{cv} + \Phi_r \quad (18)$$

$$\text{AN } \Phi_{pertes} = 308.24 + 7.06 = 315.30\text{W}$$

De l'équation (1) on déduit Φ_{tot} :

$$\Phi_{tot} = 1769.69 + 6217 - 315.30 = 7670.69\text{W}$$

Dimensionnement de l'Echangeur

Dimensionnement de l'Echangeur

Introduction :

Dans l'étude d'un échangeur de chaleur on cherche à obtenir une puissance d'échange donnée, avec la plus faible surface d'échange possible. Des contraintes d'encochement de poids, de normalisation interviennent.

V.1. Donné du problème :

Le problème consiste à extraire un flux de chaleur Φ_{tot} , issu des opérations de formage sur la matrice au moyen d'un serpentin rectangulaire (18×15) mm véhiculant de l'eau comme agent caloporteur à une température d'entrée $T_{ee}=14^{\circ}\text{C}$ et un débit de l'eau égal à 30L/min.

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

V.2. 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 pour 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.

V.3. Méthode de calcul : [8]

Pour le calcul (dimensionnement) des échangeurs, on part de l'équation fondamentale de la transmission de chaleur suivante.

$$\Phi = K. S. \Delta T$$

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.

A coté 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.

V.3.1. Calcul de la température de sortie de l'eau (T_{se}) :

La température de sortie de l'eau peut être déterminée de l'expression suivante :

$$T_{se} = T_{ec} + \frac{\Phi_{tot}}{m \times C_{pe}}$$

AN $T_{se} = 14 + \frac{7670,69}{0,4998 \times 4181} = 17,67^{\circ}\text{C}$

Notons que la chaleur massique de l'eau ne varie pas sensiblement avec la température

$C_{pe} = 4181 \text{ j/K.Kg}$

V.3.2. Calcul du coefficient d'échange convectif h'ci :

$$h'ci = \frac{Nu \cdot \lambda_e}{Dh}$$

Et le coefficient Nu est déterminé à partir de la corrélation suivante

$$Nu = 0.628 \cdot (Re)^{0.5} \times (Pr)^{0.33}$$

Tel que le coefficient de Reynolds est déterminé à partir de l'équation suivante :

$$Re = \frac{\rho \times Ve \times Dh}{\mu}$$

Détermination de la masse volumique de l'eau à la température moyenne de l'eau (T_{me}) :

$$T_{me} = \frac{T_{se} + T_{ee}}{2}$$

AN $T_{me} = \frac{17,67 + 14}{2} = 15,83^{\circ}\text{C}$

D'ou $\rho = -0,038 \times (T_{me})^2 + 0,0505 \times T_{me} + 1002.6$

$$\rho = 1000,84 \text{ Kg /m}^3$$

La détermination de la viscosité dynamique μ est faite à partir de la relation suivante:

$$\mu = 10^{-4} \cdot \frac{17,9 - 0,07377 \times T_{me} + 0,0003354 \times (T_{me})^2}{1 + 0,03032 \times T_{me} + 8,765 \cdot 10^{-5} \times (T_{me})^2}$$

$$\mu = 0.001119644 \text{ Pa.s}$$

V_e la vitesse de l'eau dans la conduite qui est déduite de la relation du débit d'eau :

$$\dot{m}_e = \rho_e \cdot S_t \cdot V_e$$

d'où
$$V_e = \frac{\dot{m}_e}{\rho_e \cdot S_r}$$

AN
$$V_e = \frac{0,4998}{1000,84(16 \times 13)10^{-6}} = 2,40 \text{ m/s}$$

Diamètre hydraulique est déterminé à partir de la relation suivante:

$$Dh = \frac{4 \cdot St}{P}$$

AN
$$Dh = 14,34 \text{ mm}$$

D'où
$$Re = \frac{1000,84 \times 2,40 \times 14,34 \times 10^{-3}}{0,001119644} = 30764,16$$

Nombre de PRANDTL est déterminé à partir la relation suivante à T_{me} :

$$Pr = \frac{13,06 + 1,387 \cdot T_{me} - 0,00387 \times (T_{me})^2}{1 + 0,12407 \cdot T_{me} + 0,005297 \times (T_{me})^2}$$

AN
$$Pr = 7,94$$

D'où
$$Nu = 219,59$$

Détermination du coefficient d'échange de l'eau à la température moyenne de l'eau (T_{me}) :

$$\lambda_e = -9,87 \cdot 10^{-6} \times (T_{me})^2 + 2,238 \cdot 10^{-3} \times (T_{me}) + 0,5536$$

AN
$$\lambda_e = 0,58 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

D'où
$$h'_{ci} = 8881,60 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

V.4.2. Détermination du coefficient d'échange global K_r :

Dans le calcul thermique des échangeurs de chaleur, le problème le plus complexe consiste en la détermination du coefficient d'échange global. son expression rapportée à la surface intérieure du rectangle est la suivante :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h'_{ci}} + \frac{e}{\lambda_c}}$$

λ_c : est le coefficient d'échange conductif du serpent in en cuivre égale à 386 W/m.K

Et (e) l'épaisseur de l'échangeur égale 1mm.

AN
$$K = \frac{1}{\frac{1}{8881.60} + \frac{10^{-3}}{386}} = 8688.80 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$$

V.4.3. Calcul de la longueur totale du serpentin :

$$Se = \frac{\Phi_{\text{tot}}}{K \cdot (T_{\text{se}} - T_{\text{ee}})}$$

AN

$$Se = \frac{7670,69}{8688.80 \times (17,67 - 14)} = 0,24 \text{ m}^2$$

$$Se = P \times L$$

D'ou

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

AN

$$L = \frac{0,24}{2 \times (18+1) \cdot 10^{-3}} = 6.31 \text{ m}$$

$$L \approx 6 \text{ m}$$

V.4.3. Calcul du nombre d'étage:

Le nombre d'étage suivant le pas P=78mm et de la longueur d'un étage L_e=565mm est

Déduit de l'expression de la longueur totale de l'échangeur d'où $N_e = \frac{L}{L_e}$

AN $N_e \approx 10 \text{ étage}$

V.4.4. Calcul de vérification du nombre d'étages :

La vérification de l'encombrement de l'échangeur avec ces N_e peut se faire avec l'expression de la longueur théorique du moule :

$$L_{\text{th}} \geq N_e \cdot P$$

Tel que $L_{\text{th}} = 1056 \text{ mm}$.

Dimensionnement des Vérins



Introduction :

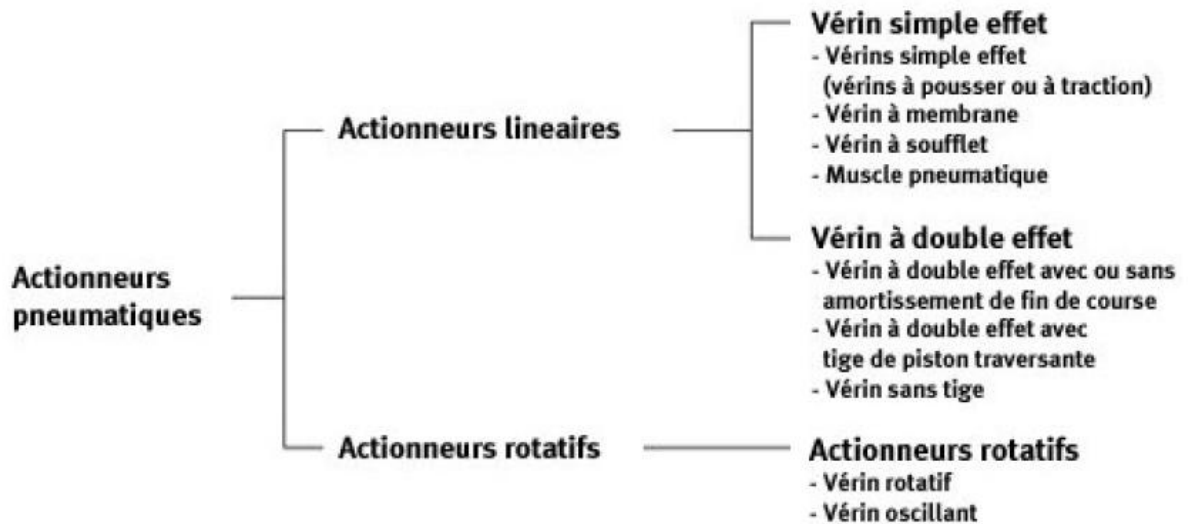
Quand on veut réaliser un mouvement linéaire avec un actionneur électrique cela engendre généralement des coûts élevés et beaucoup d'entretiens.

Si on cherche des actionneurs moins chers et simple à l utilisation, les actionneurs pneumatiques offrent une solution! Ces actionneurs linéaires sont également appelés "vérins pneumatiques" ou "vérins à air comprimé".

V.1. Les type de vérins

Les vérins sont classés par type et par fonction.

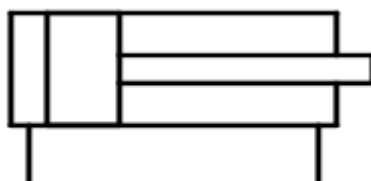
L'organigramme ci-dessous, reprend les différentes exécutions mentionnées dans ce dossier.



Compte tenu du mécanisme proposé et de la disponibilité au niveau de l'entreprise, nous avons opté pour des vérins double effet.

V.1.1. Le vérin double effet ;

Dans un vérin double effet, le piston se déplace dans les deux sens grâce à la pression de l'air comprimé.



V.1.Symbole du vérin double effet

Tant lors de la course sortante que rentrante, le vérin développe une force proportionnelle à la pression de l'air et à la surface de fonctionnement du piston.

Les vérins à double effet sont utilisés là où une force est exercée dans les deux sens (Fig. 18).

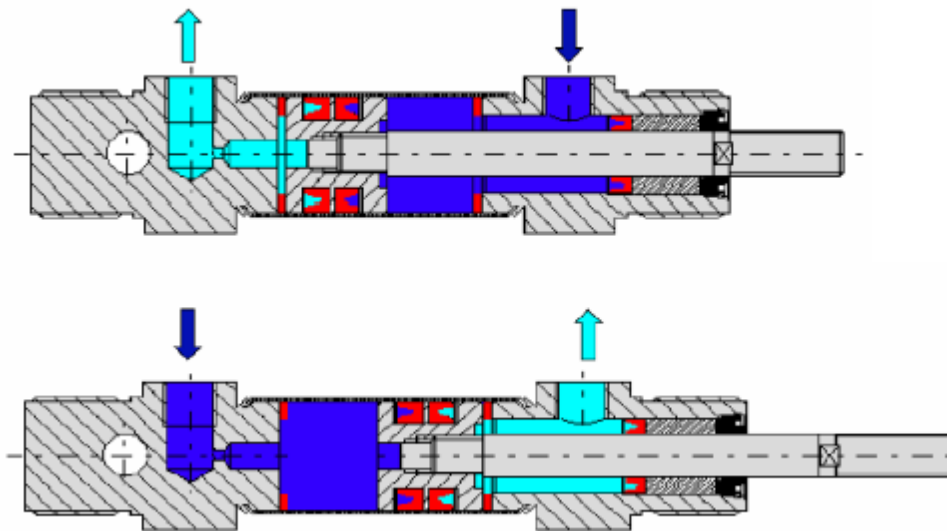


Figure V.2. Vérin double effet

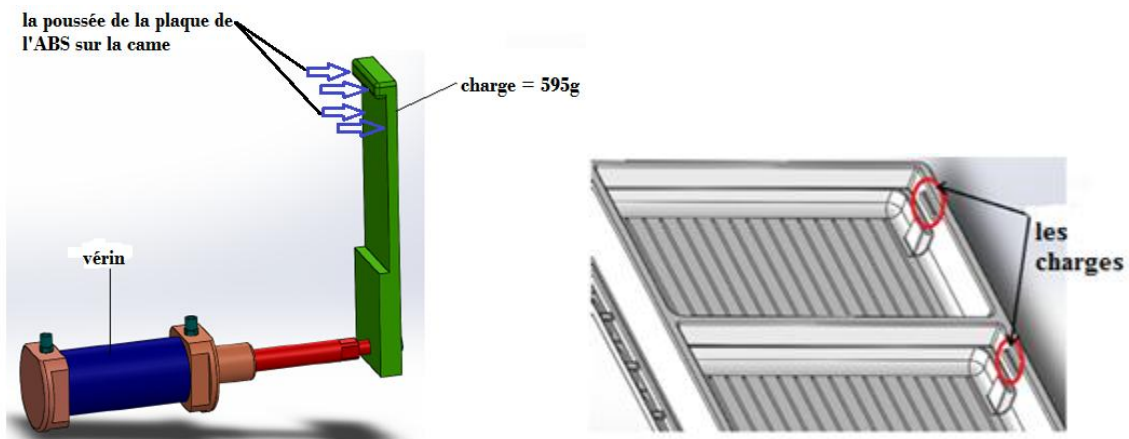
En principe, la longueur de course du piston est illimitée.

Il faut cependant tenir compte, en cas de longues courses, que la tige de vérin ne fléchisse ou ne se courbe pas.

V.2. Dimensionnement de vérin :

A partir d'une charge on dimensionnera un vérin qui puisse la pousser mais aussi la ramener. Concernant la charge on a deux charges qu'on a pris en considération :

La première c'est le poids de la came qui est égal à **595g**, la deuxième c'est la charge de poussée sur la came c.à.d. la poussée d'une partie de la plaque qui va rendre le vérin vers l'arrière lors de l'aspiration, ce qui engendre une influence sur le vérin.



Pour cela on calculera cette poussée à partir de la relation suivante :

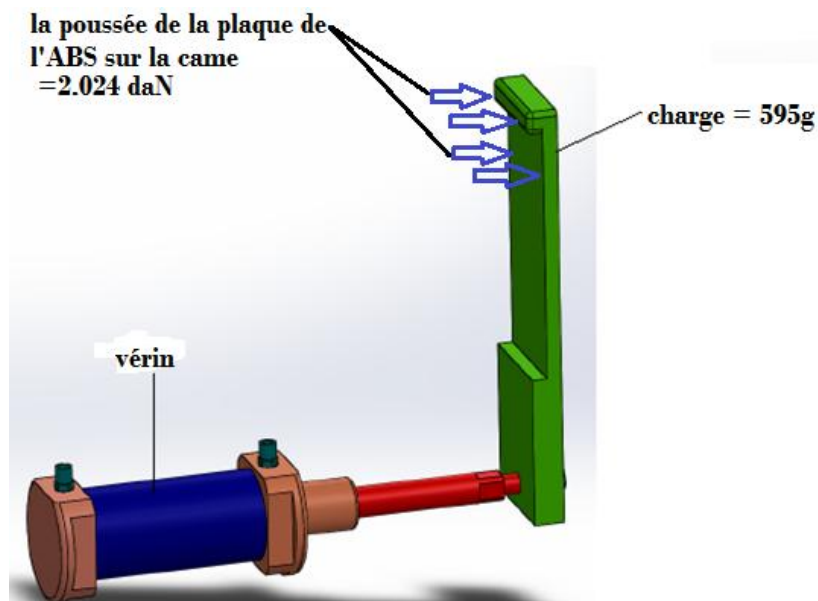
$$F_p = p * S_{pr}$$

F_p : représente la force de poussée sur la came ;

P : représente l'aspiration qui est de 0.2 bar ;

S_{pr} : section projetée de la came (46x22) mm² ;

A.N : $F_p = 0.2 * 10.12 = 2.024 \text{ da N}$

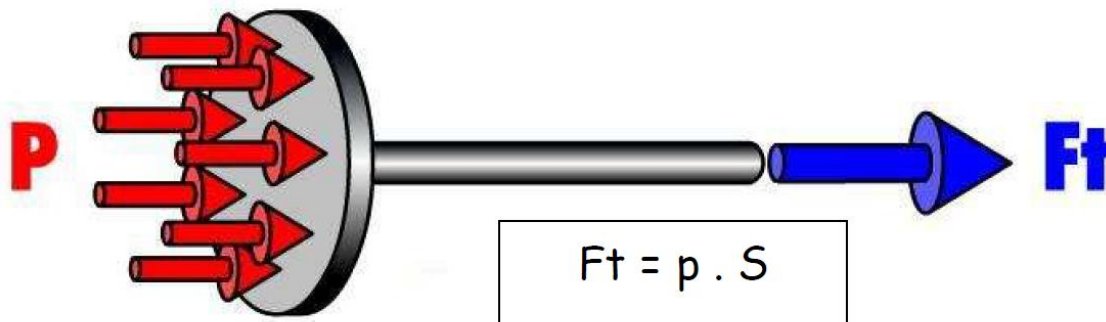


A partir du poids de la came et la force de poussée nous avons une charge totale qui est égale à La somme des deux dernières :

$$AN: \quad \mathbf{F_T = F_p + p = 2.084 \text{ da N}}$$

Cette charge est une donnée d'entrée qui va nous permettre de calculer les dimensions de notre vérin et aussi la force nécessaire pour déplacer la charge.

