



*République Algérienne Démocratique et
Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Département du Génie Mécanique*



*Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de
Master professionnel en Génie Mécanique
Option : Fabrication Mécanique et productique*

Thème :

***Etude et Conception et Fabrication d'une poignée d'une
brouette avec le procédé de Moulage Injection-
Compression.***

Réalisé par :

MOHAMMEDI Mohamed

LEHAD Mehdi

Sous la direction de :

Mr. BELAID Kamel

Dr. BENIDIR Smail

Composition du jury:

Pr. ASMA Farid

Dr. SLIMANI Mohamed

UMMTO

UMMTO

2018-2019

Remerciement

Ce projet de fin d'études présenté dans ce manuscrit a été réalisé en collaboration avec l'entreprise SOFICLÆF , Nous tenons à remercier le directeur de l'unité de production , ainsi tous le personnel de l'unité.

Nous tenons à exprimer nous profondes gratitude à Monsieur BENIDIR Smail Co-encadreur de ce projet, ingénieur au bureau d'étude de l'entreprise pour ces observations pertinentes et son aide et son orientation. Ainsi Nos remerciements notre ami L'YES Ramoul. Ingénieur aussi .pour ses conseil judicieux

Nous tenons à remercier tout particulièrement, notre promoteur Monsieur BELAID Kamel, qui a encadré au quotidien nos travaux. Sa très grande disponibilité a rendu cette thèse particulièrement agréable. Son expertise, ainsi que ses conseils avisés ont été très formateurs

Nous tenons à exprimer nous reconnaissance envers les membres du jury qui ont eu lourde tâche, d'examiner ce mémoire.

Enfin, nous remercions vont à tous ceux qui, de près ou de loin, ont aidé a l'élaboration de ce projet, en particulier nous parents, nous amis et chère camarades

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

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

A mes chères sœurs

A mon frère

A mon binôme et ami lehad mehdi et toute sa famille ;

A toute ma famille

A tous mes amis(es) et tous ceux que j'aime

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

MOHAMED

Dédicaces

Je dédie ce travail à : Mes très chers parents qui m'ont toujours soutenu tout au long de ma vie, qui m'ont orienté dans le bon chemin et qui ont tout fait pour que je réussisse, que Dieu vous bénisse et vous garde;

A mes très chère sœurs;

A mon frère kamel ;

A toute ma famille LEHAD;

A mon binôme et ami MOHAMEDI Mohamed et toute sa famille ;

A tous mes amis(es) et tous ceux que j'aime ;

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

Mehdi

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des symboles

<i>Introduction générale</i>	2
CHAPITRE I : Historique soficlef	3
<i>I-1 HISTORIQUE DE SOFICLEF :</i>	4
I.1.1 <i>Activité :</i>	6
I.1.2 <i>Base Logistique :</i>	7
I.1.3 <i>Opérateur économique agréé :</i>	7
I.1.4 <i>Garantie :</i>	7
I.1.5 <i>Certification ISO 9001:</i>	8
I.2 : <i>Organigramme de Soficlef :</i>	8
<i>CHAPITRE II : Généralité sur le caoutchouc</i>	9
<i>II.1 : Introduction :</i>	10
<i>II.2 : Historique :</i>	11
<i>II.3 : Le caoutchouc :</i>	12
II.3.1 : <i>L'arbre de l'Hévéa :</i>	12
II.3.2 : <i>Qu'est ce que le caoutchouc ?</i>	13
<i>II.4 : Définition des élastomères :</i>	14
II.4.1 : <i>physico-chimie des élastomères :</i>	14
II.4.2 : <i>Structure macromoléculaire des polymères :</i>	16
II.4.3 : <i>Structure des élastomères :</i>	18
II.4.4 : <i>Microstructure des matériaux élastomères</i>	19
II.4.5 : <i>Les différentes familles d'élastomères :</i>	19
II.4.5.1 : <i>Les élastomères thermodurcissables :</i>	19
II.4.5.2 : <i>Les élastomères thermoplastiques</i>	20
II.4.6 : <i>Vulcanisation et réticulation dans un élastomère :</i>	20
II.4.7 : <i>Température de transition vitreuse :</i>	20
<i>II.5 : Mise en œuvre d'élastomère chargé</i>	22
II.5.1 : <i>Les additifs :</i>	22
II.5.1.1 : <i>Les charges :</i>	22
II.5.1.2 : <i>Les paramètres qui permettent de caractériser les charges :</i>	24

II.5.1.3 : Les agents de protection :	25
II.5.1.4 : Les plastifiants :	25
<i>II.6 : le melangeage des elastomère :</i>	25
II.6.1 Formulation du mélange :	25
II.6.2 Fabrication du mélange :	26
II.6.3 Le moulage :	28
II.6.4 Le refroidissement :	28
<i>II.7 : Les défauts dans les elastomères :</i>	28
<i>II.8 : Propriétés mécaniques des elastomères :</i>	29
II.8.1 : L'élasticité caoutchoutique -cristallisation sous contraintes :	29
II.8.2 : La viscoélasticité :	31
II.8.3 : L'hystérésis :	32
II.8.4 : L'amplification des déformations :	32
II.8.5 : Effet Mullins :	32
II.8.6 : Effet Payne :	33
<i>II.9 : Domaines d'utilisation :</i>	34
<i>Conclusion :</i>	35
<i>CHAPITRE III : procedé de mise en forme du Matériaux</i>	36
<i>Introduction :</i>	37
<i>III.1 : Description du matériau :</i>	37
<i>III.2 : Formulation de la recette :</i>	37
<i>III.3 : Processus de mélange :</i>	38
<i>III.4 : Procédés de transformation du caoutchouc :</i>	39
III.4.1 : La mise en forme par extrusion :	39
III.4.2 : la mise en forme par moulage :	40
III.4.2.1 : Le moulage par compression :	40
III.4.2.3 : Moulage par injection :	42
III.4.2.4 : Moulage par compression-transfert :	43
III.4.3 : Mise en ouvre par calandrage :	43
III.4.4 : Le processus de Vulcanisation :	44
<i>III.5 : Description des opérations :</i>	44
III.5.1 : Pour l'extrusion :	44
III.5.2 : Pour le Moulage par injection :	45
III.5.3 : Moulage par compression :	45
<i>III.6 : Les outillages:</i>	46
III.6.1 : Le moule :	46

III.6.2 : Conception des moules :	46
III.6.3 : Les éléments du moule :	47
III.6.4 : Architecture du moule :	47
III.6.4 .1 : Moule à deux plaques :	47
III.6.4 .2 : Moule à trois plaques :	47
III.7 : Equipements Nécessaires :	47
III.7.1 : Les presses :	47
III.7.1.2 : Les bâtis :	48
III.7.1.3 : description des différents systèmes de la presse :	49
III.7.1.4 : Les accessoires et périphériques :	51
III.7.1.5 : Les différents types presses :	52
III.7.1.5.1 : Presse horizontal :	52
III.7.1.5.2 : Presse vertical :	52
III.7.1.6 : Le choix d'une presse :	53
III.7.1.7 : Exemples de caractéristiques de presses :	53
III.7.2 : Les Extrudeuses :	56
III.7.2.1 : Définition d'une extrudeuse :	56
III.7.2.2 : Les parties de l'extrudeuse :	56
III.7.2.3 : Autres éléments de l'extrudeuse :	56
III.7.2.4 : Description d'une extrudeuse :	56
Conclusion :	57
CHAPITRE IV : Conception et Fabrication de la piece	58
IV.1 : Introduction :	59
IV.2 : Définition de la CFAO:	59
IV.3 : Organigramme expliquant la démarche de la CFAO :	60
IV.4 : La CAO (conception assistée par ordinateur) :	61
IV.4.1 : Origine de la CFAO :	61
IV.4.2 : Dentition de la Conception Assistée par Ordinateur :	61
IV.4.3 : Modèles de représentation en CAO :	61
IV.4.3.1 : Modélisation fil de fer :	62
IV.4.3.2 : Modélisation surfacique :	62
IV.4.3.3 : Modélisation solide :	62
IV.4.4 : Application :	62
IV.4.4.1 : Conception de la pièce moulée :	62
IV.4.4.2 : Présentation de la pièce moulée :	63
IV.4.4 .3 : Proposition de modèles de poignées :	64

IV.4.4 .4 : service marketing	65
IV.4.4 .5 : Impression 3D.....	65
IV.4.5 : Conception du moule à dix empreintes :.....	66
IV.4.5.1 : Différentes éléments du moule :.....	67
IV.4.5.2 : Les éléments du moule à deux empreintes :.....	69
<i>IV.5 : Fabrication assistée par ordinateur FAO :.....</i>	<i>70</i>
IV.5 .1 : Définition :	70
IV.5.2 : Le G-code ou langage machine :.....	71
IV.5.2. 1: Structure générale du programme :	71
IV.5.2.2 : Lettre adresses :.....	71
IV.5.2.3 : Format des données :	72
IV.5.2.4 : La gamme d'usinage :	72
IV.5.3 : Application :	75
IV.5.3.1: Machine et outils à commande numérique :.....	76
IV.5 .3.2 : Classification des machines outil à commandes numérique :.....	76
IV.5 .3.3 : Eléments de base d'une MOCN :	76
IV.5 .3.4 : Fiche technique de la machine a commande numérique DMG MORI CMX 1100 V :.....	77
IV.5 .3.5 : Préparation du brut :.....	78
IV.5 .3.6 : Fixation de brute :	79
IV.5 .3.7 : Les outils utilisés :.....	79
IV.5 .3.8 : Positionnement des outils de coupe dans la machine MOCN :.....	80
IV.5 .3.9 : Lancement du programme de l'usinage :.....	81
IV.5 .3.10 : Lubrification :	82
<i>IV.6 : Le moulage de la pièce :.....</i>	<i>84</i>
IV.6.1 : Préparation du mélange du caoutchouc :.....	84
IV.6.1.1 : Les ingrédients (recette) du mélange du caoutchouc utilisé :	84
IV.6.2 : Machine utilisées pour le mélange du caoutchouc :.....	85
IV.6.2.1 : Mélanger interne.....	85
IV.6.2.2 : Mélangeur externe.....	86
IV.6.2.3 : Extrudeuse :	86
IV.6.3 : Préparation de l'opération du moulage :	87
IV.6.3 .1 : Paramètres de moulage :.....	87
IV.6.3 .2 : Opération de moulage :	87
<i>Conclusion :.....</i>	<i>88</i>
<i>CHAPITRE V : Calcule et vérification du moule.....</i>	<i>89</i>

<u>Introduction</u>	90
<u>V.1 : Le choix de la machine</u>	90
<u>V.2 : Fiche technique de produit</u>	90
<u>V.3 : Fiche technique de caoutchouc utilisé</u>	91
<u>V.4 : Le poids de la pièce :</u>	91
<u>V.5 : La force de fermeture :</u>	92
<u>V.6 : Dimensions des plateaux de la presse :</u>	93
<u>V.7 : Vérification à la résistance des matériaux :</u>	95
<u>V.7.1 : Résistance de la partie mobile (supérieur) :</u>	96
<u>V.7.2 : Résistance de la partie fixe (inferieur):</u>	96
<u>V.7.3 : Résistances des colonnes de guidage au cisaillement :</u>	97
<u>Conclusion :</u>	98
<u>Conclusion générale :</u>	99

LISTE DES FIGURES

<u>Figure I. 1 : Direction générale.</u>	6
<u>Figure I. 2 : Zone de stockage.</u>	7
<u>Figure I. 3 : Chaîne de montage.</u>	7
<u>Figure I. 4 : Organigramme de SOFICLEF.</u>	8
<u>Figure II. 1 : Hévéa brasiliensis.</u>	12
<u>Figure II. 2 : Récolte du latex [5].</u>	13
<u>Figure II. 3 : Evolution du module d'YOUNG et de l'angle de perte en fonction de la Température [7].</u>	15
<u>Figure II. 4 : Formule semi-développée de SBR.</u>	16
<u>Figure II. 5 : Exemple de microstructure d'un matériau élastomère observée par microscope électronique à transmission.</u>	19
<u>Figure II. 6 : La réticulation des élastomères [11].</u>	20
<u>Figure II. 7 : Evolution du module élastique en fonction de la température pour une vitesse de Refroidissement donnée [9].</u>	21
<u>Figure II. 8 : Etat d'un élastomère en fonction des domaines d'état structuel ou de la Température [9].</u>	21
<u>Figure II. 9 : Différentes échelles de taille des charges [10].</u>	22
<u>Figure II. 10 : Différentes structures des charges [11].</u>	23
<u>Figure II. 11 : Mélangeur interne.</u>	27
<u>Figure II. 12 : Mélangeur externe.</u>	27
<u>Figure II. 13 : Courbe de traction à rupture [6].</u>	30
<u>Figure II. 14 : Essai de traction de types charge/décharge.</u>	30
<u>Figure II. 15 : Stabilisation d'un SBR non cristallisant et d'un NR cristallisant [HMP67].La courbe en pointillés le représente le comportement du matériau non-cyclé [7].</u>	30
<u>Figure II. 16 : Cristallisation sous contrainte [14].</u>	30
<u>Figure II. 17 : Phénomène de relaxation [8].</u>	31
<u>Figure II. 18 : Courbe d'hystérésis d'un élastomère [8].</u>	31
<u>Figure II. 19 : Variation de l'hystérésis pour un thermoplastique en fonction de la déformation et de la température [9].</u>	32
<u>Figure II. 20 ; Effet Mullins.</u>	33
<u>Figure II. 21 : Interprétation microscopique de l'effet Mullins [11].</u>	33
<u>Figure II. 22 : Analyse de l'effet de Payne. Évolution de propriétés mécanique en fonction du niveau de déformation pour un élastomère SBR renforcé en silice [3].</u>	34
<u>Figure III. 1 : Extrusion</u>	39

<u>Figure III. 2 : Principe du moulage par compression.</u>	41
<u>Figure III. 3 : Procédé d'injection.</u>	43
<u>Figure III. 4 : Principe du moulage compression-transfert.</u>	43
<u>Figure III. 5 : Calandrage.</u>	44
<u>Figure III. 6 : Principes d'une presse à colonnes (à gauche) et d'une presse multi plateaux (à droite).</u>	49
<u>Figure III. 7 : Presse horizontale.</u>	52
<u>Figure III. 8 : Presse vertical.</u>	53
<u>Figure III. 9 : Extrudeuse.</u>	56
<u>Figure IV. 1 : Schéma de la CFAO.</u>	59
<u>Figure IV. 2 : Conception d'une pièce sur SolidWorks.</u>	63
<u>Figure IV. 3 : Emplacement de la pièce</u>	64
<u>Figure IV. 4 : Différents types de poignées.</u>	65
<u>Figure IV. 5 : Les poignées choisis.</u>	65
<u>Figure IV. 6 : Poignées en plastique imprimé en 3D.</u>	65
<u>Figure IV. 7 : Obtention de l'empreinte du moule avec le dossier assemblage.</u>	66
<u>Figure IV. 8 : Moule à dix empreintes.</u>	68
<u>Figure IV. 9 : Coupe gomme</u>	68
<u>Figure IV. 10 : Echantillon du moule avec deux empreintes.</u>	69
<u>Figure IV. 11 : Partie moule avec coupe gomme.</u>	70
<u>Figure IV. 12 : Format G-code.</u>	72
<u>Figure IV. 13 : Partie inferieur du moule.</u>	75
<u>Figure IV. 14 : MOCN DMG MORI CMX 1100 V.</u>	77
<u>Figure IV. 15 : Brut avec des rainures.</u>	79
<u>Figure IV. 16 : Brides de fixation.</u>	79
<u>Figure IV. 17 : Outils d'usinage.</u>	80
<u>Figure IV. 18 : Outil de mesure Kit capture.</u>	80
<u>Figure IV. 19 : Post-processeur de la MOCN.</u>	81
<u>Figure IV. 20 : Usinage du moule dans la MOCN.</u>	81
<u>Figure IV. 21 : Lubrifiant dans la MOCN.</u>	82
<u>Figure IV. 22 : Partie supérieur du moule.</u>	82
<u>Figure IV. 23 : Partie inferieur du moule.</u>	83
<u>Figure IV. 24 : Mélangeur interne.</u>	85
<u>Figure IV. 25 : Mélangeur externe.</u>	86

<u>Figure IV. 26 : Extrudeuse de caoutchouc</u>	86
<u>Figure IV. 27 : Teste de dureté</u>	88
<u>Figure V. 1 : Poids de la pièce 1</u>	92
<u>Figure V. 2 : Poids de la pièce 2</u>	92
<u>Figure V.3 : Dimensions partie mobile</u>	93
<u>Figure V. 4 : Dimensions partie fixe</u>	94
<u>Figure V. 5 : Surface supérieurs soumise au matage</u>	95
<u>Figure V. 6 : La surface inferieur soumise au matage donnée par solidworks</u>	96
<u>Figure V. 7 : Section soumise au cisaillement</u>	97

LISTE DES TABLEUX

<u>Tableau II. 1 : Composition du latex indépendamment du lieu plantation [3].</u>	14
<u>Tableau II. 2 : Familles d'élastomères.</u>	16
<u>Tableau II. 3 : propriétés des principaux types de polymères [9].</u>	18
<u>Tableau II. 4 : Utilisations des élastomères [13].</u>	35
<u>Tableau III. 1 : Exemples de caractéristiques de presses de force de fermeture comprise entre 15 et 250 t ;</u>	53
<u>Tableau III. 2 : caractéristiques de presses de force de fermeture comprise entre 300 et 1 000 t</u>	54
<u>Tableau III. 3 : Exemples de caractéristiques de presses de force de fermeture comprise entre 1 500 et 5 000 t.</u>	55
<u>Tableau IV. 1 : Fiche technique de la pièce.</u>	63
<u>Tableau IV. 2 Eléments du moule à dix empreintes.</u>	67
<u>Tableau IV. 3 : Eléments du moule échantillons.</u>	69
<u>Tableau IV. 4 : Ingrédients de mélange du caoutchouc.</u>	84

Liste des symboles :

- Caoutchouc naturel : NR
- Module de Young: E (N/mm^2)
- T_g : température de transition vitreuse $^\circ\text{C}$
- Caoutchouc synthétique : IR
- Température : T ($^\circ\text{C}$)
- La masse : m (kg)
- La masse volumique : ρ (kg/m^3)
- La force de fermeture : F (N)
- Contrainte d'élasticité σ_e : (N/mm^2)
- Contrainte pratique élasticité : R_{pe} (N/mm^2)
- Résistance limite à la traction : R_e (N/mm^2)
- Coefficient de sécurité : s
- La surface : S (m^2)
- La largeur : E (m)
- La longueur : L (m)
- Contrainte de cisaillement : τ (N/mm^2)
- Coefficient de sécurité : k
- Section de la colonne : S (m^2)
- Le nombre de sections cisillées : n
- La force : F (N)

Introduction générale

Introduction générale :

Durant les soixante dernières années, les matériaux polymères ont beaucoup évolué avec une expansion de production mondiale qui atteint les 140 million tonne par an, désormais on les trouve dans divers domaines à savoir l'emballage, le bâtiment, les équipements électriques et électroniques et outilles de construction.

Le monde d'aujourd'hui vit une situation de concurrence, cela nous mène à produire au plus bas coût possible et dans un temps réduit. Pour cela, on recherche des méthodes plus réalistes et plus adaptées. La maîtrise des outils technologiques actuels est nécessaire, comme l'utilisation des machines à commande numérique, les logiciels de conception et de fabrication.

L'entreprise SOFICLEF nous a confié dans le cadre de l'exécution de notre mémoire de fin d'étude, l'étude et conception d'une poignée de la brouette en moulage par compression.

L'objectif de cette étude est de cerner les matières thermodurcissables et le procédé de mise en œuvre par compression, puis de concevoir les pièces, et le moule en utilisant un logiciel de conception CAO (SOLIDWORKS) tout en générant des programmes de fabrications de porte empreintes par un logiciel de fabrication FAO (CAMWORKS).

Nous avons organisé notre travail en cinq chapitres afin de bien le mener. Après une Introduction générale sur le sujet, vient le chapitre I qui présente l'entreprise SIFICLEF, puis la généralité sur le matériau utilisé dans le chapitre II, les procédés de mise en œuvre du matériau en général et le moulage par compression en particulier sont présentés dans le troisième chapitre.

Ensuite, la conception et la fabrication du moule et de la pièce moulée répartie en deux parties : Une partie conception et une autre fabrication notée chapitre IV, dans laquelle nous avons traité les équipements et les méthodes nécessaires à la conception, ensuite nous aborderons la partie calcul au chapitre V.

Enfin, nous terminerons par les dessins de définitions et le dessin d'ensemble qui seront Présentés après la conclusion générale.

Chapitre. I :

Historique de l'entreprise

I-1 HISTORIQUE DE SOFICLEF :

Tout a commencé un certain 21 juin 1994, dans un local de 7 m² situé au : 39, rue Ahmed BOUMAAZOUZA, El Madania (ex Salembier), Alger, où la première activité était la confection des ébauches de clés.

1995

Vu le manque des distributeurs à cette époque, il a été décidé de faire la distribution des ébauches de clé sur le grand Alger, ainsi que la confection au public de la plaque d'immatriculation (emboutissage de la plaque).

1996

- Distribution des ébauches de clés sur le territoire national.

1997

- Changement de siège, toujours à la même adresse, à savoir : 39, rue Ahmed BOUMAAZOUZA, El Madania, Alger, d'une
- 1ère importation des ébauches de clés de chez le fournisseur espagnole JMA.
- Soficlef est devenue la plus grande société de distribution des ébauches de clé en Algérie sous le nom de la Sarl Sofiane.

1998 (Création de la Sarl Soficlef)

- Création de la Sarl Soficlef en date du 18 Février 1998.
- Distributeur exclusif de la marque JMA en Algérie. Plus de 90% de la part de marché des ébauches de clés.
- Nouveau siège de 80 m² sis à la cité des Jasmins, El Madania, Alger.

1999

- Signature d'un contrat d'exclusivité avec la société française FAAB, spécialisée dans la fabrication de plaque d'immatriculation, Soficlef est devenue le premier distributeur algérien de plaques d'immatriculation aux normes européennes avec un film réfléchissant.
- Distribution de la plaque d'immatriculation sur le territoire national.
- Vente annuelle de 80.000 à 100.000 plaques.
- Nouveau siège de 150 m² sis à la rue Ahmed OUANOUI, El Madania, Alger».

2000

- Promotion de la plaque d'immatriculation (300.000 plaques par an).
- Élargissement du réseau de distribution des ébauches de clé et plaques d'immatriculation.
- Répondre aux exigences des clients en termes de réclamations et de satisfaction client.

2001

- 1ère importation des serrures chez le fournisseur Espagnole AZBE « une serrure de qualité » par rapport rapport à la mauvaise qualité de serrures sur le marché à cette époque suite à une étude de marché. Septembre 2001
- Signature d'un contrat d'exclusivité avec le fabricant de serrure turque KALE KILIT pour 1 million de dollar.
- Soficlef est devenue concurrentielle par rapport à la serrure chinoise en qualité et en prix.

2002

- Signature d'un contrat d'exclusivité avec le fabricant égyptien AHRAM (fabricant de serrures) sous la marque IZO pour donner plus de choix au client. - Elargissement de la distribution de la serrure.

2003

- Elargissement de la gamme avec l'introduction de poignée de porte chez les fabricants HAMLE et HUSNA.
- Soficlef a atteint 35% de part de marché de la serrure.
- Début du routing et du service après-vente pour les produits suivants : serrures, poignées, plaques et ébauches de clé.

2004

- Soficlef a construit son propre bâtiment à Tixeraine, Alger, construction moderne de 900 m², avec 35 employés.

2005

- Début du négoce avec les chinois pour les produits cadenas et paumelles.
- Élargissement de la gamme en insistant sur la qualité, sachant que les produits chinois sur le marché étaient de mauvaise qualité.

2006

- Restructuration de l'entreprise.
- Enregistrement de la marque Soficlef auprès de l'INAPI.
- Un parc auto élargi qui dépasse les 10 véhicules.
- Création d'une unité de montage de la poignée.

2007

- Acquisition d'une ligne de production de la poignée et de la plaque d'immatriculation.
- Le nombre d'employé est passé à 60 employés.

2008 (10ème anniversaire)

- Déplacement vers un nouveau site situé à Baba Ali Alger, d'une superficie de 5000 m².
- Installation de deux lignes de production, une pour les poignées et crémones, injection, estampage et peinture, et l'autre pour la fabrication de la plaque d'immatriculation.
- Elargissement de la distribution de la plaque d'immatriculation, avec une part de marché de 70%.
- Elargissement de la distribution de serrures et poignée avec une part de marché de 65% avec un parc auto de 30 véhicules.

2009

- Lancement de nouvelles gammes de produits.
- Début de la commercialisation de l'outillage électroportatif sous la marque Soficlef.
- Début de la commercialisation des portes par l'ouverture d'un show-room de 1800 m², situé à Chéraga, Alger.

2010

- Déplacement vers le nouveau site à Si Mustapha Boumerdes, d'une superficie de 35 000 m² doté d'un dépôt avec un système de stockage moderne.
- Autorisation pour l'exploitation d'un entrepôt sous douane au niveau du site.

2011

- Augmentation de la capacité de production de la poignée de la crémonne.
- Début de fabrication de la barre de crémonne.

2012

- Acquisition d'une 2e ligne de fabrication de plaque ultramoderne et augmentation de la capacité de production à 21.000.000 plaques/an.
- Réalisation de la 1ere exportation de la plaque d'immatriculation vers le Maroc.
- Introduction de nouvelles gammes « électropompe – nettoyeur haute pression – poste à souder »

2013

- Début du montage de la serrure au niveau de l'unité de production.
- Elargissement de la gamme en introduisant l'outillage à main et les disques.

2014

- Restructuration de l'entreprise où le nombre d'employé a atteint 290 collaborateurs.
- Réaménagement du site aux normes internationales.
- Statut d'opérateur économique agréé en douane.

2016

- Homologation de la plaque d'immatriculation aux normes françaises.
- 1ere exportation de plaque d'immatriculation vers la France.

2017

- Certification de système management ISO 9001 : 2015

2018 (20ème anniversaire).

- Signature d'un contrat de partenariat avec le groupe américain StanleyBlack&Decker (leader mondial de l'outillage électroportatif).
- Mise en place d'une planification stratégique.

I.1.1 Activité :

SOFICLEF est une entreprise à caractère industriel et commercial, leur ajout majeur est la maîtrise totale des opérations de la grande distribution :

1. Production et Fabrication : Poignées de portes, crémones de fenêtres, plaques d'immatriculation.
2. Montage des serrures.
3. Commercialisation : Outillages à main, outillages électroportatifs, accessoires, portes de maison, ainsi que tous types d'ébauches de clés. [1]



Figure I. 1 : Direction générale.

I.1.2 Base Logistique :

SIFICLEF se trouve au cœur du développement de la logistique afin de répondre aux exigences de la modernisation organisationnelle, SOFICLEF dispose de l'un des plus grands réseaux de distribution en Algérie.

SIFICLEF dispose d'un espace de stockage et de magasinage de sa marchandise de 15000 M2 avec un système de racking ou rayonnage à palettes grande hauteur afin d'assurer le flux de la marchandise en toute sécurité. Une flotte de véhicules tous types confondus ainsi qu'un large réseau de distribution judicieusement réparti à travers le territoire national lui permet de garantir la livraison de la marchandise dans les meilleurs délais grâce à une planification au préalable pour l'optimisation des chargements. Grâce à ses installations et son organisation, Soficlef a pu obtenir l'autorisation de son entrepôt sous douane privé.

I.1.3 Opérateur économique agréé :

La maîtrise des procédures de gestion douanières et la conformité à tous les aspects a abouti à l'octroi d'une ligne douanière spécialisée pour nos transactions douanière.

Le témoignage et la reconnaissance de l'état Algérien s'est traduit par l'attribution du statut d'opérateur économique agréé.



Figure I. 2 : Zone de stockage.

I.1.4 Garantie :

Soficlef dispose d'un service-après-vente (SAV) constitué d'une équipe de techniciens très qualifiés. Elle prend en charge la réparation ou l'échange des produits sous garantie sur tout le territoire national.[1]



Figure I. 3 : Chaîne de montage

I.1.5 Certification ISO 9001:

La Sarl Soficlef a illustré sa volonté de maintenir la qualité parmi ses premières préoccupations en s'inscrivant dans une démarche d'évaluation décerné, après une évaluation minutieuse, la norme de qualité ISO 9001:2015 pour l'ensemble des activités de Soficlef continue de l'organisation de l'ensemble de ses structures. Le 18 septembre 2017, Vinçotte international Algérie SPA a

I.2 : Organigramme de Soficlef :

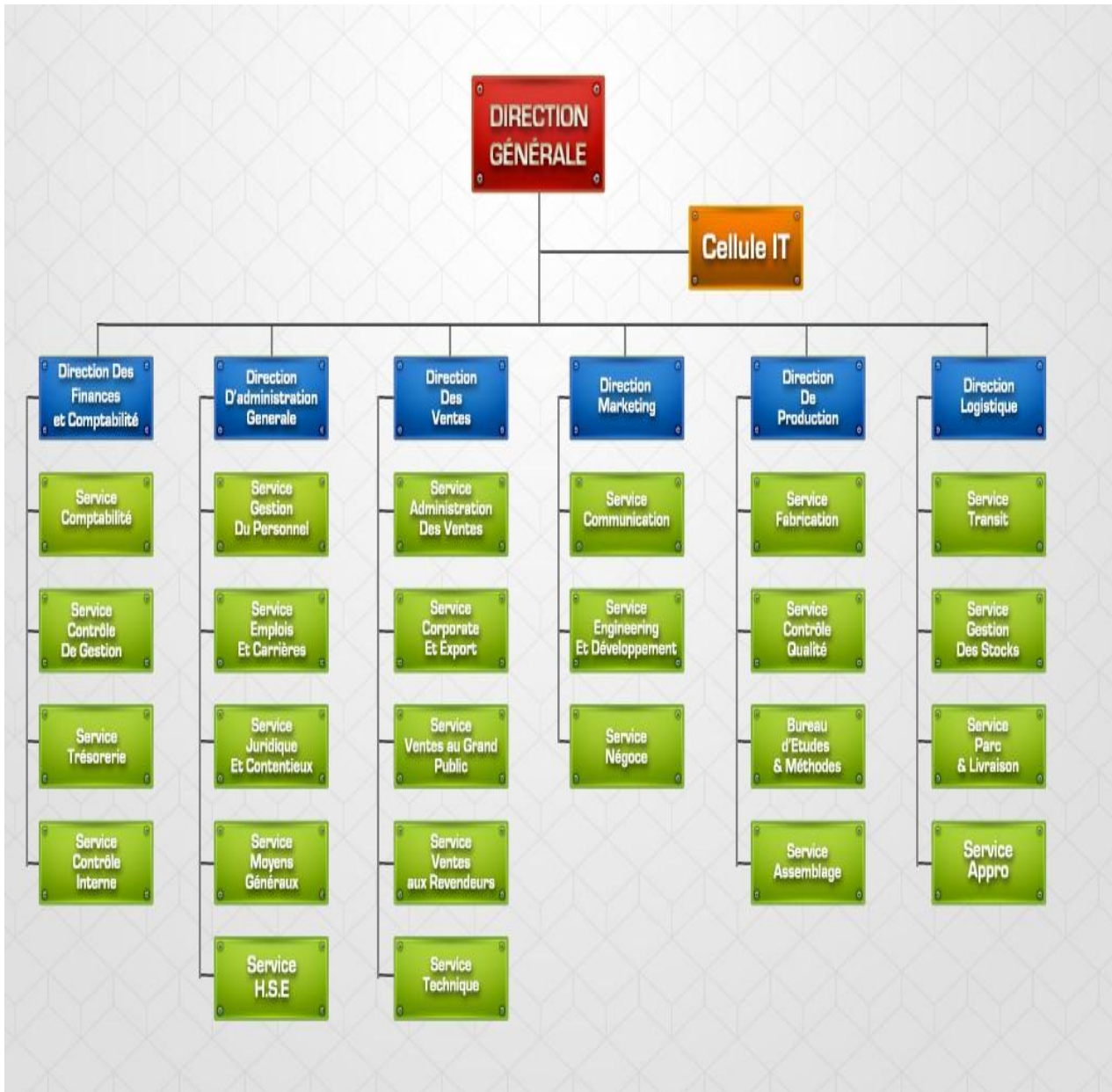


Figure I. 4 : Organigramme de SOFICLEF.

Chapitre II :

Généralité sur les élastomères

II.1 : Introduction :

Les élastomères couvrent un large domaine d'utilisation dans l'industrie telle que l'industrie aéronautique, l'automobile, bâtiment et génie civil en vue de leurs propriétés mécaniques unique d'élasticité, d'extensibilité et leurs capacités à dissiper de l'énergie. Des études s'intéressent à comprendre le comportement des élastomères afin de pouvoir améliorer et accroître ces propriétés. Les nombreuses formulations possibles offrent la possibilité de mettre en œuvre des matériaux très spécifiques en fonction de l'application désirée. Dans ces formulations interviennent les conditions d'élaboration et les charges de renforcement du matériau en particulier.

Ce chapitre est consacré à la description des élastomères d'un point de vue physicochimique et mécanique, leur mise en œuvre ainsi l'ajout des charges renforcées, leur comportement en statique et en dynamique.

Les élastomères sont appelés communément « caoutchouc » sont des matériaux qui couvrent un large domaine d'application (colle, étanchéité, semelle de chaussures, article sportif, automobile et particulièrement celui des pneumatiques).

Cela s'explique par les propriétés mécaniques uniques d'élasticité, d'extensibilité et leur capacité à dissiper de l'énergie. Les nombreuses formulations possibles offrent la possibilité de mettre en œuvre des matériaux très spécifiques en fonction de l'application désirée et l'obtention des formes les plus complexes. Dans ces formulations interviennent des charges qui pour leur majorité améliorent considérablement les propriétés d'usage et plus particulièrement les propriétés mécaniques (rigidité, résistance à la rupture, dissipation d'énergies).

II.2 : Historique :

C'est la découverte du nouveau monde qui introduit le caoutchouc en Europe. Celui-ci est cependant connu par les indiens depuis longtemps. Le terme caoutchouc tire ses origines du mot indien " caa-o-chu" qui signifie "l'arbre qui pleure". L'image du latex (dispersion colloïdale de caoutchouc dans une solution aqueuse) coulant de l'arbre a été associée par de nombreuses civilisations au sang coulant d'un corps d'un humain blessé, d'où son caractère sacré chez les Incas, les Mayas, les Olmèques et les Aztèques. En dehors des pratiques religieuses, le caoutchouc possédait de nombreuses vertus thérapeutiques (toux chronique, maux de dents) et été utilisé pour la fabrication d'objets courants obtenus par moulage sur argile (bouteilles, seringues, bottes). Toutes ces connaissances furent perdues lors de la découverte du nouveau monde par Christophe Colomb.

Les premières applications du caoutchouc en Europe voient le jour en 1735, lorsque

Charles Marie de la Condamine redécouvre, lors d'un tour du monde, la substance élastique dont il francise le nom: "caoutchouc". Il en expédie un échantillon à l'Académie des sciences de Paris. Grâce au latex, il crée des parapluies, bouteilles et seringues. En 1791, Peal dépose le premier brevet relatif au caoutchouc : l'imperméabilisation des vêtements. Faraday est le premier à déterminer le rapport carbone/hydrogène $C_{10}H_{16}$ du caoutchouc brut. Des analyses plus précises confirmeront cette formule : $(C_5H_8)_n$.

Au début du XIX^{ème} siècle, la première fabrication de caoutchouc est créée à Paris.

Elle produit des bandes pour jarretières et bretelles mais qui ont pour inconvénient de devenir poisseux par temps chaud et cassantes par temps froid. L'origine de la manufacture de

Michelin date de 1830 avec la construction d'un atelier de confection de balles pour enfants.

Neuf ans plus tard, son futur rival américain Goodyear s'aperçoit de l'action de la chaleur sur un mélange " caoutchouc/soufre ". Un Maintient à 150°C durant 45 minutes permet de fixer l'élasticité de la gomme tout en supprimant son adhésivité. Hancock déposera un brevet nommant ce procédé vulcanisation. C'est en 1888 que voit le jour l'industrie la plus consommatrice de caoutchouc : celle du pneumatique. Les bicyclettes sont les premières à profiter des pneumatiques développés par John Dunlop et les frères Michelin qui équiperont très rapidement tous les types de véhicules. Les deux guerres mondiales ont eu pour conséquence d'étendre les zones de production vers d'autres plantations que celles de l'Hévéa

(Figure I.1), afin d'éviter les manques d'approvisionnement, mais également de développer les recherches vers des caoutchoucs synthétiques. Entre 1941 et 1945, la production de SBR

(Copolymère Styrène Butadiène) passe de 230 à 731000 tonnes. Les deux chocs pétroliers de 1973 et 1979 vinrent donner un coup d'arrêt au développement exponentiel des caoutchoucs synthétiques (une hausse de 10% du prix du baril donnant une hausse de l'ordre de 5% sur celui du SBR). Il s'ensuit un véritable regain d'intérêt pour le caoutchouc naturel et de nouvelles opportunités commerciales et technologiques [2].



Figure II. 1 : Hévéa brasiliensis.

II.3 : Le caoutchouc :

II.3.1 : L'arbre de l'Hévéa :

Dans son milieu naturel en Amazonie, l'Hévéa brasiliensis est un arbre pouvant atteindre fréquemment plus de 30 m de hauteur pour une circonférence de 1 m. L'hévéa à une écorce vert grisâtre. Les feuilles sont composées de trois folioles disposées à l'extrémité d'un pétiole. L'hévéa perd ses feuilles et les renouvelle chaque année. Les feuilles se forment périodiquement, par étage à l'extrémité des unités de croissance. Les fleurs sont petites, jaune clair et rassemblées en grappes. Les fruits sont composés d'une capsule à trois loges contenant chacune une graine de 2 cm environ, ovales, de couleur brune décoré de tâches blanchâtres.

On dit de ce fruit qu'il est déhiscent.



Figure II. 2 : Récolte du latex [5].

II.3.2 : Qu'est ce que le caoutchouc ?

Dans ce paragraphe, on décrit le processus d'élaboration du matériau. Le caoutchouc naturel (NR) est extrait d'un arbre nommé l'Hévéa Brésilienne. Il est obtenu à partir du latex après avoir réalisé des saignées profondes dans l'écorce de l'arbre (**Figure II.2**). Le caoutchouc est extrait du latex après coagulation par une solution acide. On obtient des plaques qui peuvent être vendues comme latex concentré. Les zones humides et à basses altitudes où il y a de fortes précipitations constituent un cadre idéal pour la culture du latex. Utiliser ce matériau à base de latex à l'état brut pose certains problèmes d'écoulement à la température ambiante.

La composition du latex est décrite par le (**tableau II.1**).

Le caoutchouc représente une concentration égale à 36% dans une solution aqueuse comportant des protéines, des glucides, des résines et des sels. Dans la littérature on cite deux procédés d'obtention du caoutchouc naturel à partir du latex. Le choix du procédé dépend du type de produit fabriqué :

- l'ajout de l'acide formique ou de l'acide acétique permet la coagulation de globules de caoutchouc qui peuvent être extraits de la solution aqueuse, ils font ensuite l'objet d'un traitement spécifique avant la mise en forme ;
- les moules de certains produits sont plongés dans le latex. L'ajout d'ammoniaque stabilise le latex dans son état liquide pour être traité avant le moulage.

