

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou

Faculté de Génie de la Construction.

Département de Génie Mécanique

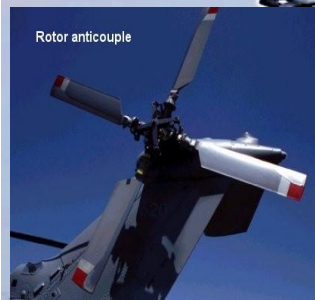
Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Mécanique.

Option : Fabrication Mécanique et Productique.

Thème

Etude et réalisation de joints spi pour le rotor anti-couple d'hélicoptère et l'arbre de la broche d'une fraiseuse.



Dirigé par :

Promoteur : M. BELAID Kamel

Co-Promoteur : M.LAHAOUAZI Hocine

Réalisé par :

M. AIT KACI ARAB Madjid

Année universitaire : 2018/2019

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier en premier lieu Allah, le tout puissant, de m'avoir donné autant de force et de courage afin de mener à bien ce modeste travail.

Mes premiers remerciements, après le bon dieu, vont naturellement à mon directeur de mémoire, Monsieur BELAID Kamel pour ses précieux conseils et son aide. Ce fut un plaisir de travailler avec lui.

Ensuite je tiens à remercier chaleureusement mon oncle Farid qui m'a venu d'aide afin d'enrichir mon travail avec cette expérience professionnelle au sein de l'entreprise E.R.M.Aéro.

Je remercie vivement mon encadreur, Monsieur LAHOVAZI Hocine (Ingénieur en Construction Mécanique « PCE ») chef service bureau d'études au sein de l'entreprise pour ses conseils, le partage de ses compétences ainsi que sa précieuse attention durant mon stage pratique au sein de cette entreprise.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur le directeur général de l'entreprise de rénovation des matériels aéronautiques des forces aériennes algériennes E.R.M.Aéro.

Je tiens à remercier le colonel HAKKAR Abdelhamid qui m'a accepté pour faire mon stage pratique au sein de l'entreprise, Monsieur le directeur de l'unité de fabrication industrielle LT.CO MOKHBI Redha, Monsieur le chef de l'unité de fabrication industrielle LT.CO ABASS pour son encouragement ainsi que sa serviabilité, Monsieur le chef de Division Etude et Méthode, le capitaine BENZID Lekhdar ainsi qu'à toute l'équipe de la Division en particulier au PCE Monsieur KHELOUIA Mohamed qui m'a toujours orienté et

aidé tout au long de mon travail, également Messieurs BOUCHATAL Hamza, BOULEMIA Ahmed et YAICHE Yahia pour leur précieuse aide et orientation, Hamid, IMARAZENE ALI « PCA » et sans oublier Mesdames Meriem, Farida et Amel pour leur encouragement, et à tous les opérateurs en particulier Messieurs Smail, Brahim, Lhadj, Ferhat, l'adjudant MILOUD, etc. Je remercie, particulièrement, le PCE DIDAOUI Nadir pour sa motivation, ses conseils et son soutien. A toute l'équipe de L'E.R.M.Aéro pour son aide, sa patience, dévouement, sympathie, et Attention..., et qui m'a été d'un grand ajout et profit dans mon stage.

Merci également au président du jury d'avoir accepté d'examiner mon travail et d'avoir accepté de présider le jury de mon mémoire ainsi qu'aux membres du jury.

Je tiens aussi à remercier tous les enseignants qui ont assuré ma formation tout au long de mon cursus universitaire, également à toutes les personnes de l'Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou.

Je remercie infiniment mes très chers parents qui m'ont encouragé et aidé à arriver à ce stade de ma formation, mon frère et son épouse, mes sœurs et leurs époux ainsi que tous mes oncles, tantes, cousins et cousines.

Je remercie également tous mes amis (es) sans exception, je ne peux tous les citer, mais je ne peux les oublier.

Je remercie tous les gens de mon passage, que j'ai connus ou rencontrés dans ma vie, sociale et universitaire, et à tous ceux que je n'ai pas cités avec toutes mes excuses.

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance à l'égard de toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail et qu'elles soient chaleureusement remerciées.

Dédicaces

Avant tout propos, je tiens à rendre grâce à Allah qui m'a guidé sur la bonne voie. Ensuite, Je tiens à dédier ce modeste travail à :

Ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne, son amour et soutien ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui. Particulièrement, à mes très chers parents :

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon cher frère et son épouse ainsi que mes chères sœurs et leurs époux qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

Mes oncles et tantes, mes cousins et cousines ainsi que mes neveux et nièces.

Tous mes amis (es), camarades et tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

Mes professeurs de l'UMMTO qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.

Madjid

Liste des abréviations

- BTP = Bâtiment et Travaux Publics
- ISO = International Organization for Standardization
- SAE = Society of Aerospace Engineers
- SPI = Société de Perfectionnement Industriel
- EHD = Elasto HydroDynamique
- PVC = Polyvinyl Chloride
- PTF = PolyTétrFluoroEthylène
- IML = In Mold labelling
- DAO = Dessin Assisté par Ordinateur
- D = Dimension
- DWG = DraWinG (le format natif des fichiers de dessins AutoCAD)
- CAO = Conception Assisté par Ordinateur
- Ø = Diamètre
- MMT = Machine de Mesure Tridimensionnel
- RM = Résistance Mécanique
- HRC = L'unité normalisée pour la dureté Rockwell est l'échelle Rockwell.
- RAC = Rotor Anti Couple
- E.R.M.Aéro = Etablissement de Rénovation des Matériels Aéronautique

Liste des figures

La figure	Le titre	La page
Fig. I.1	Organigramme de l'organisation de l'E.R.M Aéro.	5
Fig. I.2	Organigramme général de la direction technique.	6
Fig. I.3	L'organigramme de « U.F.I ».	7
Fig. I.4	Le circuit de traitement d'une commande.	10
Fig. I.5	Réparation d'une pièce.	11
Fig. II.1	Différents joints d'étanchéité	16
Fig. II.2	Joint mécanique d'un rotor	17
Fig. II.3	Le rôle d'un joint	17
Fig. II.4	Rôle du sceau au niveau de l'arbre	18
Fig. II.5	Joint de tuyauterie	18
Fig. II.6	Joint plat	19
Fig. II.7	Joint torique	19
Fig. II.8	Joint feutre	19
Fig. II.9	Joint sans contact	19
Fig. II.10	Evolution de la consommation des polymères	25
Fig. II.11	Joint sans contact	29
Fig. II.12	Corrosion	31
Fig. II.13	Fissures thermiques	31
Fig. II.14	Désalignement	31
Fig. II.15	Marques de glissement	32
Fig. II.16	Attaques chimiques	32
Fig. II.17	Déformation irréversible	32
Fig. II.18	Déchirement	32
Fig. II.19	Usure mécanique	33
Fig. II.20	Ressort brisé	33
Fig. II.21	Colmatage	33
Fig. II.22	Ressort bloqué	33

Fig. II.23	Vis d'inspection	34
Fig. II.24	Gauchissement de l'arbre	34
Fig. II.25	Le joint SPI	34
Fig. II.26	Comparaison entre les surfaces des lèvres [HOR92]	35
Fig. II.27	Concept d'étanchéité [KAM86]	36
Fig. II.28	Composition du joint SPI	37
Fig. II.29	Joint double lèvres	37
Fig. II.30	Quelques emplacements du joint SPI	38
Fig. II.31	Matière d'un joint SPI	39
Fig. II.32	Fuite du joint	39
Fig. III.1	Une pièce thermoplastique fabriquée par moulage	44
Fig. III.2	Exemples de pièces obtenues par injection plastique	45
Fig. III.3	Principe de l'injection plastique	45
Fig. III.4	Les parties constituantes d'une Presse d'injection	46
Fig. III.5	Architecture d'un moule d'injection plastique	47
Fig. III.6	Moule d'injection plastique (composants)	47
Fig. III.7	Fermeture du moule	48
Fig. III.8	Verrouillage	48
Fig. III.9	Injection	48
Fig. III.10	Refroidissement	48
Fig. III.11	Ouverture du moule	48
Fig. III.12	Architecture d'une vis d'injection plastique	49
Fig. III.13	Vis pour matière amorphe	49
Fig. III.14	Vis pour matière semi cristalline	49
Fig. III.15	Différents types d'injection plastique	50
Fig. III.16	Articles obtenus par extrusion (profilés)	51
Fig. III.17	Extrudeuse mono vis	51
Fig. III.18	Les différentes phases d'extrusion	52
Fig. III.19	Objets mis en œuvre par thermoformage	53
Fig. III.20	« Formage par vide » et « Formage par vide et air comprimé »	53
Fig. III.21	Les machines de thermoformage	54
Fig. III.22	Les différentes phases du thermoformage	55

Fig. III.23	Articles mis en œuvre par roto moulage	56
Fig. III.24	Exemple de poste de roto moulage	57
Fig. III.25	Les différentes phases d'obtention d'une pièce par roto moulage	57
Fig. III.26	Articles mis en œuvre par calandrage	59
Fig. III.27	Schéma de principe d'une chaîne de calandrage	60
Fig. III.28	Différents types de chaînes de calandrage	60
Fig. III.29	Injection soufflage	61
Fig. III.30	Extrusion soufflage	62
Fig. III.31	La compression	62
Fig. III.32	Le polystyrène expansé	63
Fig. IV.1	Composition d'un hélicoptère	66
Fig. IV.2	Hélicoptère CH-47 Chinook	66
Fig. IV.3	Hélicoptère Ka-50 Hokum	67
Fig. IV.4	Hélicoptère Mi-171 Sh	68
Fig. IV.5	Hélicoptère Mi-24	68
Fig. IV.6	Rotor anti-couple d'un hélicoptère	70
Fig. IV.7	Rotor anti-couple décomposé (réel)	70
Fig. IV.8	Emplacement du joint SPI	71
Fig. IV.9	Conception du joint SPI sous AutoCAD en 2D	74
Fig. IV.10	Conception de l'armature sous AutoCAD en 2D	75
Fig. IV.11	Conception du joint SPI sous SolidWorks en 3D	76
Fig. IV.12	Conception de la matrice supérieure sous AutoCAD en 2D	77
Fig. IV.13	Conception de la matrice inférieure sous AutoCAD en 2D	78
Fig. IV.14	Conception du noyau sous AutoCAD en 2D	79
Fig. IV.15	Conception de la matrice supérieure sous SolidWorks en 3D	80
Fig. IV.16	Conception de la matrice inférieure sous SolidWorks en 3D	81
Fig. IV.17	Conception du noyau sous SolidWorks en 3D	82
Fig. IV.18	Conception du dessin d'ensemble pour moule à joint SPI du rotor anti couple sous AutoCAD en 2D	83
Fig. IV.19	Conception du dessin d'ensemble pour moule à joint SPI du rotor anti-couple sous SolidWorks en 3D	84
Fig. IV.20	Fiche suiveuse de fabrication du moule	95
Fig. IV.21	Gammes d'opération pour la réalisation du moule	86

Fig. IV.22	Fabrication du moule	87
Fig. IV.23	Le moule réalisé	88
Fig. IV.24	L'armature réalisée	88
Fig. IV.25	La machine qui a réalisé le moule	90
Fig. IV.26	la presse de marque « Gumix »	91
Fig. IV.27	La gomme utilisée	92
Fig. IV.28	Joint obtenu après le moulage par compression	92
Fig. IV.29	Les différents instruments de mesure	93
Fig. IV.30	Microscope électronique de mesure	93
Fig. IV.31	Machine de mesure tridimensionnelle sans contact	94
Fig. V.1	Détérioration des deux joints SPI se trouvant dans les deux logements séparés de l'arbre de la broche au niveau de la fraiseuse	96
Fig. V.2	Broche de la fraiseuse	97
Fig. V.3	Conception de l'arbre en 2D	98
Fig. V.4	Conception de l'arbre en 3D	99
Fig. V.5	Conception du petit socle en 2D	100
Fig. V.6	Conception du grand socle en 2D	100
Fig. V.7	Conception du petit socle en 3D	101
Fig. V.8	Conception du grand socle en 3D	102
Fig. V.9	Conception du grand joint SPI en 2D	103
Fig. V.10	Conception du grand joint SPI en 2D	104
Fig. V.11	Conception du grand joint SPI en 3D	105
Fig. V.12	Conception de la matrice inférieure en 2D	106
Fig. V.13	conception de la matrice supérieure en 2D	107
Fig. V.14	Conception du noyau en 2D	108
Fig. V.15	Dessin d'assemblage du grand joint SPI de la fraiseuse et de son moule associés en 2D	109
Fig. V.16	Conception de la matrice inférieure en 3D	110
Fig. V.17	Conception de la matrice supérieure en 3D	110
Fig. V.18	Conception du noyau en 3D	111
Fig. V.19	Dessin d'assemblage du grand joint SPI de la fraiseuse et de son moule associés en 3D	111
Fig. V.20	Fiche suiveuse de fabrication du moule	113

Fig. V.21	Gammes d'opération pour la réalisation du moule	114
Fig. V.22	Première étape d'usinage de la matrice inférieure en 2D	115
Fig. V.23	Dressage et de chariotage de la matrice inférieure	116
Fig. V.24	Deuxième étape d'usinage de la matrice inférieure en 2D	117
Fig. V.25	Opération d'alésage	118
Fig. V.26	Troisième étape d'usinage de la matrice inférieure en 2D	119
Fig. V.27	L'usinage du dessin indiqué sur le schéma 2D précédent	120
Fig. V.28	La machine numérique (Tour semi-automatique)	121
Fig. V.29	Quatrième étape d'usinage de la matrice inférieure en 2D	122
Fig. V.30	Réalisation des chanfreins	123
Fig. V.31	Première étape d'usinage de la matrice supérieure en 2D.	124
Fig. V.32	Chariotage et dressage de la matrice supérieure	125
Fig. V.33	Deuxième étape d'usinage de la matrice supérieure en 2D	126
Fig. V.34	Troisième étape d'usinage de la matrice supérieure en 2D	127
Fig. V.35	Alésage de la matrice supérieure	128
Fig. V.36	Quatrième étape d'usinage de la matrice supérieure en 2D	129
Fig. V.37	Première étape d'usinage du noyau en 2D	130
Fig. V.38	Chariotage et dressage du noyau	131
Fig. V.39	Deuxième étape d'usinage du noyau en 2D	132
Fig. V.40	Troisième étape d'usinage du noyau en 2D	133
Fig. V.41	L'usinage de la forme indiquée sur le dessin 2D précédent	134
Fig. V.42	Quatrième étape d'usinage du noyau en 2D	135
Fig. V.43	Réalisation du chanfrein du noyau	136
Fig. V.44	Première étape d'usinage de l'armature en 2D	137
Fig. V.45	Dressage de l'armature	138
Fig. V.46	Deuxième étape d'usinage de l'armature en 2D	139
Fig. V.47	Perçage de l'armature	140
Fig. V.48	Troisième étape d'usinage de l'armature en 2D	141
Fig. V.49	Usinage de l'armature	142
Fig. V.50	Le moule obtenu pour le grand joint SPI de la fraiseuse	143
Fig. V.51	Le moule rectifié	144
Fig. V.52	La gomme brute	144

Fig. V.53	Maintenir la gomme dans les conditions citées au-dessus	145
Fig. V.54	Mettre la gomme dans le malaxeur	145
Fig. V.55	La machine « Malaxeur »	146
Fig. V.56	Les plaques planes de gomme obtenues	146
Fig. V.57	Machine sableuse	147
Fig. V.58	Sablage de l'armature	147
Fig. V.59	La colle « LEIKONAT »	148
Fig. V.60	Application de la colle « LEIKONAT » sur l'armature	149
Fig. V.61	Enrobage de la gomme sur l'armature	149
Fig. V.62	Remplissage de l'empreinte du moule par le bourrage de la gomme	150
Fig. V.63	Le baromètre mesurant la pression	150
Fig. V.64	La machine « Presse hydraulique »	151
Fig. V.65	Compression de la matrice sur le moule	151
Fig. V.66	L'extraction du moule	152
Fig. V.67	Opération de démoulage	152
Fig. V.68	Joint SPI obtenu par la vulcanisation avant ébavurage	153
Fig. V.69	Joint SPI réalisé après ébavurage avec son moule associé	153
Fig. V.70	instruments de mesures	154
Fig. V.71	Microscope électronique	154
Fig. V.72	Machine de mesure tridimensionnelle	155
Fig. V.73	Tournage de la machine pendant 8heures	156
Fig. V.74	Four et bain d'huile pour le traitement thermique	157
Fig. V.75	Cycle thermique du traitement de trempe	157
Fig. V.76	Refroidissement des pièces	159
Fig. V.77	Machine à mesure de dureté	159
Fig. V.78	Cycle thermique du traitement de recuit	161

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau II.1	Tableau de synthèse des caoutchoucs	22
Tableau II.2	Domaines d'application des polymères	26
Tableau II.3	Table des matériaux standards	27
Tableau II.4	Table des matériaux hors standards	28
Tableau II.5	Tableau montrant la durée de vie des matériaux	30
Tableau III.1	Tableau des matériaux pour la fabrication des moules	43
Tableau III.2	Tableau des différentes phases d'une réalisation de pièces par roto moulage	58
Tableau V.1	Composition chimique et mécanique de « l'acier 42CD4 »	112
Tableau V.2	Equivalence de « l'acier 42CD4 » en fonction des normes	112
Tableau V.3	Tableau représentant le temps de maintien pour la trempe des pièces citées	158
Tableau V.4	Temps de maintien en fonction de la température et de l'épaisseur	160

Table des matières

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre 1 : Présentation générale de l'entreprise.

I.1. Adresse de l'entreprise	3
I.2. Historique sur l'entreprise E.R.M Aéro	3
I.3. Mission de l'E.R.M Aéro	4
I.4. Fonctionnement de l'entreprise	4
I.5. L'organisation de l'E.R.M Aéro	5
I.6. L'organigramme général de la direction technique	6
I.7. L'unité de Fabrication Industrielle « U.F.I »	7
I.7.1. Présentation de l'U.F.I	7
I.7.2. L'organigramme de l'U.F.I	7
I.7.3. Mission de l'U.F.I	8
I.7.4. Activités de l'U.F.I	8
I.7.5. Produit de l'U.F.I	9
I.7.6. Le circuit de traitement d'une commande	10
I.7.7. Dans le cas de la réparation d'une pièce	11
I.8. Différentes divisions et ateliers de l'U.F.I	12
I.8.1. Partie soutien de l'U.F.I	12
I.8.2. partie production de l'UFI	13

Chapitre 2 : Généralité sur les joints d'étanchéité.

II.1. Introduction	16
II.2. Généralités sur les joints	16
II.3. Le rôle des joints	17
II.4. Les différents emplacements des joints	18
II.4.1. Les joints statiques	18
II.4.2. Les joints dynamiques	19
II.5. La matière des joints	20
II.5.1. Les thermoplastiques	20
II.5.2. Les thermodurcissables	20
II.5.3. Les élastomères	20
II.6. Les propriétés et comportement des matières plastiques	22
II.6.1. Propriétés thermiques et physiques	24
II.6.2. Amélioration des propriétés des matières plastiques	25
II.6.3. Domaine d'application de la matière plastique	25

II.7.	Les matériaux utilisés dans la fabrication des joints	26
II.8.	Autres composants des joints	29
II.9.	La durée de vie des joints	30
II.10.	Causes et conséquences d'anomalies des joints et les mesures à prendre	31
II.11.	Joints SPI	35
II.11.1.	Histoire des joints à lèvres et leur approche expérimentale	35
II.11.2.	Définition des joints SPI	37
II.11.3.	Conditions d'utilisation	38
II.11.4.	Rôle des joints à lèvres	38
II.11.5.	Leurs emplacements	38
II.11.6.	La matière des joints SPI	39
II.11.7.	Les conséquences en cas d'anomalies	39
II.12.	Conclusion	40

Chapitre 3 : La mise en forme des matières plastiques par moulage.

III.1.	Introduction	41
III.2.	Définition d'un moule	41
III.2.1.	Son principe	41
III.2.2.	Types de moule	41
III.2.3.	Le choix des matériaux des moules	42
III.3.	Le moulage	43
III.3.1.	Définition du moulage	43
III.3.2.	L'art du moulage	44
III.4.	La mise en forme des matières plastiques	44
III.5.	Le procédé d'injection des matières plastiques	45
III.5.1.	Définition	45
III.5.2.	Principe de l'injection plastique	45
III.5.3.	Les Presses d'injection plastique	46
III.5.4.	Outillages d'injection (moule)	46
III.5.5.	Les phases d'injection	48
III.5.6.	La vis de plastification	49
III.5.7.	Paramètres d'injection	51
III.5.8.	Autres types d'injection	51
III.6.	Le procédé d'extrusion	51
III.6.1.	Introduction	51
III.6.2.	L'extrudeuse mono vis	51
III.6.3.	Les phases d'extrusion	52
III.7.	Le procédé du thermoformage	52
III.7.1.	Introduction	52
III.7.2.	Principe	53
III.7.3.	Les machines de thermoformage	53
III.7.4.	Les phases du thermoformage	54
III.8.	Le roto moulage	56
III.8.1.	Introduction	56

III.8.2. Principe	56
III.8.3. Machines de roto moulage	56
III.8.4. Les phases du roto moulage	57
III.9. Le calandrage	59
III.9.1. Introduction	59
III.9.2. Principe du procédé	59
III.9.3. Les chaînes de calandrage	60
III.10. L'injection soufflage	61
III.10.1. Introduction	61
III.10.2. L'extrusion soufflage	61
III.11. La compression	62
III.12. Le polystyrène expansé	62
III.13. La vulcanisation du joint	63
III.13.1. Définition de la vulcanisation	63
III.13.2. But de la vulcanisation	63
III.13.3. Différentes étapes de fabrication d'un joint	63
III.13.4. Préparation de la gomme	64
III.13.5. Le moulage par compression	64
III.13.6. La vulcanisation des caoutchoucs et des silicones	64
III.14. Conclusion	64

Chapitre 4 : Conception et réalisation d'un joint spi du rotor anti couple des hélicoptères « MI24 hind » et « MI171 SH ».

IV.1. Introduction	65
IV.2. L'hélicoptère	65
IV.2.1. Définition d'un hélicoptère	65
IV.2.2. Composition	65
IV.2.3. Maintenance et entretien d'un hélicoptère	69
IV.2.4. Définition d'un rotor anti couple	69
IV.2.5. Emplacement du joint SPI	71
IV.3. Conception du joint SPI et son Moule	72
IV.3.1. Logiciel de conception AutoCAD	72
IV.3.2. Logiciel de conception SolidWorks	72
IV.3.3. Conception du joint SPI du rotor anti-couple des hélicoptères « MI-24 HIND, MI171 SH »	74
IV.3.4. Réalisation du moule dans l'atelier de fabrication	85
IV.3.5. La machine qui a réalisé le moule	89
IV.3.6. Définition du tournage	90
IV.4. Réalisation du joint SPI avec le moulage par compression	90
IV.4.1. Description de la presse	90
IV.4.2. Type de gomme utilisé pour le joint SPI	91
IV.5. Contrôle du joint	93
IV.5.1. Description de la machine « Microscope électronique »	94
IV.5.2. Machine de mesure tridimensionnelle sans contact « caméra optique »	94
IV.6. Conclusion	95

Chapitre 5 : Conception et réalisation des deux joints SPI d'une fraiseuse.

V.1.	Introduction	96
V.2.	Positionnement du problème	96
V.3.	La fraiseuse	97
	V.3.1. Définition	97
	V.3.2. Broche de la fraiseuse	97
	V.3.3. Conception de l'arbre	98
	V.3.4. Conception des deux logements (socles) des joints SPI	100
	V.3.5. Conception du grand joint SPI de la fraiseuse	102
	V.3.6. Conception du moule associé	106
	V.3.7. La fiche suiveuse de fabrication du moule dans l'atelier	113
	V.3.8. Les étapes d'usinages établies par le bureau de méthodes pour la fabrication de ce moule	114
	V.3.9. Passage à la rectification du moule obtenu	143
	V.3.10. Les différentes opérations de production du joint SPI	144
	V.3.11. Contrôle du joint SPI	154
	V.3.12. Le traitement thermique	156
V.4.	Conclusion	162
	Conclusion générale	163

Introduction générale

Introduction générale

Dans l'industrie mécanique, les joints d'étanchéité, appelés également « Garnitures Mécaniques », jouent un rôle très important qui consiste à empêcher les fuites des liquides ou des gaz, dues au phénomène de lubrification ou de graissage, qui est un ensemble de techniques permettant de réduire les frottements et l'usure entre deux éléments en contact et en mouvement l'un par rapport à l'autre. Elle permet souvent d'évacuer une partie de l'énergie thermique engendrée par ce frottement, ainsi que d'éviter la corrosion. Ceci nous a induit à mener une étude sur les joints d'étanchéité afin de les concevoir et les réaliser dans le but d'empêcher ces fuites.

La matière des joints d'étanchéité est basée généralement sur les polymères vue que, durant les soixante dernières années, ces matériaux ont beaucoup évolués avec une expansion de production mondiale qui atteint les 140 millions tonnes par an, désormais on les trouve dans divers domaines à savoir l'aéronautique, l'automobile, l'emballage, le bâtiment, les équipements électriques et électroniques. Aujourd'hui les matériaux polymères ont envahie notre univers quotidien, ce qui est due principalement à leurs fiabilités, faible coût, reproductibilités mécaniques, le rapport qualité-prix, leurs excellentes propriétés mécaniques et leurs durabilités, La facilité de mise en œuvre, l'obtention d'un bon aspect, gain sur le poids et suppression des problèmes de corrosion liés aux aciers.

C'est dans ce cadre que se situe le thème de notre mémoire de fin d'étude, qui nous a été proposé par la division études et méthodes de l'entreprise E.R.M Aéro, et qui porte sur la réalisation d'un joint SPI du rotor anti-couple des hélicoptères de type « MI-24 Hind » et « MI-171 SH » suivant le support technique du constructeur Russe de cet appareil durant sa révision générale.

Au cours de notre travail effectué, une machine de production, au niveau de l'atelier de fabrication, est tombée en panne. Nous avons effectué une inspection complète de cette machine qui est une fraiseuse, avec le service maintenance, ce qui nous a permis de trouver l'anomalie au niveau de la broche suite à une fuite d'huile due à la détérioration des deux joints SPI. Le directeur d'unité de fabrication de l'entreprise nous a demandé de réparer cette panne afin de rendre cette machine fonctionnelle sachant que cette dernière date des années 80 et son support technique établi par le constructeur n'existe plus, ce qui constitue une tâche difficile et une problématique pour laquelle nous devrions apporter une solution

Le problème réside dans la non disponibilité des dimensions exactes des joints pour pouvoir les réaliser, ce qui nous a poussé à mesurer ces dimensions directement sur les organes de la fraiseuse au niveau de la broche et de suivre par la suite la procédure de réalisation des joints du rotor anti-couple afin de fabriquer les joints en question.

Afin de mener à bien notre travail, nous avons établi un plan qui s'articule sur cinq parties essentielles :

Le premier chapitre inclue la présentation de l'entreprise de rénovation des matériels aéronautique E.R.M Aéro.

Le deuxième chapitre traite les différents types de joints d'étanchéité, leurs rôles ainsi que les polymères utilisés pour la fabrication de ces derniers.

Le troisième chapitre porte sur les différents types de moulage ainsi que la mise en forme des matières plastiques par moulage.

Le quatrième et le cinquième chapitre portent sur la conception et la fabrication des joints SPI du rotor anti-couple des hélicoptères « MI-24 Hind » et « MI-171 SH » ainsi que les joints de la broche de la fraiseuse.

Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

*Présentation générale
de l'entreprise*

I.1. Adresse de l'entreprise :

L'entreprise de rénovation de matériels aéronautiques « E.R.M Aéro » se trouve à Dar El-Beida, mitoyenne de l'aéroport international de HOUARI BOUMEDIENNE.



I.2. Historique sur l'entreprise E.R.M Aéro :

- ✓ **1945/1962** : Atelier Industriel de l'Air « AIA » dont la mission est la maintenance du matériel aérien français durant l'occupation.
- ✓ **1962/1964** : Heli Service remplace l'AIA et avait pour mission l'achèvement des travaux en cours du matériel aérien avant leur transfert en France.
- ✓ **1964/1967** : SOMEA, Société Mécanique et Aéronautique, avait pour mission la maintenance et la réparation des avions sous la tutelle du ministère de l'industrie
- ✓ **1967/1977** : la SOMEA devient ECRM, établissement central de rénovation du matériel, avec une nouvelle orientation : la maintenance du matériel roulant des forces terrestres ainsi que le matériel aérien de l'aviation militaire.
- ✓ **1977/1992** : l'ECRM est remplacé par l'ECRMA, établissement central de rénovation du matériel aéronautique et s'est astreint à la maintenance du matériel aéronautique se trouvant au sein des forces aériennes.

Depuis 1992, l'ECRMA devient l'ERMA suite à un décret présidentiel et passe de l'établissement à l'entreprise.

Elle a été créée pour satisfaire les besoins de notre Flote Militaire Aérienne, et depuis le jour où elle est mise en fonction elle n'a pas cessé de chercher à développer ses unités pour satisfaire les besoins de notre armée aérienne et pour avoir une indépendance totale en ce qui concerne la rénovation des avions militaire algériens.

Cette entreprise est à caractère économique et dotée d'une autonomie financière ce qui lui permet de participer dans l'économie nationale et même internationale.

I.3. Mission de l'E.R.M Aéro :

L'E.R.M Aéro a pour mission principale la révision, la réparation et la maintenance des avions militaires tels que les avions de chasse « Mig-21, Mig-23, L-39, le Sou-24 » et hélicoptères « Mi-2, Mi-8, Mi-17, Mi-171, l'écureuil », les avions de transport ainsi que les avions étrangers.

Cette mission peut être résumée par :

- ✓ Réviser les appareils aéronautiques.
- ✓ Fabriquer les pièces aéronautiques et les accessoires des avions pour les bases des forces aériennes.
- ✓ Fabriquer les accessoires outils et les composants nécessaires à la réalisation de son objet.
- ✓ Mener toutes les études en relation avec son objet.

I.4. Fonctionnement de l'entreprise :

L'E.R.M Aéro est spécialisée dans la maintenance et la rénovation des matériels aéronautiques, elle dispose de moyens très importants sur le plan de ressources humaines qu'en matériels et équipements, ce qui permet à l'entreprise d'avoir les possibilités de diversifier ses produits.

En général l'ensemble des activités de l'entreprise se résume respectivement dans les opérations suivantes :

- ✓ Réception.
- ✓ Démontage.
- ✓ Inspection.
- ✓ Réparation.
- ✓ Montage.
- ✓ Mise au point.
- ✓ Essais de vol.
- ✓ Livraison.

I.5. L'organisation de l'E.R.M Aéro :

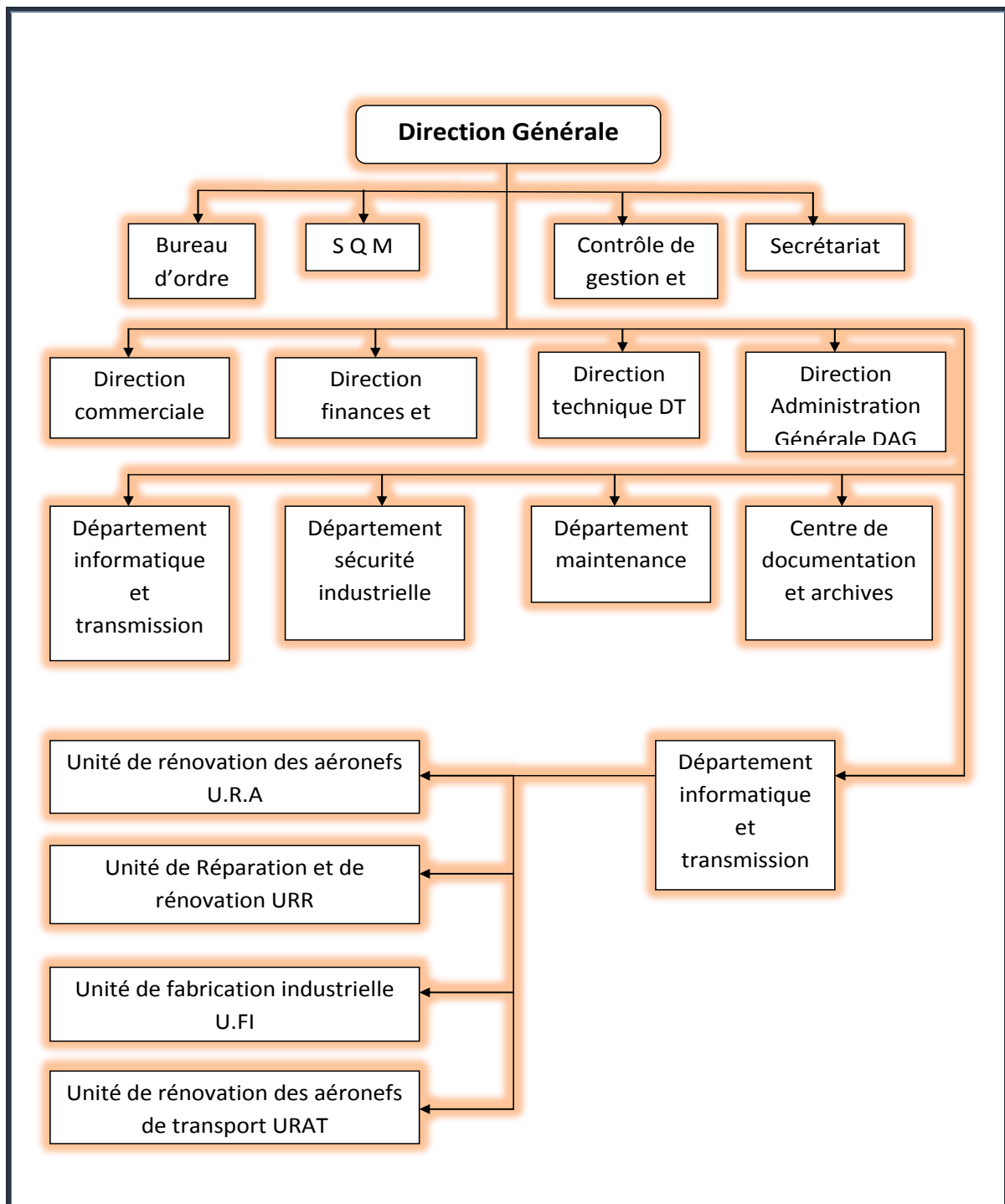


Fig. I.1 : Organigramme de l'organisation de l'E.R.M Aéro.

I.6. L'organigramme général de la direction technique :

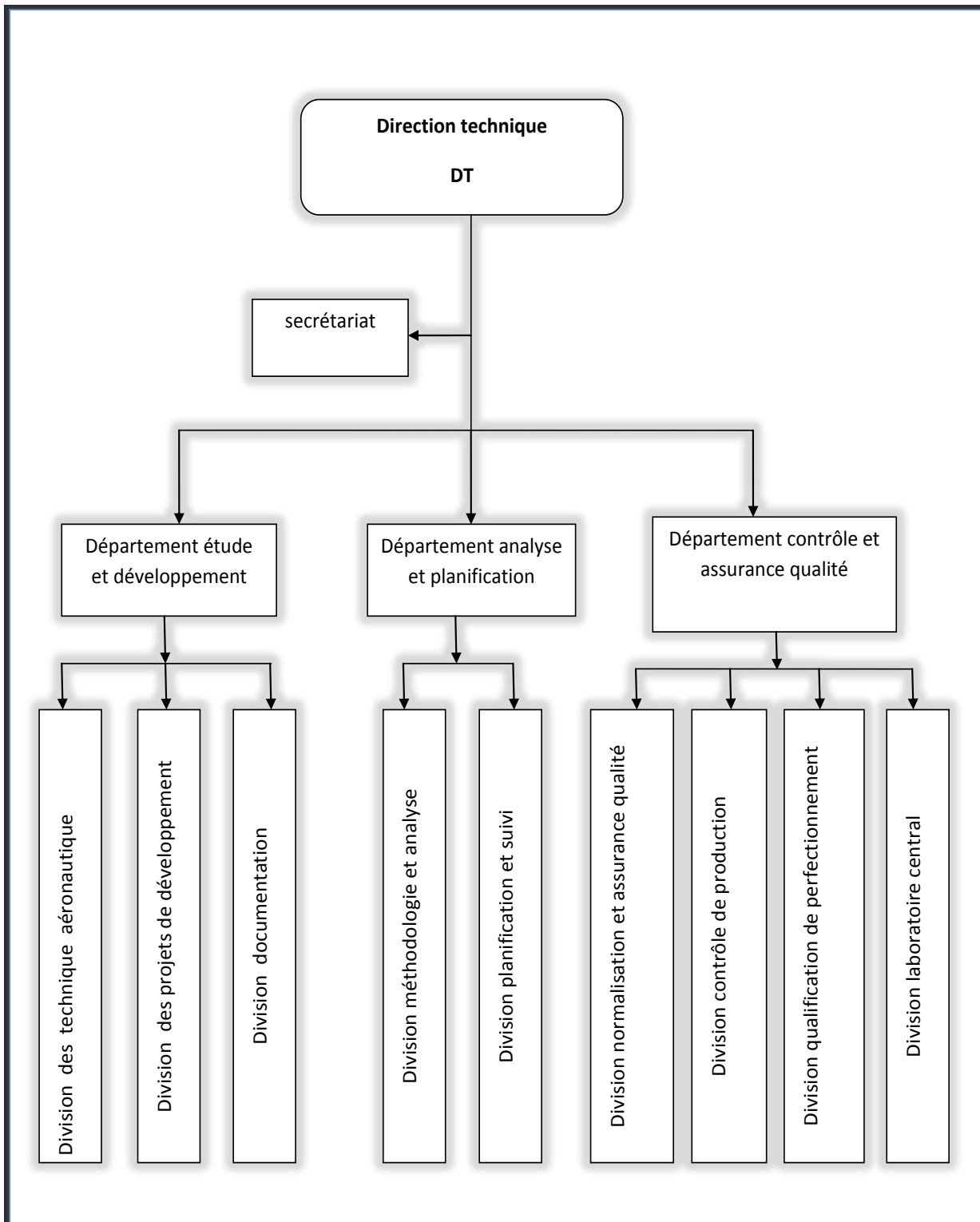


Fig. I.2 : Organigramme général de la direction technique.

I.7. L'unité de Fabrication Industrielle « U.F.I » :

I.7.1. Présentation de l'U.F.I :

La mission de l'unité de fabrication industrielles « U.F.I » est la fabrication unitaire ou en petites séries d'une certaine catégorie des pièces mécaniques, entrant dans la constitution des avions. L'unité de fabrication industrielle est aussi ouverte à d'autres clients civils ou militaires dans le but d'honorer sa mission l'U.F.I.

I.7.2. L'organigramme de l'U.F.I :

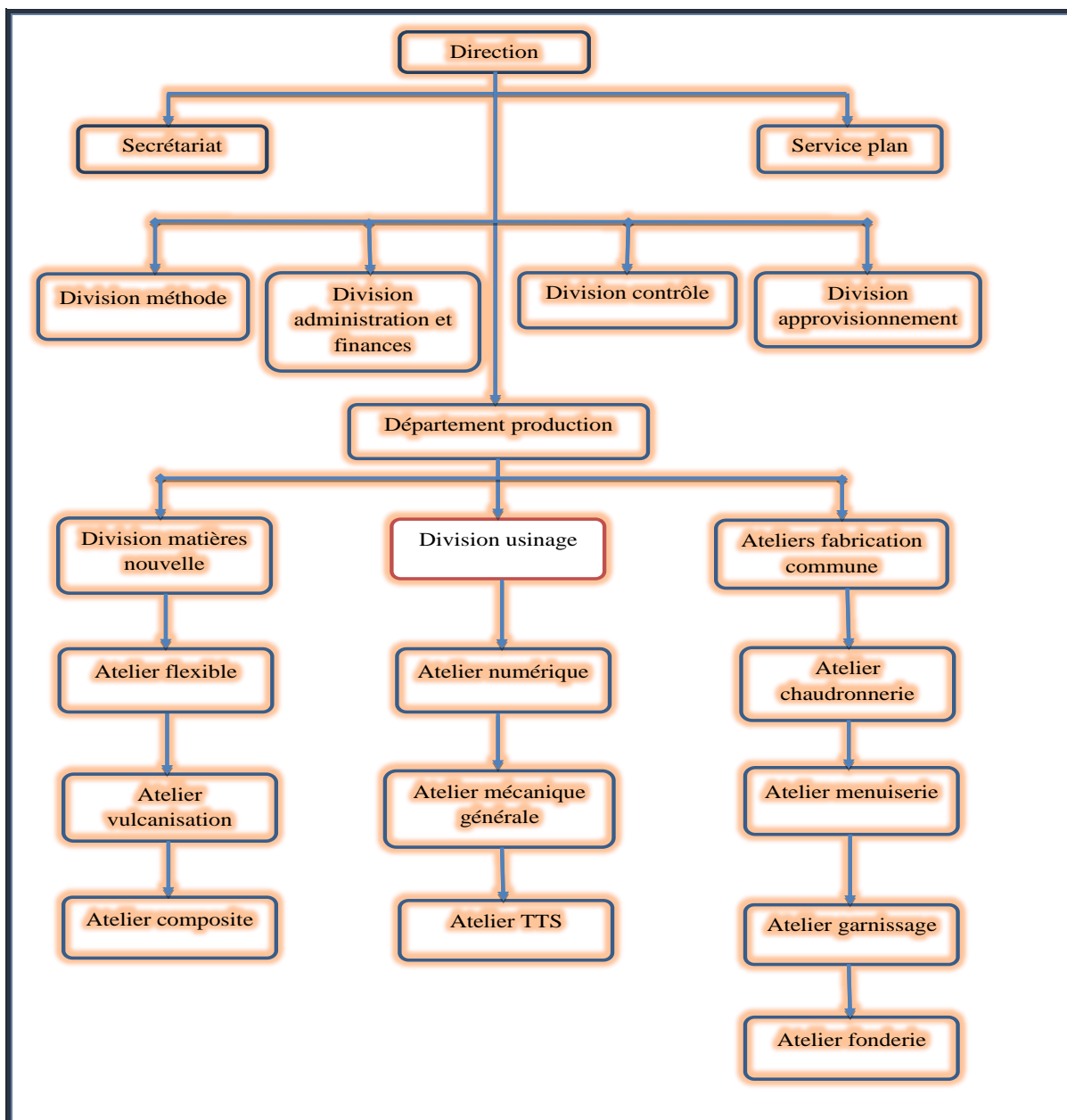


Fig. I.3 : L'organigramme de « U.F.I ».

I.7.3. Mission de l'U.F.I :

La mission de l'U.F.I consiste en :

- ✓ La fabrication et l'usinage des pièces aéronautiques.
- ✓ La fabrication des accessoires, des articles et des composants nécessaires à la réparation des avions.
- ✓ Apporter toute contribution jugée utile à la mise en place de l'industrie aéronautique.
- ✓ Fournir éventuellement toute prestation de nature de rentabiliser ses potentialités technique, industrielles et commerciales.

I.7.4. Activités de l'U.F.I :

Les activités de l'U.F.I se résument par les points suivants :

- ✓ Vulcanisation.
- ✓ Sertissage des câbles et sertissage des flexibles.
- ✓ Traitement thermique et de surface (T.T.S)
- ✓ Sablage.
- ✓ Contrôle de fabrication.
- ✓ Etude.
- ✓ FAO.
- ✓ DAO.
- ✓ Commande numérique.
- ✓ Menuiserie.
- ✓ Chaudronnerie.
- ✓ Graissage.
- ✓ Fonderie.
- ✓ Tournage.
- ✓ Décolletage.
- ✓ Fraisage.
- ✓ Ajustage.
- ✓ Rectification plane et cylindrique.
- ✓ Rodage et Glaçage.

I.7.5. Produit de l'U.F.I :**✓ Joints Aéronautiques :**

- joints toriques, carrés, plats et rectangulaires.
- Joints à lèvres.
- Membranes et diaphragmes.
- Soufflets, manchons, pipes et capuchons.
- Joints avec armature métallique.

Pour la réalisation des différents produits cités ci-dessus, l'U.F.I utilise les outillages de fabrication suivants : Moules pour joints, poinçon et matrice, Emporte-pièce, Gabarits, Mords de sertissage, Outillage de forme.

✓ Pièces Aéronautiques :

- Armatures pour flexibles.
- Embouts de câbles.
- Axes, boulons, écrous, rondelles et bague.
- Ressorts, douilles, goupilles et goujons.
- Pièces mécaniques complexes (sur commande).

✓ Flexibles Aéronautique :

- Flexibles sertis haute pression.
- Flexibles vissés moyenne et basse pression.

I.7.6. Le circuit de traitement d'une commande :

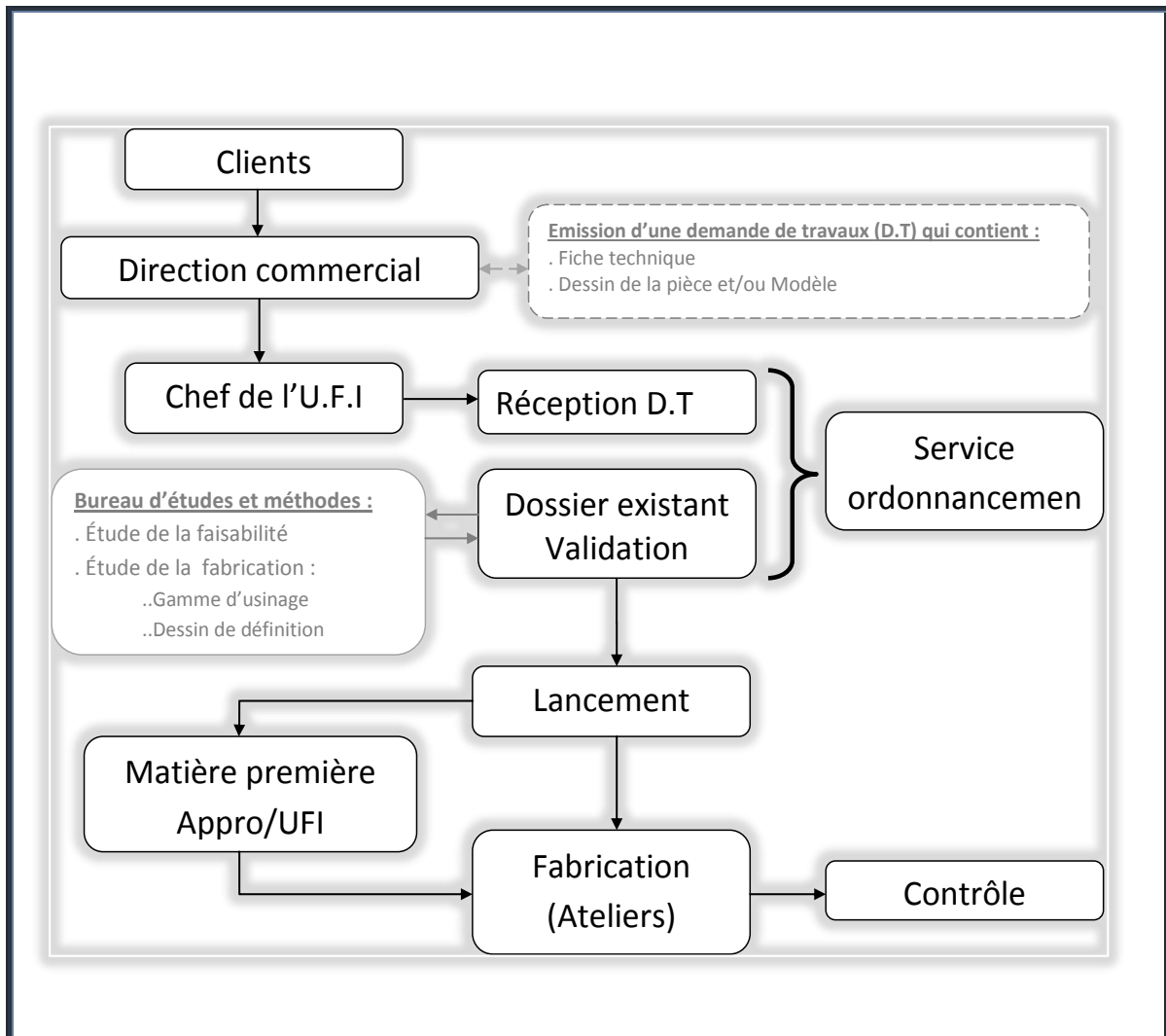


Fig. I.4 : Le circuit de traitement d'une commande.

I.7.7. Dans le cas de la réparation d'une pièce :

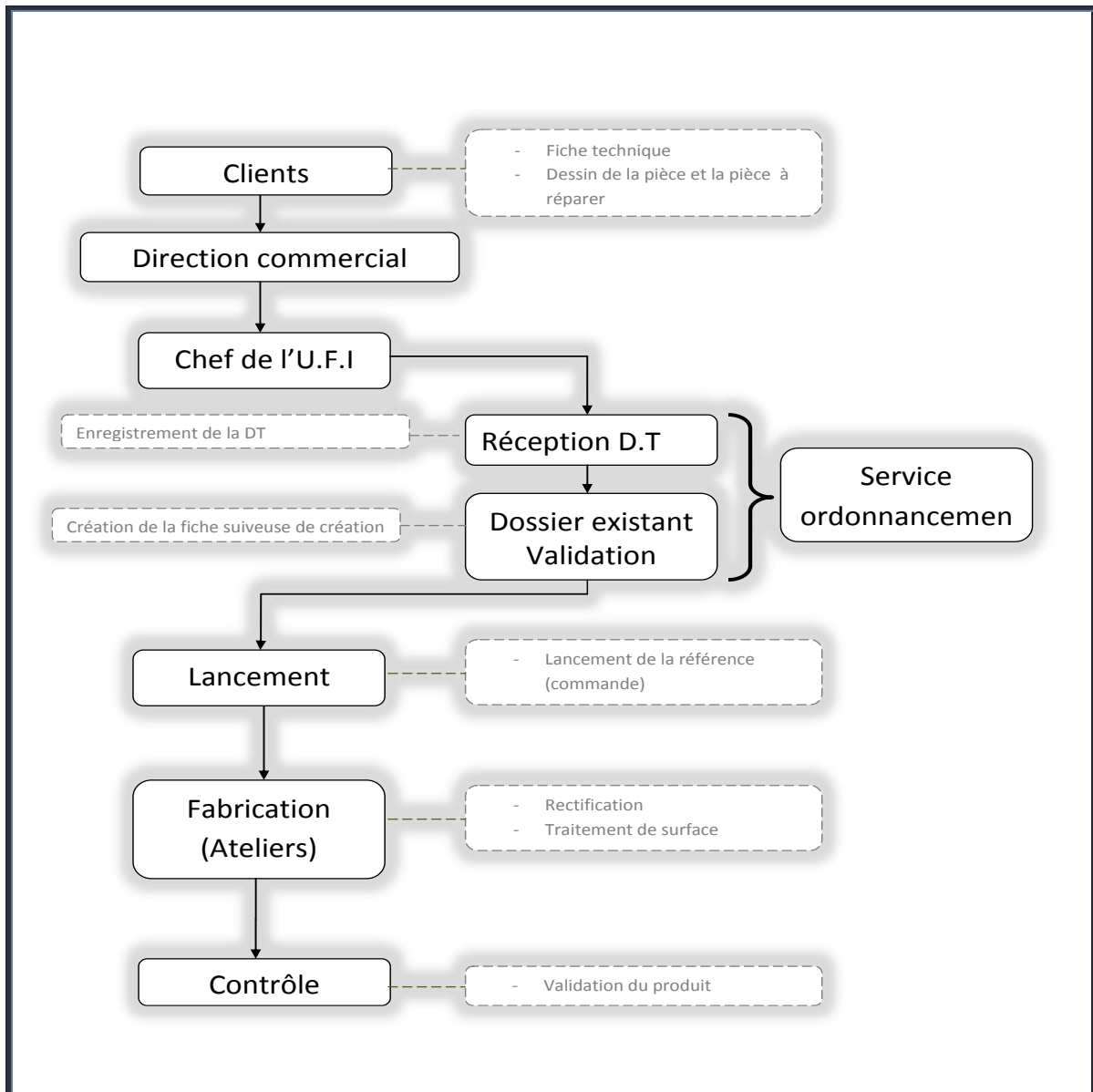


Fig. I.5 : Réparation d'une pièce.

I.8. Différentes divisions et ateliers de l'U.F.I :

I.8.1. Partie soutien de l'U.F.I :

- ✓ **Division Etude et Méthode :** La division études et méthodes d'une entreprise de maintenance ou de rénovation de matériel est différente de celle d'une entreprise de production, elle est surtout chargée de l'exécution de plans pour les pièces à fabriquer. Le support de travail est constitué des croquis faits par les différentes unités de l'entreprise, ou de pièces modèles à réaliser. Les agents du bureau d'études sont chargés de faire les dessins de définition des pièces, déterminer la matière de la pièce, les traitements thermiques ou chimiques nécessaires, ainsi que l'évaluation du temps de fabrication. La division étude est aussi amenée à étudier des modifications ou des adaptations d'organes ou de dispositifs sur des machines ou équipements existants au sein de l'entreprise.

- ✓ **Division Planification/Ordonnancement :** Elle est chargée de :
 - Coordonner les différentes activités qui concourent à la fabrication d'un produit, son étude, sa fabrication, l'approvisionnement en matière première.
 - Déterminer la durée du cycle de fabrication.
 - Etablir la nature des postes de charge sur lesquels la fabrication se déroulera.
 - Assurer le lancement des opérations de fabrication et suit leur avancement quotidien, son objectif est le respect des délais des différentes opérations.
 - Coordonner avec les chefs d'ateliers la charge de travail de chaque atelier en fonction des possibilités de production des différents postes de travail.

- ✓ **Division de contrôle :**
 - **Introduction de la division :** à droite de l'entrée de l'Unité De Fabrication Industrielle se trouve La Division Du Contrôle.
Le travail commence de 8h00 et se termine à 16h30.
Les paramètres de température et humidité qui devront être respectivement de « 20°C ± 1°C » et de 50% à 70%, sont fondamentales pour la métrologie.

 - **Les outils et instruments de contrôle :**
 - **Vérificateur d'alésage.**

 - **MMT « Machine de Mesure Tridimensionnel » :** résolution 1μ, utilisée pour le contrôle de tolérances géométriques (perpendiculaire, planéité, parallélisme,...).

 - **Tampons lisses doubles :** utilisés pour la vérification de série de pièces.

 - **Pied à coulisse :** deux types à vernier et à lecture ils sont définis par numérique étendue et la résolution. (Ex : 0 - 250 mm, 0 - 400mm, 0 - 400 mm).

- **Micromètre** : y'en a deux types :
 - Qui mesure la pièce à l'extérieur (Mesure les arbres).
 - Qui mesure la pièce à l'intérieur (Mesure l'alésage) de résolution 1/100.
- **Machine de Mesure Microscopique** : utilisée pour observation et mesure, grandissement 20X, la résolution 1 μ .
- **Machine « Testeur de dureté »** : y'en a deux types :
 - Analogique.
 - Numérique.

Pour les essais de dureté « ROCKWELL, VICKERS, BRINELL », l'une avec système mécanique et l'autre avec système électronique.
- **Machine de projecteur de profil** : utilisée pour comparer des pièces conçues et usinées, la résolution est 1 μ .
- **Analyseur portable des matériaux** : à fluorescence rayon X, d'éléments 22 titane ; à l'élément 92 uranium précision 0.001.

I.8.2. partie production de l'UFI :

- ✓ **Division de l'usinage** : Le rôle principal de la division usinage est la fabrication des pièces aéronautiques ou mécaniques (si le client extérieur commande des pièces hors aéronautiques), pièces qui entrent dans le montage des avions.
 - **La division usinage est composée de plusieurs sections** :
 - Section tournage.
 - Section fraisage.
 - Section décolletage.
 - Section rectification et affutage.
 - Section ajustage.