V.2.1. Détermination de la force théorique (sortante) :



$$\mathbf{F_{th} = P \times S_{th}}$$

S_{th} : section de piston théorique

p : pression fournie est égale à 3bar

Avec
$$\mathbf{S_{th} = \frac{F_{th}}{p}}$$
 d'où
$$\mathbf{S_{th} = \frac{2.084}{3} = 0.694 \text{ cm}^2}$$

$$\mathbf{D_{th} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{th}}{\pi}}} \quad \text{d'où} \quad \mathbf{D_{th} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.694}{\pi}} = 0.94 \text{ cm}}$$

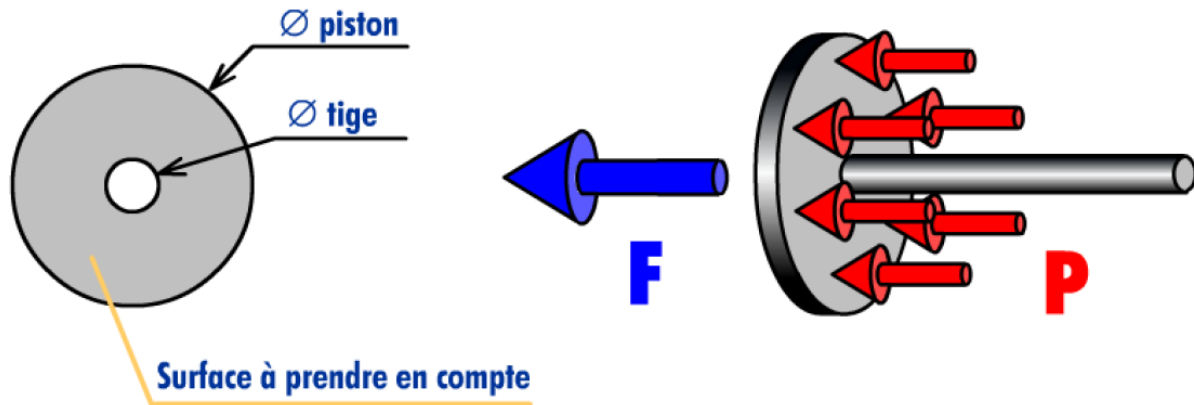
D'après un tableau pour le choix des vérins normalisés (voir le tableau ci-dessous) on prend un vérin de diamètre **12mm** pour le piston et **4mm** pour le diamètre de la tige

Alésage (mm)	Ø tige (mm)	Mouvement	Surface utile cm ²	1 BAR	2 BAR	3 BAR	4 BAR	5 BAR	6 BAR	7 BAR	8 BAR	9 BAR	10 BAR
12	4	poussée traction	1,13 1	0,0023 0,002	0,0034 0,003	0,0045 0,004	0,0057 0,005	0,0068 0,006	0,0079 0,007	0,009 0,008	0,0102 0,009	0,0113 0,01	0,0124 0,011
16	6	poussée traction	2,01 1,73	0,004 0,0035	0,006 0,0052	0,008 0,0069	0,01 0,0086	0,0121 0,0104	0,0141 0,0121	0,0161 0,0138	0,0181 0,0156	0,0202 0,0173	0,0221 0,019
20	8	poussée traction	3,14 2,64	0,0063 0,0053	0,0094 0,0079	0,0126 0,0106	0,0157 0,0132	0,0188 0,0158	0,022 0,0185	0,0251 0,0211	0,0283 0,0238	0,0314 0,0264	0,0346 0,029
25	12	poussée traction	4,91 3,78	0,0098 0,0076	0,0147 0,0113	0,0196 0,0151	0,0245 0,0189	0,0295 0,0227	0,0344 0,0264	0,0393 0,0302	0,0442 0,034	0,0491 0,0378	0,054 0,0415
32	12	poussée traction	8,04 6,91	0,016 0,014	0,024 0,021	0,032 0,028	0,04 0,035	0,048 0,042	0,056 0,049	0,064 0,058	0,072 0,063	0,08 0,07	0,088 0,076
40	16	poussée traction	12,56 10,55	0,025 0,021	0,038 0,032	0,05 0,042	0,063 0,053	0,076 0,063	0,088 0,074	0,1 0,088	0,113 0,095	0,126 0,106	0,138 0,116
50	20	poussée traction	19,63 16,49	0,039 0,033	0,059 0,05	0,079 0,066	0,098 0,082	0,118 0,099	0,137 0,115	0,157 0,132	0,177 0,149	0,196 0,165	0,216 0,181

V.2.2. Calcul coté piston :

$$S \text{ coté piston} = S = \frac{f}{p} = 0,694 \text{ mm}^2$$

V.2.3. Calcul coté tige :



$$S \text{ coté tige} = S \text{ piston} - S \text{ tige} \quad \Rightarrow \quad S = 0,694 - 0,125 = 0,569 \text{ cm}^2$$

V.2.4. Calcul F rentrante et F sortante :

$$F \text{ sortante} = P \times S \quad \Rightarrow \quad 3 \times 0,694 = 2,084 \text{ da N}$$

$$F \text{ rentrante} = P \times S \quad \Rightarrow \quad 3 \times 0,569 = 1,707 \text{ da N} < 2,084 \text{ da N}$$

Le vérin trouvera des difficultés à la sortie pour une charge de **2,084 daN** car les frottements sont isolés de plus on aura des difficultés à la rentrée c'est pourquoi on appliquera un taux de charge estimé à **0,5**.

Si quoi un taux de charge ?

C'est un paramètre qui tient compte à la fois des effets de la contre pression et des frottements son emploi élimine les risques de frottements

En pratique :

$$0,5 \leq \text{taux de charge} \leq 0,75$$

Par défaut on utilise un taux de charge de 0,5

$$F \text{ théorique} = \frac{F \text{ réel}}{\text{taux de charge}}$$

F réel : effort à vaincre pour déplacer la charge

F théorique : force théorique ($P \times S$)

V.2.5. Calcul de section pratique : en appliquant le taux de charge

$$S = \frac{F}{0,5 \times P} \Rightarrow S = \frac{2,084}{0,5 \times 3} = 1,38 \text{ cm}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 1,38}{3,14}} = 1,32 \text{ cm} = 13,2 \text{ mm}$$

On prend un diamètre de piston **16mm** et **6mm** de la tige (d'après le tableau précédant)

V.2.6. Calcul F sortante et F rentrante pratique :

$$F_{\text{sortante}} = 0,5 \times P \pi \frac{(1,6)^2}{4} = 3,01 \text{ daN}$$

$$F_{\text{rentrante}} = \frac{((1,6)^2 - (0,6)^2)}{4} \pi \times 3 \times 0,5 = 2,60 \text{ da N}$$

Force sortante = 3,01 daN

Force rentrante = 2,60 da N

Conclusion :

Nous pouvons conclure que le vérin obtenu résistera largement aux sollicitations puisque les forces calculées sont suffisamment supérieures à la charge transportée.

F_{sortante} (3.01 daN) > charge (2.084 daN) < F_{rentrante} (2.60 daN)

Donc la force rentrante (Fr = 2.60 daN) est une force de maintien qui va soutenir la came pour ne pas revenir vers l'arrière au moment de l'aspiration de la feuille de l'ABS.

Chapitre VI

CONCEPTION MECANIQUE
CONCEPTION MECANIQUE

Introduction :

Pour pouvoir réparer ou fabriquer un objet, il faut d'abord le comprendre. Quelles sont les pièces du mécanisme ? Comment sont-elles assemblées ? Où se situent-elles dans le mécanisme ? Autant de questions auxquelles il faut répondre pour comprendre un mécanisme.

Le dessin technique est un moyen d'expression universel à tout technicien. Il suit des règles, des normes précises et rigoureuses dans un souci d'efficacité.

Tout professionnel qui utilise ou agit sur des mécanismes (machines, engins, automobiles...) doit pouvoir décoder un dessin technique, sans quoi qu'il serait vite perdu et inefficace. Savoir décoder et utiliser un dessin technique nécessite de la rigueur et de l'organisation.

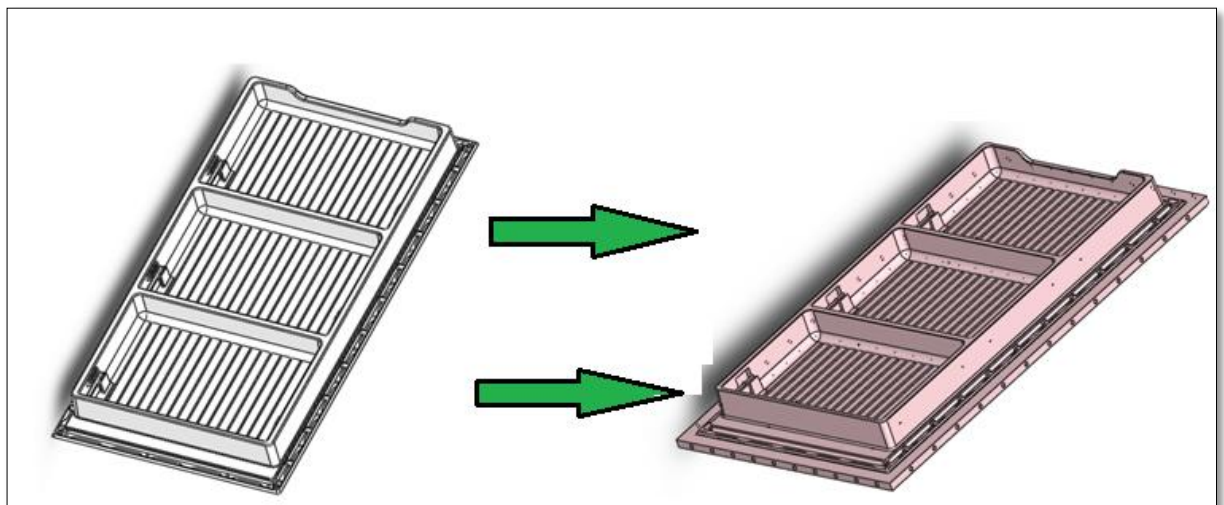
VI.1. Le but de conception :

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

Notre conception assistée par Ordinateur a été réalisée sur le logiciel solid Works 2013, dont nous avons quelques connaissances de par notre formation antérieure, sur les conceptions volumiques.

VI.2. Les Moule pour le thermoformage

On obtient un moule de thermoformage à partir de la pièce qu'on veut réaliser, ça veut dire que c'est la pièce qui va exiger la forme et le type de moule qu'on va utiliser, comme présente la figure VI.1. Ces moules sont généralement en aluminium mais peuvent être en résine époxydes pour de petites séries, voir en bois pour la fabrication d'échantillons. Les pièces sont réalisées avec des moules positifs ou négatifs.

**Figure VI.1. a) pièce****b) moule**

VI.2.1.Moule Positif :

Le thermoformage avec ces moules est encore appelé « drapage » car la feuille préchauffée est drapée sur le moule par la pression atmosphérique externe. L'air entre moule et feuille est aspiré par une pompe à vide. La fabrication et l'usinage de ce type de moule sont simples et peu onéreux.

VI.2.2.Moule Négatif :

Cette fois ci le moule vient au niveau de la plaque, la matière vient ensuite s'y "étaier" sous l'effet de la pression ou par le vide. Le moule est conçu comme une cavité percée de petits orifices pour l'évacuation de l'air emprisonné entre la feuille et lui-même. Pour déformer la feuille, on emploie généralement une pression d'air. Les poinçons mécaniques, en plus d'une pression d'air sont très utilisés dans le cas des thermoformages profonds.

Et comme nous avons indiqué dans le paragraphe précédant c'est la pièce qui va imposer le type de moule. Et dans notre cas on à un formage positif/négatif combiné (formage positif/négatif avec bullage et contre-pistonnage) comme l'illustre-la figure VI.2.

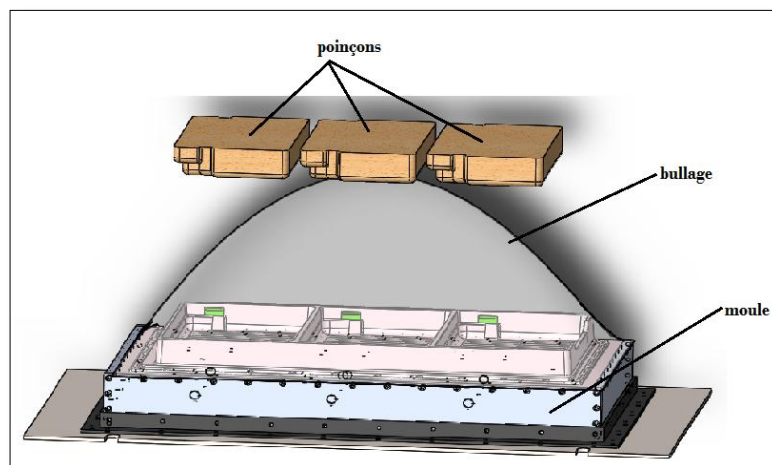


Figure VI.2. principe de formage positif/négatif avec bullage et contre-pistonnage.

Ce procédé est avantageux pour un étirement positif/négatif très important. Il faut former une préforme de telle manière que son contour soit très voisin de la pièce finie. La distance entre le moule de thermoformage et le cadre doit correspondre à environ 15 à 20% de la hauteur de la pièce.

Déroulement du cycle :

- chauffage,
- bullage,
- contre-pistonnage,

- montée de moule quand le piston est pratiquement parvenu en butée de fin course,
- formage de la contre-dépouille,
- déclenchement de vide,
- remontée de piston,
- démoulage,
- refroidissement.

VI.3.Présentation du moule :

Ce moule est présenté en trois dimension figure VI.3 et sur des dessins d'ensembles (planche).Chaque dessin d'ensemble contient des dessins de définition de leurs éléments.

Nos planches sont sous l'ordre suivant :

Planche N° I : pièce

Planche N° II: moule

Planche N° II.1: empreinte

Planche N° II.2 : paroi

Planche N° II.3 : paroi

Planche N° II.4 : semelle

Planche N° II.5 : cadre de fixation

Planche N° II.6 : échangeur

Planche N° II.1.7 : Bride d'échangeur

Planche N° II.8 : came

Planche N° II.2. 9: Vérins

Planche N° II.10 : bride de vérin

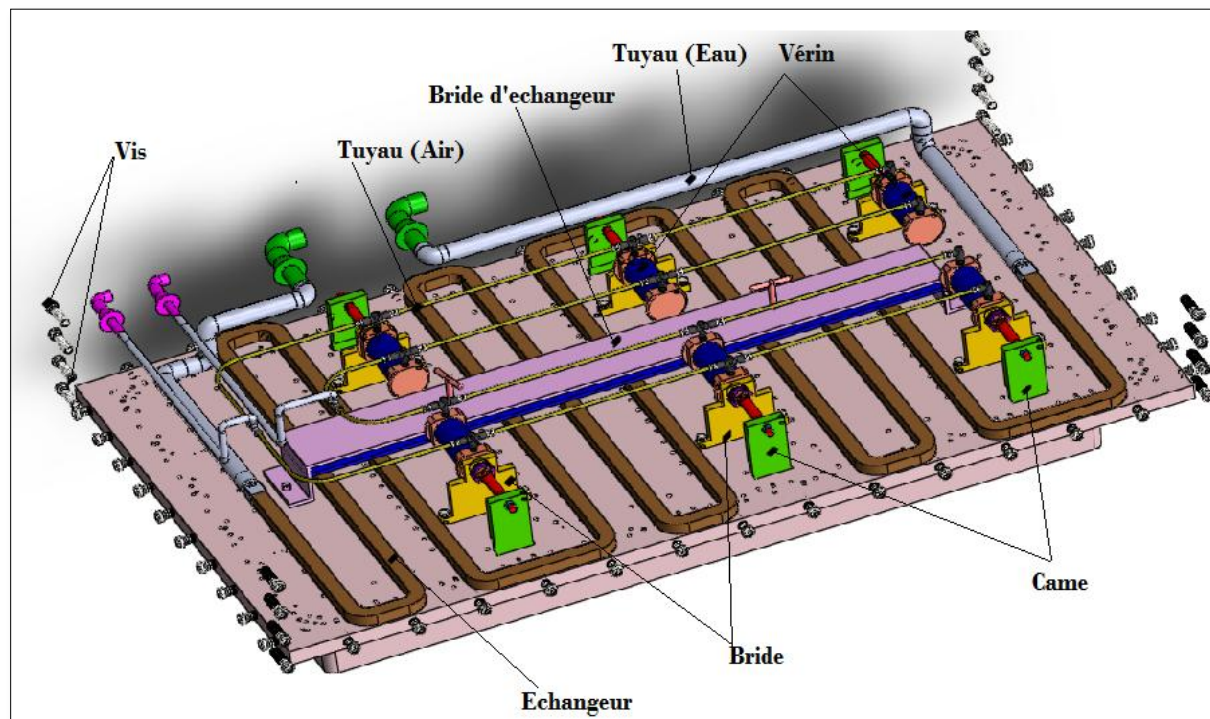
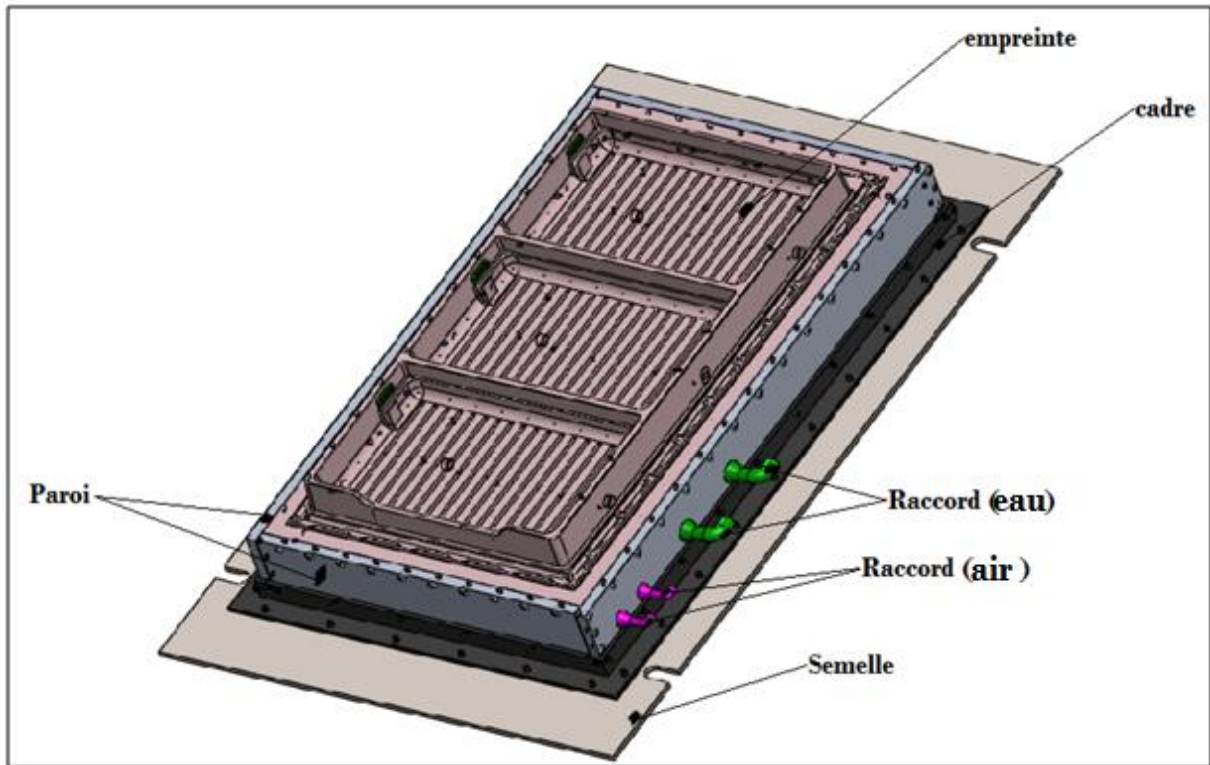


Figure VI.3. Composantes du moule.