Des travaux de recherche ont permis d'aboutir à un procédé permettant de stabiliser le matériau : c'est le procédé dit la vulcanisation. La découverte de ce procédé est à la base du développement d'un secteur industriel important. Les industriels cherchent à optimiser la composition du matériau en fonction des applications. Après le mélangeage qui consiste à ajouter les différents additifs à la gomme, des procédés de mise en forme peuvent être utilisés.

Parmi ceux-ci, on cite le moulage par injection, l'extrusion de profilés et le calandrage pour l'obtention des plaques minces. [3].

Tableau II. 1 : Composition du latex indépendamment du lieu plantation [3].

Caoutchouc	36%
Protéine	1,5%
Glucides, résines, et sels	2,5%
Eau	60%

II.4 : Définition des élastomères :

L'élastomère présente la troisième famille des polymères, il est issu du caoutchouc naturel pour lequel on ajoute des charges et des aditifs.

II.4 .1 : physico-chimie des élastomères :

Les élastomères sont des polymères dont la température de transition vitreuse (T_g) est proche de l'ambiante. Leurs longues chaînes macromoléculaires sont typiquement reliées entre elles par des enchevêtrements, des noeuds de réticulation ou des liaisons polaires avec des charges minérales. Elles forment un réseau. Une fois réticulés, les élastomères se caractérisent par leur très grande déformabilité. Ils peuvent subir de grandes déformations réversibles avant rupture (jusqu'à 1000%). De plus, ils restent élastiques sur une gamme beaucoup plus étendue de température (-50°C à 150°C, voir même plus) comparée à celle des polymères thermoplastiques. [6].

En effet, l'étude des propriétés physiques des polymères, en fonction de la température, montre l'existence de plusieurs états de la matière : **(Figure. II.3) :**

- **État vitreux :** Cet état caractérise généralement les verres organiques qui présentent une très faible déformabilité.
- **État de transition :** À ce stade, on est en présence de polymères linéaires thermoplastiques de type celluloses, polyamides, polyesters, polyvinyles ...etc. Il s'agit comme son nom l'indique d'une phase de transition significative de l'état quasi-fragile à un état de grande déformabilité.
- **État caoutchoutique :** Les élastomères sont caractéristiques de cet état. Ils possèdent une grande déformabilité et un comportement visqueux
- **État d'écoulement :** Le polymère, bien que encore solide, se comporte comme un fluide non newtonien quasi incompressible fortement visqueux. [7]

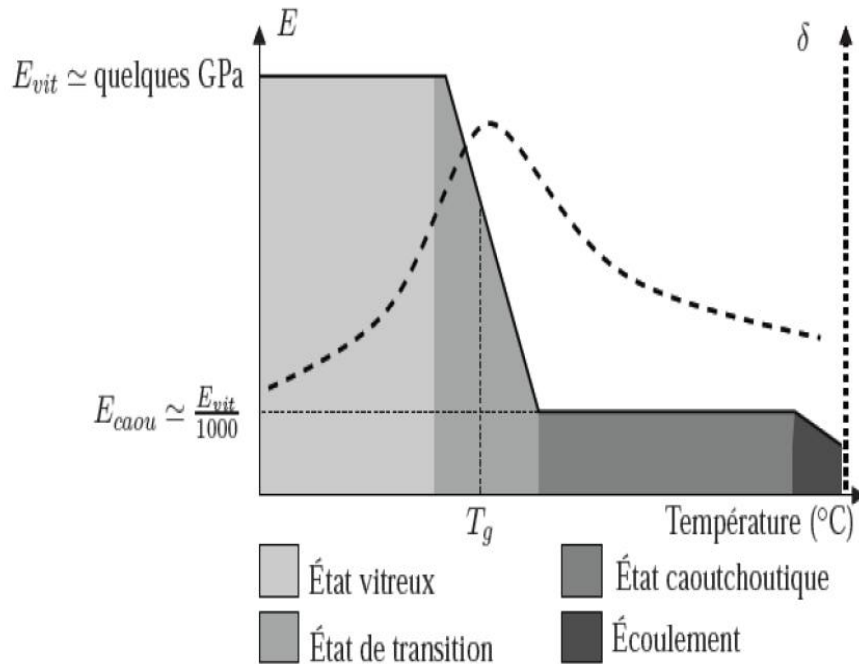


Figure II. 3 : Evolution du module d'YOUNG et de l'angle de perte en fonction de la Température [7].

La classification et les propriétés caractéristiques des familles d'élastomères sont résumées dans le tableau :

Tableau II. 2 : Familles d'élastomères.

Famille	Nomenclature	Symbole	Tg	Propriétés caractéristiques
Caoutchoucs naturels ou Synthétiques	Caoutchouc naturel Polyisoprène	NR IR	-72oC -72oC	Bonnes propriétés mécaniques, faibles résistance à la chaleur et à l'ozone, faible tenue chimique
Caoutchoucs BUNA	Copolymère styrène-butadiène Polymère de butadiène	SBR BR	-50oC -112oC	Grande résistance à l'abrasion
Caoutchouc éthylène propylène Diène	Terpolymère éthylène-propylène-Diène	EPDM	-55oC	Excellentes propriétés élastiques, bonne tenue au vieillissement et en température, mauvaise tenue aux huiles et carburants Caoutchouc

				butyle Copolymères isobutylèneisoprène IIR -66oC Très bonne résistance
Caoutchouc butyle	Copolymères isobutylèneisoprène	IIR	-66oC	Très bonne résistance au vieillessement et étanchéité aux gaz.
Caoutchoucs nitriles	Copolymères butadièneacrylonitrile (basse teneur en ACN) Copolymères butadiène-acrylonitrile (haute teneur en ACN)	NBR NBR	-45oC -20oC	Bonnes propriétés mécaniques, bonne tenue aux huiles et aux carburants, tenue en température limitée
Néoprène	Polychloroprène	CR	-45oC	Bonnes propriétés mécaniques, bonne tenue au vieillessement, tenue aux huiles modérées, tenue en température limitée
Silicones	Polydiméthylsiloxane Polydiméthylvinylméthylsiloxane Silicones fluorés	MQ VMQ FVMQ	-120oC -120oC -70oC	Haute résistance à la chaleur et au froid, faible tenu Mécanique

Tableau II. 2 : Familles d'élastomères.

II.4.2 : Structure macromoléculaire des polymères :

Les polymères (dont les élastomères font partie) sont obtenus par polymérisation de molécules à base organique identiques (les monomères). Cette réaction en chaîne consiste en l'ouverture des doubles liaisons carbone-carbone (C=C) des monomères, et la formation de nouvelles liaisons simples (C-C) entre des nouvelles molécules proches, par enchainements successifs de motifs mis bout à bout.

Par exemple :

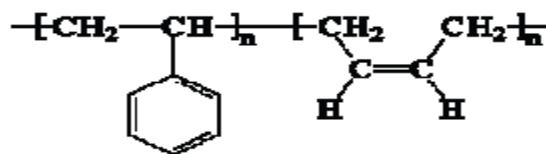


Figure II. 4 : Formule semi-développée de SBR.

La réaction aboutit à la création de longues chaînes macroscopiques de longueurs différentes enchevêtrées de manière aléatoire. Ces chaînes forment ainsi une pelote (ou plat de spaghetti).

Les statisticiens évaluent alors que la distance entre les deux extrémités d'une même chaîne est de l'ordre de 5 à 10% de la longueur totale de la chaîne. Cet enchevêtrement physique contribue en partie à la cohésion de l'ensemble.

Une manière d'améliorer la cohésion du matériau consiste à provoquer une réticulation.

En effet, le procédé de polymérisation est en général accompagné du procédé de vulcanisation mis au point par Goodyear en 1839. Ce procédé consiste à ajouter au mélange initial des agents vulcanisants qui peuvent être du soufre, des peroxydes ou des oxydes métalliques. [8].

Les polymères peuvent être divisés en 3 classes (**tableau II. 3**) :

- Les thermoplastiques : ce sont des polymères semi-cristallins ou amorphes.
- Les thermodurcissables : ce sont des polymères amorphes et ils sont formés d'un réseau tridimensionnel de macromolécules. Ils sont rigides compte tenu de leurs taux de réticulation élevés.
- Les élastomères : ce sont des polymères amorphes faiblement réticulés que les thermodurcissables.

Tableau II. 3 : propriétés des principaux types de polymères [9].

Type de polymère	Etat des molécules	Propriétés aux températures $T > T_g$	Fusion	Remarques	Origine de l'élasticité
Thermo Plastiques Amorphe, Semi-cristallin)	Linéaires (ramifiées)	Souplesse variable avec la cristallinité. capacité importante d'allongement irréversible.	La phase amorphe passe à l'état fluide sans fusion par désenchevêtrement des chaînes. La phase cristalline fond sur une plage de température autour de la température moyenne de fusion T_f .	Faciles à mettre en œuvre à $T > T_g$. Solubles dans les solvants organiques. Recyclables. Utilisés en général au-dessous de T_g pour les amorphes.	Si $T < T_g$: élasticité enthalpique (déplacement des atomes hors de leur position d'équilibre comme dans les métaux, céramiques, ...) Si $T > T_g$; élasticité enthalpique pour la phase cristalline; élasticité entropique pour la phase

					amorphe, (allongement des chaînes moléculaires dans le sens de la contrainte appliquée).
Elastomères	Linéaires avec réticulation très légère	Souplesse. Grande élasticité réversible (comportement caoutchoutique).	Ne fondent pas ; mais décomposition on a haute température.	Forte extension (jusqu'à 1000%). Difficilement recyclables. Utilises au-dessus de Tg.	Si $T < T_g$: élasticité enthalpique Si $T > T_g$; élasticité entropique
Thermo durcissables	Réseau a trois dimensions avec réticulation forte	Souplesse moyenne. Capacité d'allongement peu élève.	Ne fondent pas ; mais décomposition on a haute température.	Insolubles dans les solvants organiques. Non recyclables. Utilise au-dessus de la température de décomposition thermique.	Si $T < T_g$: élasticité enthalpique Si $T > T_g$; élasticité Entropique.

Tableau II. 3 : propriétés des principaux types de polymères [9].

II.4.3 : Structure des élastomères :

Les élastomères sont des matériaux amorphes constitués d'un ensemble de chaînes macromoléculaires de différentes longueurs. A l'état cru, c'est-à-dire sans vulcanisation, les chaînes constituant l'élastomère sont indépendantes. Sous l'application d'une contrainte extérieure, elles glissent irréversiblement les unes sur les autres et se relâchent, créant ainsi du fluage et une déformation permanente. Cette plasticité exclut toute stabilité dimensionnelle ainsi que toute possibilité d'utilisation mécanique classique du matériau d'où le besoin de vulcaniser celui-ci afin de créer des liaisons de pontages chimiques entre les chaînes élastomériques et ainsi les lier les unes aux autres. L'élastomère devient alors réticulé, mais le nombre de pontage est assez limité. Cela laisse des possibilités de mouvement des chaînes beaucoup plus importantes que pour un polymère présentant un réseau thermodurcissable. La structure est alors celle d'un réseau tridimensionnel unique, toujours extrêmement déformable sous une sollicitation extérieure, mais stable. [9]

II.4.4 : Microstructure des matériaux élastomères

Un élastomère est un matériau hétérogène dans lequel cohabitent deux grandes familles de constituants, la matrice élastomère et les inclusions (charges, etc.). Le comportement mécanique macroscopique résulte ainsi des caractéristiques intrinsèques de chaque constituant ainsi que des interactions entre ceux-ci. Pour comprendre ce comportement, il faut donc connaître la microstructure de ces constituants. **(Figure II. 5)**

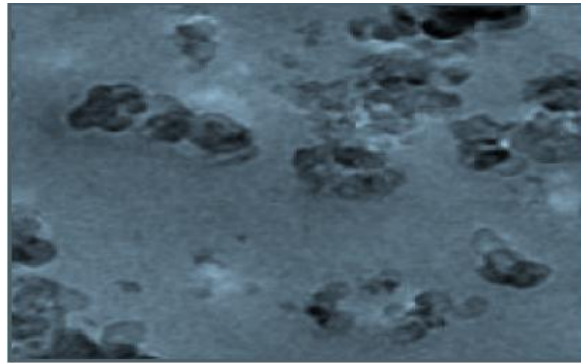


Figure II. 5 : Exemple de microstructure d'un matériau élastomère observée par microscope électronique à transmission.

Remarque : La matrice est en gris et les charges sont en noir.

II.4.5 : Les différentes familles d'élastomères :

II.4.5.1 : Les élastomères thermodurcissables :

Sont caractérisés par l'irréversibilité des propriétés acquises, réticulables à température ambiante ou en présence de chaleur avec un catalyseur synthétique ou naturel. Ils peuvent être classés en trois familles principales :

- **Les élastomères à usage général :** Caractérisés par leurs propriétés élastiques, il s'agit essentiellement des caoutchoucs naturels ou synthétiques (NR ou IR), des SBR, des polymères de butadiène (BR). Ils sont utilisés pour diverses applications dans l'industrie automobile telles que les pneumatiques, supports moteurs, balais d'essuie-glaces ; ou pour le bâtiment (étanchéité de toitures, câblerie, adhésifs, tuyaux...) ; ou encore pour le grand public telles que gants de ménage et de chirurgie, tétines, préservatifs, tapis de sol...
- **Les élastomères à usages spéciaux :** Pour des applications requérant des propriétés particulières telles que la résistance aux liquides agressifs (solvants, acides, huiles...), une stabilité vis-à-vis des hautes et basses températures et une bonne tenue au vieillissement. Ils sont utilisés dans divers secteurs d'activités (industrie pharmaceutique, nucléaire, automobile, aéronautique...)
- **Les élastomères à usages très spéciaux :** Qui présentent d'excellentes tenues chimiques et thermiques, essentiellement utilisés en industries aéronautiques et spatiales, ainsi que dans l'industrie chimique.

II.4.5.2 : Les élastomères thermoplastiques

Sont constitués d'une phase souple, un élastomère associé chimiquement à une phase rigide, un thermoplastique (Ex : Polyéthylène, polystyrène, polyuréthane ou polyester).pour leur mise en

œuvre, ils ont un comportement similaire à celui des matières plastiques (déformables à chaud), avec les mêmes avantages tels que la facilité de transformation et la récupération des déchets et rebuts [13].

II.4.6 : Vulcanisation et réticulation dans un élastomère :

Les chaînes macromoléculaires sont liées entre elles par des liaisons secondaires de type van der Waals d'énergie faible. De ce fait, le caoutchouc naturel a un caractère de fluide très visqueux.

A l'état naturel et suite à une sollicitation, l'écoulement des chaînes les unes par rapport aux autres est inévitable. La découverte de Ch. Good Year (1839) du procédé de réticulation par le soufre, appelé vulcanisation, a permis la stabilisation du caoutchouc naturel afin de rendre son utilisation possible dans diverses applications.

Des agents accélérateurs de vulcanisation sont aussi utilisés avec le soufre tels que les amines ou les guanidines. La réticulation permet la création de liaisons chimiques fortes entre les chaînes macromoléculaires donnant naissance à un réseau tridimensionnel stable. La vulcanisation et les enchevêtrements moléculaires assurent la cohésion du matériau permettant aussi d'éviter le glissement entre chaînes tout en conservant leur flexibilité. La distance moyenne entre deux jonctions est un paramètre qui peut aussi donner une idée sur le taux de réticulation. **(Figure II.6)** Plus cette distance est faible, plus le nombre de ponts de jonction est important. La vulcanisation s'effectue à une température entre 150 et 200 degrés pendant une faible durée. C'est après la vulcanisation qu'on aboutit à un réseau tridimensionnel. [11].

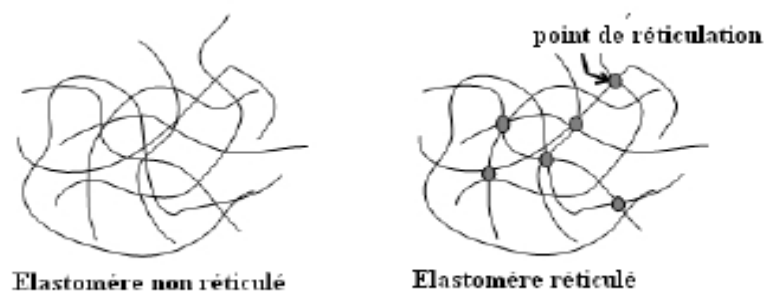


Figure II. 6 : La réticulation des élastomères [11].

II.4.7 : Température de transition vitreuse :

La température de transition vitreuse T_g caractérise le passage du matériau de l'état vitreux à l'état caoutchoutique. La température de transition vitreuse T_g est une donnée très importante pour les Polymères.

En dessous de T_g , les liaisons secondaires relient les molécules pour former un solide amorphe alors qu'au-dessus de T_g , ces liaisons commencent à fondre, ce qui permet aux molécules de se déplacer.

A partir de T_g un polymère devient d'abord viscoélastique puis caoutchoutique, capable de subir de grandes déformations élastiques sans rompre (**figure II.7**).

Les élastomères sont des polymères avec une température de transition vitreuse inférieure à la température ambiante.

La température de fusion T_f caractérise la fusion des cristaux (pour un polymère cristallin ou semi-cristallin).

La température de dégradation T_d où les liaisons covalentes des macromolécules commencent à se rompre sous l'action de la chaleur.

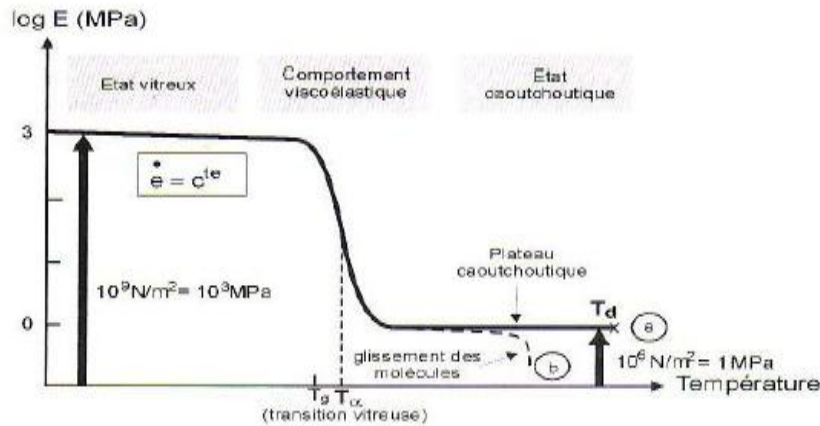


Figure II. 7 : Evolution du module élastique en fonction de la température pour une vitesse de Refroidissement donnée [9].

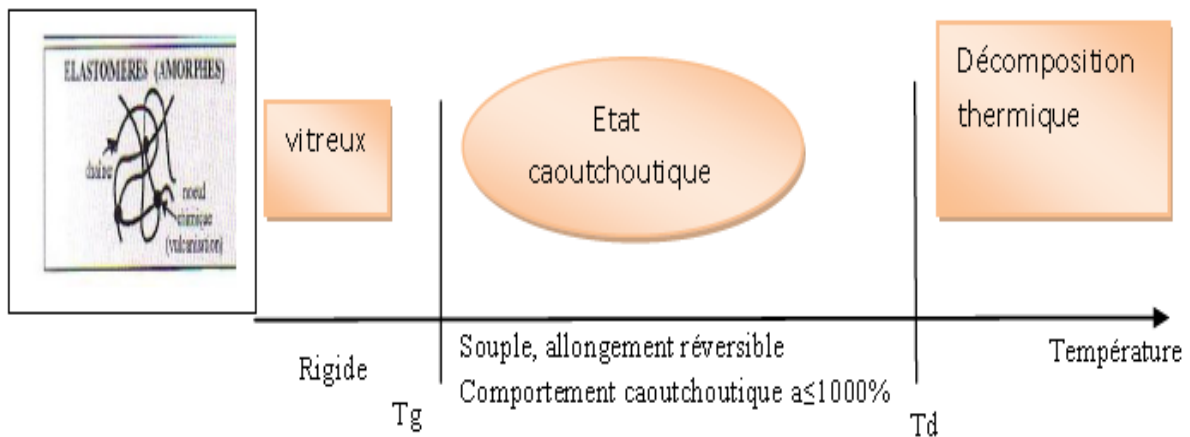


Figure II. 8 : Etat d'un élastomère en fonction des domaines d'état structuel ou de la Température [9].

II.5 : Mise en œuvre d'élastomère chargé

II.5.1 : Les additifs :

II.5.1.1 : Les charges :

Les charges jouent un rôle prépondérant pour l'utilisation des élastomères. Ce sont des particules capables de diminuer le coût du matériau, mais aussi et surtout d'améliorer ses performances (en termes de comportement mécanique). Cette amélioration résulte des interactions entre les charges et la matrice, mais aussi des caractéristiques intrinsèques des charges (taille,

morphologie, surface spécifique, activité chimique de surface). Il existe sur le marché plusieurs dizaines de familles de charges, subdivisées en un nombre important de variétés, d'origines, de compositions et de traitements différents.

On peut cependant classer ces charges en trois grandes catégories :

- **les charges renforçantes** : le noir de carbone et la silice (notées respectivement NdC et si par la suite).
- **les charges semi-renforçantes** : le kaolin, le noir de carbone sous forme d'agrégats de grande taille, etc.
- **les charges de dilution (ou charges inertes)** : la craie, le talc, etc.

De ces trois grandes familles, les charges renforçantes sont les plus utilisées.

Elles peuvent se trouver dans la matière sous différentes tailles caractéristiques (**figure II.9**) qui n'ont pas le même rôle renforçant sur le comportement. Plus la particule est de petite dimension, plus son caractère renforçant est marqué (la surface spécifique est inversement proportionnelle à la taille des particules). [10].

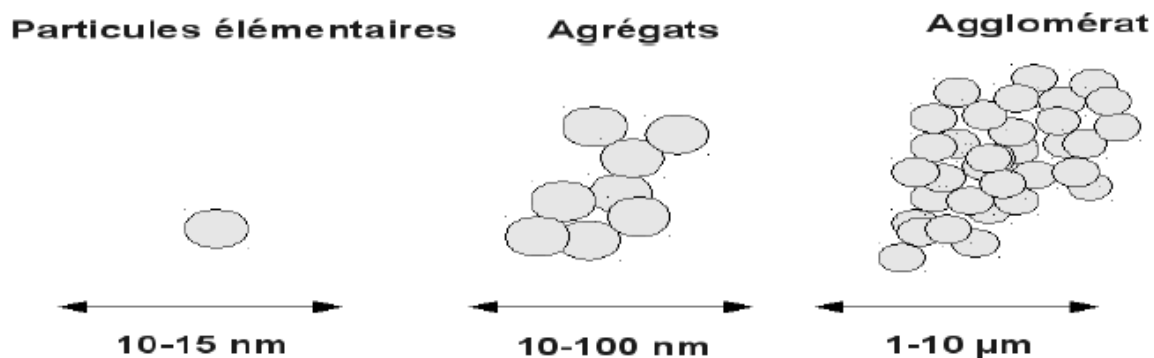


Figure II. 9 : Différentes échelles de taille des charges [10].

- **Les charges de silice** : On distingue deux catégories : la silice naturelle et synthétique. La silice naturelle est issue des roches formées par sédimentation d'organismes variés. Dans le cas synthétique, on trouve essentiellement deux familles de silice :

- la silice précipitée obtenue en milieu aqueux par l'action d'un acide. C'est la plus répandue dans le renforcement des élastomères.

- la silice thermique obtenue par réduction à haute température du tétrachlorure de silicium et oxydation du silicium de silice.

Le procédé de réduction chimique à haute température permet d'obtenir des silices ayant différentes caractéristiques du point de vue surface spécifique, taille des particules et présence d'agglomération en agissant sur la concentration en tétrachlorure de silicium, la température de fusion et le temps de la réaction. [11]

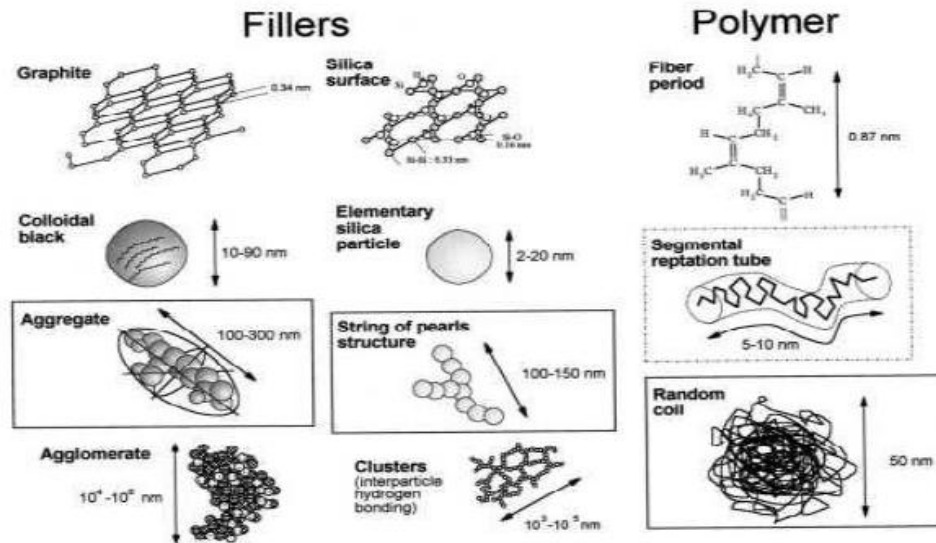


Figure II. 10 : Différentes structures des charges [11].

Selon le procédé de mise en œuvre, les particules de silice peuvent former différentes structures à différentes échelles. On peut trouver la particule de silice comme structure primaire, ou comme agrégat dont la taille peut aller de 40nm à 100nm.

Le regroupement de ces agrégats donne naissance à un agglomérat. Les agrégats sont liés entre eux par des liaisons faibles de type van der Waals. La taille d'un agglomérat varie de quelques centaines de nanomètres à 200 micromètres. (Voir figure II.10).

Quand les interactions entre les particules formant l'agrégat sont très fortes, on n'obtient pas une bonne dispersion de la silice dans la matrice. Les charges de silice peuvent faire l'objet d'un traitement de surface durant lequel on recourt parfois à des agents de couplage pour créer des liaisons covalentes de type matrice-charge. Ce traitement influe essentiellement sur les interactions charge-charge et charge-matrice.

Un moyen pour traduire le niveau d'interaction matrice-charge est de déterminer le taux de l'élastomère lié (cette notion est définie par la suite). La morphologie de la silice est très proche de celle du noir de carbone, c'est la nature chimique qui les distingue.

L'interaction du noir de carbone avec la matrice élastomérique est spontanée alors qu'il faut un agent de couplage dans le cas de silice. Le silane est l'agent de couplage communément utilisé pour assurer la compatibilité entre les propriétés surfaciques de la silice et les chaînes d'élastomère.

- **Les charges de noir de carbone :** Les charges de noirs de carbone sont très utilisées pour les pneumatiques, elles sont obtenues par combustion incomplète d'hydrocarbures. Comme pour la silice, ces charges se présentent sous différentes formes : particules, agrégats et agglomérats. La particule de noir de carbone peut être assimilée à une sphère dont la taille

varie de 10 à 45nm. Généralement, une particule de noir de carbone a tendance à interagir avec une autre particule pour former un agrégat.

Cette interaction entre les particules au sein d'un agrégat dépend essentiellement du procédé de fabrication (mélangeage).

La taille d'un agrégat de noir de carbone varie entre 100 et 200nm. Le nombre de particules par agrégat varie entre 20 et 200 particules.

Les propriétés chimiques du noir de carbone et de la matrice élastomérique sont similaires de sorte que l'incorporation de ces charges dans la matrice est aisée [12]

II.5.1.2 : Les paramètres qui permettent de caractériser les charges :

- **La surface spécifique** : C'est la surface développée de la charge par unité de masse.

Plus la taille de la particule est petite, plus la surface spécifique est grande. Elle est de 10 à 40m²/g pour les kaolins, de quelques m²/g à 150m²/g pour les noirs de carbone et elle peut atteindre 400m²/g pour certaines silices. De manière général, plus la surface spécifique est grande, plus le renforcement potentiel est important.

- **La structure** : Elle se définit selon les différentes échelles de taille. La structure primaire de la plupart des charges nanométriques découle du regroupement lors de la synthèse de particules élémentaires sous forme d'agrégat indivisible. Une attraction plus faible existe aussi entre les agrégats conduisant à la formation d'une structure secondaire sous forme d'agglomérats. La structure secondaire est destructible sous l'effet d'une action mécanique comme par exemple lors du malaxage ou au cours de sollicitations.
- **L'activité chimique de la surface** : Elle permet de contrôler la compatibilité (dispersion et formations d'interactions) entre la charge et la matrice. L'énergie de surface détermine les interactions charge-charge et polymère-charge. Les noirs de carbone s'incorporent très facilement dans les élastomères hydrocarbonés du fait de leurs natures chimiques proches, comme la silice dans les silicones. Dans le cas de la silice, son incorporation au sein d'élastomères hydrocarbonés nécessite généralement l'utilisation d'un traitement de surface afin d'améliorer leur compatibilité.

Ces trois paramètres caractéristiques des charges vont être déterminants lors de l'incorporation et la dispersion de la charge au sein de la matrice. Ainsi, dans le cas de charges avec une grande surface spécifique et une structure élevée, une bonne dispersion nécessite un très fort cisaillement du mélange lors de la mise en œuvre.

II.5.1.3 : Les agents de protection :

Les agents de protection ont pour but d'éviter toute dégradation prématurée de l'élastomère qui pourrait engendrer une modification des propriétés du matériau au cours de l'utilisation ou du stockage, ainsi qu'une modification de l'aspect du produit (apparition de craquelures, changement de teinte).

Ils peuvent être de nature chimique ou physique. Le rôle des agents chimiques est de réagir avec les produits dégradants (comme les amines aromatiques et dérivés phénoliques pour l'O₂ ou les paraphénylènes diamines pour l'O₃) ou d'interférer dans la réaction en chaîne qui conduirait à la dégradation du matériau (comme les dérivés aminés ou les phénols pour l'O₂). Celui des agents

physiques est de migrer en surface du matériau afin d'agir en tant que barrière à l'attaque des produits dégradants (comme les cires pour l'O₃). L'action d'un agent peut être très spécifique vis-à-vis de la source de dégradation (oxygène, ozone, rayonnement UV, etc.), ce qui conduit généralement à utiliser plusieurs agents de protection [10].

II.5.1.4 : Les plastifiants

Les plastifiants ont pour but d'améliorer l'opération de mélangeage des différents constituants du matériau et/ou de faciliter la mise en œuvre du produit en augmentant la mobilité des chaînes macromoléculaires (diminuer la viscosité du mélange).

Ils servent également à ajuster les propriétés du matériau puisque leur influence se fait sentir sur le comportement mécanique, en particulier sur la température de transition vitreuse et la raideur du matériau (elle diminue à mesure que l'on augmente la teneur en plastifiants).

Ils peuvent en revanche dégrader la tenue au vieillissement du mélange. En fonction de leur compatibilité avec la matrice et de l'environnement dans lequel se trouve le matériau, les plastifiants peuvent exsuder du mélange et donner un aspect huileux à la surface de la pièce [10].

II.6 : le mélangeage de l'élastomère :

Le procédé de mise en forme de pièces en élastomère met en jeu de nombreuses étapes qui affectent la structure macromoléculaire d'un élastomère et donc son comportement mécanique final. Cette section a donc pour objet de démontrer la complexité de ce processus de fabrication.

II.6.1 Formulation du mélange

La première phase dans la production d'une pièce en élastomère est l'établissement de la liste des différents ingrédients constitutifs du mélange ainsi que leur dosage respectif. Le fait de mélanger un élastomère à d'autres composants a non seulement pour objectif d'améliorer ses propriétés, mais également sa transformation en permettant une vulcanisation plus rapide. Une réduction de coût est également escomptée car il n'est pas nécessaire de synthétiser un nouvel élastomère ré atteignant les propriétés recherchées. L'étape de formulation n' nécessite une connaissance préalable de l'effet de chaque ingrédient sur le mélange final. Un certain nombre de tests essai-erreur sont également nécessaires pour fixer les paramètres de vulcanisation principaux (température et temps) permettant d'obtenir un produit avec des propriétés spécifiques. Ces nombreux tests permettent par ailleurs de mieux connaître l'effet des différents composants sur les propriétés d'un polymère et ainsi promulguer leur utilisation pour une application type. Mais en raison de la complexité du processus de réticulation, il est important de choisir un dosage et des ingrédients compatibles. En effet, la combinaison d'éléments incompatibles peut engendrer l'effet inverse que celui escompté et observé avec les composants seuls.

II.6.2 Fabrication du mélange :

A partir de la formulation préétablie, les différents ingrédients sont dosés puis mélangés en deux phases. D'abord, les principaux composants (caoutchouc, charges, plastifiants, additifs) sont travaillés par un rotor dans la chambre d'un mélangeur interne (**Figure II.11**). Le caractère rhéofluidifiant de l'élastomère diminue sa viscosité lors de son cisaillement, mais engendre une augmentation de température qu'il est nécessaire de contrôler afin de rester à une température en-deçà de 120°C. Ensuite, à la sortie du précédent mélangeur, le mélange passe dans un mélangeur

externe à rouleaux (**Figure II.12**) qui a l'avantage de pouvoir travailler le mélange à des températures plus basses inférieures à 80°C, ce qui permet d'incorporer les agents curatifs au mélange en limitant ainsi le risque d'une vulcanisation prématurée. Il est à noter que des erreurs de dosage, une malfunction interne à un mélangeur peuvent être à l'origine de variations au sein d'un même mélange. Un remélangeage peut s'avérer alors nécessaire avec le rajout d'un composant dans le cas où les propriétés sont trop basses. Dans le cas contraire, le mélange pourrait être utilisé pour un autre type d'application afin d'éviter d'avoir à le jeter.

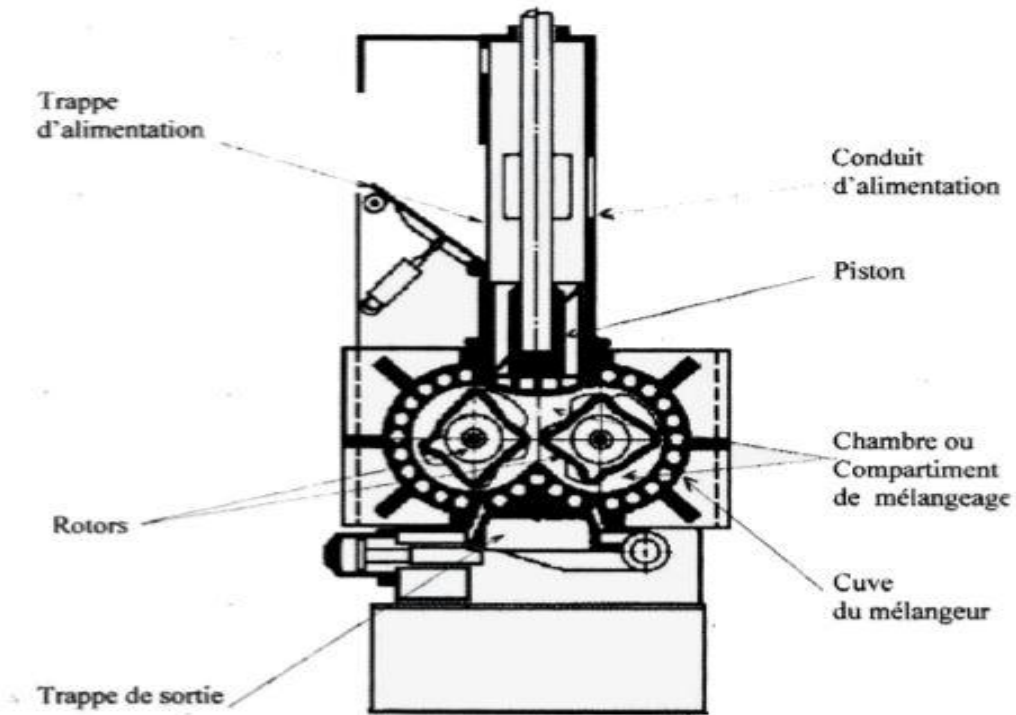


Figure II. 11 : Mélangeur interne.

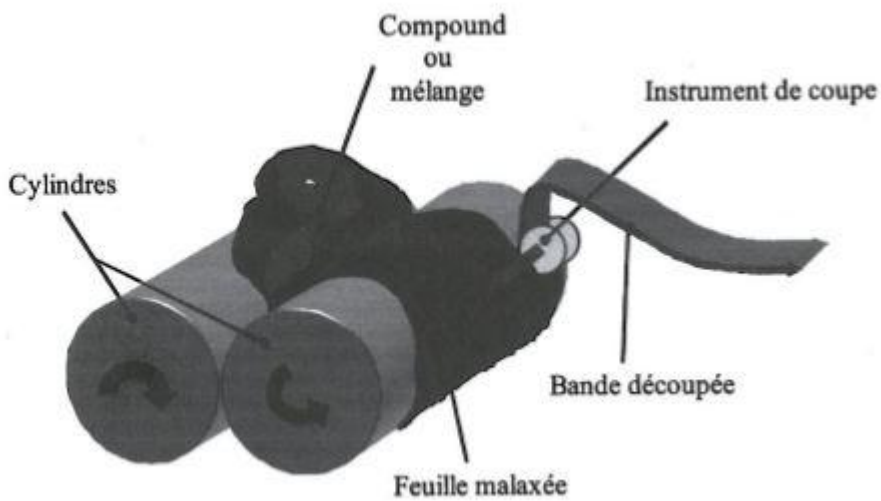


Figure II. 12 : Mélangeur externe.

II.6.3 Le moulage

Une fois réalisés, les mélanges sont ensuite mis en forme pour la vulcanisation. Cette mise en forme est souvent réalisée par moulage de type :

- **compression** : où le mélange est placé dans une empreinte puis comprimé par la fermeture du moule.
- **transfert** : où la matière est placée dans un volume auxiliaire puis poussé, lors de la fermeture du moule, pour prendre la forme de l'empreinte
- **injection** : où la matière est réchauffée par passage dans une extrudeuse et injectée dans le moule fermé.

D'autres techniques de mise en forme sont utilisées selon la nature des produits manufacturés, nous pouvons citer :

- **l'extrusion** : adaptée aux profilés de grandes longueurs. Elle consiste à faire passer la matière sous forte pression dans une filière dont la section interne conditionne la forme du profilé.
- **le calandrage** : destiné à la production de feuilles continues, est relativement similaire au procédé de laminage des métaux. [13].

II.6.4 Le refroidissement :

Il existe, à quelques variantes près, trois méthodes de refroidissement possibles :

– Le refroidissement à l'eau est le plus efficace car il permet un refroidissement rapide et uniforme. Il consiste à faire refroidir les produits dans un grand bac d'eau froide. Peu utilisé en production en raison des contraintes de temps et de logistique liés au séchage de pièces moulées, il est par contre systématiquement appliqué pour refroidir les mélanges frais suite à l'étape de mélangeage.

