

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



Département de Génie Mécanique

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie
Mécanique

Conception et réalisation d'un vibreur linéaire

Oussama AKLIL

Younes BENDALI

Sous la direction de : Mr. Djamel SAIDI MAA

Présenté et soutenu publiquement le 23/06/2018

Composition de Jury:

Président	Mr. Mohamed BOUAZIZ	Prof	E.N.P
Examineur	Mr. Brahim GUERGUEB	MAA	E.N.P
Examineur	Mr. Hacene BELHANECHÉ	MAA	E.N.P
Invité	Mr. Djamel KARI	Doctorant	U.M.B.B

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



Département de Génie Mécanique

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie
Mécanique

Conception et réalisation d'un vibreur linéaire

Oussama AKLIL

Younes BENDALI

Sous la direction de : Mr. Djamel SAIDI MAA

Présenté et soutenu publiquement le 23/06/2018

Composition de Jury:

Président	Mr. Mohamed BOUAZIZ	Prof	E.N.P
Examineur	Mr. Brahim GUERGUEB	MAA	E.N.P
Examineur	Mr. Hacene BELHANECHÉ	MAA	E.N.P
Invité	Mr. Djamel KARI	Doctorant	U.M.B.B

Dédicaces

Nous dédions ce modeste travail

*À nos parents, leur patience, leur sacrifice, leur prière et leur bénédiction nous
ont été d'un grand secours tout au long de nos vies*

*À nos chers enseignants pour leurs conseils, leur investissement et leur
soutien.*

Et à tout ceux qui ont contribué à la réussite de ce travail

Remerciements

En tout premier lieu, nous remercions le bon Dieu, tout puissant, de nous avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Nous tenons à exprimer toute nos gratitude à notre encadreur Mr. Djamel Saidi pour nous avoir assisté dans ce projet. Sa disponibilité, sa motivation, sa patience et son soutien continuels qu'il nous a apporté tout au long de ce projet a été très utiles. Sans ces corrections et ces remarques très pertinentes, ce travail n'aurait pas été possible.

Nos remerciements vont aussi à Mr. Brahim Guergueb qui nous a beaucoup aidé.

Nous remercions également la société algérienne des ressorts pour leur fourniture des ressorts de compression, la société Florex équipement, sans oublié aussi M. Belkacemi, M..Slimane et M.kari pour leur précieux conseils.

Nous tenons aussi à exprimer tous nos reconnaissances à Mr. Yazid pour le séjour très instructifs au sein de l'Entreprise National de charpente et de chaudronnerie (ENCC) et de nous avoir encouragé, nous profitons pour remercier Mr. Mabrouk Toufik et Mr. Lahlah Karim pour leur assistance et leur soutien lors de la réalisation.

Nous remercions aussi toutes personnes qui a participé à ce projet de prêt ou de loin.

Finalement, un grand merci à nos familles, plus particulièrement nos parents, nos frères et sœurs, pour nous avoir soutenu et encouragé tout au long de nos études à l'Ecole Nationale Polytechnique.

ملخص

من خلال هذه المذكرة قمنا بتصميم وتصنيع هزاز خطي، وهذا الأخير تم تصميمه بواسطة برنامج صوليدوركس 2014 الذي منح لنا إمكانية تصنيع وضمان تشغيل الهزاز الخطي بطريقة فعالة.

تم حساب العناصر المختلفة تحليليا أو عن طريق المحاكاة باستخدام برنامج انسيس 2017.

تصميم وصناعة هذا الهزاز الخطي مستقبلا سيوفر إمكانية إجراء التجارب والدراسات حول عملية التشطيب الاهتزازي.

كلمات مفتاحية : صوليدوركس، هزاز خطي، تصميم، التشطيب الاهتزازي.

Abstract

In this work, we suggest a linear vibrator study and realization which is conceived by SOLIDWORKS 2014 that helped us to assure the well-functioning of a vibrator and get the needed realization.

The various elements were calculated analytically and by simulation using ANSYS 17.1 software.

The suggested realization is more suitable for mechanical surface treatment, it is also suggested for experiments and studies on the tribofinishing process.

Keywords : Solidworks, design, ANSYS, vibratory finishing, linear vibrator.

Résumé

Dans ce travail, nous proposons l'étude et la réalisation d'un vibreur linéaire, ce dernier été conçu sous le logiciel SOLIDWORKS 2014 qui nous a accordé une bonne réalisation et un bon fonctionnement du vibreur.

Les différents éléments ont été calculés analytiquement et par simulation à l'aide du logiciel ANSYS 17.1.

La réalisation proposée est adaptée aux traitements mécaniques de surface des différentes pièces, elle est proposée également pour les expériences et les études sur le procédé de la tribofinition.

Mots clés : Solidworks, Conception, ANSYS, tribofinition, vibreur linéaire.