VI.3.1.Principales composantes de moule :

VI.3.1.1.L’empreinte :

la figure VI.4 représente la matrice de notre moule qui a pour but d’obtenir la forme de la nouvelle conte porte sur la plaque de l’ABS, et ça après chauffage de la plaque suivie d’aspiration qui permet d’obtenir la forme désirée.

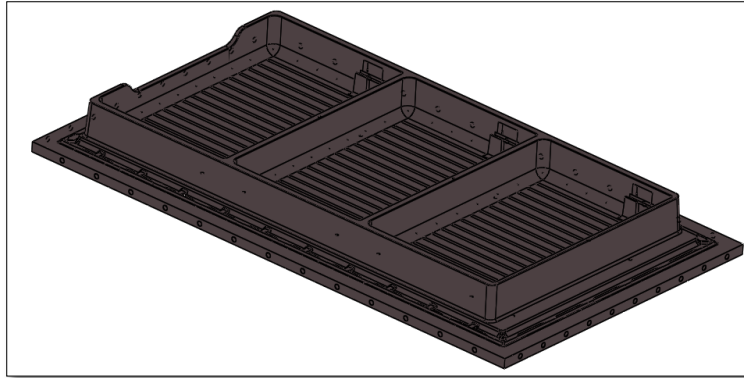


Figure VI.4. empreinte

VI.3.1.2.L’échangeur :

La figure VI.5 illustre un système de refroidissement appelé l’échangeur de chaleur, qui est encastré entre la paroi intérieure et la paroi extérieure de la matrice, il est constitué d’un rectangle en forme de serpent en contact avec la surface inférieure et supérieure de 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 serpent.

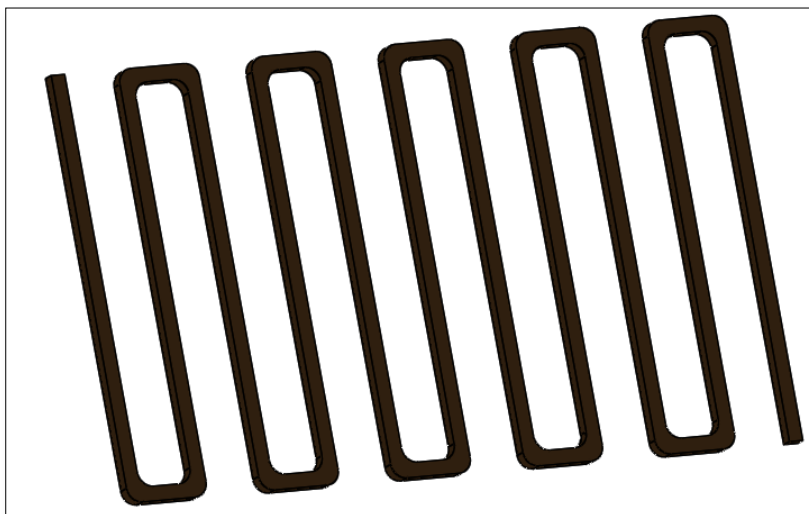


Figure VI.5.Echangeur

VI.3.1.3. Bride d'échangeur :

Le dispositif ci-dessous (figure VI.6) montre un système de bridage, qui est destiné à assurer une bonne fixation de l'échangeur. Il est composé de trois pièces essentielles : glissière, coulisseau et deux vis d'entraînement.

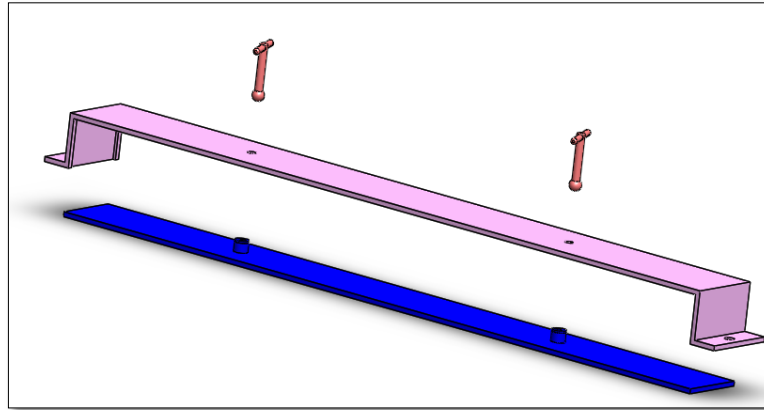


Figure VI.6. bride d'échangeur

VI.3.1.4. Vérin :

Dans le nouveau modèle de la contre-porte (320 L) nous avons changé le moyen d'obtention de la contre dépouille sur des produits que nous avons obtenu à partir du procédé de thermoformage et cela à l'aide des vérins double effet.

Le rôle principal de ces vérins est de déplacer les cames qui portent la matrice à sa partie supérieure, cette dernière va nous permettre l'obtention de la contre dépouille souhaitée sur le produit. (Figure VI.7)

Les vérins à double effet utilisent l'air comprimé pour effectuer leurs courses sortantes (démoulage) et rentrantes (thermoformage).

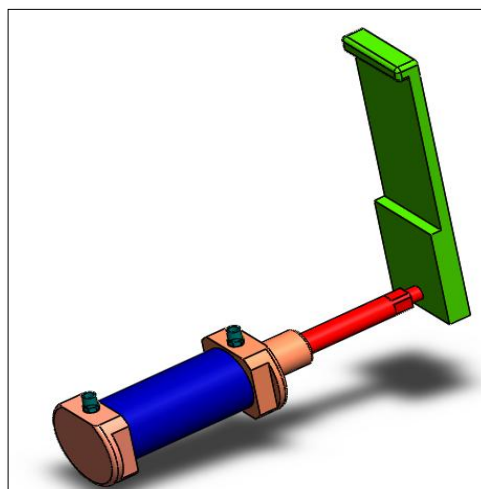


Figure VI.7. vérin

VI.3.1.5. Bride de vérin :

Le montage du vérin se fait d'une façon rigide à l'aide de fixation par bride (figure VI.8).

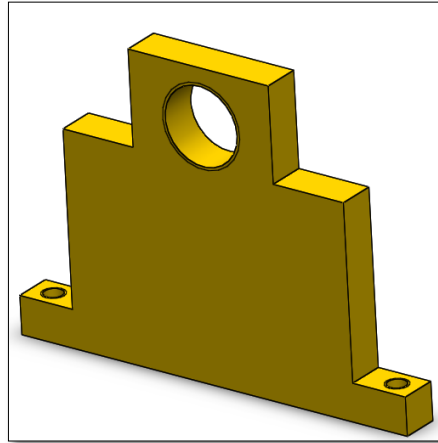


Figure VI.8. bride

VI.3.1.6. Came:

Elle permet d'avoir la forme de la contre-dépouille à l'aide d'un vérin (figure VI.9).

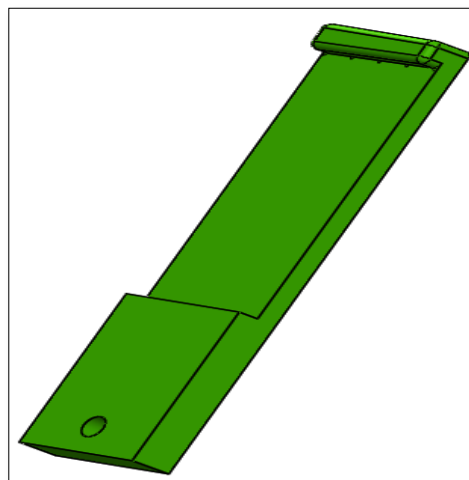


Figure VI.9. Came

VI.3.1.7. Tuyaux :

Ils servent à transporter l'air comprimé vers les vérins par l'intermédiaire d'une pompe à vide. (Figure VI.10).



Figure VI.10. Tuyaux

VI.3.1.8. Cadre :

Il nous assure la fixation des parois avec la semelle (figure VI.11).



Figure VI.11. Cadre

VI.3.1.9.Semelle :

C'est la base du moule qui forme une chambre vide par l'intermédiaire des parois (figure VI.12).

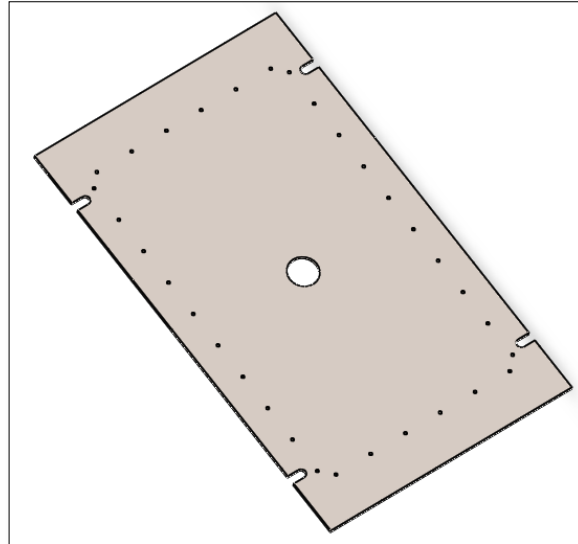


Figure VI.12. Semelle

VI.3.1.10.Paroi :

Elle nous permet de fixer la surface inférieure de l'empreinte et la surface supérieure de la semelle pour créer une chambre fermée, fixée par des vis CHC. (figure VI.13).

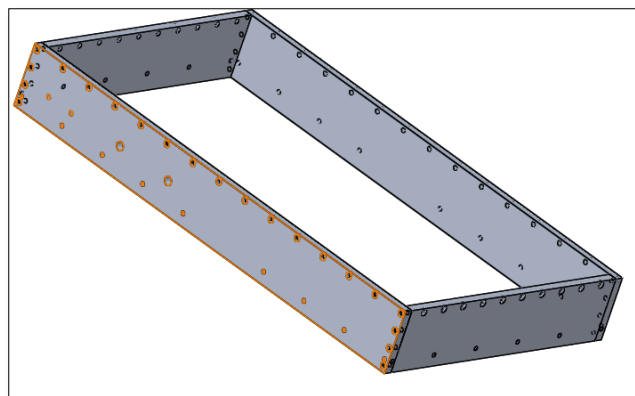


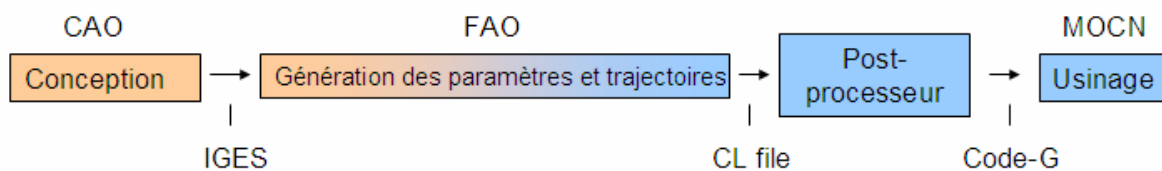
Figure VI.13. parois

Fabrication du Moule C.F.A.D
Explication de l'onglet C.F.A.D

Introduction :

La Commande Numérique est une technique utilisant des données composées de codes alphanumériques pour représenter les instructions géométriques et technologiques nécessaires à la conduite d'une machine ou d'un procédé.

C'est également une méthode d'automatisation des fonctions des machines ayant pour caractéristique principale une très grande facilité d'adaptation à des travaux différents. À ce titre, la CN constitue l'un des meilleurs exemples de pénétration du traitement de l'information dans les activités de production. Exploitant au maximum les possibilités de la micro-informatique, toutes les données sont traitées en temps réel, c'est-à-dire au moment où elles sont générées, de manière à ce que les résultats du traitement contribuent également à piloter le processus.



La conception assistée par ordinateur sous Solid Works 2013 nous permet de réaliser maintenant la Fabrication Assistée par Ordinateur. L'objectif ici n'est pas de réaliser la contre porte mais le moule positif utilisé pour le thermoformage.

VI.1.Fonction d'une machine CNC

Le premier rôle d'une machine CNC (Computerized Numerical Control), est de générer des mouvements. Elle recevra des valeurs de positionnement, de vitesse et d'accélération et générera, suite à un traitement, des consignes numériques en sortie.

Elle dispose d'une grande puissance de calcul et d'une plus grande souplesse d'utilisation qu'un automate programmable. Ce dernier est néanmoins un complément de la commande CNC pour ce qui est de la gestion des entrées telles que : interrupteur, bouton d'arrêt d'urgence, butée « hard », etc. et l'activation de sorties binaires telles que : alimentation de groupe hydraulique, colonne lumineuse, etc.

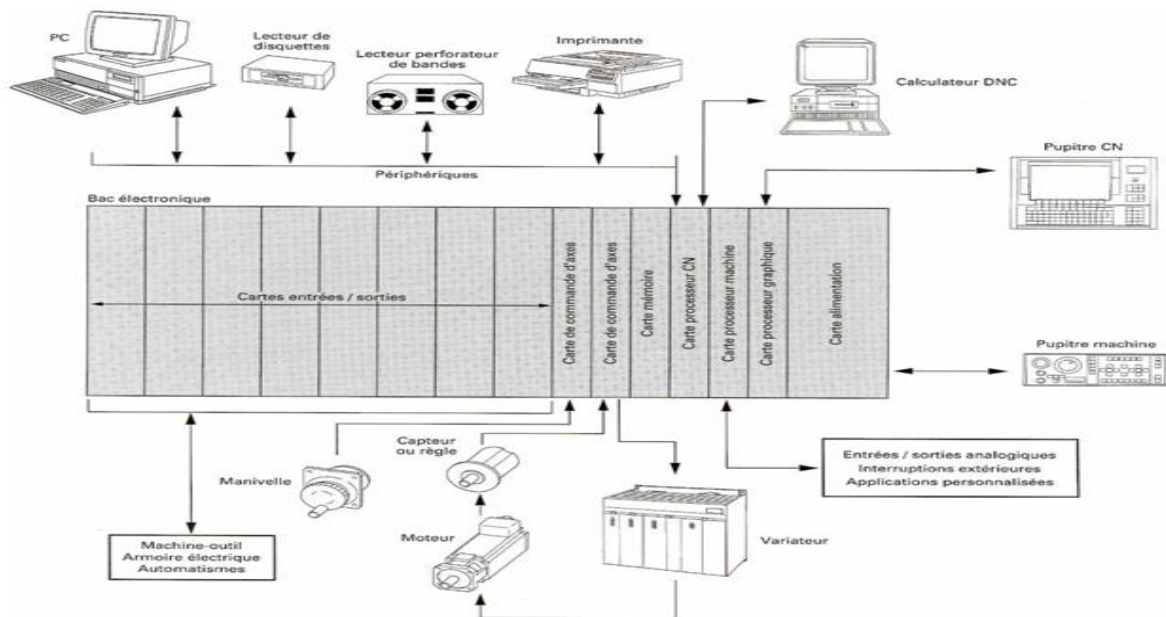


Figure VI.1. Architecture matérielle d'une CN

VI.2. Qu'est ce qu'un programme CN :

Pour élaborer un programme CN, il faut avoir déterminé auparavant le contrat de phase qui contient les informations : machine-outil à commande numérique envisagée, choix d'outil, détermination des conditions de coupe et des trajectoires, choix du porte-pièce, calcul des cotes de fabrication. A partir de ceci, le programmeur choisit le ou les repères de programmation qu'il va utiliser ainsi les enchaînements entre les trajectoires d'usinage.

VI.3. Rappel sur le F.A.O :

VI.3.1. Les codes

- Fonctions préparatoires (G), fonctions d'appel de mode d'interpolation (G 0), cycles machine
- Coordonnées de points (X, Y, Z, I, J, K)
- Vitesses, avances... (S, F)
- Fonctions auxiliaires (M) qui permettent d'enclencher la lubrification, de changer d'outil, ou de déclencher des accessoires.

X : position absolue

Y : position absolue

Z : position absolue

A : position (rotation autour de l'axe X)

B : positions (rotation autour de l'axe Y)

C : position (rotation autour de l'axe Z)

U : position Relative OU axe secondaire

V : position Relative OU axe secondaire

W : position Relative OU axe secondaire

M : code Fonction "Machine" ou "Modale"(un autre type d'action ou de code machine(**))

(Parfois référencé comme fonction 'diverse' ("Miscellaneous" en anglais)

Permet aussi de contrôler des entités externes à la machine proprement dit (magasin auxiliaire, refroidisseur, compteur ETC)

D : associations d'un correcteur de jauge outil

F : vitesse de déplacement

S : vitesse de rotation

C : s'il est intégré dans un bloc de cycle fixe ébauche ou finition, C désigne un chanfrein

N : numéro de ligne

Le numéro de bloc n'est pas obligatoire à chaque ligne avec certaines commandes ISO, il désigne juste un endroit du programme où l'on peut ordonner un saut d'opération ou un départ d'opération, le plus souvent avant un changement d'outil

V : permet de contrôler une vitesse de rotation dans une machine avec diverses configurations

R : Rayon d'arc ou option passée à un sous programme

P : Temps de pause ou option passée à un sous programme ou appel de sous programme (Précédé de M98 par ex)

T : Sélection d'outil

I : Axe X des données d'un arc

J : Axe Y des données d'un arc

K : Axe Z des données d'un arc

D : diamètre de coupe/décalage pour l'épaisseur d'outil

H : décalage pour la hauteur de l'outil

(*) Les codes M contrôlent l'ensemble de la machine, permettant son démarrage, son arrêt, la mise en route de l'arrosage, etc. Alors que les autres codes concernent le cheminement de l'outil.