– Le refroidissement à l'air ambiant est normalement préconisé pour les échantillons utilisés dans le cadre de tests de qualification ou de développement. Il est généralement effectué en laissant refroidir les pièces ou échantillons sur une surface en métal dont le coefficient de conductivité thermique élevé permet d'évacuer rapidement la chaleur.

– Dans le cas de requis de production rapide de pièces, ces dernières sont directement placées dans leurs boîtes de livraison après moulage. Cela pose des incertitudes sur les conditions de refroidissement réellement subies et leurs conséquences sachant que la température de refroidissement a un effet sur les propriétés mécaniques des pièces.

II.7 : Les défauts dans les élastomères :

La fabrication des pièces en caoutchouc résulte d'un ensemble de processus rarement automatisé alors que l'assurance qualité nécessite un contrôle et une stabilité rigoureuse des conditions de fabrication une modification de la durée ou de la température de vulcanisation, une erreur dans la pesée ou dans la chronologie d'introduction des ingrédients, un non respect du poids minimum des ébauches, une préparation insuffisante des subjectiles peuvent se révéler très préjudiciables au comportement de la pièce en service. La rédaction à la Commande d'un cahier des charges décrivant les conditions d'exploitation des pièces, ainsi que les propriétés exigées, permet au façonnier de mieux répondre à la demande et de prévoir les conditions adéquates de fabrication.

L'attention sera portée sur les moyens de détection des défauts en relation avec les dysfonctionnements à la mise en œuvre, elle comprend ici tout ce qui concerne les opérations de fabrication (mélange, moulage), elle ne remet pas en cause la définition du produit résultant d'une qualification antérieure répondant aux exigences de fonctionnement [4].

II.8 : Propriétés mécaniques des élastomères :

Les élastomères se distinguent par cinq grands phénomènes mécaniques macroscopiques dont les origines ne sont toujours pas clairement identifiées.

Ces phénomènes sont : l'effet Mullins, l'élasticité caoutchouteuse, la viscoélasticité, l'amplification des déformations et l'effet Payne.

Nous ne rentrerons pas en détails dans ces phénomènes, nous allons juste les définir.

II.8.1 : L'élasticité caoutchoutique - cristallisation sous contraintes :

Les élastomères sont caractérisés par trois comportements essentiels :

➤ **Resistance a des grandes déformations et un retour rapide**

Un élastomère est capable de supporter des déformations très importantes qui peuvent atteindre 600% à 1000% selon la composition et les conditions d'utilisation.

La (**Figure II.13**) représente un essai de traction à rupture sur un élastomère naturel chargé de noir de carbone. Sa déformation à rupture est d'environ 600%.

- **Comportement d'élasticité caoutchoutique** : Grâce à cette propriété les élastomères ont la capacité de retrouver leur géométrie initiale presque intégralement. Cependant, ceci n'est vrai que pour les élastomères non chargés et soumis à de faibles déformations. La (**Figure II.14**) représente un essai de traction du type charge/décharge sur le matériau chargé au noir de carbone. Les déformations rémanentes sont d'environ 15% pour une déformation maximale atteinte de 300%, ce qui reste relativement faible. En revanche, les trajets de charge et de décharge sont très différents, le matériau s'adoucit de façon non négligeable. Ainsi, on constate que l'hypothèse de réversibilité est discutable dans ce cas.

➤ **cristallisation sous contraintes** :

On peut vérifier qu'un matériau ne se cristallise pas sous contrainte, en réalisant des essais avec plusieurs cycles d'amplitude croissante : si le comportement du matériau rejoint la courbe de comportement du matériau non-cyclé alors le matériau est non cristallisant (**figure II.15 et figure II.16**) sinon il est cristallisant.

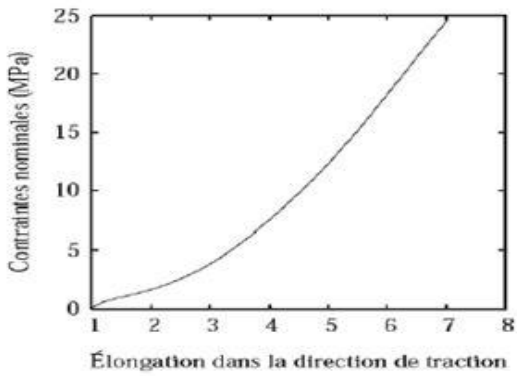


Figure II. 13 : Courbe de traction à rupture [6].

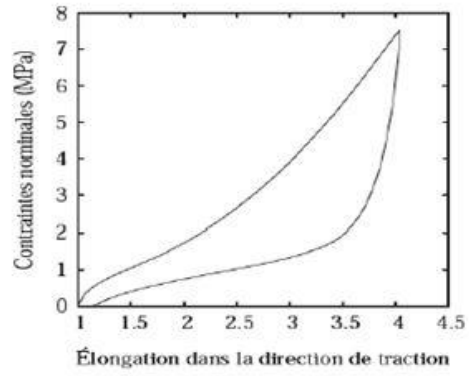


Figure II. 14 : Essai de traction de types charge/décharge.

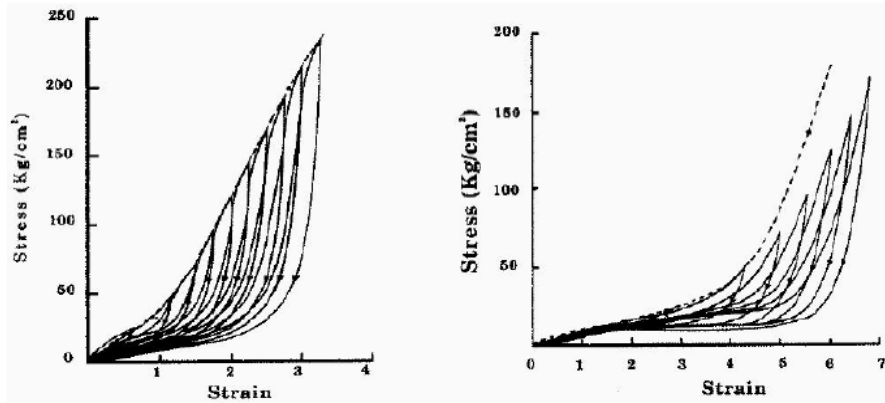


Figure II. 15 : Stabilisation d'un SBR non cristallisant et d'un NR cristallisant la courbe en pointillés le représente le comportement du matériau non-cyclé [7].



Figure II. 16 : Cristallisation sous contrainte [14].

II.8.2 : La viscoélasticité :

Le comportement des élastomères diffère avec l'échelle de temps considérée.

L'élasticité concerne les temps courts alors que la viscoélasticité intervient avec des temps intermédiaires.

Les deux essais classiques permettant de mettre en évidence cette dépendance au temps sont

- Le premier, à long terme, est le fluage sous déformation constante, tel que l'illustre-la

(Figure II.17).

- Le second, à court terme, est un comportement hystérique sous chargement cyclique comme le montre la (figure II.18).

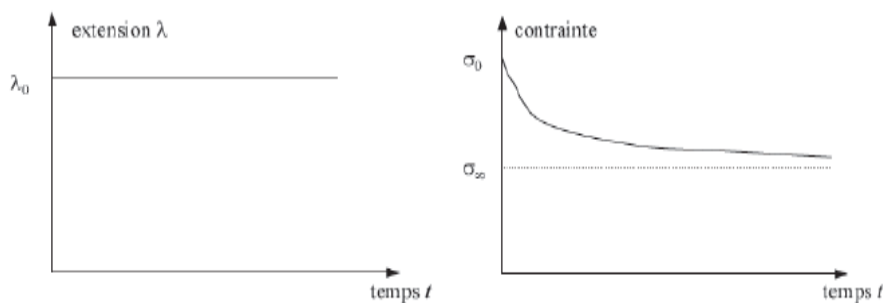


Figure II. 17 : Phénomène de relaxation [8].



Figure II. 18 : Courbe d'hystérésis d'un élastomère [8].

N.B. : Notons que pour les élastomères, la loi de comportement dépend également de la température et qu'il existe des équivalences entre la dépendance au temps et à la température [8].

II.8.3 : L'hystérésis :

L'hystérésis est le retard que présente le matériau pour retrouver sa géométrie initiale.

Il y a hystérésis, mettant en évidence l'existence de frottements internes dans le matériau. Les éléments libres des chaînes moléculaires glissent les uns sur les autres, entraînant un frottement sec interne générateur de perte d'énergie.

Une étude de l'hystérésis en fonction de la température, du taux d'élongation et de l'énergie de déformation, à vitesse de déformation constante, pour un élastomère thermoplastique, est présentée dans la (**figure II.19**). Il est montré que l'hystérésis croît lorsque la température diminue ou lorsque la déformation augmente. Ce phénomène dissipatif est aussi en fonction de la structure du matériau (taux de cristallisation, nombre de liaisons secondaires, ...). [9].

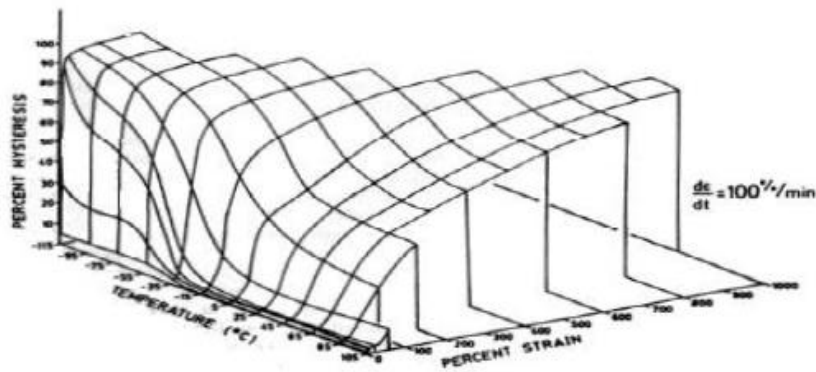


Figure II. 19 : Variation de l'hystérésis pour un thermoplastique en fonction de la déformation et de la température [9].

II.8.4 : L'amplification des déformations :

Comme nous l'avons signalé plus haut, la présence de noirs de carbone peut provoquer des amplifications de déformations par effet composite.

La plupart des théories dérivent des travaux d'Einstein [EIN 06] sur les particules en suspension dans un liquide.

Elles considèrent que les déformations macroscopiques peuvent être décomposées en déformations des charges. [8].

II.8.5 : Effet Mullins :

Après une première sollicitation sur le matériau on remarque un adoucissement de son comportement. Une autre terminologie est utilisée pour désigner ce phénomène : l'accommodation. Dès le premier cycle de chargement, l'adoucissement apparaît. Il se stabilise après trois ou quatre cycles (**voir figure II.20**). Ce phénomène a été étudié pour la première fois par Mullins (1947).

L'effet Mullins se manifeste plus ou moins fortement pour tous les élastomères chargés ou non chargés. Diverses explications sont proposées. Certains l'associent à un endommagement des liaisons entre les chaînes ou une rupture des liaisons à faible énergie.

D'autres proposent des modèles phénoménologiques sans interprétation micromécanique. (**La figure II.21**) est une schématisation traduisant à l'échelle microscopique l'origine de l'effet Mullins. [11].

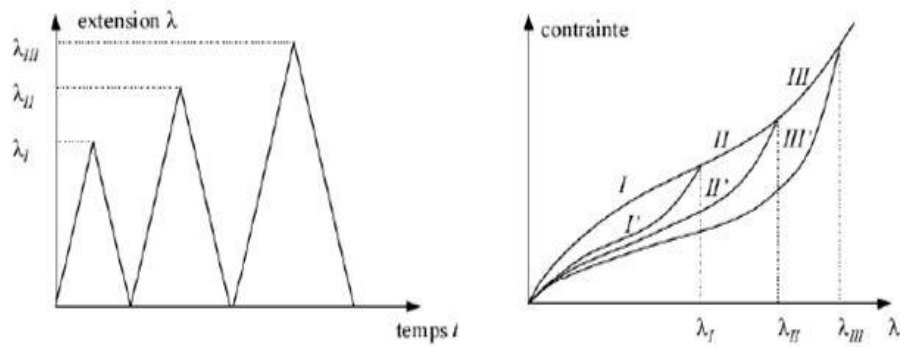


Figure II. 20 ; Effet Mullins.

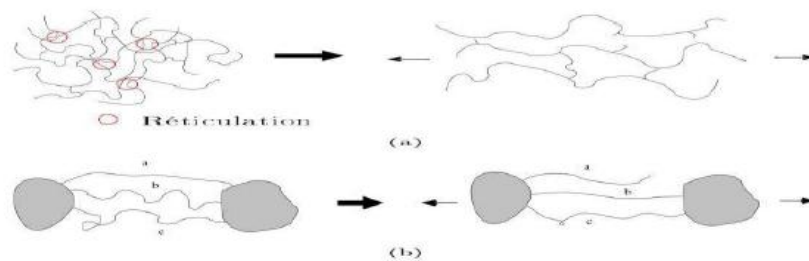


Figure II. 21 : Interprétation microscopique de l'effet Mullins [11].

La transformation d'une phase dite « dure » en une phase dite « molle » dans l'élastomère est à l'origine de cet adoucissement de contraintes dès les premiers cycles de chargement.

Ce phénomène peut être expliqué également par le glissement des chaînes d'élastomère au niveau de la surface des charges.

II.8.6 : Effet Payne :

Ce phénomène étudie la variation du module complexe en fonction de l'amplitude de déformation et de la proportion de charges dans la matrice de l'élastomère. Il est désigné sous le terme d'effet Payne. Ce phénomène est surtout étudié dans le domaine vibratoire.

L'introduction de charge conduit à un non linéarité du comportement (**Figure II.22**), c'est l'effet de Payne. Aux faibles déformations, on observe un plateau correspondant au plateau caoutchoutique. Le module complexe E' diminue lorsque la déformation augmente jusqu'à une valeur stabilisée. Cette décroissance est associée à un maximum du module de perte traduisant une dissipation d'énergie d'autant plus grande que la chute de E' est élevée.

L'effet de Payne est interprété comme le processus de désagrégation ou de rupture du réseau des charges ou par des mécanismes de frottement mis en jeu à l'interface charge/matrice [3].

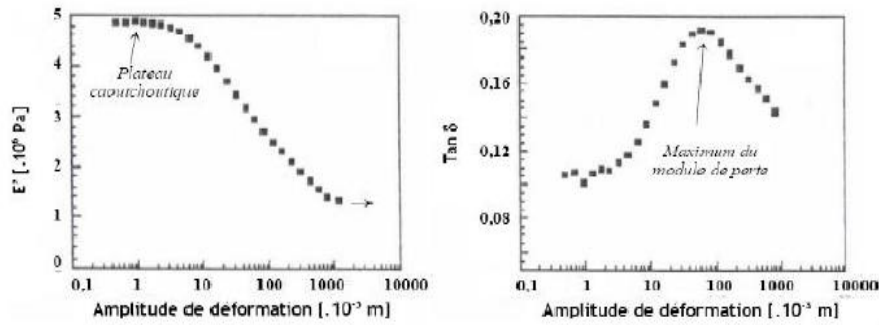


Figure II. 22 : Analyse de l'effet de Payne. Évolution de propriétés mécanique en fonction du niveau de déformation pour un élastomère SBR renforcé en silice [3].

II.9 : Domaines d'utilisation :

L'industrie de transformation des élastomères occupe une place de plus en plus importante dans l'économie mondiale. La production annuelle des caoutchoucs naturels ou synthétique dépasse les 20 millions de tonnes dans le monde, dont 24% en Europe. Grâce à leurs propriétés d'élasticité, d'imperméabilité et d'amortissement, l'utilisation des élastomères s'est donc généralisée à divers secteurs de l'industrie, tels que :

- **L'industrie automobile** : représente plus de 75% de la consommation mondiale d'élastomères, avec les joints extrudés, les courroies de transmissions, les durites, les supports moteurs, les balais d'essuie-glace... et surtout la production de pneumatiques qui consomme à elle seule 63% de la production mondiale d'élastomères ;
- **L'industrie aéronautique et spatiale** : pour des pièces techniques, généralement composites et jouant le rôle de liaisons élastiques et/ou systèmes antivibratoires, comme par exemple : les butées spheriflex (structures lamifiés élastomère-métal) et/ou les amortisseurs de traînée pour les rotors d'hélicoptères, ainsi que les systèmes lamifiés DIAS reliant les boosters au corps central de la fusée Ariane V.
- **Le secteur BTP** : avec les appuis de pont et les systèmes d'isolation antisismiques, utilisés notamment dans la construction des centrales nucléaires.
- **L'habillement, et en particulier l'industrie des chaussures** : (bottes, semelles, chaussures de sport...) qui, avec un siècle et demi d'existence, reste l'une des premières applications du caoutchouc.
- **Dans les domaines de l'industrie médicale et pharmaceutique** : on utilise d'une part, des élastomères répondant à des exigences de pureté et biocompatibilité (principalement les silicones et les polyuréthanes, pour la conception d'articles tels que les prothèses, les éléments d'organes artificiels) et d'autre part, pour le conditionnement avec des critères d'élasticité et d'inertie chimique (caoutchoucs naturels et caoutchoucs butyles).
- **Dans d'autres secteurs** : pour l'étanchéité, les revêtements anticorrosion, tubes et tuyaux, les colles et mastics... [13].

Tableau II. 4 : Utilisations des élastomères [13].

Catégorie	Élastomères	Caractéristiques	Secteur	Applications
Élastomères à usages généraux	NR, IR, SBR, BR...	Excellentes propriétés élastiques, Résistance chimique	Automobile Bâtiments Public	Pneumatiques, Support moteurs, balais d'essuie glaces.. Étanchéité de toitures, câblerie, adhésifs, tuyaux. gants de ménage et de chirurgie, tétines, préservatifs, tapis de sol...
Élastomères à usages spéciaux	EPDM, IIR, CR, NBR...	Résistance aux liquides agressifs, stabilité vis-à-vis de la température, bonne tenue au vieillissement.	Automobile BTP Pharmacie.. Aéronautique	Amortisseurs, joints de vitrage, courroies, durites. Joints, tuyaux, isolations de câbles. Bouchons. Réservoirs souples.
Élastomères à usages très spéciaux	Silicone, Élastomères Fluorés	Excellentes tenues chimiques et thermiques.	Automobile Aéronautique	Fils d'allumage, bagues d'étanchéité Joints, pièces techniques

Conclusion :

De par leur composition et leur élaboration (relevant bien souvent du secret industriel) les matériaux élastomères sont constitués d'une microstructure complexe et représentent un panel complet de comportements mécaniques : de l'élasticité, de la viscosité, de la plasticité, de l'endommagement... Ceux-ci peuvent être plus ou moins accentués en fonction du chargement mécanique et de l'environnement (température, atmosphère...).

Chapitre III :

Procèdes de mise en forme du matériau

Introduction :

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

III.1 : Description du matériau :

Les technologies utilisées pour la fabrication de caoutchouc concernent deux (2) activités distinctes: la préparation des caoutchoucs et la transformation des caoutchoucs.

Le caoutchouc n'est pas un matériau prêt à l'emploi, il nécessite diverses opérations de préparation avant de pouvoir être industriellement utilisé. La première étape consiste à faire la mise au point de la formulation de la recette. La mise au point de la recette est une étape de longue haleine qui nécessite une multitude d'essais en laboratoire. . Le mélange des divers ingrédients qui composent la recette est l'opération qui permet d'obtenir une masse de caoutchouc homogène et plastique susceptible d'être mise en forme par extrusion, moulage et calandrage.

III.2 : Formulation de la recette :

La matière de base utilisée en production industrielle de caoutchouc est le résultat du mélange de différents produits (appelé recette). Conçue en laboratoire par le formulateur, généralement un chimiste, cette recette varie selon le type de caoutchouc que l'on veut obtenir. Pour fabriquer le meilleur produit au plus bas coût possible, la formulation d'une recette de caoutchouc nécessite parfois de faire des compromis.

Le mélange des divers ingrédients qui composent la recette est l'opération qui permet d'obtenir une masse de caoutchouc homogène et plastique susceptible d'être mise en forme.

C'est à l'opérateur que revient la responsabilité de réaliser la recette de caoutchouc sur son mélangeur. Il s'agit d'une étape importante de la production puisque la qualité des produits qui sortiront de l'usine est directement liée à la qualité de ce mélange.

- Il existe plus de vingt catégories de produits entrant dans la formulation d'une recette de caoutchouc :
- Les polymères (caoutchouc naturel ou synthétique).
- Les charges (une poudre utilisée en grande quantité - par exemple le noir de carbone et la silice).
- Les agents de mise en œuvre (par exemple les plastifiants qui se présentent sous forme d'huile ou de cire).
- Les agents de cuisson (principalement le soufre, utilisé en des quantités relativement petites).
- Les autres ingrédients (accélérateurs de cuisson, activateurs, pigments, anti dégradants, agents gonflants, etc. ; des poudres utilisées en petite quantité).

✓ **Les huiles, les agents plastifiants :**

Ils ont principalement le rôle d'améliorer les conditions de mise en œuvre, ils participent à la bonne dispersion de la charge dans l'élastomère et diminuent la température de mélangeage.

✓ **Les agents de vulcanisation :**

Ils permettent la création des nœuds de réticulation. Les chaînes macromoléculaires sont reliées par des ponts soufrés. Leur longueur conditionne la densité de réticulation, l'opération de vulcanisation nécessite par ailleurs l'emploi d'agents activateurs, l'agent de l'accélérateur ajouté il réduit de manière considérable le temps de vulcanisation, pour accélérer la production.

La recette de caoutchouc à réaliser est fournie à l'opérateur du mélangeur sous forme de fiches de contrôle où sont inscrits les noms des ingrédients qui composeront le mélange, la quantité de ces ingrédients ainsi que l'ordre dans lequel ils doivent être incorporés dans le mélangeur. Cette recette comprend aussi des conditions d'opération des équipements de mélange.

L'opérateur dispose de différents instruments pour mesurer les ingrédients de la recette. Les poudres sont pesées sur des balances analogiques ou numériques. Selon le type de machinerie de l'usine, les huiles sont mesurées manuellement à l'aide d'une chaudière graduée ou mises dans le mélangeur à l'aide d'un système d'alimentation automatique. Les polymères sont pesés, au besoin, leur quantité est ajustée à l'aide d'une guillotine.

III.3 : Processus de mélange :

Le mélange des matières premières constitue l'opération fondamentale de la production industrielle de caoutchouc. S'il est bien fait, le mélange permet d'obtenir une masse de caoutchouc homogène qui répond aux propriétés exigées par la recette. Bien que le processus de mélange puisse varier selon les entreprises, le mélange est le plus souvent effectué en deux étapes : le gros du travail est réalisé dans un mélangeur interne et se termine sur un moulin.

Le principe de fonctionnement d'un mélangeur interne est relativement simple et ressemble, à bien des points de vue, au fonctionnement d'un mixeur utilisé dans la préparation d'une pâte à tarte. Les ingrédients de la recette sont d'abord incorporés dans le mélangeur par un réservoir en forme d'entonnoir appelé trémie de chargement. Un pilon (ram) actionné par un cylindre à air comprimé pousse et maintient les matières premières à l'intérieur d'une chambre close appelée chambre interne de mélange.

Entourée d'un système de refroidissement à l'eau situé dans ses parois, la chambre de mélange renferme deux grosses pièces de métal en forme d'hélice : les rotors. Muent par un puissant moteur, ces rotors ont pour fonction de briser les matières premières en fines particules, de les disperser puis, de les homogénéiser en une masse uniforme. Lorsque le temps de résistance et la température du mélange exigés pour la recette ont été atteints, une porte de déchargement située à la base du mélangeur s'ouvre et laisse tomber le caoutchouc sur le moulin.

Le moulin est constitué de deux cylindres parallèles tournant en sens inverse l'un de l'autre et de guides-gommes conçus pour diriger le mélange de caoutchouc entre les cylindres. L'intérieur des cylindres est creux et permet la circulation de liquides qui servent à en contrôler la température. L'écart entre les cylindres peut être modifié selon le type de caoutchouc à produire.

III.4 : Procédés de transformation du caoutchouc :

Le caoutchouc naturel n'est pas un matériau prêt à l'emploi, il nécessite diverses opérations de préparation avant de pouvoir être industriellement utilisé. La première étape consiste à faire la mise au point de la formulation de la recette. La mise au point de la recette est une étape de longue haleine qui nécessite une multitude d'essais en laboratoire. Le mélange des divers ingrédients qui composent la recette est l'opération qui permet d'obtenir une masse de caoutchouc homogène et plastique susceptible d'être mise en forme par extrusion, moulage et calandrage.

III.4.1 : La mise en forme par extrusion :

L'extrusion est un procédé de mise en forme du caoutchouc qui consiste à pousser une bande de mélange à travers une filière de façon à créer un profilé. On l'utilise pour la fabrication de pièces dont la longueur est importante et qui, par conséquent, sont difficiles à mouler. Il s'agit d'un procédé qui permet également de produire des pièces de caoutchouc incorporant une bande de métal ou de plastique. Les joints d'étanchéité pour les voitures et les fils électriques recouverts d'une gaine de caoutchouc sont deux exemples de produits fabriqués sur une ligne d'extrusion.

Les nombreux équipements que comporte une ligne d'extrusion permettent de rendre une bande de mélange de caoutchouc non cuit à l'état de produit fini. L'extrudeuse constitue la principale composante de la ligne. Selon le produit à fabriquer, il est possible de combiner plus d'une bande. On l'alimente en languettes de caoutchouc provenant directement du moulin ou d'un entrepôt à température contrôlée. Cisailées et poussées par la vis sans fin de l'extrudeuse, les languettes de mélange passent à travers une filière conçue pour lui donner un profil déterminé. Une bande de métal ou de plastique provenant de l'accumulateur puis, pliée sur des rouleaux performeurs peut être intégrée au profilé à sa sortie de la filière.

Le profilé subit ensuite une première cuisson dans une série de fours ; il est refroidi dans un bassin d'eau froide puis asséché.

Une unité de traction entraîne ensuite le profilé dans une chambre de revêtement où il reçoit une couche d'un enduit protecteur. Il subit une dernière étape de cuisson avant d'être coupé en sections. En plus d'être soumis à un contrôle de qualité visuel, on s'assure de la bonne dimension du profilé grâce à un comparateur optique. . Après avoir été emballés et identifiés, les profilés sont expédiés au client ou soumis à une autre étape de transformation.

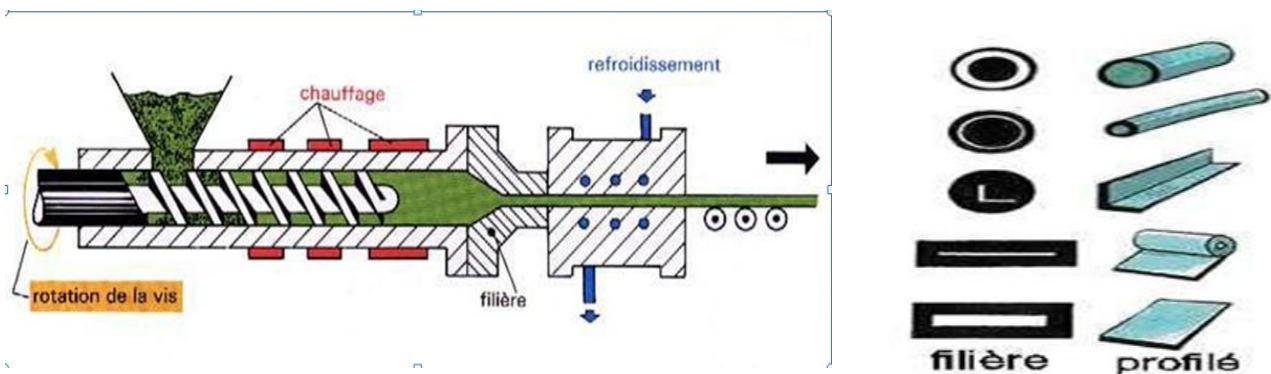


Figure III. 1 : Extrusion

III.4.2 : la mise en forme par moulage :

Le moulage est une technique de mise en forme du caoutchouc qui consiste à presser et à cuire du mélange de caoutchouc entre les empreintes d'un moule chauffé. On l'utilise pour la fabrication de petites pièces et pour joindre des pièces de caoutchouc déjà moulées ou extrudées. Il permet également l'insertion dans le caoutchouc de supports ou de renforts métalliques ou textiles.

Les trois techniques de moulage du caoutchouc :

III.4.2.1 : Le moulage par compression :

Le moulage par compression des thermoplastiques n'est utilisé que pour des cas particuliers. En revanche, il est encore couramment utilisé pour la fabrication des composites et des caoutchoucs vulcanisés, et c'est le procédé que on 'a utilité dans notre projet.

Principe :

Le principe de base consiste à comprimer sous forte pression le polymère suffisamment ramolli pour lui faire prendre la forme de l'empreinte d'un moule chauffé. Dans une deuxième étape, le polymère est solidifié soit par refroidissement, pour les thermoplastiques, soit par réticulation, pour les thermodurcissables.

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

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

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

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

Finalement, dans tous les cas, les pièces démoulées doivent être ébarbées pour éliminer le voile qui subsiste autour de la pièce. La bonne conception du moule dans le plan de joint facilite l'élimination de ce film.

La quantité de matière introduite dans le moule doit être convenablement dosée avec un volume précis légèrement supérieur à celui de la pièce à réaliser pour limiter les pertes de matière,

permettre la bonne fermeture du moule, éviter les variations d'épaisseur, simplifier la finition des pièces démoulées. Au contraire, une insuffisance de matière crée des défauts volumiques (manques de matière, trous, bulles, pièces incomplètes ou hors tolérances...), une cohésion insuffisante de la matière...

La compression assure un bon aspect sur toute la surface de la pièce et permet un compactage efficace du composite, sans vides et avec une bonne interpénétration fibres/matrice, conduisant à de bonnes propriétés mécaniques.

La technique est appliquée, par exemple, dans les transports pour la fabrication en série limitée de pièces pour des éléments de carrosserie de poids lourds ou caravanes, pour la fabrication de petites embarcations, de panneaux extérieurs pour le bâtiment, de baignoires, bac à douche, etc.

Pour les thermodurcissables, le degré de réticulation dépend du matériau, de l'épaisseur de la pièce, de la température du moule et, plus précisément, du couple temps et température réelle de la matière en chaque point de la pièce.

La figure (III.3) schématise le principe du moulage d'un joint annulaire à profil creux (vue de gauche) avec le demi-moule supérieur attaché au plateau supérieur de la presse, le demi-moule inférieur attaché au plateau inférieur de la presse. Ce dernier est actionné par le vérin de la presse pour fermer et ouvrir le moule. La vue de droite schématise le principe d'un moule piston pour moulage d'une pièce cylindrique à face supérieure concave. Le centrage des différentes parties du moule est assuré par un système mécanique, constitué de goujons pour l'exemple choisi.

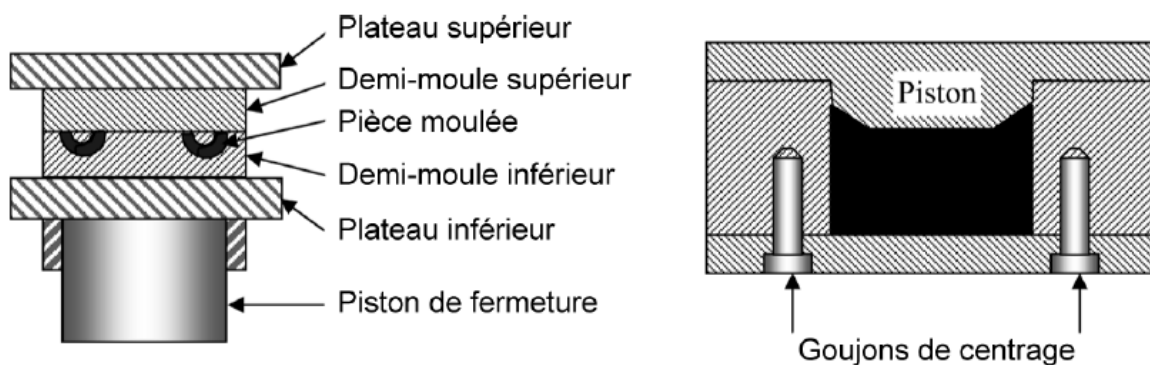


Figure III. 2 : Principe du moulage par compression.

III.4.2.1.1 : Avantages du moulage par compression :

- presses et outillages de conception simple et robuste.
- investissements réduits.
- démarrages et arrêts rapides.
- technique adaptée au laboratoire, à la réalisation de prototypes.
- possibilité de mouler les très grosses pièces.
- possibilité de fabriquer des pièces très longues en moulant des parties successives.
- possibilité de multiplier le nombre d'empreintes pour améliorer le rendement.
- adaptation au moulage des caoutchoucs vulcanisables.

III.4.2.2.2 : Inconvénients du moulage par compression :

- nécessité de préparation précise des ébauches individuelles.
- nécessité d'une opération de finition souvent longue et coûteuse pour éliminer les bavures qui se forment obligatoirement aux plans de joint ;
- transmission difficile et lente de la chaleur du moule au polymère (mauvais conducteur de la chaleur) uniquement par conduction par la surface : temps de moulage long et anisotropie de la pièce, la surface ayant un passé thermique différent de celui du cœur..
- cycles de fabrication longs.
- coûts de main-d'œuvre importants.
- coûts d'exploitation élevés.
- faibles possibilités d'automatisation.

III.4.2.3 : Moulage par injection :

Le moulage par injection, qui était utilisé dans l'industrie du plastique, a été développé ces dernières années, ce qui a permis de mouler et de vulcaniser les mélanges de caoutchouc selon cette méthode.

Par un contrôle rigoureux de la température d'alimentation, les pièces peuvent être vulcanisées en moins de quelques minutes. Ce procédé peut être complètement automatisé par la programmation de l'alimentation de l'injection et des cycles de démoulage; on obtient ainsi un faible taux de rejet et une baisse des coûts de production.

Après la cuisson dans le moule, la pièce de caoutchouc est démoulée, ébarbée puis, parfois recouverte d'un enduit protecteur.

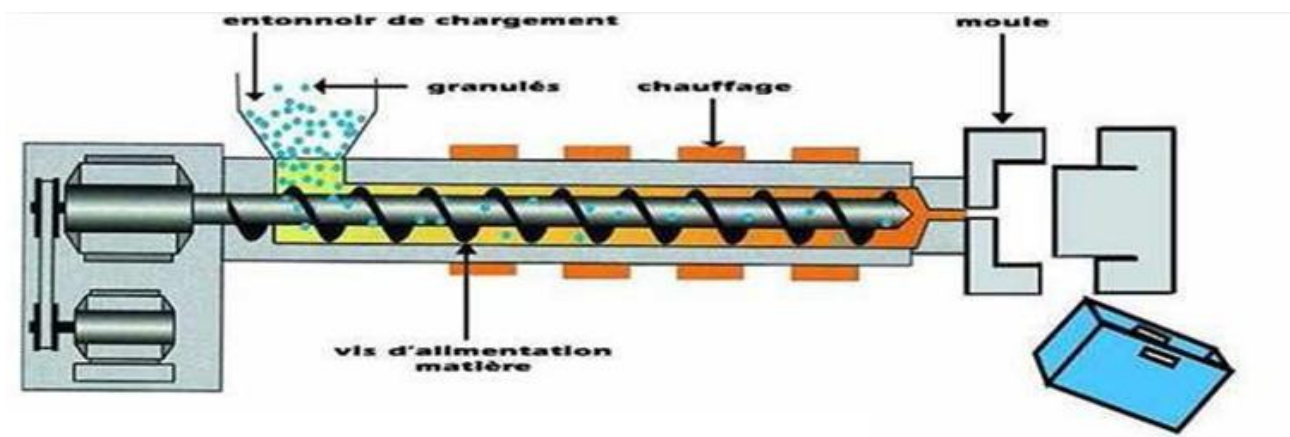


Figure III. 3 : Procédé d'injection.

III.4.2.4 : Moulage par compression-transfert :

Dans cette technique de moulage, un piston fait passer le mélange non cuit, de la partie froide du moule (pot de transfert) à la cavité chaude du moule, où il y aura cuisson. Il faut appliquer une pression suffisamment grande sur le mélange pour remplir complètement les cavités du moule.

Le moulage par transfert permet la fabrication de pièces plus complexes que le moulage par compression. Bien que les moules de ce procédé soient relativement plus coûteux, il est possible d'obtenir des temps de cuisson plus courts grâce à des températures plus élevées et un meilleur transfert de chaleur.

La figure III.4 schématise, sur la vue de gauche, le principe de la presse transfert avec ses deux pistons, l'un pour la fermeture du moule et l'autre pour le transfert du compound (figuré en noir) de la chambre ou pot de transfert vers les empreintes par l'intermédiaire des buses et canaux. La vue de droite représente un moule piston à monter sur une presse compression classique à un seul piston.

La fermeture du moule chasse le polymère (figuré en noir) de la chambre ou pot de transfert vers les empreintes par l'intermédiaire des buses et canaux.

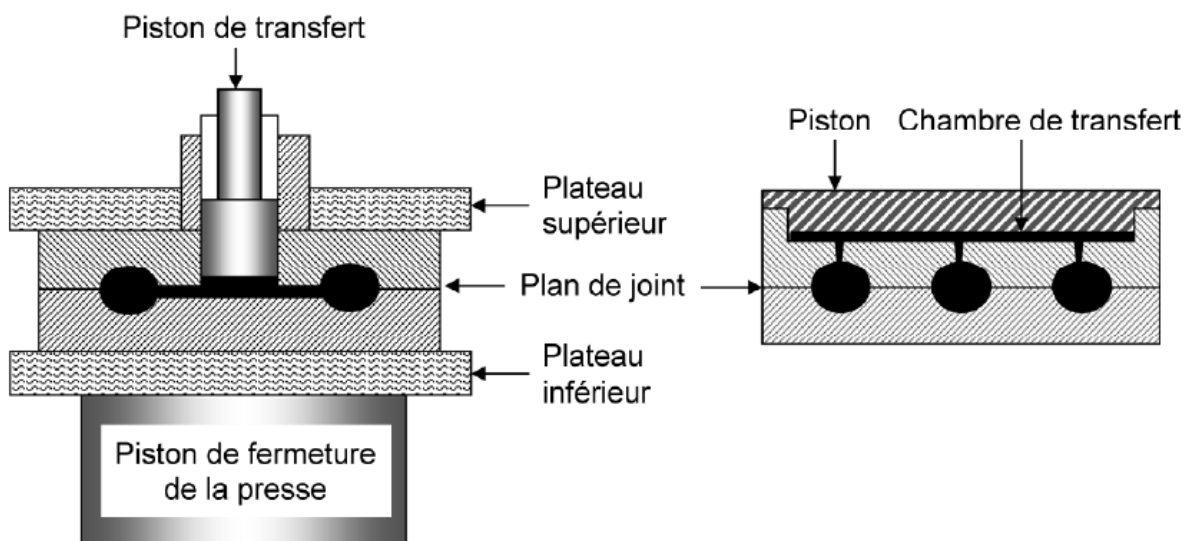


Figure III. 4 : Principe du moulage compression-transfert.