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....14

Chapitre I : Traitement mécanique de surface

Introduction	17
I.1 Différents procédés de traitement mécanique de surface.....	17
I.1.1 Grenailage	17
I.1.2 Galetage	18
I.1.3 Martelage	19
I.1.4 Brunissage.....	20
I.1.5 Choc laser.....	22
I.2 Tribofinition.....	23
I.2.1 Aspects et méthodes de la tribofinition	23
I.2.2 Paramètres du procédé de tribofinition	25
I.2.3 Vitesse d'impact des medias et des pièces traitées	26
I.2.4 Accélération d'impact	27
I.2.5 Force d'impact des medias	27
I.2.6 Energie d'impact des medias avec les pièces	28
I.2.7 Pression de contact dans la zone de l'impact	28
I.2.8 Température dans la zone d'impact	29
I.2.9 Avantages et inconvénients de la tribofinition	30
I.3 Contraintes résiduelles.....	30
I.3.1 Ordres des contraintes résiduelles	31
I.3.2 Origines des contraintes résiduelles	31
I.4 Etat de surface	32
I.4.1 Paramètres d'états de surface	33
I.5 Propriétés mécaniques des métaux	34
I.5.1 Dureté.....	34
I.5.2 Résistance mécanique	37

TABLE DES MATIERES

I.5.3 Rigidité.....	37
I.5.4 Ductilité.....	37
I.5.5 Ténacité.....	38
I.5.6 Résistance à la fatigue.....	38
Conclusion.....	38

Chapitre II : Equipements, Medias et additifs chimiques

Introduction	40
II.1 Equipements (vibrateurs).....	40
II.1.1 Vibrateurs linéaires.....	41
II.1.2 Vibrateurs Circulaires.....	46
II.1.3 Machine à force centrifuge.....	51
II.2 Medias	53
II.2.1 Application des medias.....	54
II.2.2 Types de media	55
II.2.3 Formes des medias.....	56
II.2.4 Masse volumique des medias	56
II.2.5 Capacité de media.....	56
II.3 Additifs chimiques.....	57
II.3.1 Les additifs en liquides	58
II.3.2 Les additifs en poudres	60
II.3.3 Les additifs en pâte	61
Conclusion.....	62

Chapitre III : Conception du vibreur linéaire

Introduction	64
III.1 conception des éléments du vibreur linéaire	64
III.1.1 Chambre de travail	65
III.1.1.1 Cuve nue	66
III.1.1.2 Support de la chambre de travail	67
III.1.1.3 Parois de la chambre de travail	68
III.1.1.4 Nervures de renforcements	69
III.1.1.5 Cloisons de séparation	70
III.1.2 Moteur à balourds	71
III.1.3 Eléments élastiques (ressorts de compression)	73
III.1.4 Table avec bac de lubrification	77
III.1.5 Armoire électrique	78
III.2 Schéma cinématique et graphe de liaison	79
III.2.1 Graphe de liaison	79
III.2.2 Schéma cinématique du vibreur	80
III.3 Simulation des vibrations	81
III.3.1 Etapes de la simulation	81
III.3.2 Résultats et interprétations	85
III.3.2.1 Modes et fréquences propres	85
III.3.2.2 Amplitude, Vitesse et Accélération	88
Conclusion	91

Chapitre IV : Réalisation du vibreur linéaire

Introduction	93
IV.1 Gamme de fabrication	93
IV 1.1 Gamme de fabrication de la Cuve	94
IV 1.2 Gamme de Fabrication de la paroi gauche	95
IV 1.3 Gamme de Fabrication de la paroi droite	96
IV 1.4 Gamme de Fabrication du Cloisons de séparation	97
IV 1.5 Gamme de Fabrication de la nervure	98
IV 1.6 Gamme de Fabrication du support moteur	99
IV 1.7 Gamme de Fabrication du guide ressort	100
IV 1.8 Gamme de Fabrication du support de la table	100
IV 1.9 Gamme de Fabrication de la tôle pliée du bac de lubrification	101
IV 1.10 Gamme de Fabrication des parois du bac de lubrification	102
IV.2 Gamme d'assemblage	102
IV .2.1 Gamme d'assemblage de la chambre de travail	102
IV .2.2 Gamme d'assemblage du bac de lubrification	103
IV .2.3 Gamme d'assemblage de la table	103
IV.3 Réalisation des éléments du vibreur linéaire	104
IV.3.1 Chambre de travail	105
IV.3.2 Bac de lubrification	107
IV.3.3 Système d'évacuation	108
IV.3.4 éléments élastiques	108
IV.3.5 La table	109
IV.3.6 Armoire électrique	109
IV.4 Automatisation du vibreur linéaire	111
IV.4.1 Variateur de fréquence (ALTIVAR 08)	111
IV.4.2 Moteur électrique à balourds	112
Conclusion	114
Conclusion générale.....	115
Références bibliographiques.....	117
Annexe.....	119