Des machines différentes peuvent utiliser le même code pour effectuer des fonctions différentes: même les machines qui utilisent le même contrôleur CNC. Certains ont déclaré que le G-code "**Fanuc**" est standard, ce qui est faux. C'est simplement l'un des plus simples et des plus répandu.

Common Fanuc G Codes

G00	Déplacement rapide
G01	Interpolation linéaire
G02	Interpolation circulaire (sens horaire)
G03	Interpolation circulaire (sens anti-horaire)
G04	Arrêt programme et ouverture carter (pour nettoyer) (temporisation - suivi de l'argument F ou X en secondes)
G10/G11	Écriture de données/Effacement de données
G17	Sélection du plan X-Y
G18	Sélection du plan X-Z
G19	Sélection du plan Y-Z
G20	Programmation en pouces
G21	Programmation en mm
G28	Retour à la position d'origine
G31	Saute la fonction (utilisé pour les capteurs et les mesures de longueur d'outil)
G33	Filetage à pas constant
G34	Filetage à pas variable
G40	Pas de compensation de rayon d'outil
G41	Compensation de rayon d'outil à gauche
G42	Compensation de rayon d'outil à droite
G90	Déplacements en coordonnées absolues
G91	Déplacements en coordonnées relatives
G94/G95	Déplacement en Pouce par minute/Pouce par tour
G96/G97	Vitesse de coupe constante (vitesse de surface constante)/Vitesse de rotation constante ou annulation de G96

Tableau VI.1. Common fanoc G code.

VI.3.2.Codes spéciaux**VI.3.2.1. Spécifique FANUC**

G43 : Prise en compte de la longueur (fraisage)

M98 : appel de sous programmes

VI.3.2.2.Spécifique NUM

EB : Rayon à l'intersection de deux lignes

G77 : Appel de blocs

G79 : Saut de bloc

VI.3.3.Codes CNC ISO de base FANUC

M03, M04, M05 Broche sens horaire, sens antihoraire, arrêt de broche

M21 Activation pression broche /M121 à M127 Palier pression selon outils

M07, M08, M09 Mise en route arrosage/ arrêt arrosage

M02 Arrêt du programme

M30 Fin du programme, réinitialisation, rembobinage

M99 Fin du sous-programme

M00, M01 Arrêt du programme, arrêt optionnel ou avec condition

M06 Changement d'outil

G96, G97: vitesse de coupe constante, Vitesse de rotation constante

G92 Vitesse de broche maximum

G95, G94 Déplacement mm par tour, déplacement mm/min

G00, G01 Mouvement rapide, interpolation linéaire (coupe suivant une ligne droite)|

F : Vitesse de déplacement

S : Vitesse de broche

Coordonnées d'axes X Y Z A B C

VI.3.4.Fonctions préparatoires G

La fonction d'interpolation linéaire rapide G0 (interpolation linéaire en mode rapide).

La fonction d'interpolation linéaire (à la vitesse programmée) G1 (interpolation linéaire en mode de travail).

La fonction d'interpolation circulaire **G2** (interpolation circulaire sens horaire) et **G3** (interpolation circulaire sens trigonométrique).

La fonction de temporisation (programmable avec F X ou P) **G4**.

La fonction d'arrêt précis en fin de bloc **G9**.

Il est aussi possible sur certains pupitres de programmation d'utiliser ces deux codes (G2 G3) pour créer une interpolation circulaire, des fonctions d'interpolation à base de courbe NURBS **G6.2**.

Sur les fraiseuses équipées de tête birotative les codes **G17, G18, G19** définissent l'axe des cycles de perçage, taraudage... et le plan dans lequel seront réalisées les interpolations circulaires et activé le correcteur de rayon d'outil.

- **G17** : Axe d'outil Z, interpolations G2, G3 et correction rayon dans le plan X Y.
- **G18** : Axe d'outil Y, interpolations G2, G3 et correction rayon dans le plan Z X.
- **G19** : Axe d'outil X, interpolations G2, G3 et correction rayon dans le plan Y Z.

Les codes de la famille **G52, G53, G54, G55...**sont utilisés pour :

- Programmer un décalage d'origine ;
- Définir que les déplacements sont relatif à l'origine machine ;
- Choisir le numéro de l'origine pièce.

Certains codes G de la famille **G60 G70** peuvent être utilisés par les fabricants de DNC pour :

- Le choix de la programmation cartésienne ou polaire ;
- L'activation d'un facteur d'échelle ;
- La mise en action d'une fonction miroir ;
- La programmation en mesure métrique ou en pouce.

Les codes **G90 G91**définissent la programmation absolue ou incrémentale des cotes.

Des cycles préprogrammés sont également accessibles sur la plupart des machines : **G 81, 82, 83...** Pour les cycles de perçage, taraudage, etc. avec l'annulation par **G 80**. D'autres cycles peuvent être

présents selon le type de machine (tour "cycle d'ébauche G71, G72, G73...", fraiseuse, aléuseuse, fil, ...).

VI.3.5.Fonctions auxiliaires M

Mise en rotation broche **M3** horaire, **M4** anti-horaire. Arrêt par **M5**.

Changement outil automatique ou manuel **M6**.

Mise en route de l'arrosage externe **M8**. Arrêt par **M9**.

Mise en route de l'arrosage par le centre de la broche **M7** Arrêt par **M9**

Fonction de fin de programme **M2** ou **M30**.

Fonction d'arrêt programme **M0**.

Fonction d'arrêt optionnel programme **M1**

Fonction d'activation d'axe angulaire en remplacement de broche tournage "**M88-89**" (selon commande- Sauf mazak qui gère automatiquement)

Origines

OM : Origine machine : Butée électrique dans le sens positif de l'axe.

Om : Origine mesure : Premier point zéro (strobe) du codeur rencontré par le d.c.n. après OM. [**G52**]

Opp : Origine porte pièce : Liaison entre la machine et le porte pièce.

Op : Origine pièce : Liaison entre le porte pièce et la pièce.

OP : Origine programme : C'est l'origine de tous les déplacements programmés sauf **G52 & G59**.

Opo : Origine porte outil : C'est le point piloté sans correction d'outil.

VI.3.6.Corrrections :

Correction de la machine permettant de tenir compte des différentes longueurs et diamètres d'outil.

- en fraisage : correcteur de longueur de fraise : Activé automatiquement lors du changement outil (M6). Sur DNC FANUC **G43**, annulation par **G49** ; Pour le correcteur de rayon de fraise: **G41** et **G42**, annulation par **G40**. Sur certains DCN, le petit rayon de bout d'outil est compensable par un correcteur préfixé @.
- **G41** positionne l'outil à gauche de la trajectoire programmée d'une valeur égale au rayon.
- **G42** positionne l'outil à droite de la trajectoire programmée d'une valeur égale au rayon.
- en tournage : correcteur de longueur d'outil, correcteur en diamètre et compensation de rayon de bec: **G41** et **G42**, annulation par **G40**.

De plus, la correction d'outils en cours d'usinage appelée "correction dynamique" permet de compenser l'usure de l'outil.

VI.3.7.Axes

- Les axes X et Y sont disposés suivant un repère orthonormé direct par rapport à Z.

- L'axe X est celui qui permet la plus grande distance de déplacement. Le dernier axe étant l'axe Y ; sur certaines machines, on trouve des axes supplémentaires appelés Axe A, B, C. Les axes A, B, C sont des axes rotatifs, A tournant autour de X, B autour de Y, C autour de Z.
- Mouvements de rotation A, B, C

Le sens de rotation positif des axes A,B,C sont comptés en s'imaginant qu'une vis pas à droite, tournant dans le sens des aiguilles d'une montre avance en direction +X,+Y,+Z en se considérant à la place de l'outil. Si c'est un axe déplaçant la pièce au lieu de l'outil, on inverse le sens des axes, le positif devient négatif.

- On rencontre de plus les désignations U, V, W pour d'autres axes supplémentaires, portiques, tourelles secondaires ou accessoires.
- Le sens + permet un accroissement des dimensions de la pièce.

VI.4.Les lacunes du code G

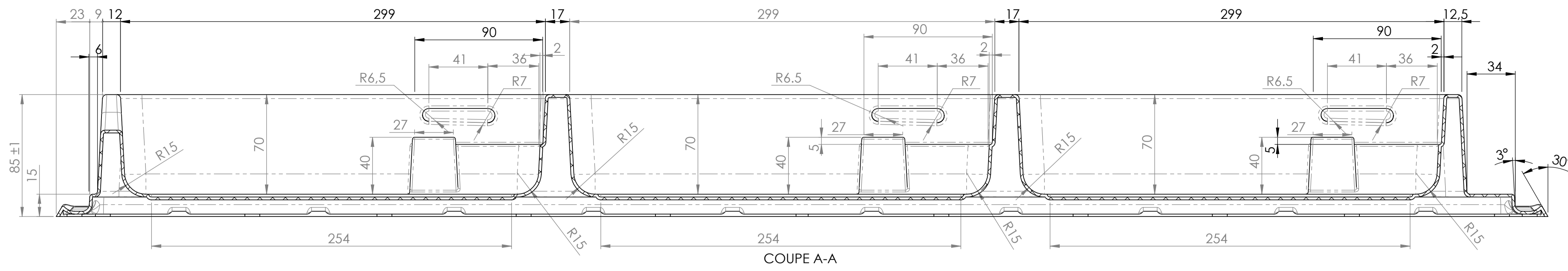
Ainsi, d'une manière générale, le code G s'intéresse à programmer une trajectoire en respectant les mouvements des axes machine plutôt que de se concentrer sur les besoins de l'usinage en respectant la pièce. Nous pouvons en particulier noter les principales lacunes qui posent problème lors de la programmation et de manière plus générale dans l'intégration de l'usinage dans la chaîne CAO-FAO-CN :

- La sémantique peut parfois s'avérer ambiguë
- Les constructeurs rajoutent parfois des extensions au langage pour combler les manques et s'adapter à l'évolution des technologies. La 'portabilité' d'un programme s'avère alors impossible entre les différents fabricants.

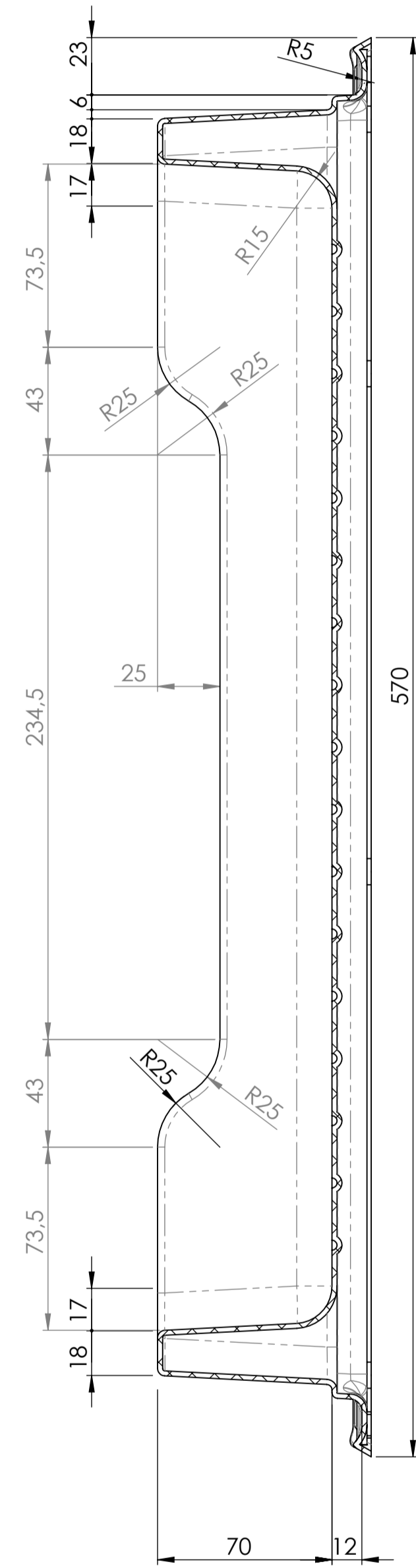
Le flux de l'information est unidirectionnel : l'absence de 'feedback' possible de la production à la conception entraîne des difficultés de communication et de correction. De même, la préservation et la capitalisation des expériences se révèlent compliquées.

- L'utilisation du code G rend les modifications au pied de la machine, dans la CN, difficiles et laborieuses ainsi qu'un contrôle limité de l'exécution du programme.
- L'utilisation de post-processeurs rajoute une étape et une perte d'information entre le modèle CAO et l'usinage de la pièce. La vérification de la conformité de la pièce qui doit être usinée avec le modèle CAO est alors complexe voire impossible.
- Le G-code n'est pas bien adapté pour la programmation des courbes complexes. Des pertes d'informations peuvent être engendrées lors de discrétisations et d'approximations.

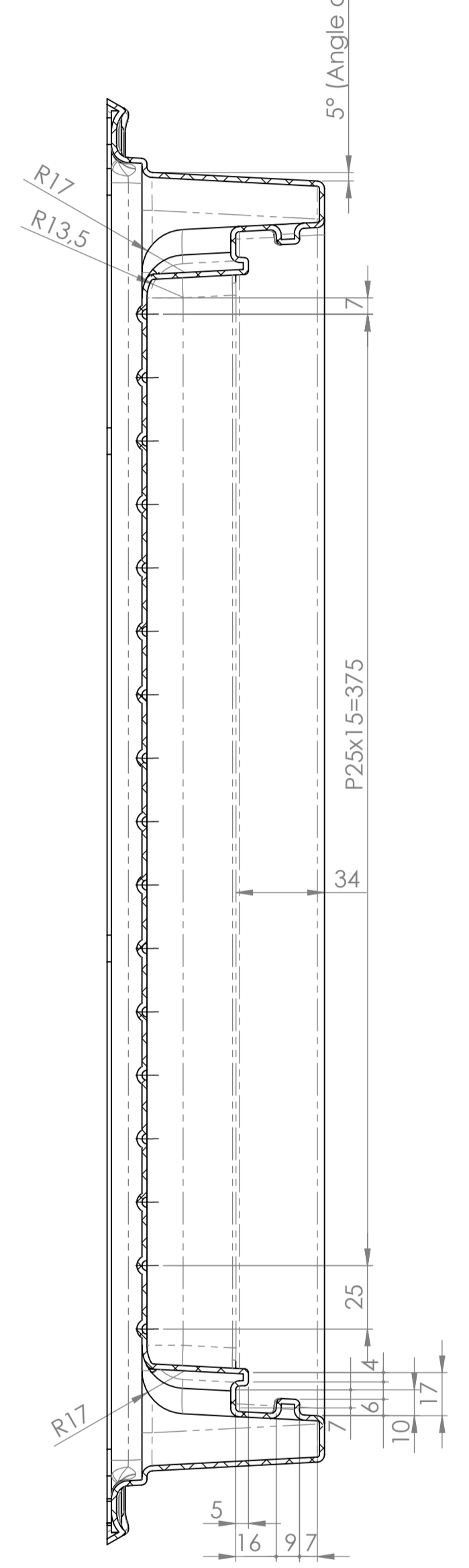
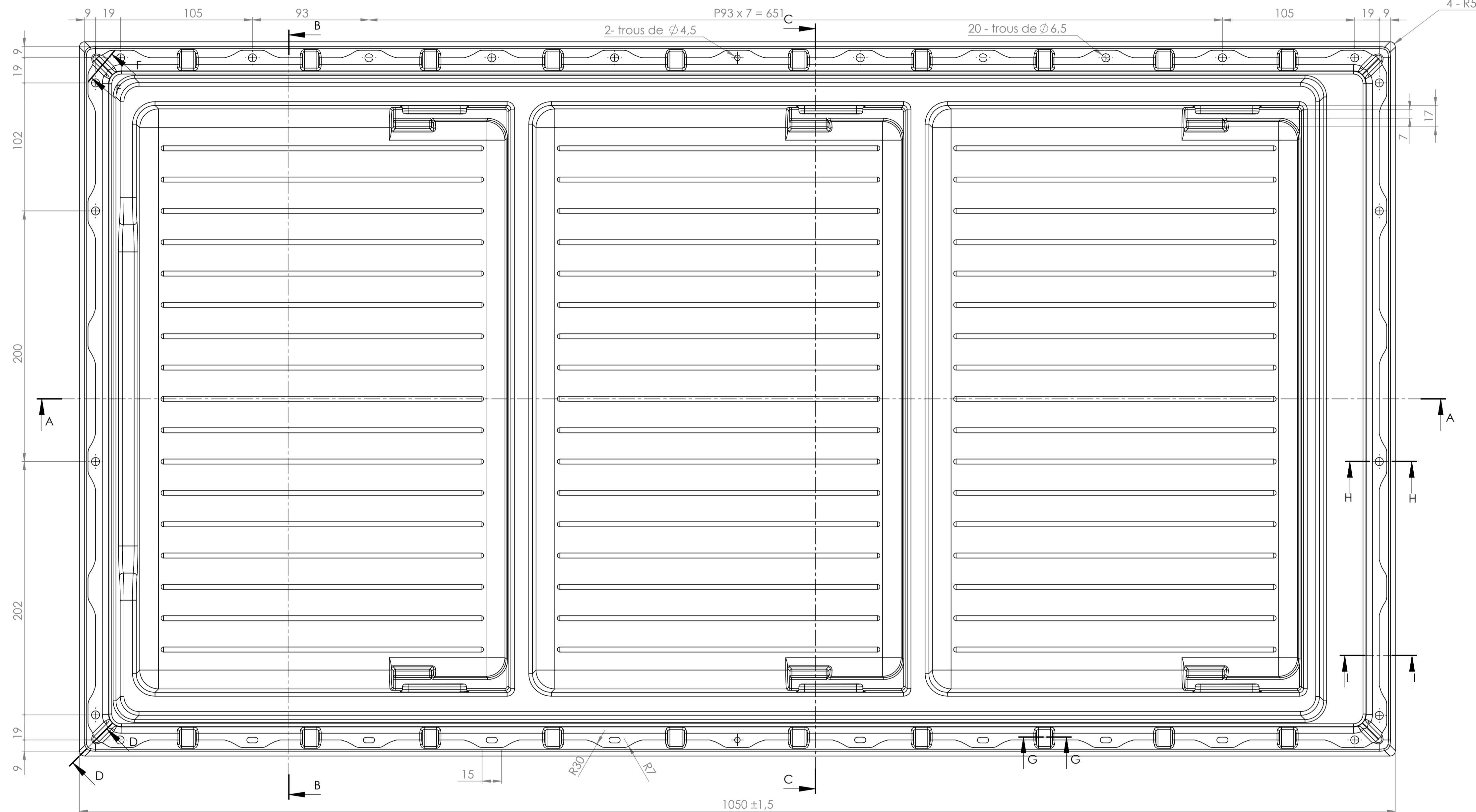
Pour conclure, nous pouvons voir que le G-code, qui est basé sur des principes qui commencent à dater, ne répond plus aux exigences de programmation des usinages nouveaux et que son emploi constitue une rupture dans la chaîne numérique.