III.4.3 : Mise en oeuvre par calandrage :

Le calandrage est un procédé de mise en forme du caoutchouc qui permet de fabriquer des feuilles de caoutchouc dont l'épaisseur et la largeur sont constantes. On utilise également le calandrage pour recouvrir une feuille de tissu d'une mince couche de caoutchouc ou pour imprimer un dessin sur la feuille ou lui donner une texture.

La calandre est la principale pièce d'équipement d'une ligne de calandrage. Elle est essentiellement composée de gros cylindres dont on peut modifier l'écart et entre lesquels on fait passer le caoutchouc non cuit. Ces cylindres sont montés sur un plan vertical et sont chauffés ou refroidis selon le type de caoutchouc à traiter.

Il existe plusieurs configurations de calandre. Les calendres à deux cylindres sont utilisées pour la fabrication de simples feuilles de caoutchouc. On se servira de calendres à trois et à quatre cylindres pour recouvrir de caoutchouc une bande de tissu sur l'une ou sur ses deux faces. La technique du grainage permet d'imprimer une texture à la feuille de caoutchouc. On la réalise en ajoutant un cylindre gravé à la calandre ou en remplaçant un des cylindres par un cylindre gravé.

On alimente la calandre en bandes de mélange préalablement chauffées et cisailées sur des moulins réchauffeurs. Acheminées par tapis convoyeur entre les cylindres de la calandre, les bandes de mélange en ressortent sous forme de feuilles. Après avoir été refroidies sur des rouleaux

refroidisseurs ou aspergées d'eau, les feuilles de mélange sont entreposées un court moment avant d'être cuites entre les cylindres chauffés du « rotocure » ou lors de leur moulage.

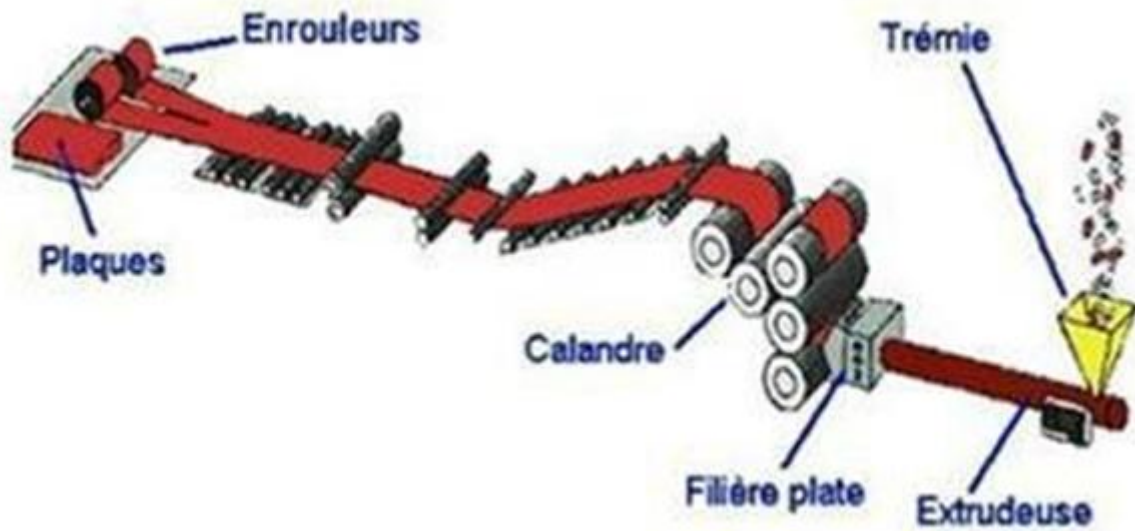


Figure III. 5 : Calandrage.

Après fabrication, les pièces moulées en caoutchouc doivent, dans la plupart des cas, être ébavurées. Compte tenu des multiples sollicitations subies par ces pièces, un ébavurage de qualité s'avère nécessaire.

III.4.4 : Le processus de Vulcanisation :

La vulcanisation est le processus durant lequel le caoutchouc (le caoutchouc naturel, différentes sortes de caoutchouc synthétiques) éventuellement après l'ajout d'autres polymères, obtient les propriétés physiques et chimiques voulues. Le caoutchouc est mélangé avec des adjuvants qui apportent notamment la structure tridimensionnelle désirée (qui détermine le degré de souplesse), la résistance aux produits chimiques, l'usure, la lumière du soleil, la chaleur.

III.5 : Description des opérations :

III.5.1 : Pour l'extrusion :

L'extrusion est utilisée pour deux fonctions :

- la production de grandes longueurs de sections vulcanisées pour la fabrication d'éléments dont les dimensions sont trop importantes pour être moulés par injection ou par compression.
- la production d'ébauches pour le moulage par compression.

Ce procédé de fabrication permet une vulcanisation en continu.

Ce procédé utilise :

- une extrudeuse avec tambour et vis et une filière de section correcte à l'extrémité sortie.
- une source de chaleur pour la vulcanisation du caoutchouc peut être :
- un simple four à air chaud,
- un mélange de four à micro-ondes et de four à air chaud

- un bain spécial contenant du sel fondu.

Le procédé de vulcanisation en continu fonctionne comme suit :

- a) le caoutchouc en bande est alimenté dans l'extrudeuse, plastifié par la vis et extrudé à travers l'orifice de la filière. L'extrudeuse fonctionne sous des conditions contrôlées de température et de vitesse de vis.
- b) le produit extrudé en continu est passé dans le milieu chauffant ce qui entraîne sa vulcanisation. Ici aussi, la vitesse aussi bien que la température sont contrôlées.
- c- le profilé vulcanisé qui ressort est refroidi et automatiquement coupé à la longueur requise ou enroulé sur des tourets avant d'être soumis à d'autres opérations secondaires.

Ce procédé implique une longueur de ligne pouvant aller jusqu'à 30 mètres.

III.5.2 : Pour le Moulage par injection :

Pour le moulage par injection, plusieurs opérations sont exécutées automatiquement dans un ordre précis, chacune étant chronométrée. Des presses d'injection spéciales sont utilisées à des températures de moulage variant entre 165°C et 200°C.

Cycle de moulage :

- a) le moule se ferme.
- b) une vis de plastification est mise en rotation pour forcer l'injection d'un volume précis de mélange de caoutchouc pré plastifié dans le moule.
- c) le matériau est dirigé dans le moule au moyen d'un système de canaux de coulée menant à chaque cavité individuelle, chacune dotée de petits orifices d'injection.
- d) le matériau est vulcanisé pendant un temps prédéterminé au cours duquel la vis de plastification se rétracte et plastifie suffisamment de caoutchouc pour l'injection suivante.
- e- le moule s'ouvre et les parties sont ôtées manuellement ou automatiquement par un robot ou un autre système.
- f) le cycle est répété.

Après chaque cycle de machine, l'opérateur peut exécuter diverses opérations dont la coupe de l'excédant de caoutchouc (ébavurage), l'inspection, le conditionnement ou l'assemblage.

Autrement, la pièce peut être convoyée pour un ébavurage selon d'autres méthodes.

III.5.3 : Moulage par compression :

Ce procédé est plus lent que le moulage par injection car des ébauches spéciales pesées et préformées sont utilisées. Le procédé emploie des presses hydrauliques avec plateaux préchauffés à 150 - 170°C.

Cycle de moulage :

- a) ouvrir le moule et ôter le produit du cycle précédent,
- b) charger les ébauches requises dans chaque cavité,
- c) fermer le moule et le mettre en place dans la presse hydraulique,
- d) activer la presse hydraulique. Cette action de fermeture entraîne le déplacement du caoutchouc pour remplir chaque cavité du moule. Pour surmonter certaines conditions, la pression est quelquefois relâchée et le moule est "cogné" pour permettre à l'air de s'échapper,
- e) vulcanisation - Le temps est déterminé en fonction du matériau et de la section transversale de la pièce à mouler,

- f) ôter la ou les pièce(s) manuellement ou automatiquement après avoir retiré le moule de la presse,
- g) répéter le cycle.

L'opérateur peut avoir à exécuter certaines tâches comme pour le moulage par injection.

III.6 : Les outillages:

La réalisation de pièces moulées nécessite la création d'un outillage dont le nombre d'empreintes est fonction des cadences à réaliser.

Le nombre d'empreintes détermine les dimensions du moule et donc la presse à utiliser.

A titre d'exemple, on citera quelques caractéristiques :

- Pour les presses de petites dimensions : une presse à col de cygne de hauteur 2 500 mm équipée de plateaux de 400 mm × 400 mm et disposant d'une force de compression de 100 kN.
- Pour les plus grosses : une presse à cadre de hauteur 10 m équipée de plateaux de 2 500 mm × 1 800 mm et dont la force de compression peut atteindre 25 000 kN.

III.6.1 : Le moule :

Un moule est un élément servant à la fabrication d'autres éléments par les techniques de moulage.

III.6.2 : Conception des moules :

Le moule pour moulage par compression est généralement simple mais doit être très robuste pour supporter les pressions élevées. Souvent en acier mais aussi en alliage léger pour les applications moins contraignantes, les moules sont constitués, en principe, de deux demi-moules comportant :

- une ou plusieurs empreintes ;
- un plan de joint assurant l'étanchéité entre les deux parties du moule. certaines pièces, pour permettre leur démoulage, peuvent nécessiter des plans de joint supplémentaires ;
- des dégorgeoirs bordant les empreintes et devant recueillir le surplus de matière ;
- des événements permettant l'échappement de l'air emprisonné au moulage sans laisser passer la matière à mouler ;
- des systèmes de centrage assurant le positionnement précis des diverses parties du moule
- un dispositif permettant de positionner les outils utilisés pour ouvrir le moule au démoulage
- éventuellement, un noyau permettant de mouler des objets creux, soufflets de protection par exemple.
- éventuellement, des dispositifs de centrage ou de maintien des inserts.

III.6.3 : Les éléments du moule :

Le demi-moule supérieur : c'est la partie mobile de moule.

Le demi-moule inférieur : c'est la partie fixe du moule.

L'empreinte : les empreintes sont les parties du moule qui servent à obtenir la pièce désirée. Il y en a deux par pièce moulée, une en partie fixe et l'autre en partie mobile. Généralement, l'empreinte ayant des reliefs est placée en partie mobile pour que la pièce ait tendance à rester dessus, permettant ainsi à la batterie d'éjection d'éjecter la pièce.

La nature de l'acier utilisable pour fabriquer l'empreinte d'un moule est définie en fonction du nombre de pièces à mouler. La plupart du temps, les empreintes sont en acier.

Les colonnes de guidage : elle sert à guider la partie mobile de moule pour un bon positionnement du moule

III.6.4 : Architecture du moule :

L'architecture du moule est déterminée selon la presse utilisée, la conception de la pièce et son type d'alimentation ainsi que les difficultés d'usinage et de moulage. Et parmi ces différentes architectures nous avons ces quelques exemples :

III.6.4 .1 : Moule à deux plaques :

Les moules à deux plaques sont les plus simples et les plus fréquents. Ils présentent beaucoup d'avantages :

- Ils sont privilégiés en termes de coût de fabrication et d'entretien.
- Montage le plus simple.
- Deux parties séparées par un plan de joint.
- Sens d'ouverture dans une seule direction.

III.6.4 .2 : Moule à trois plaques :

Le moule à trois plaques est un moule à deux plaques modifié par une plaque centrale entre les plaques mobile et fixe de la presse.

III.7 : Equipements Nécessaires :

- Presses à injection (vertical ou horizontale)
- Presses à compression
- Extrudeuse.

III.7.1 : Les presses :

En fonction de la conception du bâti, nous distinguons :

- Les presses à col de cygne (pour des forces de compression comprises généralement entre 100 kN et 1 000 kN) équipées d'un vérin à double effet. Le plateau mobile (ou presseur) est lié à la tige du vérin ;
- Les presses à cadre ou à poteaux (pour des forces de compression pouvant aller jusqu'à

25 000 kN) comprenant :

- Un sommier inférieur sur lequel est assemblé le plateau fixe,
- Un sommier supérieur supportant le réservoir d'huile, les pompes, leurs moteurs et les équipements hydrauliques auquel sont suspendus les vérins à simple effet ou à double effet effectuant les déplacements du plateau mobile ;

- Les presses à colonnes (dont les forces de compression peuvent atteindre 25 000 kN) dont les sommiers inférieur et supérieur sont reliés par quatre colonnes qui permettent le guidage du plateau mobile.

Les machines peuvent, en complément, être équipées :

- de dispositif de transfert de matière dans le cas de pastilles préformées ;
- de mécanismes d'éjection.
- de dispositif de correction de parallélisme entre les plateaux pendant les mouvements du plateau mobile.
- d'installation de chauffage par fluide caloporteur des plateaux et/ou des moules.
- de dispositifs de changement de moules.

Toute presse comporte au moins trois sous-ensembles :

- un ensemble mécanique, robuste et rigide, adapté aux efforts engendrés par les forces de fermeture et la mise en pression des compounds dans le moule. Il comporte essentiellement un bâti, un système de fermeture et des plateaux chauffants et/ou refroidissants dont l'un est fixe et l'autre mobile ;
- un ensemble hydraulique qui peut éventuellement être commun à plusieurs presses et qui fournit l'énergie nécessaire au système de fermeture ;
- un ensemble de commande et de contrôle plus ou moins automatisé.

III.7.1.2 : Les bâtis :

Plusieurs principes coexistent avec leurs avantages et inconvénients. Citons quelques exemples :

– les presses à colonnes (figure 6.3, vue de gauche) : le plateau mobile se déplace entre quatre colonnes en acier solidement fixées à la base et à la partie supérieure sur des plaques métalliques très épaisses, appelées « sommiers ». Généralement, des renforts sont utilisés pour accroître la rigidité. L'accessibilité au moule est limitée ;

– les presses col de cygne ont un bâti largement ouvert sur la face avant.

L'accessibilité est bonne sur trois côtés mais la rigidité est plus faible ;

– les presses à mailles, dans lesquelles le bâti modulaire est constitué de cadres rectangulaires en tôle épaisse, appelés « mailles », réunis par des entretoises mécano-soudées ou vissées. En multipliant le nombre de mailles, il est possible de réaliser des presses de grande longueur (jusqu'à 10 m) pour mouler les bandes transporteuses par longueurs successives ;

– les presses à flasques sont constituées de deux flasques latérales reliées par des entretoises afin de laisser l'accès libre aux plateaux ;

– les presses « crocodiles » à plateau supérieur basculant : le plateau supérieur pivote sur un axe, dégageant largement la face avant et la partie inférieure du moule.

– les presses autoclaves sont des presses classiques construites à l'intérieur d'un autoclave. Elles permettent une bonne homogénéité thermique, la vapeur chauffant tout le moule à la même température contrairement à un moule très haut sur une presse classique ;

– les presses multi plateaux (figure III.3 : vue de droite) comportent plusieurs plateaux qui permettent d'utiliser plusieurs moules identiques.

La figure III.6 : illustre les principes d'une presse à colonnes conventionnelle et d'une presse multi plateaux.

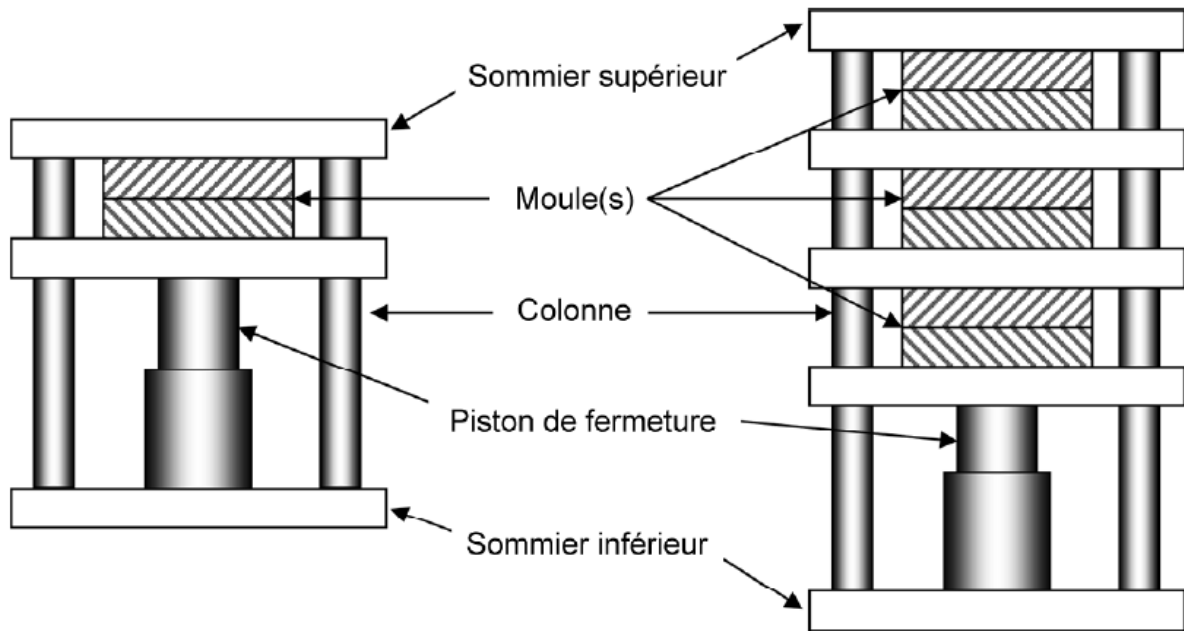


Figure III. 6 : Principes d'une presse à colonnes (à gauche) et d'une presse multi plateaux (à droite).

III.7.1.3 : description des différents systèmes de la presse :

III.7.1.3.1 : Les systèmes de fermeture :

Le bâti est équipé d'un système de fermeture assurant à la fois le déplacement du plateau mobile et l'application de la force de moulage. Il existe deux types principaux de fermetures :

- fermeture par vérin, le plus utilisé sur les presses à compression et compression- transfert ;
- fermeture à vis sur des presses à compression anciennes ou spéciales.

Le système de fermeture par vérin sur presses à compression et compression transfert (**voir figures III.3, III.4 et III.5**) utilise un vérin hydraulique, à simple ou double effet, fixé, en général, au centre de la partie inférieure du bâti, la tige du piston actionnant le plateau mobile.

- le piston repousse le plateau mobile et la moitié du moule qui y est fixée jusqu'à ce que le contact soit établi avec la partie supérieure du moule, qui est généralement fixée sur le plateau chauffant fixe.
- la pression fait fluer le matériau à mouler dans l'empreinte et le moule se ferme.
- la presse, en position fermée et verrouillée, maintient la pression sur le mélange jusqu'à la fin du cycle de moulage ;
- les vérins à double effet commandent également l'ouverture de la presse.

Dans le cas des vérins à simple effet, la presse s'ouvre sous l'action du poids des parties mobiles et, éventuellement, grâce à des ressorts de rappel. Ce système est moins efficace.

Bien que généralement fixé sous le plateau du bas, le vérin peut aussi être placé au-dessus du plateau supérieur.

Certaines presses utilisent deux vérins de plus faible section mais à longue course, placés latéralement. Ils permettent une fermeture et une ouverture plus rapide de la presse qu'avec le seul vérin principal.

Les presses sont souvent désignées par la force maximale que le vérin principal peut développer. La gamme des forces de fermeture est très étendue, par exemple de quelques tonnes à 5 000 t et plus...

III.7.1.3.2 : Le système hydraulique :

L'ensemble hydraulique peut desservir plusieurs presses ou être dédié à une seule presse. Il se compose de deux pompes électriques immergées dans le réservoir de fluide hydraulique, l'une à basse pression (1 à 2 MPa) et grand débit pour assurer la fermeture et l'ouverture des plateaux à grande vitesse, l'autre à haute pression (20 à 25 MPa) et faible débit pour réaliser l'accostage à faible vitesse et le verrouillage des plateaux. Le reste de l'installation comprend des distributeurs qui assurent le passage d'une pompe à l'autre, un accumulateur, généralement hydropneumatique, des accessoires tels que les clapets anti-retour...

III.7.1.3.3 : Le système de chauffage :

Si le moule n'est pas chauffé, la transmission de chaleur se fait par les plateaux, principalement par conduction, ce qui entraîne des problèmes d'homogénéité thermique pour les moules hauts par rapport à leur surface en contact avec les plateaux. De plus, la vitesse d'échauffement du moule diminue au fur et à mesure que sa température s'élève et se rapproche de celle des plateaux. L'équilibre thermique est donc très long à obtenir. Accessoirement, une certaine contribution peut être fournie par convection, mais l'air est mauvais conducteur, ou par rayonnement.

La mesure de la température est évidemment un point important et est d'autant plus précise et utile que la sonde est située le plus près possible du mélange ou de préférence dans le moule, aussi près que possible de l'empreinte.

Les plateaux peuvent être chauffés par des résistances électriques situées à l'intérieur des plateaux ou par circulation d'un fluide caloporteur (vapeur, eau surchauffée ou huile) dans des canaux usinés dans les plateaux près de la surface recevant le moule.

Le chauffage par résistance électrique utilise souvent des cartouches cylindriques ou crayons chauffants peu onéreux et faciles à installer mais le contact résistance/métal du moule est imparfait et, en conséquence, le rendement thermique est faible.

Les résistances plates blindées sont plus chères et nécessitent un usinage plus onéreux des plateaux mais le contact résistance/métal du moule est meilleur et le chauffage également.

Les avantages du chauffage électrique sont sa souplesse de fonctionnement, la parfaite autonomie des presses et la facilité d'obtention de températures supérieures à 200 °C. En revanche, l'amplitude de régulation des températures est importante, la consommation électrique est élevée, le coût total des systèmes de régulation qui doivent équiper chaque plateau est élevé. Le chauffage par

induction des plateaux, analogue à celui des plaques de cuisson domestiques, constitue une autre alternative qui se développe.

La vapeur, solution la plus ancienne, nécessite une installation complexe : chaudière, circuit d'alimentation, purgeurs, détendeurs, manomètres, vannes... Chaque plateau est alimenté en parallèle. Les plateaux mobiles doivent être alimentés soit par des tubes rigides articulés, soit par des tubes flexibles recouverts d'une tresse métallique.

Les avantages sont la puissance de chauffe importante, le faible coût de consommation, la mise en température très rapide des plateaux, la bonne homogénéité de la température sur toute la surface des plateaux (± 3 °C). En revanche, l'installation est relativement importante et d'un coût élevé, la maintenance et la surveillance sont importantes, les risques de fuites et de brûlures ne doivent pas être négligés et nécessitent des précautions.

L'eau surchauffée est moins corrosive que la vapeur mais plus onéreuse.

Les unités de chauffage indépendantes par circulation d'huile calo-porteuse présentent l'avantage d'être installées près de la presse avec une tuyauterie d'alimentation très courte et offrent une régulation précise de la température ainsi qu'une faible inertie due au faible volume de liquide à chauffer.

En revanche, le coût de chauffage est plus élevé et les risques de fuites et de ne doivent pas être négligés et nécessitent des précautions.

III.7.1.4 : Les accessoires et périphériques :

Les presses peuvent comporter différents accessoires et périphériques pour améliorer la productivité et la qualité des produits moulés, par exemple :

- cloches ou enceintes à vide particulièrement adaptées au moulage des pièces très techniques. Cette technologie diminue les risques d'inclusions d'air et les rebuts, facilite l'écoulement de la matière et sa réticulation, réduit l'encrassement des moules grâce à une plus faible oxydation par l'oxygène résiduel de l'air :
- pastilleuses et machines de préparation des ébauches.
- systèmes d'éjection.
- manipulateurs, chargement et déchargement automatisés.
- logiciels d'aide à la conduite des presses...

Des logiciels sont proposés pour optimiser la productivité et la qualité des productions. Ils sont plus ou moins complexes suivant les exigences de l'utilisateur, le type de presse et la nature des produits à mouler, les thermodurcissables nécessitant, en plus, la gestion de l'équilibre mise en forme/état de réticulation.

Par exemple, REP propose pour ses presses :

- un système de régulation en boucle fermée assurant un réglage précis et une bonne reproductibilité dans le temps des consignes de réglage ;
- le calcul automatique des coefficients PID de régulation de température du moule permettant d'augmenter la productivité tout en assurant une qualité constante des pièces moulées ;

– une programmation du cycle par apprentissage permettant de passer rapidement et facilement d’une campagne de production à une autre.

III.7.1.5 : Les différents types presses :

III.7.1.5.1 : Presse horizontale :

Dans la presse horizontale, le moule est difficile à mettre en place, il prend une position verticale par rapport à l’axe de la vis ou du piston qui est horizontal son ouverture provoque alors la sortie immédiate de la pièce par gravité après éjection, d’où un gain de temps est automatisé possible de l’emballage des produits fabriqués.

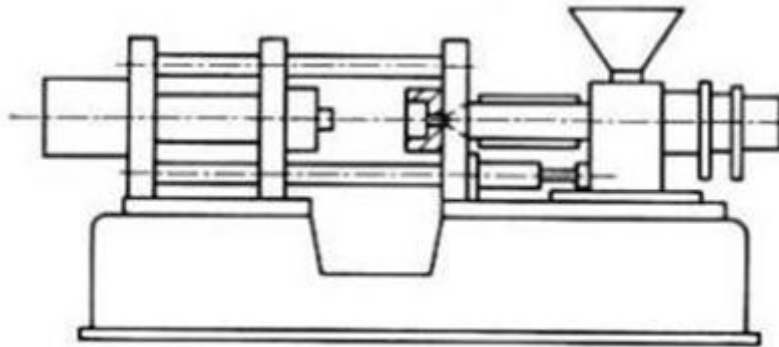


Figure III. 7 : Presse horizontale.

III.7.1.5.2 : Presse vertical :

Dans ce cas, la presse à moins d’encombres, l’axe de la vis est vertical et l’ouverture du moule est dans un plan horizontal. Ce type de presse s’utilise pour des moules comportant des insertions de prisonniers métallique mais le démoulage de la pièce nécessite un transfert. Cette presse préoccupe peu de place au sol.

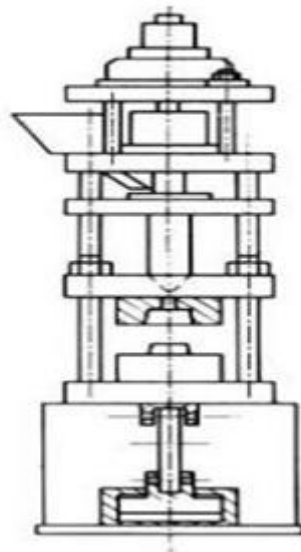


Figure III. 8 : Presse vertical.

III.7.1.6 : Le choix d'une presse :

Le choix d'une presse dépend essentiellement, des critères suivants :

- La capacité d'injection
- L'encombrement entre colonnes
- La force de fermeture
- Epaisseur minimale du moule (fermeture maximale des plateaux)

III.7.1.7 : Exemples de caractéristiques de presses :

Les dimensionnements des presses, aussi bien d'un point de vue géométrique que mécanique et thermique, couvrent de larges plages dont quelques exemples figurent dans les tableaux III.1, III.2 et III.3. :

Tableau III. 1 : Exemples de caractéristiques de presses de force de fermeture comprise entre 15 et 250 t :

Force de fermeture (t)	15	50-60	100	200-250
Dimension des plateaux (mm × mm)	250 × 250	350 × 350	400 × 400	600 × 600
Nombre d'espaces inter-plateaux	1	1	1	1-18
Température maximale (°C)	400	400	400	400
Puissance de chauffe, (kW/plateau)	3	4-6	6-9	9-14
Pression maximale (kg/cm²)	200	200	200	200
Mode de chauffage	Électricité	Électricité	Électricité Vapeur Thermo-fluide	Électricité Vapeur Thermo-fluide

Tableau III. 1 : Exemples de caractéristiques de presses de force de fermeture comprise entre 15 et 250 t (suite) :

Refroidissement	Possible	Possible	Possible	Possible
Poids de la presse (t)	1.2	2.5	4.5-5	8-9

Tableau III. 2 : caractéristiques de presses de force de fermeture comprise entre 300 et 1 000 t

Force de fermeture (t)	300	400	500	1000
Dimension des plateaux (m ×m)	0,8 × 0,8	0,9 × 0,9	1 × 1	1,5×1,5
Nombre d'espaces inter-plateaux	1	1	1	1
Température maximale (°C)	400	400	400	400
Puissance de chauffe (kW/plateau)	12-17	12-21	12-23	15-30
Pression maximale (kg/cm²)	200	200	200	210
Mode de chauffage	Électricité Vapeur Thermo-fluide	Électricité Thermo- fluide	Électricité Thermo- fluide	Électricité Thermo-fluide
Refroidissement	Possible	Possible	Possible	Possible
Poids de la presse (t)	12-14	15-18	25	35-40

Tableau III. 3: Exemples de caractéristiques de presses de force de fermeture comprise entre 1 500 et 5 000 t.

Force de fermeture (t)	1 500-1 600	2 500	3 000	5 000
Dimension des plateaux (m × m)	1,5 × 2	2 × 3	3 × 9	4 × 9
Nombre d'espaces inter-plateaux	1-8	1	1	1
Mode de chauffage	Électricité Vapeur Thermo-fluide	Électricité Thermo-fluide	Électricité Thermo-fluide	Électricité Thermo-fluide

III.7.2 : Les Extrudeuses :

III.7.2.1 : Définition d'une extrudeuse :

L'extrudeuse est la machine qui sert à réaliser une opération d'extrusion. Il existe plusieurs types d'extrudeuses. Les deux grandes familles de machines sont : Les extrudeuses baxis et les extrudeuses mono-vis.

Le choix de l'une ou l'autre dépend de l'opération à effectuer et des besoins. A noter qu'il existe également des extrudeuses manuelles.

III.7.2.2 : Les parties de l'extrudeuse :

Une extrudeuse classique est composée de quatre éléments de base :

- Trémie d'alimentation : endroit qui assure l'entrée du produit à transformer.
- Une vis sans fin ou vis d'Archimède : au nombre de un ou deux selon le type d'extrudeuse.
- Fourreau : corps principal de l'extrudeuse dans lequel tournent le ou les vis sans fin.
- Filière : extrémité de l'extrudeuse qui donne la forme finale au produit.

III.7.2.3 : Autres éléments de l'extrudeuse :

Aujourd'hui, les extrudeuses comportent d'autres éléments qui sont devenus essentiels tels que :

- L'Accessoire de chauffage et de refroidissement car le fourreau doit être régulé en température.

- Un Groupe d'entraînement : composé d'un moteur réducteur et d'un diviseur de couple, qui fournissent la puissance mécanique nécessaire à la rotation des vis.
- Les Automates de pilotage : permettent le suivi et la commande du procédé.

III.7.2.4 : Description d'une extrudeuse :

Une extrudeuse est essentiellement constituée d'un fourreau cylindrique en acier de haute résistance dans lequel vient tourner une vis entraînée en rotation par un moto-variateur. Cet ensemble vis fourreau est thermo-régulé par un ensemble de résistances électriques ou par circulation de fluide. La matière est introduite dans la trémie qui s'ouvre sur le fourreau à l'entrée de la vis et celle-ci la pousse de façon continue jusqu'à la filière

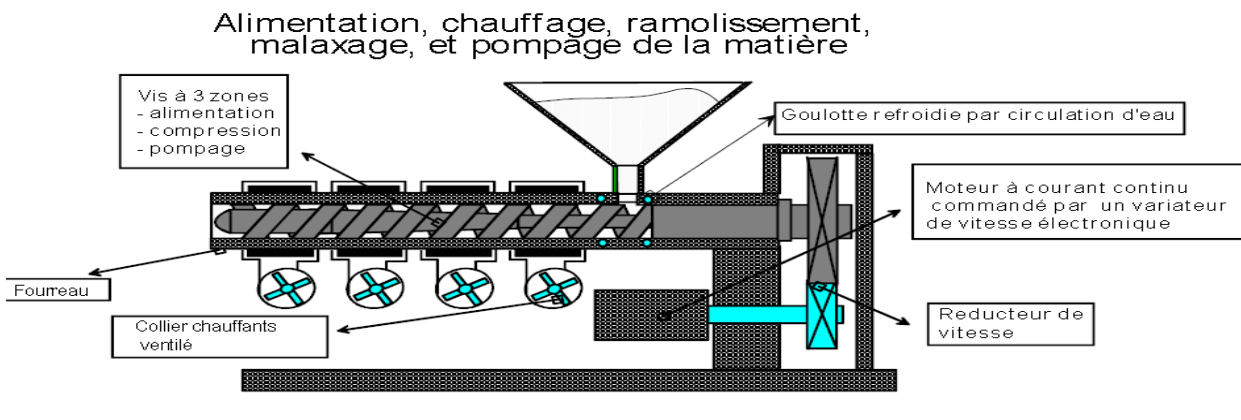


Figure III. 9 : Extrudeuse.

Conclusion :

La production des élastomères augmente de plus en plus et cela grâce à la grande demande mondiale en cette matière, pour satisfaire cette large demande, des entreprises utilisent des différents procédés, ce que montre ce chapitre.

L'industrie des élastomères dans nos jours utilise souvent le procédé de moulage par compression car il permet la production en série des pièces avec une grande précision, d'ailleurs c'est le procédé qu'on a utilisé pour réaliser notre pièce.

Chapitre IV :

Conception du moule et Fabrication de la pièce

IV.1 : Introduction :

De nos jours, la plupart des pièces obtenues en moulage par compression ont des formes très complexes, et la compréhension de tous les détails d'un dessin en 2D est presque impossible. Ce qui engendre la difficulté de concevoir et de fabriquer les empreintes de ce type de pièces. D'où la nécessité d'utiliser l'outil informatique « CFAO ».

La technique utilisée permet à l'homme et à la machine d'être liés pour résoudre un problème en utilisant au mieux les compétences de chacun. L'historique de la CFAO nous permet d'affirmer que ses débuts remontent aux années 70. Il a été dès lors possible de mettre en place des logiciels spécifiques destinés à résoudre le problème des surfaces complexes pour l'industrie aéronautique et automobile.

Les années 80 ont vu l'arrivée de la représentation 3D volumique (ou solide) qui permet une interprétation non ambiguë des pièces mécaniques.

La représentation 3D volumique se caractérise par la définition des lignes cachées, l'obtention automatique des coupes et sections,...Malgré les progrès technologiques, force est de constater que vers la fin des années 80, la CFAO est restée essentiellement un outil de présentation des pièces et assemblages plutôt qu'un outil de conception. Au début des années 90, une nouvelle approche révolutionne la CFAO traditionnelle. L'idée est de ne plus considérer la géométrie comme l'information de base, mais plutôt d'interpréter la pièce comme un ensemble logique et cohérent de « fonctions mécanique », la géométrie 2D ou 3D n'est plus qu'un attribut de ces fonctions.

Les logiciels CFAO actuellement disponibles sur le marché sont divers et parmi eux on peut citer:

- SOLIDWORKS (qui est le support de notre partie pratique).
- UNIGRAPHICS de MAC DONEL DOUGLAS.
- CATIA de Dassault Systems.
- PRO/ENGINEER.
- EUCLID de Marta Data Vision.

IV.2 : Définition de la CFAO:

CFAO Signifie conception et fabrication assistée par ordinateur.

En CFAO, le traitement des informations se fait entièrement de façon, depuis la conception de la pièce jusqu'à l'usinage Informatisée (fig.1).

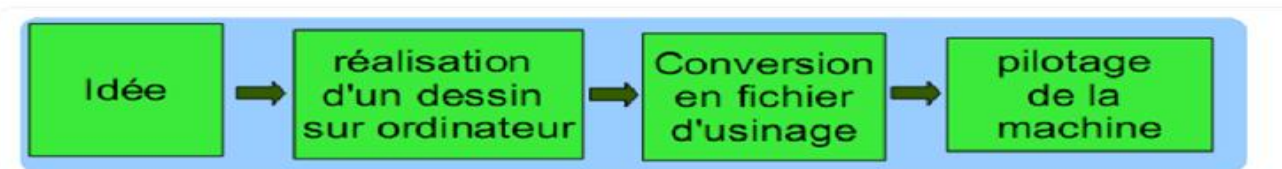
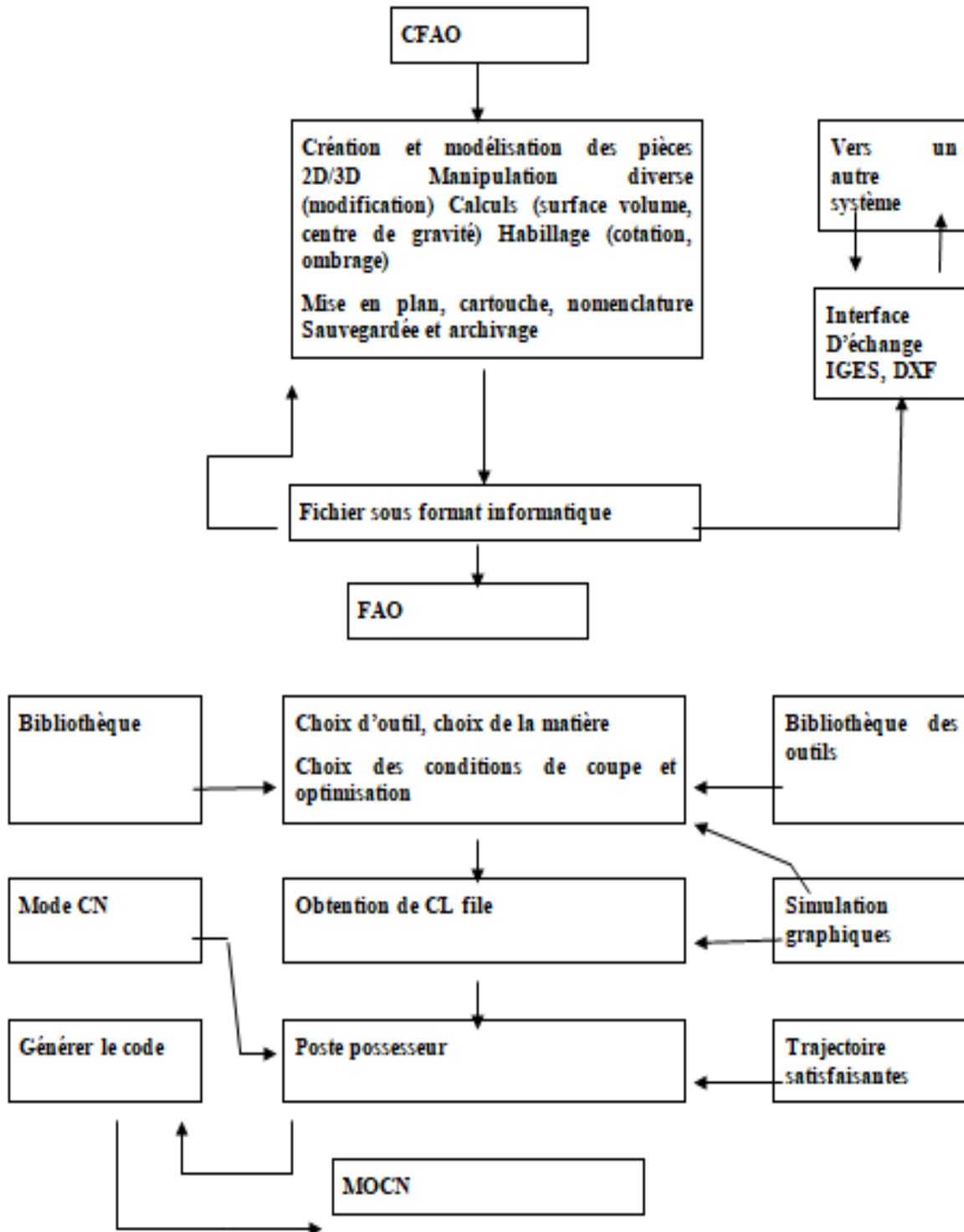


Figure IV. 1 : Schéma de la CFAO.