Et pour finir la division usinage est aussi dotée d'un centre d'usinage à commande numérique.
 - **Atelier Traitement Thermique et de Surface** : La mission de l'atelier est d'améliorer les propriétés mécaniques des pièces usinées ainsi que de les protéger contre la corrosion, elle est divisée en trois sections :
 - Section traitements thermiques (la trempe, le revenu, le recuit).
 - Section traitement de surfaces (chromage, cadmiage, anodisation, nickelage, phosphatation, cuivrage...)
 - section polissage.

➤ **Division fabrication commune comporte :**

- **Atelier de fonderie :** l'atelier fonderie permet de réaliser des pièces mécaniques en remplissant d'alliage liquide une empreinte (moule) qui donne, après refroidissement et solidification de l'alliage, la forme et les dimensions souhaitées. En général, le produit sorti de fonderie sera fini par un usinage des surfaces fonctionnelles de la pièce mécanique en alliage léger, ce procédé permet un gain de temps de fabrication très important et évite des usinages couteux et compliqués et la perte de matière sous forme de copeaux. Elle est divisée en quatre secteurs :
 - Secteur fusion.
 - Secteur modelage.
 - Secteur montage, noyautage.
 - Secteur finition, découpage.

- **Atelier menuiserie :** l'atelier menuiserie fabrique tous les équipements en bois de l'entreprise et son champ de fabrication ne se limite pas à des commandes venues de clients militaires. L'ouverture de l'entreprise à des clients civils permet une large gamme de fabrication, couvrant la menuiserie d'ameublement (bibliothèques, armoires scolaires, tables scolaires, bureaux ...) dont les principaux clients sont les A.P.C pour équiper les écoles et les collèges. Elle s'occupe aussi de la fabrication des moules en bois pour le modelage des pièces en plexiglas, telles que les verrières de cabine de pilotage, feu de navigation d'hélicoptères et diverses pièces en plexiglas.

- **Atelier chaudronnerie :** l'atelier chaudronnerie est chargé de fabriquer tout le matériel de servitude au sol des aéronefs tels que les chariots et les moyens de levage. La chaudronnerie a aussi pour mission de fabriquer des articles divers comme les chaises, portails, bureaux métalliques, guérites, échelles, etc. La chaudronnerie s'intéresse à la fabrication d'objets ou de pièces mécaniques à base de tôles, de profilés métalliques, de cornières, de ronds et de tubes en acier. Les éléments de construction de base de la chaudronnerie subissent un découpage, pliage, emboutissage, poinçonnage, soudage puis assemblage pour aboutir au produit fini.

- **Atelier graissage :** l'atelier graissage est chargé de la rénovation et la fabrication du garnissage intérieur des aéronefs, des protections des entrées et sorties d'air, des réacteurs d'avions ou turbines d'hélicoptères, bâches pour verrières de la cabine de pilotage ainsi que d'autres équipements tels que la moquette, capitonnage, tentes, etc.

➤ **Division de matière nouvelle :**

- **Atelier flexible :** fabrique quatre types de flexibles : pneumatique, hydraulique, carburant et graisse. Ils sont destinés au service d'approvisionnement et cela après le contrôle qui sera fait par le contrôleur de flexible avec une affiche de conformité. L'étape suivante est la livraison au client.
- **Atelier de vulcanisation :** sa seule et unique mission est de fabriquer tous types de joints, cela se fera avec des différents moules dynamique (45°) pour éviter tout type de problèmes vu que y'a des types de moules statique (180°) mais bien sur cela dépend de la demande du client, c'est pour cette raison que (45°) est pratiquement conforme à tout type d'usinage. Le choix de la gomme est donné par le constructeur et elle sera mentionnée dans une fiche vulcanisation émise par le bureau d'étude.

Chapitre II

*Généralités sur les joints
d'étanchéité*

II.1. Introduction :

La défaillance de la fonction d'étanchéité peut être à l'origine de dysfonctionnement important des mécanismes, et par conséquent de la limitation des performances des machines ou des processus complexes utilisés dans les secteurs industriels tels que le transport terrestre, aéronautique et maritime. En outre, cette fonction est déterminante pour la préservation de l'environnement. Pour ces raisons, l'étanchéité constitue un enjeu économique très important. Les dispositifs responsables de la fonction d'étanchéité sont appelés "joints ou garnitures d'étanchéité" (Fig. II.1).



Fig. II.1 : Différents joints d'étanchéité.

II.2. Généralités sur les joints :

Un joint, en général, est un élément installé entre deux dispositifs afin d'assurer l'étanchéité entre un milieu intérieur et extérieur. Contrairement à ce qui se passe dans un équipement installé à sec, tout liquide qui fuit à travers les joints d'étanchéité s'accumulera dans la pompe ou dans l'agitateur et ne pourra pas être drainé pendant le fonctionnement. Donc La fiabilité d'un produit submersible ne sera jamais meilleure que la fiabilité de son système de joints d'étanchéité.

Il existe plusieurs types de joints et la variété est grande tant par leur matériau, leur forme, ou leur dimension. Pour pratiquement chaque usage, il existe un joint approprié qui doit être adaptés à la pression, à la température, au mouvement, à la vitesse et au milieu ambiant.

A titre d'exemple, le cas d'une pompe (Fig. II.2), les joints sont constitués d'une chambre de scellage et de deux bandes de roulement ou plus (ou bagues de frottement), l'une contre l'autre. Une bande de roulement tournera avec l'axe, tandis que l'autre est stationnaire dans le carter de pompe et prend la position de la préchambre du joint d'étanchéité. Ces bandes de roulement sont comprimées l'une sur l'autre par des forces hydrauliques et mécaniques, et gardent ainsi le liquide à l'intérieur. Entre les deux bandes de roulement se trouve une fente d'étanchéité qui comporte un film de graissage qui combat le frottement et garantit donc le fonctionnement du joint d'étanchéité.



Fig. II.2 : Joint mécanique d'un rotor.

II.3. Le rôle des joints :

Les fuites de liquide dans les systèmes hydrauliques et de lubrification sont courantes dans de nombreux équipements mécaniques, et ce sont des événements indésirables et embarrassants alimentant une augmentation coût de toute activité de fabrication et de maintenance des équipements.

Le joint sert à empêcher les liquides de s'échapper d'un cylindre creux lorsqu'un arbre pénètre dans la paroi du cylindre. Il peut être simple, s'il empêche l'écoulement d'un fluide d'une enceinte à une autre voisine, ou double, si le joint rend impossible l'écoulement d'un autre fluide éventuellement contenu dans la seconde enceinte vers la première (étanchéité assurée dans les deux sens). Donc, les deux fonctions principales d'un joint sont de garder le liquide à l'intérieur tout en empêchant la saleté et les débris d'y pénétrer (Fig. II.3).

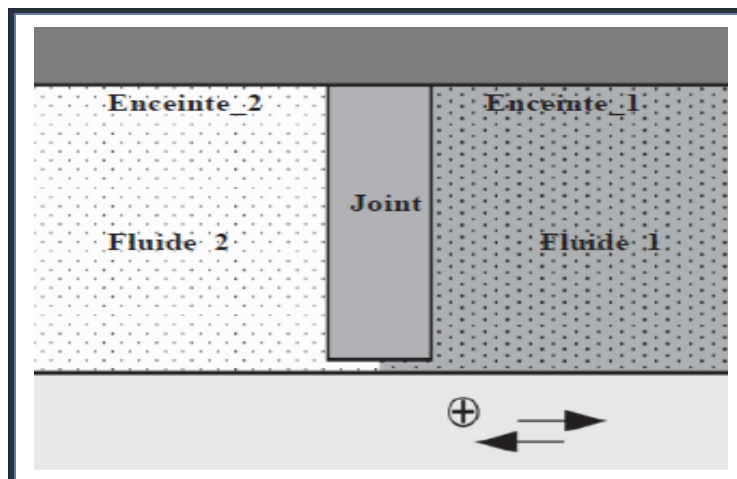


Fig. II.3 : Le rôle d'un joint.

Le plus souvent, l'arbre aura un mouvement rotatif ou linéaire. Si un sceau n'est pas fait comme selon les exigences fonctionnelles, ou installé et entretenu correctement, il peut échouer, entraînant la perte de fluide. Ainsi des risques d'incendie et les accidents sont des conséquences directes de ces fuites (Fig. II.4).



Fig. II.4 : Rôle du sceau au niveau de l'arbre.

II.4. Les différents emplacements des joints :

Une enceinte est dite parfaitement étanche si aucune quantité de fluide qui y est contenue ne peut en sortir et si aucune particule (ou fluide) étrangère ne peut y entrer. Il existe une grande variété de joints, cependant on peut les classer en deux grandes familles : les joints pour étanchéité statique et les joints pour étanchéité dynamique. Un joint doit être adapté à ces différents types d'utilisation statiques et dynamiques ainsi qu'à la pression, la température, la vitesse et au milieu.

II.4.1. Les joints statiques :

Les surfaces à étancher sont immobiles l'une par rapport à l'autre. Autrement dit, ils sont employés dans des applications particulières, là où le mouvement relatif n'existe pas.

✓ **Le joint permanent :** joint qui fournit une rigidité mécanique au raccordement des pièces dans un assemblage d'un appareil pendant toute la période d'utilisation. Cette liaison ne peut être interrompue sans destruction de ce joint (Fig. II.5). On trouve les joints de tuyauterie, joints à vitres, joints sanitaires, etc.



Fig. II.5: Joint de tuyauterie.

- ✓ **Joint plat** : joint possédant deux faces parallèles qui, serrées entre deux parties fixes l'une par rapport à l'autre, assurent l'étanchéité entre le monde intérieur et extérieur (Fig. II.6). On trouve les joints plats, joints spiralés, joints thermiques...



Fig. II.6 : Joint plat.

- ✓ **Joint torique** : joint en forme de tore utilisé dans différents secteurs et plus largement dans l'industrie. Ce type de joint extrêmement recherché est utile pour obtenir une étanchéité statique et dynamique optimale à de fortes pressions et dans des encombrements réduits (Fig. II.7).



Fig. II.7 : Joint torique.

II.4.2. Les joints dynamiques :

Les surfaces à étancher sont mobiles. Ces joints sont employés dans le but d'assurer l'étanchéité entre deux pièces avec mouvements relatifs de rotation ou de translation.

- ✓ **Joint feutre** : il a été utilisé pour son étanchéité face à la poussière, les liquides, l'absorption des chocs ainsi que pour huiler, graisser et lubrifier. Aujourd'hui, ce type de joint n'est plus utilisé car sa mise en place demande l'usinage d'une gorge très précise avec un outil spécial. De plus lorsque la lubrification de celui-ci était interrompue pendant un certain temps, le feutre séchait et n'assurait plus son rôle d'étanchéité (Fig. II.8).



Fig. II.8 : Joints feutres.

- ✓ **Joint d'étanchéité sans contact** : son but est d'empêcher le passage d'un liquide ou d'un gaz, mais où le joint et les pièces de l'enveloppe à sceller ne peuvent entrer en contact de façon permanente, parce qu'elles sont en mouvement relatif. Pour réaliser l'étanchéité, les pièces sont rapprochées au maximum et le passage du gaz est rendu le plus difficile possible par des obstacles laissant des espaces extrêmement fins ou conduisant à des contournements (Fig. II.9).



Fig. II.9 : Joint sans contact.

II.5. La matière des joints :

Concernant la matière des joints, il en existe plusieurs, chaque matière a ses propres spécifications et est adaptée à un certain type de joint. Ce dernier peut être en plastique (caoutchouc), en cuir, en fibrine, en feutre, mais aussi en métal tendre (laiton). Le matériau doit permettre de résister à la différence de pression et à la température du fluide, ainsi qu'à sa composition chimique.

Une matière plastique désigne un mélange contenant une matière de base organique naturelle ou synthétique qui est susceptible d'être moulée, façonnée, en général à chaud et sous pression, afin de conduire à un semi-produit ou à un objet fini. Le mot "plastique" dérive de malléabilité ou de plasticité. Les matières plastiques couvrent une gamme très étendue de matériaux polymères synthétiques ou artificiels.

II.5.1. Les thermoplastiques :

Les thermoplastiques se ramollissent sous l'effet de la chaleur. Ils deviennent souples, malléables et durcissent à nouveau quand on les refroidit. Comme cette transformation est réversible, ces matériaux conservent leurs propriétés et ils sont facilement recyclables. La température d'utilisation est inférieure à 100°C.

II.5.2. Les thermodurcissables :

Les thermodurcissables sont des plastiques qui prennent une forme définitive au premier refroidissement. La réversibilité de forme est généralement impossible car ils ne se ramollissent plus une fois moulés. Mais dans certains cas il peut y avoir ramollissement mais sans fusion. Sous de très fortes températures, ils se dégradent et brûlent (carbonisation).

II.5.3. Les élastomères :

Les polymères présentent les mêmes qualités élastiques que le caoutchouc. Ils sont appelés communément "matières plastiques", sont indissociables de notre environnement et de notre vie pratique. Ils se sont imposés dans tous les domaines de nos activités: des objets les plus banals jusqu'à des applications techniques sophistiquées, en passant par leur utilisation dans les produits d'hygiène ou alimentaires. Le plus souvent synthétiques, quelquefois naturels, ils doivent cet essor à leur large gamme de caractéristiques, durs, mous ou élastiques, transparents ou opaques, isolants et quelquefois conducteurs, plus ou moins résistants aux conditions agressives de leur usage, toujours légers.

II.5.3.a Définition d'un élastomère :

Les élastomères, comme les matières plastiques, font partie de la famille des polymères. Le terme « élastomère » est utilisé aujourd'hui pour désigner d'une façon générale tous les caoutchoucs, c'est-à-dire les substances macromoléculaires, naturelles ou synthétiques, possédant l'élasticité caoutchouteuse.

Le terme « caoutchouc » vient du mot indien cahutchu (bois qui pleure) et rappelle ainsi l'origine du caoutchouc naturel, précurseur des élastomères d'aujourd'hui. Le caoutchouc à l'état naturel, se présente sous la forme d'une suspension colloïdale de latex secrétée par les plantes à caoutchouc. Les plus importantes de ces plantes sont l'Hévéa Brasiliensis, arbre de la famille des euphorbiacées et d'autres espèces du même genre.

Les caoutchoucs synthétiques sont obtenus par polymérisation (création de macromolécules à partir de molécules de base) et par transformations physiques en présence de catalyseurs. Les caoutchoucs possèdent de très nombreuses propriétés. Ils sont notamment élastiques, étanches et antivibratoires. La combinaison de ces trois propriétés leur assure un spectre d'utilisation extrêmement large.

- ✓ **Elasticité** : L'élasticité se caractérise par la capacité d'un matériau à se déformer sous contrainte et à reprendre sa dimension initiale lorsque cesse la contrainte. Les caoutchoucs ne sont pas les seuls matériaux élastiques, mais ils sont les seuls à offrir une telle capacité de déformation. Ainsi, un ressort d'acier n'accepte guère de subir un allongement de plus de 10%. En revanche, les caoutchoucs peuvent s'allonger couramment jusqu'à 500% et dans certains cas, jusqu'à 1000% ! On parle alors d'hyper élasticité. De surcroît, les caoutchoucs conservent leur propriété d'élasticité à très basse température. Leur transition vitreuse, c'est-à-dire la température à laquelle ils se rigidifient se situe, en règle générale, aux alentours de -50°C .

Exemples d'application : joints de portière d'automobile, flexibles, profilés pour portes et fenêtres...

- ✓ **Etanchéité** : La seconde des grandes propriétés des caoutchoucs est l'étanchéité. Les caoutchoucs sont ainsi imperméables à l'air, aux gaz et à l'eau. Ils ont également une grande capacité à filtrer le bruit.

Exemples d'application : tubes et tuyaux, pneumatiques, toiles enduites, revêtement de toiture, joints...

- ✓ **Amortissement** : Le caoutchouc possède également la capacité d'amortir les chocs ou de filtrer les vibrations. Il s'agit là de deux propriétés extrêmement importantes dans le monde des transports (automobile, aéronautique, aérospatial, ferroviaire...), dans celui de l'industrie (production d'énergie, machine / outil...) ou encore du BTP (appuis de pont, plots antisismiques...).

Exemples d'application : pneumatique (amortissement des irrégularités de la route), pièces antivibratoires (filtration des vibrations en provenance du moteur ou des organes de liaison au sol...).

II.5.3.b Classification des caoutchoucs :

On compte plus d'une quinzaine de familles de caoutchoucs. La classification courante consiste à séparer les caoutchoucs en trois catégories (les sigles utilisés sont ceux qui sont recommandés par la norme ISO 1 629 de 1995) :

- ✓ **Les caoutchoucs à usage général :** Ils ne résistent pas aux huiles, mais résistent bien aux acides et aux bases. Ils font preuve d'une élasticité exceptionnelle.
Exemples d'applications: supports moteurs, balais d'essuie-glaces.
- ✓ **Les caoutchoucs à usages spéciaux :** Ils présentent une bonne résistance vis-à-vis des liquides agressifs (solvants, acides) ou des huiles et des carburants, et aussi un meilleur comportement à haute température. Ils vieillissent bien.
Exemples d'applications: amortisseurs, joints de vitrage, de pare-brise, courroies de distribution, durites.
- ✓ **Les caoutchoucs à usages très spéciaux :** Ils ont d'excellentes tenues thermiques et chimiques, et ils représentent plus de 5 % de la consommation totale.
Exemples d'applications: fils d'allumage, bagues d'étanchéité.

Dans le tableau II.1, une synthèse des caoutchoucs ainsi que leurs principales applications sont données. Les deux premières familles de caoutchouc représentent 94% de la consommation. La troisième famille regroupe les élastomères à hautes performances thermiques et/ou chimiques indispensables et sont en plein développement sur le marché.

II.6. Les propriétés et comportement des matières plastiques :

Le comportement des polymères est caractérisé par une très grande diversité apparente. En effet, pour les mêmes conditions d'utilisation, et d'un point de vue technologique, on peut trouver des polymères qui sont, soit rigides fragiles, soit ductiles, soit caoutchoutiques.

Catégories	Elastomères	Propriétés et Principales Applications
Caoutchoucs à usages généraux. Environ 82% de la consommation mondiale	NR caoutchouc naturel	Bonnes caractéristiques mécaniques, collant à cru, élasticité. Forte sensibilité au vieillissement. Pneumatiques, gants, préservatifs, supports moteurs...
	IR polyisoprène de synthèse	Propriétés proches de celles de NR.
	SBR copolymère Butadiène-styrène	Bonne résistance à la fatigue par flexion et à l'usure. Bande de roulement des pneumatiques...
	BR polybutadiène	Excellente résistance à l'abrasion et aux basses températures.

Caoutchoucs à usages spéciaux. Environ 12% de la consommation mondiale	NBR copolymère Butadiène-acrylonitrile	Très bonne résistance aux huiles et carburants. Tuyaux et joints pour carburants, revêtement de cylindre, semelles résistantes aux huiles...
	CR polychloroprène	Bonne résistance aux huiles et bonnes propriétés mécaniques. Courroies, tuyaux, câbles...
	EPM et EPDM : co ou terpolymères d'éthylène et de propylène	Très bonne résistance au vieillissement, à l'ozone et à l'eau. Mauvaise tenue aux huiles. Joints, profilés, pièces de freinage, câblerie...
	IIR (butyl) copolymères d'isobutylène isoprène BIIR CIIR : Bromo / ChloroButyl	Très bonne imperméabilité et résistance chimique. Mauvaise tenue aux huiles. Enveloppe interne des pneumatiques, bouchons de flacons médicaux...
Caoutchoucs à usages très spéciaux. Environ 6% de la consommation mondiale	VMQ, PVMQ, FVMQ : caoutchoucs de silicone normal ou fluoré (F)	Excellente tenue au froid et à la chaleur, biocompatibilité Excellente résistance chimique pour les FVMQ Câblerie, pièces pour l'aéronautique, l'électronique prothèse...
	FKM : élastomères fluorocarbonés	Grande inertie chimique et thermique. Pièces pour l'automobile (joints...)
	ACM – AEM : polyacrylates	Bonne résistance aux huiles et à la chaleur. Pièces pour l'automobile.
	CM CSM polyéthylène chloré, chlorosulfoné	Bonne résistance à la chaleur, à l'ozone et aux carburants. Câblerie.
	HNBR nitrile hydrogéné	Bonne résistance aux huiles, à l'ozone et à la chaleur. Pièces pour automobile.
	ECO Caoutchoucs d'épichlorhydrines	Bonne résistance aux huiles, aux carburants et à l'ozone. Pièces pour automobile.

Tableau II.1: Tableau de synthèse des caoutchoucs.

II.6.1. Propriétés thermiques et physiques :

- ✓ **Inflammabilité** : C'est le plus gros défaut reproché aux plastiques. Certains produits s'enflamment effectivement très vite et dégagent des fumées toxiques; d'autres ne brûlent que si la flamme est entretenue par une source extérieure et ne dégagent pas de gaz toxiques.
- ✓ **Résistance au feu** : Elle est déterminée par le temps pendant lequel un élément continue de jouer son rôle avant de céder sous l'action des flammes. Les matériaux sont classés en trois catégories:
 - **SF « stable au feu »** : seule la tenue mécanique est requise.
 - **PF « pare flamme »** : en plus de la résistance mécanique, l'élément doit être étanche aux flammes et ne pas dégager de gaz inflammables.
 - **CF « coupe-feu »** : en plus des critères précédents, la face non exposée au feu ne doit pas s'échauffer à plus de 1400°C en moyenne.
- ✓ **Résistance thermique** : La chaleur fait perdre aux matières plastiques leurs caractéristiques mécaniques jusqu'à les décomposer par contre, le froid leur fait perdre leur souplesse.
- ✓ **Isolation thermique** : Ce sont des mousses de matières plastiques qui possèdent les plus bas coefficients de transmission de chaleur.
- ✓ **Légèreté** : La densité de la plupart des matières plastiques est comprise entre 0,9 (plus léger que l'eau) à 1,8 (plus lourde que l'eau). Le plus souvent 1 (aussi lourde que l'eau)
- ✓ **Transparence** : Certains plastiques sont presque aussi transparents que le verre. Beaucoup sont translucides (laissent passer la lumière, mais on ne peut voir à travers).
- ✓ **Esthétique** : Les couleurs sont variées. L'aspect lisse et fini du matériau donne un bel aspect aux objets.
- ✓ **Entretien** : Ils sont d'un entretien facile. Ils ne nécessitent aucun traitement de surface (peinture, ...). Ils résistent à la corrosion et certains attirent la poussière.
- ✓ **Malléabilité** : (Possibilité de leur donner une forme) La mise en œuvre des thermoplastiques est aisée. Certains sont malléables à froid, d'autres le deviennent à une température de 60°C.

II.6.2. Amélioration des propriétés des matières plastiques :

Différents composants sont introduits dans les polymères de base pour améliorer les propriétés physiques et chimiques de la matière plastique (résistance aux chocs, résistance au courant électrique, résistance au vieillissement ...). Les dosages des différents composants doivent être précis (les additifs entrent pour plus de 10% dans la composition du produit fini les adjuvants entrent pour moins de 10% dans la composition du produit fini, par fois moins de 1%). L'action de la chaleur assure la transformation vers la matière première définitive.

Les additifs ou adjuvants sont tout produit susceptible d'améliorer une ou plusieurs propriétés du plastique qui sert de matrice (c'est -à-dire qui enrobe le renfort). Les additifs entrent plus de 10% dans la composition finie.

II.6.3. Domaine d'application de la matière plastique:

Contrairement à d'autres matériaux qui restent très focalisés sur un type d'activité, on retrouve ces matériaux polymères dans tous les secteurs d'activité : automobile, construction navale et aéronautique, électricité-électronique, électroménager, sport et loisir, santé, textile, agriculture, emballage, ... ce qui explique l'augmentation sans cesse de leur consommation mondiale comme indiqué dans la Figure II.10.

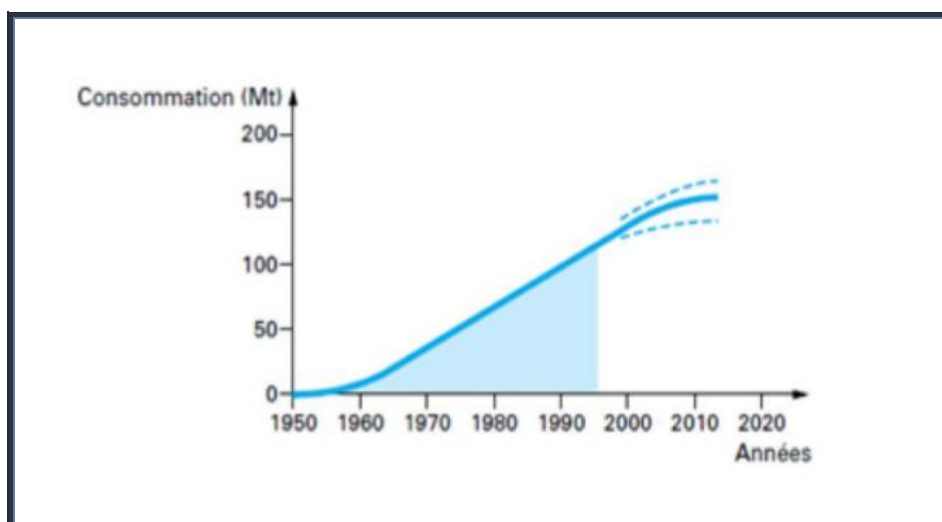


Fig. II.10 : Evolution de la consommation des polymères.

II.7. Les matériaux utilisés dans la fabrication des joints :

Pour plus de détails on présente, dans les tableaux II.3 et II.4, quelques matériaux standards et hors standards utilisés dans la fabrication des joints, la température du milieu de fabrication en utilisant l'échelle de dureté Shore ainsi que leurs principales applications.

Domaines	Appliations	Polymères
Electricité et électronique	Isolants d'appareillages Circuits imprimés Carters d'appareils	Polystères, époxydes, phénoliques, PS, ABS et PP.
Automobile	Coussin, volant, pare-choc. Filtre, batterie, climatiseur. Réservoir d'essence. Garniture interne.	PP PEhd PVC
Bâtiments et travaux publics	Canalisation d'eau, raccord pour tubes Décoration lumineaire Tuyaux et profils, tubes électriques	PVC rigide PS PEbd
Emballage et conditionnement	Sac cabas, sac poubelle, articles injectés Couvercles, boîtages Bouteilles, feuilles, films	PEbd ABS PVC
Agriculture	Serre, paillage, emsillage, bachage, poterie florale et cagette Drainage, arrosage	PE PVC
Santé	Poche à sang, gants d'examens, masque pour oxygénothérapie Piston de seringue getable, éléments de prothèse orthopédique Paroi de reins artificiels	PVC PEhd ABS

Tableau II.2 : Domaines d'application des polymères.

Matériaux	Température (°C)	Dureté à 20°C	Principales Applications
Polyuréthane U203-R	De -30 à +105	Shore A 95 ± 2	Joints à Lèvres Tige ou Piston, Racleurs. Résistant aux Huiles Minérales, Air Comprimé lubrifié, Eau & Emulsions Eau/Huiles.
NBR N 107	De -25 à +100	Shore A 85 ± 2	Joints à Lèvres Tige ou Piston, Racleurs. Résistant aux Huiles Minérales, Air Comprimé lubrifié, Eau.
FPM F 111	De -25 à +210	Shore A 85 ± 2	Joints à Lèvres Tige ou Piston, Racleurs. Résistant à la température et aux fluides agressifs.
PTFE Vierge T 101	De -200 à +260	Shore D 51 - 60	Bagues Anti-Extrusions, Segments de Guidage, Pièces de Forme. Excellente résistance chimique.
PTFE+ 40% Bronze T 110	De -200 à +260	Shore D 62 - 67	Joints Composites, Bagues Anti-Extrusions, Segments de Guidage, Pièces de Forme. Résistant aux huiles minérales.
PTFE+ 25% Carbone T 125	De -200 à +260	Shore D 62 - 67	Joints Composites rotatifs, Bagues Anti-Extrusions, Segments de Guidage, Pièces de Forme. Résistant aux fluides peu lubrifiants.

Tableau II.3 : Table des matériaux standards.

Matériaux	Température (°C)	Dureté à 20°C	Principales Applications
Polyuréthane U203-G	De -30 à +105	Shore A 95 ± 2	Joints à Lèvres Tige ou Piston, Racleurs. Résistant aux Huiles Minérales, Air Comprimé lubrifié, Eau & Emulsions Eau/Huiles.
Polyuréthane U203-GM	De -30 à +105	Shore A 95 ± 2	Joints à Lèvres Tige ou Piston, Racleurs. Résistant aux Huiles Minérales, Air Comprimé lubrifié, Eau; Fortes sollicitations.
Polyuréthane U203-D57	De -30 à +90	Shore D 57 ± 2	Bagues Anti-extrusions, Joints Composites. Résistant aux Huiles Minérales, Air Comprimé lubrifié, Eau & Emulsions Eau/Huiles.
NBR 95 N 109	De -25 à + 100	Shore A 95 ± 5	Joints à Lèvres Tige ou Piston, Racleurs. Résistant aux Huiles Minérales, Air Comprimé lubrifié, Eau.
HNBR HN 112	De -25 à +150	Shore A 85 ± 5	Joints à Lèvres Tige ou Piston, Racleurs. Résistant aux Huiles Minérales, Air Comprimé lubrifié, Eau.
EPDM E 131	De -50 à +130	Shore A 85 ± 5	Joints à Lèvres Tige ou Piston, Racleurs, Pièces de Formes. Ne résiste pas aux Huiles minérales.
AFLAS AF 101	De -15 à +180	Shore A 85 ± 5	Joints à Lèvres Tige ou Piston, Racleurs, Pièces de Formes, Joints Statiques. Excellente résistance à l'eau chaude, vapeur, amines, fluides synthétiques.
PTFE+ 40% Bronze T 115	De -200 à +260	Shore D 62 -67	Joints Composites, Bagues Anti-Extrusions, Segments de Guidage, Pièces de Forme. Résistant aux huiles minérales.
PTFE+ 60% Bronze T 120	De -200 à +260	Shore D 65 - 70	Joints Composites, Bagues Anti-Extrusions, Segments de Guidage, Pièces de Forme. Résistant aux hautes sollicitations.

Tableau II.4 : Table des matériaux hors standards.

II.8. Autres composants des joints :

D'autres composants de joints d'étanchéité, tels que les ressorts et les dispositifs de retenue, sont faits de matériaux qui conviennent à tous les types de pompes ou d'agitateurs. Les matériaux en acier inoxydable et en polymère sont les plus répandus en raison de leur résistance à la corrosion. Les composants qui ne sont pas exposés au milieu peuvent être composés d'autres matériaux moins résistants à la corrosion, comme le bronze et l'aluminium (Fig. II.11).



Fig. II.11 : Joint sans contact.

L'acier : La majorité des pièces en acier que l'on trouve dans les joints d'étanchéité sont en acier inoxydable. Les deux types principaux étant :

- ✓ **AISI 302/304** : un alliage chrome/nickel qui peut résister à la plupart des liquides en contact avec les produits. Le contenu plus élevé en carbone de l'AISI 302 en fait un matériau plus particulièrement indiqué pour les ressorts et les serre-clips, alors que l'AISI 304 sera plus indiqué pour les pièces en tôle.
- ✓ **AISI 329** : Outre le chrome et le nickel, cet alliage contient également du molybdène et peut par conséquent mieux résister aux chlorures et aux acides.

II.9. La durée de vie des joints :

Le joint subit un vieillissement naturel, et il est nécessaire de le changer au bout d'un certain temps, ou bien à titre préventif lors de chaque démontage du corps donc la durée de vie varie en fonction de la résistance de chaque élastomère synthétique aux conditions de stockage normales.

Afin de répondre de manière plus réaliste aux besoins de l'industrie des joints d'étanchéité, la SAE (Society of Aerospace Engineers) a élaboré en 1998 la norme ARP 5316 en vue de proposer une base afin d'établir la durée de stockage de l'élastomère. Le tableau II.5 résume la durée de stockage recommandée pour les élastomères les plus courants.

Durée de vie	Groupe d'élastomère
5 ans	Polyuréthane
15 ans	Nitrile, Néoprène, SBR, HNBR, Polyacrylate
Illimitée	Ethylène Propylène, Fluorocarbon, Elastomère perfluoré, Butyle, Silicone, Tétrafluoroéthylène Propylène, Fluorosilicone.

Tableau II.5 : Tableau montrant la durée de vie des matériaux.

Dans le cas d'élastomères qui ne sont pas sensibles au vieillissement, cités dans les catégories de durée de stockage de 15 ans et illimitée, une durée de stockage importante sans dommages visibles est courante, même dans de mauvaises conditions.

Pour les matériaux cités dans la catégorie de durée de stockage de 5 ans, soumis à la détérioration, on suggère les conditions suivantes afin de prolonger la durée de vie au maximum.

- ✓ Température ambiante ne dépassant pas 49 °C.
- ✓ Élimination de l'air (oxygène).
- ✓ Élimination de la contamination.
- ✓ Élimination de la lumière (en particulier la lumière du soleil).
- ✓ Élimination des appareils électriques producteurs d'ozone.
- ✓ Élimination des rayonnements.

II.10. Causes et conséquences d'anomalies des joints et les mesures à prendre :

Toutefois, les joints d'étanchéité sont parfois défectueux. Cette anomalie peut avoir de nombreuses causes et se traduit par des conséquences telles que la fuite. Si la cause est dûment identifiée, la probabilité d'une réparation concluante en sera grandement améliorée.

II.10.1. Corrosion : Se retrouve exclusivement sur les surfaces scellées en carbure métallique. On l'identifie en grattant la surface de scellement avec une lame. Si des particules se détachent, la surface du joint est corrodée (Fig. II.12).

Les mesures : Vérifier la « Table de sélection des joints d'étanchéité » ainsi que la « Table de compatibilité », afin de sélectionner un joint plus résistant à la corrosion.



Fig. II.12 : La corrosion.

II.10.2. Fissures thermiques : Causées par des surcharges thermiques, elles-mêmes résultant d'un fonctionnement à sec prolongé ou d'un excès de pression sur la surface scellée. L'excès de charge sur les surfaces peut, à son tour, être causé par un ressort comprimé entièrement en raison d'un mauvais montage (ou de mauvaises dimensions de montage), ou d'une pression du milieu dépassant le seuil de pression que le joint peut endurer (Fig. II.13).

Les mesures :

- ✓ Vérifier le montage du joint.
- ✓ Vérifier ses conditions d'utilisation.
- ✓ Si les surfaces des garnitures sont faites d'oxyde d'aluminium, remplacez-les par du carbure métallique ou du carbure de silicium.
- ✓ Utiliser des capteurs de niveau afin d'éviter le fonctionnement à sec.



Fig. II.13 : Des fissures thermiques.

II.10.3. Désalignement : Causé le plus souvent par un anneau de scellement mal positionné (Fig. II.14).

Les mesures :

- ✓ Vérifier le montage et les pièces de retenue.
- ✓ Vérifier que l'arbre tourne librement.



Fig. II.14 : Le désalignement.

II.10.4. Marques de glissement :

Apparaissent sur la face arrière de l'anneau de scellement et indiquent que celui-ci a opéré un mouvement de rotation par rapport à sa structure de retenue (alors qu'il aurait dû demeurer stationnaire) (Fig. II.15).

Les Mesures : Vérifier le montage et les verrous du couple.



Fig. II.15 : Marques de glissement.

II.10.5. Attaques chimiques : Apparaît sous la forme de fissures, de décoloration ou d'augmentation de volume. Une augmentation de volume peut se manifester sous la forme d'extrusions et de déformations (Fig. II.16).

Les mesures : Vérifier le milieu et sélectionner un matériau compatible.



Fig. II.16 : Attaques chimiques.

II.10.6. Déformation irréversible : Le joint torique ne retrouve plus sa forme originale après avoir été désassemblé. La cause en est souvent une température trop élevée (Fig. II.17).

Les mesures : Vérifier que le volume d'huile n'est pas trop bas et si la garniture intérieure est affectée.



Fig. II.17 : Déformation irréversible.

II.10.7. Déchirement : S'explique généralement par un montage sans lubrifiant et/ ou une extrémité acérée des composants entourant le joint torique. Toujours utiliser de la graisse en quantité suffisante pour monter les joints d'étanchéité et lisser les surfaces alentour avec de la toile d'émeri avant l'assemblage (Fig. II.18).

Les mesures :

- ✓ Remplacer les joints toriques.
- ✓ Vérifier qu'il n'y a pas d'extrémités acérées dans la chambre du joint torique.



Fig. II.18 : Le déchirement.

II.10.8. Usure mécanique : Ou un aspect « brûlé » est généralement dû à une mauvaise rotation entre l'anneau de scellement et sa structure de retenue (Fig. II.19).

Les mesures: Vérifier le montage et les verrous du couple.



Fig. II.19 : Usure mécanique.

II.10.9. Ressort brisé : Généralement suite à un désalignement angulaire de l'anneau de scellement stationnaire par rapport à l'arbre. Ce qui contraint l'anneau à ressort à constamment altérer sa position, entraînant à la longue la fatigue et la rupture de l'anneau. Une attaque chimique peut également entraîner le bris (Fig. II.20).

Les mesures:

- ✓ Vérifier le montage.
- ✓ Vérifier les propriétés corrosives du milieu et sélectionner les matériaux correspondant.
- ✓ Vérifier que l'arbre tourne librement en vertu des « gauchissements de l'arbre ».



Fig. II.20 : Ressort brisé.

II.10.10. Colmatage : Se produit lorsque la surface à ressort n'exerce plus de pression contre la surface opposée, parce que son ressort et/ ou son joint statique semi-dynamique est bouché par des débris (Fig. II.21).

Les mesures:

- ✓ Remplacer par un concept plus résistant au colmatage.
- ✓ Envisager le rinçage des joints.



Fig. II.21 : Colmatage.

II.10.11. Ressort bloqué : Causé par l'usure entre les pièces en mouvement et statiques autour du ressort. Il est particulièrement important de vérifier cette partie lors du remplacement des joints de type S, parce que la partie du ressort n'est pas comprise dans l'unité de remplacement (Fig. II.22).

Les mesures:

- ✓ Remplacer ou polir les pièces usées.
- ✓ Vérifier que l'arbre tourne librement en vertu des « gauchissements de l'arbre ».



Fig. II.22 : Ressort bloqué.

II.10.12. Vis d'inspection : Peuvent être aisément oubliés comme source de fuite (Fig. II.23).

Les mesures :

- ✓ Vérifier l'état des joints toriques et des vis.
- ✓ Les remplacer si nécessaire.



Fig. II.23 : Vis d'inspection.

II.10.13. Gauchissement de l'arbre : Nuisibles à la performance des joints d'étanchéité et doivent être maintenus à un strict minimum (Fig. II.24).

Les mesures: Vérifier l'arbre et le support du joint.

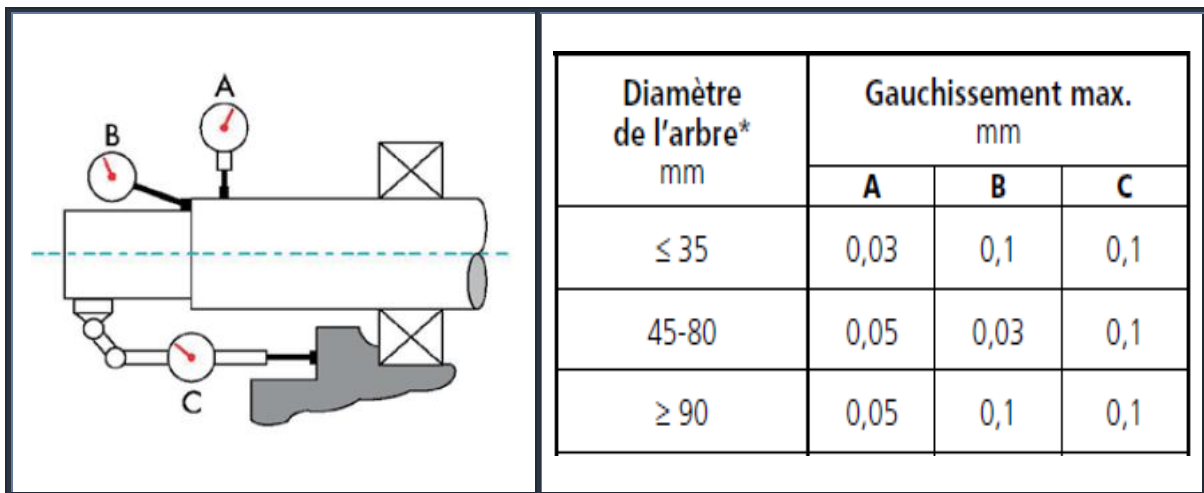


Fig. II.24: Gauchissement de l'arbre.

Dans le cas de mon étude, mon travail se porte sur un type de joints spécifiques qui est le joint d'étanchéité SPI (ou joint à lèvres) se trouvant au niveau du rotor anti-couple d'un hélicoptère et deux autres joints SPI qui se montent sur une fraiseuse.



Fig. II.25 : Le joint SPI.

II.11. Joints SPI :

Cet acronyme représente le nom de la société allemande qui fut la première à mettre au point ce type de joint. Cette société s'appelait la Société de Perfectionnement Industriel (Fig. II.25).

II.11.1 Histoire des joints à lèvres et leur approche expérimentale :

Bien que ces joints soient exploités depuis les années 30, la compréhension fondamentale de leur comportement physique date des années 50. Une grande variété d'observations expérimentales a contribué à l'explication et à la compréhension du mécanisme de fonctionnement de ce genre de joint.

Les premiers travaux de recherche concernant le comportement des joints à lèvre sont ceux de Jagger. L'auteur a montré l'existence d'un film lubrifiant entre la lèvre et l'arbre. Ce film sépare les deux surfaces en contact arbre/lèvre, supporte la charge due au serrage du joint et réduit son usure. Cependant, la découverte de ce film lubrifiant a amené à s'interroger sur le mécanisme qui produit l'élévation du joint et qui permet la formation du film et de se poser la question sur le mécanisme qui empêche le fluide de s'écouler vers l'extérieur après la formation du film lubrifiant.

Pour répondre à ces interrogations, de nombreuses études empiriques et numériques ont été effectuées. Les résultats de ces études ont permis de comprendre que la force de portance et le mécanisme d'étanchéité sont liés aux aspérités situées à la surface de la lèvre du joint. La présence des aspérités crée une géométrie de contact comportant des mini convergents/divergents qui conduisent à la génération d'une pression hydrodynamique et donc à l'élévation de la lèvre des joints.

Par ailleurs, d'autres études ont montré que les joints à lèvre avec des surfaces lisses n'assurent pas l'étanchéité dynamique, tandis que des joints comportant des surfaces rugueuses ont une plus grande fiabilité et assurent une augmentation du taux de pompage inverse.

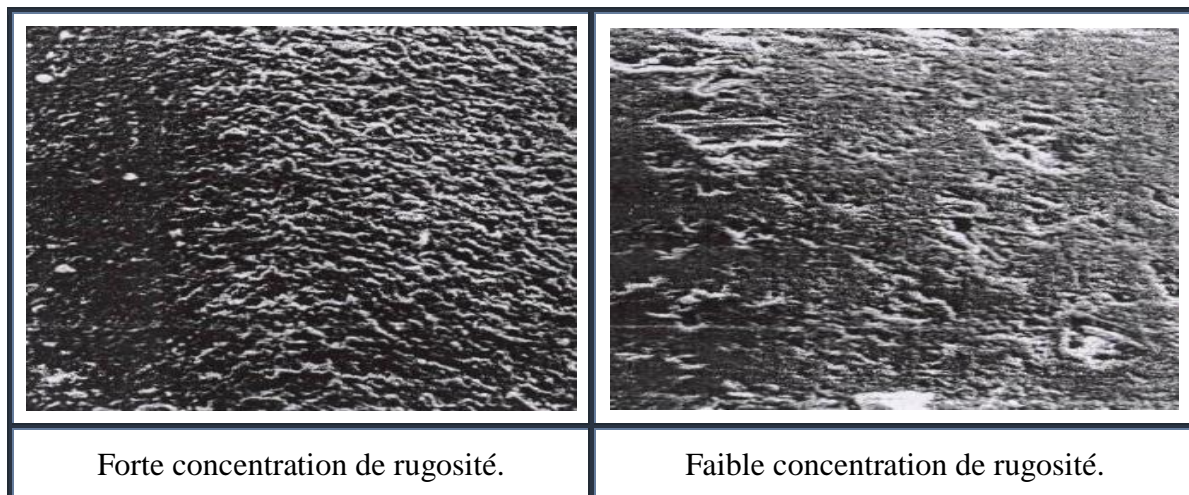


Fig. II.26 : Comparaison entre les surfaces des lèvres Horve.

Les investigations de Horve, réalisées sur deux joints ayant des états de surface différents ont montré que le joint ayant une forte concentration de rugosité assure la meilleure étanchéité (Fig. II.26).

D'autres études ont montré que la séparation des surfaces (joint/arbre) peut être expliquée par l'apparition de la micro cavitation au niveau du contact des zones inactives générées par la forme de rugosité des surfaces ou par la vibration axiale de l'arbre.

L'influence de la rugosité de l'arbre sur le comportement EHD du joint a été investiguée par Shen. L'étude a montré que la rugosité de l'arbre peut contribuer à l'amélioration du fonctionnement du joint et assurer l'étanchéité du mécanisme.

A part la génération de la force de portance, la présence des aspérités sur la lèvre du joint joue aussi un rôle très important dans le mécanisme d'étanchéité. M. Kammüller a essayé d'expliquer le rôle de la rugosité de la lèvre dans le mécanisme (Fig. II.27). En effet, la surface de la lèvre subit à la fois un chargement radial dû à la force de serrage et un cisaillement tangentiel dû à la rotation de l'arbre. De ce fait, la surface de la lèvre se déforme dans les directions radiale et tangentielle. La déformation tangentielle est asymétriquement distribuée suivant la direction axiale de la zone de contact. Par conséquent, les aspérités de la surface de la lèvre sont étirées et orientées par rapport à l'arbre en formant des rainures et des barrières inclinées permettant de renvoyer le fluide inversement à son sens d'écoulement.

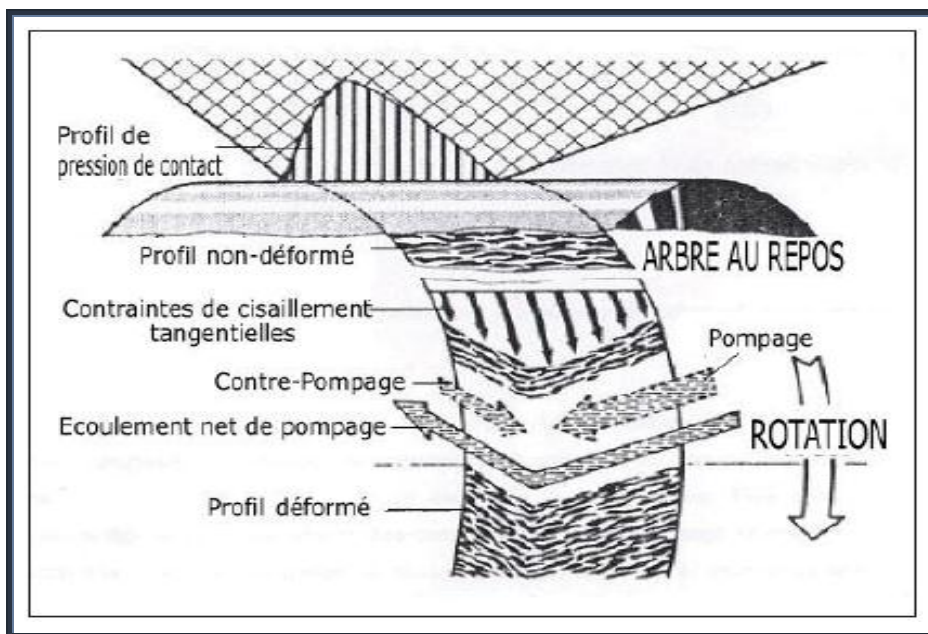


Fig. II.27 : Concept d'étanchéité Kammüller.

Le précédent concept a été soumis à une analyse hydrodynamique avec des micro-ondulations dans un modèle numérique, pour la première fois, par Salant. Par la suite, ce modèle a été transformé, par l'introduction des équations de l'élasticité, en un modèle EHD. Les auteurs ont couplé pour la première fois l'analyse hydrodynamique et la déformation élastique de la surface du joint dans leur procédure itérative de calcul.

II.11.2 Définition des joints SPI :

Ce sont des joints pour une étanchéité dynamique très poussée, mouvement de rotation uniquement.

Compacts, ils se composent d'une lèvre en élastomère (en contact avec l'arbre) en forme de couteau, frottant radialement sur l'arbre et réalisant la frontière étanche, renforcée par une armature assurant une bonne rigidité du joint. Ensuite, un ressort de forme torique sera inséré dans une gorge à l'intérieur de l'armature permettant de plaquer la lèvre sur l'arbre et d'assurer son serrage sur l'axe de cette dernière. Une colle est utilisée par la suite afin de garantir le maintien de la gomme et de l'armature (Fig. II.28).

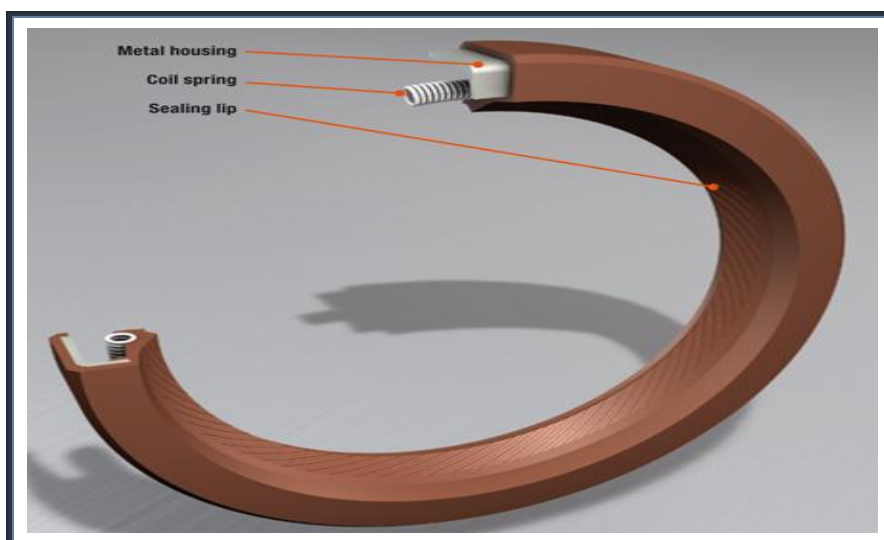


Fig. II.28 :Composition du joint SPI.

Dans certains types de joints SPI, il est possible de parler de joint double lèvre. Dans ce cas-là, le joint se compose comme celui précédemment cité du corps en élastomère, de l'armature, de la lèvre d'étanchéité et du ressort. Mais contrairement au joint SPI simple, la bague d'étanchéité est renforcée par une deuxième lèvre extérieure anti poussière (Fig. II.29).



Fig. II.29 : Joint double lèvres.

Les joints d'étanchéité SPI sont déterminés basiquement par leurs dimensions :

- ✓ **Diamètre intérieur** : c'est le diamètre de l'arbre.
- ✓ **Diamètre extérieur** : c'est le diamètre extérieur du joint et de l'alésage (orifice circulaire du corps dans lequel est placé le joint).
- ✓ **Épaisseur** : hauteur du joint, la gomme utilisée doit supporter les paramètres du milieu (température et type de lubrifiant).

II.11.3 Conditions d'utilisation :

- ✓ Ils doivent être utilisés sous faible pression (1 bar maxi).
- ✓ La vitesse circonférentielle (V) au contact avec l'arbre est limitée à 8m/s.
Avec :

$$V = \frac{\pi N}{30} \times \frac{D}{2}$$

- N : fréquence de rotation de l'arbre en tours/mn.
- D : Diamètre de l'arbre en mètre.

II.11.4 Rôle des joints à lèvres :

Le joint SPI est un joint dynamique, utilisé uniquement et essentiellement avec les huiles et les graisses dans le fonctionnement de pièces qui nécessitent des mouvements de rotation. Ils sont très utilisés dans le domaine de l'automobile, ceci est dû à leur faible coût et à leur fiabilité. En effet, ils assurent une bonne étanchéité statique et dynamique entre deux milieux de différents fluides et admettent de plus le mouvement relatif entre l'arbre et son logement.

II.11.5 Leurs emplacements :

Les joints SPI sont généralement placés entre deux pièces pour assurer l'étanchéité là où le mouvement de rotation est très grand (Fig. II.30).



Fig. II.30 : Quelques emplacements du joint SPI

II.11.6 La matière des joints SPI :

La réalisation du joint SPI nécessite une gomme en élastomère résistant aux fluides utilisés pour la lubrification du mécanisme.

Un joint à lèvres standard est composé généralement d'une partie en élastomère caractérisée par une lèvre qui repose sur la surface de l'arbre, d'une armature métallique pour rigidifier la structure du joint et d'un ressort de serrage permettant d'assurer la fonction d'étanchéité (Fig. II.31).

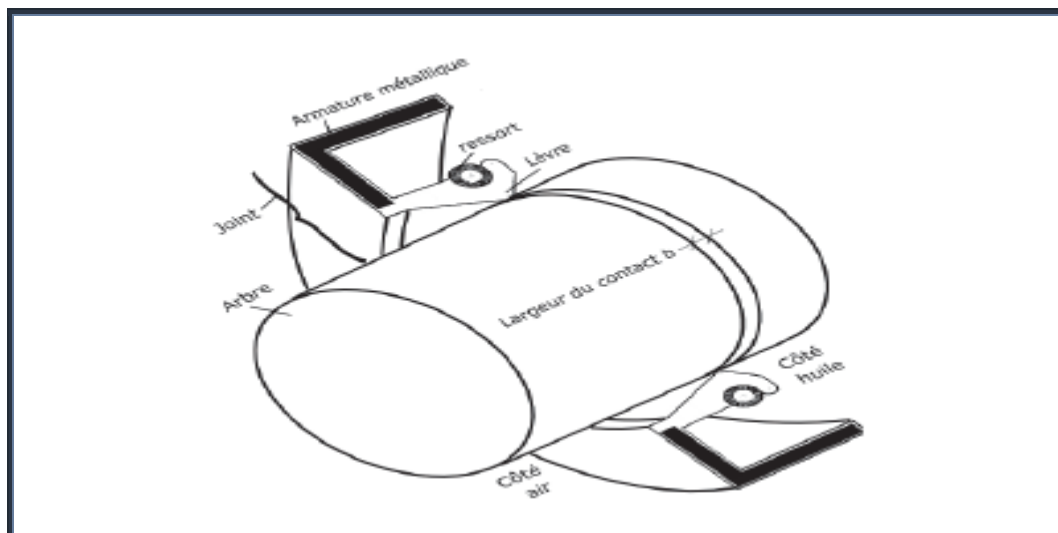


Fig. II.31 : Matière d'un joint SPI.

II.11.7 Les conséquences en cas d'anomalies :

La précision des joints à lèvres est extrêmement importante. Tout montage d'une pièce approximativement équivalente, ou légèrement de travers, à l'envers, ou encore le moindre endommagement de la bague ou de la lèvre se traduit par une fuite. On accusera alors facilement ces joints SPI de tous les maux quand leur pose et leurs conditions d'utilisation n'ont pas été suivies selon les prescriptions techniques (Fig. II.32).



Fig. II.32 : Fuite du joint.