COUPE A-A



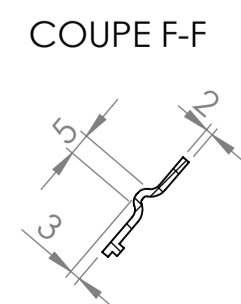
COUPE B-B



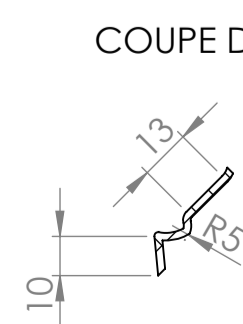
COUPE C-C

Toutes les arêtes de cette pièce seront arrondies à rayon un rayon de 2.0 à 3.0 mm, sauf spécification contraire,

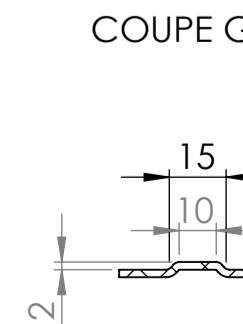
Dépouille à 5°



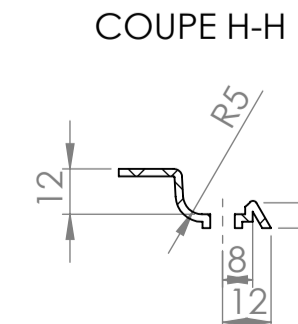
COUPE F-F



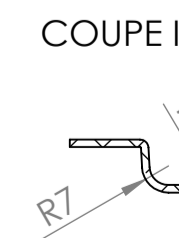
COUPE D-D



COUPE G-G

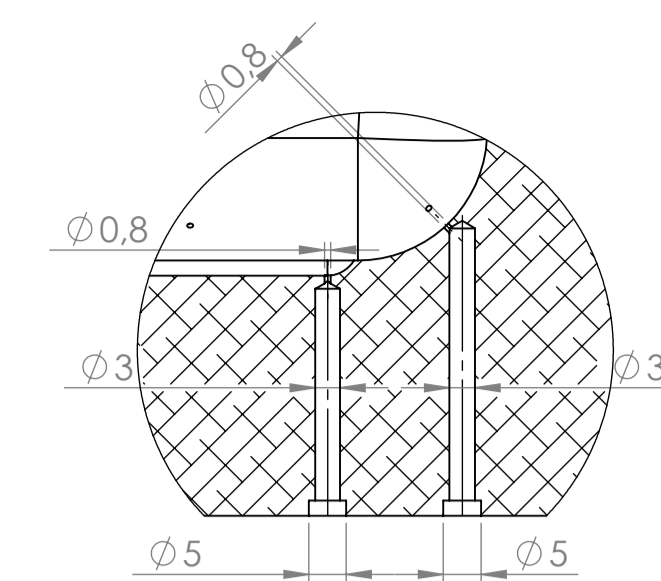
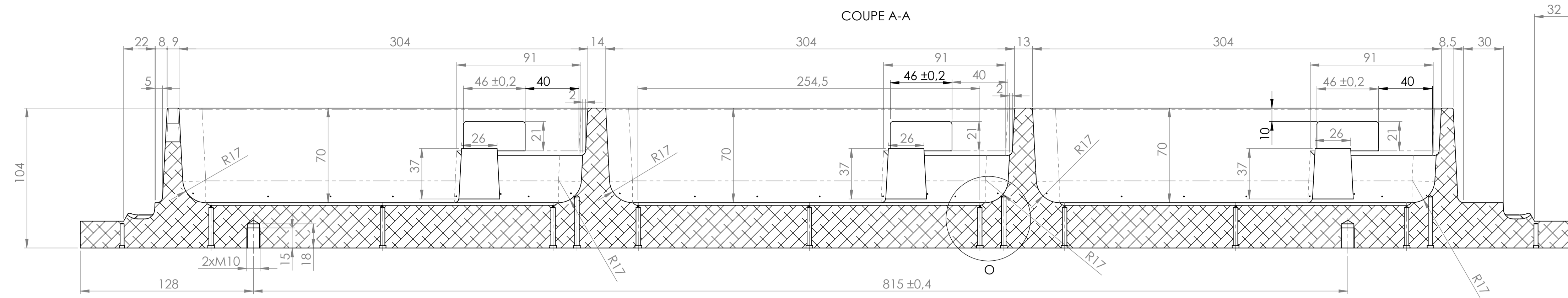


COUPE H-H

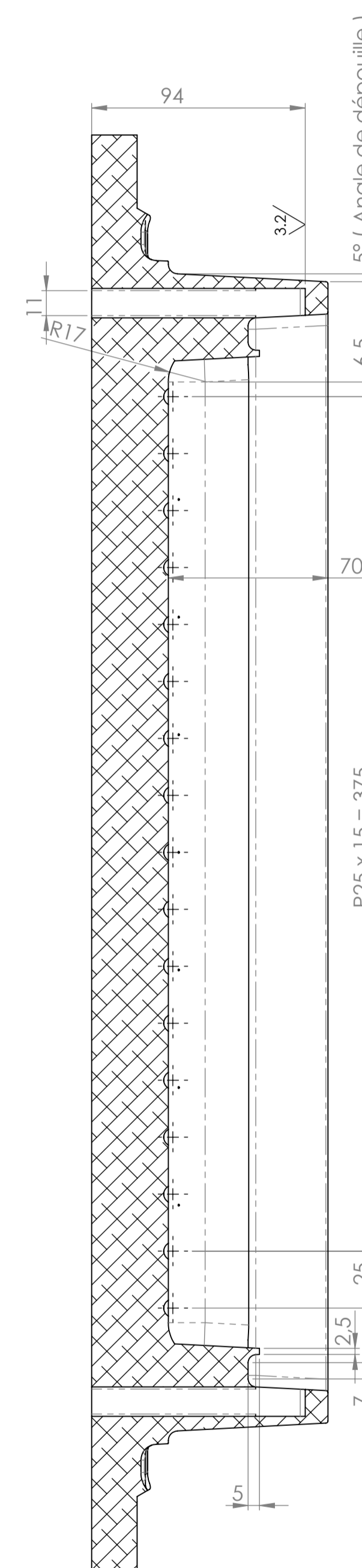
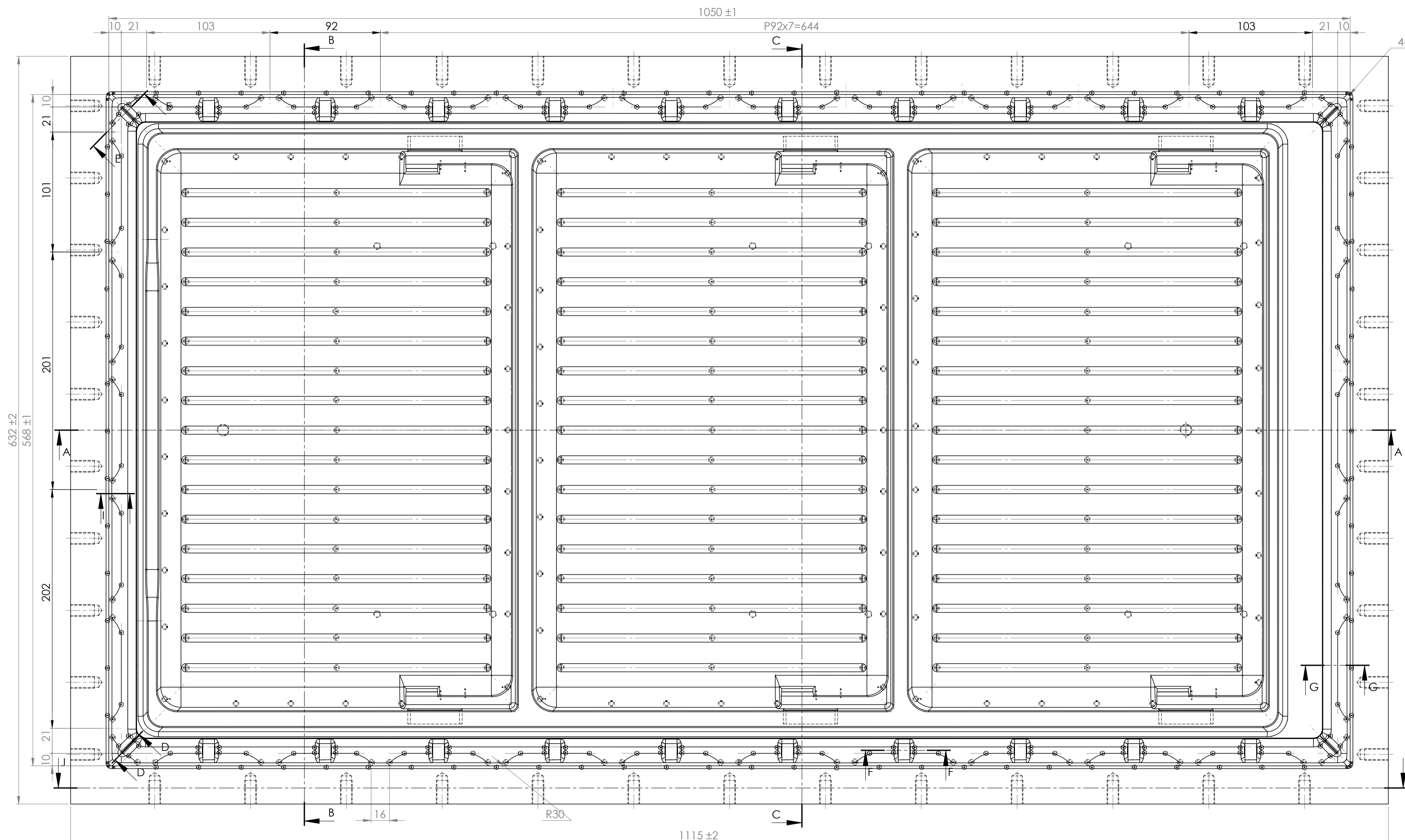


COUPE I-I

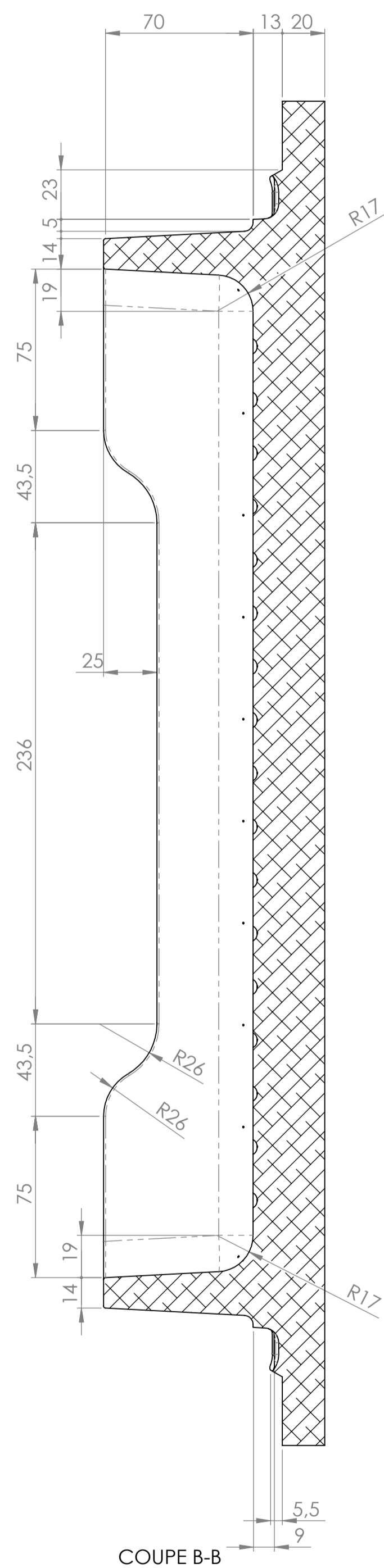
1	1	CONTRE-PORTE	ABS	
RF	NB	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
ECHELLE 1/2		MOULE DE THERMOFORMGE		PLANCHE N°1
		FMP (M2) - UMMTO		2012 - 2013
A1		LOUNNAS AMAR - SEGHIR ABDLKRIM - VACHOR RACHID		



DÉTAIL O



COUPE C-C

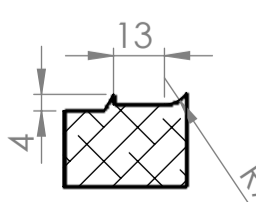


COUPE B-B

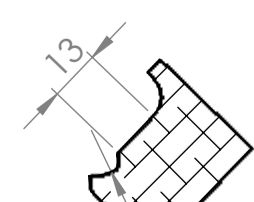


COUPE J-J

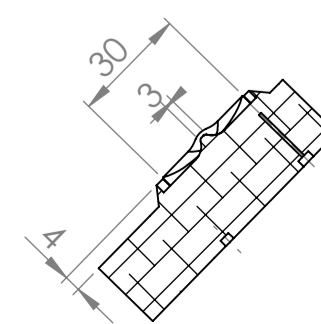
-Toutes les arrêtes de cette pièce seront arrondies à rayon de 1 à 4mm sauf indication contraire
 -Nb de trous de dégazage est 308
 - $R_{0.4}$ Sauf indication
 -dépouille générale à 5°



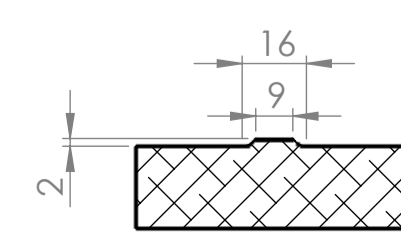
COUPE I-I



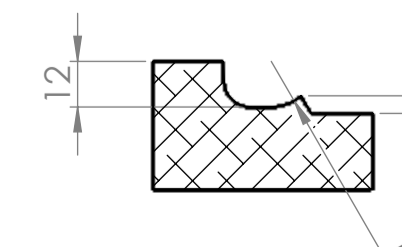
COUPE D-D



COUPE E-E

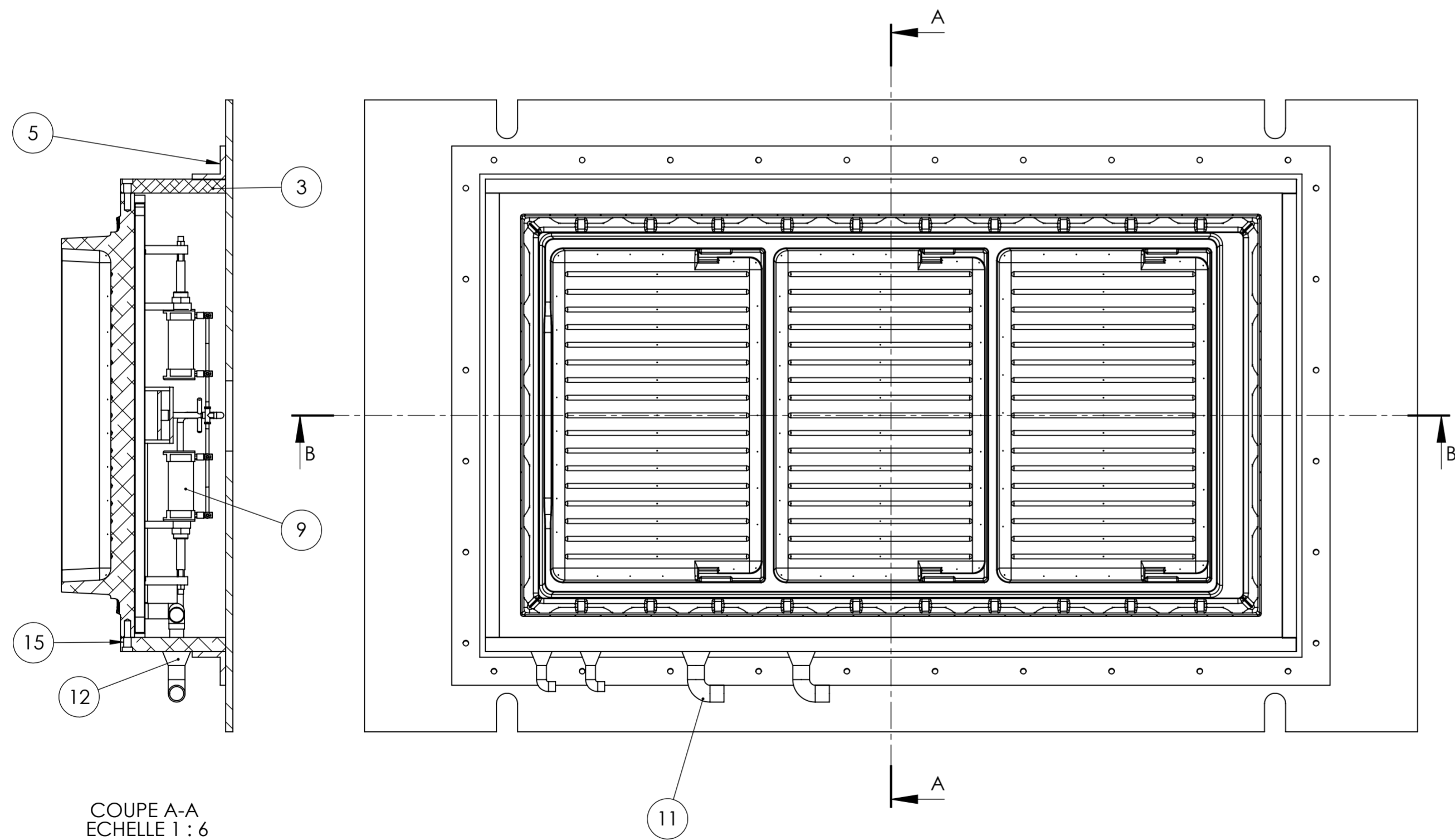
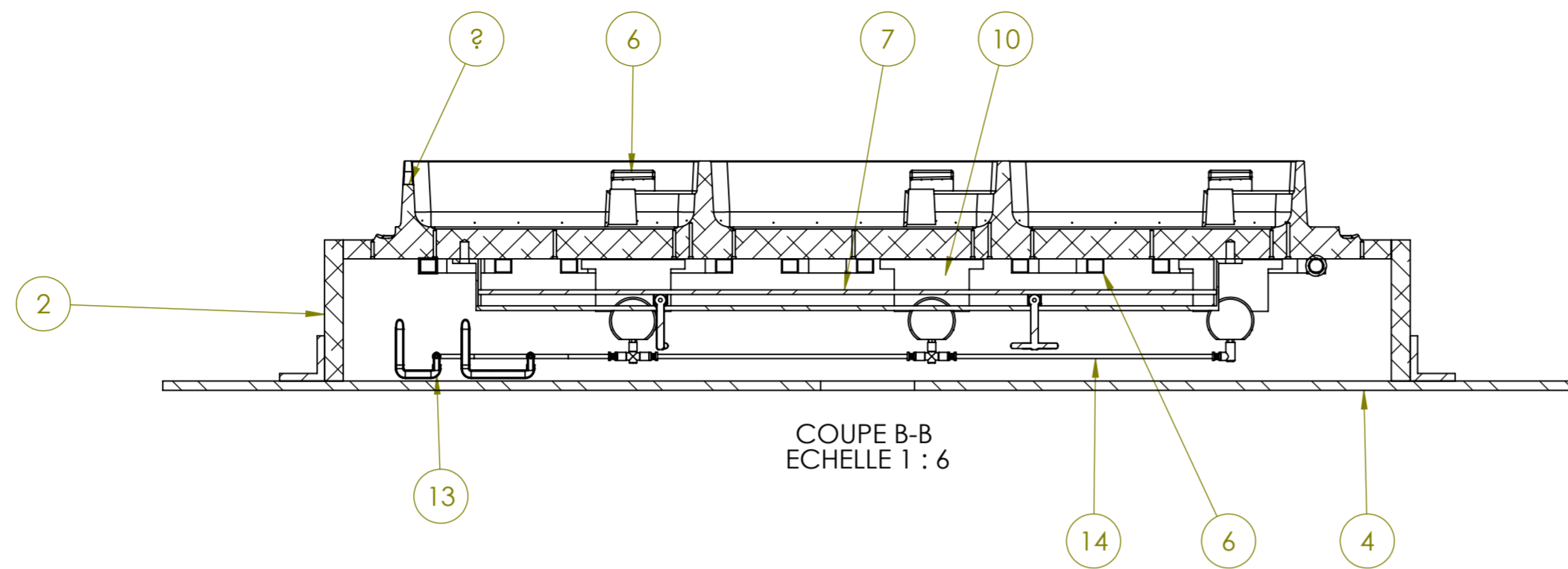