IV.3 : Organigramme expliquant la démarche de la CFAO :



Comme on vient de le voir dans l'organigramme ci-dessus, la CFAO se divise en deux domaines distincts mais complémentaire entre eux, la CAO et la FAO, et on va développer chacun d'eux plus en détails dans ce qui suit :

IV.4 : La CAO (conception assistée par ordinateur) :

IV.4.1 : Origine de la CFAO :

L'introduction de l'informatique et son utilisation dans un processus de conception remonte maintenant à plus qu'un quart de siècle. Nous assistons actuellement à une véritable révolution dans ce domaine, ainsi la totalité des bureaux d'études équipés de ces technologies sont maintenant concernés par l'automatisation. Cette évolution est due à plusieurs facteurs dont les trois principaux sont :

- les progrès considérables de la puissance disponible des ordinateurs : en 10 ans, la puissance a été environ multipliée par 10.
- le nombre et la qualité des logiciels, aussi bien ceux à caractères généraux disponibles sur le marché que ceux dits de métier développés par les utilisateurs eux-mêmes.
 - la chute importante et continue des prix du matériel, c'est-à-dire ordinateurs, traceurs, etc...
 - Les activités dédiées à l'aide à la conception de produits mécanique peuvent être de type :
 - dessin Assistée par Ordinateur (DAO).
 - conception Assisté par Ordinateur (CAO).
 - calcul et optimisation de structures : élasticité, vibrations, thermique, etc...
 - mécanique de fluides et thermiques.
 - calcul de procédés de moulage, forgeage, etc...
 - nomenclature et gestion technique.

IV.4.2 : Dentition de la Conception Assistée par Ordinateur :

La conception assistée par ordinateur (CAO) comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de concevoir, et de tester virtuellement des produits. Lorsqu'un système est affecté d'un nombre trop grand de paramètres, il devient difficile de tout contrôler. La CAO permet de concevoir des systèmes dont la complexité dépasse la capacité de l'être humain, et d'apprécier globalement le comportement de l'objet créé avant même que celui-ci n'existe. En CAO, on ne dessine pas, on construit virtuellement un objet capable de réagir dans son espace réel selon des lois régies par le logiciel. Le résultat, appelé maquette numérique qui constitue alors un véritable prototype évolutif. Durant notre conception nous avons utilisé le logiciel de conception appelé « SolidWorks ».

IV.4.3 : Modèles de représentation en CAO :

Classiquement, il existe trois modèles de représentation 3D, à savoir :

- modélisation fil de fer.
- modélisation surfacique.

- modélisation solide.

IV.4.3.1 : Modélisation fil de fer :

Historiquement, c'est la première modélisation d'un objet en 3D. La géométrie est définie uniquement à l'aide d'entités géométriques de bas niveau (sommet et arête) : droites, cercles, arcs de cercle, courbes, etc. Par exemple, avec la modélisation fil de fer (Wireframe), un cube est défini uniquement par ses arêtes et les sommets qui joignent ces arêtes. La pièce n'est donc qu'imparfaitement définie puisqu'il manque la définition exacte des faces et de l'intérieur du cube. Un modèle fil de fer est bon pour la visualisation notamment dans le domaine de l'automobile. Cependant, il est ambigu et incomplet et ne garantit pas l'adressabilité spatiale (le système ne sait pas où se trouve la matière de l'objet). Dans ce cas de modélisation, il est impossible de montrer une vue isométrique en traits cachés, d'ombrer l'objet ainsi réalisé. Ce mode est surtout utilisé pour faire l'esquisse d'un objet.

IV.4.3.2 : Modélisation surfacique :

Historiquement, c'est la deuxième technique apparue sur le marché mais c'est en fait la première qui a permis une approche 3D plus profonde que la représentation fil de fer. En effet, avec la modélisation surfacique, la pièce est décrite à l'aide des surfaces qui en constituent l'enveloppe : un cube est ainsi décrit par ses 6 faces

L'utilisation des surfaces, permettant de définir totalement l'enveloppe d'une pièce. Cela est importante pour la réalisation du tracé de détail mais peu adaptée au projet ou à l'étude. En effet, dans un modèle surfacique, le système ne sait pas non plus où se trouve la matière ; la surface coupe l'espace en 2 demi-espaces. Comme la définition est continue, il est possible de représenter un objet en vue isométrique avec traits cachés, d'ombrer la pièce ; on obtient un rendu réaliste. Si l'on coupe un cube par un plan, le résultat de la section est représenté par 4 segments de droites. Dans ce modèle on distingue 2 types de surfaces : les surfaces simples et les surfaces complexes. Dans les surfaces simples on trouve les plans, les surfaces d'extrusion et les surfaces de révolution (le cylindre, le cône, la sphère, le tore). Dans les surfaces complexes, on trouve trois grandes familles : les Béziérs ou surfaces à pôles, les B-Splines et les NURBS (Non Uniform Rational B-Spline).

IV.4.3.3 : Modélisation solide :

C'est la technique de représentation d'un objet la plus utilisée. Le solide se caractérise par son aspect homogène 3D, ses limites (le solide occupe un espace fini) et ses frontières qui définissent un intérieur et un extérieur au volume.

IV.4.4 : Application :

IV.4.4.1 : Conception de la pièce moulée :

En premier lieu nous avons utilisé les commandes du logiciel SolidWorks tel que : Esquisses, fonctions pour concevoir la pièce avec les modifications nécessaires, ainsi que l'attribution de la matière appropriée (le Polyuréthane dans notre cas) (fig.2).

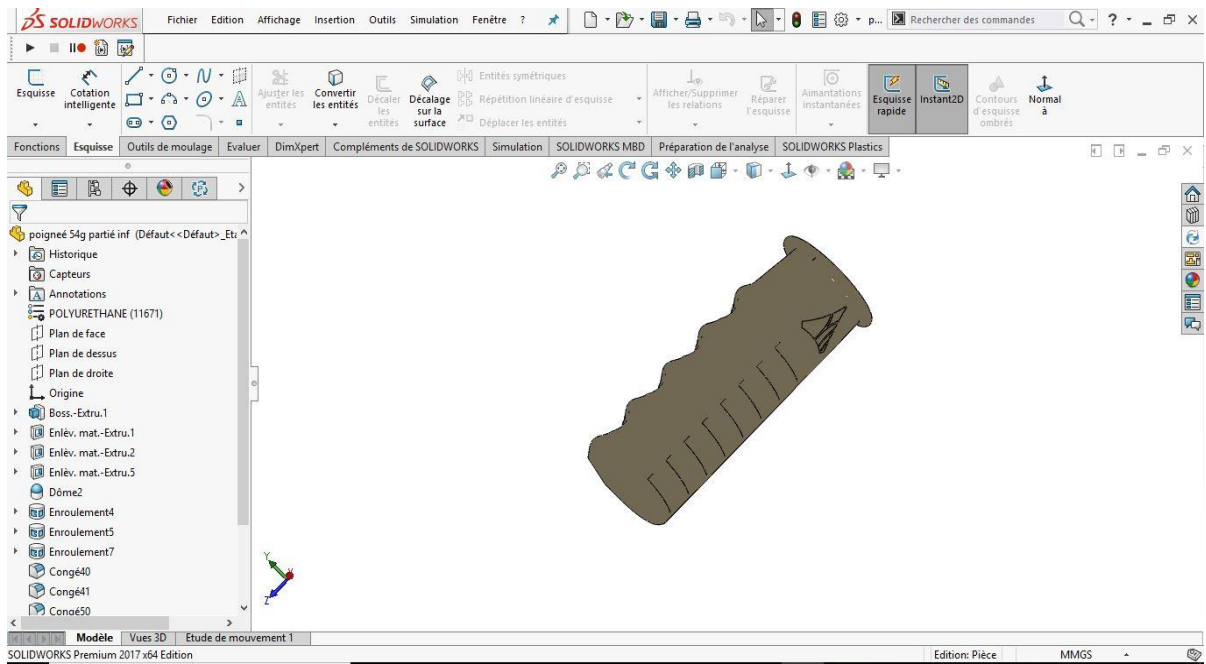


Figure IV. 2 : Conception d'une pièce sur SolidWorks.

IV.4.4.2 : Présentation de la pièce moulée :

Le tableau suivant donne la fiche technique de la pièce :

Tableau IV. 1 : Fiche technique de la pièce.

Nom de la pièce	Poignée de la brouette (outil de construction)
Longueur de la pièce	110 mm
Diamètre de la pièce	31.5 mm
Matériau de la pièce	Caoutchouc synthétique (polyuréthane)

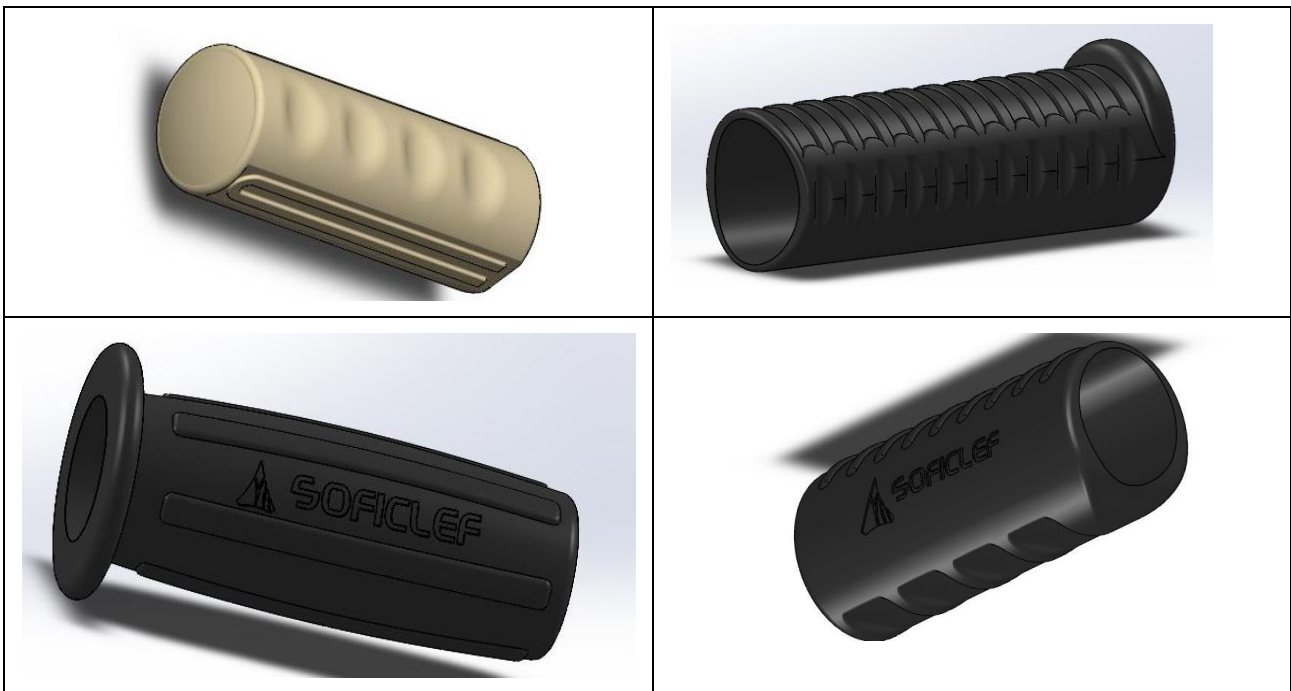
L'emplacement des pièces à réaliser (poignée) est sur les bras des brouettes qui est un de outil de construction très utilisé (Fig. IV.3).



Figure IV. 3 : Emplacement de la pièce

IV.4.4 .3 : Proposition de modèles de poignées :

Dans la figure IV.4, nous proposons six modèles de poignées que nous avons proposés au service marketing.



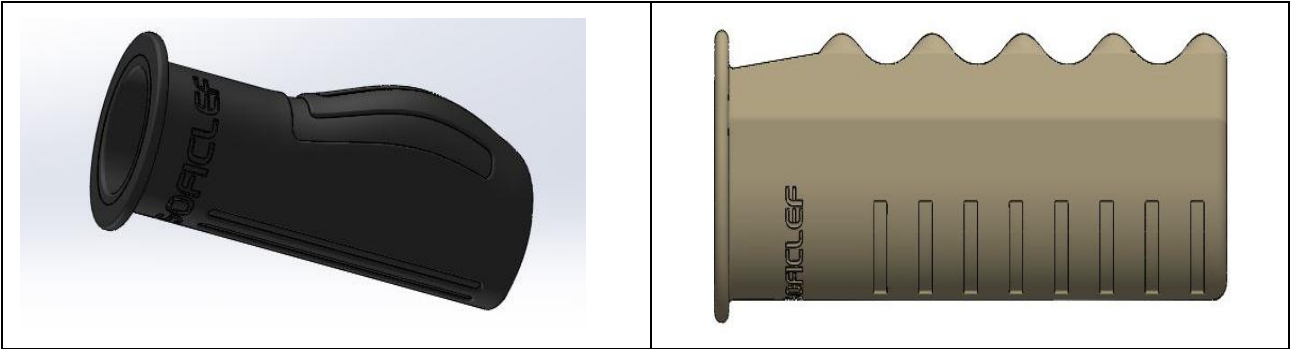


Figure IV. 4 : Différents types de poignées.

IV.4.4 .4 : service marketing

Après la proposition des six modèles au service marketing de la société Soficlef, ce dernier a choisi deux modèles de poignées (Fig.5) , qui sont les deux suivants :

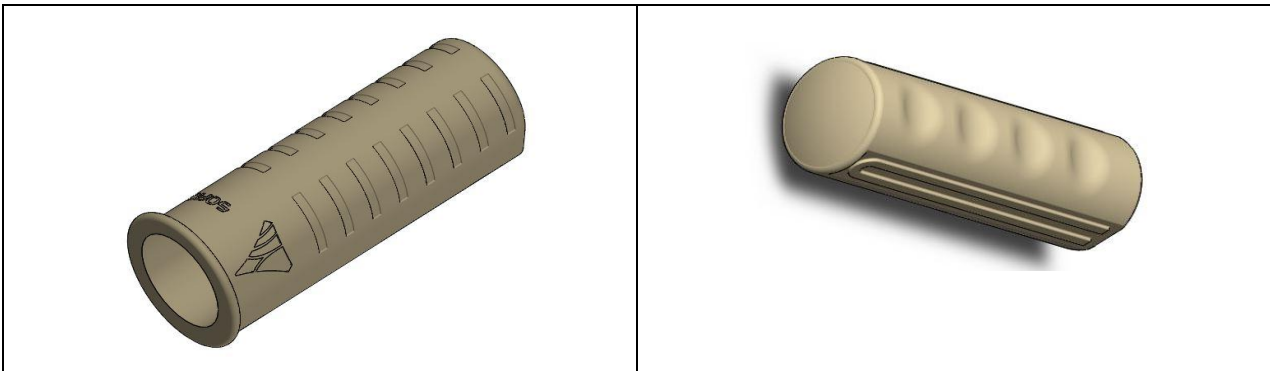


Figure IV. 5 : Les poignées choisies.

IV.4.4 .5 : Impression 3D

Après avoir la réponse de service marketing a propos des poignées choisies, nous les avons imprimé en 3D afin de les tester sur la brouette, avant d'entamer d'entamé la conception du moule (Fig.6).



Figure IV. 6 : Poignées en plastique imprimé en 3D.

IV.4.5 : Conception du moule à dix empreintes :

Dans cette étape, après avoir conçu la pièce et avoir fait l'analyse de la dépouille, nous avons constaté que notre pièce était assez complexe pour réaliser les dix empreintes à l'aide de la fonction « dossier moulage » (Fig.7). Donc nous avons eu recours à une autre technique pour les obtenir.

Cette technique consiste à créer un assemblage à travers la pièce moulée, une fois sur l'assemblage nous avons esquisé un rectangle sur le plan de milieu de la pièce, et avec la fonction ajout de matière nous avons pu avoir un bloc, puis nous avons désigné notre pièce comme noyau à l'aide de la fonction « dossier moulage ».

Enfin, grâce à l'option configuration, nous avons pu créer d'autres configurations à partir de l'ensemble des dix empreintes obtenues et toutes ces configurations contiennent des éléments constituant nos dix empreintes.

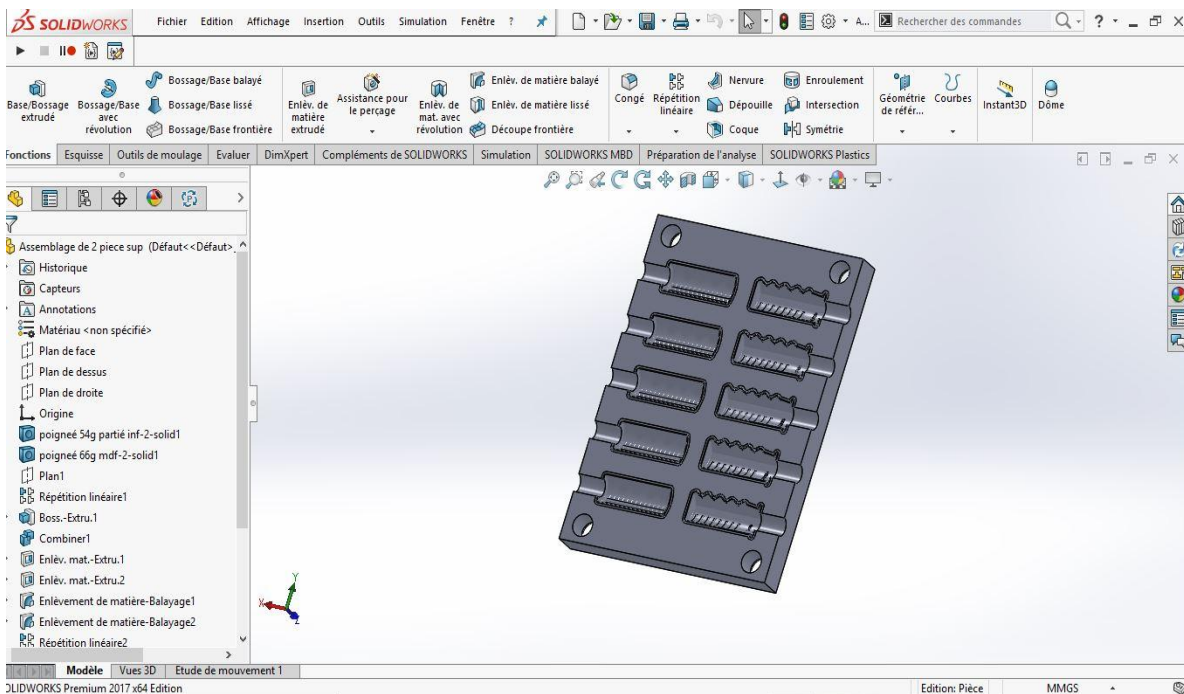


Figure IV. 7 : Obtention de l'empreinte du moule avec le dossier assemblage.

IV.4.5.1 : Différentes éléments du moule :

Le tableau suivant donne les différentes pièces constituant le moule.

Tableau IV. 2 Eléments du moule à dix empreintes.

	<p>La partie supérieure du moule : C'est la partie mobile du moule qui est guidé par les colonnes de guidages.</p>
	<p>La partie inférieure du moule : C'est la partie fixe du moule sur la quelle posera la partie mobile</p>
	<p>Les bagues de centrage: Elles entre avec serrage dans partie inférieure (partie fixe) pour porté les colonnes de guidages.</p>
	<p>Les colonnes de guidages : Sont des tiges en acier elles servent a positionné la partie mobile (supérieur) du moule la partie fixe (inférieur) par glissement.</p>

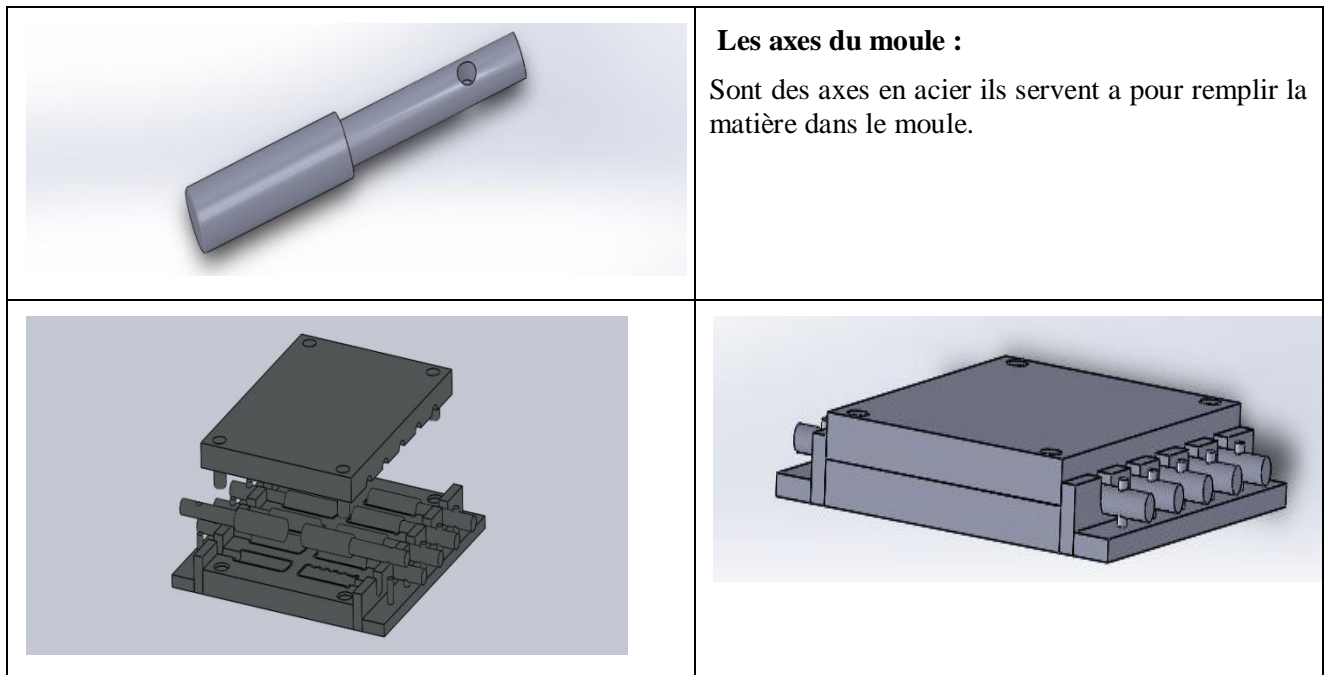


Figure IV. 8 : Moule à dix empreintes.

Remarque : Une rainure de 1 mm sur la face du plan de joint de la partie inférieure de moule, pour que l'excès de matière soit évacué dans ses rainures faites pour ce but. (Fig.9).

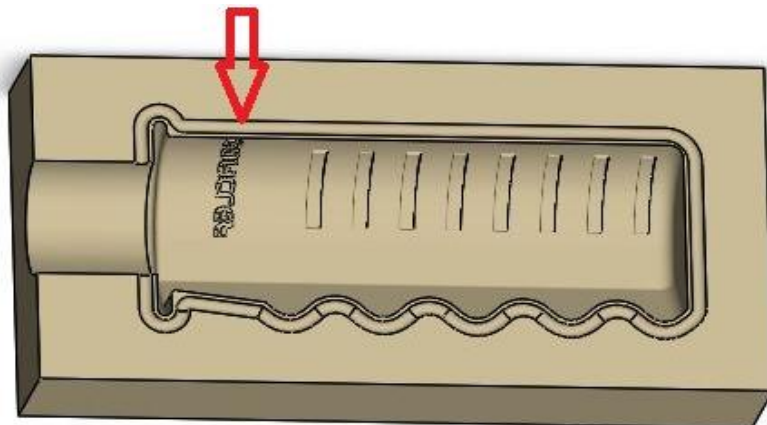


Figure IV. 9 : Coupe gomme

Avant de réaliser et fabriquer le moule de dix empreintes en acier, nous devons d'abord fabriquer un échantillon de moule en aluminium qui sera un moule de deux empreintes pour les deux modèles. La figure IV.10 donne le moule avec deux en empreintes.

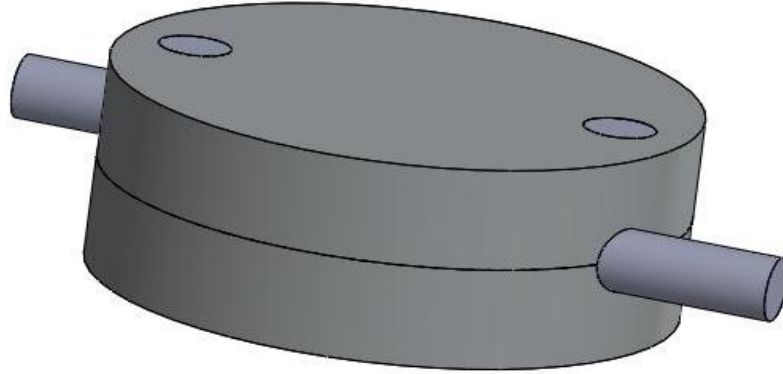


Figure IV. 10 : Echantillon du moule avec deux empreintes.

IV.4.5.2 : Les éléments du moule à deux empreintes :

Le tableau suivant dresse les éléments du moule avec deux empreintes

Tableau IV. 3 : Eléments du moule échantillons.

<p>Partie supérieur</p>	<p>Parie inferieur</p>
<p>Colonnes de guidages</p>	<p>Axe du moule</p>

Remarque : La coupe gomme est réalisé avec une rainure de 1mm sur la surface de plan de joint de la partie inferieur pour facilité l'évacuation l'excès de la matière dans le moule (Fig.11).

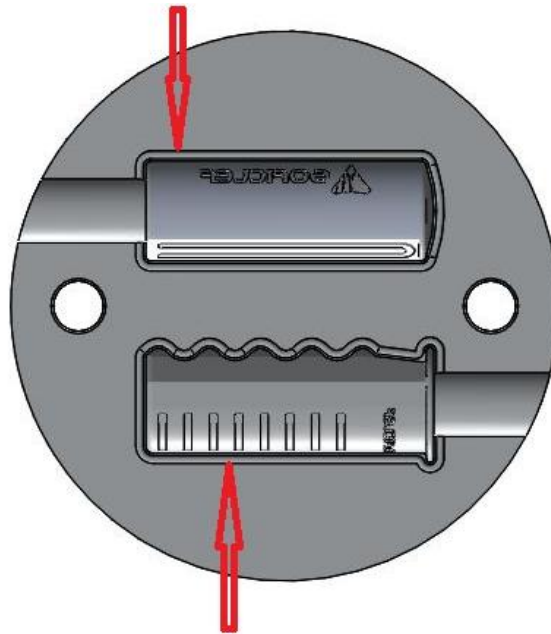


Figure IV. 11 : Partie moule avec coupe gomme.

IV.5 : Fabrication assistée par ordinateur FAO :

IV.5 .1 : Définition :

La fabrication assistée par ordinateur est l'opération consistant à automatiser le processus d'usinage en élaborant un fichier contenant un programme de pilotage d'une machine à commande numérique (MOCN), ce fichier (G-CODE) assure une reprise automatique des données définissant les profils de contournage ou celle définissant des surfaces évolutives.

Le modèle 3D de la pièce à usiner étant importé sur le progiciel de FAO, il est possible de passer à la programmation des parcours des outils qui est le cœur des activités de la FAO. Le programmeur crée les parcours en respectant les choix d'outils, vitesses de coupe et d'avance, et

Les stratégies d'usinage à mettre en œuvre. Le progiciel de FAO « plaque » les trajectoires des outils choisis sur la modélisation 3D et enregistre celles-ci sous forme d'équations.

Depuis 1990-2000, les progiciels de FAO sont capables de reproduire graphiquement (visualisation volumique) et d'une manière fiable, l'action des outils dans la matière, permettant ainsi au programmeur de vérifier ses méthodes d'usinage et éviter a priori les collisions sur les machines-outils.

Il est possible désormais de modéliser entièrement la machine outil et de visualiser les mouvements des organes mobiles de celle-ci (tête, table, axes rotatifs) lors de la simulation d'usinage : cette possibilité est précieuse lors de la vérification et la validation de parcours en 5 axes, où les risques de collision sont importants par rapport à un usinage plus classique, en 3 axes.

Les logiciels FAO disponibles actuellement sont divers, et offrent de plus en plus d'option et de souplesse d'utilisation, et tout ça grâce à l'aide précieuse de l'informatique et l'évolution exponentielle des supports d'utilisation (micro ordinateur), Parmi ces logiciels FAO on peut citer :

- CAMWORKS
- CATIA
- POWERMILL
- SURFCAM
- GTL de MISSLER
- SMARTCAM
- CADKEY

IV.5.2 : Le G-code ou langage machine :

Le G-code est un langage directement utilisable par les MOCN, il regroupe toute une série d'informations concernant le déplacement de l'outil, les conditions de coupe et les caractéristiques techniques de la machine. Malgré les grands efforts de normalisations, les langages machine présentent des différences entre eux, il en résulte la nécessité de les adapter aux particularités de la machine.

IV.5.2. 1: Structure générale du programme :

Le programme est constitué d'une suite d'actions totalement définies ligne par ligne, et chaque ligne constitue un bloc d'informations.

Chaque bloc comporte des mots qui constituent une information: chaque mot débute par une lettre adresse qui donne un sens physique aux données numériques qui suivent : par exemple X15.500 signifie un déplacement suivant X jusqu'à l'abscisse 15.500, de même S1000 signifie une rotation de la broche fixée à 1000tr/min.

IV.5.2.2 : Lettre adresses :

Les lettres adresses usuelles sont :

- N : pour la numérotation des blocs.
- G : pour les fonctions préparatoires.
- X, Y, Z: pour les coordonnées principales.
- A, B, C: pour les coordonnées angulaires.
- U, V, W : pour les déplacements secondaires parallèles à X, Y, Z.
- I, J, K : pour les coordonnées du centre d'interpolation.
- S : pour la vitesse de rotation.
- F : pour la vitesse d'avance.
- T : désigne l'outil à utiliser.
- M : pour les fonctions auxiliaires.

IV.5.2.3 : Format des données :

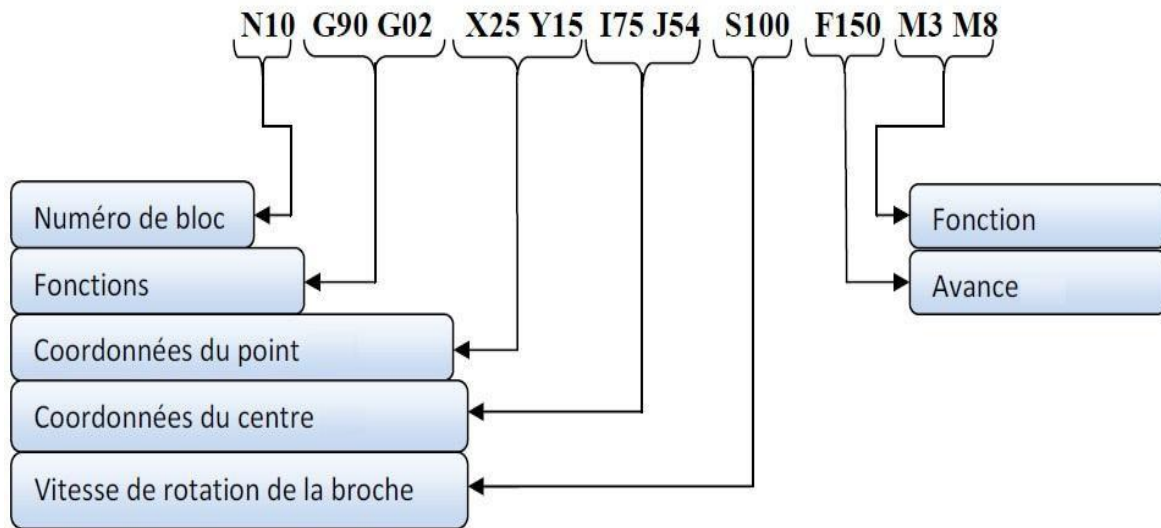


Figure IV. 12 : Format G-code.

IV.5.2.4 : La gamme d'usinage :

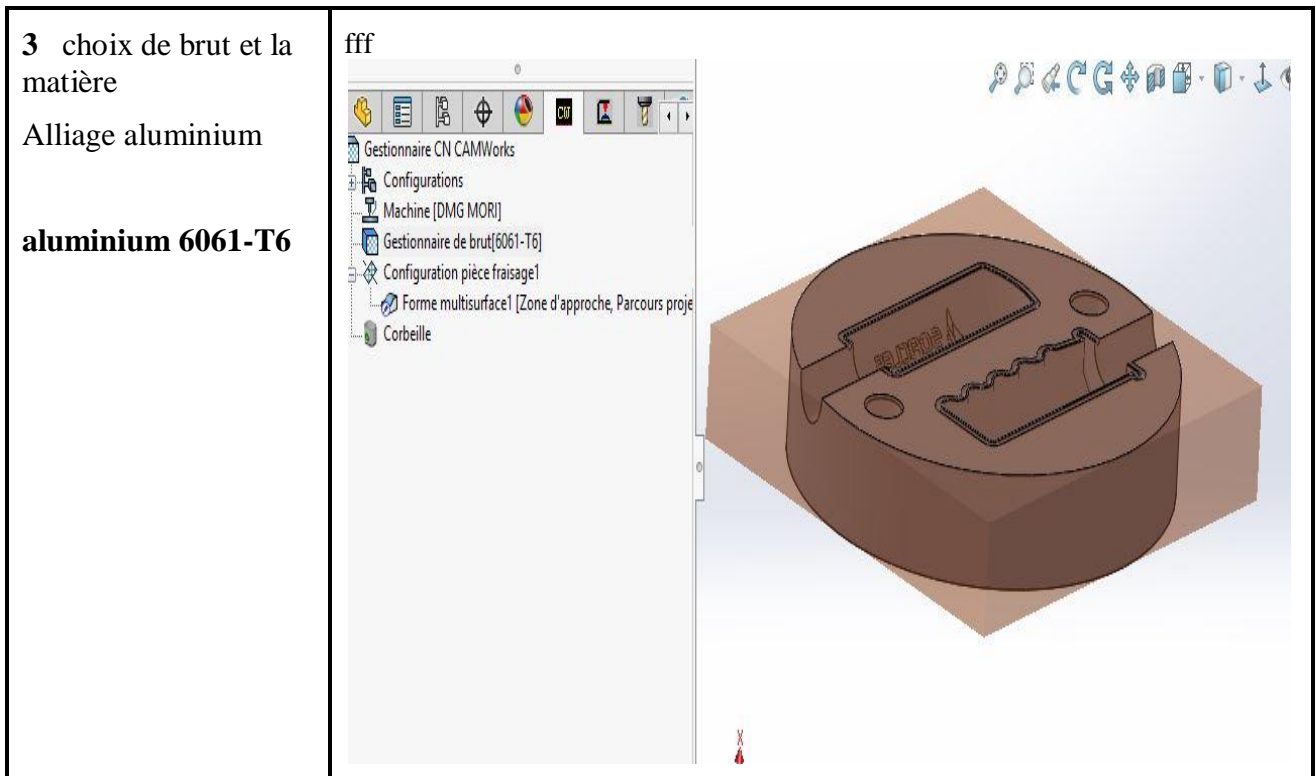
La gamme est faite avec logiciel de programmation CAMWORS.

IV.5.2.4. 1 : Configuration de la machine :

Pour commencer il faut choisir :

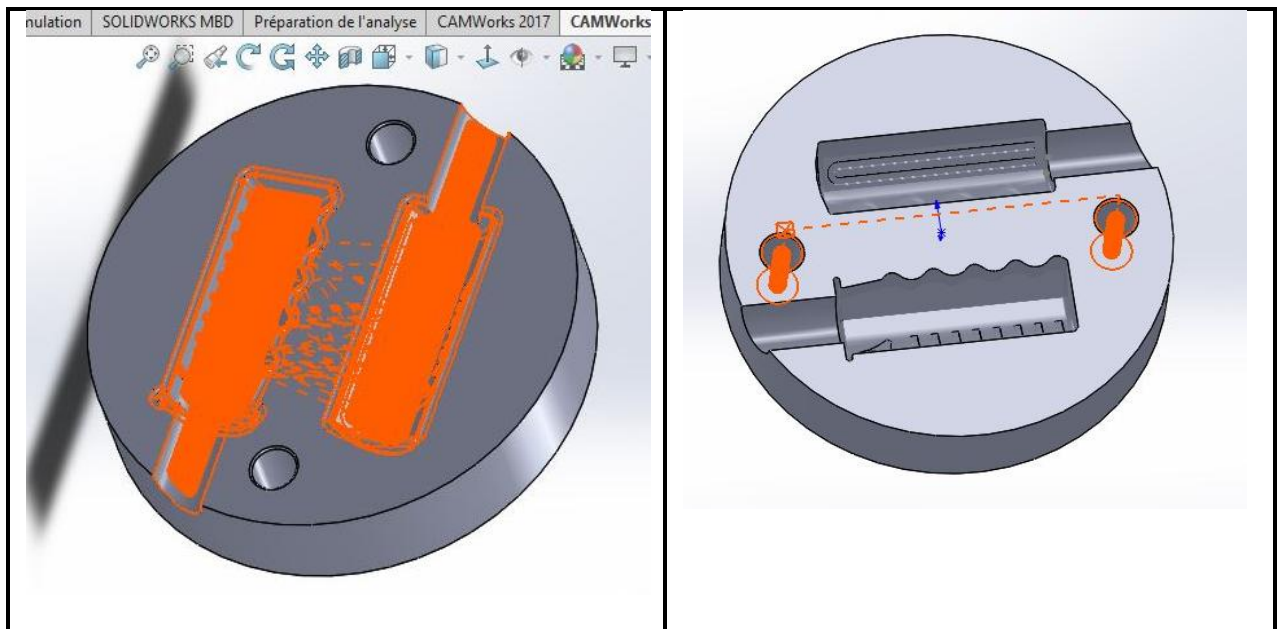
1 Choix de la machine DMG MORI CMX 1100V.