II.12. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a abordé la fonction d'étanchéité assurée par les joints, leurs rôles, emplacements et domaines d'utilisation ainsi que la matière utilisée d'où on a conclu que les matières plastiques sont des matériaux très utilisés dans divers secteurs et cela grâce à leurs propriétés (physiques, chimiques et mécaniques) qui répondent aux différentes exigences telles que leurs poids très léger, leurs états de surface et leurs coûts de revient. De plus, il nous a permis de distinguer les différents types de joints tels que le joint à lèvre ou « Joints SPI » qui est l'objectif de notre étude. Enfin, la fiabilité d'un produit ne sera jamais meilleure que celle de son système de joints.

Par la suite, nous allons voir les différents types de moules ainsi que les opérations de moulage réalisant ces types de joint.

Chapitre III

*La mise en forme des
matières plastiques par
moulage*

III.1. Introduction :

Comme pour les métaux, les produits en matières plastiques peuvent être fabriqués par enlèvement de matière, par pliage et par soudage. Ces techniques de transformation restent cependant marginales.

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

Pour les matières thermoplastiques, on emploiera principalement les procédés de mise en forme par moulage qu'on va préciser dans ce chapitre.

III.2. Définition d'un moule :

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

III.2.1. Son principe :

Le moule représente en creux la forme de l'objet que l'on désire obtenir, on y place un matériau sous forme (liquide, pâte, etc.) puis on attend que ce matériau refroidisse et passe à l'état solide. Ce moule est constitué d'un matériau qui varie en fonction de l'objet à obtenir, de sa complexité, du métal ou plastique coulé, du nombre d'exemplaires désirés et de son prix de revient.

III.2.2. Types de moule :

- ✓ **Moule en sable** : ne sert qu'une fois. Il est utilisé pour toute forme de fabrication (unitaire ou grande série) dans toutes les matières.
- ✓ **Moule métallique** : cher à réaliser et à entretenir. Utilisé pour la fabrication grande série de pièces en alliages légers (aluminium, zamak, plastique).
- ✓ **Moule souple** : (caoutchouc, latex, silicone), surtout utilisé en fonderie d'art pour la reproduction fidèle d'objet à réaliser sans fusion ou pour prendre une empreinte.
- ✓ **Moule en bois** : comme le moule à beurre ou pour la fabrication de briques

III.2.3. Le choix des matériaux des moules :

Le choix des matériaux des moules dépend de leurs destinations. Pour les moules de grandes séries, les critères de longévité sont pris en compte en priorité avant ceux des coûts de la matière première et de son usinage.

Les moules expérimentaux ou ceux destinés à la fabrication de très petites séries peuvent, par contre, être réalisés avec des matériaux moins résistants, si les conditions de fonctionnement des moules (surtout lorsqu'il s'agit d'essais) sont sensiblement identiques à celles du moule de production. Ces matériaux doivent avoir :

- ✓ Une bonne résistance à l'abrasion causée par le frottement des charges contenues dans la matière injectée et le mouvement des éléments mobiles de l'empreinte.
- ✓ Une bonne usinabilité et une bonne aptitude au polissage, indispensables pour faciliter le respect du cahier des charges concernant l'état de surface des éléments moulants et la réalisation de formes complexes.
- ✓ Une précision et une stabilité dimensionnelles correctes après les traitements thermiques dont il faut connaître les effets, compte tenu des dimensions et des tolérances de l'outillage dont dépend l'un des éléments de calcul du retrait de la pièce injectée.
- ✓ Une résistance à la corrosion chimique indispensable à cause des produits dégagés par l'injection de certaines matières plastiques (PVC, acétate de cellulose, PTFE...).
- ✓ Une bonne conductivité thermique : cas des métaux, contrairement aux résines chargées avec lesquelles on observe des cycles d'injection très longs malgré l'incorporation de circuits de refroidissement.

Le plus souvent les aciers sont les plus utilisés pour la fabrication des moules. Par un choix et un traitement thermique judicieux, on obtient des éléments résistants à la fatigue et aux contraintes mécaniques, ainsi que des surfaces polies et dures s'opposant très bien à l'abrasion.

Le mode de fabrication de moule amène les moulistes à choisir des aciers faciles à usiner et à polir, en tenant compte, pour le choix et l'usinage, des traitements thermiques envisagés selon le tableau III.1.

Application	Matériaux	Etat	Résistance ou dureté daN/mm ²	Observation
Carcasses et cales diverses	C 45 XC 38 XC 48	Trempe ou revenu	85 - 105	Traité pour les plaques formant le plan de joint et grandes séries.
Empreintes	40CMD8 35NCD16 Z50CDV5 Z200C12	Trempe cémentation	80 - 180	Bonne résistance. Haute limite élastique.
Tiroirs	Z50CDV5 80Mn8 55Ni Cr7	Trempe	80 - 180	Acier sulfurisé. prétraité.
Plaques porte empreintes Plaques dévétisseuses	40CMD8 42CD4	Trempe revenue	100 - 120	Prétraité.
Eléments mobiles	16NC6 100 C 6 40Ni Cr15 45Si Cr Mo6 35Ni Cr 6	Trempe Nitruration Cémentation	100 - 200	Pièce de commerce. Bonne résistance à l'usure.

Tableau III.1 : Tableau des matériaux pour la fabrication des moules.

III.3. Le moulage :

III.3.1. Définition du moulage :

Le moulage est l'action de prendre une empreinte qui servira ensuite de moule dans lequel sera placé un matériau et qui permettra le tirage ou la production en plusieurs exemplaires d'un modèle. Le tirage consiste donc à placer un matériau (liquide, pâte, poudre, feuille, plaque, paraison, préforme, pastille, etc.) dans un moule dont il prendra la forme comme indiqué dans la figure III.1.

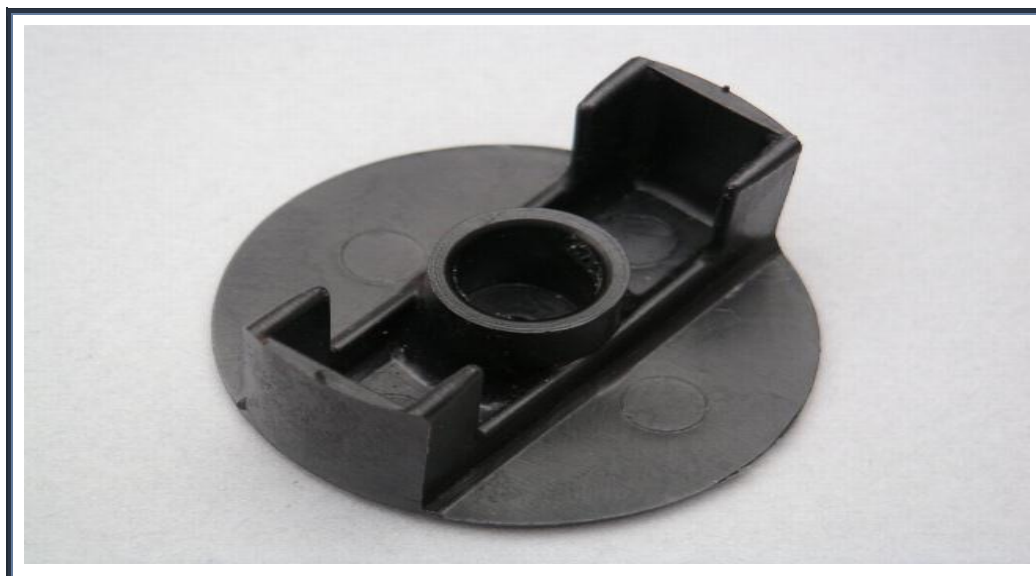


Fig. III.1 : Une pièce thermoplastique fabriquée par moulage.

III.3.2. L'art du moulage :

Un moulage réussi demande beaucoup de réflexion et de goût. Avant toute opération, il faut étudier minutieusement les formes, en sentir les moindres détails. Avec un peu d'expérience, cette observation attentive du modèle alliée à un peu de pratique permet de déterminer le choix de la technique, et des produits à utiliser.

C'est principalement le travail du modelleur, qui d'après la pièce à réaliser, détermine les modèles à réaliser, les empreintes dans les moules, les noyaux ; le tout en tenant compte des impératifs de démoulage, de retrait de la matière. Le modelleur est celui qui dessine les outillages au bureau d'études, mais aussi celui qui réalise les modèles à l'atelier d'outillage.

III.4. La mise en forme des matières plastiques :

Depuis bien longtemps au niveau de l'industrie, on utilisait les matériaux organiques basés essentiellement sur la chimie du carbone, pour la construction des pièces dans plusieurs domaines. Mais la mise en forme des polymères n'est pas comme les autres anciens matériaux (fer, cuivre, acier, etc.), cette mise en forme du polymère à plusieurs méthodes et techniques.

Ces procédés sont aussi utilisés pour les matières thermodurcissables, mais qui nécessitent une attention particulière pour la température.

III.5. Le procédé d'injection des matières plastiques :

III.5.1. Définition :

Le procédé d'injection est destiné à produire très rapidement des objets en très grandes quantités. Cette technique permet d'obtenir en une seule opération des pièces finies en matière plastique, de formes complexes, dans une gamme de poids allant de quelques grammes à plusieurs kilogrammes. Dans la figure III.2 ci-dessous, on trouvera quelques exemples de pièces obtenues en utilisant ce procédé.



Fig. III.2 : Exemples de pièces obtenues par injection plastique.

III.5.2. Principe de l'injection plastique :

La matière, en granulés, ramollie par la chaleur est injectée dans un moule sous forte pression. Après refroidissement ces moules permettent la réalisation d'objets de dimensions et formes variables, ainsi que de pièces techniques très complexes et de grandes précisions telle que la figure III.3 montre.

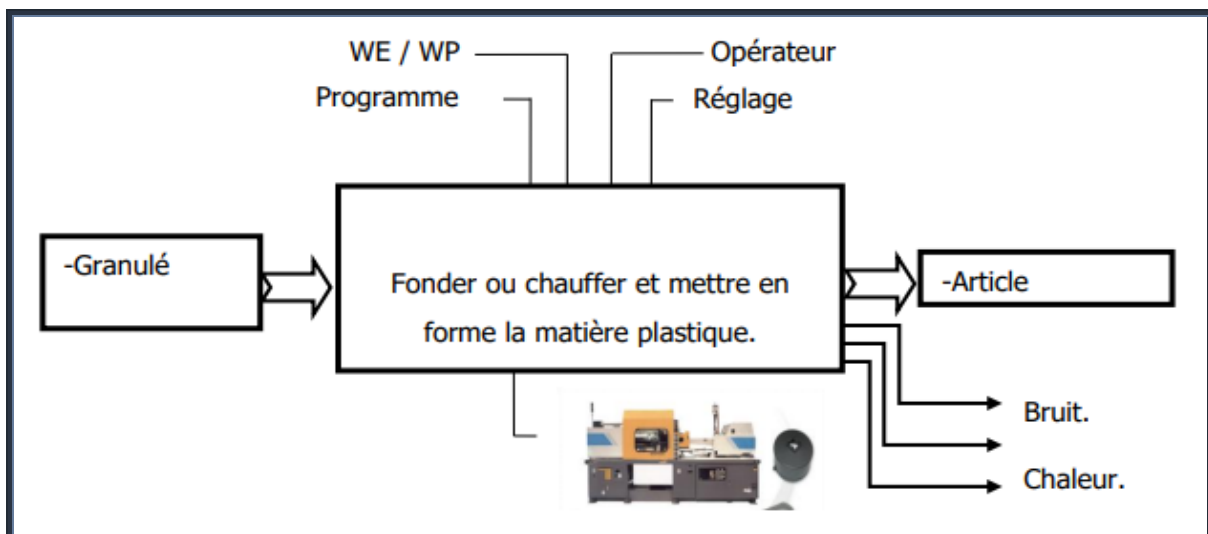


Fig. III.3 : Principe de l'injection plastique.

III.5.3. Les Presses d'injection plastique :

Une presse d'injection des thermoplastiques, illustrée dans la figure III.4, est composée par les ensembles suivants :

- ✓ Ensemble d'injection et de plastification (trémie, fourreau, vis).
- ✓ Ensemble de fermeture (moule, vérin de fermeture).
- ✓ Ensemble hydraulique (système hydraulique).
- ✓ La partie commande

Une machine est caractérisée par :

- ✓ La force de fermeture qui est comprise entre 50 tonnes et 3000 tonnes
- ✓ La pression sur la matière injectée qui peut atteindre 2000 bars
- ✓ La capacité d'injection (en cm³ ou en kg) : Suivant le sens d'injection on distingue :
 - Les presses verticales (faible capacité).
 - Les presses horizontales (machines plus fréquentes).

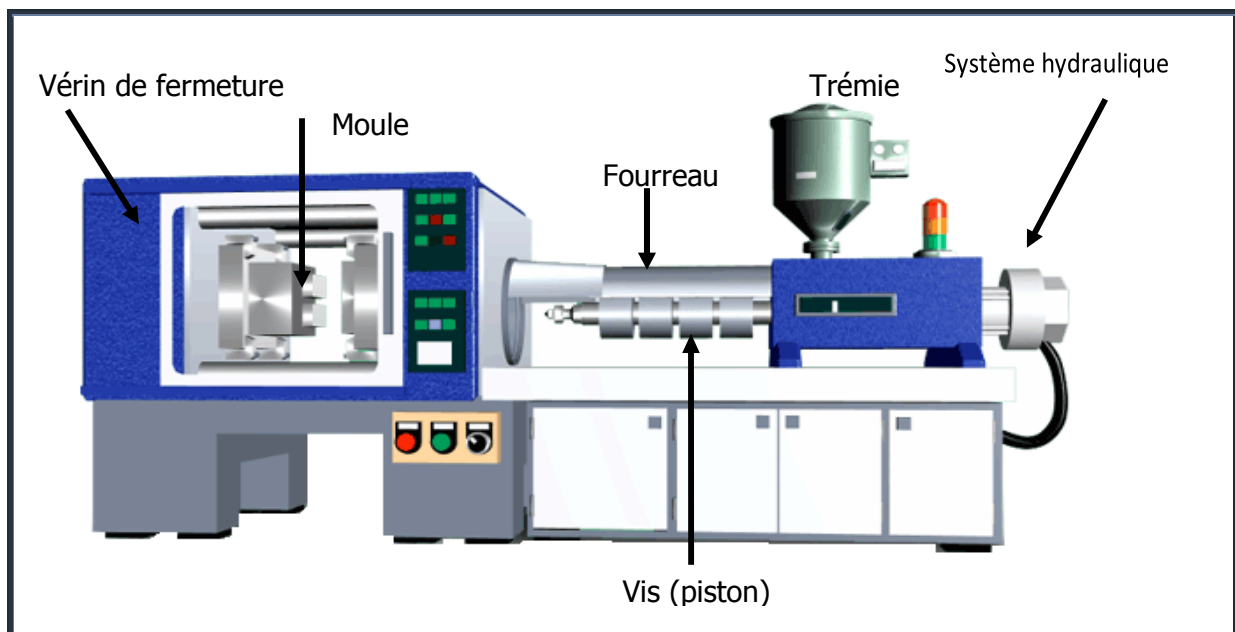


Fig. III.4 : Les parties constituantes d'une Presse d'injection.

III.5.4. Outillages d'injection (moule) :

La plupart des moules sont conçus selon le schéma ci-dessous (Fig. III.5). Dans un moule nous trouvons donc :

- ✓ Une partie fixe
- ✓ Une partie mobile
- ✓ Une batterie d'éjecteurs

Le moule thermoplastique est généralement défini par :

- ✓ Le nombre d'empreintes (1, 2, 4, 8, 16, 32 ...)
- ✓ Son architecture : nombre de plaques, tiroirs...
- ✓ Le système d'alimentation : carotte perdue, canaux chauffants...
- ✓ Le type d'alimentation des empreintes : pin point, en masse, en parapluie, sous-marine...
- ✓ L'éjection des pièces
- ✓ Système de refroidissement

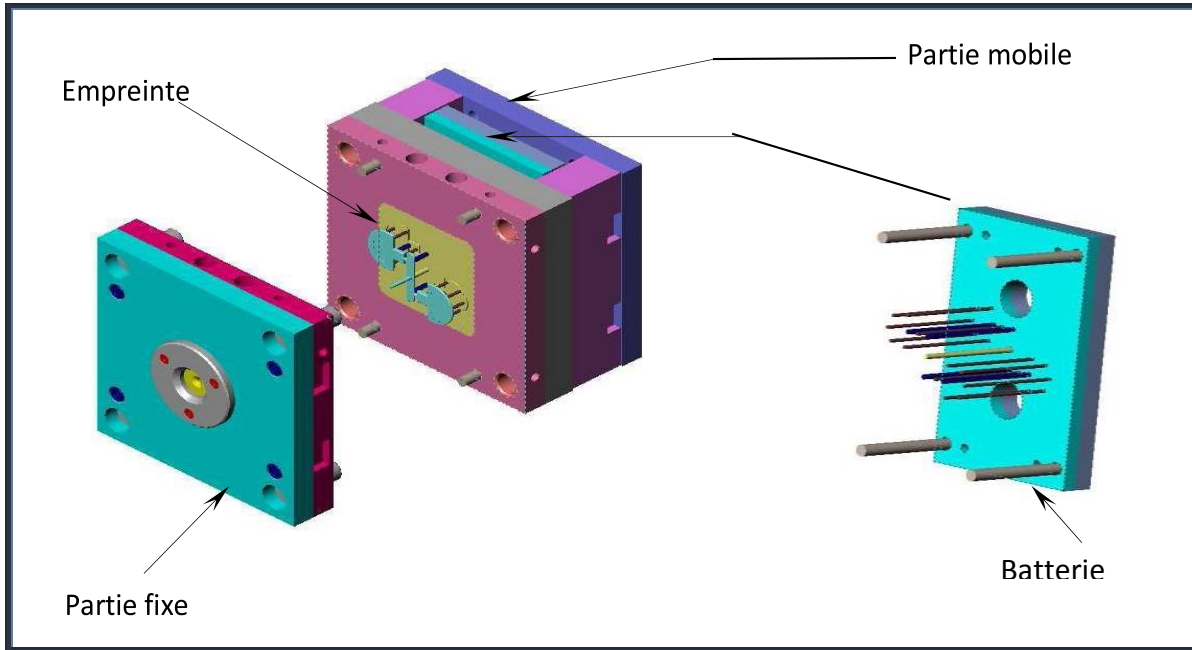


Fig. III.5 : Architecture d'un moule d'injection plastique

- 1- Bague de centrage
- 2- Colonne de guidage
- 3- Rappel d'éjection
- 4- Plaque d'éjection
- 5- Empreinte
- 6- Tasseaux
- 7- Queue d'éjection
- 8- Arrache carotte
- 9- Plot de soutien
- 10- Contre buse
- 11- Bague de guidage
- 12- Ressort de rappel
- 13- Plaque de fixation A.V
- 14- Plaque porte empreinte inf
- 15- Plaque intermédiaire
- 16- Plaque de fixation A.R
- 17- Ejecteur
- 18- Plaque porte empreinte sup

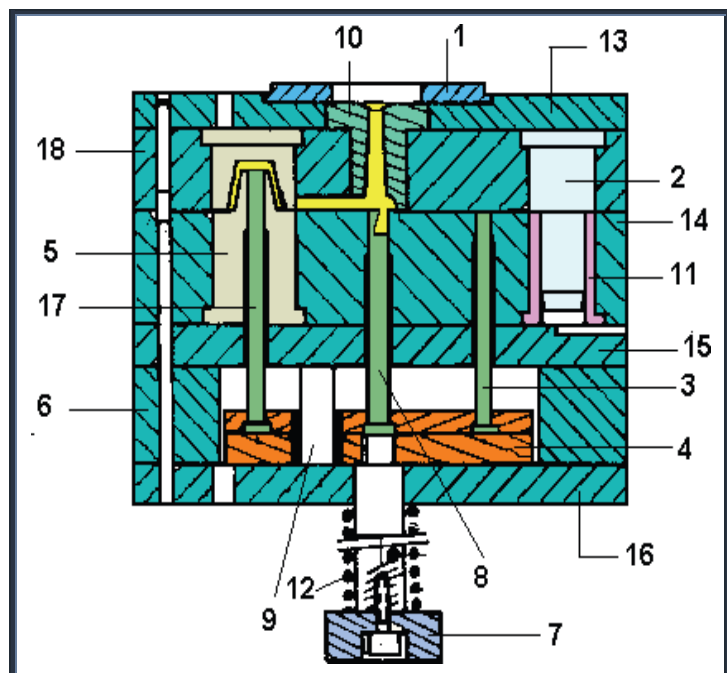


Fig. III.6 : Moule d'injection plastique (composants).

III.5.5. Les phases d'injection :

On peut distinguer six phases essentielles du procédé de moulage d'un polymère constituant le cycle de fabrication.

- ✓ **Fermeture du moule** : Ce mouvement commence avec une vitesse lente puis rapide, et se termine de nouveau lentement pour éviter le choc entre les plans de joint et pour donner le temps d'agir au système de sécurité (Fig. III.7).

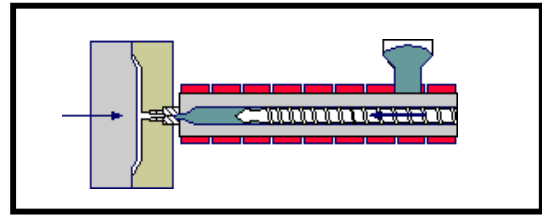


Fig. III.7 : Fermeture du moule.

- ✓ **Verrouillage** : Si le système de sécurité n'a décelé aucune anomalie, la commande peut appliquer la force de fermeture. Selon le système de fermeture, la force est créée par le produit de la surface et de la pression, ou par la mise en contrainte des colonnes (Fig. III.8).

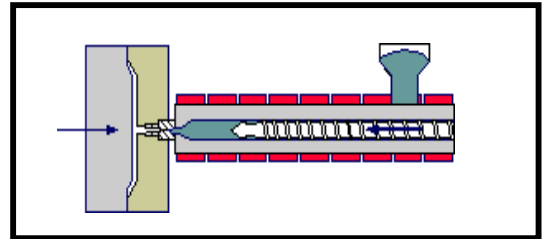


Fig. III.8 : Verrouillage.

- ✓ **Injection** : C'est la phase de remplissage de l'empreinte avec la matière plastifiée et le maintien sous pression pour compenser les retraits (Fig. III.9).

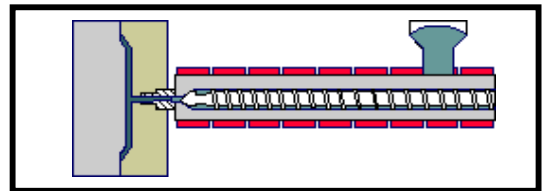


Fig. III.9 : Injection.

- ✓ **Refroidissement** : Il a lieu le temps nécessaire pour que le plastique se solidifie dans le moule. Dans la pratique, on plastifie souvent, pendant ce temps, la matière pour le prochain cycle. De plus, si nécessaire au cours de ce temps, on peut séparer la buse du cylindre d'injection et le moule (Fig. III.10).

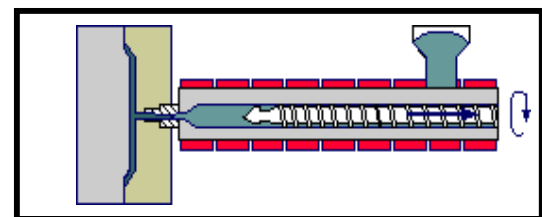


Fig. III.10 : Refroidissement.

- ✓ **Ouverture du moule** : Le plastique étant suffisamment refroidi pour pouvoir être démoulé, la partie mobile du moule s'écarte de la partie fixe (Fig. III.11).

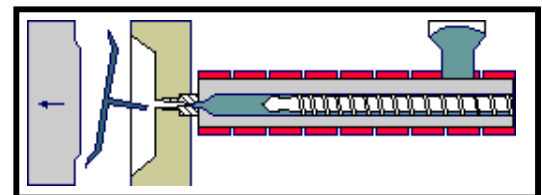


Fig. III.11 : Ouverture du moule.

- ✓ **Démoulage (éjection)** : Le moule occupe la position de fin d'ouverture qui assure à la pièce l'espace libre pour être éjectée.

III.5.6. La vis de plastification :

C'est l'élément le plus important de la presse à injecter. Le but étant de plastifier une matière sans lui faire perdre de ses caractéristiques au moment du passage en fusion. Elle assure une fonction essentielle qui est le transport et plastification de la matière, c'est l'injection sous pression de la masse fondue dans le moule. Elle est composée de 3 zones, comme indiqué dans la figure III.12 et cité ci-dessous :

- ✓ **Zone d'alimentation** : Alimenter et transporter les granulés à l'intérieur du cylindre. Dans cette zone, la profondeur des filets de la vis est importante, et reste constante.
- ✓ **Zone de compression** : On diminue progressivement la profondeur des filets. On comprime et on cisaille la matière. La conjugaison friction + apport calorifique des résistances chauffantes provoque la fusion des granulés.
- ✓ **Zone d'homogénéisation** : Dans cette zone, la profondeur redevient constante, ce qui permet d'homogénéiser la masse de matière fondue et de bien mélanger les additifs.

Les longueurs de ces différentes zones et leur profil peuvent être différents, On retrouvera :

- ✓ Vis à profil pour matières amorphes (Fig. III.13).
- ✓ Vis pour matières semi-cristallines (Fig. III.14).
- ✓ Vis pour matières spécifiques (sans clapet pour PVC rigide).

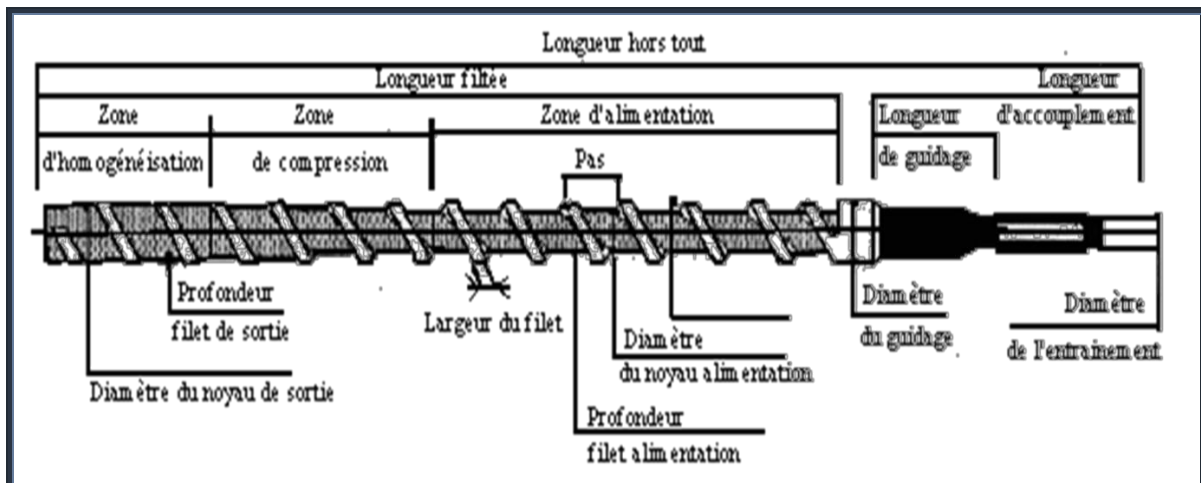


Fig. III.12 : Architecture d'une vis d'injection plastique.



Fig. III.13 : Vis pour matière amorphe.



Fig. III.14 : Vis pour matière semi cristalline.

III.5.7. Paramètres d'injection :

L'injection plastique sur une presse d'injection est gouvernée par plusieurs paramètres sur lesquels il faut agir et les optimiser, ces paramètres sont 4 :

- ✓ « Force de verrouillage » et « Temps de dosage »
- ✓ « Vitesse d'injection » et « Débit d'injection »
- ✓ « Temps d'injection » et « Pression d'injection »
- ✓ « Pression de maintien » et « Temps de maintien »

III.5.8. Autres types d'injection :

Des solutions technologiques apportées à la machine ou au moule (Fig. III.15), apparaissent sous divers noms, on cite :

- ✓ Injection Gaz ou injection à l'Eau
- ✓ L'injection Bi-matière ou Bi-couleur
- ✓ Injection IML (In Mold labelling).

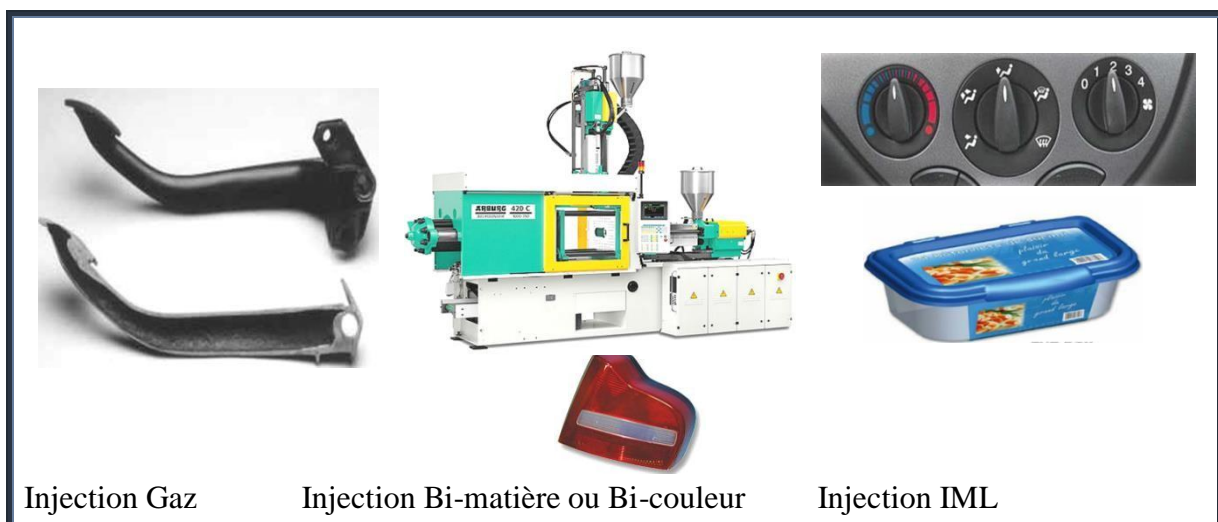


Fig. III.15 : Différents types d'injection plastique.

III.6. Le procédé d'extrusion :

III.6.1. Introduction :

L'extrusion est un procédé très utilisé en plasturgie puisque la majorité des matières thermoplastiques est au moins extrudée une fois lors de sa préparation, néanmoins d'autres sortent sous forme d'objets finis.

L'extrusion est largement utilisée pour la fabrication des produits semi-ouvrés tels que : plaques, feuilles, tubes... (Fig. III.16).

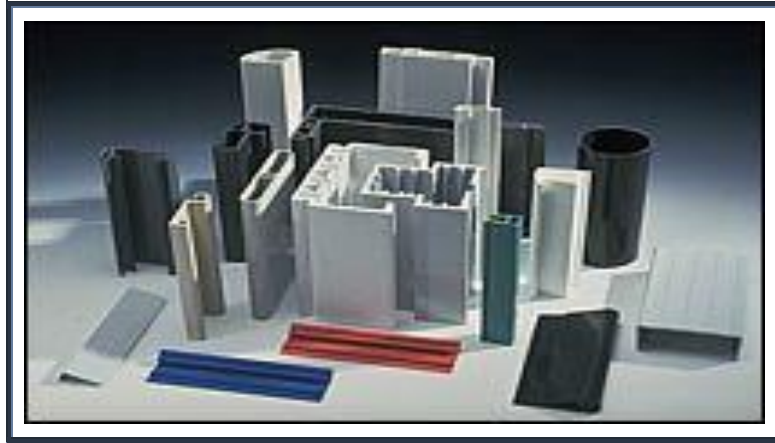


Fig. III.16 : Articles obtenus par extrusion (profilés).

III.6.2. L'extrudeuse mono vis :

Une extrudeuse mono vis est constituée d'une vis sans fin en rotation à l'intérieur d'un fourreau chauffé (Fig. III.17). Ce système assure les trois fonctions suivantes :

- ✓ **Une fonction de convoyage** : le polymère descendant de la trémie sous forme de poudre ou de granulés est compacté et convoyé : c'est le principe de la vis d'Archimède.
- ✓ **Une fonction de plastification** : le passage de l'état solide à l'état liquide est réalisé progressivement grâce, à la fois, à la chaleur fournie par conduction et à la dissipation d'énergie de cisaillement.
- ✓ **Une fonction de pompage** : le diamètre de la vis augmente entre la zone d'alimentation et la zone terminale de l'extrudeuse, ce qui aboutit à mettre le polymère liquide en pression pour obtenir un débit régulier dans la filière.



Fig. III.17 : Extrudeuse mono vis.

III.6.3. Les phases d'extrusion :

Dans l'extrudeuse, la matière est ajoutée dans la trémie sous forme de poudre ou de granules. La trémie alimente en continu le cylindre chauffé contenant une vis rotative. La vis assure à la fois le chauffage, le malaxage, la mise en pression et le dosage du polymère qui est refoulé sous pression dans la tête d'extrusion. La tête contient une filière qui donne la forme approximative de la pièce dont le polymère est ensuite refroidi à l'eau ou à l'air pour prendre sa forme finale. Les dispositifs de tirage entraînent le polymère qui se refroidit, soit pour l'enrouler en bobine, soit pour permettre de le couper à la longueur. La figure III.18 montre ces différentes phases d'extrusion.

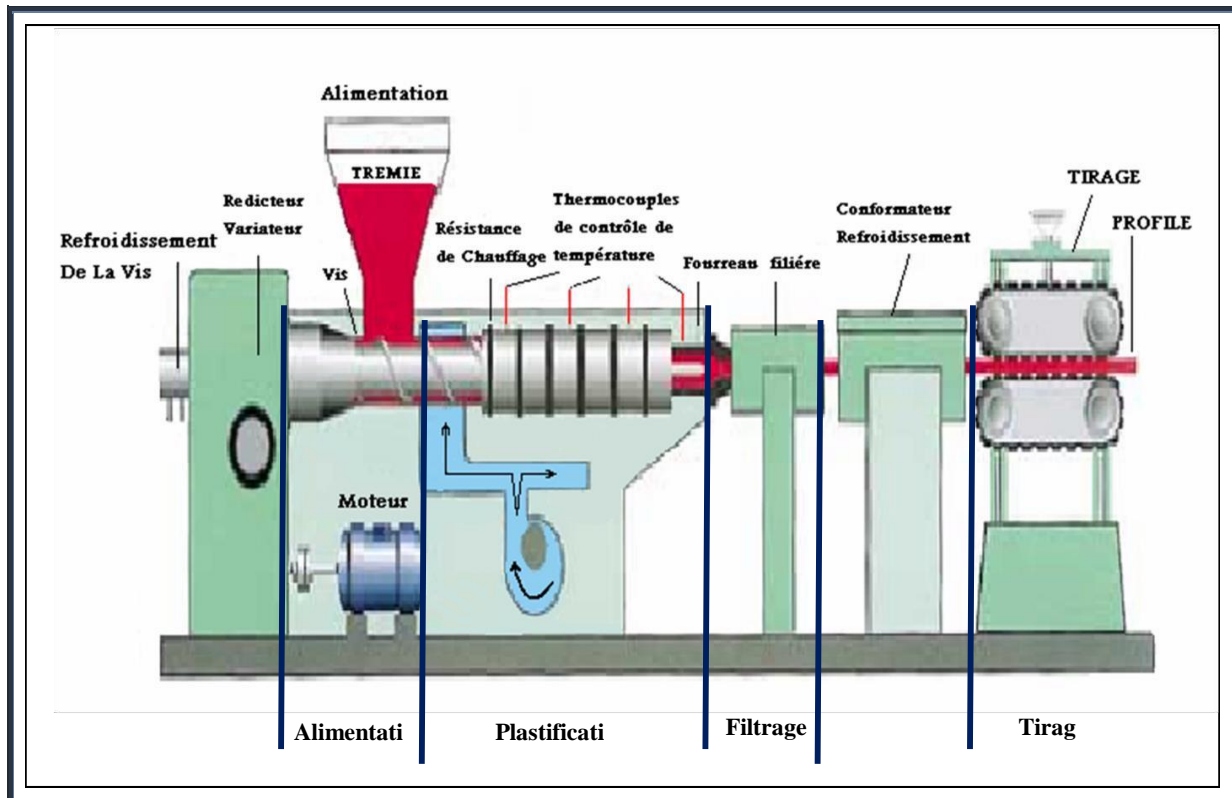


Fig. III.18 : Les différentes phases d'extrusion.

III.7. Le procédé du thermoformage :

III.7.1. Introduction

Le thermoformage est un procédé de transformation qui utilise des produits semi-finis tels que des feuilles et des plaques et les transforme en objets finis à large domaine d'applications comme les carrosseries, planches à voile, bateaux, vasques de luminaires, vitres blindées, panneaux publicitaires, emballages de produits alimentaires et d'articles de consommation (Fig. III.19).



Fig. III.19 : Objets mis en œuvre par thermoformage.

III.7.2. Principe :

Le thermoformage est la technique consistant à former à l'aide d'un moule, une feuille de plastique ramollie par chauffage. La feuille ainsi déformée épouse la forme du moule et en refroidissant conserve sa forme. La technique de thermoformage utilise des produits semi-ouvrés (plaques et feuilles rigides en thermoplastiques) pour les transformer en objets tridimensionnels (Fig. III.20).

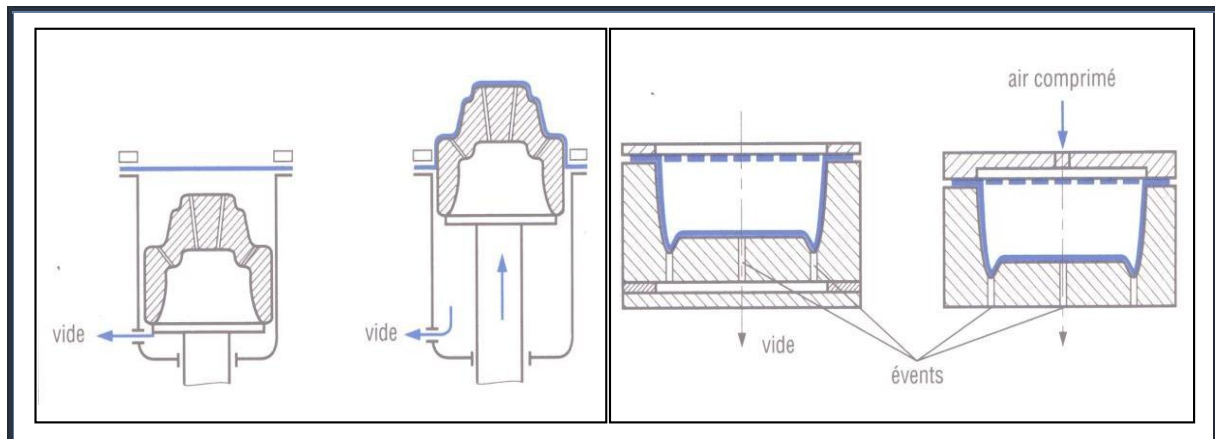


Fig. III.20 : « Formage par vide » et « Formage par vide et air comprimé »

III.7.3. Les machines du thermoformage :

Une machine de thermoformage est généralement constituée d'un poste de chauffage, d'un poste de formage, d'un poste de découpe et d'un poste d'empilage. Actuellement, ces machines sont équipées d'automates ou commandées par ordinateur assurant le réglage, le suivi des principales opérations et une reproductibilité fiable du cycle de formage pour que les objets thermoformés aient la qualité requise (Fig. III.21).



Fig. III.21 : Les machines de thermoformage.

III.7.4. Les phases du thermoformage :

La feuille de plastique est tendue sur un cadre chargé de la maintenir et chauffée par des résistances. Une fois ramollie, le moule situé en dessous de la feuille est remonté. On crée alors une dépression entre la feuille et le moule en aspirant l'air grâce à une pompe à vide. La pression atmosphérique située au-dessus de la feuille plaque alors la feuille sur le moule.

On peut résumer le cycle de mise en forme en thermoformage par les 4 phases, montrées dans la figure III.22, et qui sont :

- ✓ **Phase 1 :** Chauffage de la plaque thermoplastique préalablement fixée à l'endroit approprié de la machine.
- ✓ **Phase 2 :** Une fois la température de thermoformage est atteinte, retirement des appareils de chauffage et élévation du plateau portant le moule générant ainsi une pression sur la plaque ramollie sous l'action de la chaleur.
- ✓ **Phase 3 :** Aspiration d'air (entre la plaque et le moule) pour que la feuille adhère au moule.
- ✓ **Phase 4 :** Refroidissement de la plaque thermoformée et descente du moule.

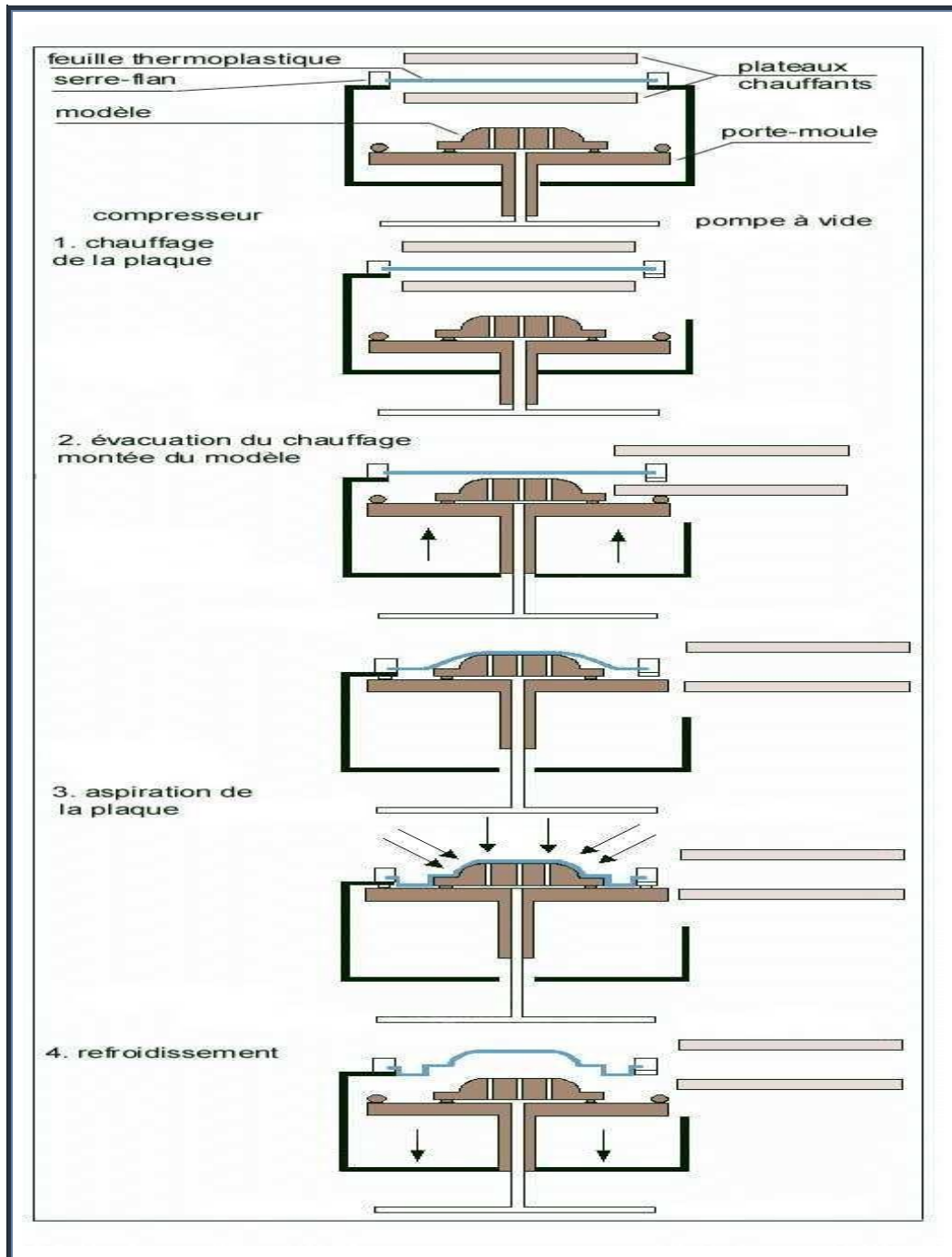


Fig. III.22 : Les différentes phases du thermoformage.

En fait, il existe trois grandes techniques de base pour obtenir ce résultat :

- ✓ L'évacuation d'air pour que la feuille adhère au moule (Exemple ci-dessous).
- ✓ L'utilisation d'air pressurisé pour pousser la feuille contre le moule (Thermocompression).
- ✓ L'utilisation d'une force mécanique assistée par tampon (Emboutissage à chaud).

Ces techniques peuvent être employées ensemble dans tout équipement de formage standard selon le modèle de la pièce à former.

III.8. Le Roto moulage :

III.8.1. Introduction :

Le moulage par rotation est une méthode de transformation des polymères permettant la production d'articles creux avec des contenances très diversifiées (de quelques dixièmes de litre à des milliers de litres). Le moulage par rotation permet de produire des petites et des grandes séries de pièces comme indiqué dans la figure III.23.



Fig. III.23 : Articles mis en œuvre par Roto moulage.

III.8.2. Principe :

Le principe de cette méthode de transformation consiste à introduire de la matière (sous forme de poudre) dans un moule qu'on chauffe et qu'on introduit en double rotation. La matière fondue parvient ainsi à couvrir toutes les parois du moule et épouse alors sa forme.

Le polymère le plus utilisé en Roto moulage est le PE (90% des applications) ; PP, PC, PA, PVC sont également utilisés. Pour être roto moulé le PE doit être sous forme de poudre avec une taille des particules entre 100 à 500 μ m.

III.8.3. Machines de roto moulage :

Un poste de Roto moulage doit assurer principalement la rotation du moule autour de deux axes perpendiculaires. Le temps de cycle est important en comparaison aux autres procédés (15 - 40 minutes par cycle) ; donc ces postes ont une faible cadence de production. La figure III.24 ci-dessous montre un exemple de poste de roto moulage.



Fig. III.24 : Exemple de poste de roto moulage.

III.8.4. Les phases du Roto moulage :

Le procédé est basé sur la rotation d'un moule chauffé dans un four sur deux axes perpendiculaires. Durant la rotation, tous les points de la surface interne du moule occupent toutes les positions de l'espace et sont périodiquement en contact avec le produit.

Le procédé comprend 4 phases principales, montrées dans la figure III.25 et détaillées dans le tableau III.2 :

- ✓ **Phase 1** : Chargement de la matière et fermeture du moule.
- ✓ **Phase 2** : Chauffage du moule et de la matière, et mise en rotation double de l'ensemble.
- ✓ **Phase 3** : Refroidissement du moule.
- ✓ **Phase 4** : Démoulage de la pièce.

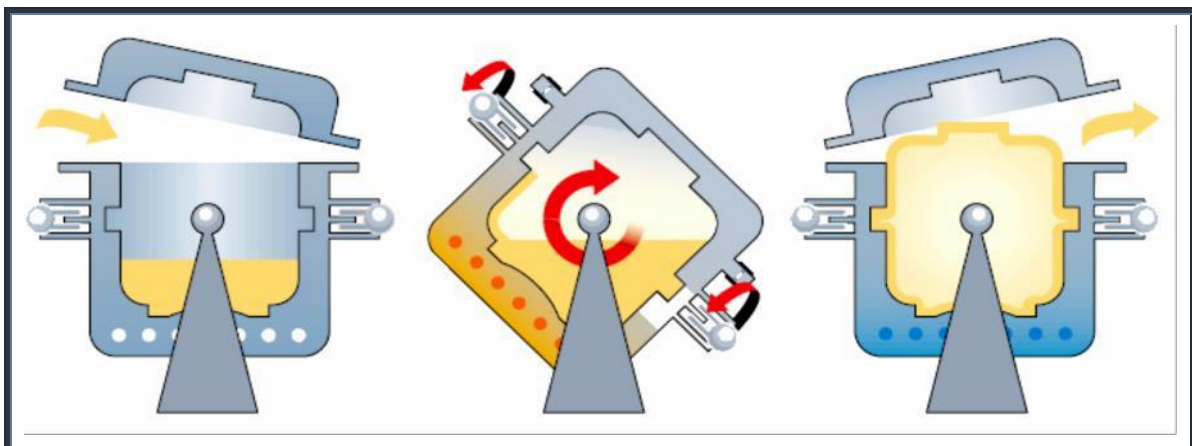


Fig. III.25 : Les différentes phases d'obtention d'une pièce par Roto moulage.

Phase/Désignation	Description
<p>Phase 1 : Chargement et fermeture du moule</p>	<p>Un moule formé en général de 2 demi-coquilles, l'une fixe, l'autre mobile. La partie fixe est chargée de poudre de matière plastique ou de plastisol liquide, dont le poids correspond à celui de la pièce à obtenir. Le moule est alors fermé au moyen de raccords rapides. La partie fixe du moule a été au préalable, montée sur un système mécanique, qui lui permet de tourner autour de 2 axes perpendiculaires.</p>
<p>Phase 2 : Le chauffage du moule jusqu'à la température de bonne fusion</p>	<p>L'ensemble moule matière, est mis en mouvement planétaire et la poudre de matière plastique ruisselle par gravité sur les parois. Les vitesses de rotation étant faibles l'effet de la force centrifuge est négligeable. L'ensemble moule matière plastique est alors chauffé par apport de chaleur au moyen d'un four, d'une rampe à gaz ou de panneaux infrarouge. Le moule métallique ainsi chauffé, transmet sa chaleur à la poudre dont les grains commencent à fondre et par suite à se coller sur la paroi du moule. La fusion se poursuit, jusqu'à ce que de proche en proche tous les grains soient fondus. On a alors atteint la température de bonne fusion de la matière sur la dernière couche qui représente la face interne de la pièce moulée.</p>
<p>Phase 3 : La solidification de la matière</p>	<p>A la fin de la période de chauffage la matière thermoplastique est à une température supérieure à son point de fusion, et sa consistance reste visqueuse, il faut donc la refroidir. Cela se fait en projetant sur le moule de l'air frais et/ou un brouillard d'eau. Lorsque la matière est arrivée en dessous de sa température de cristallisation ou de solidification, on continue à la refroidir jusqu'à ce qu'elle soit manipulable.</p>
<p>Phase 4 : Le démoulage</p>	<p>La pièce obtenue, est suffisamment rigide et froide, on ouvre les raccords rapides, on soulève la partie mobile du moule et on extrait la pièce qui reproduit exactement l'architecture interne du moule. La pièce est ainsi prête pour la finition ou l'assemblage avec d'autres pièces.</p>

Tableau III. 2 : Tableau des différentes phases d'une réalisation de pièces par roto moulage.

III.9. Le calandrage :

III.9.1. Introduction :

Le calandrage est un procédé de fabrication en continu de films de thermoplastiques par laminage de la matière entre plusieurs cylindres parallèles. Ces cylindres sont chauffés et entraînés mécaniquement et forment la machine de calandrage qu'on appelle « Calandre ». Leur nombre se situe généralement entre 3 et 6 cylindres. La feuille obtenue est étirée puis refroidie avant d'être enroulée. Dans la figure III.26, on a illustré quelques articles mis en œuvre par le procédé du calandrage.



Fig. III.26 : Articles mis en œuvre par calandrage.

III.9.2. Principe du procédé :

La matière à calandrer préalablement malaxée et chauffée passe dans la calandre pour être laminée par les cylindres chauffés et tournants. Toutes les bulles d'air sont alors chassées de la matière laminée.

Un détecteur de particules métalliques qui agit par séparation magnétique est prévu à l'entrée de la matière. Une graineuse et rouleaux décolleurs peuvent être prévus à la sortie de la matière afin de modifier l'aspect de la surface de la feuille.

Un convoyeur de stabilisation sert à transporter et étier le film laminé à la sortie de la calandre. Des tambours refroidissent ce film par action de contact. Une jauge d'épaisseur est également présente sur la chaîne pour mesurer l'épaisseur du film calandré. A la sortie de la chaîne, des coupe-lisières sont prévues pour la finition par découpage des bords de la feuille à enrouler et enfin, une enrouleuse sert à bobiner le film à stocker (Fig. III.27).

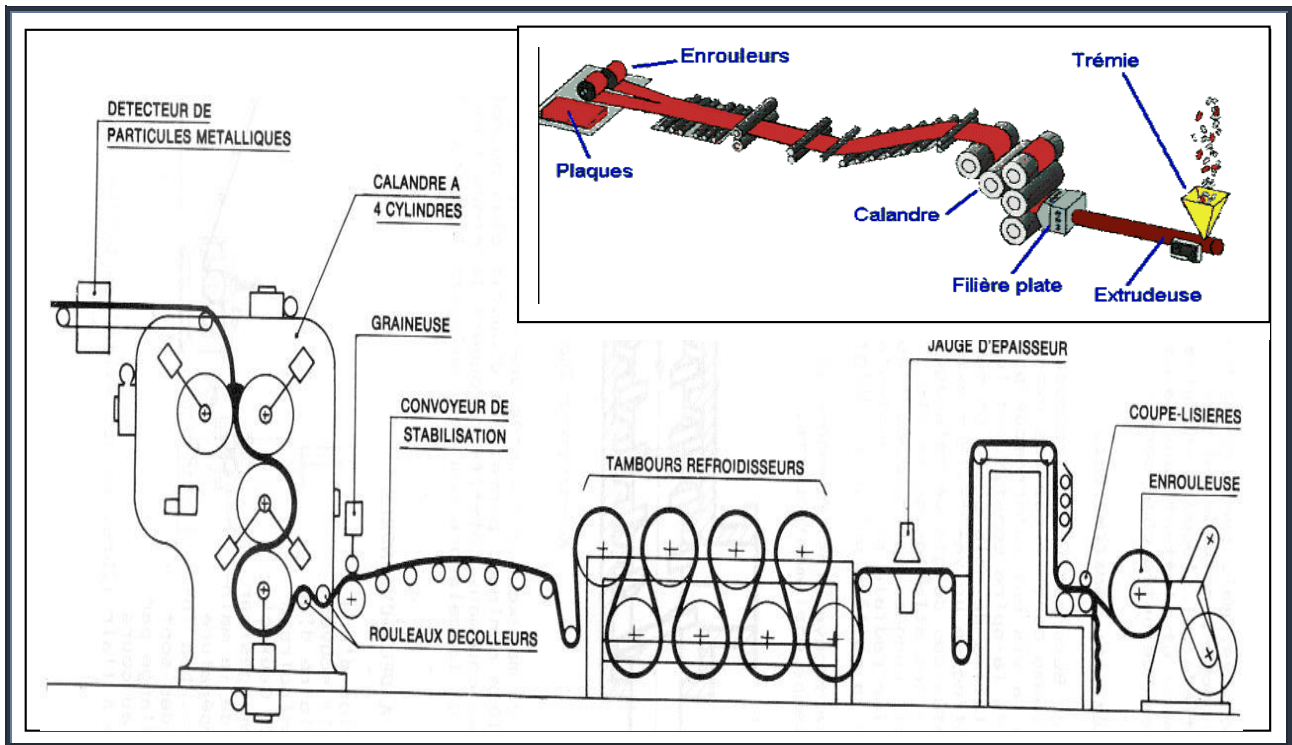


Fig. III.27 : Schéma de principe d'une chaîne de calandrage.

III.9.3. Les chaînes de calandrage :

Suivant la nature du matériau à calandrer on distingue deux types de chaînes de calandrage citées ci-après et indiquées dans la figure III.28.

- (a) Une chaîne de calandrage-alimentation par mélangeur interne (technique généralement utilisée dans le cas du PVC).
- (b) Une chaîne de calandrage-alimentation par extrudeuse.