COUPE F-F



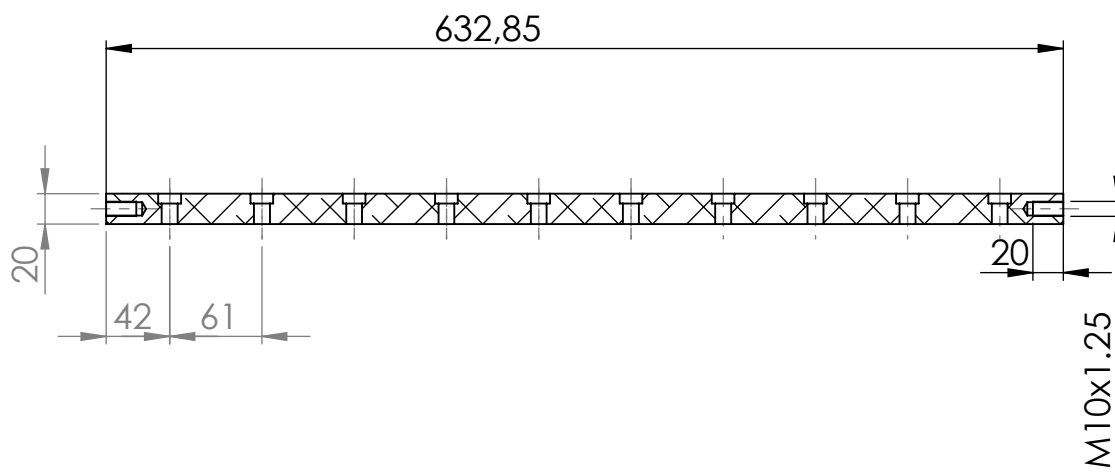
COUPE G-G

1	1	EMPREINTE	Al Mg 5	
RF	NB	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
		MOULE DE THEMOFORMAGE		PLANCHE N°1
		FMP (M2) - UMMTO		2012 - 2013
		LOUNNAS AMAR - SEGHIR ABDLKRIM - VACHOR RACHID		

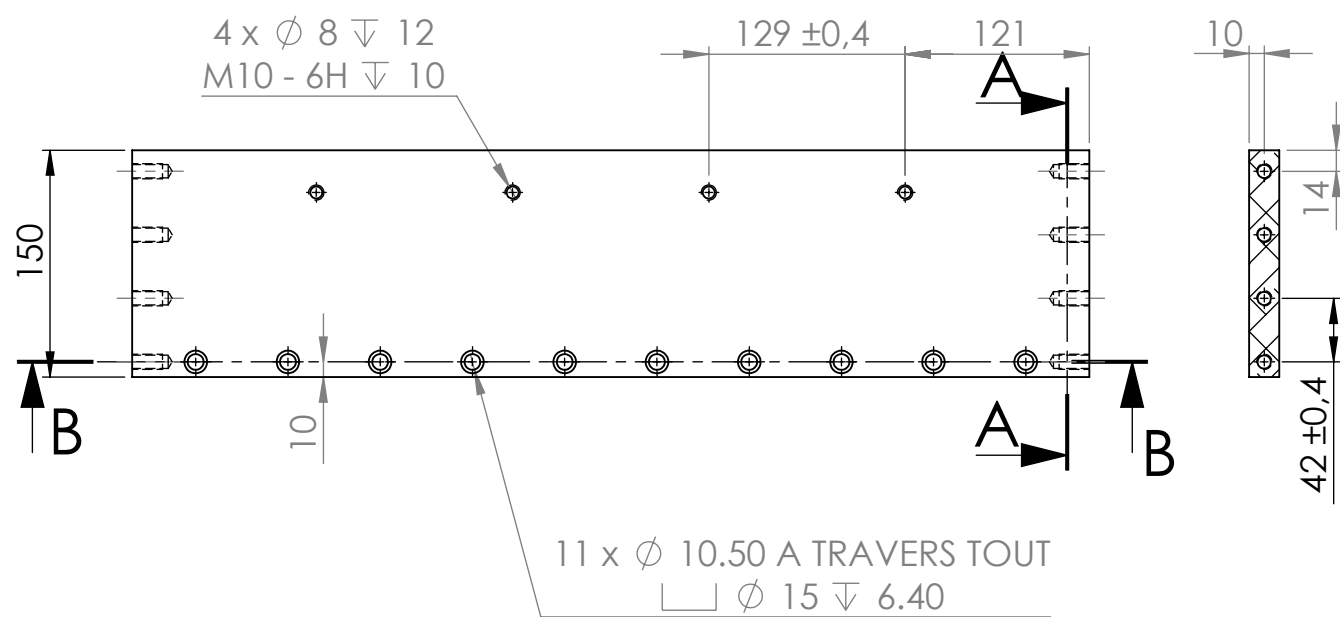


15	120	VIS		COMMERCE
14	2	TUYAU (AIR)		COMMERCE
13	2	RACCORD (AIR)		COMMERCE
12	2	RACCORD (EAU)		COMMERCE
11	2	TUYAU (EAU)		COMMERCE
10	6	BRIDE DE VERIN	C 35	
9	6	VERIN		COMMERCE
8	6	CAME	ALLIAGE 1060	
7	1	BRIDE D'ECHANGEUR	ACIER 201	
6	1	ECHANGEUR	BRONZE D'ALUMINIUM	
5	1	CADRE	C 35	
4	1	SEMELLE	C 35	
3	2	PAROI	Al Mg5	
2	2	PAROI	Al Mg 5	
1	1	EMPREINTE	Al Mg 5	
RF	NB	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
ECHELLE 1/6		MOULE DE THERMOFORMAGE		PLANCHE N°II
		FMP (M2) - UMMTO		2012 - 2013
A2		LOUNNAS AMAR - SEGHIR ABDLKIRIM - VACHOR RACHID		

COUPE B-B

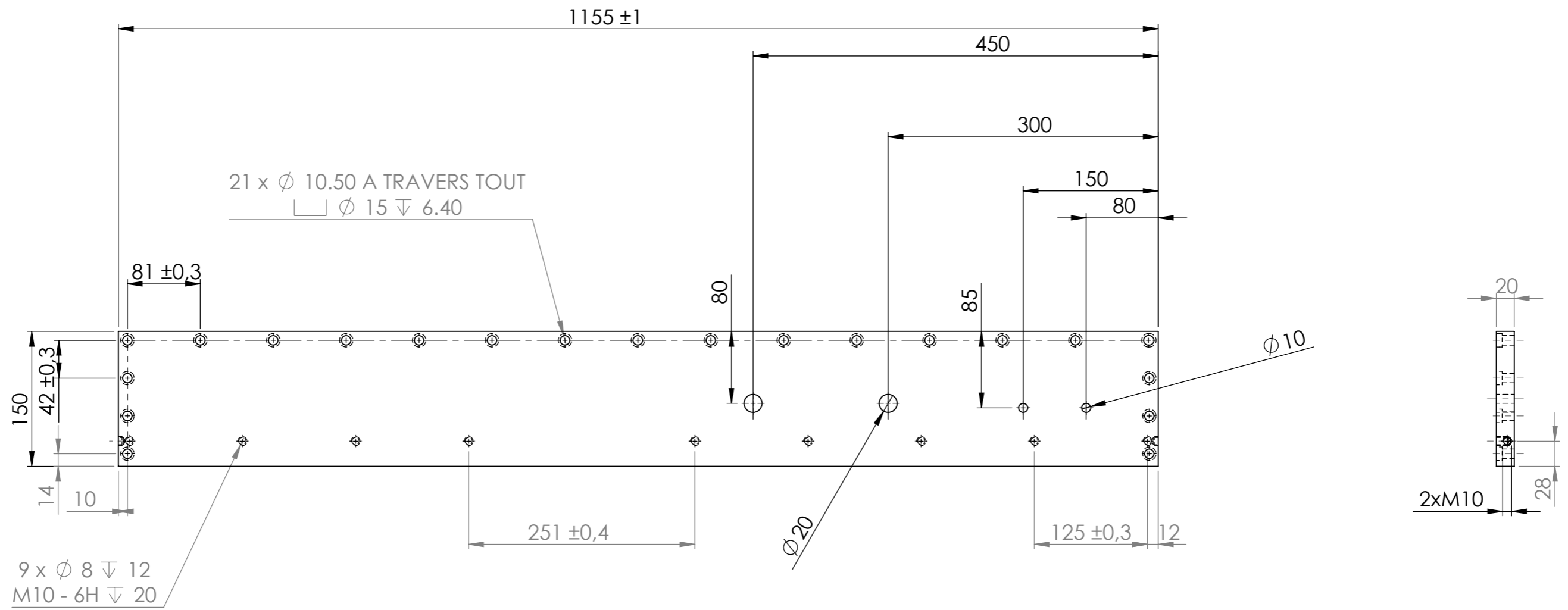


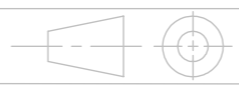
COUPE A-A

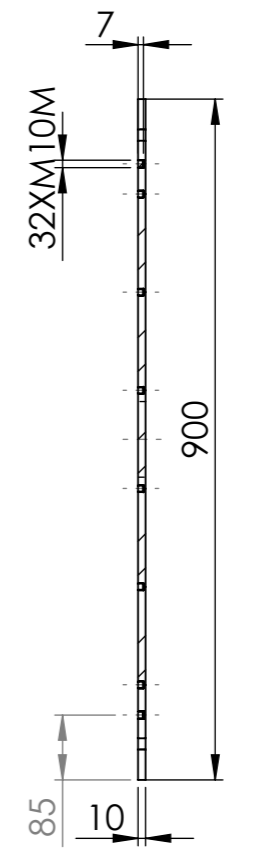
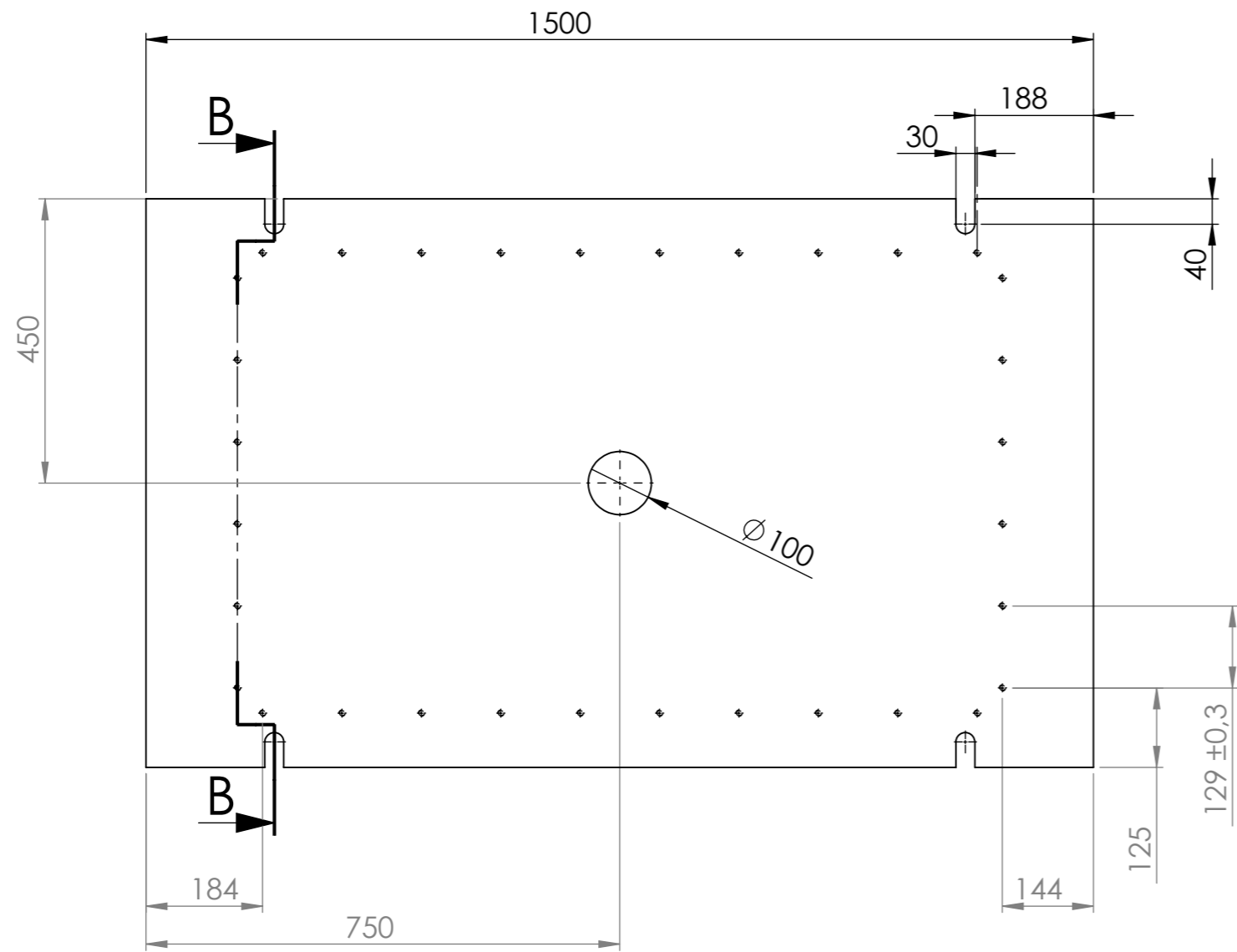


Ra 6.3

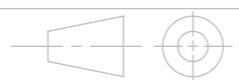
2	2	PAROI	Al Mg 5	
RF	NB	DESINGATION	MATIERE	OBSERVATION
ECHELLE 1/10		MOULE DE THERMOFORMGE		PLANCHE N°2
		FMP (M2) - UMMTO		2012 - 2013
A4		LOUNNAS AMAR - SEGHIR ABDLKRIM - VACHOR RACHID		