2 Choix et de la machine post processus.

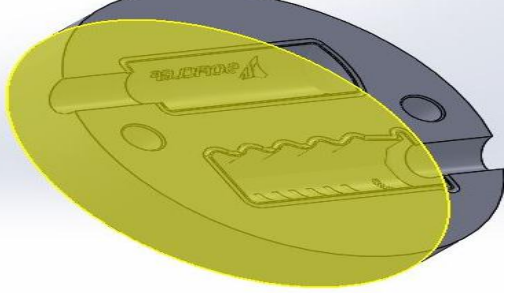
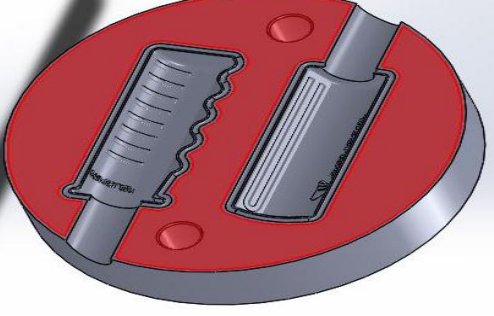
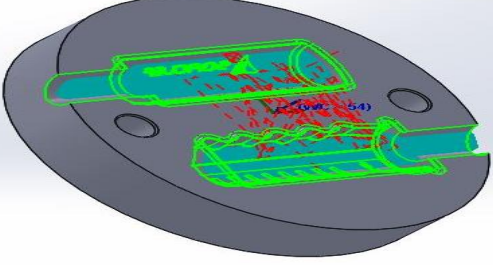


IV.5.2.4.2 : configuration pièce fraisage :

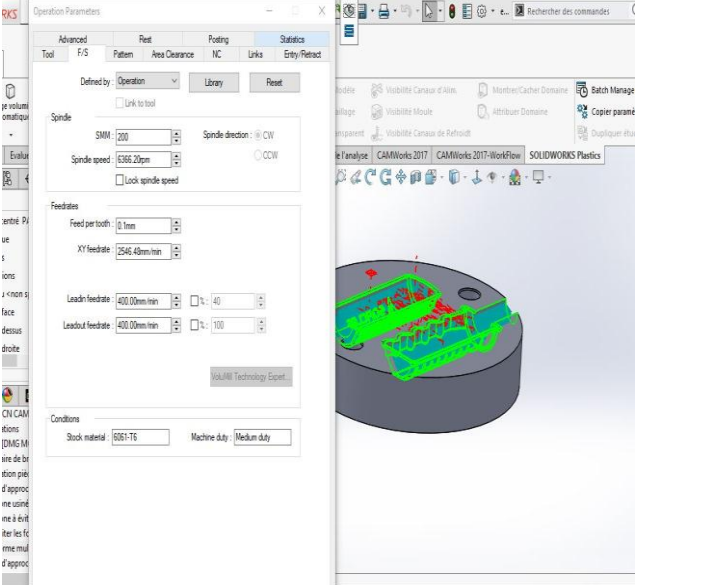
a) **Choix de la face d'usinage :** Dans notre cas ces les deux empreintes et deux trous.



b) Choix des formes pour chaque outil :

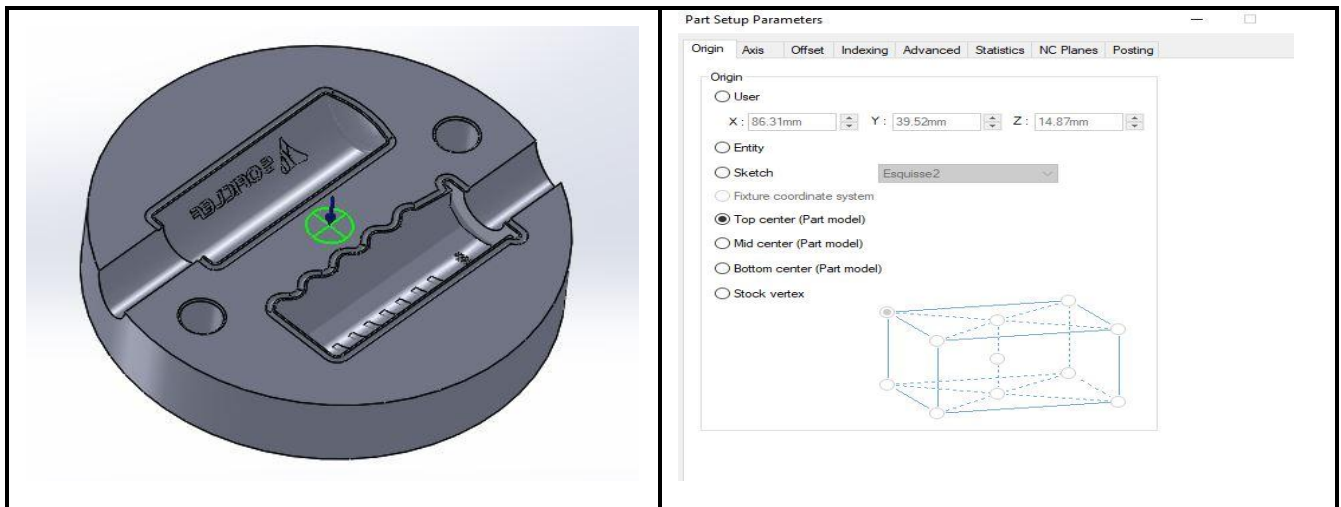
<ul style="list-style-type: none"> ➤ La zone usinée on choisit jusqu'a la fin de la matière 	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ La zone a évite 	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Eviter les formes 	

IV.5.2.4.3: Optimisation :

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Choix d'outil ou on l'ajoute (Add Tool) ➤ Choix des avances ➤ Paramètre de la broche ➤ L'avance rapide ➤ Plan d'approche 	
--	--

IV.5.2.4.4 : Edite la configuration des outils :

Choix d'origines : dans notre cas on a choisit centre de la pièce.



IV.5.3 : Application :

Une fois que la conception est achevée on doit passer à la réalisation des pièces vu leurs formes compliquées, leurs précisions dimensionnelles et leurs états de surface.

Le logiciel utilisé lors de la conception est pas équipé d'un système de Simulation d'usinage (FAO) ce qui nous a amené à faire appel à un autre logiciel de FAO « Camworks ».

Vue la taille importante des programmes et leur influence sur le volume du

Mémoire, on présente ici qu'un exemple (**Fig. IV.13**) de réalisation (parie supérieur du moule) Dont les programmes seront donnés en annexe.

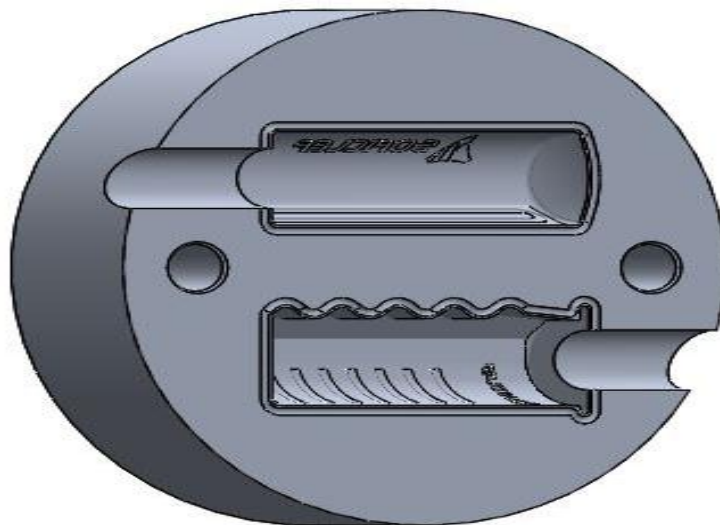


Figure IV. 13 : Partie inferieur du moule.

IV.5.3.1: Machine et outils à commande numérique :

La commande numérique est une technique utilisant des données composées de codes alphanumérique pour représenter les instructions géométriques et technologiques nécessaires à conduire une machine ou 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.

Actuellement les principaux constructeurs de MOCN sont :

- NUM
- FANUC
- DMU
- HEIDENHAIN
- MAKINO
- MAZAK
- DMG
- HERMIL
- CINCINNATI

IV.5 .3.2 : Classification des machines outil à commandes numérique :

- On peut classer les MOCN suivant deux critères essentiels qui sont :
- Mode de déplacement de la table :
- Machines à déplacement point à point.
- Machines à déplacement par axial.
- Machines à déplacement continu.
- Le nombre d'axes commandés simultanément :
- Deux axes commandés simultanément.
- Deux axes commutables
- Deux axes et demi.
- Trois axes simultanés.
- Quatre axes.
- Cinq axes.

IV.5 .3.3 : Eléments de base d'une MOCN :

Une machine-outil à commande numérique est composée de deux parties essentielles, la partie commande et la partie opérative :

a)Partie commande :

La partie commande a pour fonction de transformer les informations codées du programme en ordres donnés aux servomécanismes de la partie opérative, pour obtenir les déplacements des organes mobiles. La partie commande est constituée d'une multitude de microprocesseur et d'automates programmables.

b) Partie opérative :

Elle comprend tous les organes physiques mobiles et immobiles de la machine, qui entrent en jeu dans l'usinage de la pièce.

Dans le cas d'une fraiseuse à commande numérique, la partie opérative sera composée de :

- La table: support de pièces, mobile selon deux ou trois axes, équipée de systèmes de commande vis et écrou à billes.
- Les moteurs : chargés de l'entraînement de la table support de pièce suivant les divers axes et de la rotation de la broche.
- L'élément de mesure : ou capteur de position qui renseigne à tout moment la position du mobile sur chaque axe.
- La dynamo tachymétrie : qui assure la mesure de vitesse de rotation.

Dans notre partie de fabrication on 'a opté pour une fraiseuse a commande numérique DMG MORI CMX 1100 V. (Fig. IV.14).



Figure IV. 14 : MOCN DMG MORI CMX 1100 V.

IV.5 .3.4 : Fiche technique de la machine a commande numérique DMG MORI CMX 1100 V :

• Espace de travail

Déplacement maximal sur l'axe X	1 100 mm
Déplacement maximal sur l'axe Y	560 mm
Déplacement maximal sur l'axe Z	510 mm

• Dimensions du banc

Chargement maximal du banc

1 000 kg

Longueur du banc

1 400 mm

Largeur du banc

560 mm

Broche :

Vitesse de rotation standard

12 000 tr/min

Vitesse de rotation maximale (en option)

12 000 tr/min

Puissance (100 % fdm)

9 kW (AC)

Couple de rotation (100 % fdm)

54 Nm

• Magasin d'outils :

Capacité (Standard)

30 postes en sérié et changement d'outil rapide 2.4 s outil a outil.

Capacité max.

30

• Marche rapide :

Max. axe X

30 m/min

Max. axe Y

30 m/min

Max. axe Z

30 m/min

IV.5 .3.5 : Préparation du brut :

Avant de passé a l'usinage dans la MONC, on a choisi le brut c'est un cylindre d'aluminium de dimension épaisseur 80 mm et de rayon 220 mm, (**Fig. IV.15**) on a coupé le cylindre d'aluminium en 2 partie de 40 mm et on a effectué une rainure sur les deux partie, pour bonne fixation sur la table de la machine MONC.



Figure IV. 15 : Brut avec des rainures.

IV.5 .3.6 : Fixation de brute :

Fixation du brut (demi-cylindre) sur la table de la MOCN avec deux brides (Fig. IV.16). Pour une bonne fixation.



Figure IV. 16 : Brides de fixation.

IV.5 .3.7 : Les outils utilisés :

- ✓ Fraise deux tailles de diamètre 10 mm
- ✓ Fraise deux tailles de diamètre 6 mm
- ✓ Fraise deux tailles de diamètre 4 mm
- ✓ Fraise deux tailles ball de diamètre 4mm
- ✓ Fraise de tailles ball de diamètre 2 mm
- ✓ Foret de diamètre 20 mm



Figure IV. 17 : Outils d'usinage.

IV.5 .3.8 : Positionnement des outils de coupe dans la machine MOCN :

- Montage des outils sur les attachements (port outils)
- Centrage d'outil par-rapport a la pièce brute.
- Faire tangentes l'outil par rapport a la pièce brute.



Figure IV. 18 : Outil de mesure Kit capture.

IV.5 .3.9 : Lancement du programme de l'usinage :

Après que le brut est installé sur la table de la machine MONC avec une bonne fixation, on lance le programme d'usinage dans le poste processeur de la machine MOCN (**Fig. IV.19**).



Figure IV. 19 : Post-processeur de la MOCN.



Figure IV. 20 : Usinage du moule dans la MOCN.

IV.5 .3.10 : Lubrification :

Pendant l'opération d'usinage le lubrifiant (**Fig.IV.21**) doit être émergé dans la machine MOCN pour le refroidissement et la facilité d'usinage.

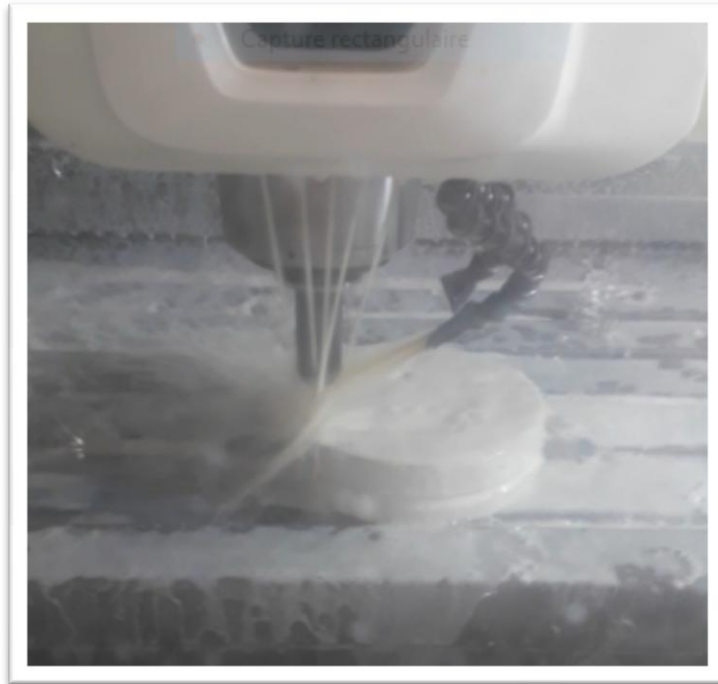


Figure IV. 21 : Lubrifiant dans la MOCN.

Remarque : Apres cinq heure de temps d'usinage sur la machine MOCN la partie supérieur d'échantillon moule est réaliser.



Figure IV. 22 : Partie supérieur du moule.

Après avoir réalisé la partie supérieur d'échantillon moule on refait le travail avec la partie inférieur du moule. (Fig. IV.22). (Fig. IV.23).



Figure IV. 23 : Partie inférieure du moule.

Après avoir réalisé les deux parties du moule on va procéder au moulage des poignées de la brouette.

IV.6 : Le moulage de la pièce :

Dans notre cas le matériau utilisé dans ce procédé de moulage la pièce qu'on va réaliser c'est le caoutchouc (polyuréthane).

IV.6.1 : Préparation du mélange du caoutchouc :

Le caoutchouc naturel n'est pas un matériau prêt à l'emploi, il nécessite diverses opérations qui ont été cités dans le précédent chapitre.

IV.6.1.1 : Les ingrédients (recette) du mélange du caoutchouc utilisé :

Tableau IV. 4 : Ingrédients de mélange du caoutchouc.

Ingrédients	Masse volumique (gm/cm ³)
Gomme naturelle	0.93
Gomme synthétique (PIB)	0.91
Oxyde de zinc (agent activateur)	5.57
Talc Mistor Vapor (Renfort)	2.75
Acide stéarique (agent de la vulcanisation)	0.85
Huile paraffinique (plastifiant)	0.9
TMTD et CBS (agent d'accélération)	1.15
Le noir carbone 550	1.95

IV.6.2 : Machine utilisées pour le mélange du caoutchouc :

IV.6.2.1 : Mélangeur interne :

On met tout les ingrédients dans un mélangeur interne pour former le mélange du caoutchouc. (**Fig. IV.24**).



Figure IV. 24 : Mélangeur interne.

IV.6.2.2 : Mélangeur externe : Après le mélange va passer dans un mélangeur externe pour transformer le mélange du caoutchouc en pate de caoutchouc. (Fig. IV.25).



Figure IV. 25 : Mélangeur externe.

IV.6.2.3 : Extrudeuse : L'étape suivante le mélange entre dans l'extrudeuse qui va faire l'extrusion du la pate du caoutchouc pour faciliter son découpage (Fig. IV.26).



Figure IV. 26 : Extrudeuse de caoutchouc.

IV.6.3 : Préparation de l'opération du moulage :

IV.6.3 .1 : Paramètres de moulage :

La quantité de matière.

Les vitesses de fermeture de la presse.

La pression sur la matière : la pression exercée par la presse sur l'ensemble du moule est de **200kg /cm²**

La température du moule : la température du chauffage du moule est **156 C°**

La durée et la technique de chauffe : on a effectué 3 opérations différentes selon le temps de maintien :

1. Temps de maintien = **9 minutes**
2. Temps de maintien = **10 minutes**
3. Temps de maintien = **11 minutes**

La durée et la technique de refroidissement.

IV.6.3 .2 : Opération de moulage :

➤ **Chauffage du moule :**

Le sera placer dans une presse hydraulique est chauffé a l'aide des résistances de la presse jusqu'a une température de 160 degré.

➤ **Mise de la matière première dans le moule ouvert :**

On charge les deux axes du moule avec le caoutchouc

➤ **Fermeture du moule :**

On place la partie supérieure du moule sur la partie inférieure position correct selon le plan du joint.

➤ **Pressage :** placer le moule remplié de la matière dans la presse hydraulique pour obliger la matière à remplir le moule, l'excès de matière est évacué par des canalisations (coupes gommés) faites pour ce but.

➤ **Maintien :** dans notre cas la matière c'est le caoutchouc thermodurcissables, temps de maintien de la chauffe et de la pression jusqu'à la fin de la cuisson (réticulation).

➤ **Refroidissement du moule :** le refroidissement sera à la température ambiante.

➤ **Ouverture du moule et récupération de la pièce :** après que le moule est refroidie on ouvre le moule et extraire les pièces (poignée de la brouette).

➤ **Coupe gomme :** après avoir extraire la pièce on coupe l'excès de matière dans le plan de joint qui est évacuée par des canalisations (coupe gomme) faites pour ce but, pour avoir un bon état de surface de la pièce.

Après la récupération de la pièce fini on fait un teste du dreté au laboratoire avec l'appareille du teste dreté (duromètre) :

- ❖ le résultat du teste : la résistance a la dreté est **70 shore (Fig. IV.27)**.



Figure IV. 27 : Teste de dureté.

Conclusion :

A partir de ce chapitre, on peut déduire que pour une bonne conception d'un moule compression, le concepteur doit suivre toutes les étapes nécessaires, du choix du moule, son architecture puis ses différents types et usage, car le meilleur choix des paramètres de conception nous garantit un produit fini de bonne qualité.

Le bon choix de ces paramètres, offre au concepteur la possibilité de concevoir le moule le plus approprié.

Chapitre V :

Calcul et vérification du moule

❖ Son poids déterminé par la relation suivant : $m = \rho \cdot v$

Avec :

- ❖ m : masse de la pièce (kg)
- ❖ ρ : masse volumique (kg/ cm³)
- ❖ v : volume de la pièce (m³)

V.3 : Fiche technique de caoutchouc utilisé

Le caoutchouc synthétique présentant les caractéristiques techniques suivantes :

- Aspect et toucher adhérent.
- Translucide.
- Rigidité : très souple
- Résistance au choc : de -60° C a +60° C.
- Perméabilité aux gaz : médiocre ; a l'humidité : moyenne.
- Température d'utilisation : de -60° C a +60° C.
- Température de mise en œuvre : Ambiante
- Soudabilité : ne se soude pas, se colle pas.
- Masse volumique 1225.2 k/m³.
- La température moyenne d'extraction $T_e = 150^{\circ}\text{C}$

V.4 : Le poids de la pièce :

Le poids de notre pièce est donné par le logiciel de conception SolidWorks, en sachant que la masse volumique de caoutchouc utilisé est de 1225.2 k/m³.

Pour le premier modèle son poids est de : **63.28 grammes.**

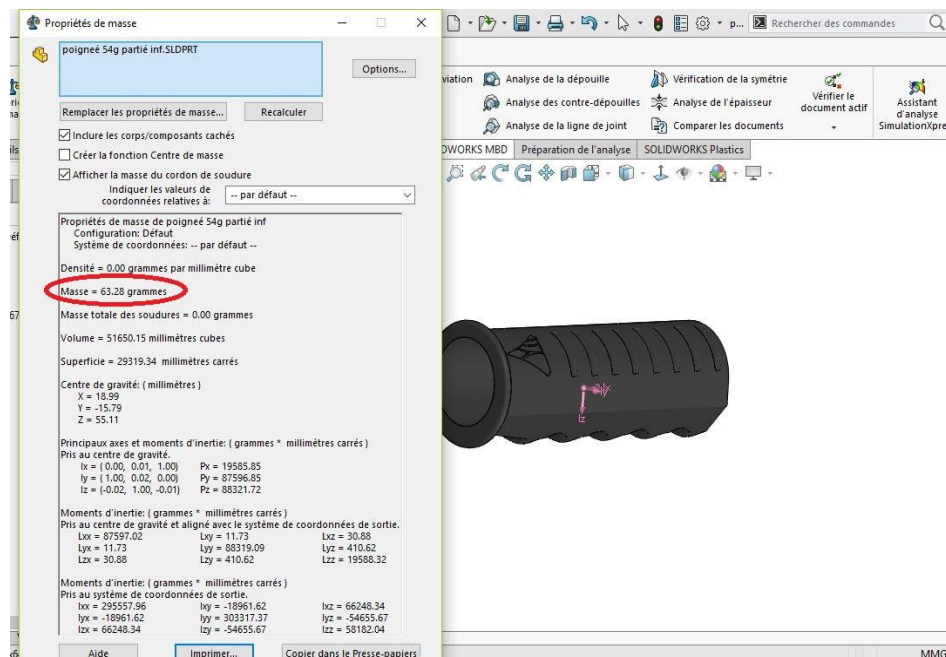


Figure V. 1 : Poids de la pièce 1

Pour le deuxième modèle son poids est de : **59.29 grammes**

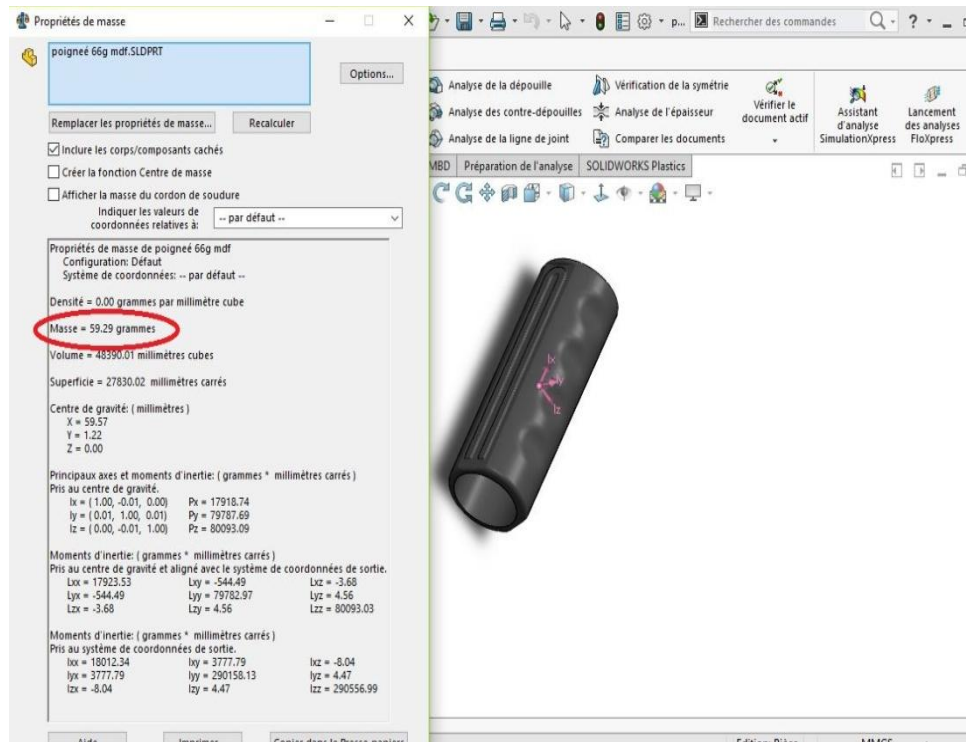


Figure V. 2 : Poids de la pièce 2.

V.5 : La force de fermeture :

Pendant l'opération du moulage, le moule doit être maintenu fermé durant le temps de la cuisson, pour cela la presse de compression doit appliquer une force fermeture nécessaire, la presse à 200T fournie une force de fermeture de 200 tonnes.

La force de fermeture du moule F :

Sachant que : **200T = 2000 KN = 2000000N**

F= 2000000 N

V.6 : Dimensions des plateaux de la presse :

La presse possède deux plateaux (supérieurs et inférieur) sur lesquels le moule sera fixé.

Pour ce faire, les dimensions du moule doit être inférieure à les dimensions de ces plateaux qui sont : **600 x600mm**

Les dimensions de notre moule sont montrées dans les deux figures suivantes :

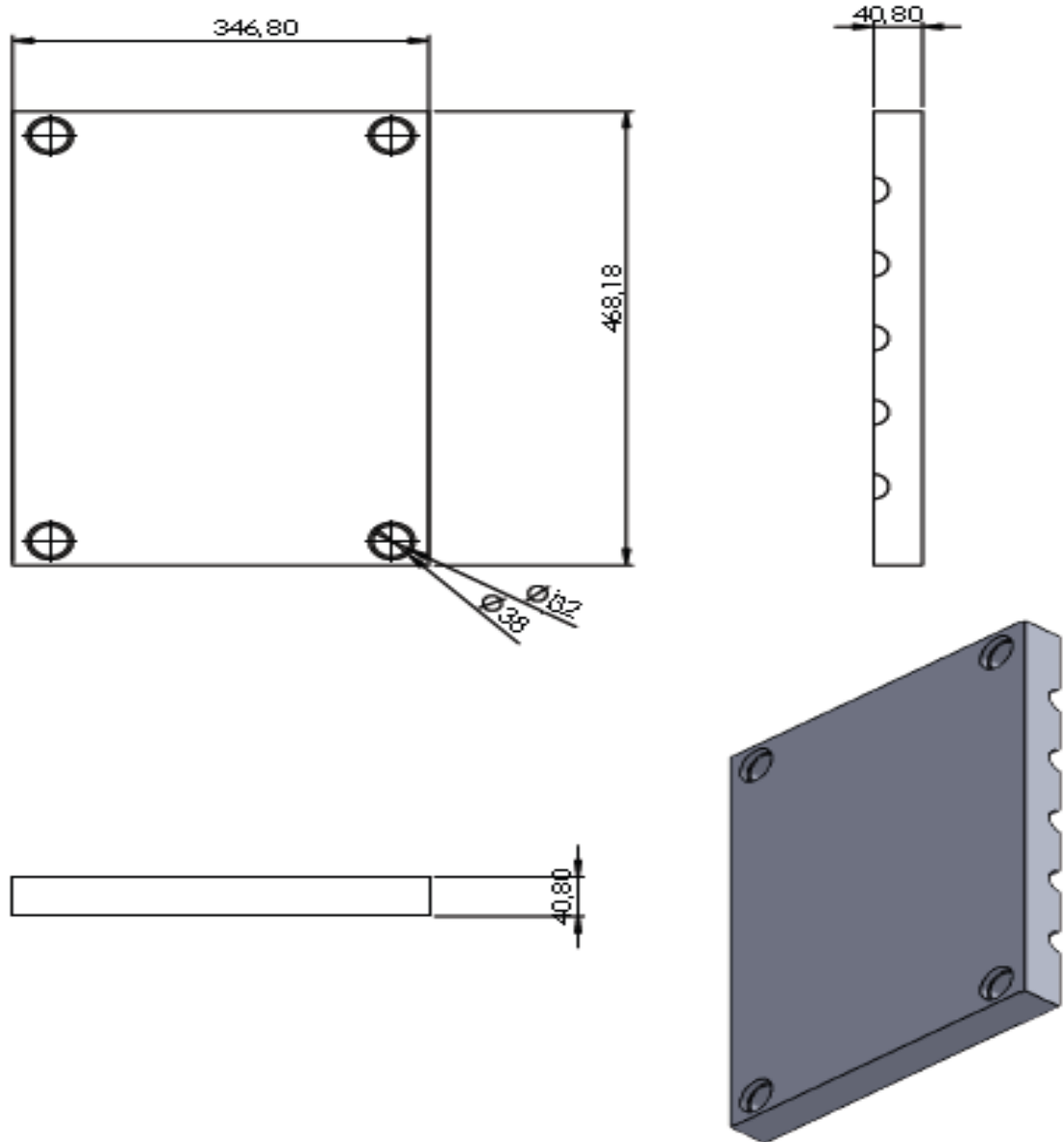


Figure V.3 : Dimensions partie mobile.

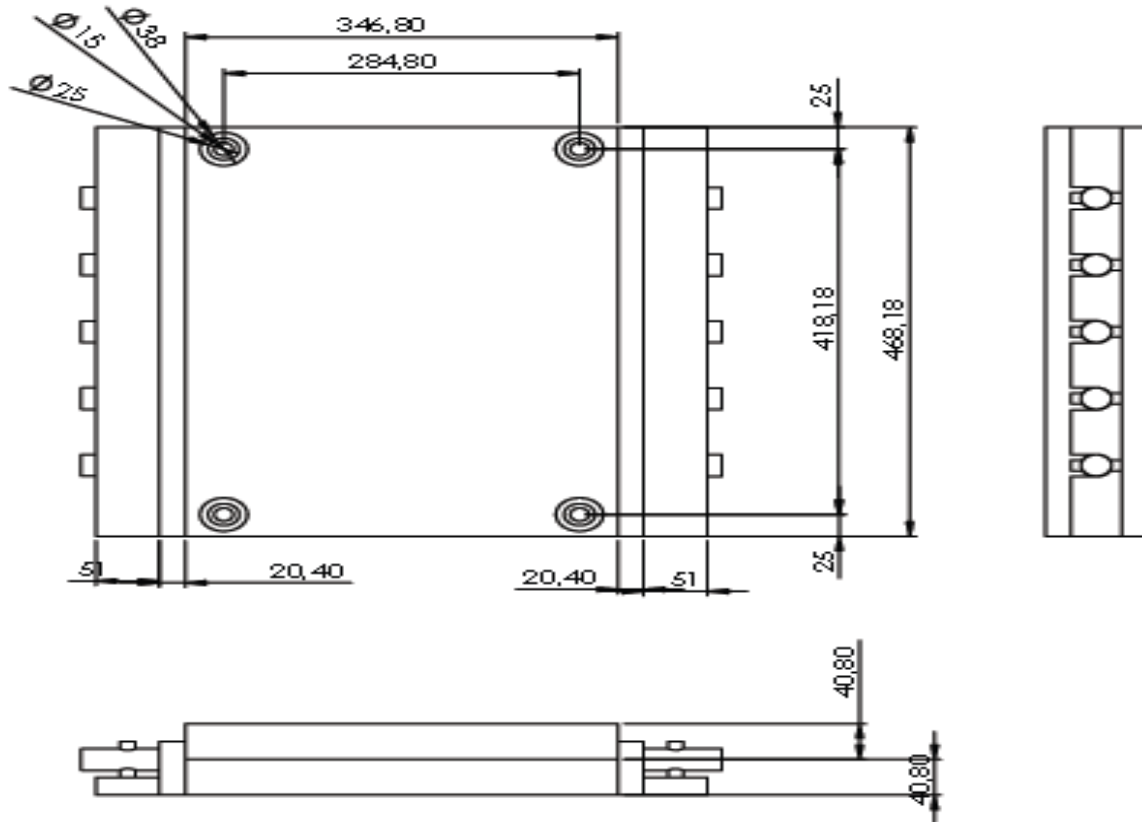


Figure V. 4 : Dimensions partie fixe.

V.7 : Vérification à la résistance des matériaux :

Afin de vérifier la résistance du moule aux conditions de travail, il est nécessaire de définir le comportement de quelques éléments à ces efforts. La force de fermeture qu'exerce une presse à injection est égale à son tonnage. Partant de ce principe, la presse à 200T fournit une force de fermeture de 200T.

Sachant que : 200T = 2000 KN = 2000×10^4 N

Condition de résistance :

$$\sigma_e = F / S \leq R_{pe}$$

Avec :

$$R_{pe} = R_e / s$$

R_e : résistance limite à la traction ($R_e = 550$ N/mm² pour les aciers).

s : coefficient de sécurité ($s = 2,2$).

$S = L \times E$ avec L et E sont respectivement la longueur et la largeur de l'élément soumis décrivant la surface matée.

AN : $R_{pe} = 550 / 2,2 = 250$ N/mm²

V.7.1 : Résistance de la partie mobile (supérieur) :

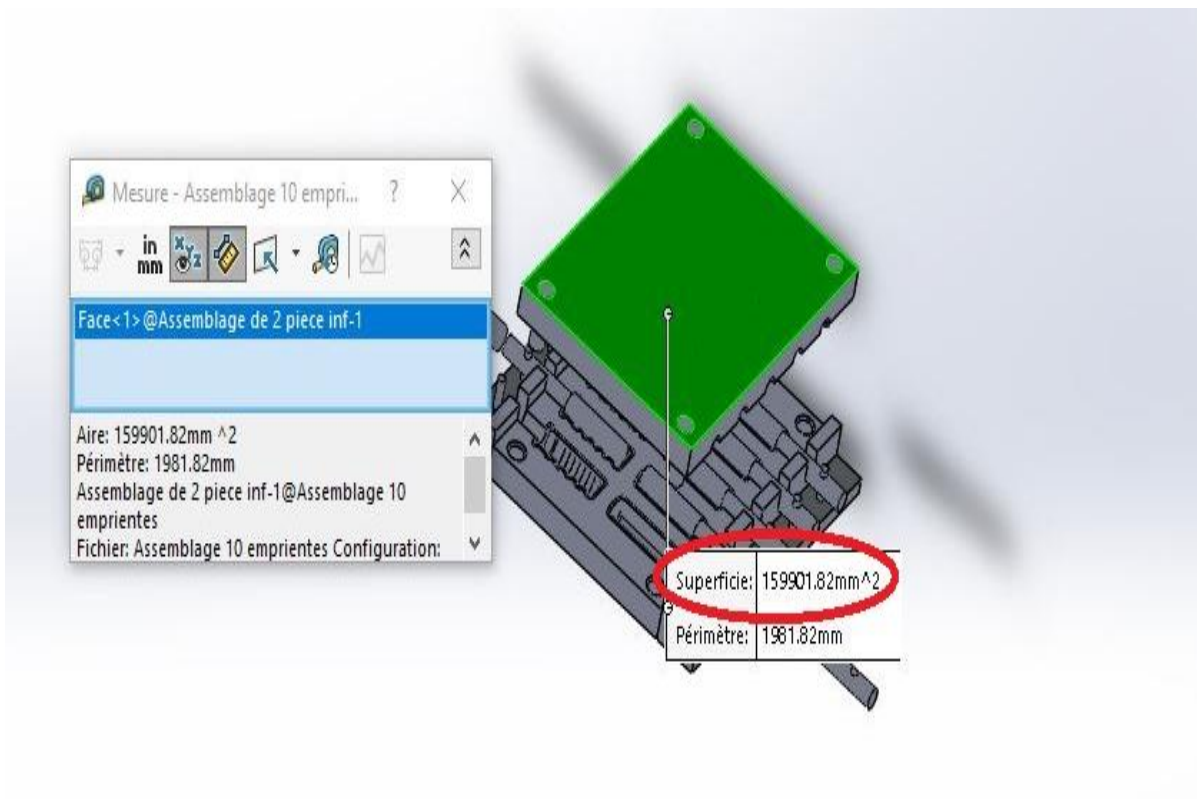


Figure V. 5 : Surface supérieurs soumise au matage.

Surface supérieurs soumise au matage : $S=159901,82 \text{ mm}^2$

$$\sigma_e = F / S = 12,50 \text{ N/mm}^2$$

- ✓ Puisque la condition est vérifiée donc la partie mobile du moule résistera au matage.

V.7.2 : Résistance de la partie fixe (inferieur):

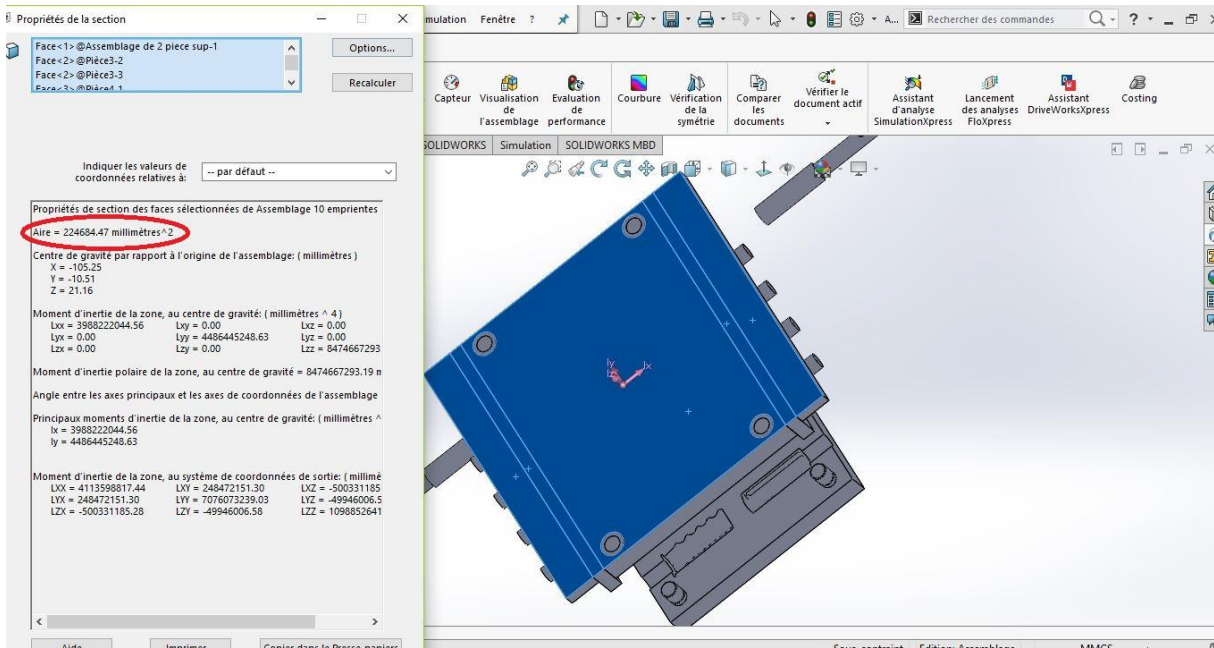


Figure V. 6 : La surface inferieur soumise au matage donnée par solidworks

La surface inférieure soumise au matage est donnée par solidworks.

Surface inferieur soumise au matage : $S=224684.47\text{mm}^2$

$$\sigma_e = F / S = 8.90\text{N/mm}^2$$

- ✓ Puisque la condition est vérifiée donc la partie fixe du moule résistera au matage.

V.7.3 : Résistances des colonnes de guidage au cisaillement :

Les colonnes de guidages sont soumises à l'effort de cisaillement dû au poids de la partie mobile.