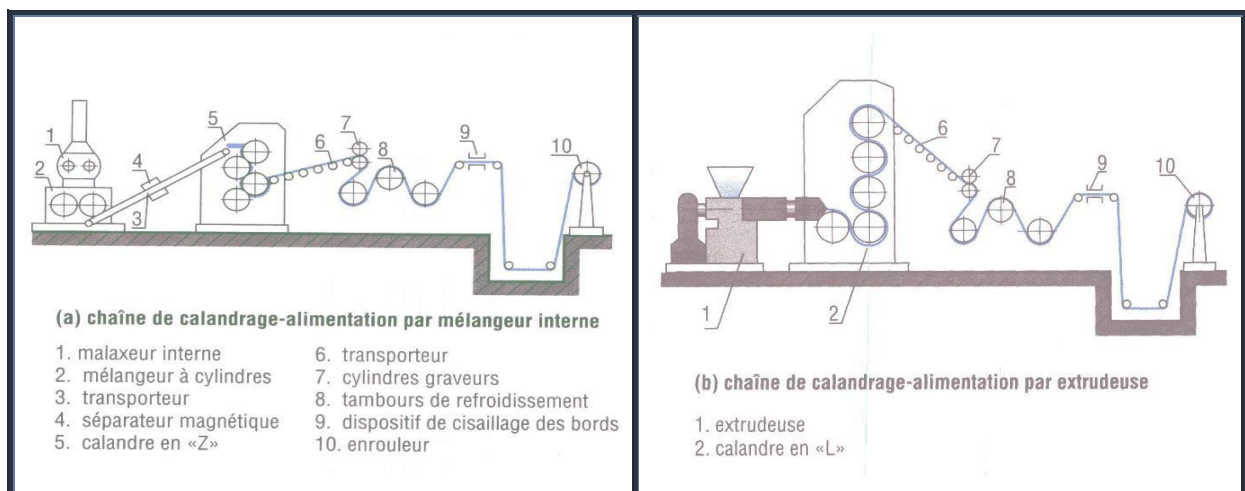


Fig. III.28 : Différents types de chaînes de calandrage.

III.10. L'injection soufflage :

III.10.1. Introduction :

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

Ce procédé consiste à combiner la technique d'injection avec celle du soufflage. La matière est injectée pour former une « éprouvette » (préforme) qui peut intégrer le vissage final de la pièce. La préforme peut être stockée, transportée ou directement réchauffée pour être ensuite soufflée à la forme voulue. L'éprouvette est alors enfermée dans un moule de soufflage en deux demi-coquilles ayant la forme désirée. Une extrémité de la préforme est pincée. De l'air comprimé (le plus souvent) est ensuite injecté dans la cavité par l'orifice de la préforme afin de plaquer la matière contre l'empreinte refroidie et figer la pièce dans sa forme finale (Fig. III.29).

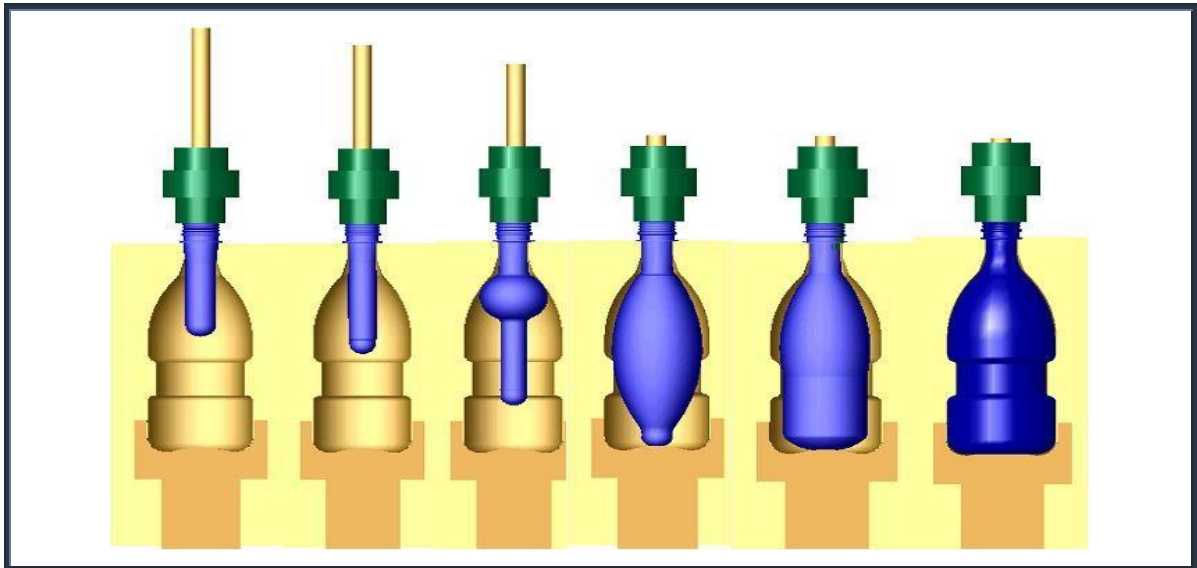


Fig. III.29 : Injection soufflage.

III.10.2. L'extrusion soufflage :

Permet de réaliser des films d'épaisseur inférieure à 0,2mm. Une filière annulaire (pouvant atteindre 1,80 m de diamètre) produit une gaine dans laquelle on admet de l'air sous pression. Le gonflage permet d'étirer la matière et d'obtenir l'épaisseur désirée (Fig. III.30).

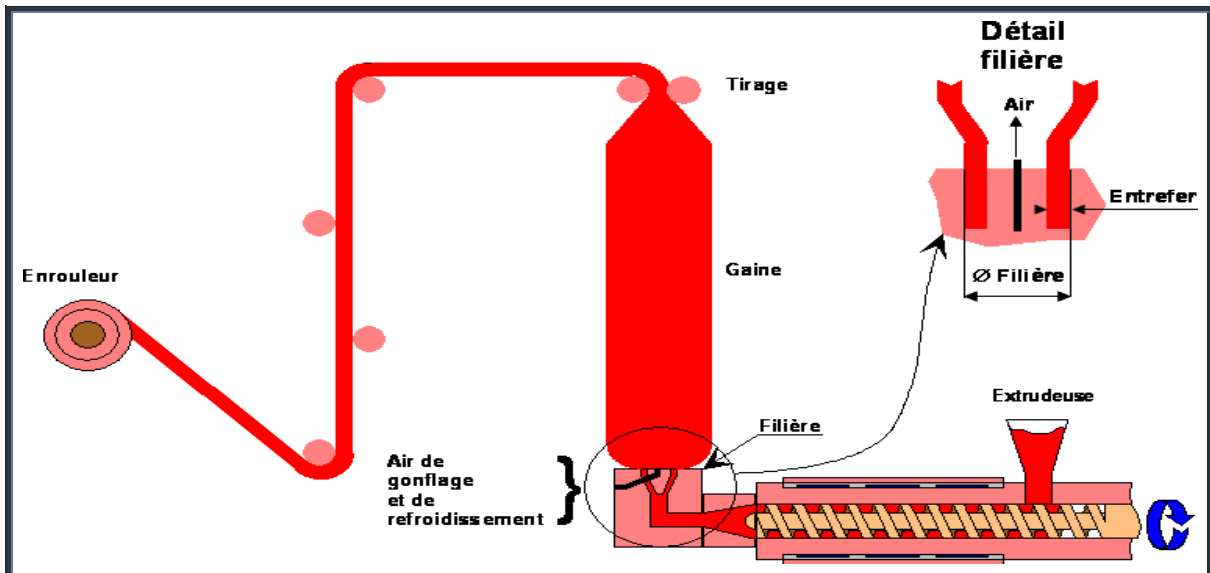


Fig. III.30 : Extrusion soufflage.

III.11. La compression :

Technique surtout très utilisée pour transformer des matières en les comprimant fortement dans un moule. Ces matières (thermodurcissables) pour la plupart auront la particularité de ne plus fondre après moulage (pièces aéronautique, automobiles, électriques, poignées d'ustensiles ménagers, etc...) (Fig. III.31).

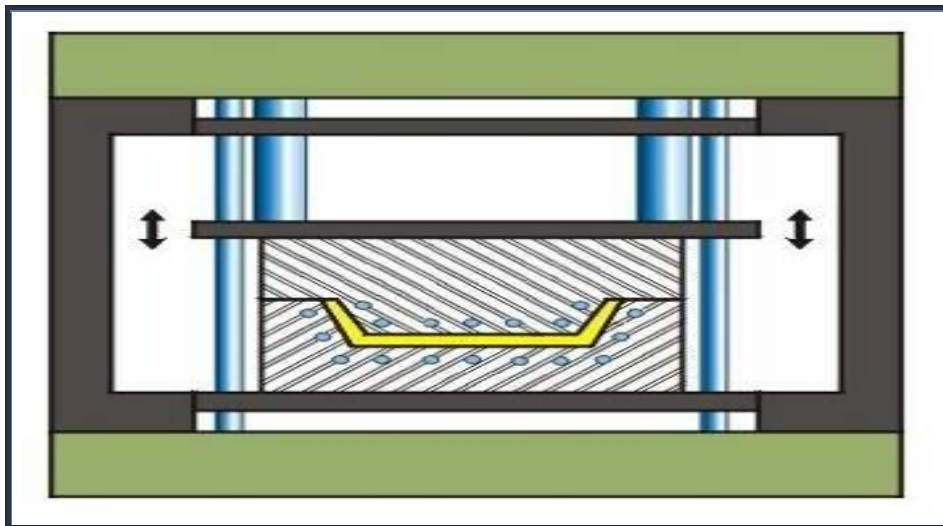


Fig. III.31 : La compression.

III.12. Le polystyrène expansé :

Un moule est rempli de petites billes de matière qui vont prendre du volume et se coller les unes aux autres sous l'effet de la chaleur et de plusieurs composants chimiques. (Plaques pour l'isolation, emballages,...) (Fig. III.32).



Fig. III.32 : Le polystyrène expansé.

III.13. La vulcanisation du joint :

III.13.1. Définition de la vulcanisation :

La vulcanisation est une thermo-réaction d'un agent vulcanisant (comme le soufre) sur le caoutchouc (la gomme brute). Donc c'est une transformation qui tend à faire passer ce dernier d'un état à prédominance plastique à un état à prédominance élastique.

III.13.2. But de la vulcanisation :

On procède à la vulcanisation des caoutchoucs afin, d'une part : de lui rendre ses propriétés élastiques primitives sans lesquelles il ne pourrait avoir d'utilisation. Et, d'autre part d'éviter son altération rapide sous l'influence de la lumière ou de la chaleur. Et par conséquent le caoutchouc vulcanisé devient insoluble et infusible.

III.13.3. Différentes étapes de fabrication d'un joint :

Pour fabriquer un joint d'étanchéité de bonnes qualités, il faut respecter les étapes suivantes :

- ✓ **Etape 1** : Préparation de la gomme brute.
- ✓ **Etape 2** : Malaxage.
- ✓ **Etape 3** : Extrusion (fabrication des pièces brutes).
- ✓ **Etape 4** : Préparation et chauffage des moules.
- ✓ **Etape 5** : Vulcanisation des pièces au régime fixé.
- ✓ **Etape 6** : Traitement final (élimination des bavures).
- ✓ **Etape 7** : Contrôle et conditionnement.

III.13.4. Préparation de la gomme :

Faire sortir la gomme du réfrigérateur et la laisser à la température ambiante vingt-quatre heures (24) avant son utilisation.

III.13.5. Le moulage par compression :

Le moulage par compression consiste en la vulcanisation de caoutchouc au moyen d'un moule afin de lui conférer une forme définitive. En revanche, avec le moulage par injection, le caoutchouc est injecté à chaud par le biais d'un extrudeur, directement dans le moule déjà fermé et sous pression. Le produit est généralement automatiquement extrait et, le cas échéant, l'ébavurage est réalisé de manière entièrement automatisée.

III.13.6. La vulcanisation des caoutchoucs et des silicones :

Dans sa forme brute, l'ELASTOMERE VULCANISABLE A CHAUD ou EVC (caoutchouc, silicone) se compose de chaînes liées de manière aléatoire et qui peuvent glisser les unes par rapport aux autres. Le caoutchouc brut est constamment déformable (aspect plastique semblable à une pâte à modeler) et n'a que très peu de propriétés mécaniques-élastiques et aucune résistance chimique.

Le but de la vulcanisation consiste à ponter chimiquement les chaînes macro moléculaires de l'élastomère de caoutchouc-silicone brut en «croisant les liaisons» afin de former un réseau en trois dimensions, sans direction privilégiée. Le caoutchouc vulcanisé rendu moins plastique, devient élastique, possède une résilience élevée et acquiert une plus grande résistance aux changements de température ; il n'est pas ou peu selon les grades perméable aux gaz, il résiste à l'usure, à l'abrasion, aux agressions chimiques, à la chaleur et à l'électricité, aux radiations, etc. Il présente également une résistance élevée au frottement sur des surfaces sèches (mais plus faible sur des surfaces mouillées par l'eau).

III.14. La Conclusion :

Le procédé de fabrication par moulage permet de réaliser différentes formes et modèles de pièces qui sont utilisées dans tous les domaines. La mise en forme des matières plastiques contient plusieurs méthodes selon le besoin et la forme des pièces demandées.

Dans notre cas, nous avons utilisé le moulage par compression en vulcanisant le joint. Cette méthode est généralement utilisée pour la mise en forme des élastomères afin d'avoir leur forme finale selon le besoin demandé.

C'est ce que nous allons expliquer et détailler dans la suite de notre travail en fabriquant ce type de joint.

Chapitre IV

*Conception et réalisation
d'un joint spi du rotor
anti couple des
hélicoptères*

*« MI-24 Hind » et
« MI-171 SH »*

IV.1. Introduction :

Dans le cadre de la révision générale d'un hélicoptère au niveau de l'atelier de rénovation, des pièces en élastomère seront changées systématiquement telles que les joints d'étanchéités en gomme, mais la fabrication de ce type de joint, à une telle importance au niveau de l'appareil, nécessite d'avoir le support technique de son constructeur car ce joint appartient aux organes qui touchent la sécurité de vol. C'est la raison pour laquelle on doit s'épauler sur le dessin du joint appartenant au constructeur Russe de l'appareil, ce support technique comporte les dimensions du joint ainsi que le type de gomme utilisée.

Dans ce chapitre, nous allons montrer toutes les étapes à suivre afin de réaliser un « joint SPI » du rotor anti couple des hélicoptères de type « MI-24 Hind » et « MI-171 SH ».

IV.2. L'hélicoptère :

IV.2.1. Définition d'un hélicoptère :

C'est un appareil de locomotion qui fait partie de la catégorie des aéronefs inventé en 1907 par le fabricant français Paul CORNU, composé d'un ou plusieurs rotors lui permettant de se maintenir en vol.

L'hélicoptère est d'une conception plus complexe, sa maintenance plus exigeante et le coût de l'heure de vol plus élevé ce qui fait de lui un moyen de transport couteux faisant appel à un grand nombre de matériaux de très haute technologie. Son aptitude à décoller et atterrir sur des terrains étroits et non préparés le rend indispensable pour certaines missions et fonctions.

IV.2.2. Composition :

Il possède une carcasse sur laquelle vient s'ajouter un rotor principal, placé horizontalement et composé de 2 à 8 pales ainsi qu'un rotor de queue, placé verticalement et un ou plusieurs moteurs. Au début de la création des hélicoptères, le rotor de queue ou rotor anti-couple n'existait pas, ce qui rendait impossible le vol d'un hélicoptère. C'est grâce à la troisième loi de Newton qui dit que pour chaque force, il existe une force égale et opposée, qu'est né le rotor de queue ou rotor anti-couple. Le fait de ne pas avoir de rotor anti-couple fait tourner la carcasse dans le sens inverse au sens de rotation du rotor principal, l'hélicoptère était donc impossible à piloter (Fig.IV.1).

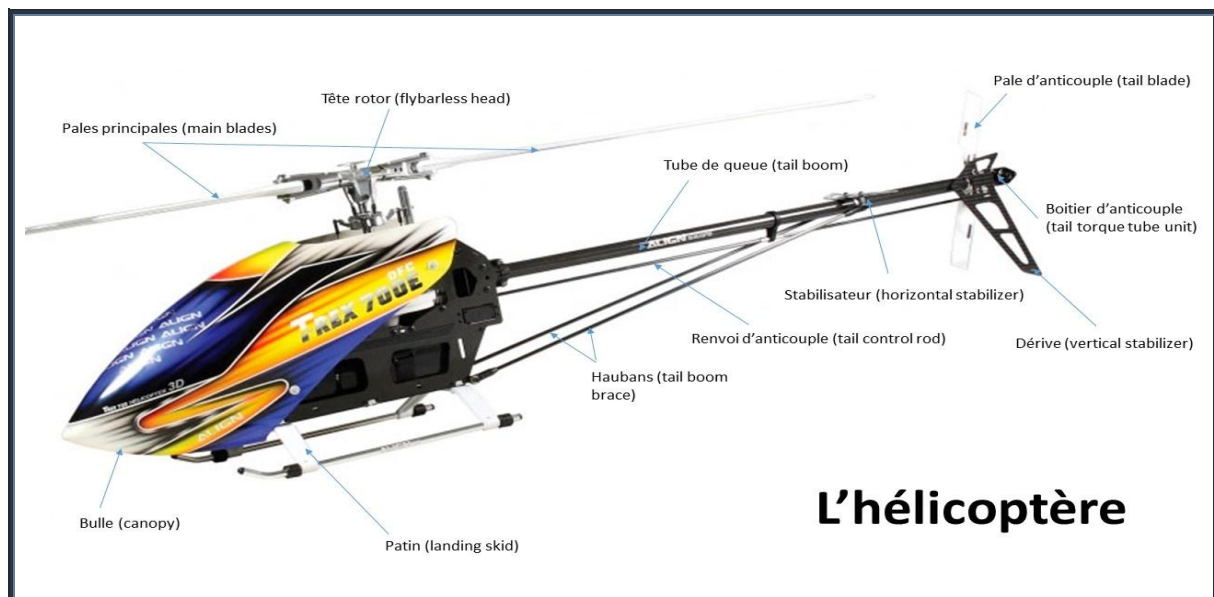


Fig.IV.1 : Composition d'un hélicoptère.

Mais il existe des hélicoptères qui ne possèdent pas de rotor anti-couple, soit ils ont deux rotors principaux (Ex : CH-47 Chinook), voir (Fig.IV.2), soit ils ont un rotor coaxial, c'est-à-dire qu'il a deux rotors principaux montés sur le même axe mais avec des sens de rotations différents pour chacun d'entre eux (Ex : Ka-50 Hokum), voir (Fig.IV.3).



Fig. IV.2 : Hélicoptère « CH-47 Chinook ».



Fig.IV.3 : Hélicoptère « Ka-50 Hokum ».

Par la suite, vu le nombre important de modèles d'hélicoptères existant, on opte pour deux types d'appareils différents, pour lesquels on a réalisé le joint SPI de leurs rotor anti couple afin de bien montrer les caractéristiques globales et l'utilisation générale pour citer quelques différences entre ces hélicoptères.

IV.2.2.a. Hélicoptère Mi-171 Sh :

C'est un appareil qui a été conçu pour les forces spéciales Russes par le constructeur d'hélicoptères « Mil », il est capable, entre autres, d'éliminer des cibles humaines, du matériel blindé et différents objets mobiles et immobiles. Sa mission consiste à appuyer les troupes de débarquement, à accompagner les convois militaires, à assurer les opérations de sauvetage, ainsi qu'à effectuer de la reconnaissance et des patrouilles.

Cet appareil conjugue harmonieusement les capacités de transport et d'attaque. L'utilisation des équipements et des technologies de pointe rend son travail le plus discret possible, ce qui a parfois une importance décisive lors des opérations spéciales.

Les nouvelles hélices composites et le rotor de queue en X améliorent la furtivité acoustique de l'hélicoptère et rendent difficile sa détection au bruit la nuit car le nouveau Mi-171 Sh est capable de mener des opérations en pleine nuit en naviguant uniquement avec les appareils de vision nocturne.

En outre, par tout temps, il est capable d'utiliser tout son armement sans perdre en efficacité par rapport aux hélicoptères d'attaque spécialisés (Fig.IV.4).



Fig.IV.4 : Hélicoptère « Mi-171 Sh ».

IV.2.2.b. Hélicoptère Mi-24 Hind :

C'est un hélicoptère d'attaque Russe, développé en Union soviétique dans les années 1960 par le bureau de construction Mil.

Le Hind est un appareil propulsé par deux turbines montées au-dessus du fuselage. Le rotor principal est composé de cinq pales, tandis qu'un rotor de queue à trois pales est monté à gauche du fuselage. Toutes les versions comportent deux parties distinctes : l'avant est occupé par l'équipage de l'hélicoptère, tandis que la partie arrière de la cabine dispose d'une large panoplie d'armements : roquette, missile et canon en nacelle comme elle peut abriter jusqu'à huit soldats équipés. (Fig.IV.5).



Fig.IV.5 : Hélicoptère « Mi-24 ».

IV.2.3. Maintenance et entretien d'un hélicoptère :

La maintenance d'hélicoptères exige une expertise de haut niveau et une rigueur indéfectible pour assurer une sécurité sans faille lors des vols.

Le mécanicien d'hélicoptère spécialisé dans l'entretien et la réparation d'hélicoptères met à profit son expertise pour le compte de compagnies aériennes, d'entreprises de maintenance d'aéronefs ou de fabricants d'équipement. Il contribue au bon fonctionnement des aéronefs afin de réduire la probabilité de pannes au cours des vols et d'optimiser les performances de l'hélicoptère.

Suite au nombre d'heures de vol, on peut estimer le besoin de révision de l'appareil. Le mécanicien procède au démontage de cet hélicoptère, chaque pièce est identifiée, inspectée et nettoyée. L'appareil se compose de plusieurs types de pièces qui sont classés comme suit :

- ✓ Les pièces à changement systématique
- ✓ Les pièces à changement obligatoire.

Parmi les pièces qui doivent être changées systématiquement, on trouve les joints qui se situent au niveau des rotors. Ainsi, notre étude se porte sur le joint SPI du rotor anti-couple.

IV.2.4. Définition d'un rotor anti couple :

C'est un rotor auxiliaire de petite taille situé à l'arrière d'un hélicoptère et dont le pas des pales est actionné par les pédales d'un palonnier servant à commander les mouvements de la machine autour de l'axe de lacet :

- ✓ en vol de translation pour contrer le couple induit par le rotor principal qui tend à faire tourner la cellule dans le sens opposé.
- ✓ en vol stationnaire pour effectuer un mouvement de giration.

Le rotor anti couple empêche l'hélicoptère de tourner sur lui-même lorsque le rotor principal tourne et, sans le rotor anti-couple, le fuselage de l'hélicoptère tournerait sur lui-même en sens inverse de la grande hélice horizontale sustentatrice. A noter que certains hélicoptères n'ont pas de rotor de queue mais disposent alors d'un dispositif spécial appelé NOTAR qui éjecte dans des directions variables les gaz d'échappement sous pression pour contrer l'effet de couple du rotor principal.

Le rotor anti-couple est alors composé de pales ayant un plan de rotation vertical, tel qu'il est montré dans la figure IV.6, dont l'effet s'oppose à la rotation de la cellule. Sa vitesse de rotation et celle du rotor principal sont toujours dans le même rapport. Le rotor anti couple tourne environ 8 fois plus vite que le rotor principal. La figure IV.7 montre un rotor anti-couple réel décomposé.



Fig.IV.6 : Rotor anti-couple d'un hélicoptère.



Fig.IV.7 : Rotor anti-couple décomposé (réel).

Ainsi, on trouve des éléments importants en liaison avec le rotor et qui sont en général de nature non-linéaire :

- ✓ l'arbre, constituant l'élément principal d'une machine tournante
- ✓ les éléments de supports et de positionnement (paliers hydrauliques, paliers à roulement, paliers magnétiques, etc.)
- ✓ les éléments de transmission de mouvement (engrenages, joints d'accouplement, embrayages, etc.)
- ✓ les éléments fonctionnels (roues au bagées, broches, hélices, etc.)

IV.2.5. Emplacement du joint SPI :

A l'intérieur de cet arbre tournant, on trouve une sorte d'huile utilisée afin de lubrifier la transmission, ainsi on y trouve un joint SPI permettant d'assurer l'étanchéité qui est l'objectif de notre étude.

Dans la figure IV.8 ci-dessous, on voit l'emplacement exact du joint SPI.

- | | |
|------------------------------|------------------------------|
| 1. Cardan | 13. Roulement de butée |
| 2. Bague d'étanchéité | 14. Roulement de butée |
| 3. Douille | 15. Bague de réglage |
| 4. Bague de butée | 16. Boitier de la CA |
| 5. Bague d'arrêt | 17. Fil de fixation |
| 6. Joint SPI | 18. Rondelle |
| 7. Ressort | 19. Bouchon |
| 8. Rouleau | 20. Plaque de verrouillage |
| 9. Ecrou du boitier de la CA | 21. Rondelle de verrouillage |
| 10. Bague d'étanchéité | 22. Vis |
| 11. Séparateur | 23. Plaque de verrouillage |
| 12. Ecrou | 24. Rondelle de verrouillage |

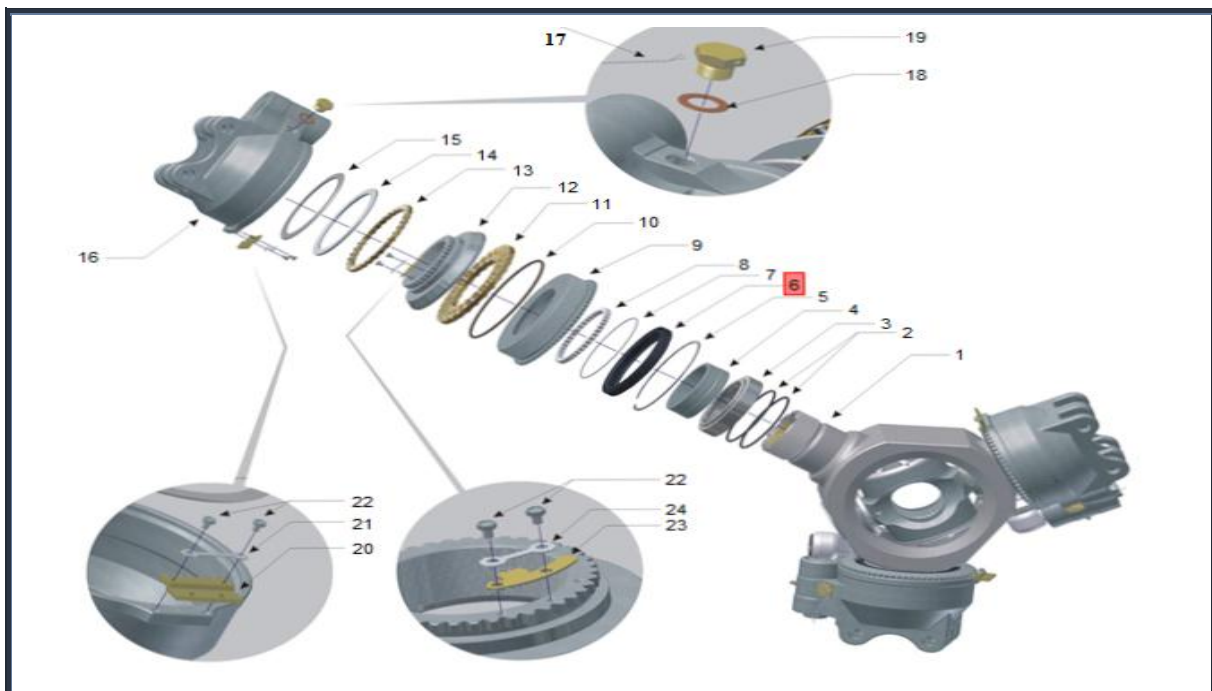


Fig.IV.8 : Emplacement du joint SPI.

IV.3. Conception du joint SPI et son Moule :

La fabrication du joint SPI d'une telle importance, au niveau de l'appareil dans le domaine aéronautique, nécessite d'avoir un support technique du constructeur de l'appareil car ce joint appartient aux organes qui touchent la sécurité de vol, c'est la raison pour laquelle on doit s'épauler sur le dessin du constructeur Russe pour la conception du joint SPI puis déterminer son moule. Ce support technique comporte les dimensions du joint SPI ainsi que le type de gomme (élastomère) utilisée.

L'utilisation du logiciel de conception de pièces « AutoCAD » en 2Dest due à sa facilité de maîtrise, il est plus fréquenté dans l'entreprise. Tous les dessins ont été transférés sur le logiciel SolidWorks afin d'avoir la forme 3D de la pièce.

IV.3.1. Logiciel de conception AutoCAD :

AutoCAD est un logiciel de Dessin Assisté par Ordinateur « DAO » utilisé pour la création de dessin 2D et 3D. AutoCAD est développé et vendu par Autodesk.Inc, et il fut l'un des premiers logiciels de dessin à être utilisé et exécuté dans ordinateurs personnels. Après une bonne formation AutoCAD, vous pouvez constater l'ampleur et la grandeur de ce logiciel

AutoCAD est un logiciel de dessin et conception utilisé pour créer des plans de construction, architecture, pièces mécaniques, circuit électriques ou électroniques, plan de génie civil, décoration intérieur etc.

AutoCAD a été initialement dérivé d'un programme appelé Interact, qui a été écrit dans un langage propriétaire. La première version du logiciel utilisait uniquement les entités primitives telles que des polygones, des cercles, des lignes, des arcs et des textes pour construire des objets complexes. Plus tard, le temps est venu pour soutenir des objets personnalisés via une interface de programmation d'applications C ++. La version moderne du logiciel comprend un ensemble complet d'outils pour la modélisation solide et 3D. AutoCAD prend également en charge des applications de programmation nombreuses pour l'automatisation et la personnalisation comme auto lisp, vba etc.

DWG (dessin) est le format de fichier natif pour AutoCAD et une norme de base pour l'interopérabilité des données de CAO. Le logiciel a également fourni un appui pour la conception Web Format (DWF), un format développé par Autodesk pour la publication des données de CAO sur le net (équivalent de PDF, mais pour les dessins).

IV.3.2. Logiciel de conception SolidWorks :

IV.3.2.a. Description du logiciel :

Le logiciel de CAO SolidWorks est une application de conception mécanique 3D paramétrique qui permet aux concepteurs d'esquisser rapidement des idées, d'expérimenter des fonctions et des cotes afin de produire des modèles et des mises en plan précises. Le présent document explique les concepts et la terminologie de l'application SolidWorks et a pour but de vous familiariser avec les fonctionnalités les plus utilisées de SolidWorks.

IV.3.2.b. Concepts du logiciel :

Les pièces constituent les éléments de base du logiciel SOLIDWORKS. Les assemblages contiennent des pièces ou d'autres assemblages, appelés des sous-assemblages. Un modèle SOLIDWORKS est constitué de géométrie 3D qui définit ses arêtes, faces et surfaces. Le logiciel SOLIDWORKS vous permet de concevoir rapidement des modèles précis.

Les modèles SolidWorks sont basés sur :

- ✓ la modélisation 3D.
- ✓ les composants.

IV.3.2.c. Modélisation 3D :

SOLIDWORKS adopte l'approche de modélisation 3D. Lorsque vous concevez une pièce, vous créez un modèle 3D, de l'esquisse initiale au résultat final. A partir de ce modèle, vous pouvez créer des mises en plan 2D ou contraindre des composants constitués de pièces ou de sous-assemblages afin de créer des assemblages 3D. Vous pouvez aussi créer des mises en plan 2D d'assemblages 3D. Un modèle conçu à l'aide de SOLIDWORKS peut être visualisé dans ses trois dimensions, c'est-à-dire dans son aspect final après fabrication.

IV.3.2.d. Méthode de conception :

Avant de procéder réellement à la conception du modèle, il est utile de planifier sa méthode de création.

Une fois les besoins sont identifiés et les concepts appropriés sont élaborés, on peut procéder au développement du modèle :

- ✓ **Esquisses** : Créer les esquisses et décider du mode de cotation et des emplacements d'application des relations.
- ✓ **Fonctions** : Sélectionner les fonctions appropriées, comme les extrusions et les congés, puis déterminer les meilleures fonctions à appliquer et l'ordre de leur application.
- ✓ **Assemblages** : Sélectionner les composants à contraindre et les types de contraintes à appliquer.

IV.3.3. Conception du joint SPI du rotor anti-couple des hélicoptères « MI-24HIND » et« MI-171SH »:

IV.3.3.a. Conception du joint SPI et de l'armature sous AutoCAD en 2D:

Dans les figures IV.9 et IV.10, nous avons montré les diamètres ainsi que les rayons, les inclinaisons et la matière utilisée afin de concevoir le joint SPI et l'armature sous AutoCAD en 2D suivant le dessin du constructeur.

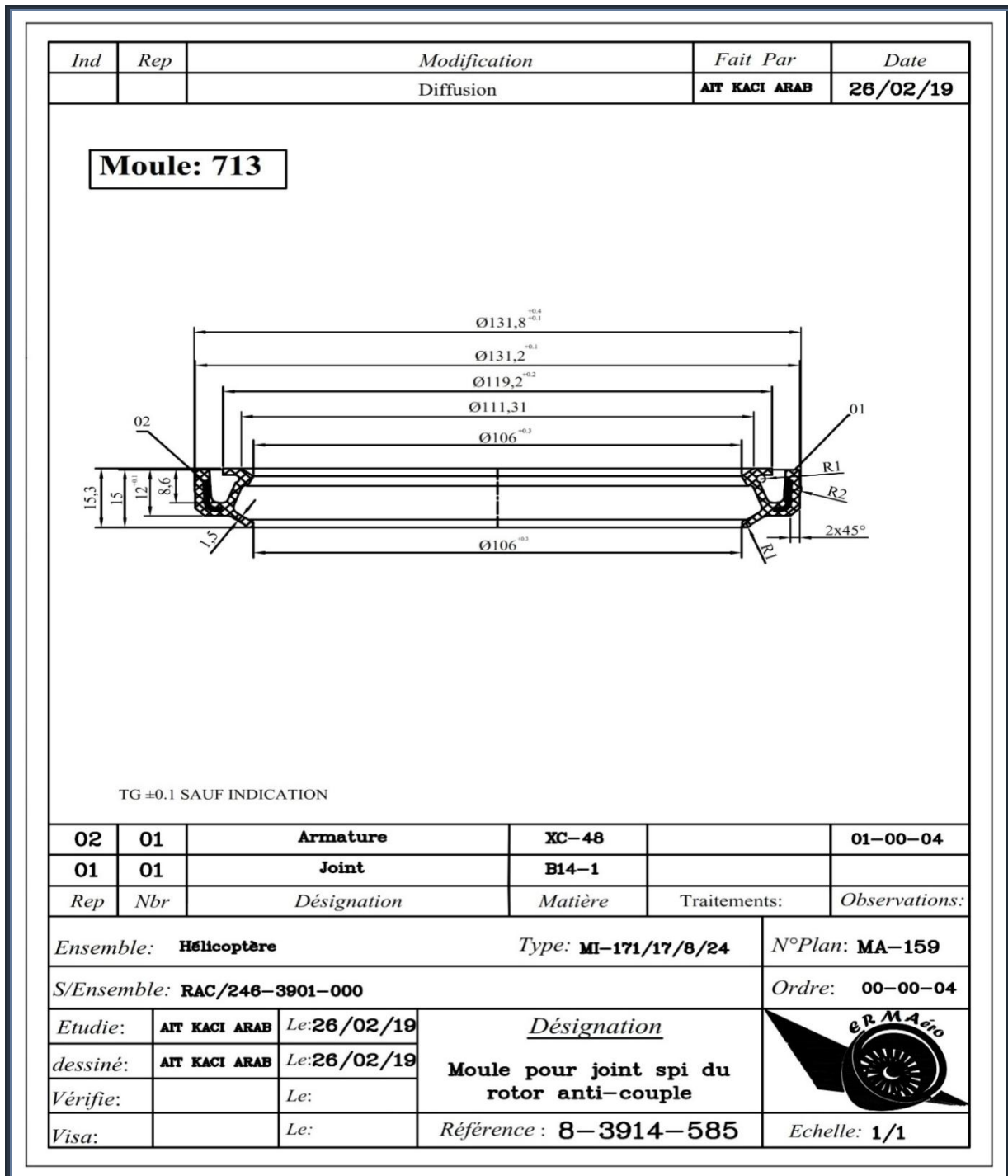


Fig.IV.9 : Conception du joint SPI sous AutoCAD en 2D.

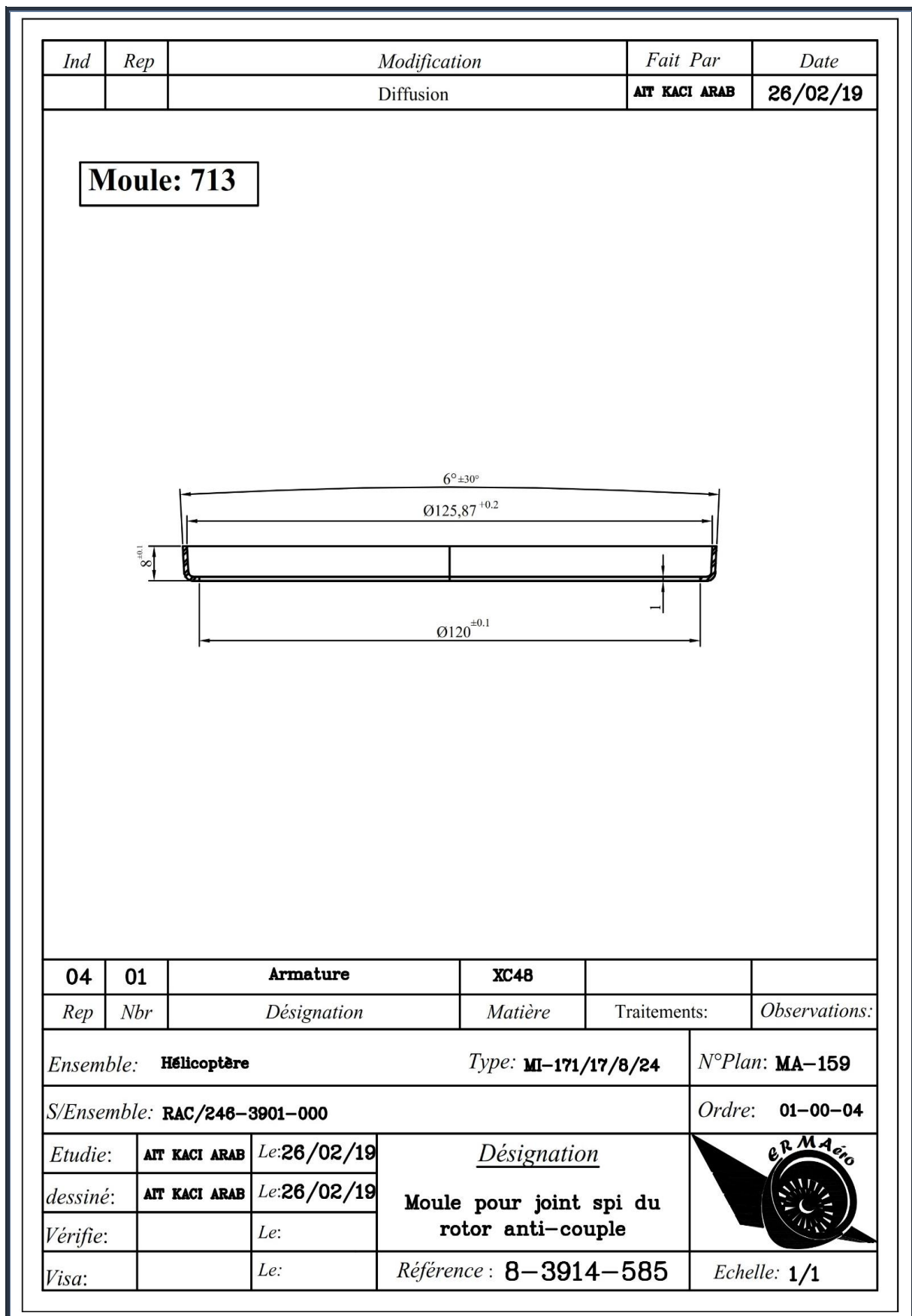


Fig.IV.10 : Conception de l'armature sous AutoCAD en 2D.

IV.3.3.b. Conception du joint SPI sous SolidWorks en 3D :

Dans cette étape, nous avons transféré le dessin du joint SPI en 2D au logiciel SolidWorks afin de montrer sa forme en 3D et de bien comprendre le dessin (Fig. IV.11).

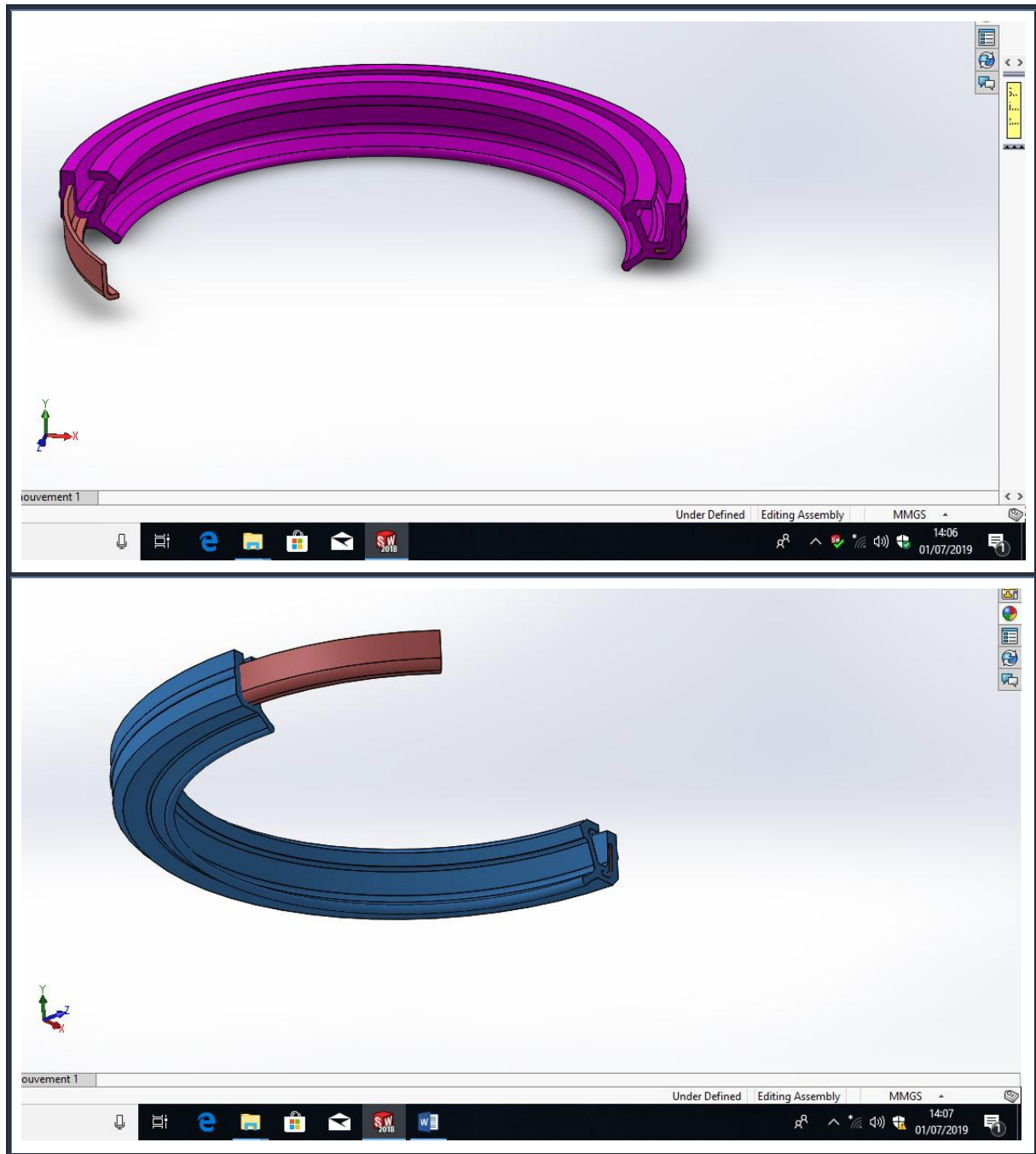


Fig.IV.11 :Conception du joint SPI sous SolidWorks en 3D.

IV.3.3.c. Conception de trois parties du moule sous AutoCAD en 2D :

Après la conception du joint SPI, on détermine le moule qui lui convient afin de procéder à sa conception, voir les figures IV.12, IV.13 et IV.14.

Le moule contient 3 parties :

- ✓ Matrice supérieure.
- ✓ Matrice inférieure.
- ✓ Noyau

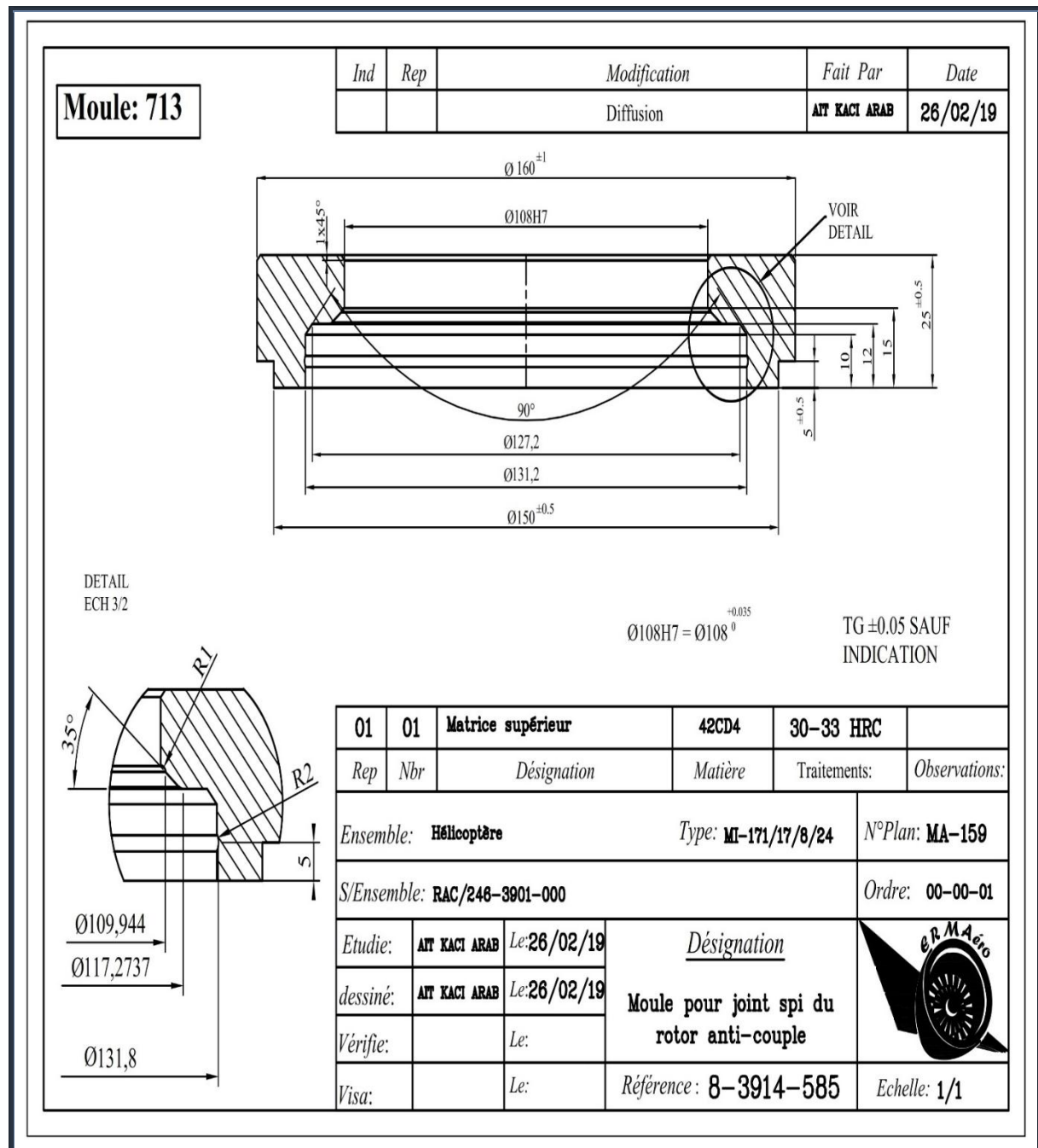


Fig. IV.12 : Conception de la matrice supérieure sous AutoCAD en 2D.

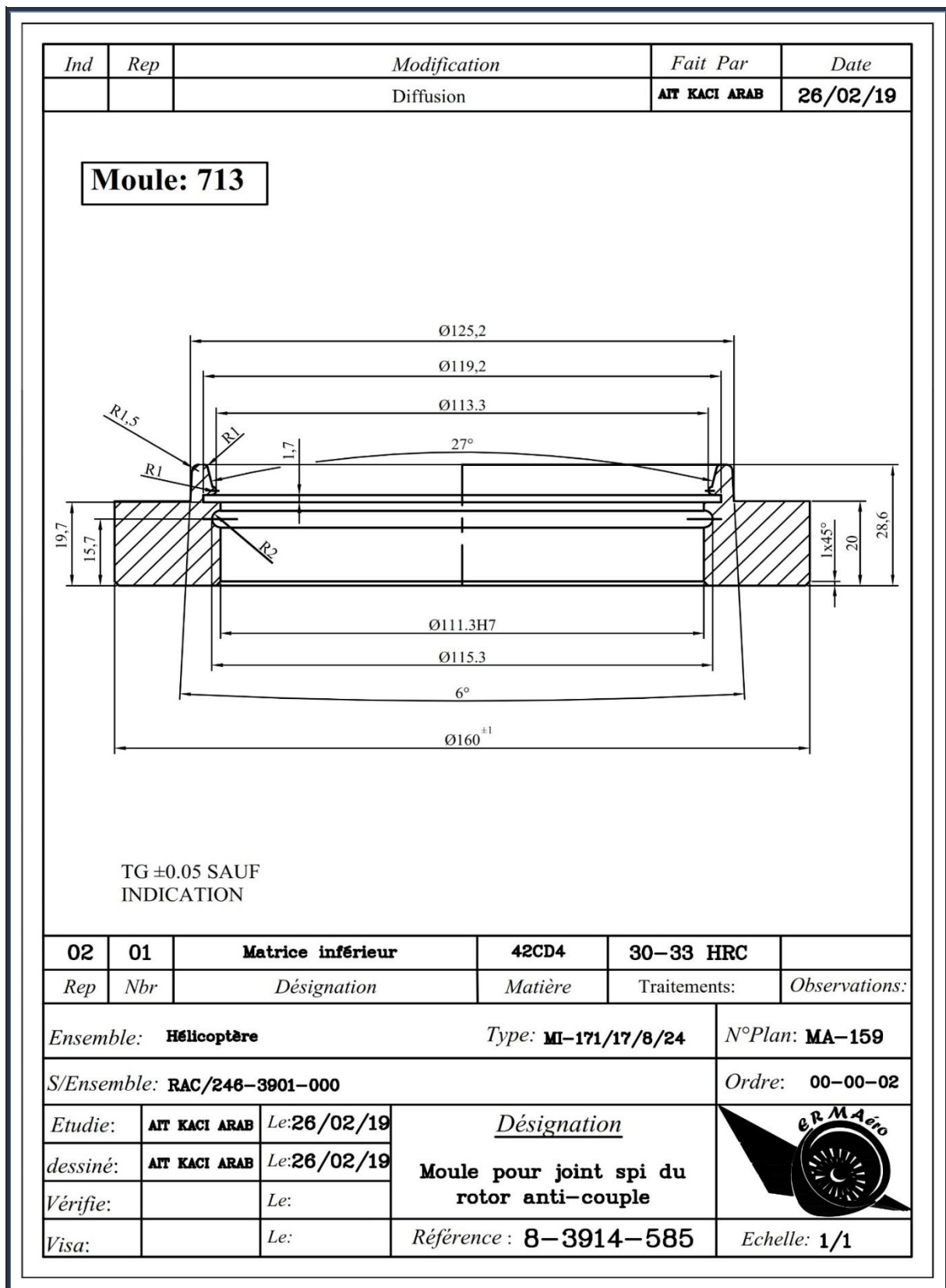


Fig.IV.13 : Conception de la matrice inférieure sous AutoCAD en 2D.

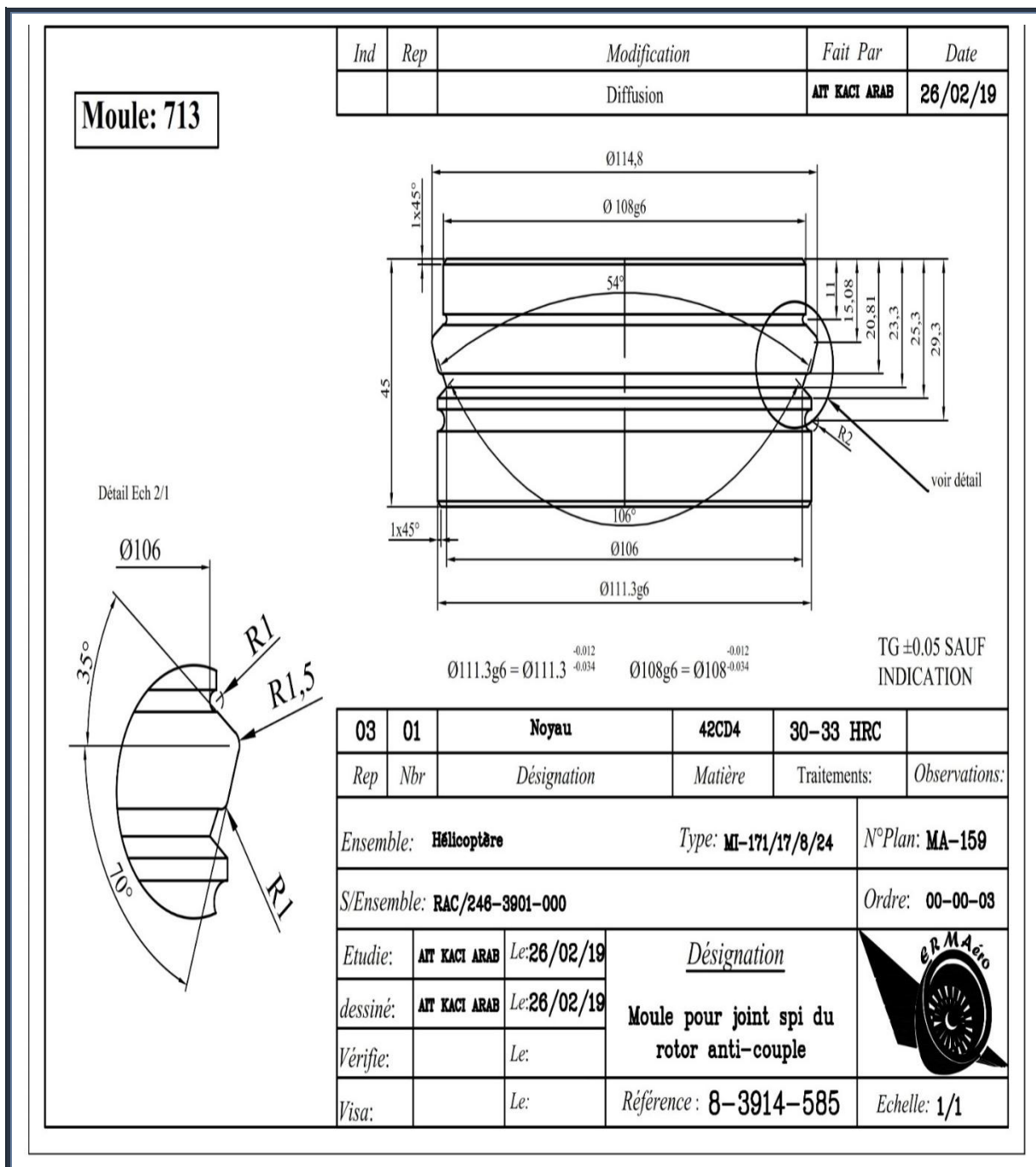


Fig.IV.14 : Conception du noyau sous AutoCAD en 2D.