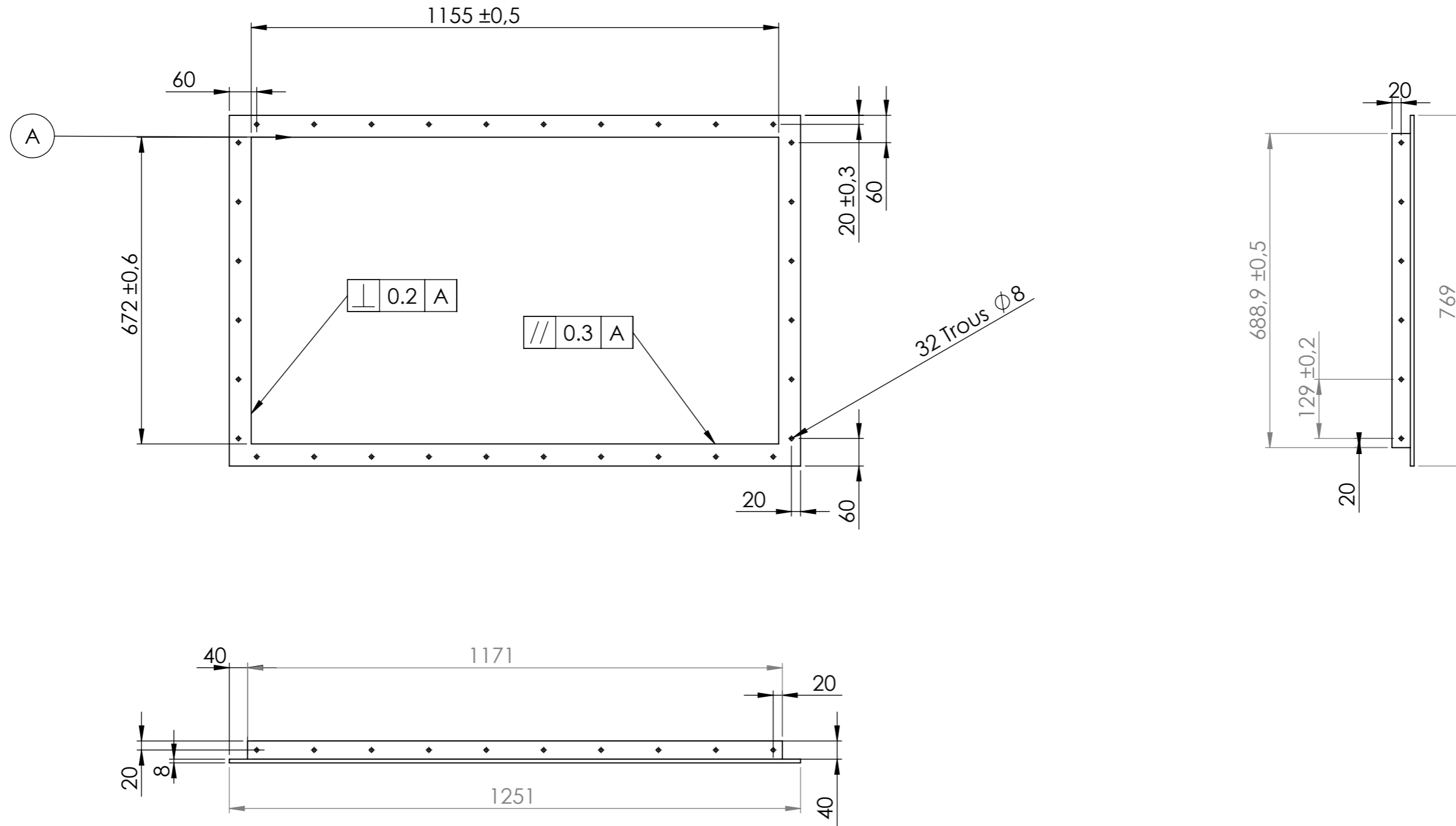


3	2	PAROI	Al Mg 5	
RF	NB	DESINGATION	MATIERE	OBSERVATION
ECHELLE 1/10		MOULE DE THERMOFORMAGE		PLANCHE N°3
		FMP (M2) - UMMTO		2012 - 2013
A3		LOUNNAS AMAR -SEGHIR ABDLKRIM - VACHOR RACHID		

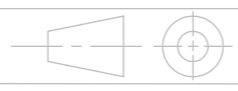


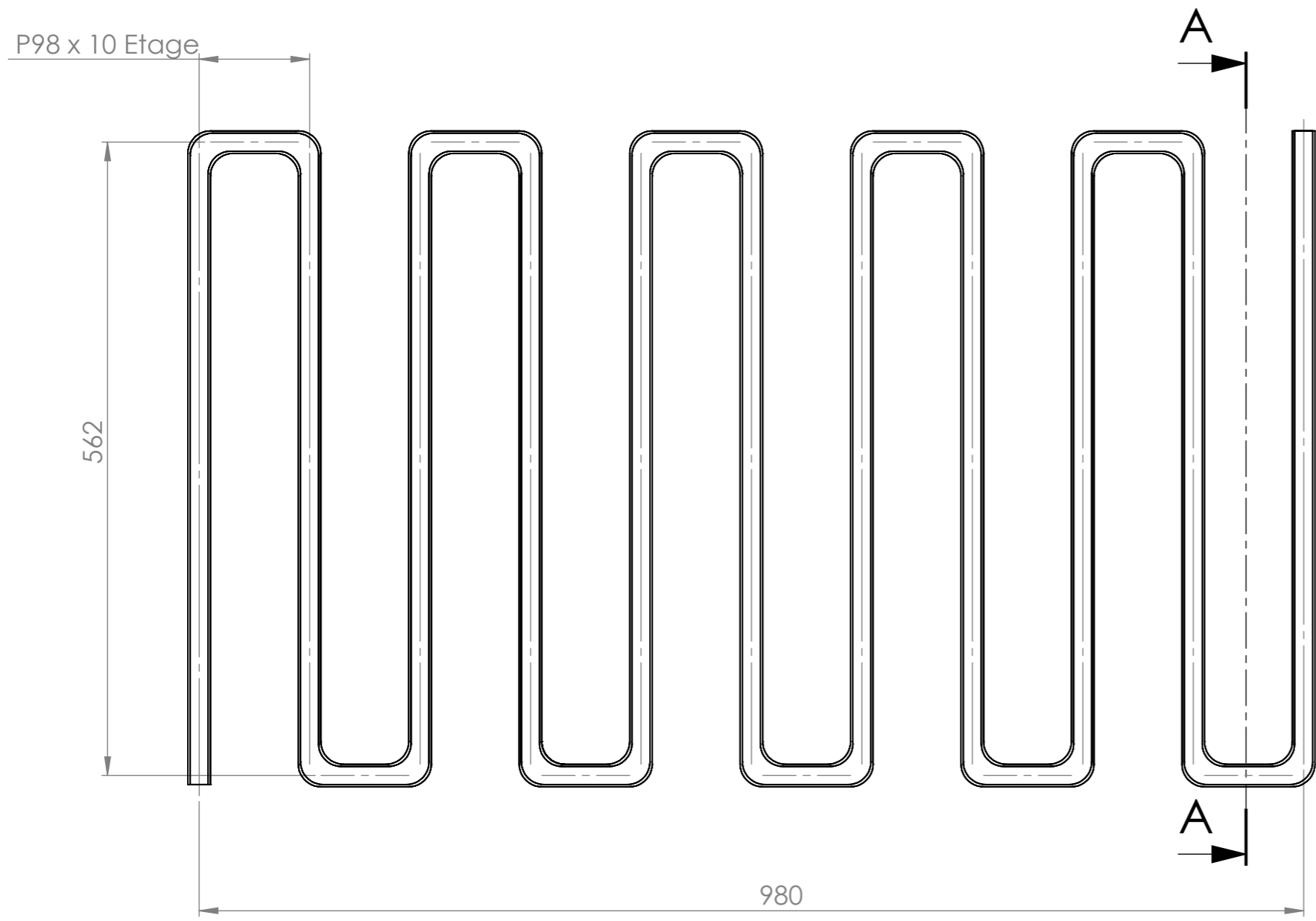
COUPE B-B

4	1	SEMELLE	C 35	
RF	NB	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
ECHELLE 1/10		MOULE DE THERMOFORMAGE		PLANCHE N°4
		FMP (M2) - UMMTO		2012 - 2013
A3		LOUNNAS AMAR -SEGHIR ABDLKRIM - VACHOR RACHID		

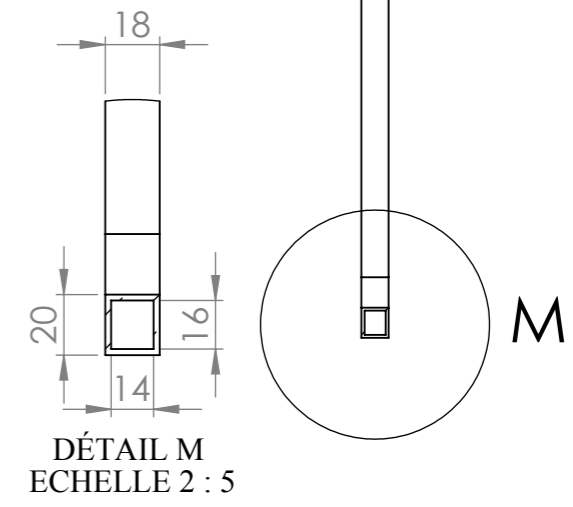


Ra 6.3

5	1	CADRE	C 35	
RF	NB	DESINGATION	MATIERE	OBSERVATION
		ECHELLE 1/10	MOULE DE THERMOFORMAGE	PLANCHE N°5
			FMP (M2) - UMMTO	2012 - 2013
		A3	LOUNNAS AMAR -SEGHIR ABDLKRIM - VACHOR RACHID	

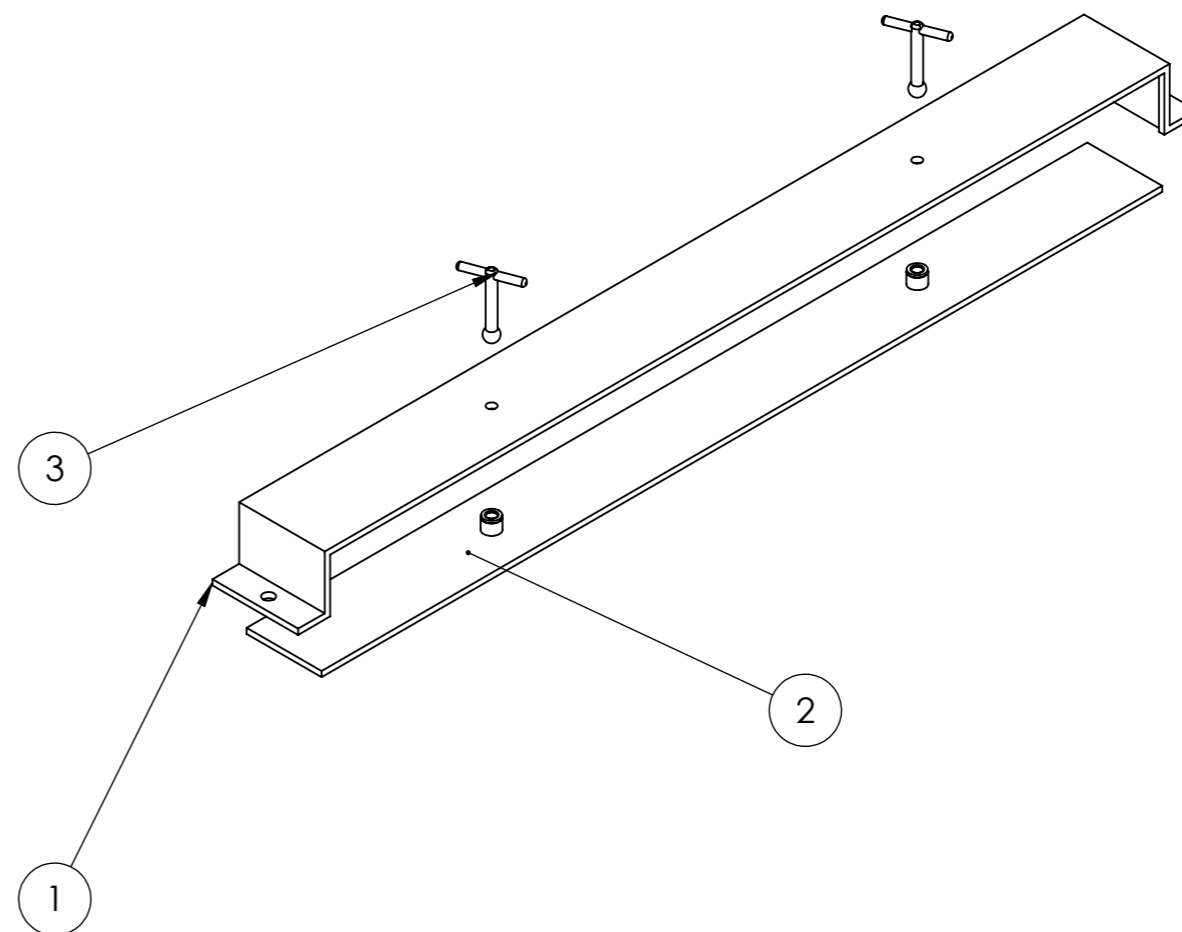
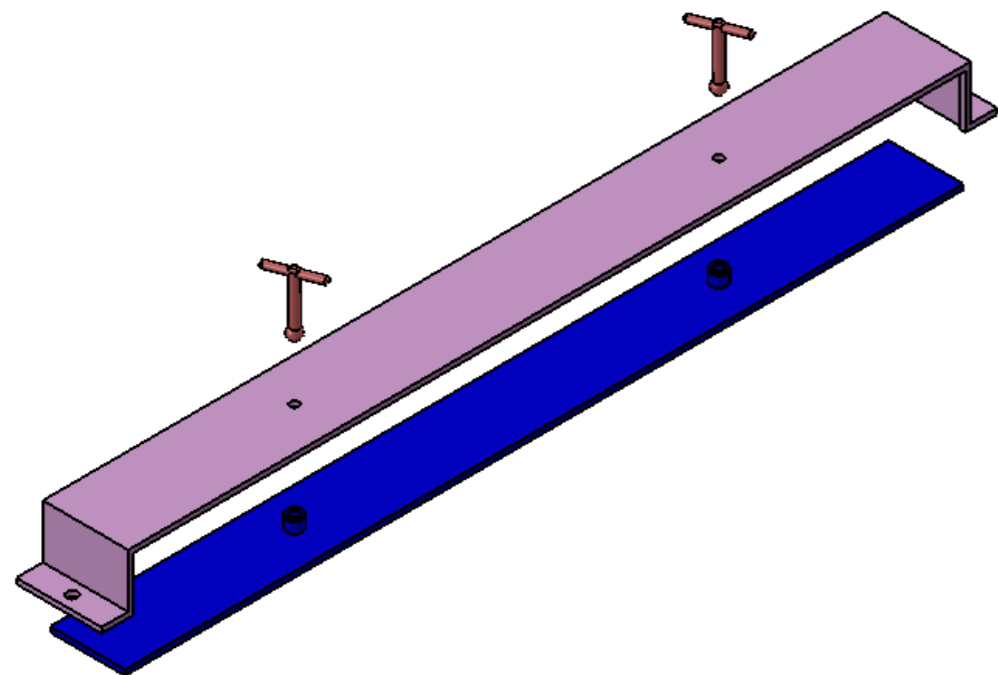


COUPE A-A

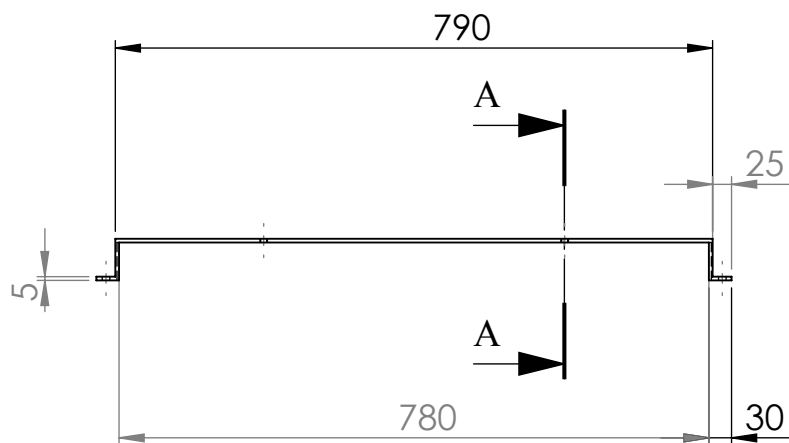


DÉTAIL M
ECHELLE 2 : 5

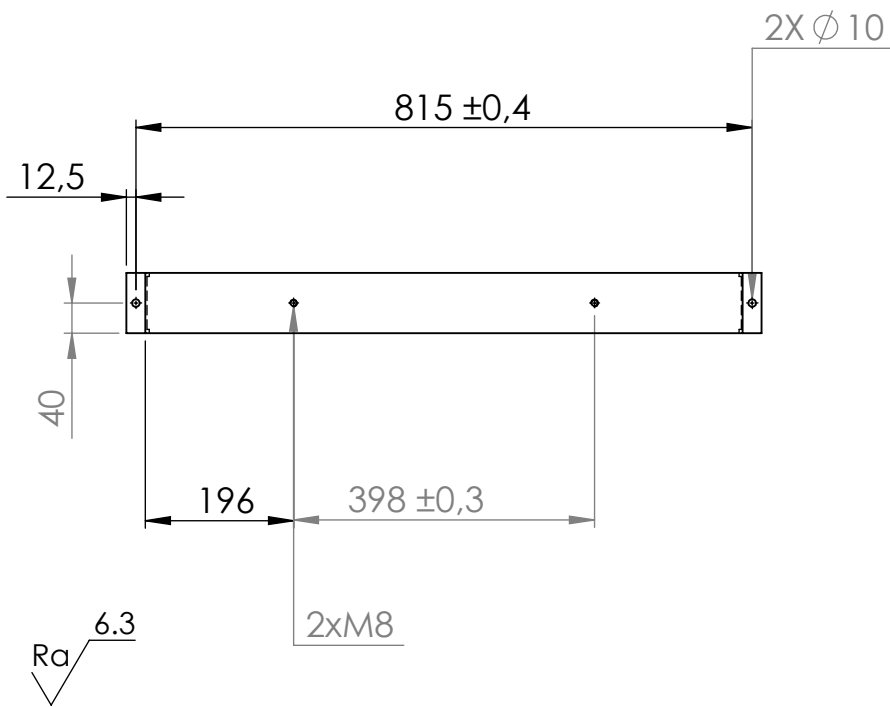
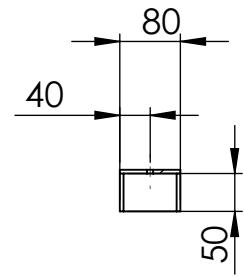
6	1	ECHANGEUR DE CHALEUR	BRONZE D'ALUMINIUM	
RF	NB	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
ECHELLE 1/5		MOULE DE THERMOFORMAGE		PLANCHE N° 6
		FMP (M2) - UMMTO		2012 - 2013
A3		LOUNNAS AMAR - SEGHIR ABDLKRIM - VACHOR RACHID		