Condition de résistance : $\tau = F / n \cdot S \leq [\tau]_{\text{cis}}$

Avec $f=p$ alors : $\tau = P / n \cdot S \leq [\tau]_{\text{cis}}$

$$[\tau]_{\text{cis}} = \sigma_e / k. 0,8 = 565/2 \times 0.8 = 297 \text{ N/mm}^2$$

- σ_e : limite élastique du matériau ; $\sigma_e=565 \text{ N/mm}^2$
- k : coefficient de sécurité ; on prend $k=2$
- F : effort normal (poids de la partie fixe), $F=P=439.48 \text{ N}$
- S : section de la colonne (mm^2)
- n : le nombre de sections cisillées. $n=4$

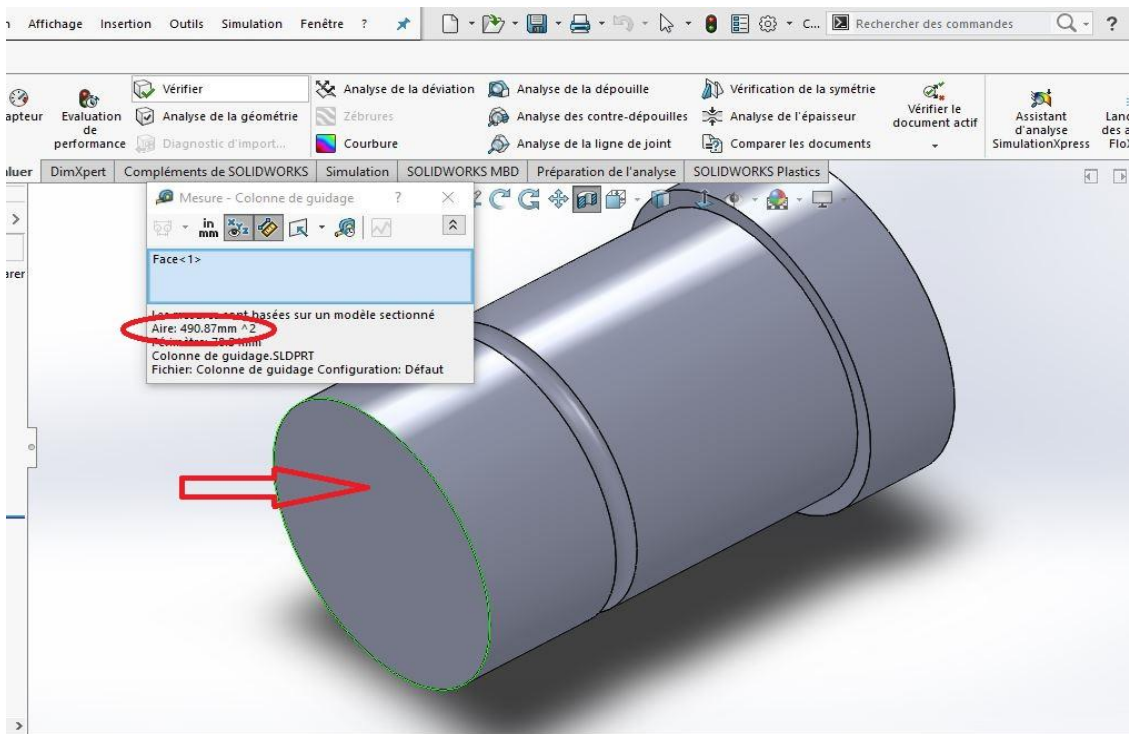


Figure V. 7 : Section soumise au cisaillement

La section a cisailé : $S = 490.87 \text{ mm}^2$

$$F = m \times g = 439.48 \text{ N}$$

$$\tau = 439.48 / 4 \times 490.87 = 0.22 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau \leq [\tau]_{\text{cis}}$$

✓ La condition est vérifiée

Conclusion :

Cette partie nous a permis de choisir la presse à utiliser et aussi de vérifier le calcul du dimensionnement du moule, la vérification à la résistance des différents éléments agissant lors de l'ouverture et de fermeture du moule et d'autre part, passer avec assurance à la phase de réalisation des plans d'exécution à l'atelier d'usinage.

Conclusion générale

Conclusion générale :

La réalisation de notre projet au sein de l'entreprise SOFICLEF a été pour nous d'une importance capitale, tant sur le plan pratique et sur le plan théorique, et cela non seulement nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine de la conception et la réalisation mais aussi comprendre la difficulté de mettre en œuvre les acquis théoriques dans le milieu industriel.

Cette étude nous a permis :

- d'approfondir nos connaissances dans le domaine de la plasturgie et comprendre la raison de son importante place occupée dans les différents secteurs industriels.
- de connaître et comprendre le procédé de mise en œuvre de ce matériau en général et le procédé de moulage par compression en particulier.
- de prendre en considération tous les paramètres nécessaires et les éléments influents dans la conception d'un moule à compression ainsi que les matériaux à utiliser.

L'élaboration de ce projet nous a permis de nous familiariser avec le logiciel de la CFAO (Solidworks) et Camworks), de faire des calculs dimensionnels du moule ainsi qu'à la vérification de la résistance des composants du moule pour assurer son bon fonctionnement.

En fin, ce travail était, pour nous, une occasion de faire nos premiers pas dans le vaste terrain de la conception et la fabrication des moules, dans le sens où nous étions amenés à concevoir un moule de compression qui nous était totalement méconnu auparavant. Pour cerner cette problématique, nous avons effectué une recherche sur le principe de fonctionnement pour nous permettre d'imaginer des solutions adéquates, simples et réalisables dans les limites du cahier des charges.

Bibliographie :

Bibliographie :

[1]. WWW.SOFICLEF.COM

[2]. A .DESSARTHE, H.GUYOT, D.YHELIC. «Plastique, composite et élastomères dans les technologies médicales» 1997

[3]. FABRICE DELEAU «Comportement tribologique et vibro acoustique d'un contact élastomère /verre» thèse de doctorat, 2009. École Centrale De Lyon

[4]. F.BOLLAERT, A.LEMASCOW.«Analyses de défaillances pièces plastiques élastomères ou composites » guide pratique SDM 2000

[5]. MYRIAM PIRE«Caoutchouc naturel époxydes et réticulation par les acides di carboxyliques, chimie, cinétique et propriétés mécaniques» thèse de doctorat 11/10/2011.

[6]. INNOCENT JUDICAËL BOUDIMBO«Mécanismes élémentaires de dispersion de charges de silice dans une matrice élastomère » thèse de doctorat 23/06/2011.

[7]. C.MOREAU «Etude expérimentale et numérique de l'hyper élasticité avec prise en compte de la compressibilité-identification paramétrique inverse –applications aux élastomères compacts » thèse de doctorat, université de Bretagne sud, 24/03/2000.

[8]. GILLES MARCKMAN « Contribution a l'étude des élastomères et des membranes soufflées» thèse de doctorat à l'école centrale de Nantes, 07/06/2004.

[9]. AUDE VANDENBROUCKE «Etude du comportement mécanique pour différentes températures d'un élastomère -caractérisations expérimentale et numérique»Thèse de doctorat, Université de Bretagne Sud, 2010

[10]. VINCENT LE SAUX «Fatigue et vieillissement des élastomères en environnement marin et thermique -de la caractérisation accélérée au calcul de structure » thèse de doctorat ,27/10 2010.

[11]. FARID KHEDIMI «modélisation micromécanique des élastomères chargé » 08/ 07/2011

[12]. EMILIE PLANES «influence des charges sur l'évolution des propriétés mécaniques des EPDM chargés hors de leur vieillissement par irradiation» 12/11/2008

[13]. . ADNANE BOUKAMEL «modélisations mécaniques et numériques des matériaux et structures en élastomères » thèse de doctorat, 05/10/2006

[14]. IDA RAOULT « Structure élastomère sous chargement cyclique, Comportement fatigue - durée de vie» thèse de doctorat, École Polytechnique 2005

FICHE PRODUIT A60

Désignation Européenne : Fe590-2 + E335 ou 1.0060
Désignation Allemande : St60-2
Désignation Française : A60-2 ou A60

Acier d'usage courant

Produit livré suivant norme EN 10025-2

Masse volumique : Kg/dm³ : 7.8

Composition chimique

Eléments	% mini	% maxi
P Phosphore		0.055
S Soufre		0.055
N Azote		0.014
Fe Fer	Le reste	

**C 45
(XC 48)**

AFNOR	DIN	AISI	NF EN 10027-1
XC 48	Ck 45		C 45 (1.1191)

Composition chimique en %

C	S	Mn	P	Si
0,52 - 0,50	≤ 0,035	0,50 - 0,80	≤ 0,035	0,40 maxi

Propriétés

Acier carbone à teneur plus élevée que pour les aciers C35 et C40, utilisée en mécanique générale de part sa bonne usinabilité et ses caractéristiques mécaniques.
Apte aux traitements thermiques : ex. à l'huile 820 - 860°C

Domaines d'application

Pièces soumises aux chocs et nécessitant une bonne résistance : axes, engrenages, vis sans fin, paliers, pignons, boulonnerie, forge (leviers, arbres)

Caractéristiques mécaniques moyennes (état normalisé)

Rm N/mm ²	Re N/mm ²	A %	Dureté HB
560 / 620	275 / 340	14 / 16	

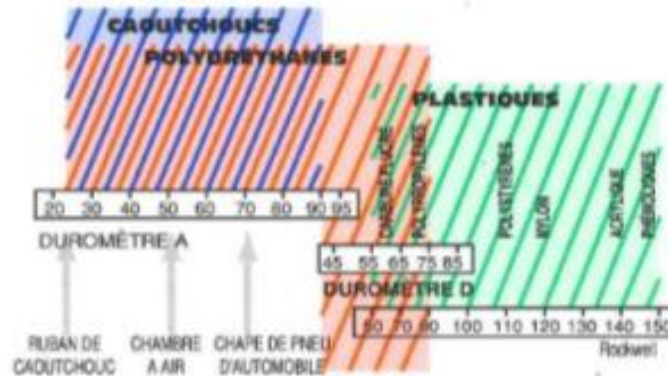
Soudage

Soudabilité médiocre (précautions nécessaires, préchauffage et revenu de stabilisation recommandés).



POLYURETHANE -

COMPARAISON ENTRE DURETÉS : (attention 3 échelles différentes)



PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES ET THERMIQUES :

DURETÉ	Unités	30, 40, 50 A	60 A	70 A	78 A	82 A	87 A	90 A	95 A	60 D	70 D	80 D
Contrainte à 100 %	MPa	-	1,4	1,4	2,8	5,5	7,6	7,6	12,4	20,6	32	34,5
Contrainte à 300 %	MPa	1,2	2,5	2,5	4,4	10,3	14,5	15,2	29,6	53,8	-	-
Résistance à la traction	MPa	8	30	30	21	34,4	31	37,9	44,8	57,2	62	49,1
Allongement à la rupture	%	600	450	450	800	490	450	430	400	320	210	230
Déformation rémanente à la compression pour 25 % 22 H à 70°C	%	32	20	20	45	25	27	30	40	40	10	-
Densité moyenne	-	1,2	1,17	1,17	1,07	1,07	1,1	1,11	1,14	1,09	1,2	1,21
Résilience	%	25	15	15	-	58	45	42	40	-	45	47
Index d'abrasion NBS	%	-	-	-	110	-	175	-	-	380	450	-
Température d'utilisation maxi	° C	80	-	-	85	93	85	93	82	-	85	85

Gamme CMX V

CMX 1100 V



Le CMX V, orienté solution – désormais avec un système de mesure direct dans l'axe A en standard

Déplacement maximal sur l'axe X	1 100 mm
Déplacement maximal sur l'axe Y	560 mm
Déplacement maximal sur l'axe Z	510 mm
Chargement maximal du banc	1 000 kg
Longueur du banc	1 400 mm
Largeur du banc	560 mm

Commande et logiciels disponibles



SIEMENS



HEIDENHAIN



MAPPS



La nouvelle commande DMG MORI SLIMline Multi-Touch avec Operate 4.7 sur SIEMENS représente un grand pas vers l'interface de commande moderne. L'écran optimisé Multi-Touch 19" pratique et ergonomique avec haute résolution et une zone pivotable de 45°, présente des atouts importants pour l'utilisateur.

COMMANDE OPTIMISÉE

- Fonction « Zoom » simple et rapide
- Accès simple et rapide aux paramètres et aux données utilisateur
- Grande capacité de stockage de 4 Go

UNE COMMANDE PLUS CONVIVIALE

- Meilleure résolution innovante, confort de commande à utilisation intuitive et fonctionnalité unique
- Technologie de commande 3D : simulation de la pièce à usiner et usinage par commande tactile
- Clavier d'écran flexible : intégrée dans l'écran multitactile
- Traitement effectif et sécurisé avec des touches d'accès au contenu sur la commande

Activer Windows

Presses

Caractéristiques techniques modèles RPY et RPES

Modèle	Code EAN 4025092*	Type	Capacité t	Vérin modèle	Course du vérin mm	Retour de piston	Type de pompe	Valve de contrôle	Pompe modèle
RPY-1015 M-2	*157346	Presse d'établi	10	YS-10/150	150	Ressort	Manuelle	Manuelle	HPS-2/0,7 A
RPY-1025 EM-1	*160742	Presse d'établi	10	YS-10/250	250	Ressort	Electrique	Manuelle	PYE-03/3/10/3M-S
RPY-2316 M	*157360	Presse d'établi	23	YS-23/160	160	Ressort	Manuelle	Manuelle	HPS-2/0,7 A
RPY-2325 M	*157384	Presse d'établi	23	YS-23/250	250	Ressort	Manuelle	Manuelle	HPS-2/2 A
RPY-2325 EM-1	*160759	Presse d'établi	23	YS-23/250	250	Ressort	Electrique	Manuelle	PYE-03/3/10/3M-S
RPY-1015 M-2	*160766	Presse sur colonne	10	YS-10/150	150	Ressort	Manuelle	Manuelle	HPS-2/0,7 A
RPES-1025 EM-1	*160773	Presse sur colonne	10	YS-10/250	250	Ressort	Electrique	Manuelle	PYE-03/3/10/3M-S
RPES-2316 M-2	*160780	Presse sur colonne	23	YS-23/160	160	Ressort	Manuelle	Manuelle	HPS-2/0,7 A
RPES-2325 M-2	*160797	Presse sur colonne	23	YS-23/250	250	Ressort	Manuelle	Manuelle	HPS-2/0,7 A
RPES-2325 EM-1	*160803	Presse sur colonne	23	YS-23/250	250	Ressort	Electrique	Manuelle	PYE-03/3/10/3M-S
RPY-5015 EM	*158992	Presse sur colonne	50	YH-50/150	150	Hydraulique	Electrique	Manuelle	PY-04/2/5/4M
RPY-5035 EM	*157575	Presse sur colonne	50	YH-50/350	350	Hydraulique	Electrique	Manuelle	PY-04/2/5/4M
RPY-5035 EE	*157582	Presse sur colonne	50	YH-50/350	350	Hydraulique	Electrique	Electro-magnétique	PYS-07/3/10/4 E
RPY-5050 EE	*159012	Presse sur colonne	50	YH-50/500	500	Hydraulique	Electrique	Electro-magnétique	PYS-07/3/10/4 E
RPY-10035 EM	*157599	Presse sur colonne	100	YH-100/350	350	Hydraulique	Electrique	Manuelle	PY-07/3/20/4 M
RPY-10035 EE	*157605	Presse sur colonne	100	YH-100/350	350	Hydraulique	Electrique	Electro-magnétique	PY-07/3/20/4 E
RPY-10050 EM	*157612	Presse sur colonne	100	YH-100/500	500	Hydraulique	Electrique	Manuelle	PY-07/3/20/4 M
RPY-10050 EE	*158978	Presse sur colonne	100	YH-100/500	500	Hydraulique	Electrique	Electro-magnétique	PY-07/3/20/4 E
RPY-20035 EM	*157629	Presse sur colonne	200	YH-200/350	350	Hydraulique	Electrique	Manuelle	PY-11/3/20/4 M
RPY-20035 EE	*157636	Presse sur colonne	200	YH-200/350	350	Hydraulique	Electrique	Electro-magnétique	PY-11/3/20/4 E
RPY-20050 EM	*157643	Presse sur colonne	200	YH-200/500	500	Hydraulique	Electrique	Manuelle	PY-11/3/20/4 M
RPY-20050 EE	*159142	Presse sur colonne	200	YH-200/500	500	Hydraulique	Electrique	Electro-magnétique	PY-11/3/20/4 E

Codes explicatifs

valve de contrôle : M = valve manuelle, E = valve électromagnétique avec boîte à boutons pendante

pompe : M = pompe manuelle, E = pompe électrique, A = pompe hydro-pneumatique

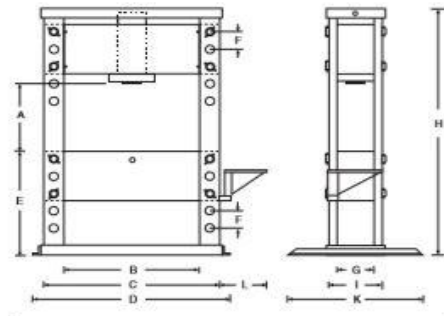
course du piston : 15 = 150 mm, 16 = 160 mm, 25 = 250 mm, 35 = 350 mm, 50 = 500 mm

capacité maxi. : 10 = 10 t, 23 = 23 t, 50 = 50 t, 100 = 100 t, 200 = 200 t

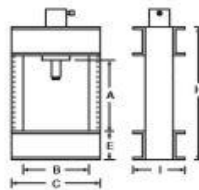
modèle

Dimensions modèles RPY et RPES

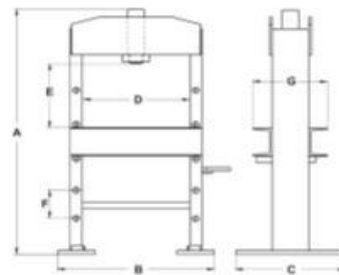
Modèle	RPY-10	RPY-23	RPES-10	RPES-23	RPY-50	RPY-100	RPY-200
Amin., mm	-	-	50	50	350	245	320
Amax., mm	440	440	930	930	900	805	1.000
B, mm	380	380	500	500	800	1.000	1.000
C, mm	510	510	-	-	1.000	1.300	1.400
D, mm	-	-	700	700	1.230	1.430	1.580
E, mm	180	180	-	-	810	860	1.040
F, mm	-	-	150	150	140	140	170
G, mm	-	-	-	-	265	335	450
H, mm	840	840	1695	1695	2.000	2.000	2.430
I, mm	300	300	245	245	305	395	550
K, mm	-	-	-	-	1.000	1.000	1.000
L, mm	-	-	-	-	350	350	400
Poids env., kg	86	86	130	130	880	1.290	2.800



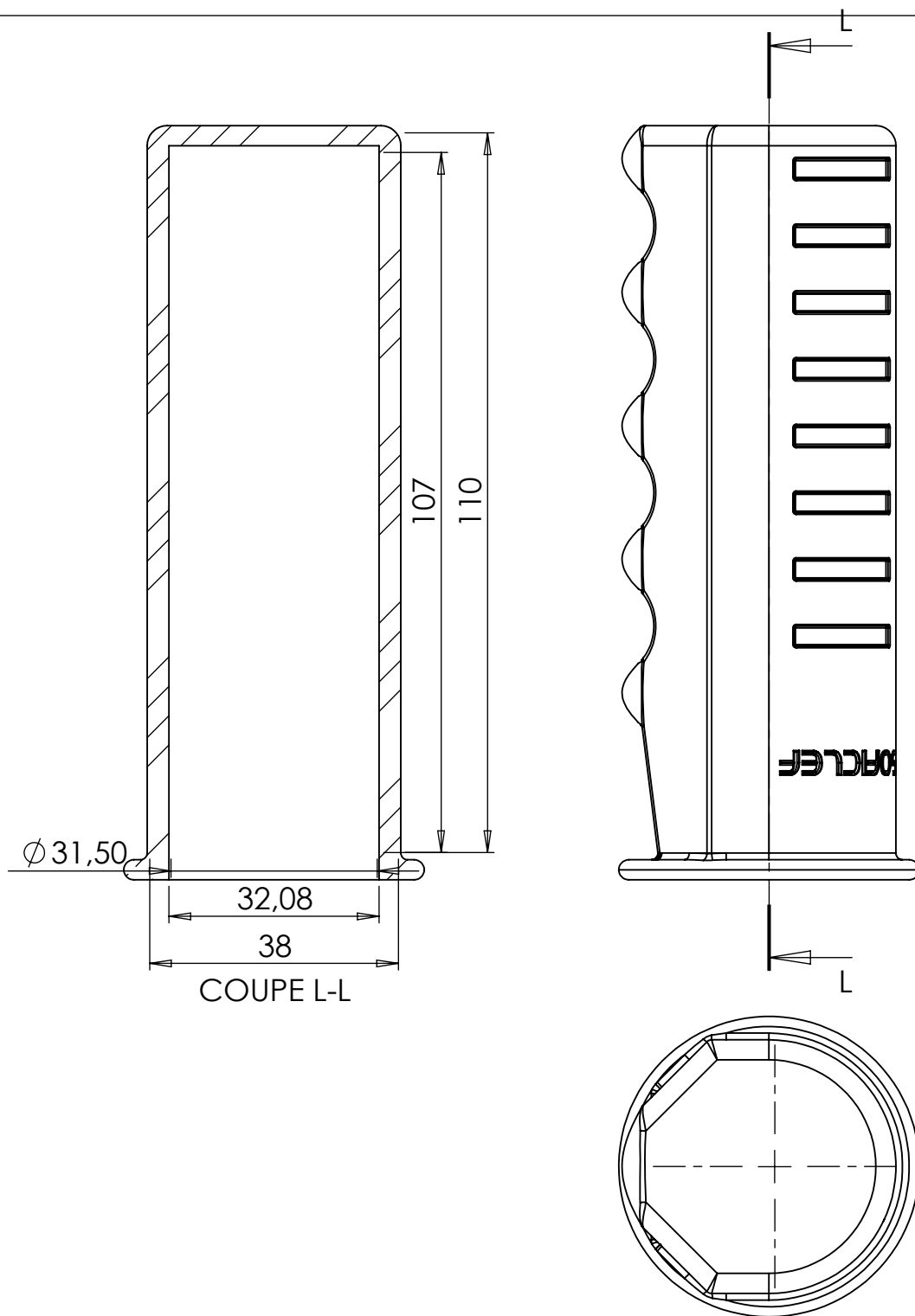
RPY 50, 100 et 200 t



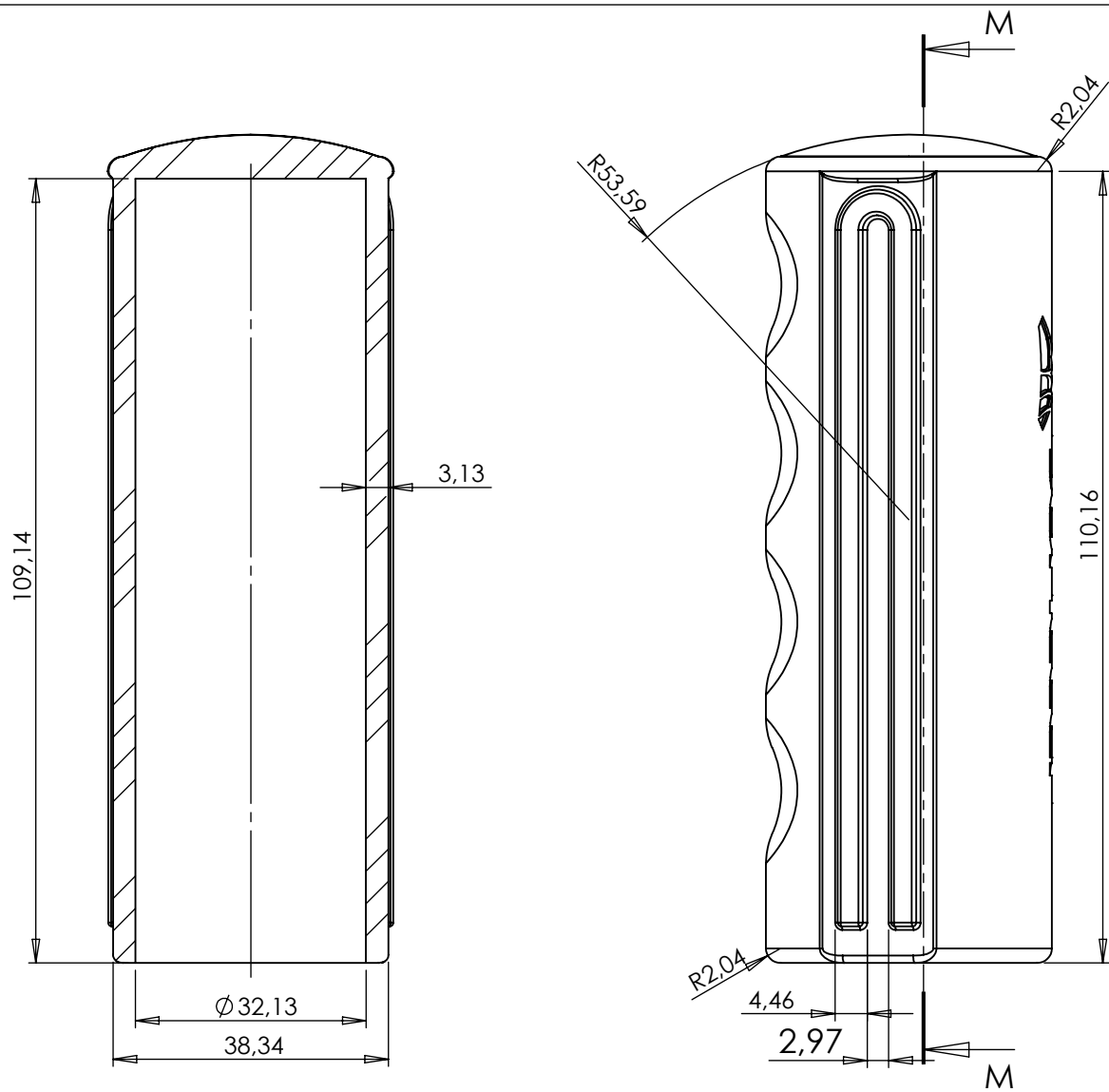
RPY 10 et 23 t



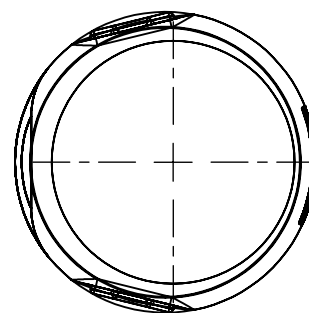
RPES 10 et 23 t

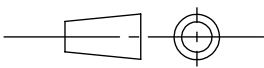


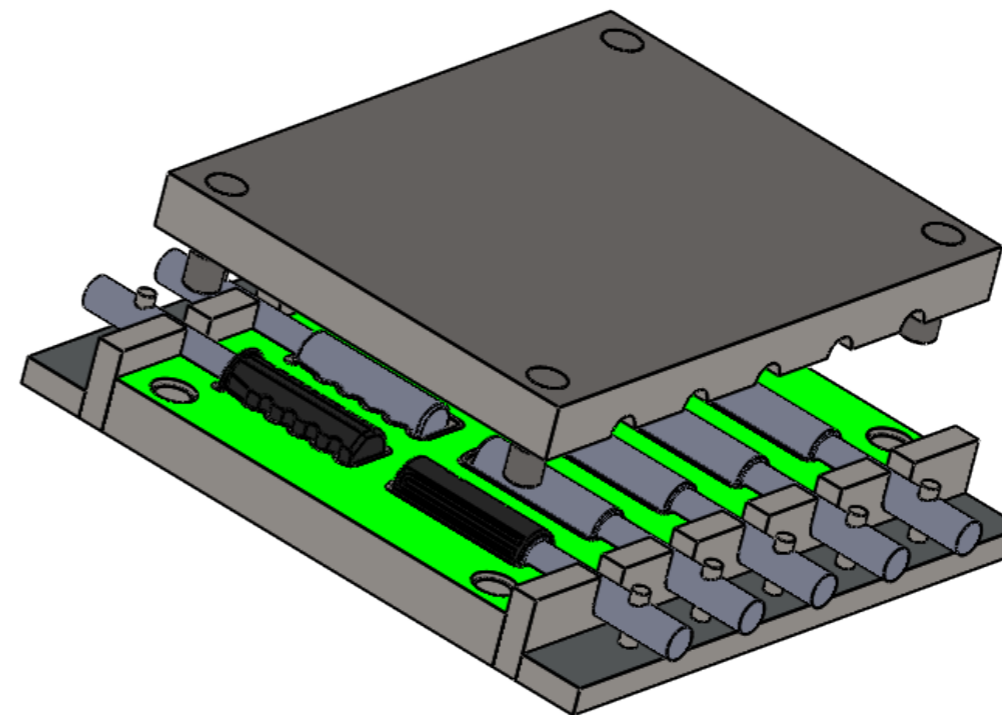
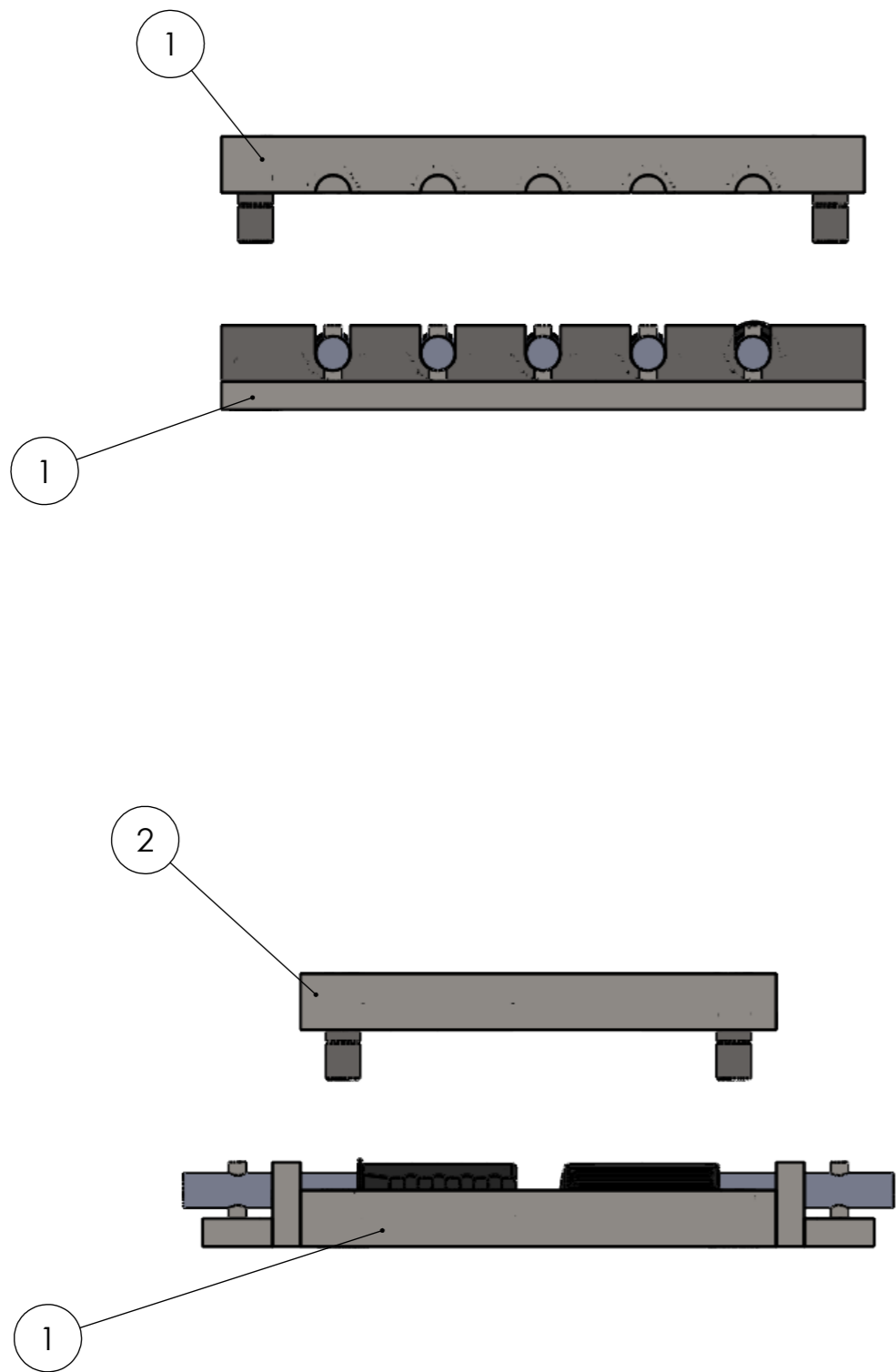
1	1	Pièce moulée 1	caoutchouc	/
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
		Echelle : 1/1	MOULE À 10 EMPREINTES	-MOHAMMEDI MOHAMED -LEHAD MEHDI
			poignée 1	Pro:2019
		A4	UMMTO -FGC-FMP	21-12-2019

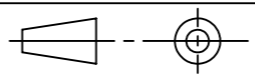


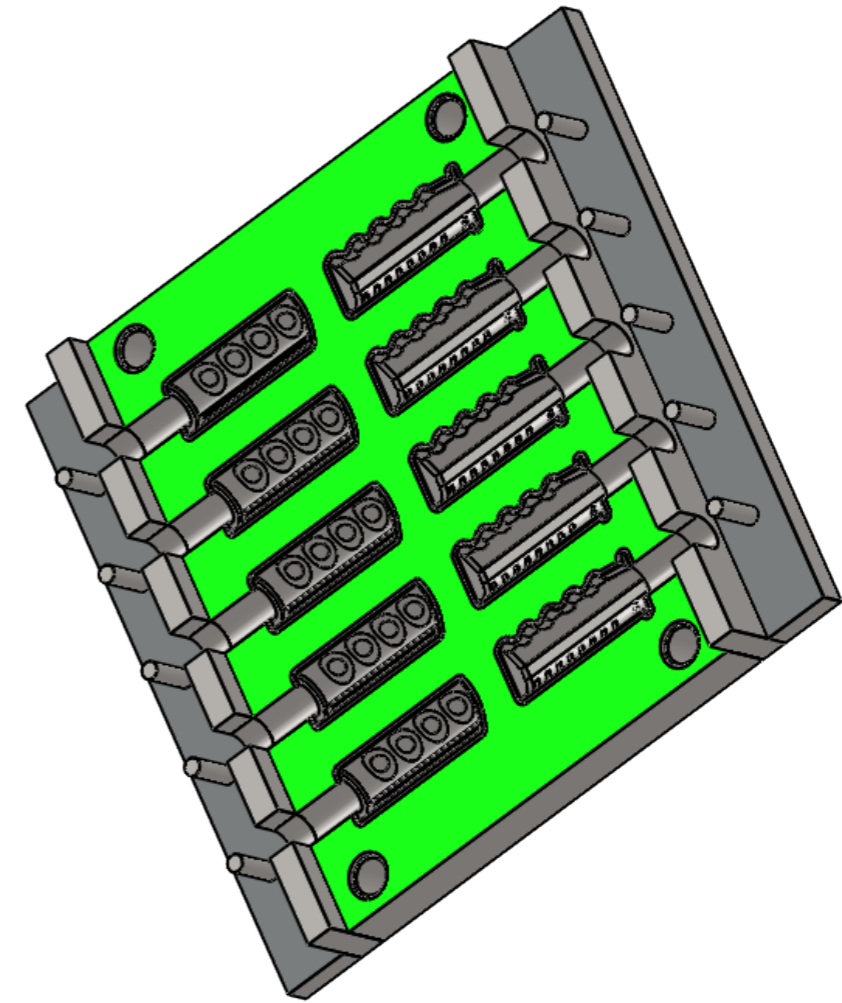
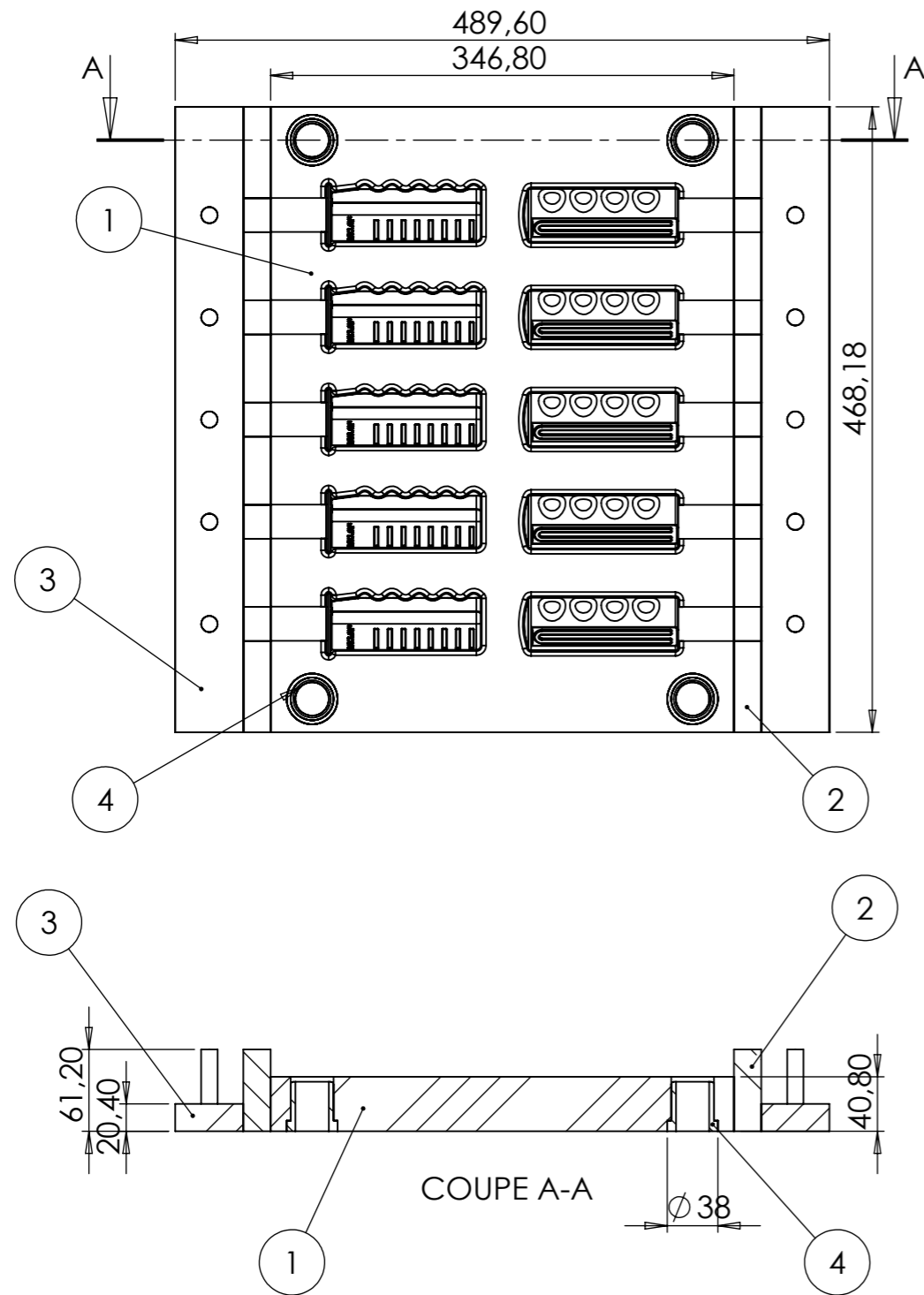
COUPE M-M
ECHELLE 1 : 1