IV.3.3.d. Conception du moule sous SolidWorks en 3D :

Les figures IV.15, IV.16 et IV.17 montrent les trois parties du moule à joint SPI en 3D afin de bien montrer l’empreinte ainsi que sa forme demandée par le support technique du constructeur Russe.

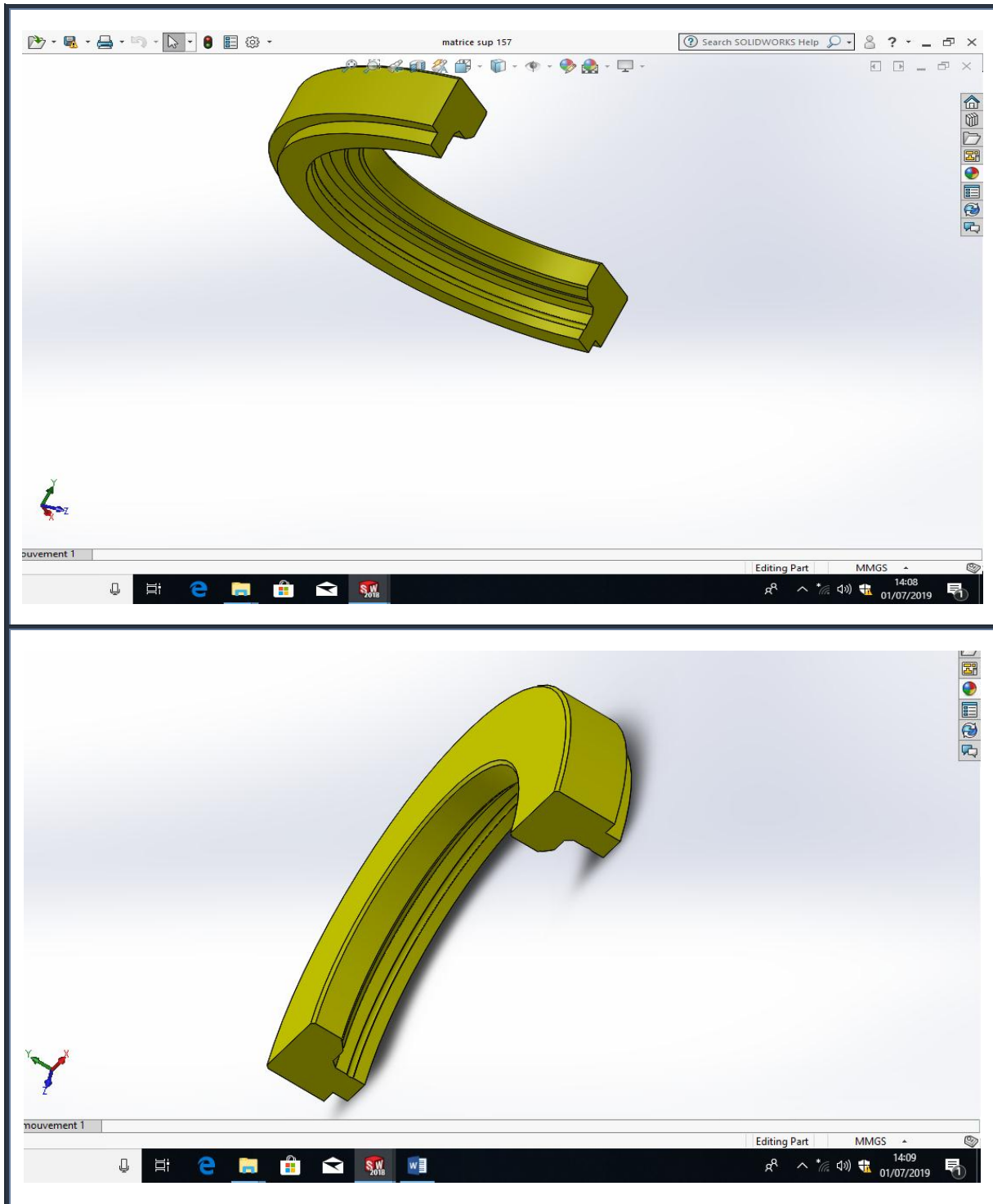


Fig.IV.15 : Conception de la matrice supérieure sous SolidWorks en 3D.

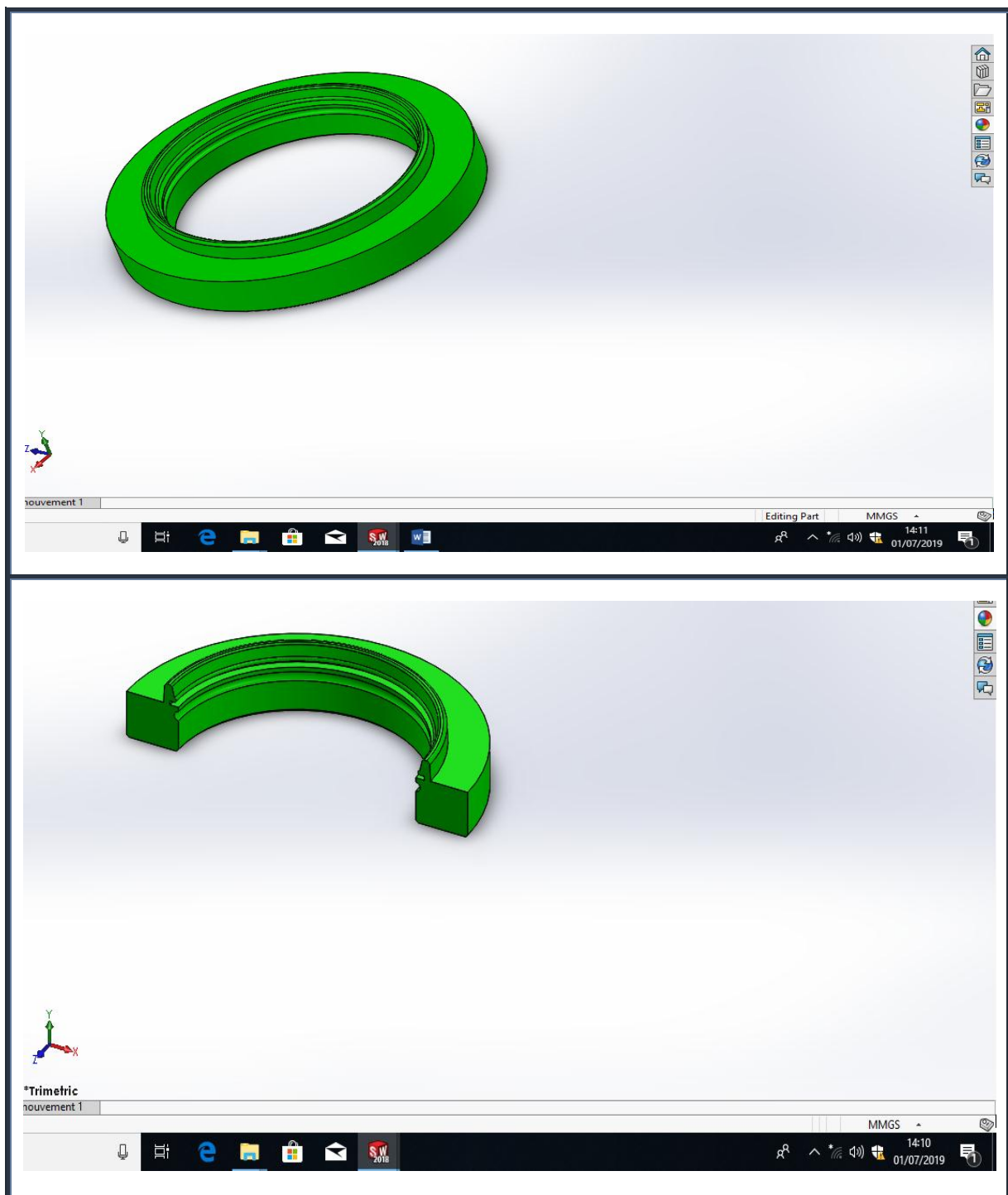


Fig.IV.16 : Conception de la matrice inférieure sous SolidWorks en 3D.

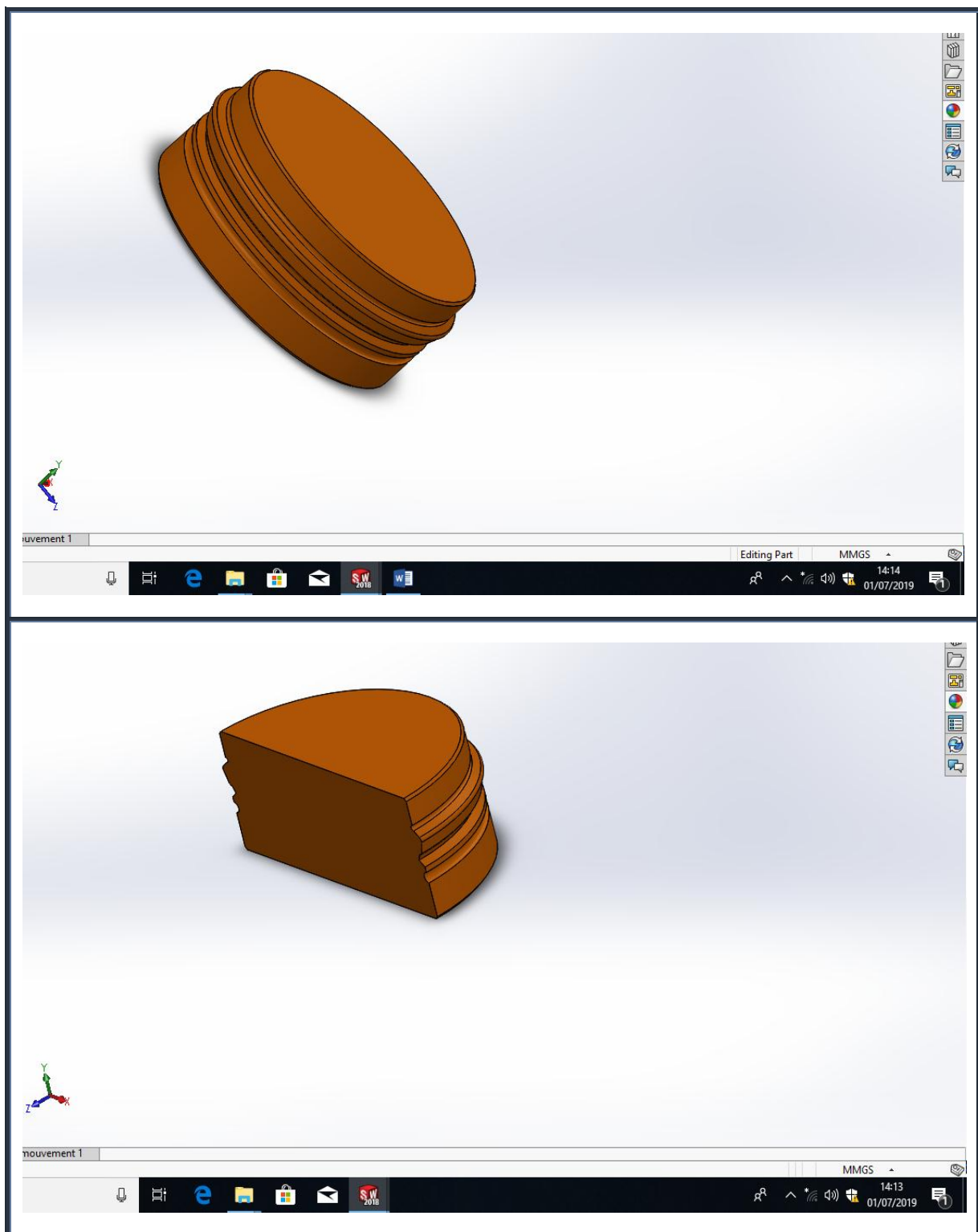


Fig.IV.17 : Conception du noyau sous SolidWorks en 3D.

IV.3.3.e. Conception du dessin d'ensemble pour moule à joint SPI du rotor anti-couple sous AutoCAD en 2D :

L'assemblage montre le positionnement du joint SPI au niveau de l'empreinte du moule, la gorge usinée sur la matrice inférieure afin de faciliter le démoulage et la surface qui doit être rectifiée pour avoir le même niveau (Fig. IV.18).

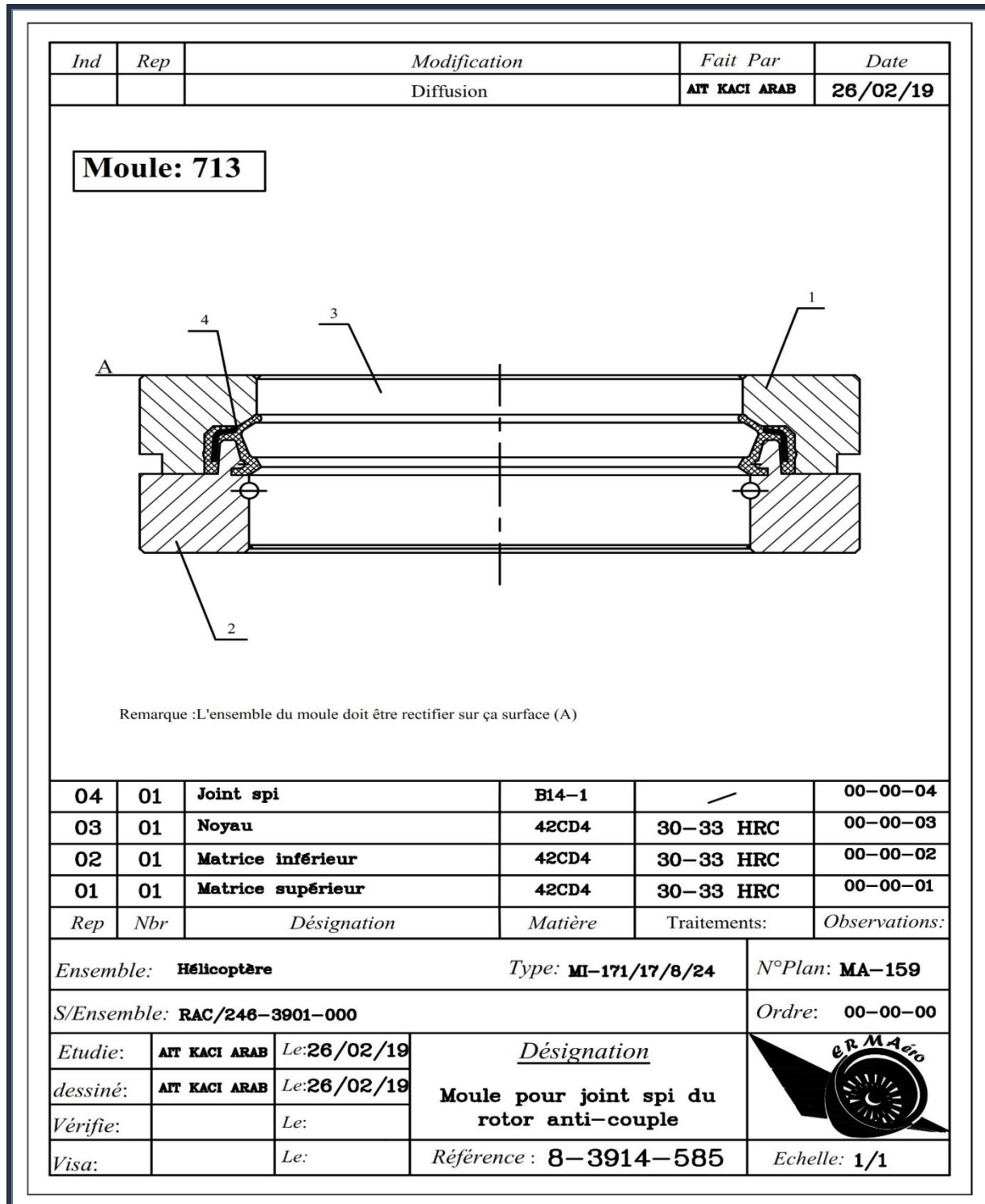


Fig.IV.18 : Conception du dessin d'ensemble pour moule à joint SPI du rotor anti couple sous AutoCAD en 2D.

IV.3.3.f. Conception du dessin d'ensemble pour moule à joint SPI du rotor anti-couple sous SolidWorks en 3D :

L'assemblage en 3D montre la forme du joint SPI dans l'empreinte du moule, voir la figure IV.19.

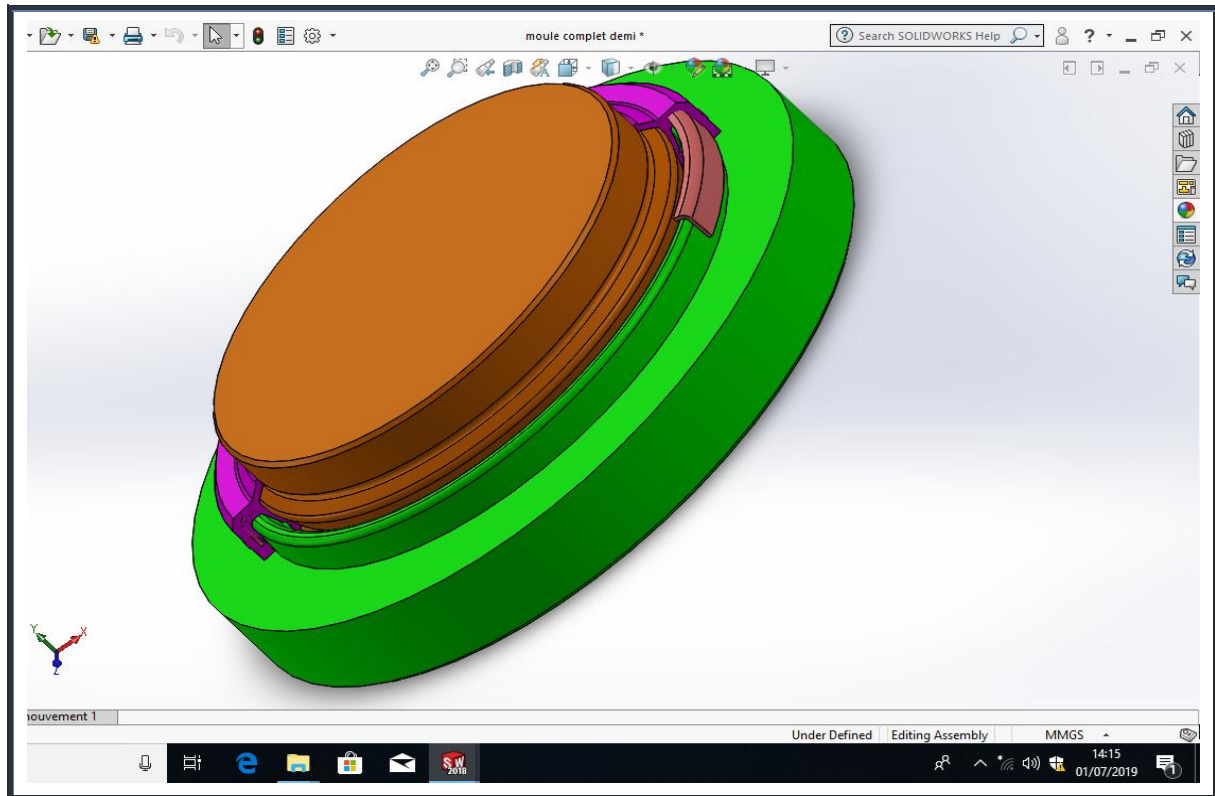



Fig.IV.19 : Conception du dessin d'ensemble pour moule à joint SPI du rotor anti-couple sous SolidWorks en 3D.

Après avoir terminé la conception du joint SPI ainsi que son moule associé, on passe à l'atelier de fabrication pour commencer la réalisation de ce dernier.

IV.3.4. Réalisation du moule dans l'atelier de fabrication :

IV.3.4.a. la fiche suiveuse de fabrication du moule dans l'atelier :

Après la conception du joint SPI et son moule associé, nous avons fait sortir la matière brute pour la faire passer à l'atelier de fabrication afin de commencer la réalisation de ce joint, voir les figures IV.20 et IV.21.



Ministère de la Défense Nationale
Etablissement de Rénovation des Matériels Aéronautiques

FICHE SUIVEUSE DE FABRICATION

N° FS:..... Dar-El-Beida, Le :

REFERENCE: SR		EDITION DE PLAN DE DEFINITION		<u>BUREAU DES METHODES</u> (Visa et date)		FOLIO									
DESIGNATION: Moule pour joint spi du rotor anti couple		MODIF TECH.GAMME				1/2									
Rep	Référence Dimensions	Nuance	Norme	Nuance équivalente	Norme	Débit U	Débit total	Matière sortie du magasin	ORDONNANCEMENT						
01	Rond#170 l=40	42CD4	AFNOR	35CD4	AFNOR	01			GAMME VALIDEE	OUI <input type="checkbox"/>	NON <input checked="" type="checkbox"/>	TYPE D'APPAREIL:			
02	Rond#170 l=40	42CD4	AFNOR	35CD4	AFNOR	01			PREMIER ARTICLE	NON <input type="checkbox"/>	OUI <input checked="" type="checkbox"/>				
03	Rond#116 l=60	42CD4	AFNOR	35CD4	AFNOR	01					PROTOTYPE: <input checked="" type="checkbox"/>		SERIE: <input type="checkbox"/>		
04	Rond#130 l=25	25CD4	AFNOR	XC48	AFNOR	01			N°DEROGATION	SOLDEE		N°DT	Qté Dem	Qté Lan	
SERIALISATION										<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
N°D 10		DATE EMISSION		DATE RECEPTION											
.....	/...../.....	/...../.....						SOLDE CONTROLE					
<u>DIV.APPROS</u> (Visa et date)						<u>DIV.CONTROLE</u> (Visa et date)			<u>DIV.ORDONNANCEMENT</u> (Visa et date)						
RAPPORT DE CONTROLE						SOUS-TRAITANCE									
OBSERVATIONS:						N°Fiche de Conformité		Soldé		Nom du sous traitant:					
										C 7 N°:		FACTURE N°:			
										Date:...../...../.....					

Fig.IV.20 : Fiche suiveuse de fabrication du moule.

		Ministère de la Défense Nationale Etablissement de Rénovation des Matériels Aéronautiques		GAMME D'OPERATION			
N° FS:.....		Dar-El-Beida, Le :		MODIF.TECH GAMME			FOLIO
REF.ARTICLE: SR		DES.ARTICLE: Moule pour joint spie		Prép: AIT KACI ARAB Date: 28/04/2019			2/2
		T.A	Qté Lancé	T.R	Qté NC	NOM (date et visa)	OBS
N° OP	IND	- Sortie de matière.					
10	00	10'	01				
AT/DIV: Appros							
N° OP	IND	- Contrôle du brut verifier dimensions, nuances					
20	00	10'	01				
AT/DIV: CONT							
N° OP	IND	- Tournage					
30	00	20h	01				
AT/DIV: FAB							
N° OP	IND	- Rectification					
40	00	30'	01				
AT/DIV: FAB							
N° OP	IND	- Ajustage					
50	00	30'	01				
AT/DIV: CONT							
N° OP	IND	- Contrôle des côtes (suivant le plan)					
60	00	30'	01				
AT/DIV: TTS							
N° OP	IND	- Vulcanisation utiliser la gomme B-14-1					
70	00	3h	01				
AT/DIV: TTS							
N° OP	IND	- Contrôle du joint suivant dessin					
80	00	10'	01				
AT/DIV: CONT							
N° OP	IND	-Traitement Thermique: 33-35 HRC -Suivant: ITN° TTS: 001-Indice: 00					
	00	2h	01				
AT/DIV:							
N° OP	IND	- Contrôle final					
AT/DIV:							
N° OP	IND						
AT/DIV:							

Fig.IV.21 : Gammes d'opération pour la réalisation du moule.

IV.3.4.b. Fabrication du moule et de l'armature :

Nous avons commencé à faire rentrer le programme sur la machine afin de réaliser le moule et l'armature, voir les figures IV.22, IV.23 et IV.24.

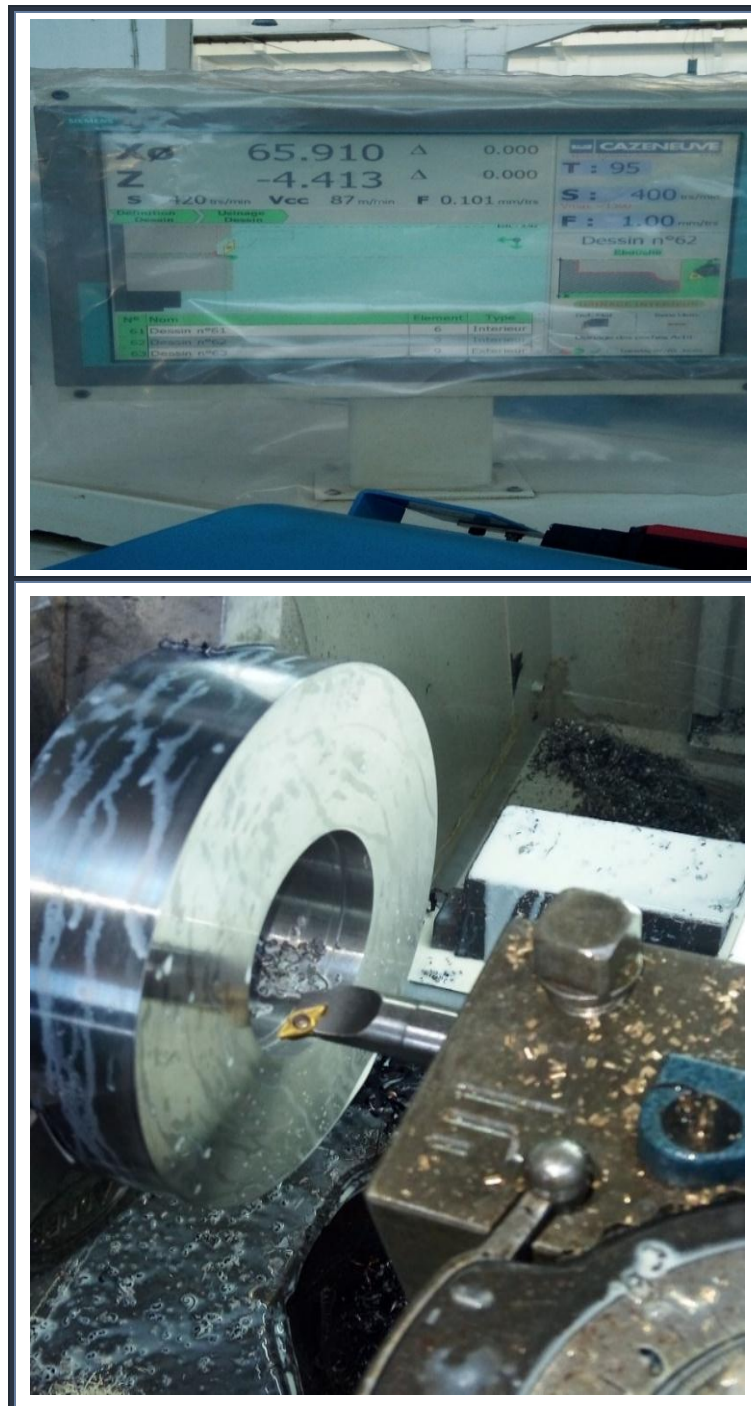


Fig. IV.22 : Fabrication du moule.



Fig. IV.23 : Le moule réalisé.



Fig. IV.24 : L'armature réalisée.

IV.3.5. La machine qui a réalisé le moule :

IV.3.5.a. Description de la machine qui a réalisé le moule :

C'est un tour semi-automatique conçus pour des pièces unitaires ou de petite série (Fig. IV.25), il possède une performance d'une commande numérique sans programmation et trois modes opératoire :

- ✓ Usinage porte ouverte.
- ✓ Usinage avec cycles automatique.
- ✓ Possibilité de programmé en ISO.

IV.3.5.b. Dimensions et Capacités :

- ✓ Distance entre pointes 1100 mm 1800 mm
- ✓ Ø admis au-dessus du banc 583 mm
- ✓ Ø admis au-dessus de la coulisse 300 mm
- ✓ Banc
- ✓ Largeur du banc 436 mm
- ✓ Broche
- ✓ Ø de passage de la broche 82 mm
- ✓ Puissance du moteur 12 kW (S1) - 22 kW (S6)
- ✓ Vitesse de broche 2500 tr/min
- ✓ Type de nez de broche ISO A1 8"
- ✓ Chariot
- ✓ Course de la coulisse transversale (X) 282 mm
- ✓ Longueur maximum du chariotage (Z) 950 mm 1710 mm
- ✓ Contre-Pointe
- ✓ Conicité du fourreau cône morse 6
- ✓ Ø du fourreau/ Course Ø 100 / 295 mm
- ✓ Encombrement
- ✓ Longueur 2860 mm 3620 mm
- ✓ Profondeur 1700 mm
- ✓ Hauteur 1830 mm
- ✓ Poids de la machine 2500 kg 2800 kg
- ✓ Equipement standard
- ✓ Mandrin 3 mors concentriques Ø 250 mm
- ✓ Tourelle porte-outils Multifix Type C - Outils 25 x 25



Fig. IV.25 : La machine qui a réalisé le moule.

IV.3.6. Définition du tournage :

Le tournage mécanique est un procédé d'usinage par enlèvement de matière qui consiste en l'obtention de pièces de forme cylindrique ou/et conique à l'aide d'outils coupants sur des machines appelées tour. La pièce à usiner est fixée dans une pince, dans un mandrin, ou entre pointes. Il est également possible de percer sur un tour, même si ce n'est pas sa fonction première.

IV.4. Réalisation du joint SPI avec le moulage par compression :

Nous avons opté pour la méthode de vulcanisation de joint en utilisant le moulage par compression avec une température et une pression élevée sur une presse.

IV.4.1. Description de la presse :

C'est une presse hydraulique de marque « Gumix », tel qu'il est montré dans la figure IV.26, elle se compose de deux matrices l'une d'entre elles est fixée, elle compresse la pièce posé au milieu a une forte pression qui peut arriver jusqu'à 400bar avec une température qui peut atteindre les 400°.



Fig. IV.26 : La presse de marque « Gumix ».

IV.4.2. Type de gomme utilisé pour le joint SPI :

- ✓ Gomme « B-14-1 » d'origine russe.
- ✓ Milieu de travail : Air
- ✓ Température : -45° à $+100^{\circ}$
- ✓ Milieu de travail : Huiles (AMG-10 ; MGE-10A)
- ✓ Température : -60° à $+100^{\circ}$
- ✓ Système : Transmission
- ✓ Fonction : Etanchéité

Dans les figures IV.27 et IV.28, nous avons montré la gomme utilisée ainsi que le joint d'étanchéité obtenu après le moulage par compression en vulcanisant ce dernier.



Fig.IV.27 : La gomme utilisée.



Fig.IV.28 : Joint obtenu après le moulage par compression.

IV.5. Contrôle du joint :

Après qu'on a terminé la fabrication, on doit passer au service contrôle afin de revoir les dimensions obtenues sur le joint SPI réalisé à l'aide des outils de mesure et de contrôle.

- ✓ Contrôle de l'aspect visuel notamment les égratignures, essoufflures, le manque de gomme ...etc.
- ✓ contrôle dimensionnel des cotes par rapport au dessin de définition avec les différents instruments de mesure (pied à coulisse, jauge a rayon, pied à coulisse Columbus, micromètre d'extérieur ...etc.), voir la figure la figure IV.29.



Fig. IV.29 : Les différents instruments de mesure.

- ✓ Contrôle avec le microscope électronique de mesure comme illustré dans la figure IV.30.

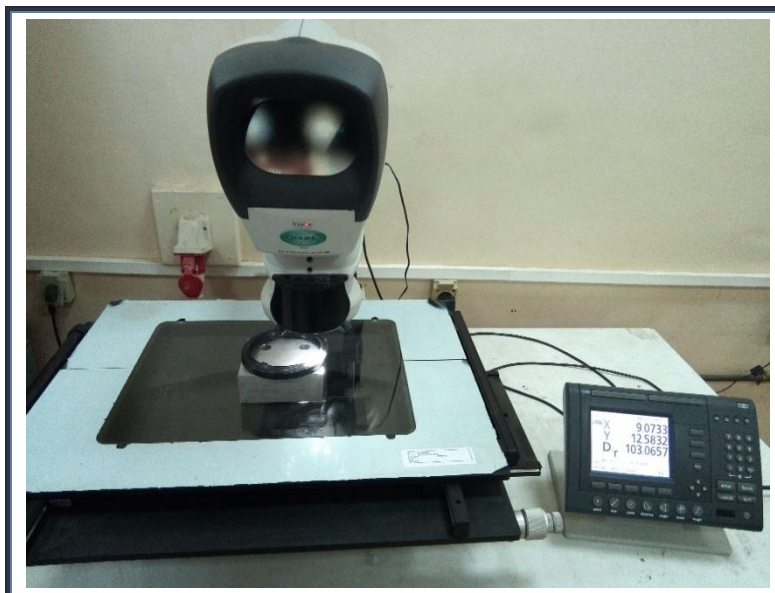


Fig. IV.30 : Microscope électronique de mesure.

IV.5.1. Description de la machine « Microscope électronique » :

- ✓ **Marque** : Vision Engineering.
- ✓ **Caractéristique principales et performances** : entendue de mesure 200mm*150mm.
- ✓ **Objectif** : Il a pour objectif d'observer des détails de pièces avec divers ordres de grossissement 2*, 10*, 20* et la prise de mesure avec affichage de grandeur a une résolution d'un (1) micron.

IV.5.2. Machine de mesure tridimensionnelle sans contact « Caméra optique » :

IV.5.2.a. Descriptions de la machine :

La machine à mesurer tridimensionnelle « MMT » GLOBAL redéfinit la productivité. Elle vous offre une productivité de mesure adaptée à votre flux de travail, elle répond à de multiples impératifs de production, notamment en matière de rendement, de précision, de polyvalence et de configuration adaptée à l'atelier.

Comme la productivité est le moteur clé de la compétitivité dans le domaine de la fabrication, il est important que le processus de mesure fournisse les données nécessaires pour l'application et s'adapte parfaitement aux opérations de production et temps de traitement. La machine à mesurer tridimensionnelle « MMT » GLOBAL se distingue par de très hautes performances de mesure et une plus haute productivité pour remplir vos besoins de production spécifiques. La figure IV.31 montre la machine de mesure tridimensionnelle sans contact.



Fig. IV.31 : Machine de mesure tridimensionnelle sans contact.

IV.5.2.b. Les avantages de la machine de mesure tridimensionnelle :

- ✓ **Scan précis de haute vitesse :** La technologie Compass, disponible sur les versions dotées du pack Performance, est un système avancé de réduction des vibrations qui garantit un haut niveau de précision même lors du scanning à haute vitesse. Combinant solutions matérielles et logicielles, elle vous permet de maximiser le rendement sans sacrifier la précision.
- ✓ **Scan amélioré en cas de trajectoire inconnue :** Grâce aux algorithmes de micro logiciel avancés de Scan Pilot, la GLOBAL peut scanner les profils inconnus les plus complexes très rapidement, même sur des pièces caractérisées par des changements de surface brusques, elle contrôle aussi toutes les tolérances géométriques des pièces.
- ✓ **Optimisation de la trajectoire de la machine :** La nouvelle technologie de contrôle de trajectoire Fly2Mode intégrée optimise automatiquement le chemin entre les points mesurés et réduit les temps morts. Elle peut raccourcir jusqu'à 10% les temps d'exécution du programme.

IV.6. Conclusion :

Les différentes étapes de conception et de réalisation d'un joint SPI du rotor anti-couple des hélicoptères MI-24 Hind et MI-171 SH, dont le support technique utilisé est celui du constructeur Russe, ont été détaillées dans ce chapitre. La partie conception a été développée en utilisant le logiciel AutoCAD pour les dessins 2D, puis les transférer au logiciel SolidWorks afin d'avoir leurs formes en 3D.

Dans ce qui suit, nous allons apporter une solution à la problématique rencontrée au niveau de l'atelier de fabrication de l'entreprise et montrer, avec précision, les différentes opérations d'usinage d'une pièce mécanique ainsi que le traitement thermique de l'acier utilisé.

Chapitre V

*Conception et
réalisation des deux
joints SPI d'une
fraiseuse*

V.1. Introduction :

Le maintien des équipements de production est un enjeu clé pour la productivité des usines et aussi bien pour la qualité des produits. C'est un défi industriel impliquant la remise en cause des structures figées actuelles et la promotion de méthodes adaptées à la nature nouvelle des matériels.

En mécanique industrielle, la fabrication d'une pièce à partir d'une quantité de matière livrée sous forme de produits semi-finis (tôles, barres, etc.) requiert la mise en œuvre d'un ensemble de techniques, l'une d'entre elles est l'usinage, c'est-à-dire un enlèvement de matière par un outil coupant. L'usinage d'une pièce se décompose en une succession d'opérations, définies par la gamme d'usinage établie par le bureau de méthodes à partir du dessin de définition issu du bureau d'études. L'usinage traditionnel s'effectue en respectant les règles de la coupe des métaux sur des machines-outils classiques ou automatisées.

Dans ce chapitre, on va gérer un problème rencontré au niveau de l'atelier de fabrication de l'entreprise.

V.2. Positionnement du problème :

Une fraiseuse conventionnelle de marque H. Ernault-Somua tombe en panne à cause de la fuite d'huile au niveau de la broche.

L'intervention de l'équipe de maintenance a pu déterminer la cause de la fuite d'huile, c'est la détérioration des deux joints SPI se trouvant dans les deux logements séparés de l'arbre de la broche (Fig. V.1).



Fig. V.1 : Détérioration des deux joints SPI se trouvant dans les deux logements séparés de l'arbre de la broche au niveau de la fraiseuse.

Pour que la machine redevienne fonctionnelle, on doit fabriquer les deux joints SPI, cependant, il nous manque le support technique du constructeur de cette machine pour pouvoir les fabriquer d'où l'expérience obtenue lors de l'étude ainsi que la réalisation du joint SPI du rotor anti-couple de l'hélicoptère seront utilisées dans la détermination des tolérances ainsi que la matière à utiliser. Les dimensions des deux joints SPI détériorés et celles des deux logements (socles) et de l'arbre de transmission seront déterminées en utilisant les instruments de mesure nécessaires afin d'entamer la conception.

V.3. La fraiseuse :

V.3.1.Définition :

Une fraiseuse est une machine-outil utilisée pour usiner tous types de pièces mécaniques, à l'unité ou en série, par enlèvement de matière à partir de blocs ou parfois d'ébauches estampées ou moulées, à l'aide d'un outil coupant nommé « fraise ». En dehors de cet outil qui lui a donné son nom, une fraiseuse peut également être équipée de foret, de taraud et d'alésoir.

La fraise munie de dents, mise en rotation, taille la matière grâce à cette dernière et au mouvement relatif de la fraise par rapport à la pièce. La forme de la fraise est variable ; elle peut être cylindrique, torique, conique, hémisphérique ou quelquefois de forme encore plus complexe. La fraise et la pièce sont montées sur des glissières et peuvent se déplacer relativement suivant des coordonnées X, Y et Z (on parle alors de fraiseuse à trois axes). Par convention, l'axe Z est l'axe de rotation de la broche, les axes X et Y sont contenus dans un plan perpendiculaire à Z. Les axes de rotation A, B et C sont respectivement axés sur X, Y et Z.

Il existe des fraiseuses à quatre axes ou cinq axes. Les caractéristiques physiques de la fraise, sa vitesse de rotation et son avance dépendent de la matière à usiner, de la profondeur de travail et de la coupe.

On utilise principalement le carbure de tungstène recouvert de revêtement résistant à l'abrasion du copeau.

V.3.2.Broche de la fraiseuse :

La broche assure le mouvement de rotation à l'outil de coupe (fraise). La fraise doit être fixée sur la broche par l'intermédiaire d'une douille, d'un mandrin ou de sa partie conique (si la fraise possède un cône), (Fig. V.2)



Fig. V.2 : Broche de la fraiseuse.

V.3.3. Conception de l'arbre :

Les dimensions indiquées sur l'arbre de la broche, voir (Fig. V.3), montrent l'endroit où les deux joints SPI assurent l'étanchéité.

V.3.12.a. Conception de l'arbre en 2D :

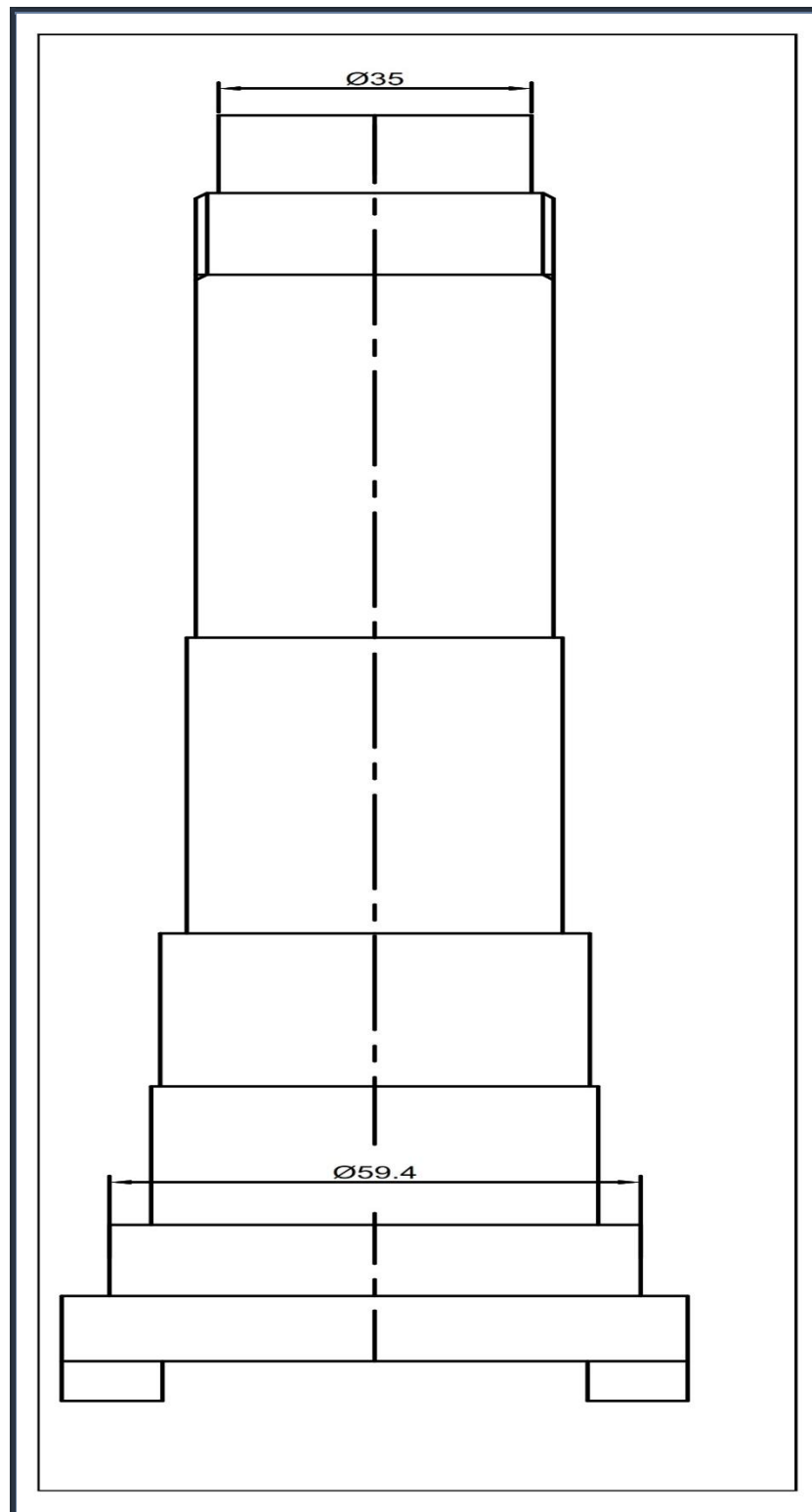


Fig.V.3 : Conception de l'arbre en 2D.

V.3.12.b. Conception de l'arbre en 3D :

Dans la figure V.4 ci-dessous, nous avons montré la conception de l'arbre sous SolidWorks en 3D.

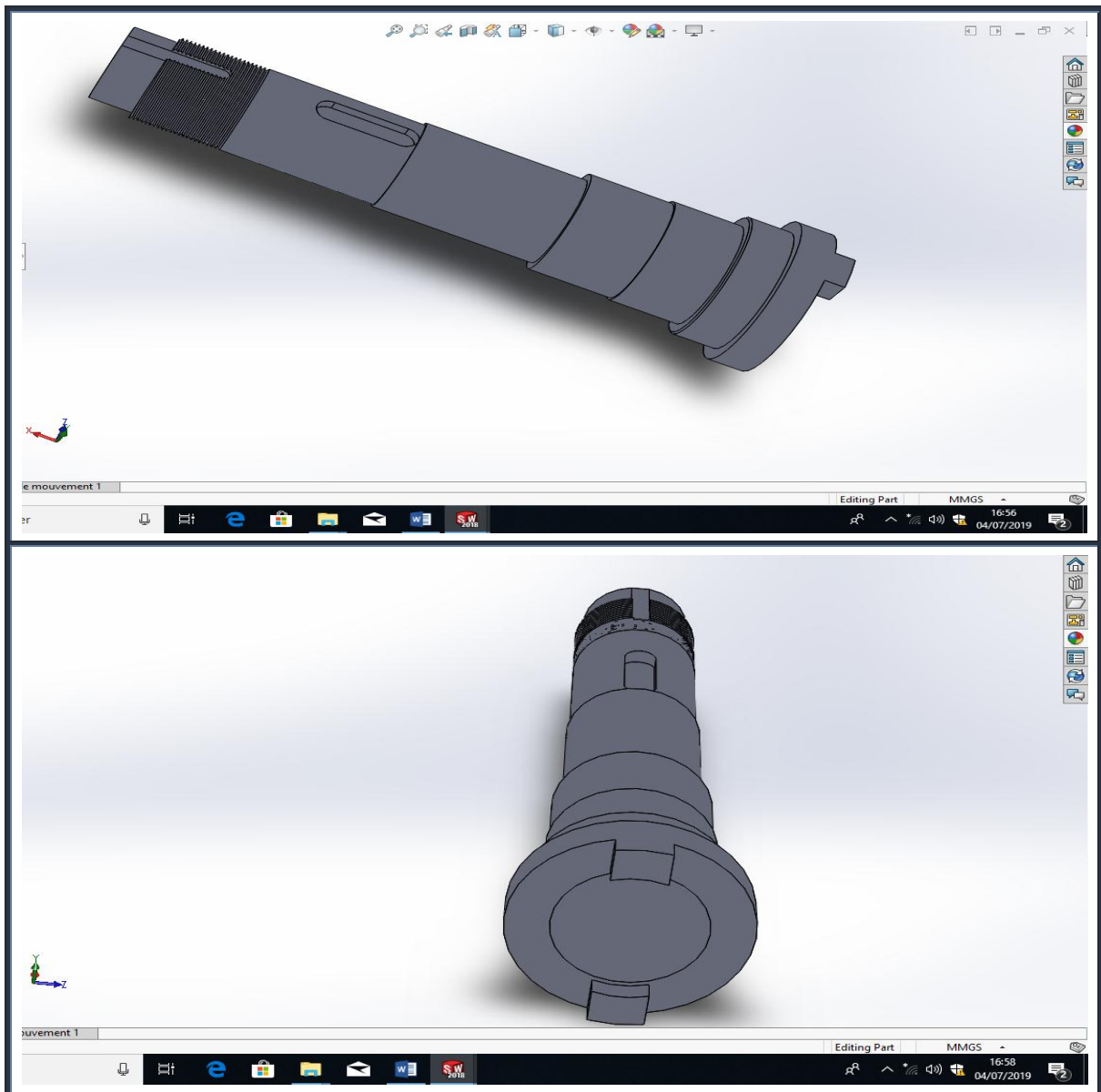


Fig.V.4 : conception de l'arbre en 3D.

V.3.4. Conception des deux logements (socles) des joints SPI :

Les dimensions indiquées montrent l'emplacement des deux joints SPI dans leurs logements associés. Nous avons procédé à la conception en 2D, comme indiqué dans les figures V.5 et V.6, puis transférer les dessins sur SolidWorks afin de montrer leur forme en 3D, comme indiqué dans les figures V.7 et V.8.

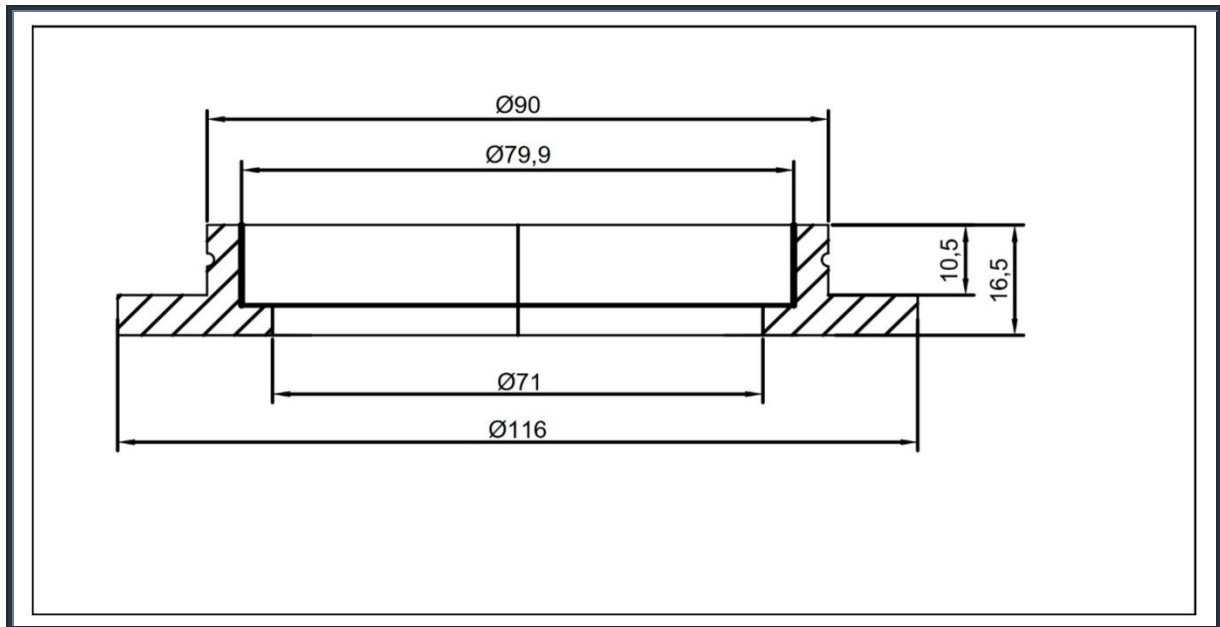


Fig.V.5 : Conception du petit socle en 2D.

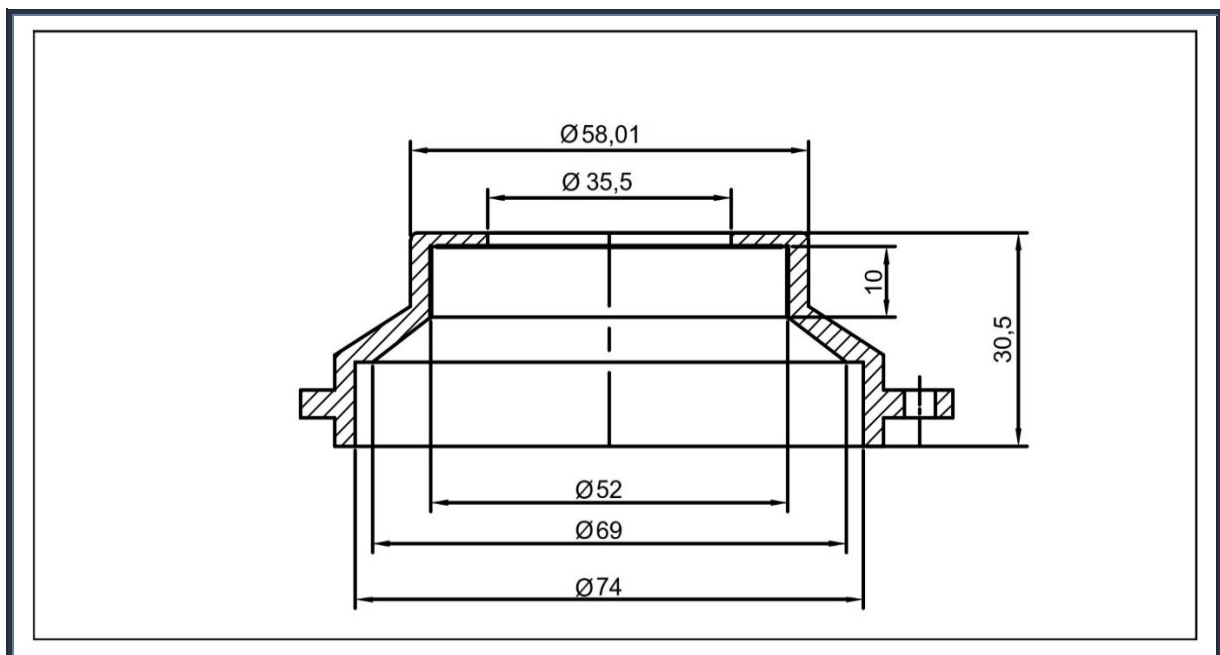


Fig.V.6 : conception du grand socle en 2D.

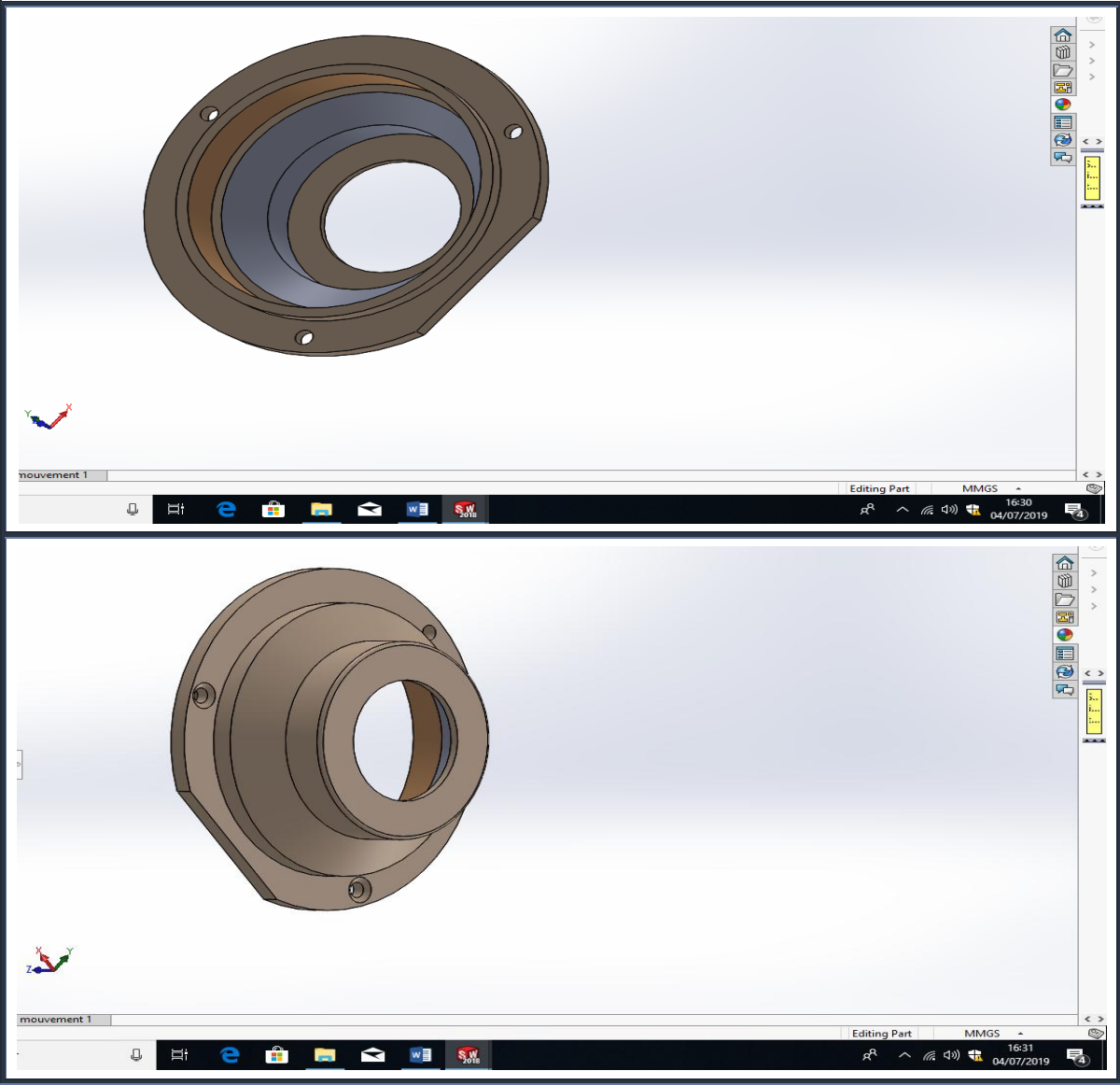


Fig.V.7 : Conception du petit socle en 3D.