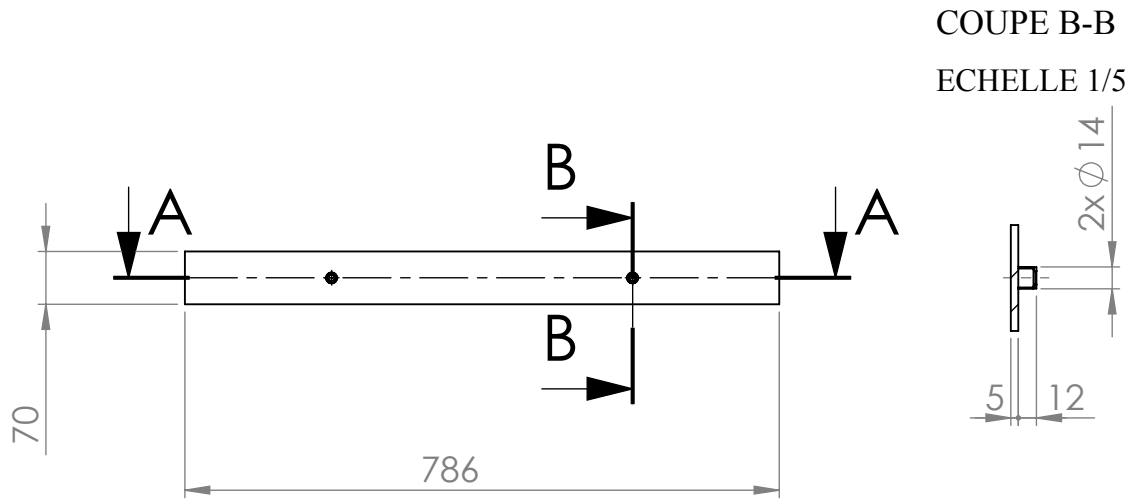
3	2	VIS A MAIN	201 ACIER	
2	1	COULISEAU	201 ACIER	
1	1	GLISSIERE	201 ACIER	
RF	NB	DESINATION	MATIERE	OBSERVATION
ECHELLE 1/5		BRIDE D'ECHANGEUR		PLANCHE N° 7
		FMP (M2) - UMMTO		2012 - 2013
A3		LOUNNAS AMAR -SEGHIR ABDLKRIM-VACHOR RACHID		



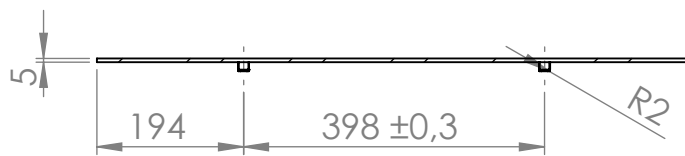
COUPE A-A



7	1	GLISSIERE	201 ACIER	
RF	NB	DESINGATION	MATIERE	OBSERVATION
ECHELLE 1/10		BRIDE D'ECHANGEUR		PLANCHE N°7-1
		FMP (M2) - UMMTO		2012 - 2013
A4		LOUNNAS AMAR - SEGHIR ABDLKTRIM - VACHOR RACHID		

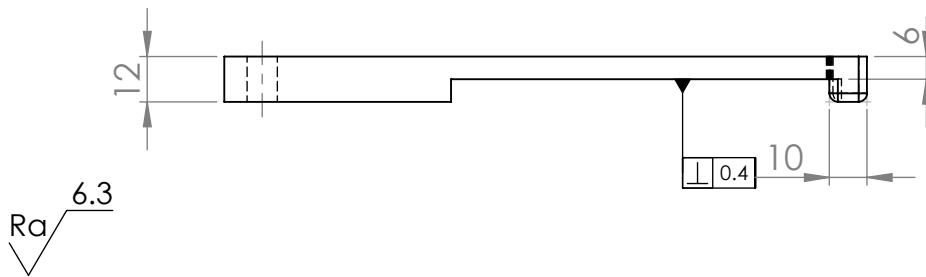
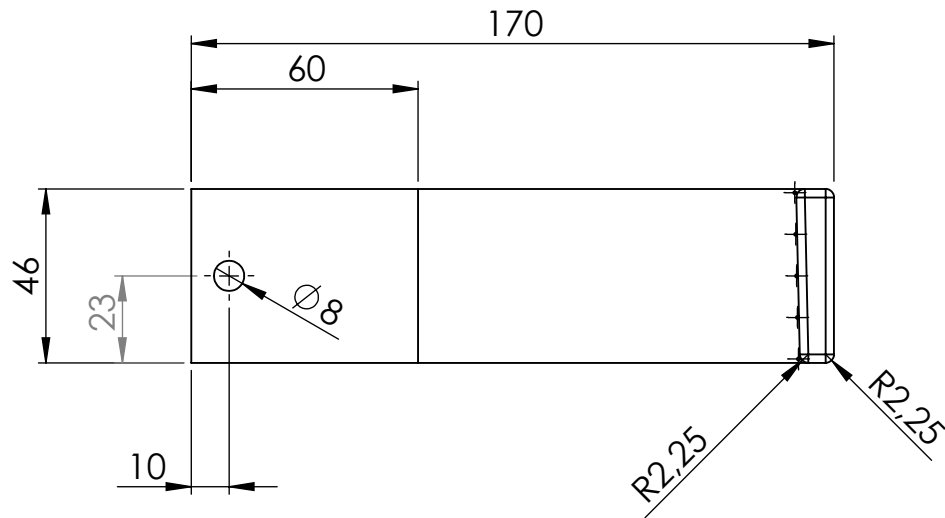
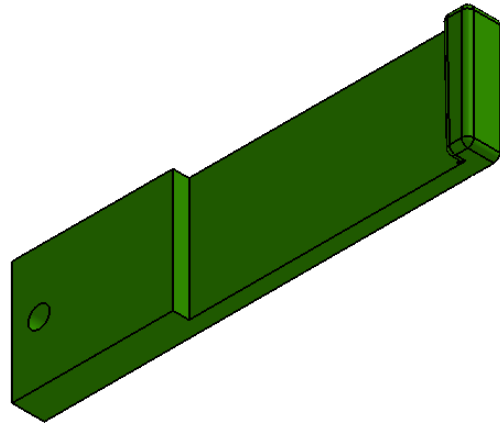


COUPE A-A

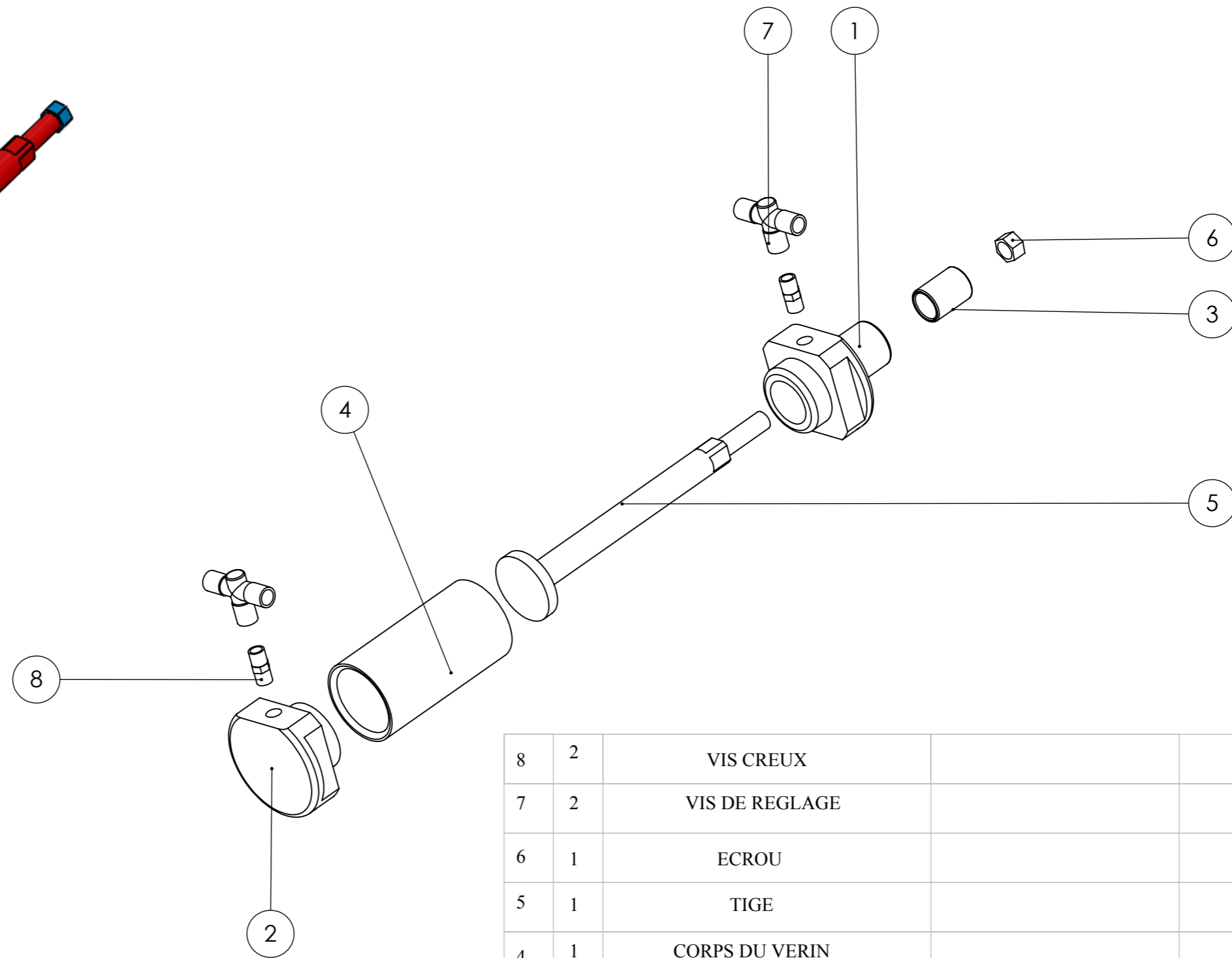
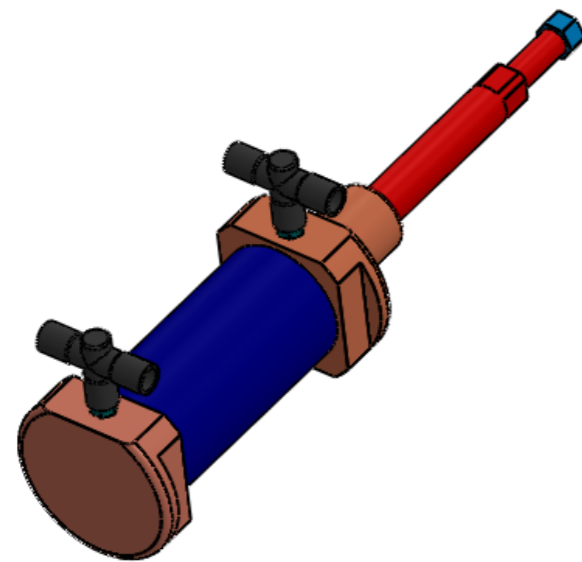


Ra 6.3

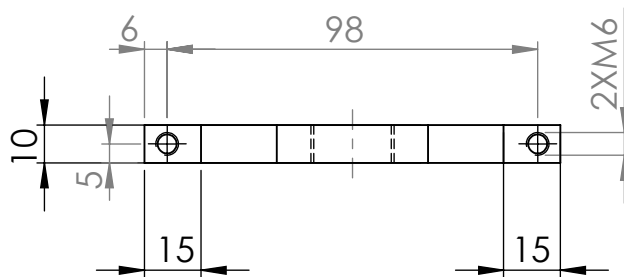
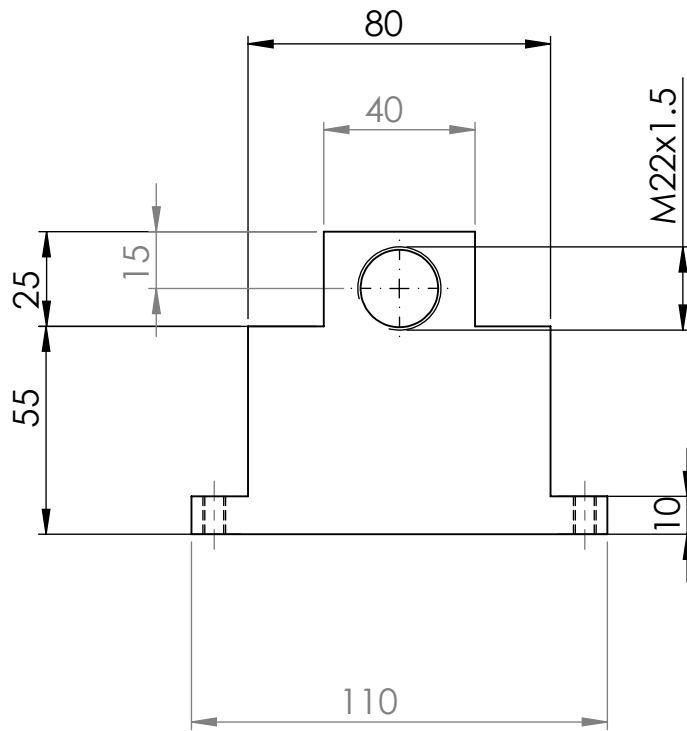
2	1	COULISSEAU	201 ACIER	
RF	NB	DESINGATION	MATIERE	OBSERVATION
ECHELLE 1/10		BRIDE D'ECHANGEUR		PLANCHE N°7-2
		FMP (M2) - UMMTO		2012 - 2013
A4		LOUNNAS AMAR - SEGHIR ABDLKRIM - VACHOR RACHID		




8	6	CAME	ALLIAGE 1060	
RF	NB	DESINATION	MATIERE	OBSERVATION
ECHELLE 1/2		MOULE DE THERMOFORMGE		PLANCHE N°8
		FMP (M2) - UMMTO		2012 - 2013
A4		LOUNNAS AMAR - SEGHIR ABDLKRIM - VACHOR RACHID		



8	2	VIS CREUX		COMMERCE
7	2	VIS DE REGLAGE		COMMERCE
6	1	ECROU		COMMERCE
5	1	TIGE		COMMERCE
4	1	CORPS DU VERIN		COMMERCE
3	1	COUSSINET		COMMERCE
2	1	EMBOUT ARRIERE		COMMERCE
1	1	EMBOUT AVANT		COMMERCE
RF	NB	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
ECHELLE 1/2		VERIN PNEUMATIQUE		PLANCHE N° 9
		FMP (M2) - UMMTO		2012 - 2013
A3		LOUNNAS AMAR - SEGHIR ABDLKRIM - VACHOR RACHID		



Ra 6.3

10	6	BRIDE DE VERIN	C 35	
RF	NB	DESINGATION	MATIERE	OBSERVATION
ECHELLE 1/10		MOULE DE THERMOFORMGE		PLANCHE N°10
		FMP (M2) - UMMTO		2012 - 2013
A4		LOUNNAS AMAR - SEGHIR ABDLKTRIM - VACHOR RACHID		

Conclusion Générale

Conclusion générale

Au terme de cette étude, nous pensons avoir réalisé le travail qui nous a été confié. Nous souhaitons d'être à la hauteur de l'espérance des responsables de l'entreprise ENIEM et que les solutions qu'on a proposées trouvent un accueil favorable.

L'objectif de ce projet était d'effectuer une conception avec une étude sur la nouvelle contre-porte de réfrigérateur 320L. Pour cela nous avons dû dans un premier temps, concevoir la contre-porte par Conception Assistée par Ordinateur avec Solid Works. Puis à l'aide l'outil de moulage sur Solid Works, nous avons réalisé la Fabrication Assistée par Ordinateur du moule de la contre-porte.

Ce projet nous a beaucoup apporté dans notre formation master, car en effet, nous avons pu effectuer un projet concret dans son intégralité. Nous avons découvert, appris et utilisé nos connaissances pour mener à bien toutes les différentes étapes d'une conception par thermoformage. Nous savons maintenant concevoir un modèle CAO. D'autre part on constate que les résultats relatifs au dimensionnement sont plus ou moins réalisables que ce soit les dimensions de vérin et l'échangeur de chaleur

D'une manière plus précise, le but à atteindre et de trouver la meilleur solution qui passe par le meilleur compromis entre longévité de produit et le coût d'investissement, mais ceci est laissé au bon choix du constructeur.

Nous espérons que ce projet va être réalisable sur le terrain, dans ces différentes parties commençant de l'étude passant de la conception et en finissant avec la Fabrication Assistée par Ordinateur.

Enfin, nous souhaitons que ce travail va être un plus pour notre faculté et aussi une référence pour les autres promotions qui veulent traiter un sujet pareil. Surtout que c'est un nouveau thème dans la catégorie, parce que il traite d'une procédure très importante dans l'industrie mondiale.

Références bibliographiques

- [1] – J. JAMMET, Technique de l'ingénieur traité plastique et composites, Doc. AM 3 660
- [2] -M^{elle} ALIZA ERNER, étude expérimentale du thermoformage assisté par poinçon d'un mélange de polystyrènes, école des mines de paris, mai 2005, thèse de doctorat.
- [3] - ADOLF ILLIG, Pratique du thermoformage, Hermes science publication, mai 1999, CM 36
- [4]- LAMBLIN. – Contribution à l'étude du thermoformage du polypropylène. Thèse de doctorat. ULP Strasbourg. septembre 1997.
- [5] - MM. W. Broniewski, P. Bernaciak et S. Blazewski. Propriétés mécaniques des alliages D'aluminium. Académie des Sciences Techniques à Varsovie. 16 Juin 1937.
- [6] - F. KREITH, Transmission de la chaleur et thermodynamique, Masson et scie, 1967
- [7]- K.BOUCHEBABA et C.DAHRIB, Etude du circuit de refroidissement de l'installation de thermoformage, Mémoire d'ingénieur, Département de génie mécanique, Université M. MAMMERY de Tizi- Ouzou ,2004
- [8] - H. REITSCHER et W. RAISS, Traité de chauffage et de climatisation, Dunod.1995

Tutorial Solid Works

Tutorial Catia

Site internet:

www.Wikipédia.com

www.Technique de l'ingénieur.com

www.Guide des automatismes -dimensionnement et choix des vérins.com

www.Animation Soid Works.com

www.Guide d'utilisateur Catia.com

www.Guide d'utilisateur de la Commande Numérique.com