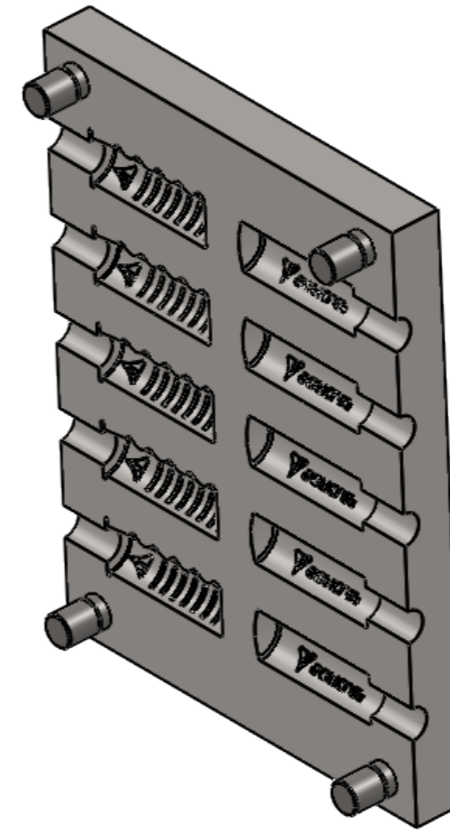
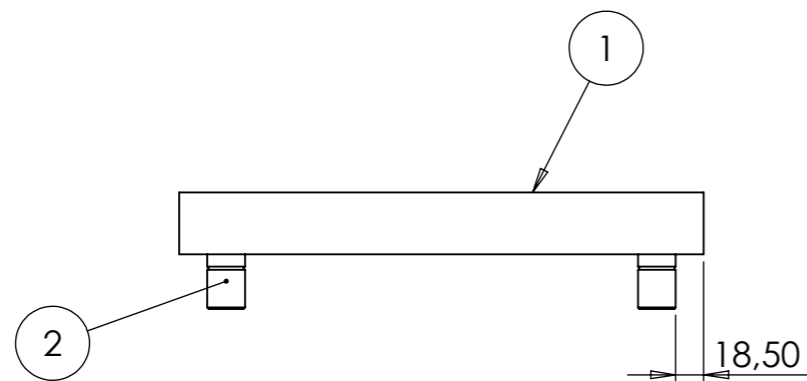
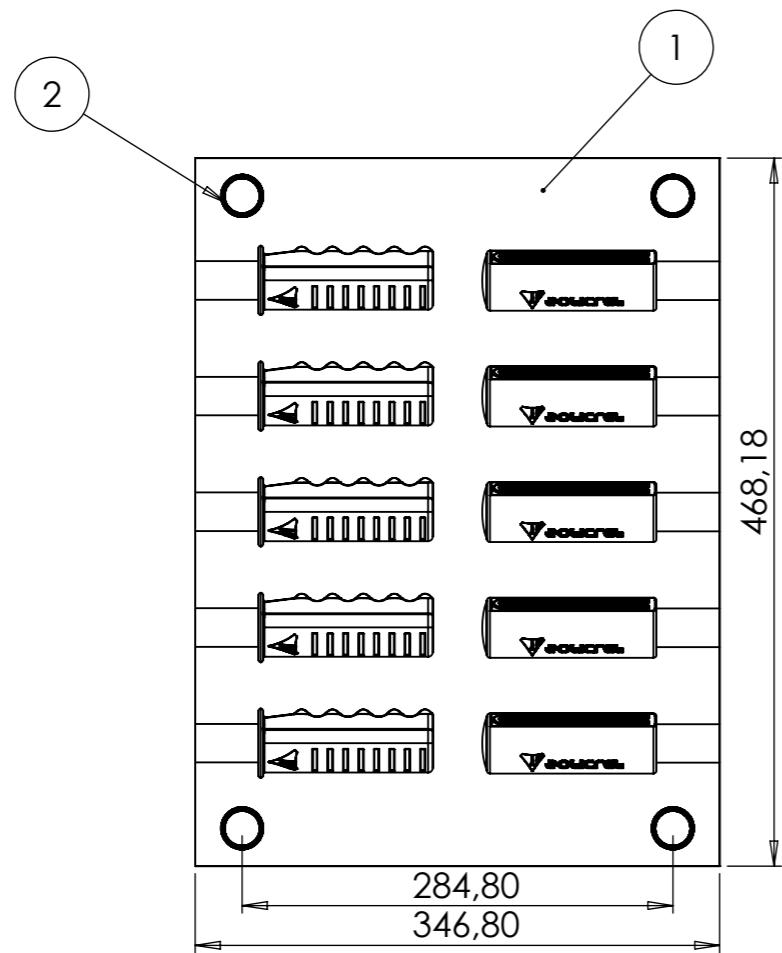
1	1	Pièce moulée 2	caoutchouc	/
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
	Echelle : 1/1	MOULE À 10 EMPREINTES		-MOHAMMEDI MOHAMED -LEHAD MEHDI
		Poignée 2		Pro:2019
	A4	UMMTO -FGC-FMP		21-12-2019

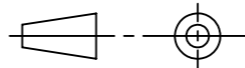


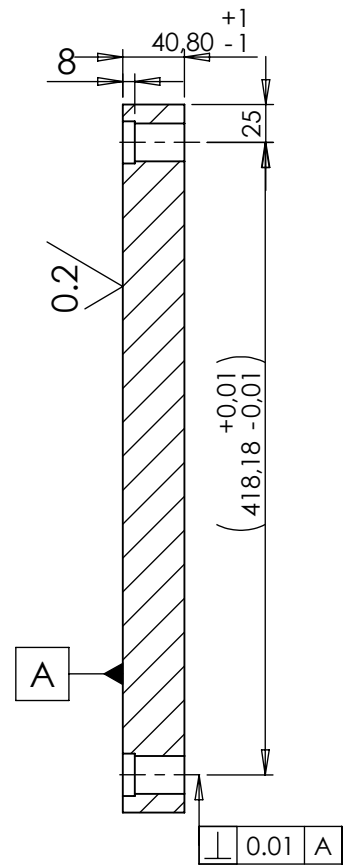
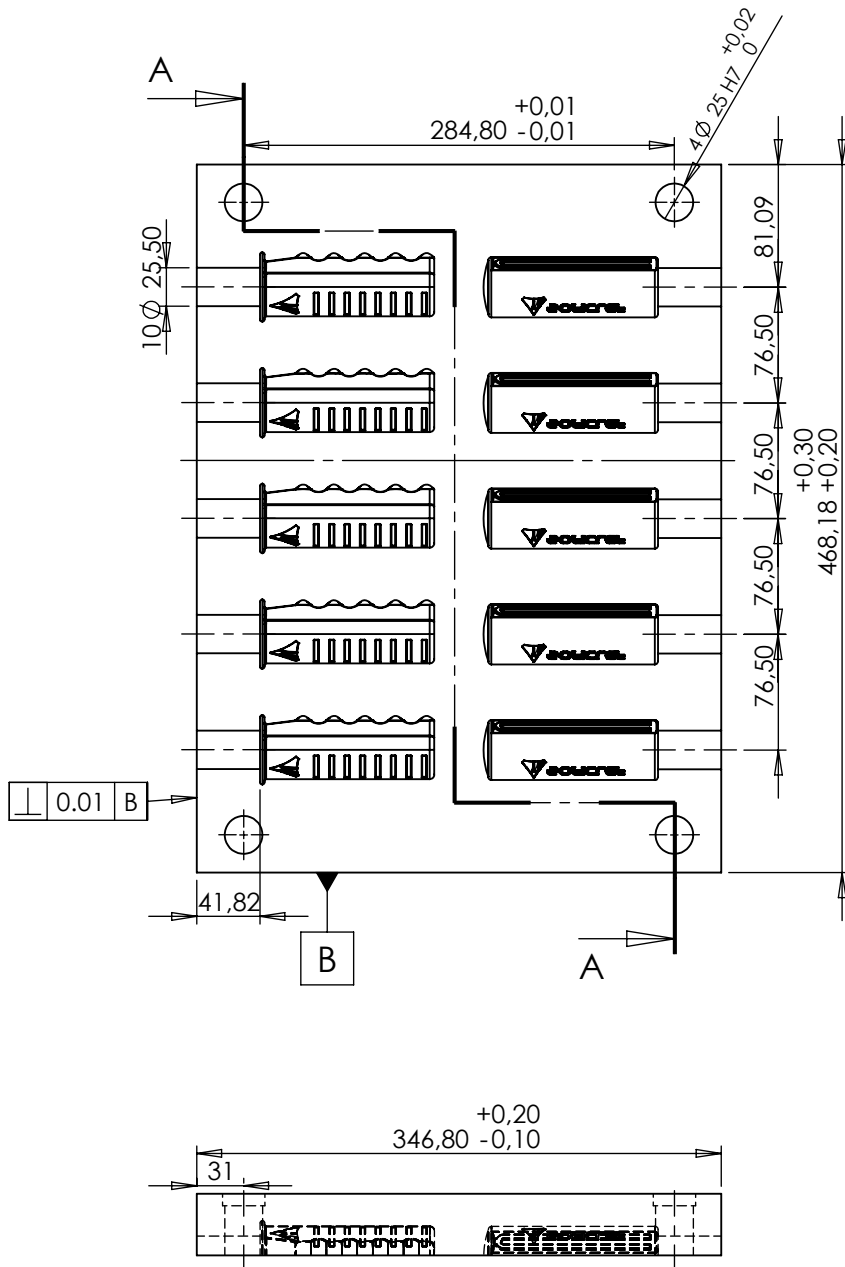
2	1	Partie mobile	/	/
1	1	Partie fixe	/	/
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Obsirvation
Echelle: 1/5		MOULE À 10 EMPREINTES	-MOHAMMEDI Mehamed -LEHAD Mehdi	
				
A3		UMMTO-FGC-FMP	PRO : 2019	
			21-12-19	



4	4	Bague de centrage	XC 48	Trempé
3	2	butées	A60	/
2	2	Plaque de guidage	A60	/
1	1	Empreinte fixe	A60	/
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Obsirvation
Echelle: 1/5		MOULE À 10 EMPREINTES		-MOHAMMEDI Mehamed -LEHAD Mehdi
		Partie fixe		PRO : 2019
A3		UMMTO-FGC-FMP		21-12-19

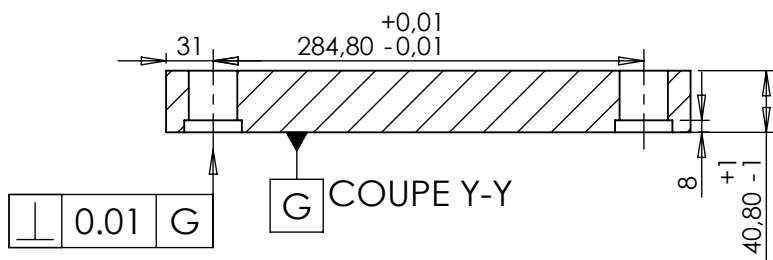
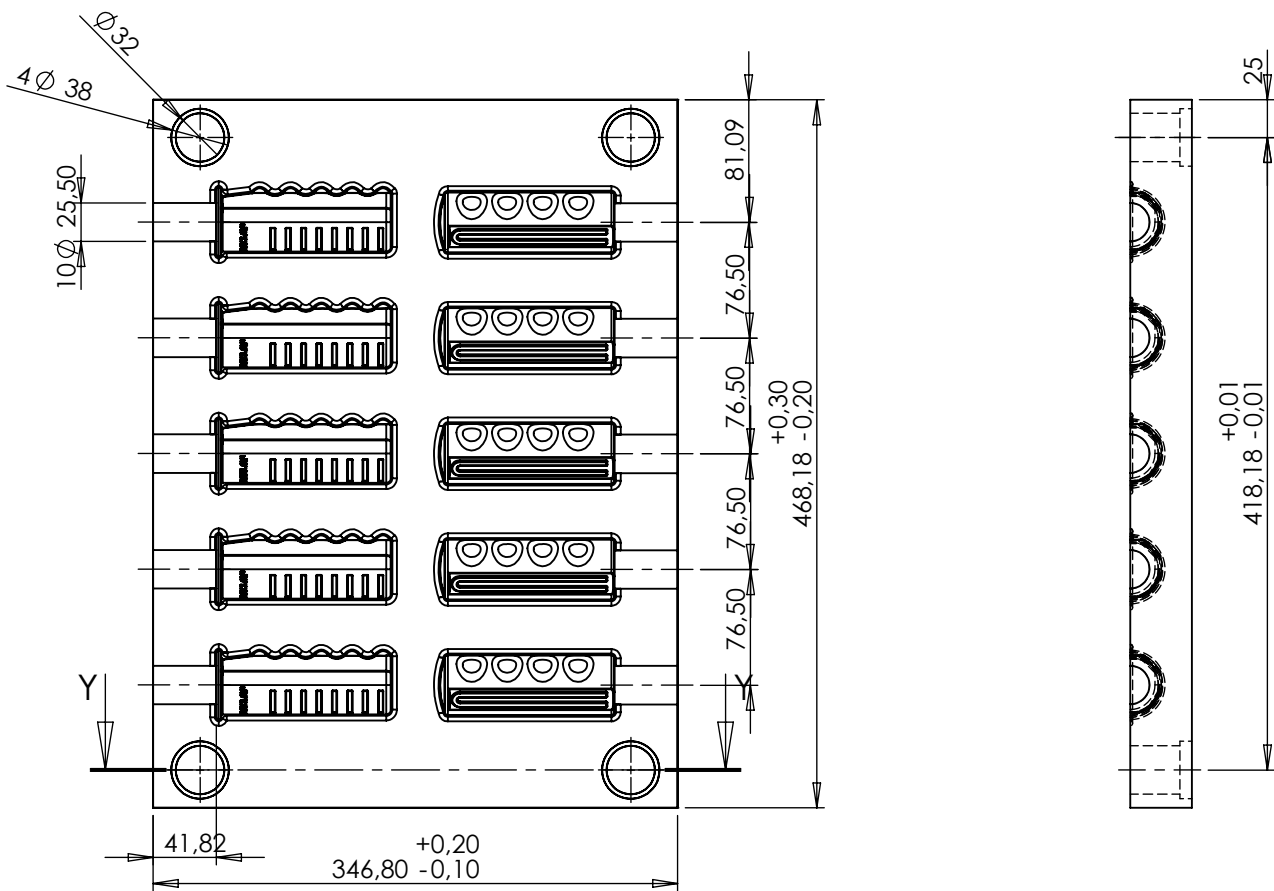


2	4	Colonne de guidage	xc 48	Trempé
1	1	Empreinte mobile	A60	/
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Obsirvation
Echelle: 1/5		MOULE À 10 EMPREINTES		-MOHAMMEDI Mehamed -LEHAD Mehdi
		Partie mobile		PRO : 2019
A3		UMMTO-FGC-FMP		21-12-19

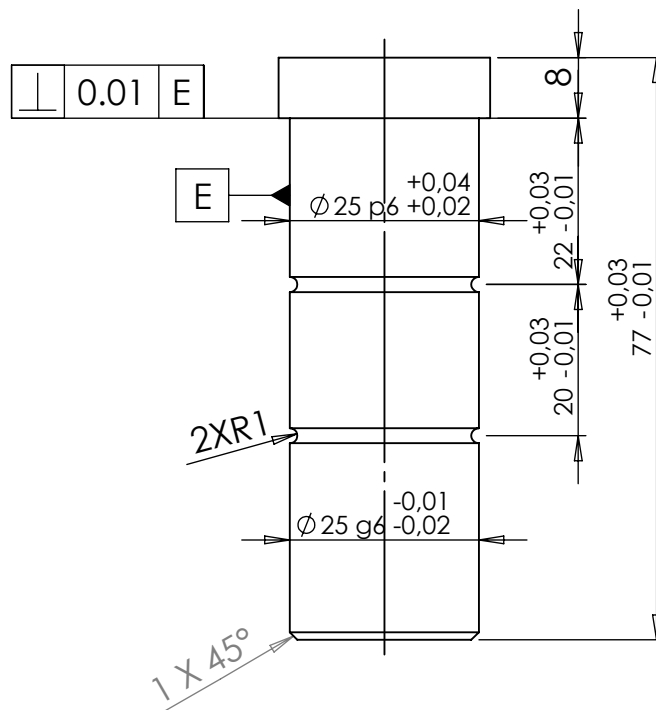
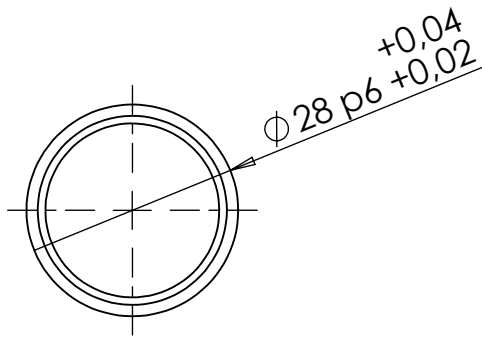


COUPE A-A

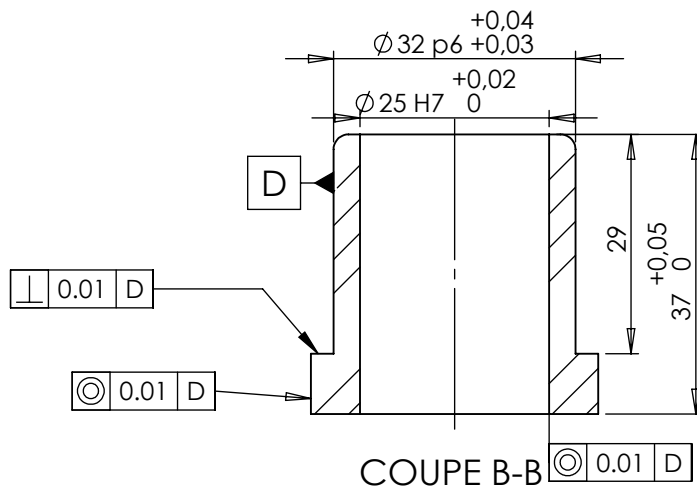
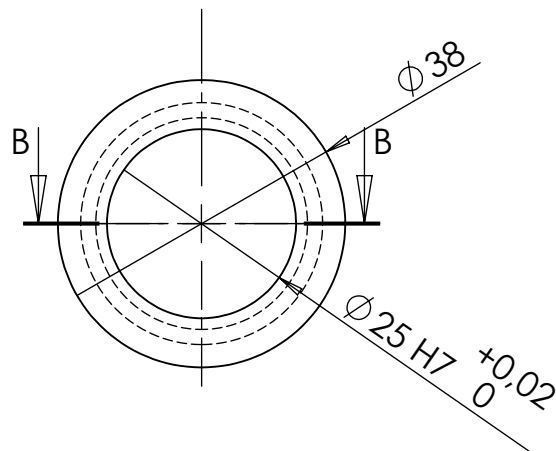
1	1	Empreinte mobile	A60	/
Rep	Nbr	DESIGNATION	Matiere	Obsirvation
Echelle : 1/5		MOULE À 10 EMPREINTES		-MOHAMMED Mohamed -LEHAD Mehdi
		Empreinte mobile		PRO 2019
A4		UMMTO FGC FMP		17/12/2019



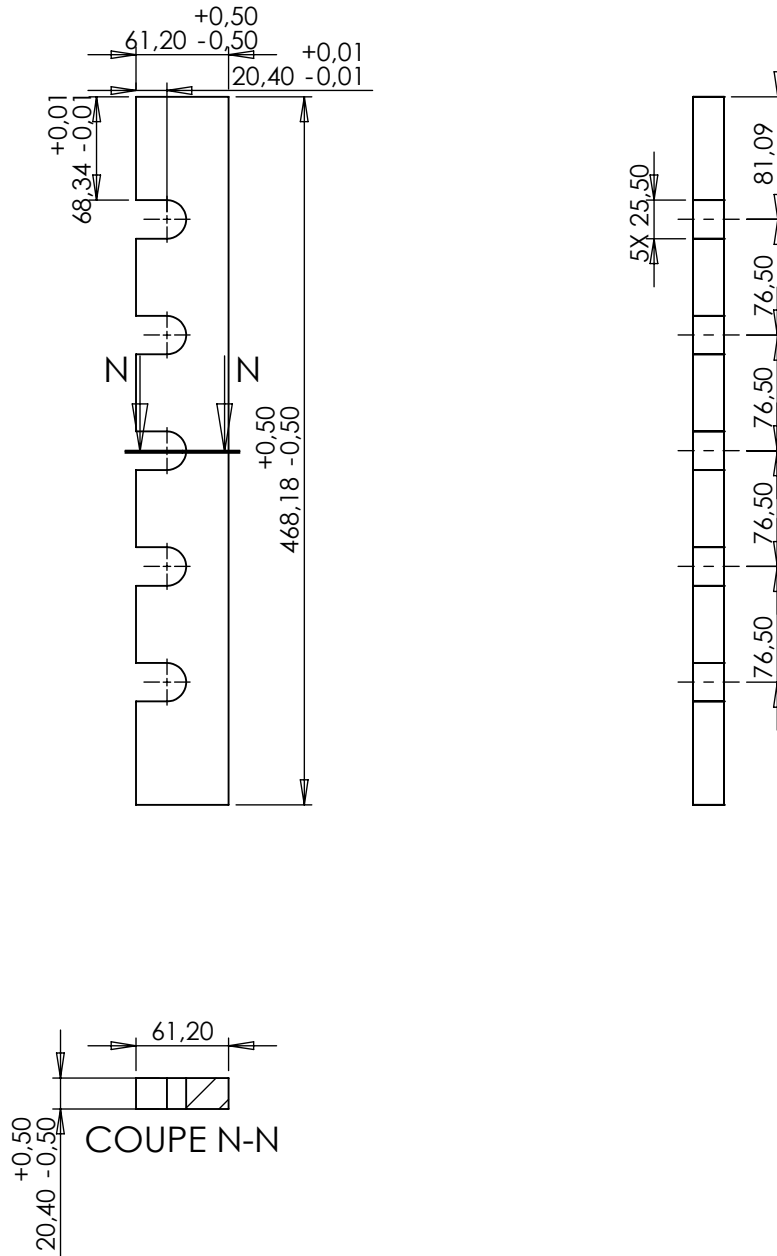
1	1	Empreinte fixe	A60	/
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle : 1/5		MOULE À 10 EMPREINTES		-MOHAMMEDI Mohamed -LEHAD Mehdi
		Empreinte fixe		Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP		21-12-2019



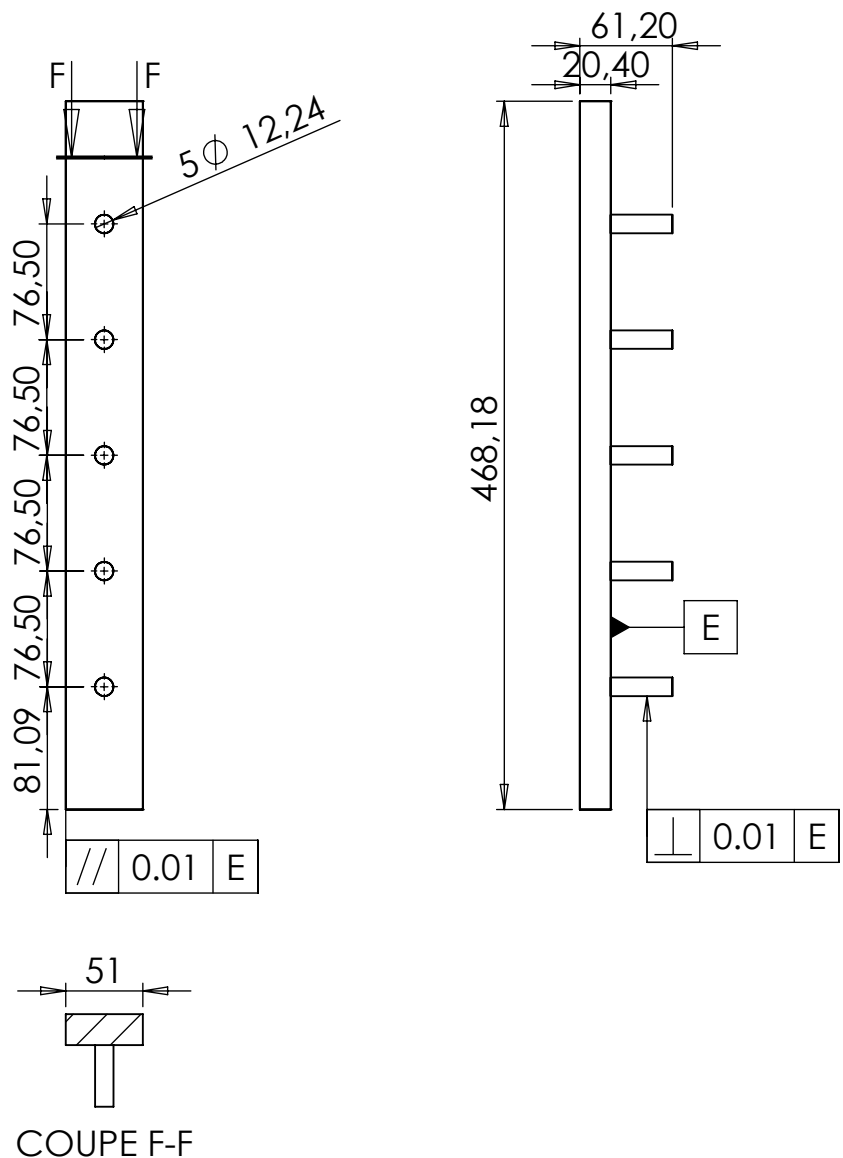
1	4	Colonne de guidage	XC 48	Trempé
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle : 1/1		MOULE À 10 EMPREINTES		-MOHAMMEDI MOHAMED -LEHAD MEHDI
		Colonne de guidage		Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP		21-12-2019



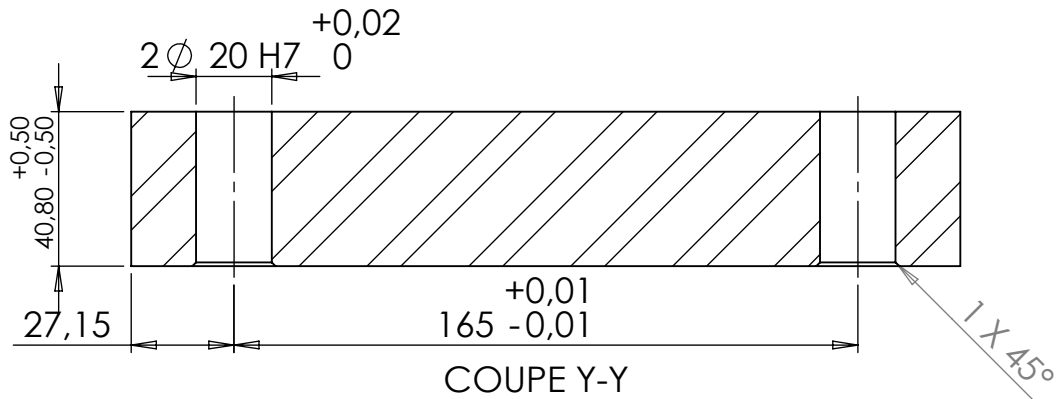
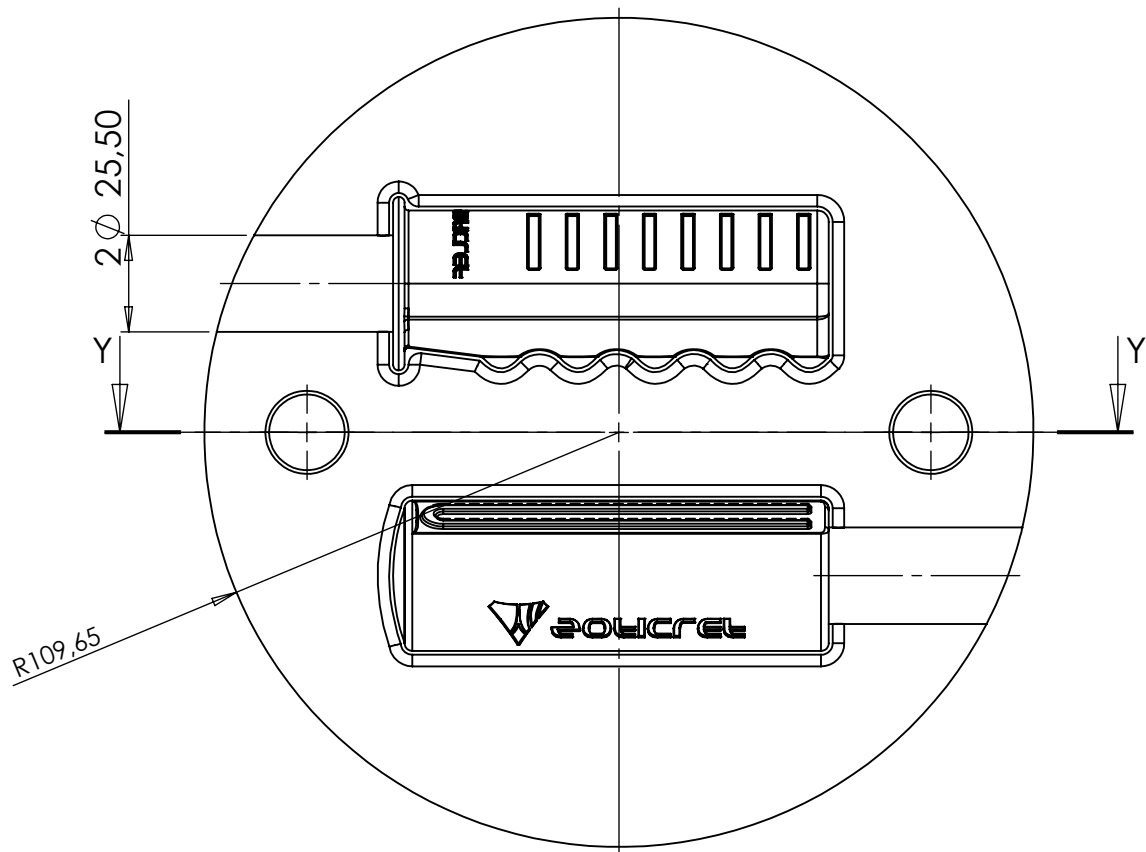
1	4	Bague de centrage	XC 48	/
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle : 1/1		MOULE À 10 EMPREINTES		-MOHAMMEDI Mohamed -LEHAD Mehdi
		Bague de centrage		Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP		21-12-2019

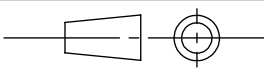


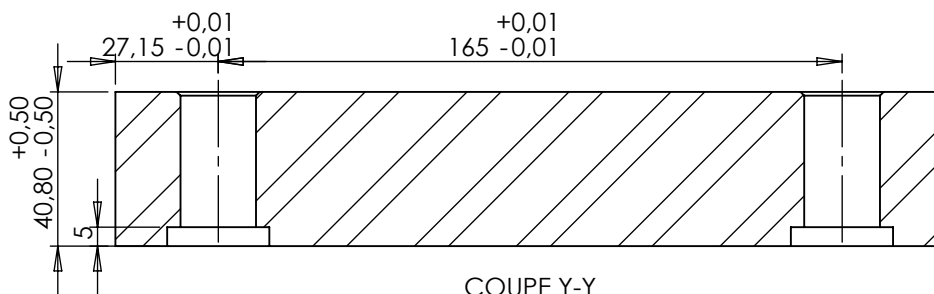
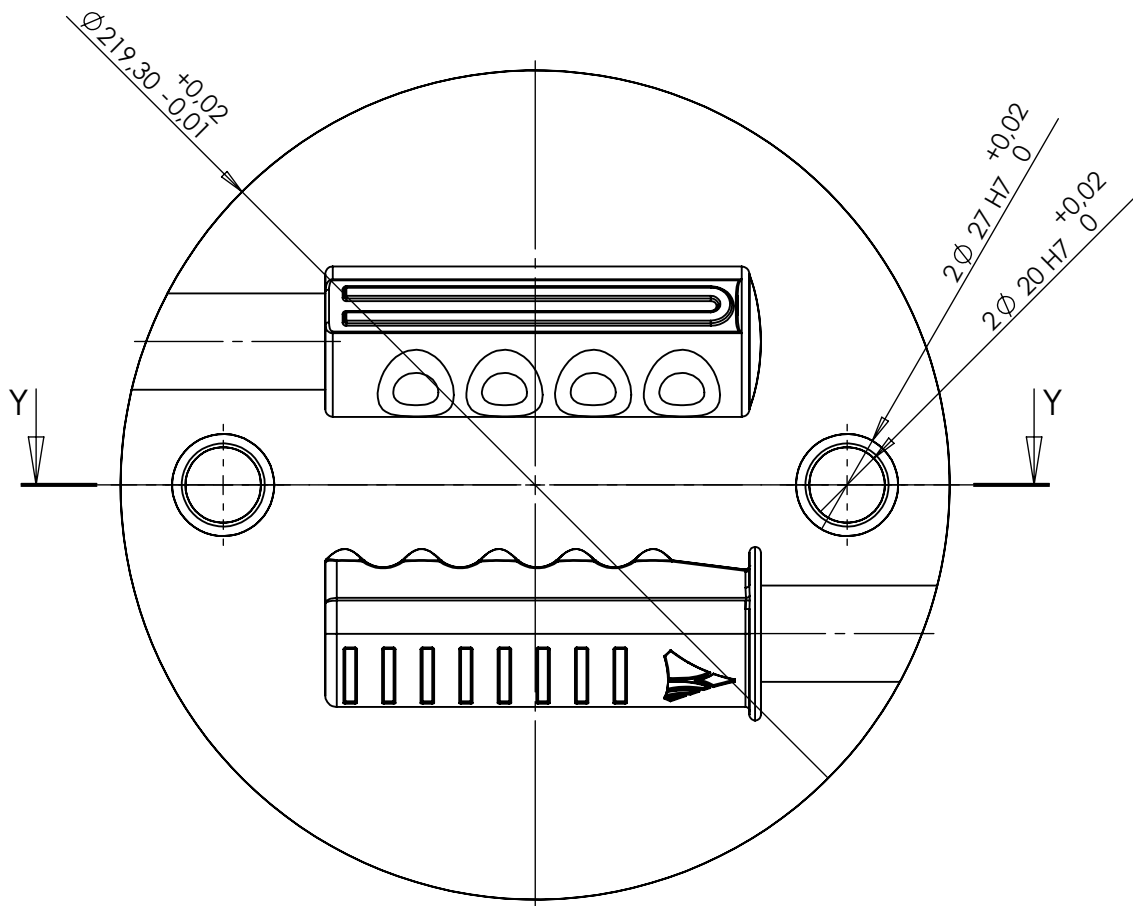
1	2	Plaque de guidage	A 60	/
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle : 1/5		MOULE À 10 EMPREINTES		-MOHAMMEDI Mehamed -LEHAD Mehdi
		Plaque de guidage		Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP		21-12-2019



1	2	Butées	A60	/
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
Echelle: 1/5		MOULE À 10 EMPREINTES		-MOHAMMEDI Mehamed -LEHAD Mehdi
		Butée		Pro:2019
A4		UMMTO -FGC-FMP		2019-10-31



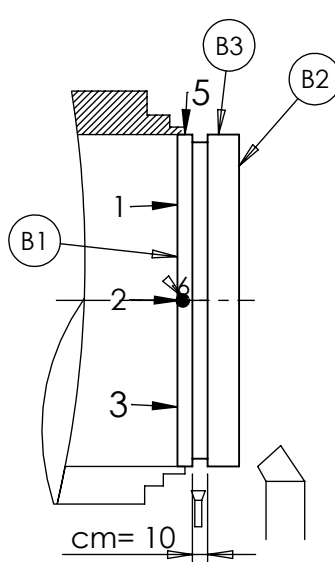
1	1	Empreinte fixe	6061-T4	/
Rep Nbr	Désignation		Matière	Observation
Echelle : 1/2	MOULE À 2 EMPREINTES			-MOHAMMED Mohamed -LEHAD Mehdi
	Empreinte fixe			Pro:2019
A4	UMMTO -FGC-FMP			21-12-2019



COUPE Y-Y
ECHELLE 1 : 2

1	1	Empreinte mobile	6061-T4	/
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
		MOULE À 2 EMPREINTES		-MOHAMMED Mohamed - LEHAD Mehdi
		Empreinte mobile		Pro:2019
	A4	UMMTO -FGC-FMP		21-12-2019

-MOHAMMED Mohamed -LEHAD Mehdi		Feuille d'analyse d'usinage		-nombre : -Matière :aluminium 6061-T6		
21-12-2019		colonne de guidage		-brute :		
N: phase et sous phase		Désignation des phase et sous phase et operation	Machines utilisées	Apparillag es Outils coupants et vérification	croquis de la pièce à ses divers stades d'usinage.	symboles
Ph	S.Ph	préciser : depart,appuis, serrage				appuis: centrage serrage:
100	110	<p>Centrage long 1 pièce en montage référentiel de départ définie par :</p> <ul style="list-style-type: none"> -centrage long en (1, 2 , 3 , 4) sur Brut. -Butee en 1N (5) sur B3 -serage de mondrin -dressage de a en L=77mm -chariotage de b ebauche et finition d=27mm <p>cf=77mm cf=27mm</p>	tour	<p>outil de dressage</p> <p>outil de chariot- age</p>		
	120	<p>Montage mixte 1 pièce en montage référentiel de départ définie par :</p> <ul style="list-style-type: none"> -centrage court en (1, 2) sur b. -Bute en 1N (5) sur a -point mobile en 1N (4 , 5) sur e -serage de mondrin -chariotage de b ebauche et finition d=20mm L=66mm <p>cf=66mm cf=20mm</p>	tour	outil de chariot- age		

-MOHAMMED Mohamed -LEHAD Mehdi		Feuille d'analyse d'usinage		-nombre : -Matière :aluminium 6061-T6		
21-12-2019		Empreinte fixe		-brute :		
N: phase et sous phase		Désignation des phase et sous phase et operation	Machines utilisées	Apparillage s Outils coupants et vérification	croquis de la pièce à ses divers stades d'usinage.	symboles
Ph	S.Ph	déciser : depart,appuis, serrage				appuis: centrage serrage:
100		<p>1 pièce en montage référentiel de départ définie par :</p> <ul style="list-style-type: none"> -appuis plan en 3N (1, 2 , 3) sur B1. -appuis gouttière en 2N (4 , 5) sur B3 -serage de mondrin -dressage de B2 en ebauche et finition -rainure sur B3 <p>cm=10 mm</p>	tour	<p>outil de dressage</p> <p>outil a rainure</p> <p>10 mm</p>		
200		<p>1 pièce en montage référentiel de départ définie par :</p> <ul style="list-style-type: none"> -appuis plan en 3N (1, 2 , 3) sur B1. -2appuis rectiline en 2N (4 , 5) sur A -fixation sur la table par des brides -persage deux trous -fraisage des deux empreintes <p>co=20 mm</p>	<p>fraiseuse 3 axes</p> <p>DMG MORI CMX 1100V</p>	<p>-Fraise deux tailles de : d=10mm d=6mm d=4mm</p> <p>-Fraise deux tailles ball de : d=4mm d=2 mm</p> <p>-Foret d=20mm</p>	