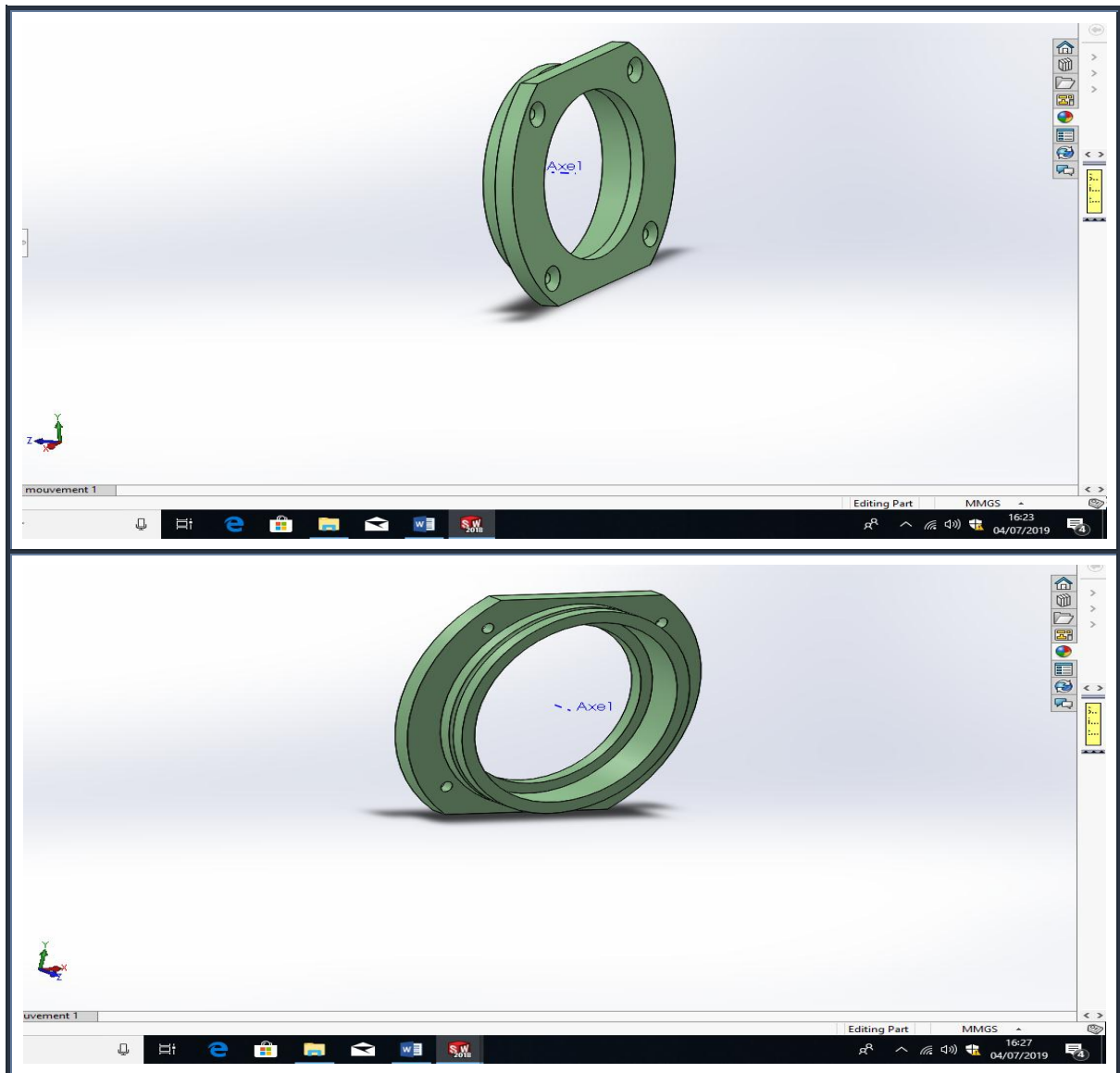


Fig.V.8 : Conception du grand socle en 3D.

V.3.5. Conception du grand joint SPI de la fraiseuse :

V.3.5.a. Conception du grand joint SPI de la fraiseuse en 2D:

Afin de fabriquer les deux joints SPI de la fraiseuse, on doit réaliser les deux moules. Les diamètres des deux socles et de l'arbre de la fraiseuse permettent de déterminer les vraies dimensions des joints SPI et cela en prenant en considération le support technique du constructeur Russe pour attribuer à ses dimensions des tolérances exactes. Les deux joints SPI détériorés doivent être coupés afin de déterminer les dimensions et la forme des armatures à l'intérieur.

Puisque les deux joints SPI ont la même conception, la seule différence réside au niveau du diamètre, donc, dans ce qui suit, on va donner la démarche du travail fait uniquement pour un seul joint puisque c'est la même chose, voir les figures V.9 et V.10.

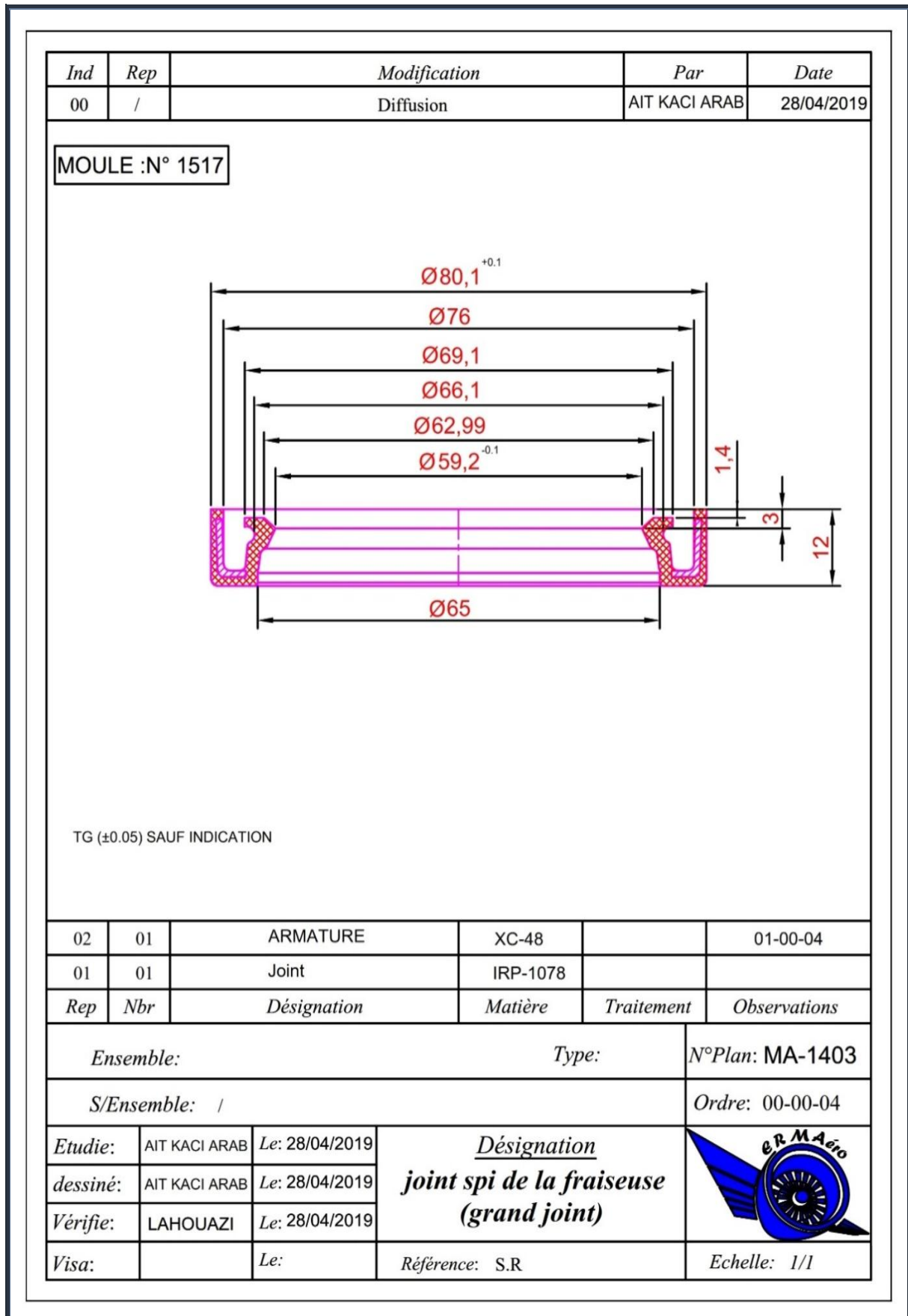


Fig.V.9 : Conception du grand joint SPI en 2D.

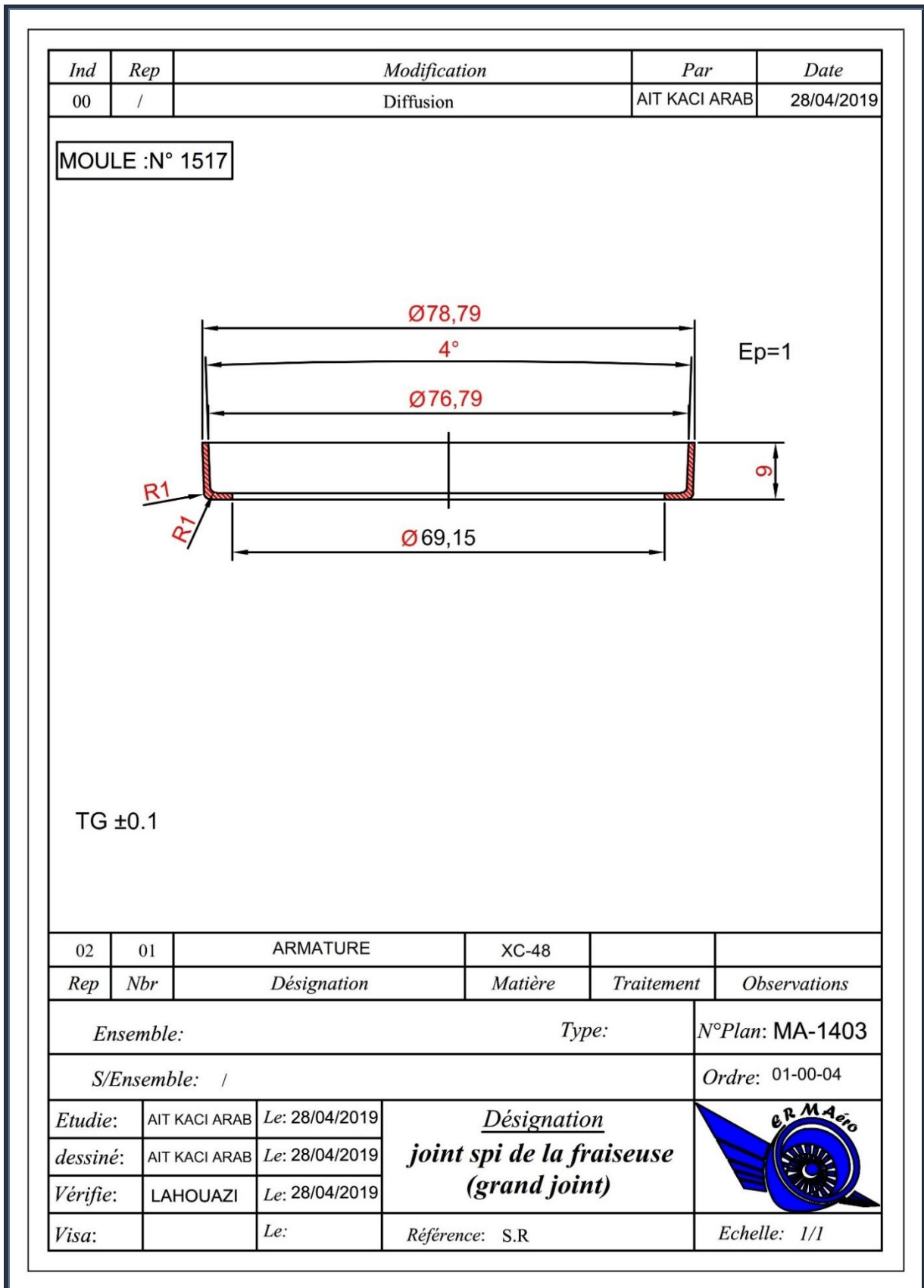


Fig.V.10 : Conception du grand joint SPI en 2D.

V.3.5.b. Conception du grand joint SPI de la fraiseuse en 3D:

Après avoir terminé la conception du grand joint SPI de la fraiseuse en 2D, nous avons transféré les dessins sur SolidWorks afin d'avoir leur forme en 3D, ainsi que l'assemblage de l'armature avec le joint pour avoir une forme complète du joint SPI comme indiqué dans la figure V.11.

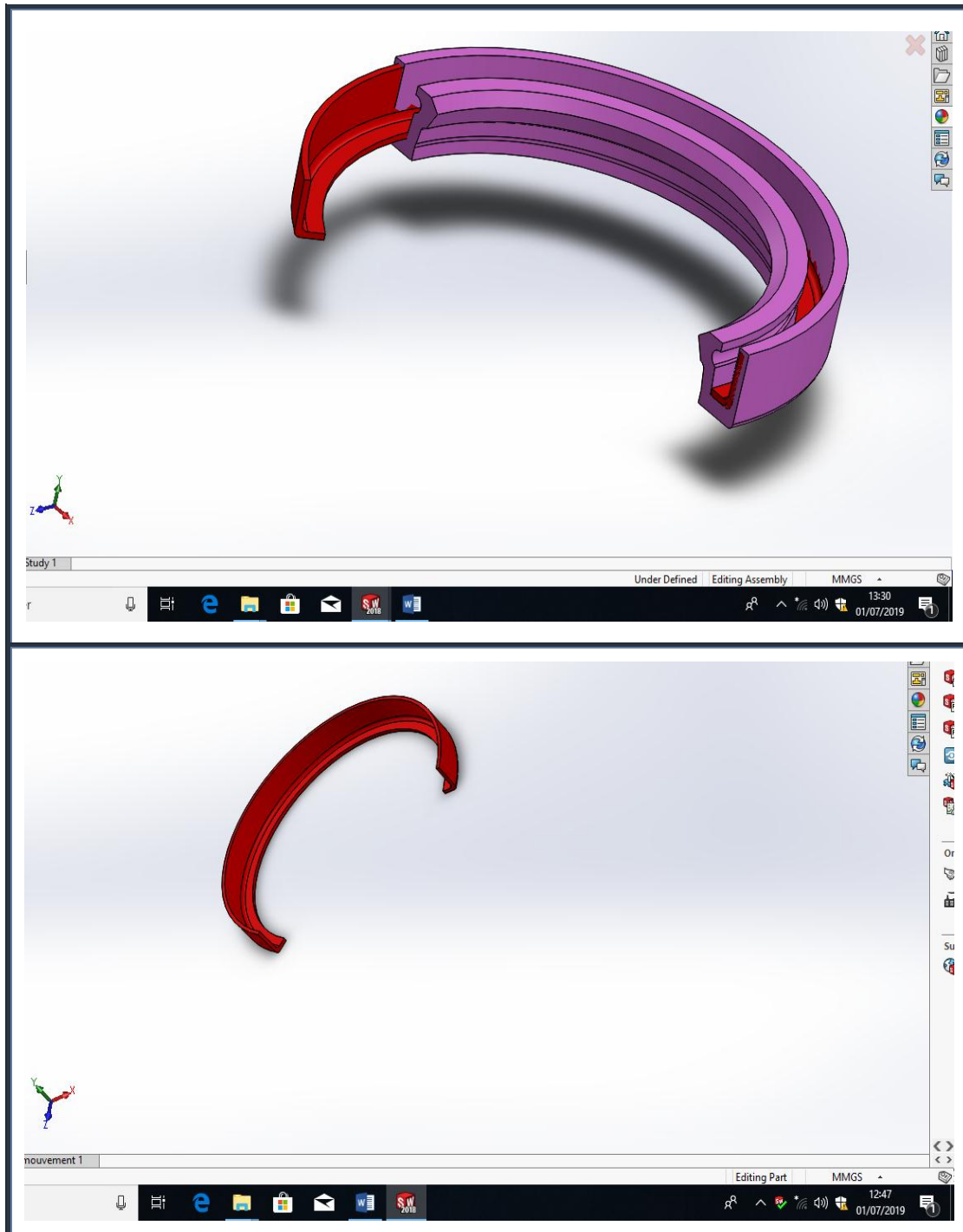


Fig.V.11 : Conception du grand joint SPI en 3D.

V.3.6. Conception du moule associé :

Suite à la conception du grand joint SPI de la fraiseuse, on détermine son moule associé en 2D, comme indiqué dans les figures V.12, V.13, V.14 et V.15, puis on transfère les dessins sur SolidWorks pour avoir une forme 3D. Enfin, on fait un assemblage avec le joint SPI pour montrer l'emplacement de ce dernier sur l'empreinte du moule, tel qu'il est montré dans les figures V.16, V.17, V.18 et V.19.

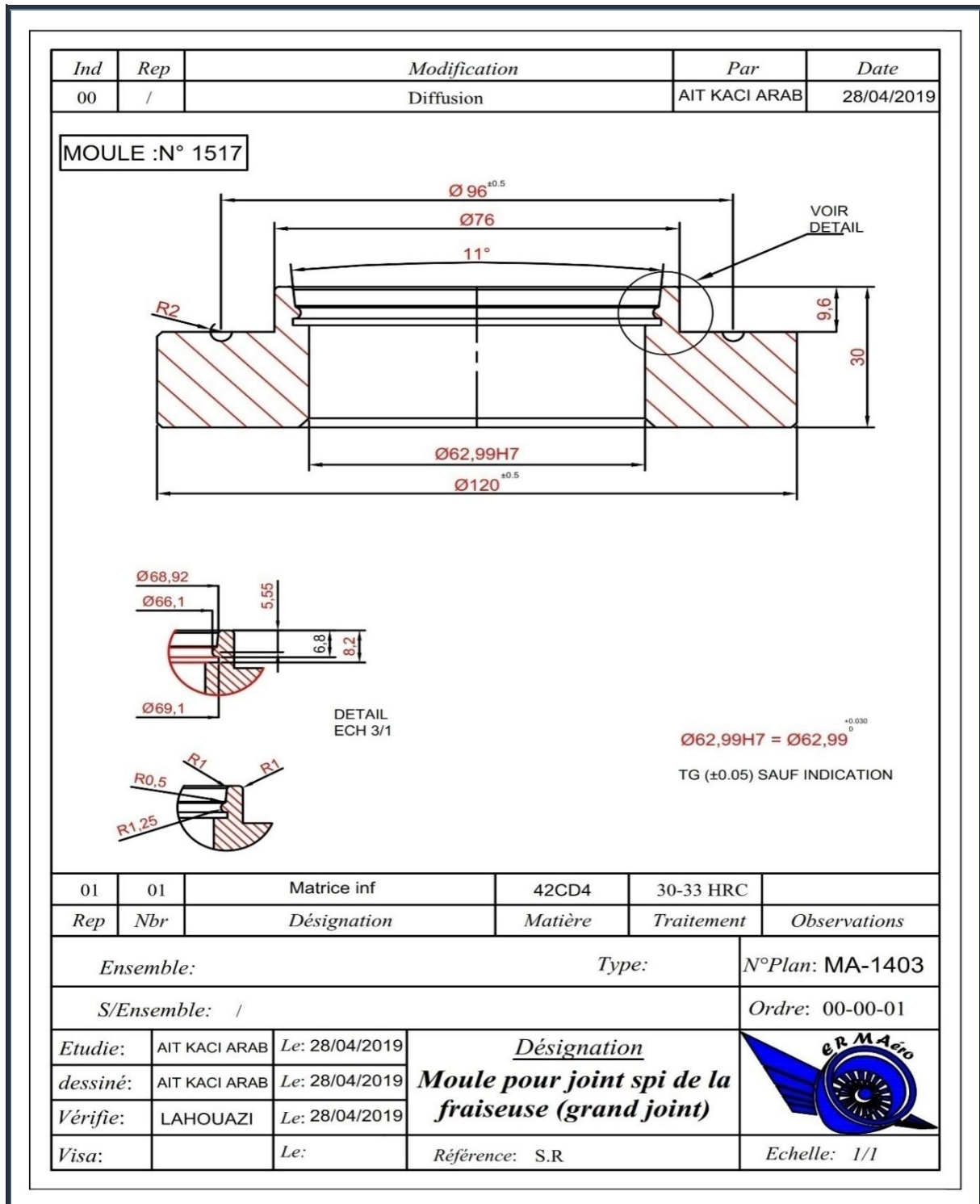


Fig.V.12 : Conception de la matrice inférieure en 2D.

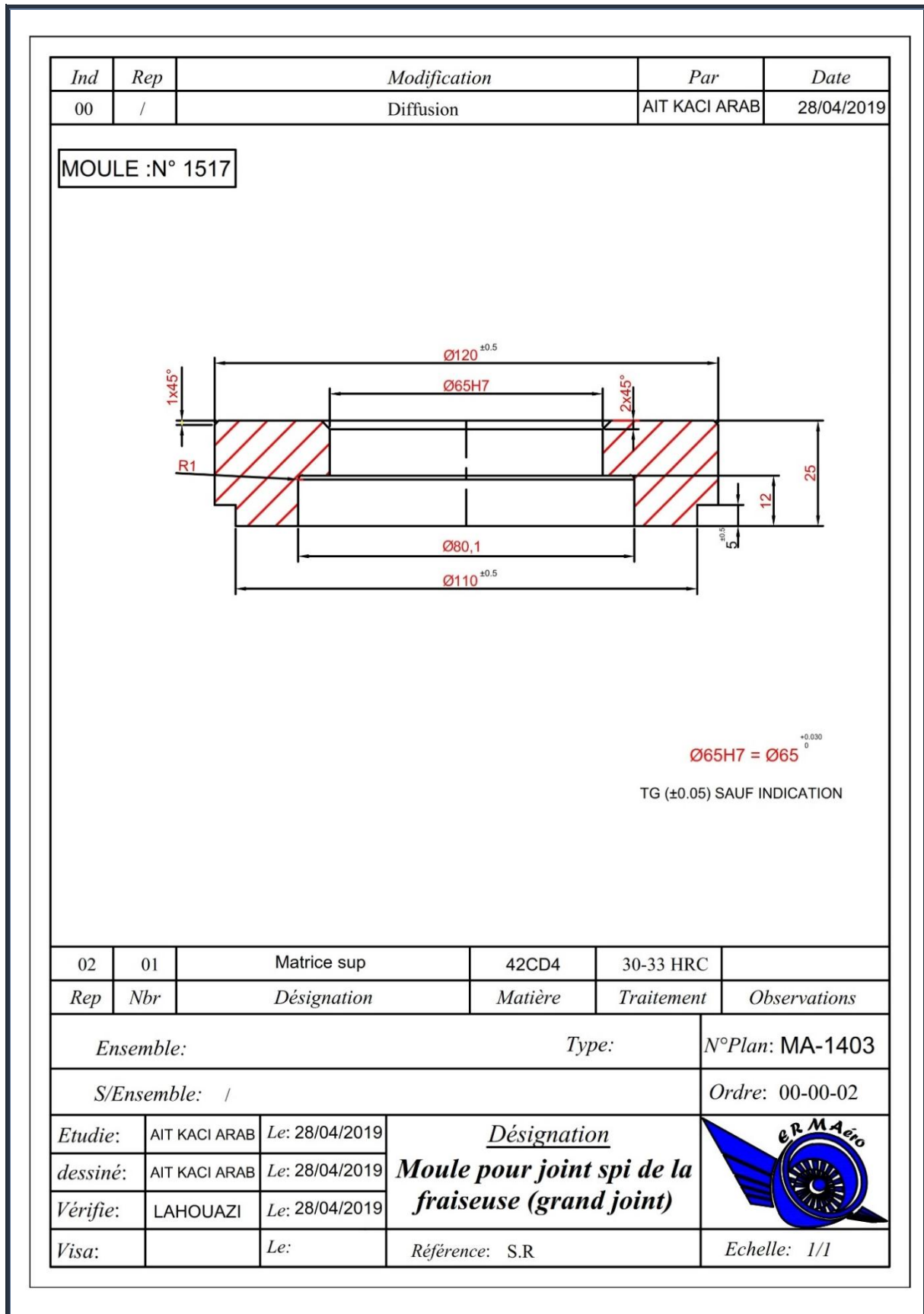


Fig. V.13 : conception de la matrice supérieure en 2D.

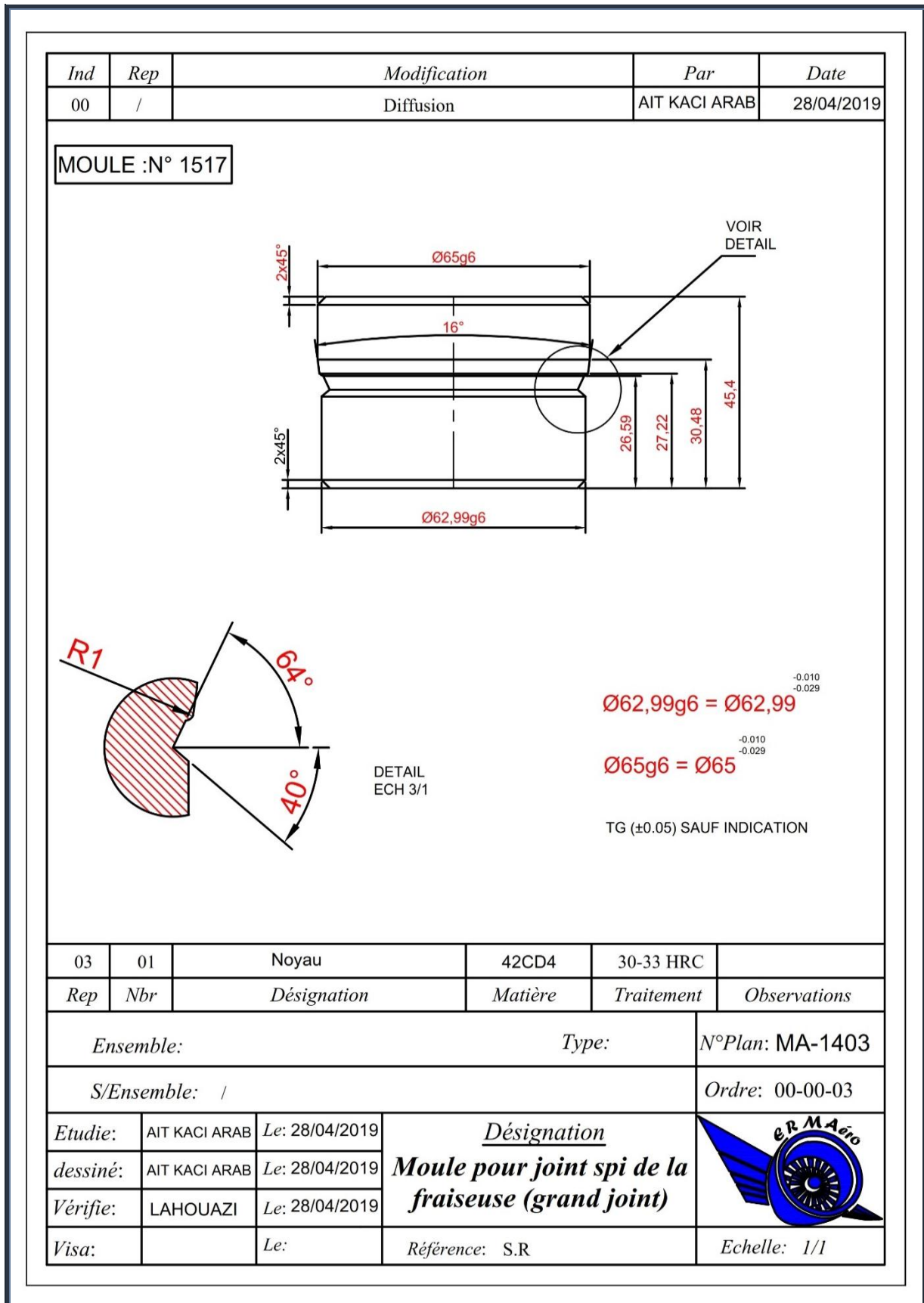


Fig. V.14 : Conception du noyau en 2D.

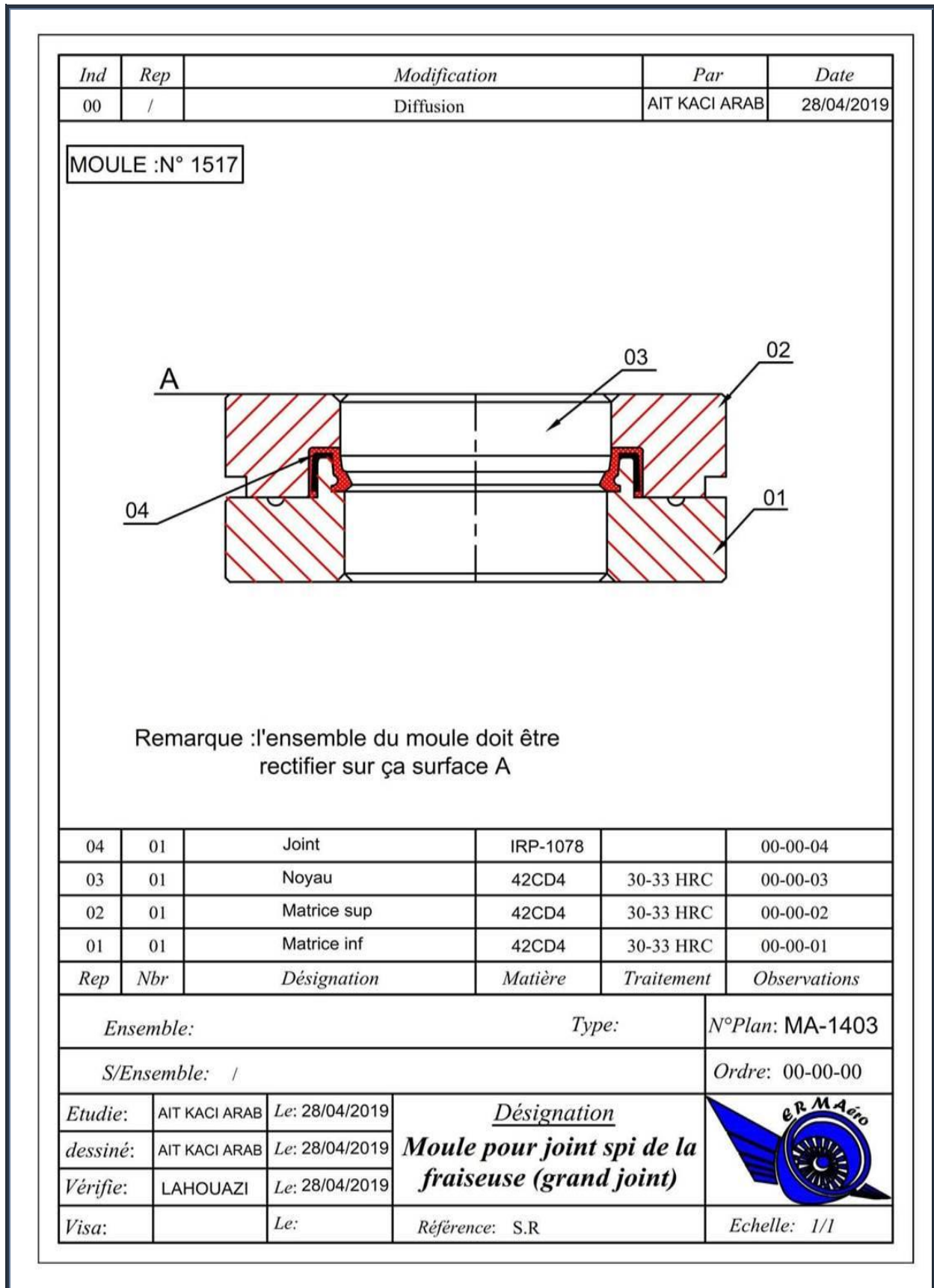


Fig. V.15 : Dessin d'assemblage du grand joint SPI de la fraiseuse et de son moule associés en 2D.

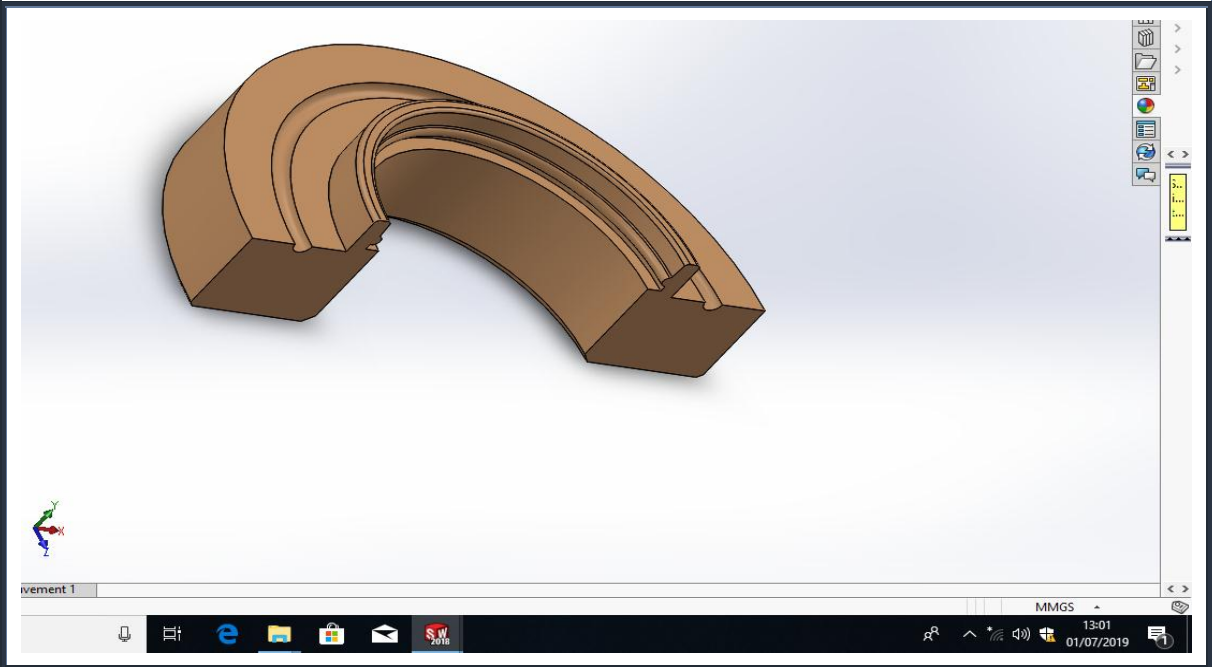


Fig.V.16 : Conception de la matrice inférieure en 3D.

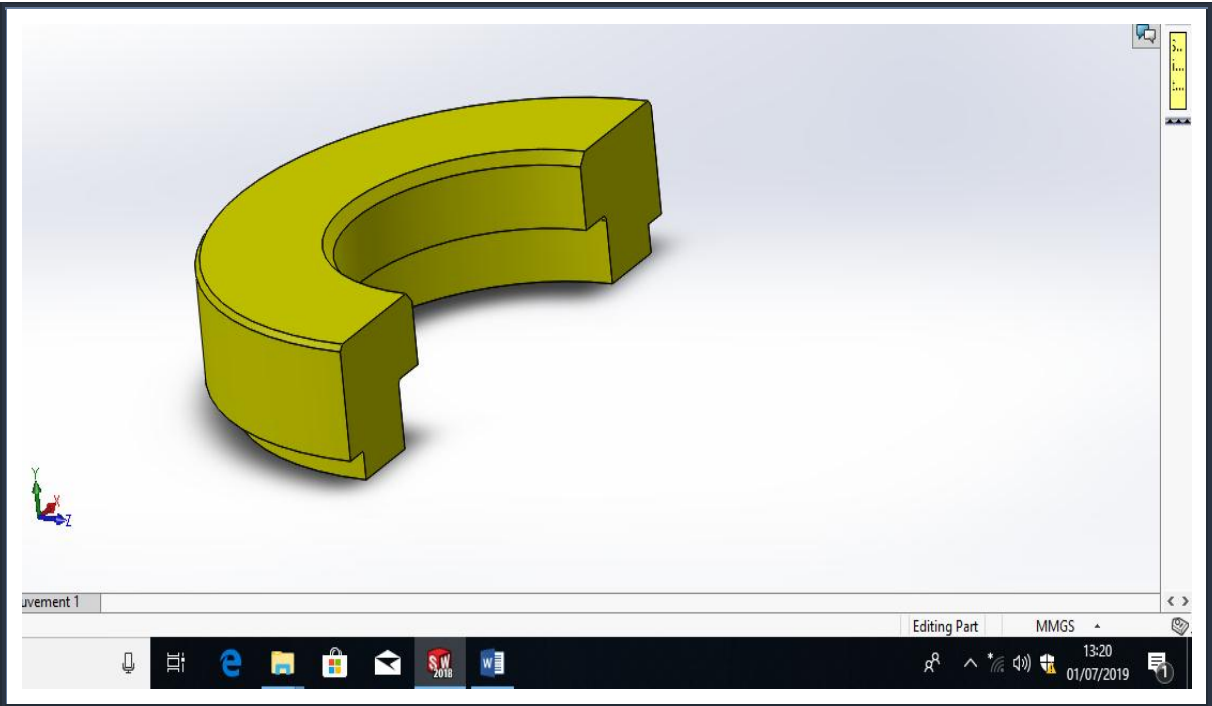


Fig.V.17 : Conception de la matrice supérieure en 3D.

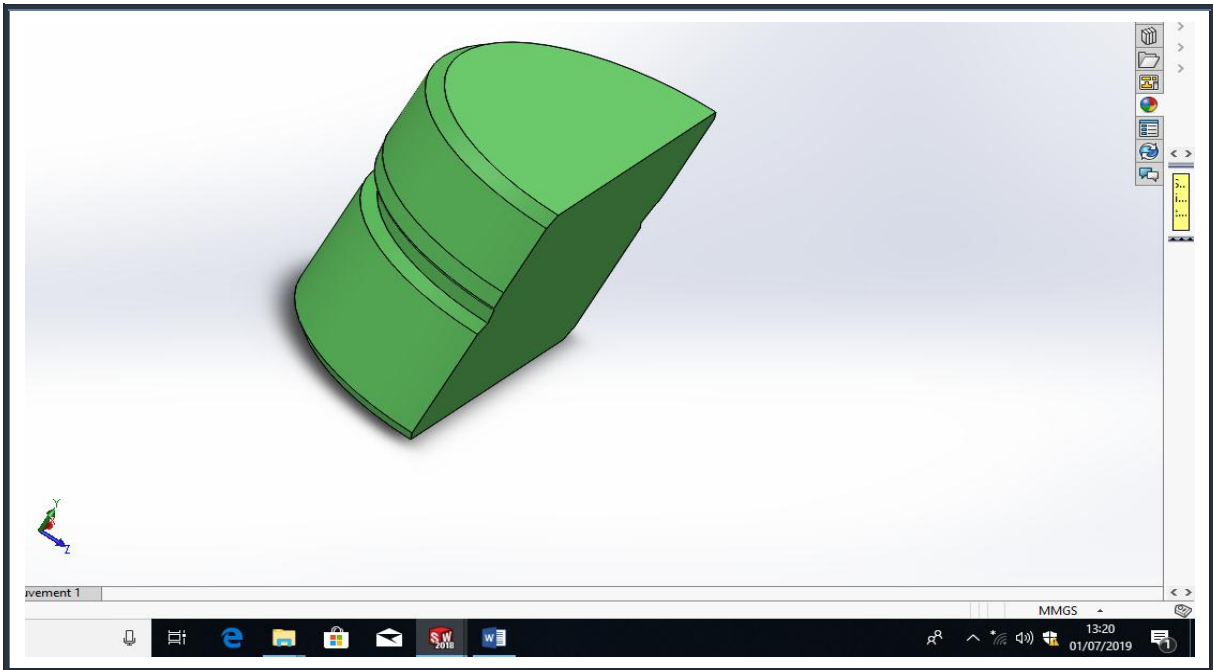


Fig.V.18 : Conception du noyau en 3D.

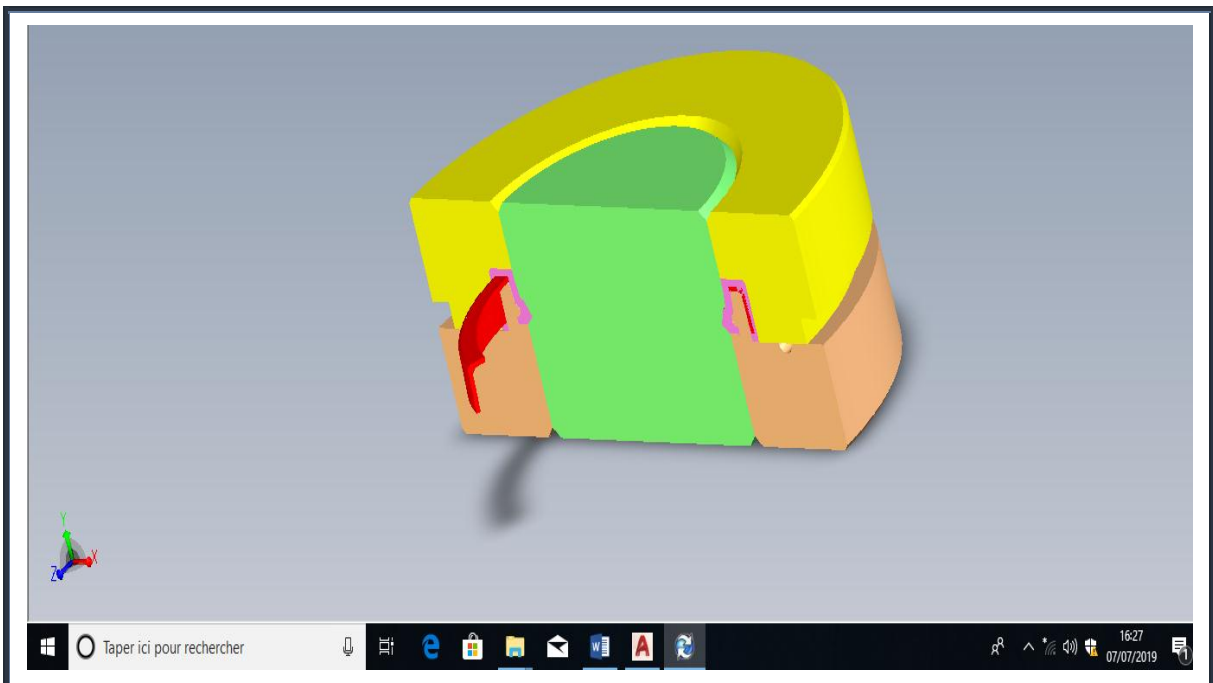


Fig.V.19 : Dessin d'assemblage du grand joint SPI de la fraiseuse et de son moule associé en 3D.

Après avoir terminé la conception du joint SPI ainsi que son moule associé, on passe à l'atelier de fabrication pour commencer la réalisation de ce dernier.

Nous avons choisi « l'acier 42CD4 » pour le moule vu sa résistance au traitement thermique et à la compression de la presse. Cette étude a été approuvée par le constructeur Russe du moule à joint SPI de l'hélicoptère. Voir les tableaux V.1 et V.2.

C	Cr	Mn	Si	P	Cu	Mo	Ni	S	V	Fe	Rm
0.42	1.08	0.68	0.25	0.013	0.022	0.209	0.021	0.018	0.004	96.95	870 N/mm ²

Tableau V.1 :Composition chimique et mécanique de « l'acier 42CD4 ».

UNI 7845	DIN 17200	ISO 683-1	AFNOR 35-552	AISI-SAE
42CrMo4	42CrMo4	42CrMo4	42CD4	4140

Tableau V.2 : Equivalence de « l'acier 42CD4 » en fonction des normes.

V.3.7.La fiche suiveuse de fabrication du moule dans l'atelier :

Sortie de matière brute et préparation des gammes d'opérations à effectuer par l'ouvrier pour commencer la fabrication de notre moule à joint SPI, voir les figures V.20 et V.21.


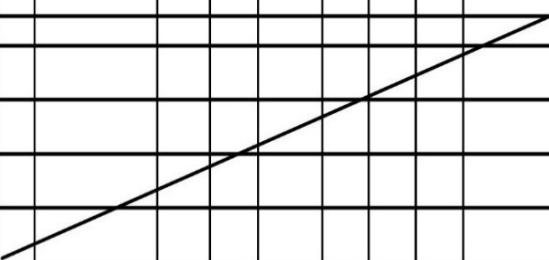
		Ministère de la Défense Nationale Etablissement de Rénovation des Matériels Aéronautiques														
		FICHE SUIVEUSE DE FABRICATION														
N° FS:.....					Dar-El-Beida, Le :							BUREAU DES METHODES <small>(Visa et date)</small>		FOLIO 1/2		
REFERENCE: SR					EDITION DE PLAN DE DEFINITION											
DESIGNATION: Moule pour joint spie					MODIF TECH.GAMME											
Rep	Référence Dimensions	Nuance	Norme	Nuance équivalente	Norme	Débit U	Débit total	Matière sortie du magasin	GAMME VALIDEE		ORDONNANCEMENT					
01	Rond#130 l=60	42CD4	AFNOR	35CD4	AFNOR	01			OUI <input type="checkbox"/> NON <input checked="" type="checkbox"/>		TYPE D'APPAREIL:					
02	Rond#130 l=35	42CD4	AFNOR	35CD4	AFNOR	01			PREMIER ARTICLE NON <input type="checkbox"/> OUI <input checked="" type="checkbox"/>		PROTOTYPE: <input checked="" type="checkbox"/> SERIE: <input type="checkbox"/>					
03	Rond#70 l=60	42CD4	AFNOR	35CD4	AFNOR	01										
01/04	Rond#80 l=25	25CD4	AFNOR	XC48	AFNOR	01			N°DEROGATION		SOLDEE		N°DT	Qté Dem	Qté Lan	
																
N°D 10			DATE EMISSION			DATE RECEPTION										
.....		/...../.....		/...../.....			SOLDE CONTROLE							
DIV.APPROS <small>(Visa et date)</small>									DIV.CONTROLE <small>(Visa et date)</small>		DIV.ORDONNANCEMENT <small>(Visa et date)</small>					
															RAPPORT DE CONTROLE	
OBSERVATIONS:									N°Fiche de Conformité		Soldé		Nom du sous traitant:			
													C 7 N°:		FACTURE N°:	
													Date:...../...../.....			

Fig.V.20 : Fiche suiveuse de fabrication du moule.



Ministère de la Défense Nationale
Etablissement de Rénovation des Matériels Aéronautiques

GAMME D'OPERATION

N° FS:.....

Dar-El-Beida, Le :

REF.ARTICLE: SR		MODIF.TECH GAMME				FOLIO	
DES.ARTICLE: Moule pour joint spie		Prép: AIT KACI ARAB Date:28/04/2019				2/2	
N° OP	IND	T.A	Qté Lancé	T.R	Qté NC	NOM (date et visa)	OBS
10	00	10'	01				
AT/DIV: Appros		- Sortie de matière.					
20	00	10'	01				
AT/DIV: CONT		- Contrôle du brut verifier dimensions, nuances					
30	00	20h	01				
AT/DIV: FAB		- Tournage					
40	00	30'	01				
AT/DIV: FAB		- Rectification					
50	00	30'	01				
AT/DIV: CONT		- Ajustage					
60	00	30'	01				
AT/DIV: TTS		- Contrôle des côtes (suivant le plan)					
70	00	3h	01				
AT/DIV: TTS		- Vulcanisation utiliser la gomme IRP-1078					
80	00	10'	01				
AT/DIV: CONT		- Contrôle du joint suivant dessin					
	00	2h	01				
AT/DIV:		-Traitement Thermique:33-35 HRC -Suivant:ITN° TTS:001-Indice:00					
AT/DIV:		- Contrôle final					
AT/DIV:							

Fig.V.21 : Gammes d'opération pour la réalisation du moule

V.3.8. Les étapes d'usinages établies par le bureau de méthodes pour la fabrication de ce moule :

Nous avons établies les étapes d'usinage pour l'ensemble du moule et de l'armature pour faciliter le travail de l'ouvrier lors de sa lecture des dessins avant de commencer la fabrication sur la machine. Les figures, de V.22 jusqu'à V.50, montrent ces étapes ainsi que le moule obtenu.

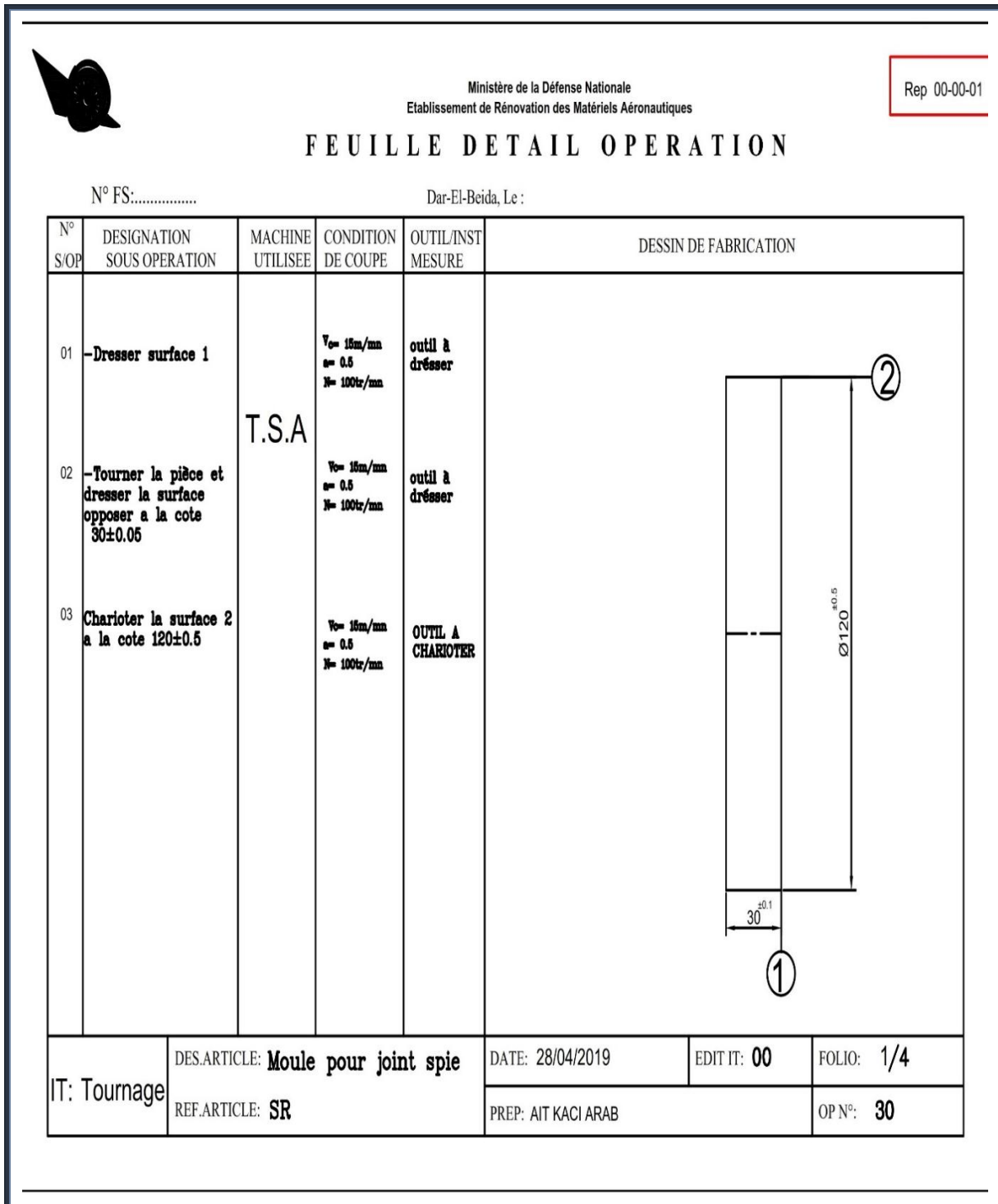


Fig.V.22 : Première étape d'usinage de la matrice inférieure en 2D.

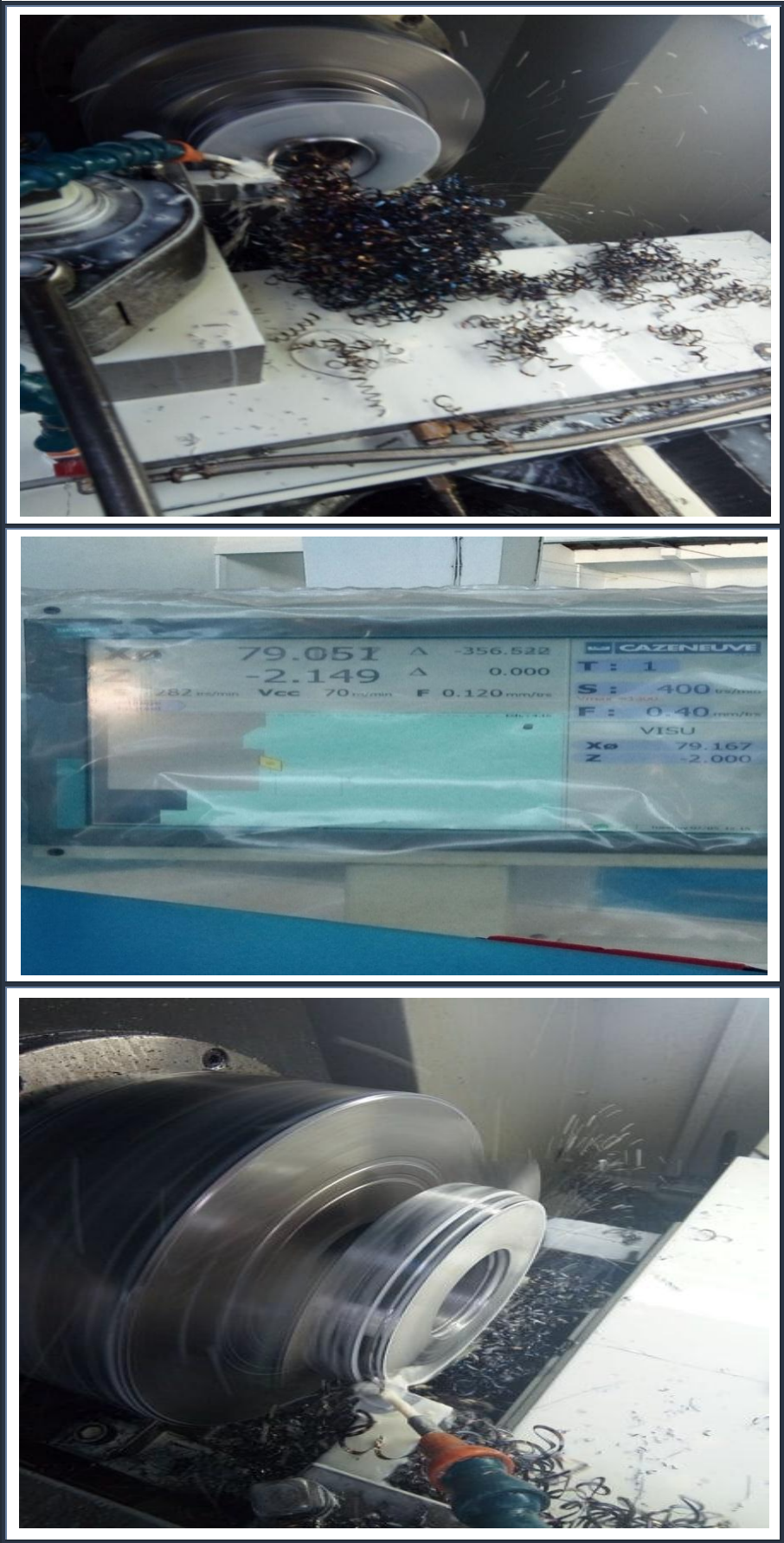


Fig.V.23 : Dressage et de chariotage de la matrice inférieure.

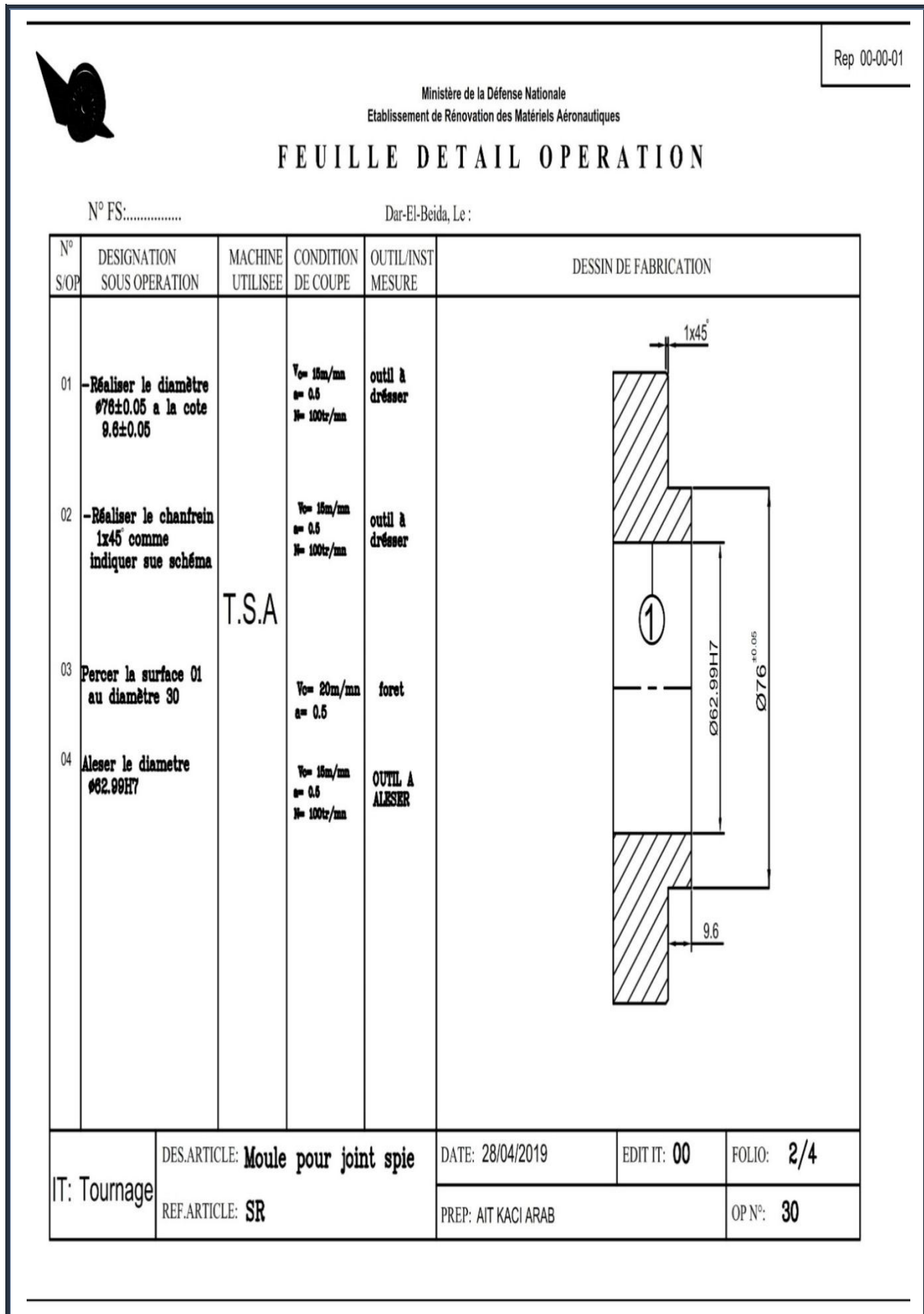


Fig. V.24 : Deuxième étape d'usinage de la matrice inférieure en 2D.

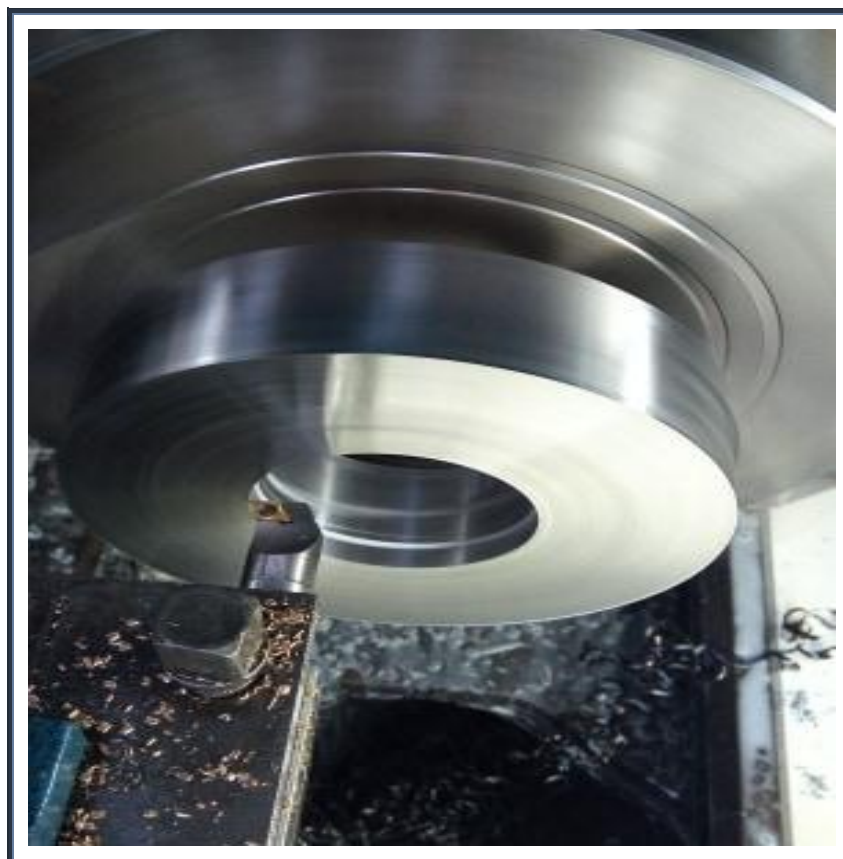


Fig.V.25 : Opération d'alésage.

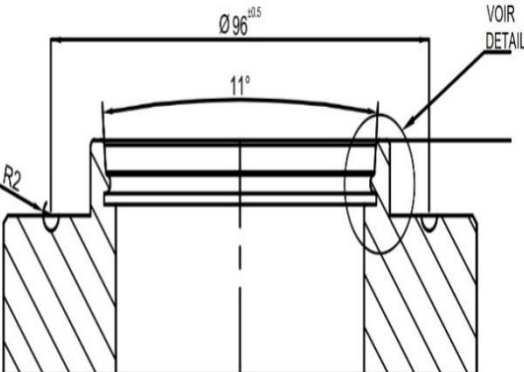
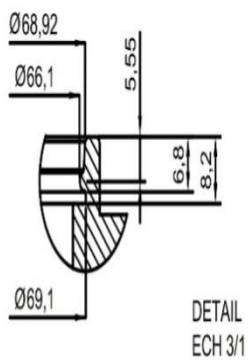
N° FS:.....		Dar-El-Beida, Le :		Rep 00-00-01	
Ministère de la Défense Nationale Etablissement de Rénovation des Matériels Aéronautiques FEUILLE DETAIL OPERATION					
N° S/OP	DESIGNATION SOUS OPERATION	MACHINE UTILISEE	CONDITION DE COUPE	OUTIL/INST MESURE	DESSIN DE FABRICATION
01	Réaliser la forme indiquée sur le schéma ci contre; en respectant les rayons les diamètres et les inclinaison indiquer	T.S.A	$V_c = 15m/min$ $a_p = 0.5$ $N = 100tr/min$	outil de forme	
02	realiser la gorge de rayon R2 et au diamètre Ø96±0.5		$V_c = 15m/min$ $N = 100tr/min$	outil rayonné	
IT: Tournage		DES.ARTICLE: Moule pour joint spie		DATE: 28/04/2019	EDIT IT: 00
		REF.ARTICLE: SR		PREP: AIT KACI ARAB	FOLIO: 3/4
					OP N°: 30

Fig.V.26 : Troisième étape d'usinage de la matrice inférieure en 2D.

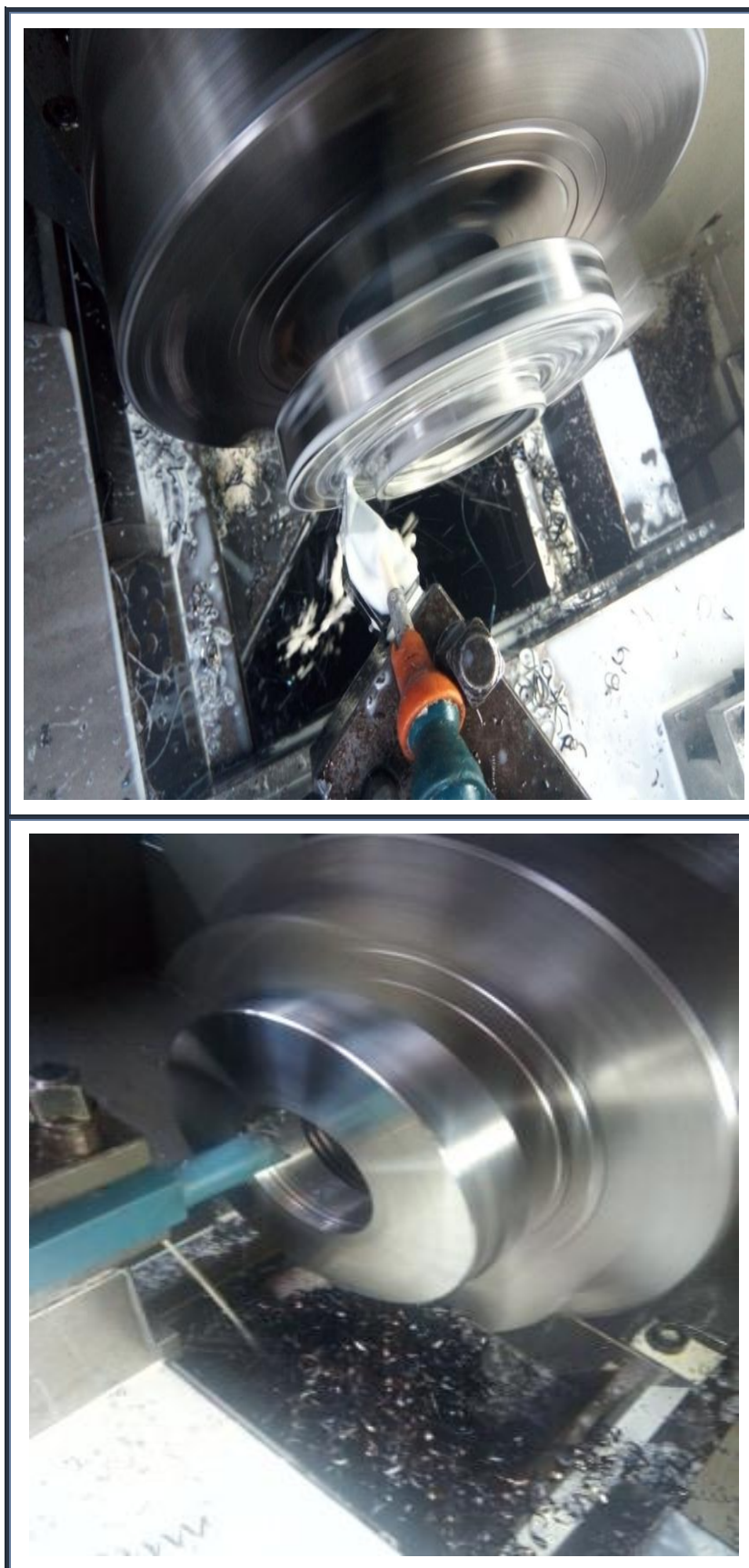


Fig.V.27 : L'usinage du dessin indiqué sur le schéma 2D précédent.

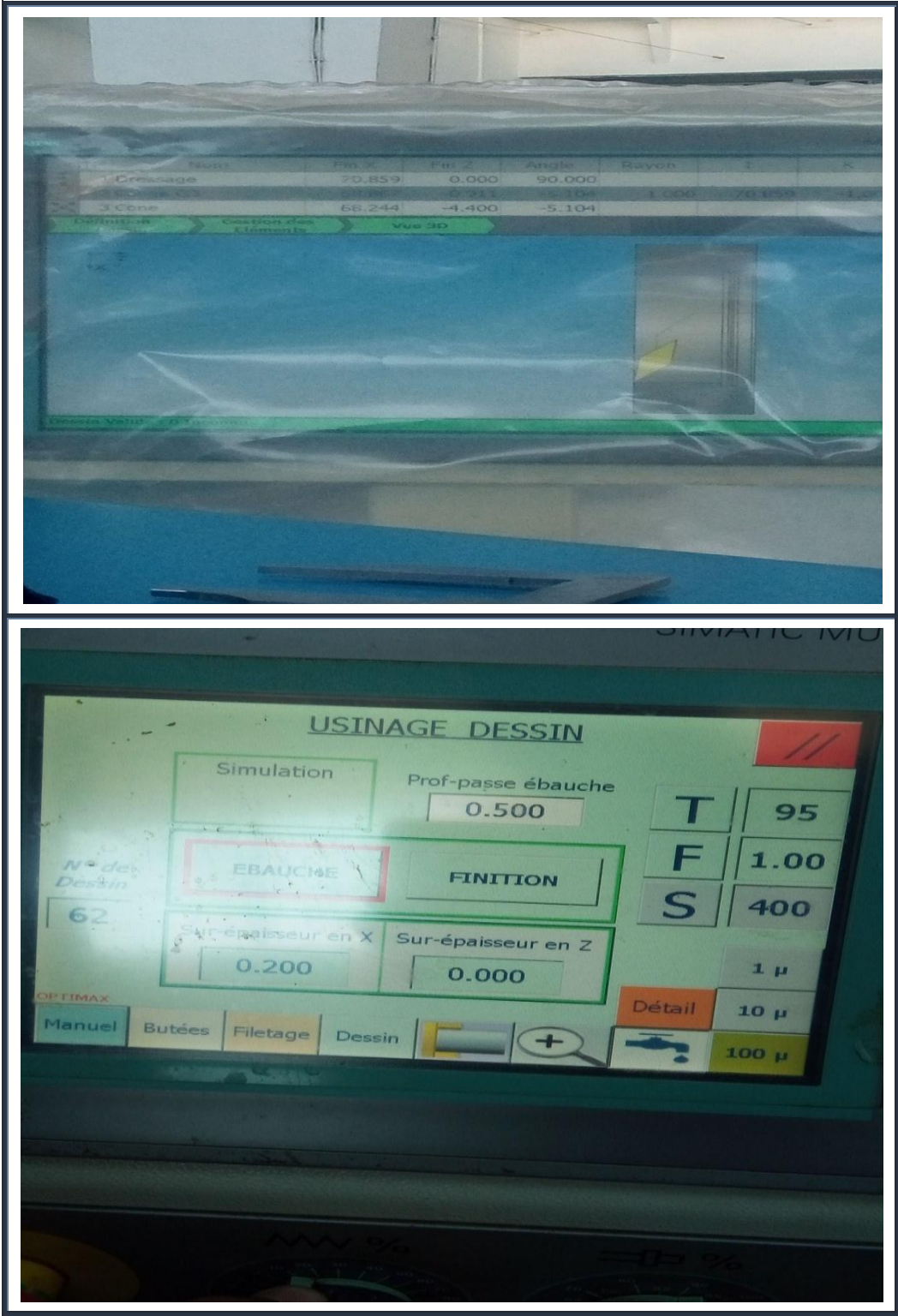


Fig.V.28 : La machine numérique (Tour semi-automatique).



Ministère de la Défense Nationale
Etablissement de Rénovation des Matériels Aéronautiques

FEUILLE DETAIL OPERATION

N° FS:.....

Dar-El-Beida, Le :

N° S/OP	DESIGNATION SOUS OPERATION	MACHINE UTILISEE	CONDITION DE COUPE	OUTIL/INST MESURE	DESSIN DE FABRICATION
01	usiner les chanfrein comme indique sur schéma	T.S.A	$V_c = 16m/min$ $a = 0.5$ $N = 100tr/min$	outil a 45°	
IT: Tournage	DES.ARTICLE: Moule pour joint spie		DATE: 28/04/2019	EDIT IT: 00	FOLIO: 4/4
	REF.ARTICLE: SR		PREP: AIT KACI ARAB		OP N°: 30

Fig.V.29 : Quatrième étape d'usinage de la matrice inférieure en 2D.

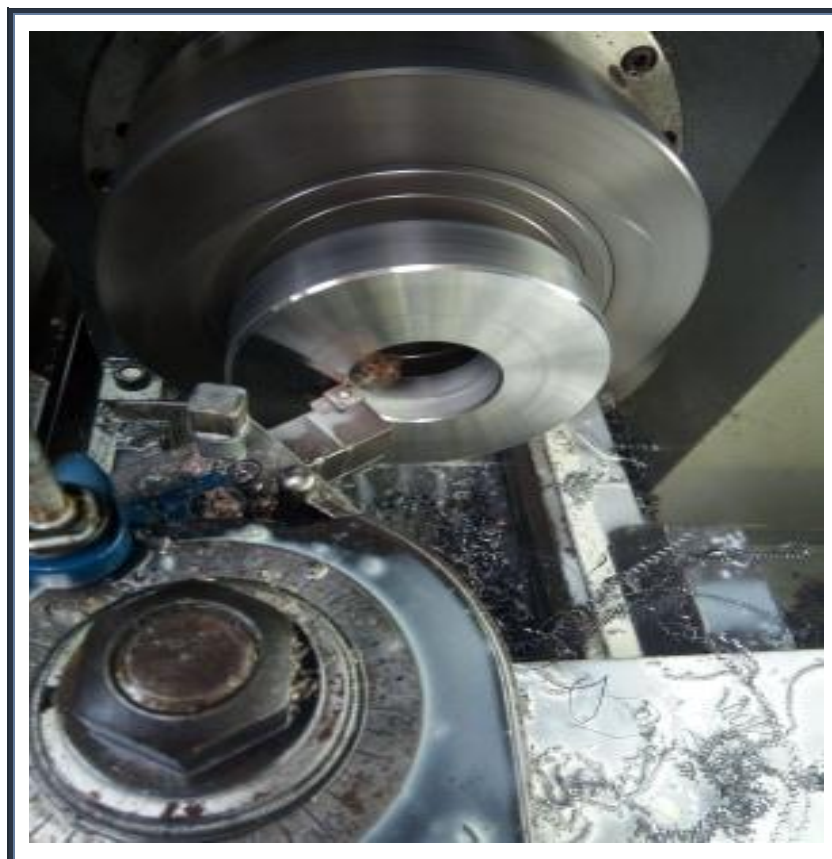


Fig.V.30 : réalisation des chanfreins.

Ministère de la Défense Nationale Etablissement de Rénovation des Matériels Aéronautiques					Rep 00-00-02
FEUILLE DETAIL OPERATION					
N° FS:.....		Dar-El-Beida, Le :			
N° S/OP	DESIGNATION SOUS OPERATION	MACHINE UTILISEE	CONDITION DE COUPE	OUTIL/INST MESURE	DESSIN DE FABRICATION
01	-Dresser surface 1	T.S.A	$V_c = 15m/min$ $a_p = 0.6$ $N = 100tr/min$	outil à dresser	
02	-Tourner la pièce et dresser la surface opposer a la cote 25 ± 0.06		$V_c = 15m/min$ $a_p = 0.6$ $N = 100tr/min$	outil à dresser	
03	Charioter la surface 2 a la cote 120 ± 0.5		$V_c = 15m/min$ $a_p = 0.6$ $N = 100tr/min$	OUTIL A CHARIOTER	
IT: Tournage		DES.ARTICLE: Moule pour joint spie REF.ARTICLE: SR		DATE: 28/04/2019 PREP: AIT KACI ARAB	EDIT IT: 00 FOLIO: 1/4 OP N°: 30

Fig.V.31 : Première étape d'usinage de la matrice supérieure en 2D.

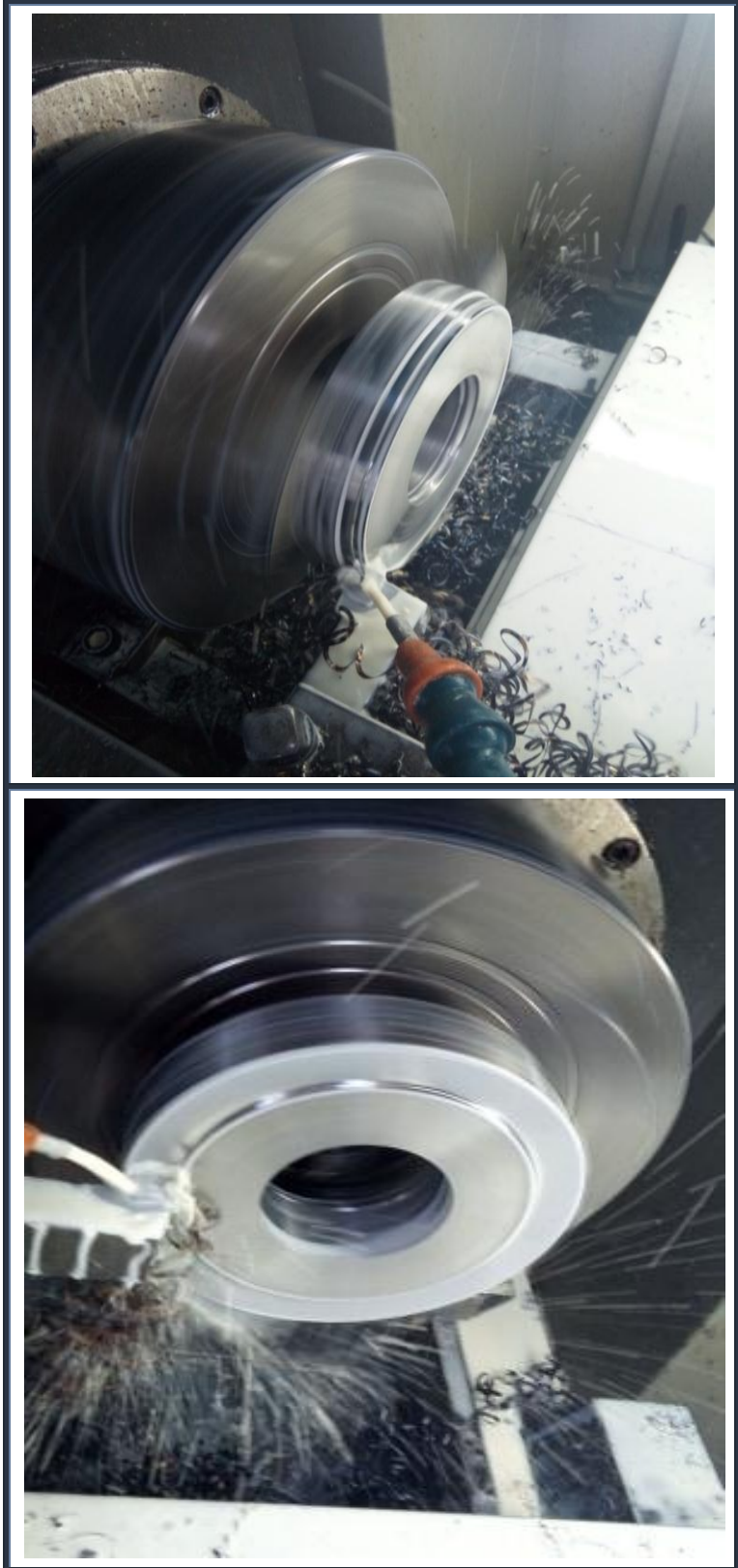


Fig.V.32 : Chariotage et dressage de la matrice supérieure.

					Rep 00-00-02
		Ministère de la Défense Nationale Etablissement de Rénovation des Matériels Aéronautiques			
		FEUILLE DETAIL OPERATION			
		N° FS:.....			Dar-El-Beida, Le :
N° S/OP	DESIGNATION SOUS OPERATION	MACHINE UTILISEE	CONDITION DE COUPE	OUTIL/INST MESURE	DESSIN DE FABRICATION
01	Charioter la surface 1 au diamètre $\varnothing 110 \pm 0.5$ et a la cote 5 ± 0.5		$V_c = 15m/min$ $a = 0.5$ $f = 100t/min$	OUTIL A CHARIOTER	
02	Percer la surface 02 au diamètre $\varnothing 40 \pm 0.5$	T.S.A	$V_c = 20m/min$ $a = 0.5$	foret	
IT: Tournage	DES.ARTICLE: Moule pour joint spie REF.ARTICLE: SR		DATE: 28/04/2019	EDIT IT: 00	FOLIO: 2/4 OP N°: 30

Fig. V.33 : Deuxième étape d'usinage de la matrice supérieure en 2D.

N° FS:.....		Dar-El-Beida, Le :		Rep 00-00-02	
Ministère de la Défense Nationale Etablissement de Rénovation des Matériels Aéronautiques					
FEUILLE DETAIL OPERATION					
N° S/OP	DESIGNATION SOUS OPERATION	MACHINE UTILISEE	CONDITION DE COUPE	OUTIL/INST MESURE	DESSIN DE FABRICATION
01	-Aléser le diamètre $\varnothing 80.1 \pm 0.05$ a la cote 12 et au rayon R1	T.S.A	$V_c = 15m/min$ $a_p = 0.6$ $N = 100tr/min$	OUTIL A ALESER	
02	-Aléser le diamètre $\varnothing 65H7$				
IT: Tournage	DES.ARTICLE: Moule pour joint spie REF.ARTICLE: SR	DATE: 28/04/2019	EDIT IT: 00	FOLIO: 3/4	
		PREP: AIT KACI ARAB		OP N°: 30	

Fig.V.34 : Troisième étape d'usinage de la matrice supérieure en 2D.

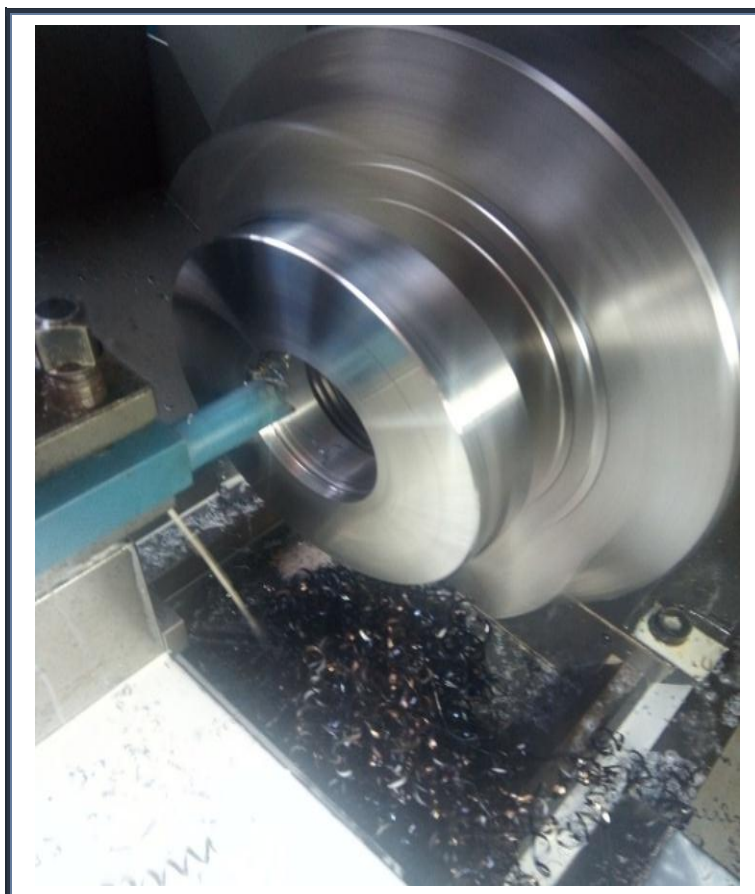


Fig.V.35 : Alésage de la matrice supérieure.

Ministère de la Défense Nationale Etablissement de Rénovation des Matériels Aéronautiques					Rep 00-00-02
FEUILLE DETAIL OPERATION					
N° FS:.....		Dar-El-Beida, Le :			
N° S/OP	DESIGNATION SOUS OPERATION	MACHINE UTILISEE	CONDITION DE COUPE	OUTIL/INST MESURE	DESSIN DE FABRICATION
01	usiner les chanfrein comme indique sur schéma	T.S.A	$V_c = 15m/min$ $a_p = 0.5$ $f = 100m/min$	outil a 45°	
IT: Tournage	DES.ARTICLE: Moule pour joint spie		DATE: 28/04/2019	EDIT IT: 00	FOLIO: 4/4
	REF.ARTICLE: SR		PREP: AIT KACI ARAB		OP N°: 30

Fig.V.36 : Quatrième étape d'usinage de la matrice supérieure en 2D.


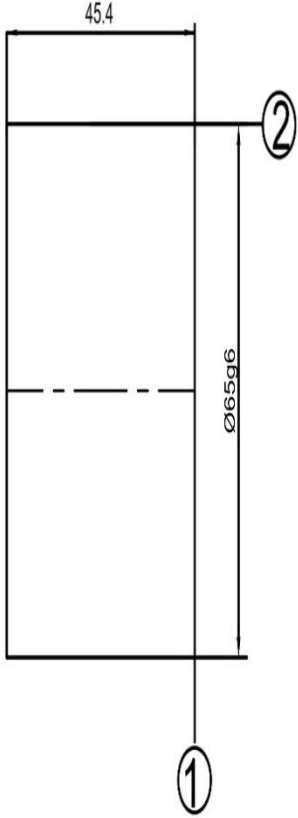
 <p style="text-align: center;">Ministère de la Défense Nationale Etablissement de Rénovation des Matériels Aéronautiques</p> <h2 style="text-align: center;">FEUILLE DETAIL OPERATION</h2>					Rep 00-00-03
N° FS:.....		Dar-El-Beida, Le :			
N° S/OP	DESIGNATION SOUS OPERATION	MACHINE UTILISEE	CONDITION DE COUPE	OUTIL/INST MESURE	DESSIN DE FABRICATION
01	-Dresser surface 1	T.S.A	$V_c = 15m/min$ $a = 0.5$ $f = 100\mu/m$	outil à dresser	
02	-Tourner la pièce et dresser la surface opposer a la cote 45.4±0.05		$V_c = 15m/min$ $a = 0.5$ $f = 100\mu/m$	outil à dresser	
03	Charioter la surface 2 au diamètre 65g6		$V_c = 15m/min$ $a = 0.5$ $f = 100\mu/m$	OUTIL A CHARIOTER	
IT: Tournage	DES.ARTICLE: Moule pour joint spie	DATE: 28/04/2019	EDIT IT: 00	FOLIO: 1/4	
	REF.ARTICLE: SR	PREP: AIT KACI ARAB	OP N°: 30		

Fig.V.37 : Première étape d'usinage du noyau en 2D.



Fig.V.38 : Chariotage et dressage du noyau.

Ministère de la Défense Nationale Etablissement de Rénovation des Matériels Aéronautiques					Rep 00-00-03
<h2>FEUILLE DETAIL OPERATION</h2>					
N° FS:.....		Dar-El-Beida, Le :			
N° S/OP	DESIGNATION SOUS OPERATION	MACHINE UTILISEE	CONDITION DE COUPE	OUTIL/INST MESURE	DESSIN DE FABRICATION
01	Charioter la surface 1 au diamètre $\phi 62.99g6$ et a la cote $21.8mm \pm 0.05$	T.S.A	$V_c = 16m/min$ $a = 0.6$ $N = 100tr/mm$	OUTIL A CHAROTER	
02	Réaliser le chanfrein de $2 \times 45^\circ$		$V_c = 16m/min$ $a = 0.6$ $N = 100tr/mm$	outil a 45°	
IT: Tournage	DES.ARTICLE: Moule pour joint spie	DATE: 28/04/2019	EDIT IT: 00	FOLIO: 2/4	
	REF.ARTICLE: SR	PREP: AIT KACI ARAB	OP N°: 30		

Fig.V.39 : Deuxième étape d'usinage du noyau en 2D.

Ministère de la Défense Nationale Etablissement de Rénovation des Matériels Aéronautiques					Rep 00-00-03
<h2>FEUILLE DETAIL OPERATION</h2>					
N° FS:.....		Dar-El-Beida, Le :			
N° S/OP	DESIGNATION SOUS OPERATION	MACHINE UTILISEE	CONDITION DE COUPE	OUTIL/INST MESURE	DESSIN DE FABRICATION
01	Réaliser la forme indiquer sur schéma en respectant les cotes	T.S.A	$V_c = 15m/min$ $a = 0.5$ $N = 100tr/min$	OUTIL de forme	
IT: Tournage	DES.ARTICLE: Moule pour joint spie		DATE: 28/04/2019	EDIT IT: 00	FOLIO: 3/4
	REF.ARTICLE: SR		PREP: AIT KACI ARAB		OP N°: 30

Fig.V.40 : Troisième étape d'usinage du noyau en 2D.

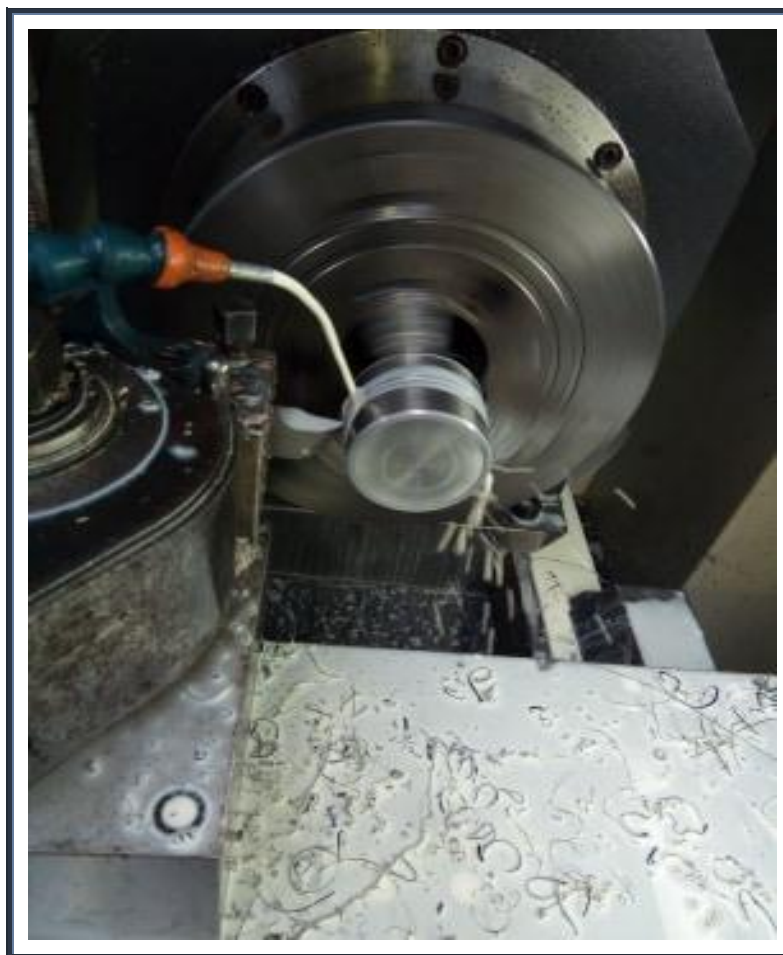


Fig.V.41 :L'usinage de la forme indiquée sur le dessin 2D précédent.


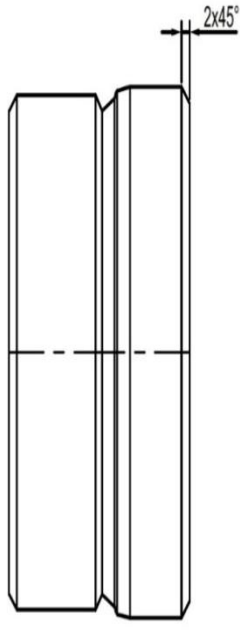
 <p style="text-align: center;">Ministère de la Défense Nationale Etablissement de Rénovation des Matériels Aéronautiques</p> <h2 style="text-align: center;">FEUILLE DETAIL OPERATION</h2>					<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Rep 00-00-03</div>
N° FS:.....		Dar-El-Beida, Le :			
N° S/OP	DESIGNATION SOUS OPERATION	MACHINE UTILISEE	CONDITION DE COUPE	OUTIL/INST MESURE	DESSIN DE FABRICATION
01	usiner les chanfrein comme indique sur schéma	T.S.A	$V_c = 15m/min$ $a_p = 0.5$ $N = 100tr/min$	outil a 45	
IT: Tournage		DES.ARTICLE: Moule pour joint spie REF.ARTICLE: SR		DATE: 28/04/2019 PREP: AIT KACI ARAB	EDIT IT: 00 FOLIO: 4/4 OP N°: 30

Fig.V.42 : Quatrième étape d'usinage du noyau en 2D.



Fig.V.43 : Réalisation du chanfrein du noyau.


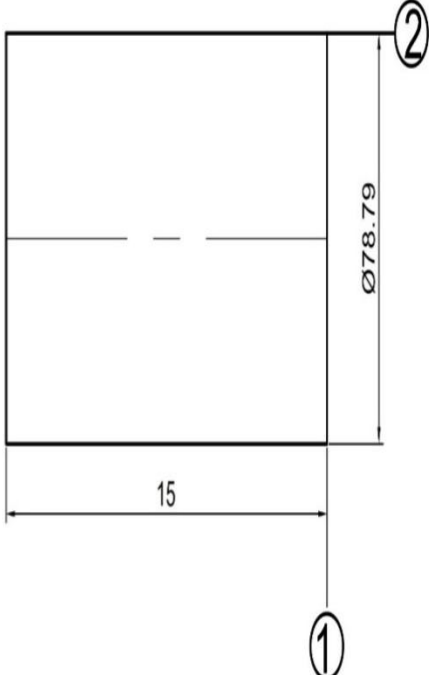
 <p style="text-align: center;">Ministère de la Défense Nationale Etablissement de Rénovation des Matériels Aéronautiques</p> <h2 style="text-align: center;">FEUILLE DETAIL OPERATION</h2>					Rep 01-00-04
N° FS:.....		Dar-El-Beida, Le :			
N° S/OP	DESIGNATION SOUS OPERATION	MACHINE UTILISEE	CONDITION DE COUPE	OUTIL/INST MESURE	DESSIN DE FABRICATION
01	-Dresser surface 1	T.S.A	$V_c = 15m/min$ $a_p = 0.5$ $f_z = 100\mu/mn$	outil à dresser	
02	Charioter la surface 2 au diamètre $\varnothing 78.79 \pm 0.1$		$V_c = 15m/min$ $a_p = 0.5$ $f_z = 100\mu/mn$	OUTIL A CHARIOTER	
IT: Tournage		DES.ARTICLE: Moule pour joint spie REF.ARTICLE: SR		DATE: 28/04/2019 PREP: AIT KACI ARAB	EDIT IT: 00 FOLIO: 1/4 OP N°: 30

Fig. V.44 : Première étape d'usinage de l'armature en 2D.



Fig.V.45 : Dressage de l'armature.


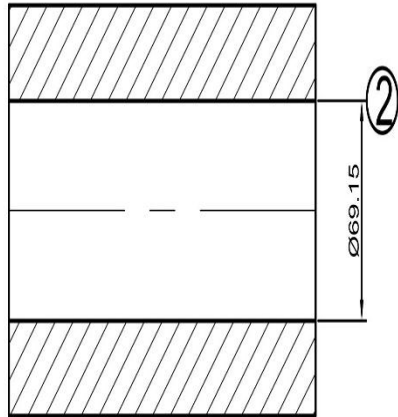
 <p>Ministère de la Défense Nationale Etablissement de Rénovation des Matériels Aéronautiques</p> <h2 style="text-align: center;">FEUILLE DETAIL OPERATION</h2>					Rep 01-00-04	
N° FS:.....		Dar-El-Beida, Le :				
N° S/OP	DESIGNATION SOUS OPERATION	MACHINE UTILISEE	CONDITION DE COUPE	OUTIL/INST MESURE	DESSIN DE FABRICATION	
01	-Perçer la surface 2 au diamètre $\varnothing 40$	T.S.A	$V_c = 20\text{m/min}$ $a = 0.5$	foret		
02	Aleser la surface 2 au diamètre $\varnothing 69.15$		$V_c = 15\text{m/min}$ $a = 0.5$ $N = 100\text{tr/min}$	OUTIL A ALESER		
IT: Tournage		DES.ARTICLE: Moule pour joint spie		DATE: 28/04/2019	EDIT IT: 00	FOLIO: 2/4
		REF.ARTICLE: SR		PREP: AIT KACI ARAB		OP N°: 30

Fig.V.46 : Deuxième étape d'usinage de l'armature en 2D.

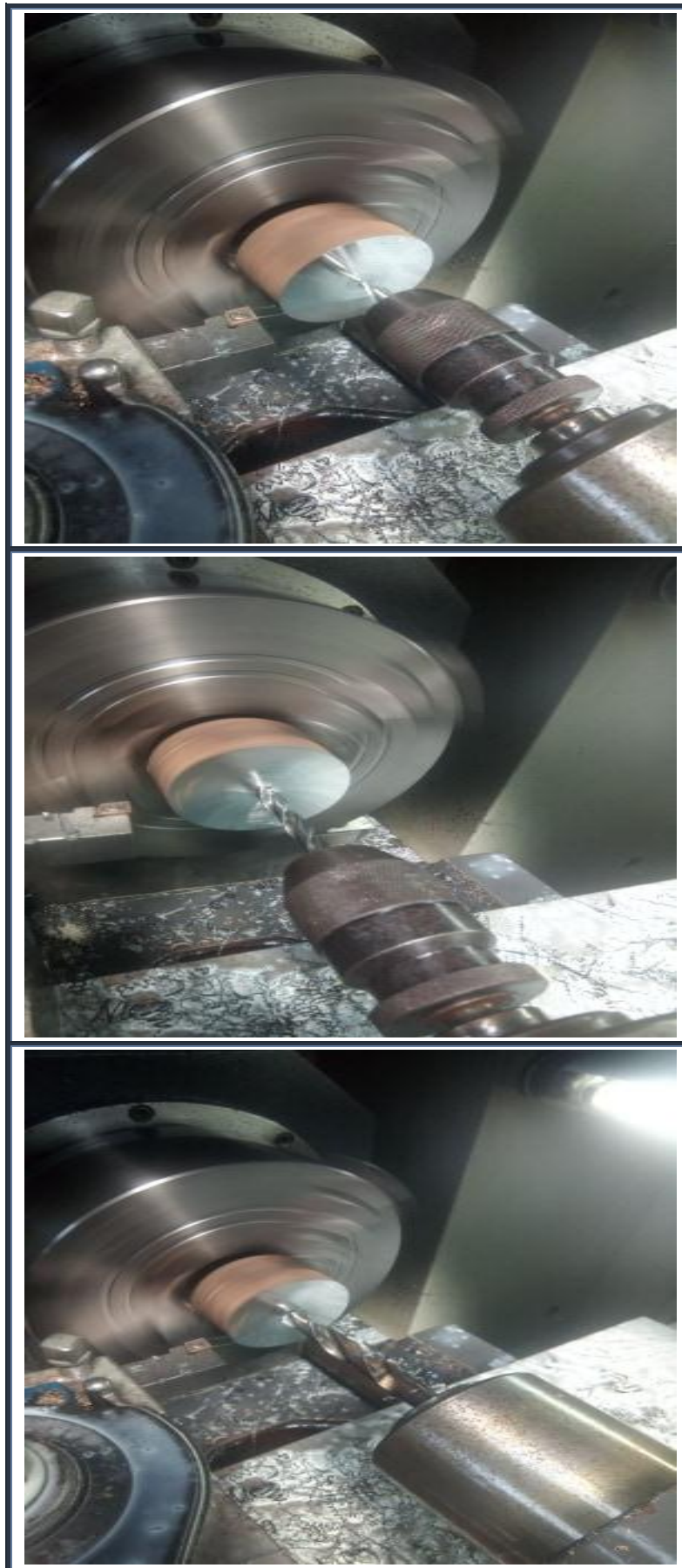


Fig.V.47 : Perçage de l'armature.

Ministère de la Défense Nationale Etablissement de Rénovation des Matériels Aéronautiques					Rep 01-00-04
<h2>FEUILLE DETAIL OPERATION</h2>					
N° FS:.....		Dar-El-Beida, Le :			
N° S/OP	DESIGNATION SOUS OPERATION	MACHINE UTILISEE	CONDITION DE COUPE	OUTIL/INST MESURE	DESSIN DE FABRICATION
01	-usiner la pièce comme indiquer sur le schéma si contre	T.S.A	V _c = 15m/min a = 0.5 N = 100tr/min	OUTIL de forme	
IT: Tournage	DES.ARTICLE: Moule pour joint spie		DATE: 28/04/2019	EDIT IT: 00	FOLIO: 3/4
	REF.ARTICLE: SR		PREP: AIT KACI ARAB		OP N°: 30

Fig.V.48 : Troisième étape d'usinage de l'armature en 2D.

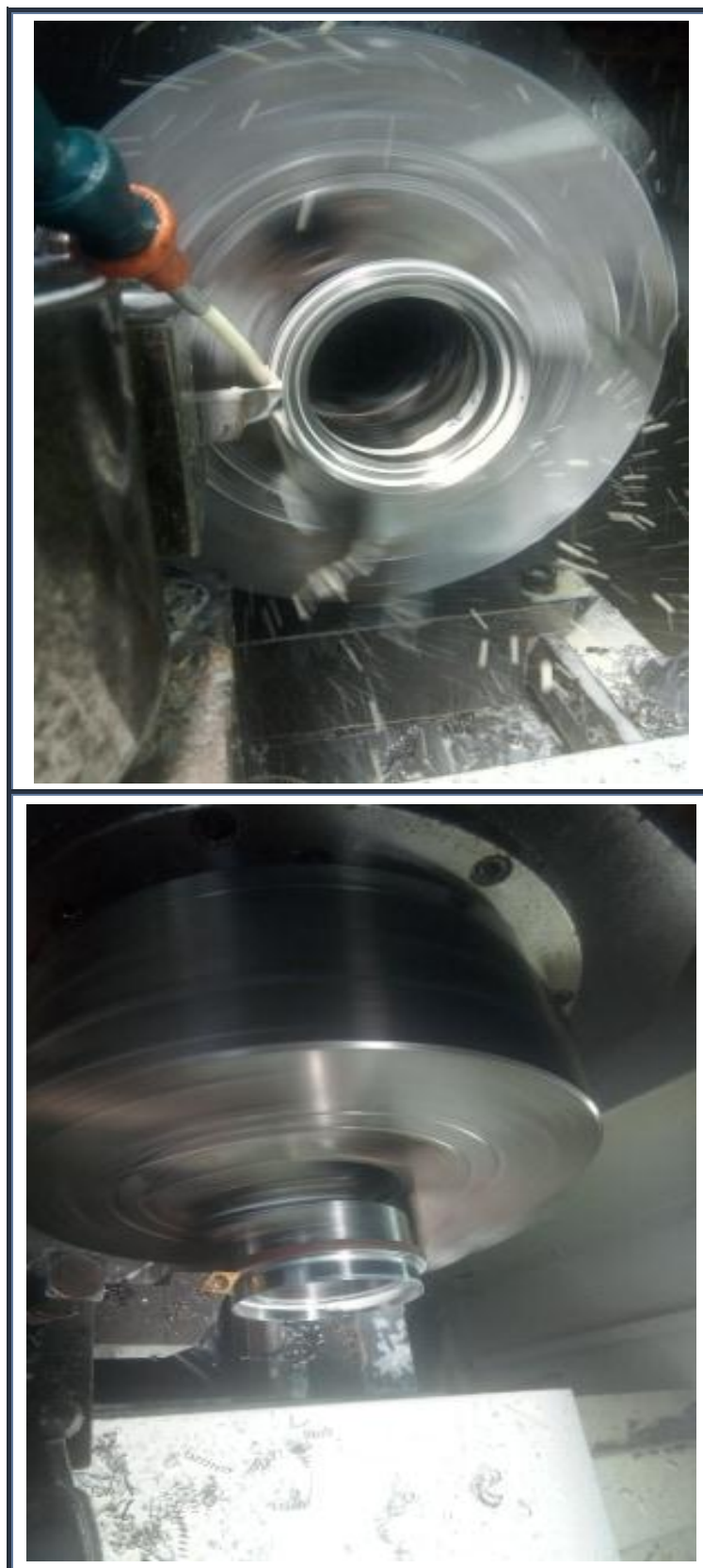


Fig.V.49 : Usinage de l'armature.



Fig.V.50 : Le moule obtenu pour le grand joint SPI de la fraiseuse.

V.3.9. Passage à la rectification du moule obtenu :

Après la fabrication du moule, on le fait passer au service de rectification afin d'avoir le même niveau de surface entre le noyau et la matrice supérieure car le noyau se décale lors du moulage par compression suite à la pression et la température de la gomme, c'est pour cette raison qu'on doit aléser le moule. C'est une anomalie que l'on a rencontrée au niveau de l'atelier (Fig. V.51).

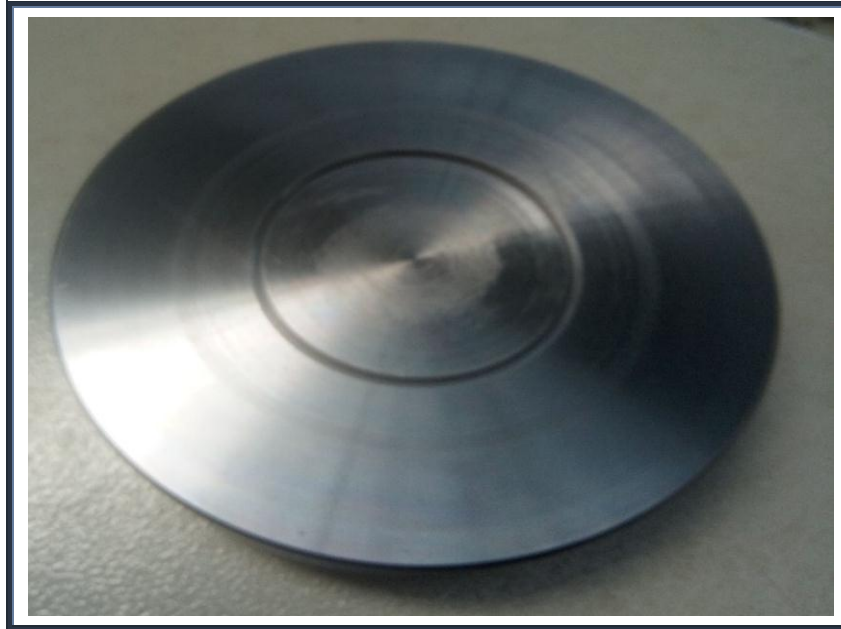


Fig.V.51 : Le moule rectifié.

Après avoir terminé la rectification du moule, on passe au service matières nouvelles pour le moulage par compression de notre caoutchouc vulcanisé afin qu'il prend la forme définitive de l'empreinte du moule.

V.3.10. Les différentes opérations de production du joint SPI :

✓ 1^{ère} opération :

Faire sortir la gomme brute dans le réfrigérateur 24heuresavant son utilisation et la mettre dans un milieu ambiant à 23°C, (Fig.V.52).



Fig.V.52 : La gomme brute.

Type de gomme utilisée :

- ✓ **Marque :** IRP 10-78

- ✓ **Milieus utilisés :**
 - Huiles (AMG-10, MK-8, MS-8P, MGE-10A)
 - Graisse (CIATIM-221)

- ✓ **Densité :** 1,37 kg/ m³

Elle doit être maintenue à la température 23°C durant 24 à 48heures avant son utilisation (Fig.V.53).



Fig.V.53 : Maintenir la gomme dans les conditions citées au-dessus.

✓ **2^{ème} opération :**

Mettre la gomme dans le malaxeur afin d'avoir des plaques planes de petite épaisseur, voir la figure V.54.

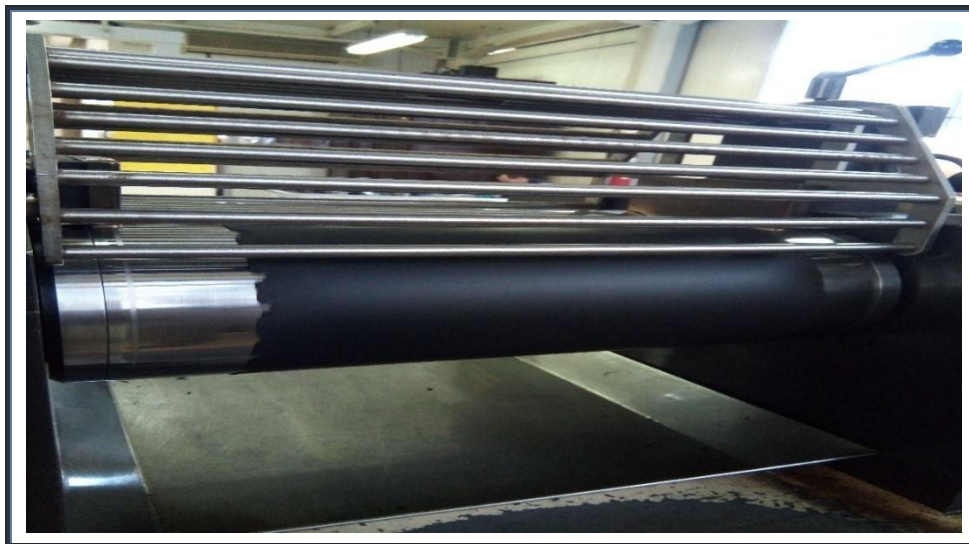


Fig.V.54 : Mettre la gomme dans le malaxeur.

- ✓ **Description de la machine « Malaxeur » :** Machine possédant deux cylindres, souvent chauffés ou refroidis, tournant en sens inverse, habituellement à des vitesses différentes, leur écartement étant ajustable et permettant le réchauffage, la mastication, le mélangeage ou la mise en feuille. Voir la figure V.55.



Fig.V.55 : La machine « Malaxeur ».

Après l'obtention des plaques planes de gomme, on les coupe afin d'avoir des cordons, des feuilles pour couvrir l'armature, on peut les mettre aussi dans l'empreinte du moule, (Fig. V.56).

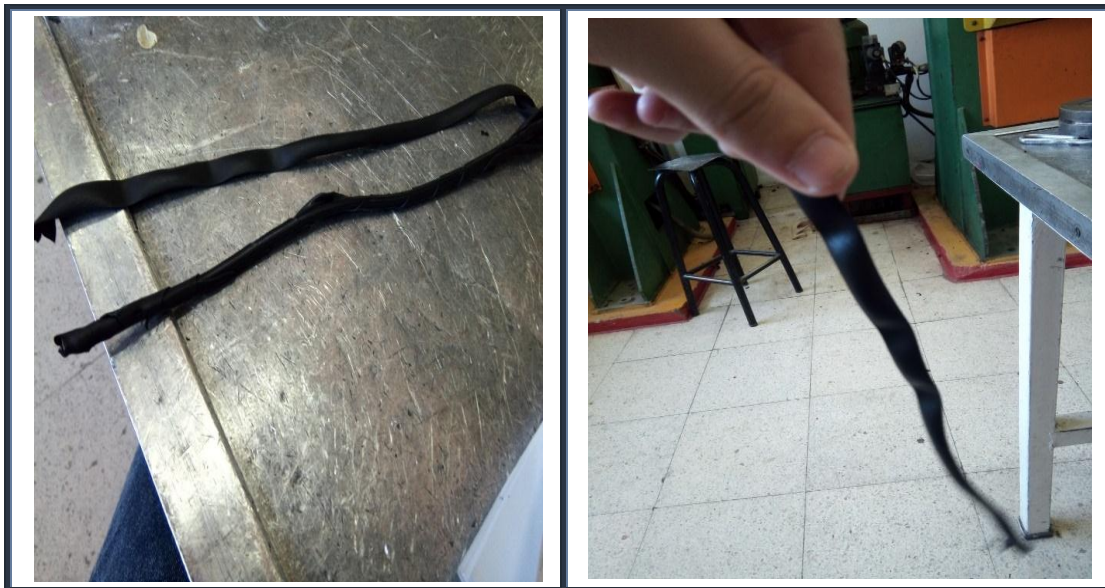


Fig. V.56 : Les plaques planes de gomme obtenues.

✓ **3^{ème} opération « Le procédé de sablage » :**

Le sablage est une technique industrielle de nettoyage des grandes surfaces en utilisant un abrasif projeté à grande vitesse, à l'aide d'air comprimé au travers d'une buse, sur le matériau à décaper. Quand l'abrasif est constitué de billes, on parle aussi ou plutôt de grenailage.

Le sablage est utilisé dans de nombreuses industries ; c'est également une technique de ravalement de façade. La figure V.57 montre la machine sableuse.



Fig.V.57 : Machine sableuse.

On procède au sablage de notre armature afin d'avoir un bon état de surface de la pièce prête à assurer le collage de la gomme sur cette dernière en utilisant une colle liquide. (Fig. V.58)

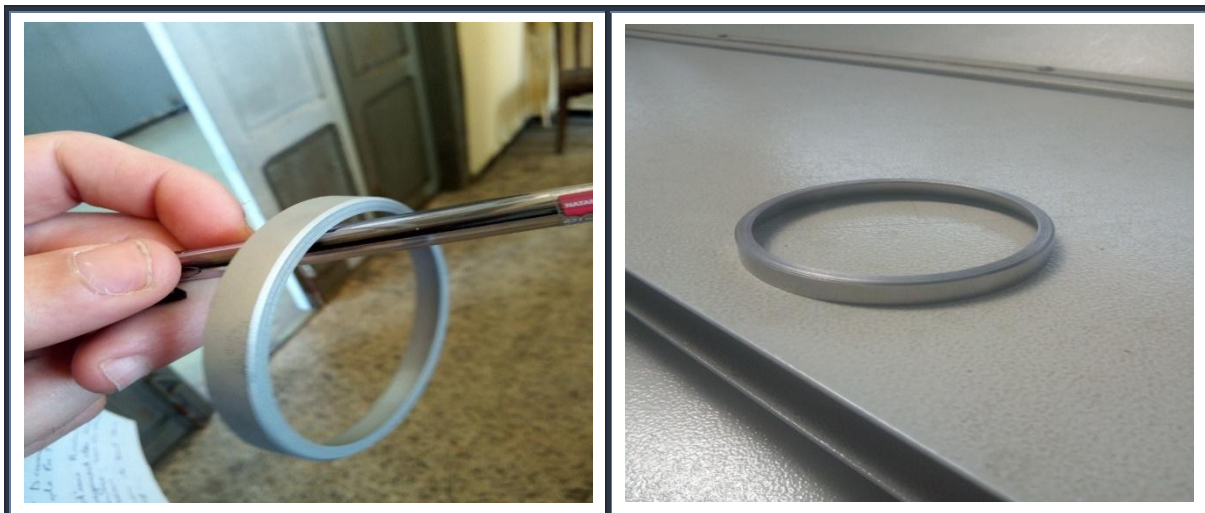


Fig.V.58 : Sablage de l'armature.

✓ **4^{ème} opération :**

Mettre une colle de marque « LEIKONAT » afin d'assurer un bon collage de la gomme sur l'armature de notre joint SPI. La figure V.59 montre la colle utilisée.

✓ **Application de la colle :** La colle doit intervenir dans l'atelier à une température de 23°C et à l'humidité relative de l'air à 65% au maximum.

- Appliquer une couche de colle avec un pinceau souple et laisser sécher la pièce pendant 35minutes. Voir la figure V.60
- Mettre la pièce dans un four pendant 30minutes à une température de 143°C.
- Après refroidissement, appliquer une deuxième couche de colle et laisser sécher la pièce pendant 35minutes.
- Vulcaniser la pièce.

✓ **Remarque :**

- Dans l'attente de la vulcanisation, les pièces sur lesquelles la colle est appliquée sont à stocker dans la cellophane en vue de les protéger contre la poussière et l'humidité.
- La vulcanisation des pièces peut être faite après l'application de la colle dans un délai n'excédant pas les 8heures.



Fig.V.59 : La colle « LEIKONAT ».



Fig. V.60 : Application de la colle « LEIKONAT » sur l'armature.

On commence la réalisation du joint SPI par l'enrobage de la gomme sur l'armature, comme indiqué dans la figure V.61, puis remplir l'empreinte du moule avec les cordons de la gomme après l'avoir réchauffée afin de faciliter le dépôt de cette dernière.



Fig.V.61 : Enrobage de la gomme sur l'armature.

Ensuite, on passe au remplissage de l'empreinte du moule par le bourrage de la gomme, voir la figure V.62.



Fig.V.62 : Remplissage de l'empreinte du moule par le bourrage de la gomme.

✓ **5^{ème} opération :**

Enfin, on passe à la vulcanisation du joint SPI avec le moulage par compression d'une presse hydraulique, voir la figure V.64. D'après le manuel des paramètres de gomme on obtient la température et la pression, voir la figure V.63, ainsi que le temps de vulcanisation du joint SPI avec le type de gomme utilisée « IRP 10-78 ».

Donc on règle notre machine « Presse hydraulique » aux paramètres suivant :

- ✓ **La pression :** à 60bar.
- ✓ **La durée :** 40 minutes.
- ✓ **La température :** à 151°C.



Fig.V.63 : Le baromètre mesurant la pression

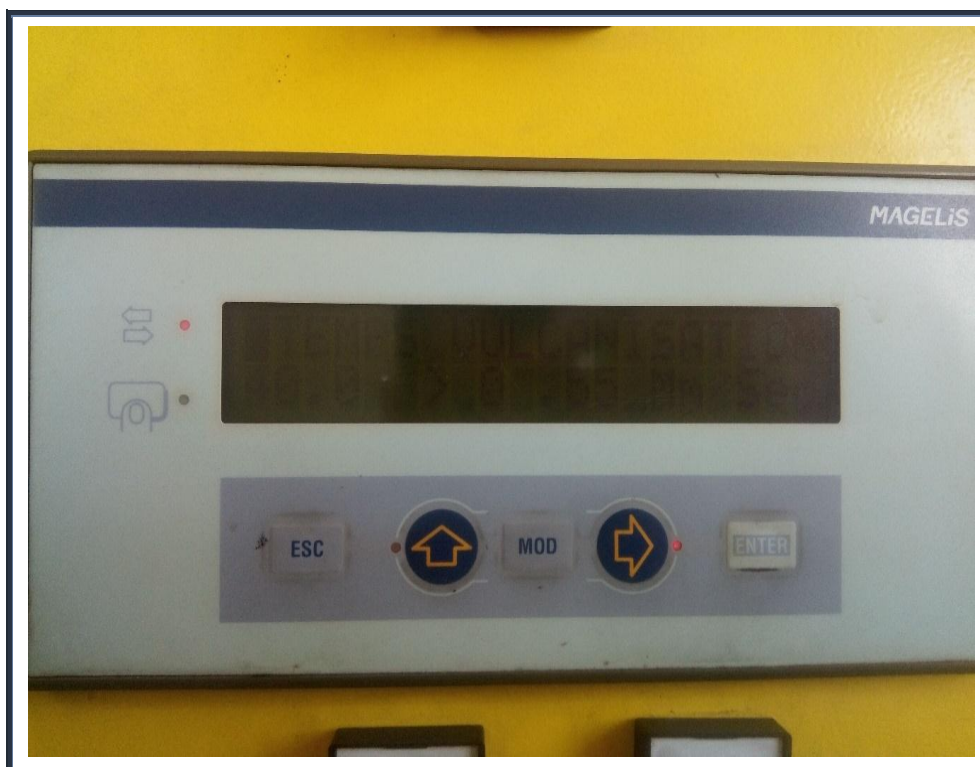


Fig.V.64 : La machine « Presse hydraulique ».

Compression de la matrice sur le moule comme indiqué dans la figure (Fig.V.65).

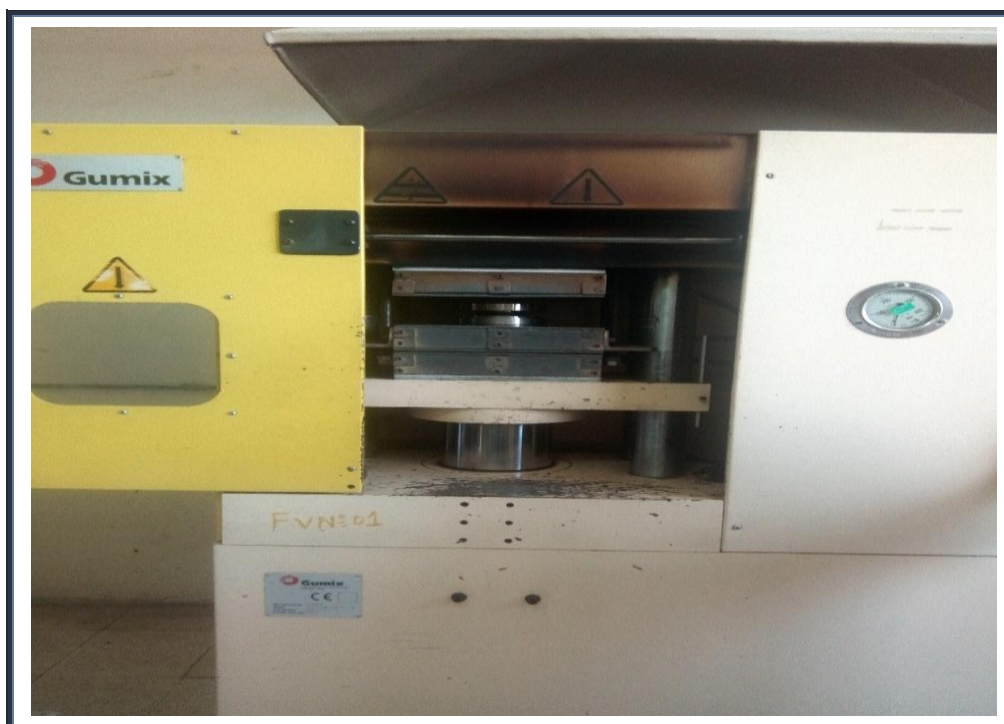


Fig. V.65 : Compression de la matrice sur le moule.

Après 40 minutes de vulcanisation on procède à l'extraction du moule pour lui subir un refroidissement rapide dans un bain d'eau pendant 10 minutes afin de faciliter le démoulage et l'extraction du joint SPI. Voir la figure V.66.



Fig.V.66 : L'extraction du moule.

Ensuite, on passe au démoulage comme l'indique la figure V.67.

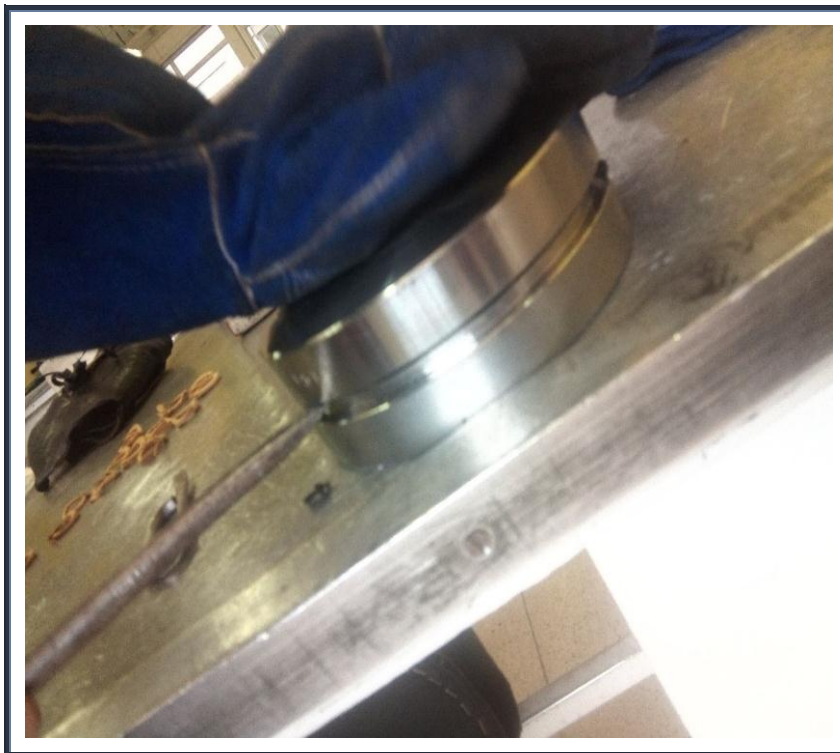


Fig.V.67 : Opération de démoulage.

Joint SPI obtenu par la vulcanisation avant ébavurage tel qu'il est montré dans la figure V.68.



Fig.V.68 : Joint SPI obtenu par la vulcanisation avant ébavurage.

Joint SPI réalisé après ébavurage avec son moule associé comme indiqué dans la figure V.69.



Fig.V.69 : Joint SPI réalisé après ébavurage avec son moule associé.

V.3.11. Contrôle du joint SPI :

Après avoir terminé la réalisation de notre joint SPI, on passe au service contrôle afin de vérifier les dimensions ainsi que les tolérances géométriques suivant le dessin de définition.

- ✓ Vérification du joint SPI d'abord avec l'aspect visuel ainsi que le contrôle dimensionnel des cotes par rapport au dessin de définition en utilisant les instruments de mesure. Voir la figure V.70.
- ✓ Utilisation des machines électroniques de mesure comme le microscope, voir (Fig. V.71), et la machine de mesure tridimensionnelle sans contact « caméra optique », voir (Fig. V.72), afin de vérifier les tolérances géométriques.



Fig.V.70 : instruments de mesures



Fig.V.71 : Microscope électronique



Fig.V.72 : Machine de mesure tridimensionnelle.

Après avoir terminé la vérification et le contrôle du grand joint SPI, on refait les mêmes étapes et opérations pour la conception et la réalisation du petit joint SPI afin de procéder à l'essai et rendre la machine opérationnelle.

Faire tourner la machine pendant 8heures en cas d'anomalie.(Fig. V.73)



Fig. V.73 : Tournage de la machine pendant 8heures.

Afin de terminer notre travail, on doit faire passer les deux moules à joints SPI au traitement thermique après leur contrôle pour avoir un durcissement structural par trempe, revenu.

Pour augmenter leurs résistances mécaniques, ou le contraire, on effectue un recuit afin d'augmenter l'aptitude à la déformation plastique.

V.3.12. Le traitement thermique :

Cette instruction technologique s'applique sur toutes les pièces destinées au traitement thermique de trempe, revenu et recuit des aciers comme le « 42CD4 » utilisé dans notre cas, car ce type d'acier résiste au traitement technique selon le support technique du constructeur Russe de l'hélicoptère comme il doit subir un traitement thermique « 30-33 HRC ».

V.3.12.a. La trempe :

C'est un traitement thermique comportant un chauffage jusqu'à la température de transformation austénitique suivi d'un maintien à cette température puis un refroidissement rapide (eau, huile) provoquant le durcissement de l'acier (Fig. V.74).



Fig.V.74 : Four et bain d'huile pour le traitement thermique.

✓ Cycle thermique du traitement de trempe :

- Chauffage des pièces jusqu'à la température de transformation de l'acier « $A_3+50^\circ\text{C}$ » phase austénitique (γ) (voir diagramme d'équilibre fer-carbone).
- Maintien à cette température pour mettre en solution le plus grand nombre possible d'éléments durcissant à l'état austénitique (γ) de l'acier.
- Refroidissement rapide des pièces (trempe) avec formation d'un nouveau constituant dure qui est la « martensite ».

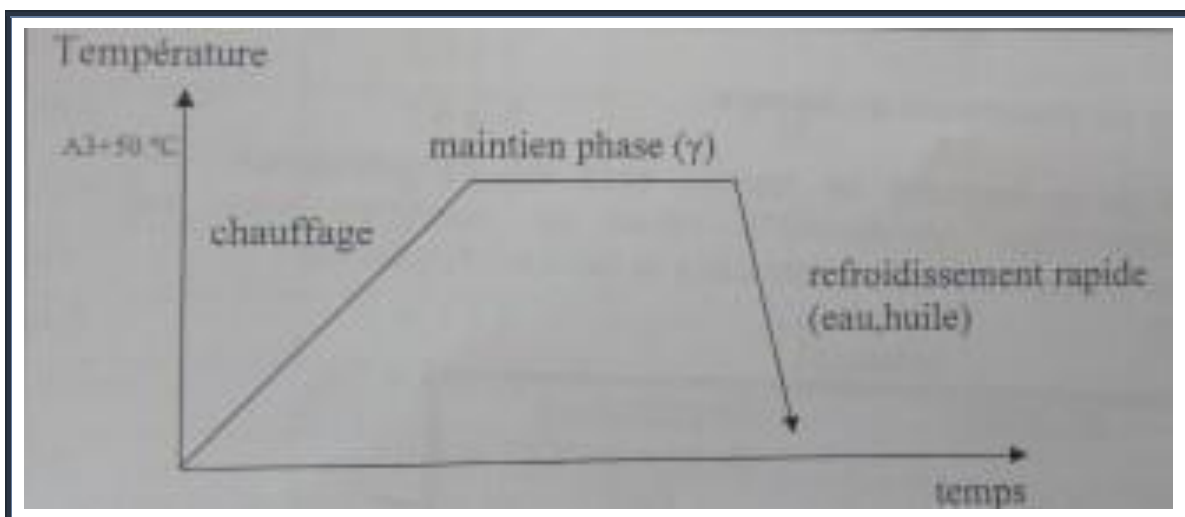


Fig.V.75 : Cycle thermique du traitement de trempe.

- ✓ **Evolution de la structure de l'acier au cours du refroidissement :** Les déformations inhérentes à la trempe peuvent être sérieusement atténuées par la composition des fluides de trempe et par la façon d'y plonger les pièces.
Dans notre cas on a utilisé la trempe à l'huile douce par excellence, c'est la plus couramment employée.
- ✓ **Température de traitement de la trempe :** Les températures de traitement de trempe sont les températures de transformation austénitique (γ) « A3+50°C » (mise en solution). Dans notre cas « l'acier 42CD4 » utilisé pour les moules sera trempé à la température 850°C.
- ✓ **Temps de maintien pour la trempe :** La durée de maintien des pièces en acier dans le four à partir du moment où la température de traitement est atteinte est calculée suivant la forme et l'épaisseur maximale de la pièce (millimètres). Voir le tableau V.3.
La durée de maintien pour les cylindres de diamètre supérieur à 30 millimètres est d'une minute supplémentaire pour 1 millimètre supplémentaire.
La durée de maintien pour les tôles d'épaisseur supérieure à 20 millimètres est de 1,5 minute supplémentaire pour 1 millimètre d'épaisseur supplémentaire.

Forme des pièces	Epaisseur en millimètres	Temps de maintien pour la trempe (minutes)	
		Four électrique	Four à bain de sel
Tôle	0.3 à 0.8	10	03
Tube	0.8 à 2.5		
Cylindre	1 à 4		
Tôle	3.1 à 5	13	04
Tube	2.6 à 4		
Cylindre	4.5 à 8		
Tôle	5.1 à 10	15	06
Tube	4.1 à 6		
Cylindre	8.5 à 12		
Tôle	10.1 à 15	20	08
Tube	6.1 à 10		
Cylindre	13 à 20		
Tôle	15.1 à 20	30	12
Tube	10.1 à 15		
Cylindre	20.1 à 30		

Tableau V.3 : Tableau représentant le temps de maintien pour la trempe des pièces citées.

- ✓ **Refroidissement** : Les pièces doivent être maintenues dans l'huile de trempe le temps nécessaire jusqu'au refroidissement complet, et maintenir l'agitation du bain d'huile pendant la durée de refroidissement. Voir la figure V.76.

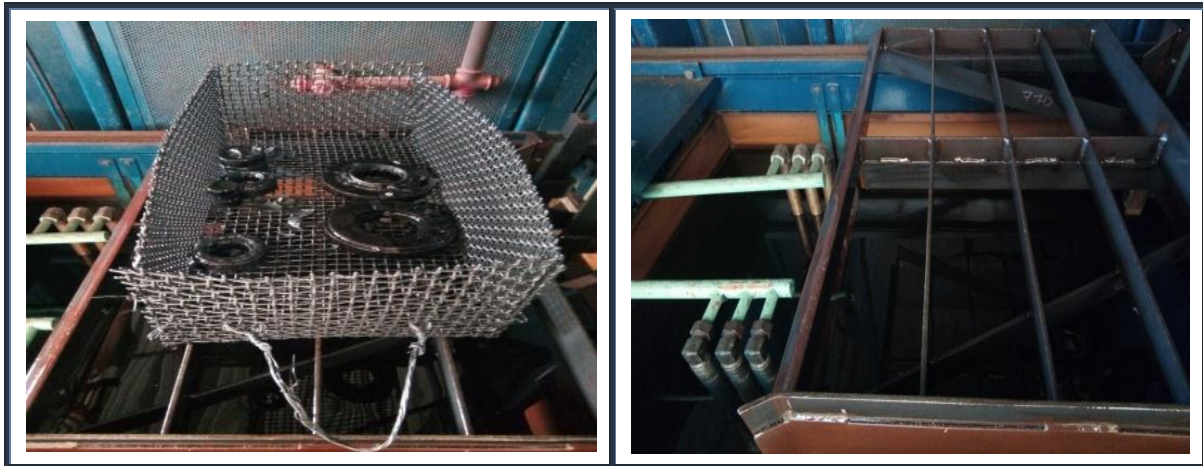


Fig.V.76 : Refroidissement des pièces.

- ✓ **Contrôle de dureté après la trempe** : Les pièces après traitement thermique de trempe doivent subir un contrôle de dureté « ROCKWELL HRC 150 » pour les grandes pièces et « VICKERS 30 » pour les petites pièces, voir la figure V.77. La dureté obtenue après la trempe des pièces doit être nécessairement supérieure à 50 HRC.



Fig.V.77 : Machine à mesure de dureté.

V.3.12.b. Le revenu :

C'est un traitement thermique à effectuer après la trempe afin de diminuer la dureté et la ramener à un état conforme exigé par la gamme de fabrication. Les paramètres importants pour le revenu sont la température et le temps de maintien.

- ✓ **Température de revenu :** est un paramètre important dans la détermination des caractéristiques finales des pièces après la trempe, de manière générale plus en augmente la température de revenu plus la dureté diminue. Selon la dureté exigée pour chaque type d'acier on détermine la température de revenu.
- ✓ **Temps de maintien de revenu :** La durée de maintien du traitement de revenu dépend de l'épaisseur maximale de la pièce (mm) et de la température de traitement conformément au tableau V.4ci-dessous :

Epaisseur (millimètres)	Temps de maintien en minutes		
	T < 300°C	300°C < T < 400°C	T > 400°C
<5	120 à 135	35 à 40	25 à 30
5.1 à 10	120 à 135	35 à 40	25 à 30
10.1 à 15	120 à 135	40 à 50	30 à 40
15.1 à 20	135 à 150	40 à 50	30 à 40
20.1 à 25	135 à 150	50 à 60	40 à 50
25.1 à 30	135 à 150	50 à 60	40 à 50
30.1 à 35	150 à 165	60 à 70	50 à 60
35.1 à 40	150 à 165	60 à 70	50 à 60
40.1 à 45	150 à 165	70 à 80	60 à 70
45.1 à 50	165 à 180	70 à 80	60 à 70
50.1 à 55	165 à 180	80 à 90	70 à 80
55.1 à 60	165 à 180	80 à 90	70 à 80

Tableau V.4 : Temps de maintien en fonction de la température et de l'épaisseur.

- ✓ **Contrôle après revenu :** Les pièces après traitement thermique de revenu doivent subir un contrôle de la dureté « ROCKWELL HRC 150 » pour les grandes pièces ou « VICKERS 30 » pour les petites pièces.
La dureté obtenue après revenu des pièces doit être nécessairement conforme à la fiche technique exigée par la gamme de fabrication.

V.3.12.c. Le recuit :

Le recuit d'un acier est un traitement thermique comportant un chauffage jusqu'à la température de transformation austénitique phase (γ) suivi d'un maintien à cette température puis un refroidissement très lent à l'intérieur du four porte fermée provoquant la diminution de la dureté et de la résistance.

✓ **Cycle thermique du traitement de recuit :**

- Chauffage jusqu'à la température de transformation de « l'acier $A3+50^{\circ}C$ » phase austénitique (γ) (voir le diagramme d'équilibre fer-carbone).
- Maintien à cette température à l'état austénitique (γ) de l'acier.
- Refroidissement très lent dans le four porte fermée jusqu'au retour à l'état d'équilibre de tous les constituants de l'acier.

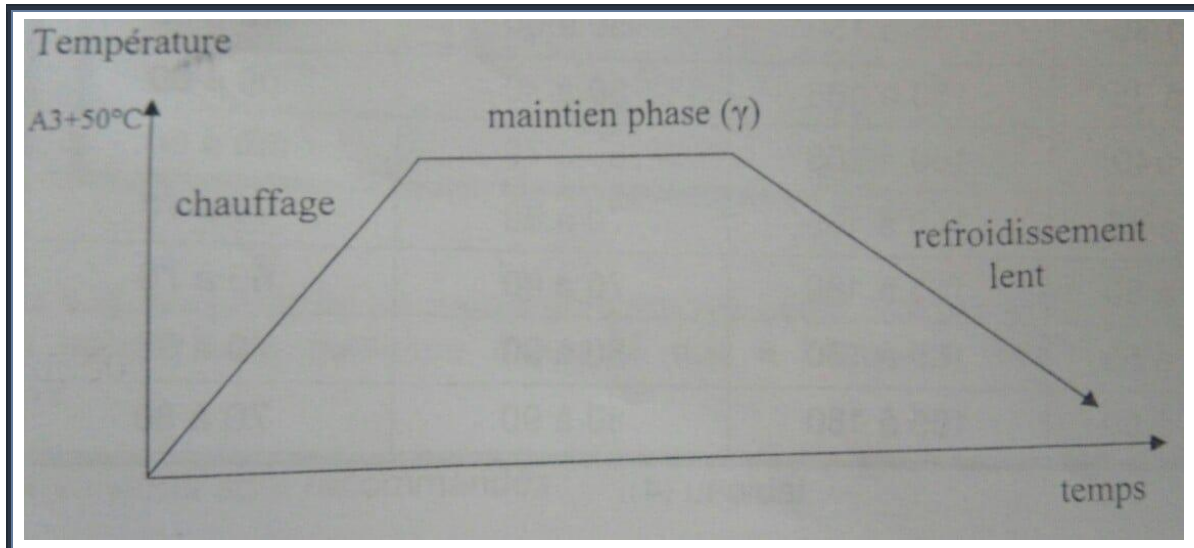


Fig. V.78 : Cycle thermique du traitement de recuit.

- ✓ **Température de recuit :** Les températures de traitement de recuit sont les températures de transformation austénitique pour les différentes nuances d'aciers, concernant l'acier utilisé la température sera à $850^{\circ}C$
- ✓ **Temps de maintien de recuit :** La durée de maintien des pièces en acier dans le four à partir du moment où la température de traitement est atteinte, elle est calculée suivant la forme et l'épaisseur maximale de la pièce (millimètres).
 - La durée de maintien pour les cylindres de diamètre supérieur à 30mm est de 1 minute supplémentaire pour 1mm supplémentaire.
 - La durée de maintien pour les tôles d'épaisseurs supérieur à 20mm est de 1.5minute supplémentaire pour 1mm d'épaisseur supplémentaire.

V.4. Conclusion :

Une machine de production des pièces mécaniques nécessite un entretien régulier pour éviter le maximum de pannes inattendues lors d'une production des pièces en séries.

Dans ce chapitre nous avons résolu un problème rencontré dans l'atelier de fabrication de l'entreprise au niveau d'une fraiseuse conventionnelle, qui date des années 80 et qui ne possède pas de support technique de son constructeur, suite à la détérioration des deux joints SPI. Nous avons pu déterminer les dimensions de ces derniers sur les organes de la machine où se trouve les deux joints SPI et, en s'épaulant sur le support technique du joint SPI d'hélicoptère, nous avons déterminé les tolérances et la matière utilisée pour le moule ainsi que le traitement thermique de l'acier.

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine de la mécanique ; qui est un domaine très vaste, et de comprendre le rôle et l'importance des différentes pièces et organes des machines dans l'industrie à l'instar des joints d'étanchéité et de constater aussi l'importance des matières plastiques qui occupent une place aussi importante dans les différents secteurs industriels. En effet, les polymères sont entrés dans le monde de l'industrie par la grande porte et ont fait leurs preuves dans les disciplines les plus nobles : Aéronautique, Médical, Automobile, Electronique, Ménage...etc.

En outre, notre stage effectué au sein de l'E.R.M Aéro, dans le cadre pédagogique du projet de fin d'études, nous a permis de mettre en œuvre nos acquis théoriques et de voir de près les défis ainsi que les difficultés à surmonter pour un ingénieur en mécanique au milieu industriel.

Dans ce travail, nous avons intégré l'outil informatique pour la conception des joints en utilisant AutoCAD pour la conception et la mise en forme en 2D et SolidWorks pour déterminer la forme exacte des pièces en 3D dans le but de bien comprendre les dessins de conception ainsi que la simulation d'usinage avec le programme de la machine numérique « Code G ».

Dans notre travail nous avons réalisé trois joints SPI : Le premier est celui du rotor anti-couple d'hélicoptère, dans le cadre de sa révision générale suite à l'obligation d'un changement systématique des pièces en élastomères en s'épaulant sur le support technique du constructeur de l'appareil. Les deux autres joints SPI sont ceux de la fraiseuse qui sont réalisés à partir des dimensions prises directement sur la machine et en suivant la méthode de fabrication du joint du rotor anti-couple et nous avons remonté ce défis en équipant la fraiseuse avec des joints SPI que nous avons nous mêmes fabriqués.

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] Professional Media Group Nederland BV « PGM », éditeur responsable « Fernand Vanrie ». (Page consultée le 25.05.2019), T.I.M Informations professionnelles sur l'entretien technique, [En ligne]. Adresse : <http://tim.pmg.eu>
- [2] Thèse pour l'obtention du Grade de DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE POITIERS, présentée par « Mustapha CHIAD ». (Page consultée le 08.07.2019), « Etude expérimentale et numérique du comportement EHD des joints à hélice en PTFE », [Document PDF]. Adresse : <http://nuxeo.edel.univ-poitiers.fr>
- [3] MAMMA Idir, OUZZOUZ Kaci, OUDAHMANE Oussama. Conception et Fabrication d'un moule à injection plastique d'une grille d'aération Ø100, Mémoire de Fin D'études En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Mécanique option « Fabrication Mécanique et productique », Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou Département de Génie Mécanique, Tizi-Ouzou, 161p, 2014.
- [4] Wikipédia. (Pages consultées le 21.07.2019), Moule (outil), [En ligne]. Adresse : <https://fr.wikipedia.org>
- [5] ConcepTEC.net. (Page consultée le 09.07.2019), [En ligne]. Adresse : <https://conceptec.net>
- [6] SAIDI. B, HAMMAMI.T, et LOUATI. H. (Page consultée le 09.07.2019), « Procédés de mise en forme des matières plastiques », [Document PDF]. Adresse : <https://www.technologuepro.com>
- [7] Ecole Parisienne de pilotage d'hélicoptères « Helixaero ». (Page consultée le 09.06.2019), Le plaisir du pilotage hélicoptère, [En ligne]. Adresse : <https://www.helixaero.com>

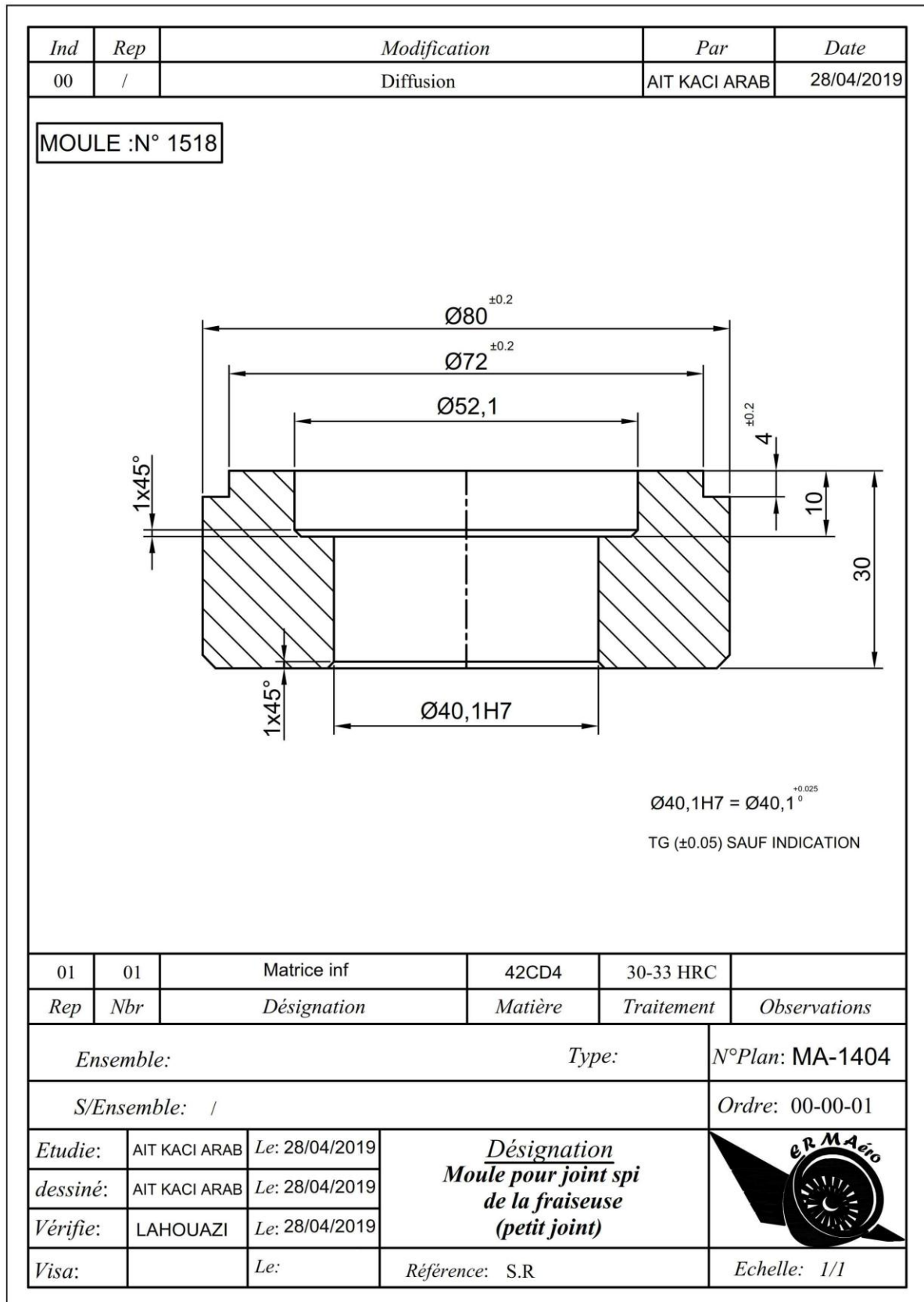
- [8] Sputnik France. (Page consultée le 25.03.2019), [En ligne]. Adresse : <https://fr.sputniknews.com>
- [9] AviationsMilitaires.net. (Page consultée le 25.03.2019), [En ligne]. Adresse : <https://www.aviationsmilitaires.net>
- [10] Aero club Aubigny. (Page consultée le 20.04.2019), Actualités et formations hélicoptères et avions, [En ligne]. Adresse : <https://aeroclubaubigny.fr>
- [11] TPE sur le système NOTAR. (Page consultée le 20.04.2019), Hélicoptère NOTAR et Sous-marin avec NOTAR, [En ligne]. Adresse : <http://tpe-systeme-notar.e-monsite.com>
- [12] Chellappa Chandrasekaran. (Page consultée le 08.07.2019), « Rubber Seals for Fluid and Hydraulic Systems », [Document PDF]. Adresse : <https://www.elsevier.com>
- [13] (Page consultée le 09.07.2019), Formation AutoCAD et Cours d'AutoCAD, [En ligne]. Adresse : <https://www.autocad-formation.com>
- [14] (Page consultée le 09.07.2019), « Introduction à SolidWorks », [Document PDF]. Adresse : <https://my.solidworks.com>
- [15] Direct Industry. (Page consultée le 09.07.2019), Le salon online de l'industrie, [En ligne]. Adresse : <http://www.directindustry.fr>
- [16] Hexagon. (Page consultée le 09.07.2019), [En ligne]. Adresse : <https://www.hexagonmi.com>
- [17] Gommages pour les pièces en élastomère (Caoutchouc) dans la technique aéronautique, Support technique ayant pour référence « Normes techniques du NT 38 0051166-98 (en remplacement NT 0051166-87) », AOOT « Institut de Recherche sur les Matériaux et Articles en Elastomère », 250p, 1998.

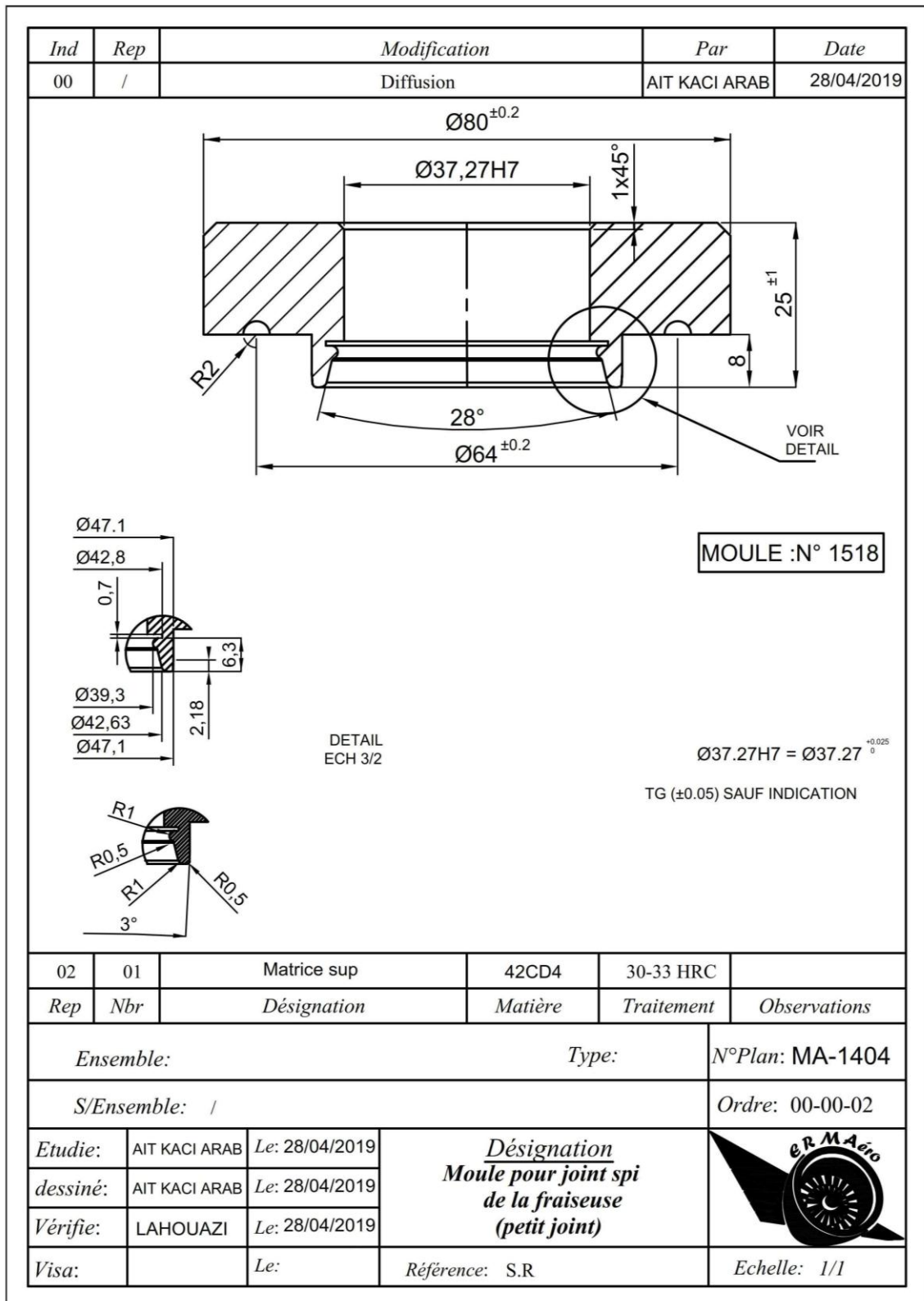
- [18] Application de la colle « LEIKONAT », Fiche technique ayant pour référence « Manuel du vulcanisateur N° 41/CDA du 1303.2005 », Etablissement de rénovation des matériels aéronautiques, 1p, 2005.
- [19] Daniel DUCHATEAU, Aimé LAURENT, Jean Paul PEYRE, Bernard RAFFAL, Daniel THOMAS. Guide technique sur les traitements thermiques, Centre Technique des Industries Mécaniques « CETIM », 200p, 1997.
- [20] FUTURA. (Pages consultées le 08.07.2019), [En ligne]. Adresse : <https://www.futura-sciences.com>
- [21] Elite Seals. (Pages consultées le 25.05.2019), Elite Seals Système d'étanchéité, [En ligne]. Adresse : <http://www.elite-seals.com>
- [22] Xylem. (Page consultée le 08.07.2019), « Guide d'utilisation des joints d'étanchéité », [Document PDF]. Adresse : <http://www.xylemwatersolutions.com>
- [23] Ooreka véhicule. (Page consultée le 25.05.2019), Entretenir et réparer sa voiture, [En ligne]. Adresse : <https://entretien-voiture.ooreka.fr>
- [24] DAEMAR INC. (Page consultée le 11.06.2019), DAEMAR INC – Des composants essentiels pour l'industrie, [En ligne]. Adresse : <https://daemar.com>
- [25] Jardin-Nicolas Hervé. (Page consultée le 25.05.2019), « Etanchéité. », [Document PDF]. Adresse : <http://herve.jardin-nicolas.pagesperso-orange.fr>
- [26] PME Algérie. (Page consultée le 06.06.2019), « Etude d'un Projet Industriel de Fabrication d'articles en Caoutchouc pour Automobiles », [Document PDF]. Adresse : <http://www.andi.dz>

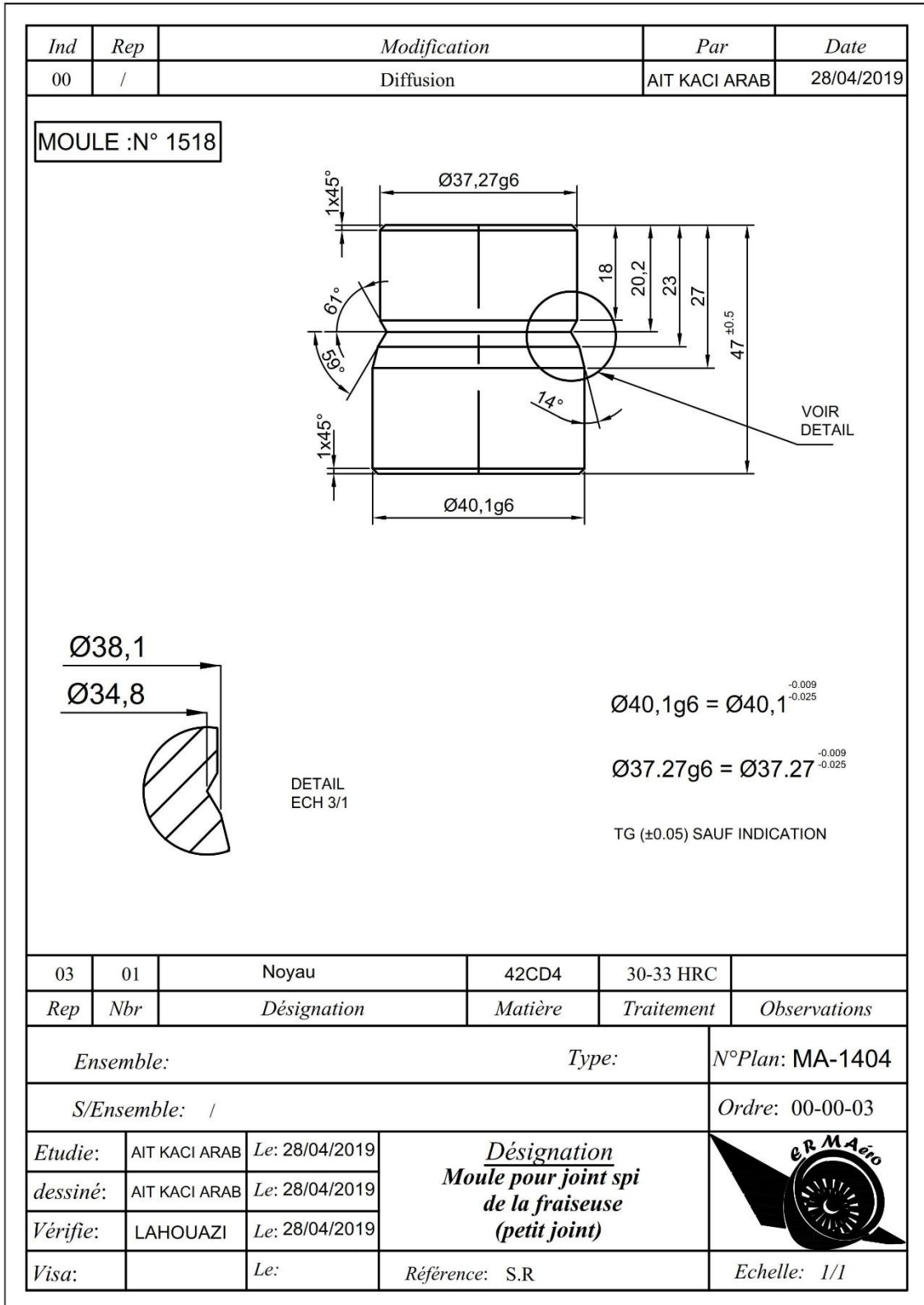
Annexes

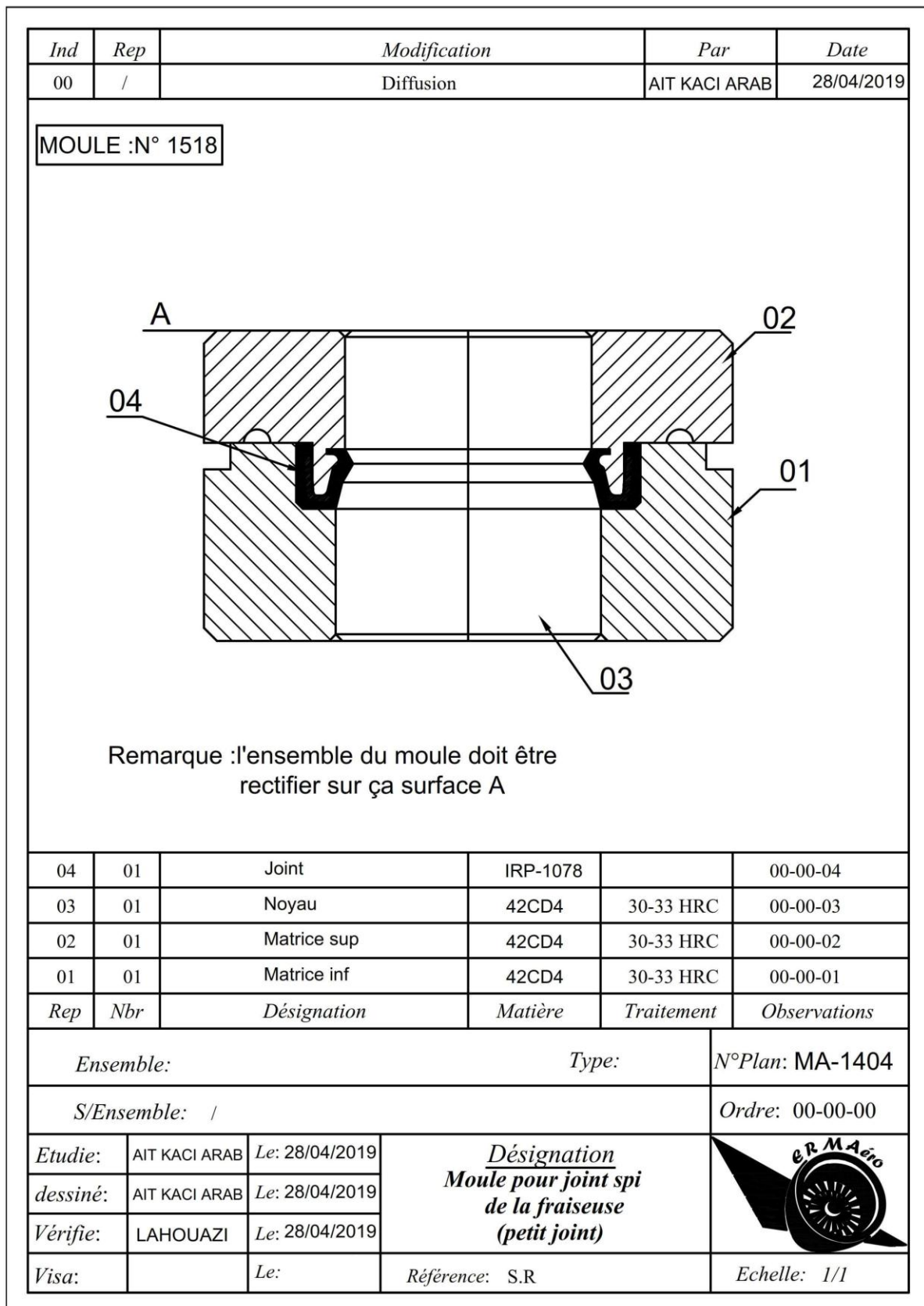
Ind	Rep	Modification		Par	Date
00	/	Diffusion		AIT KACI ARAB	28/04/2019
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;">MOULE :N° 1518</div> <div style="text-align: center;"> </div> <p>TG (±0.1) SAUF INDICATION</p>					
02	01	ARMATURE	XC-48		01-00-04
01	01	Joint	IRP-1078		
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Traitement	Observations
Ensemble:				Type:	N°Plan: MA-1404
S/Ensemble: /					Ordre: 00-00-04
Etudie:	AIT KACI ARAB	Le: 28/04/2019	<u>Désignation</u> joint spi de la fraiseuse (petit joint)		
dessiné:	AIT KACI ARAB	Le: 28/04/2019			
Vérifie:	LAHOVAZI	Le: 28/04/2019			
Visa:		Le:	Référence: S.R		Echelle: 1/1

Conception du petit joint SPI en 2D [2]









Dessin d'assemblage du grand joint SPI de la fraiseuse et de son moule associés en 2D [6]



Ministère de la Défense Nationale
Etablissement de Rénovation des Matériels Aéronautiques

GAMME D'OPERATION

N° FS:.....

Dar-El-Beida, Le : 28/04/19

REF.ARTICLE: SR		MODIF.TECH GAMME								FOLIO: 2/2	
DES.ARTICLE: Moule pour joint de la fraiseuse moule N° 1517		Prép: AIT KACI ARAB		Date: 28/04/19							
N° OP	IND		T.A	Qté Lancé	T.R	Qté NC	NOM (date et visa)	OBS			
10	00	-Sortie de la matiere	10'	01							
C.C: Appros											
20	00	-Contrôle de la matiere verifier: nuance matier-dimensions	10'	01							
C.C: CONT											
30	00	-TOURNAGE	20h	01							
C.C: DIV:FAB											
40	00	-Rectification	1h	01							
C.C: CONT											
50	00	-Vulcanisation utiliser la gomme IRP-1078	3h	01							
C.C: TTS											
60	00	-CONTROLE DU JOINT	10'	01							
C.C: CONT											
70	00	-Traitement thermique 30-33 HRC	2h	01							
C.C:											
80	00	-CONTROLE FINALE	1h	01							
C.C:											
N° OP	IND										
	00										
C.C:											
N° OP	IND										
C.C:											
N° OP	IND										
C.C:											

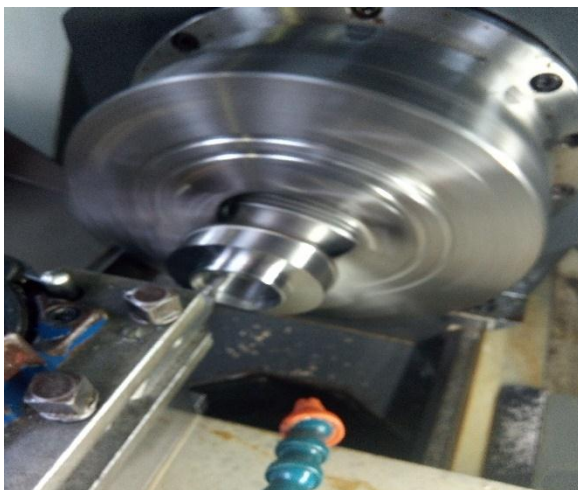
Gammes d'opération pour la réalisation du moule [8]



Joint SPI obtenu [9]



Le moule du petit joint SPI fabriqué et de son armature [10]



Le moule du petit joint SPI fabriqué [11]