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I. 1 Système de propulsion des machines de grenailage-----	18
Figure I. 2 Principe du fonctionnement du galetage-----	18
Figure I. 3 Outil de Galetage (a- partie active ; b- corps de l'outil)-----	19
Figure I. 4 Principe du fonctionnement du martelage-----	19
Figure I. 5 Schéma de la déformation des irrégularités de surface lors du brunissage -----	20
Figure I. 6 Outil de brunissage (brunissoir)-----	21
Figure I. 7 Schéma du dispositif classique de traitement de choc laser. -----	22
Figure I. 8 Illustrations d'autres procédés de traitement mécanique de surface -----	22
Figure I. 9 Origines des contraintes résiduelles -----	31
Figure I. 10 Défauts d'états de surface-----	32
Figure I. 11 Hauteur maximale du profil-----	33
Figure I. 12 Hauteur maximale de saillie-----	33
Figure I. 13 Ecart moyen arithmétique -----	33
Figure I. 14 Principe de la dureté brinell -----	35
Figure I. 15 Principe de mesure de la dureté Rockwell -----	36
Figure I. 16 Principe de dureté Vickers HV -----	36

Chapitre II :

Figure II. 1 Vibrateur linéaire-----	41
Figure II. 2 Vibrateur linéaire de type TS-----	44
Figure II. 3 Vibrateur linéaire de type TS-D-----	44
Figure II. 4 Vibrateur linéaire de type TE -----	45
Figure II. 5 Vibrateur linéaire de type TU -----	45
Figure II. 6 Schéma d'un vibrateur circulaire-----	46
Figure II. 7 Schéma descriptif d'un vibrateur circulaire -----	48
Figure II. 8 Vibrateur circulaire à grand rayon. -----	50
Figure II. 9 Schéma d'une machine à force centrifuge -----	51
Figure II. 10 Machine à force centrifuge-----	52
Figure II. 11 Exemple des abrasifs et ses applications -----	54
Figure II. 12 Abrasifs en céramiques -----	55
Figure II. 13 Abrasifs en plastiques -----	55
Figure II. 14 Additifs chimiques -----	57
Figure II. 15 Additifs en liquides-----	58
Figure II. 16 Additifs en poudres-----	60
Figure II. 17 Additifs en pâte -----	61

Chapitre III :

Figure III. 1 Vibrateur linéaire sous SOLIDWORKS	64
Figure III. 2 Chambre de travail	65
Figure III. 3 Cuve	66
Figure III. 4 Support chambre de travail	67
Figure III. 5 Paroi gauche	68
Figure III. 6 Paroi droite	68
Figure III. 7 Nervure de renforcement	69
Figure III. 8 Cloison de séparation	70
Figure III. 9 Moteur à balourds	71
Figure III. 10 Masselotte	72
Figure III. 11 Ressort de compression	74
Figure III. 12 Ressort de compression cylindrique	75
Figure III. 13 Principaux matériaux pour ressorts.	76
Figure III. 14 Table conçue sous SOLIDWORKS	77
Figure III. 15 Armoire électrique conçue sous SOLIDWORKS	78
Figure III. 16 Graphe de liaison du vibrateur linéaire	79
Figure III. 17 Schéma cinématique du vibrateur	80
Figure III. 18 Choix de l'analyse modale	81
Figure III. 19 Données du matériau	82
Figure III. 20 Insertion de la géométrie	83
Figure III. 21 Le maillage	83
Figure III. 22 Conditions aux limites (fixation des nœuds)	84
Figure III. 23 Résolution du problème	84
Figure III. 24 Mode 1	85
Figure III. 25 Mode 2	86
Figure III. 26 Mode 3	86
Figure III. 27 Mode 4	87
Figure III. 28 Amplitude en fonction de la fréquence	89
Figure III. 29 Vitesse en fonction de la fréquence	89
Figure III. 30 Accélération en fonction des fréquences	90

Chapitre IV :

Figure IV. 1 vibrateur linéaire réalisé VL66	104
Figure IV. 2 Chambre de travail.....	105
Figure IV. 3 Cloison de séparation.....	106
Figure IV. 4 Pompe à eau et bac de lubrification.....	107
Figure IV. 5 Trappe d'évacuation	108
Figure IV. 6 Ressorts de compression.....	108
Figure IV. 7 La table	109
Figure IV. 8 Circuit électrique de l'armoire	109
Figure IV. 9 Bouton poussoir marche/arrêt.....	110
Figure IV. 10 Armoire électrique.....	110
Figure IV. 11 Composants du circuit électrique	111
Figure IV. 12 Variateur de fréquence (ALTIVAR 08)	111
Figure IV. 13 Moteur série MVSI, ITALVIBRAS	112
Figure IV. 14 Masselottes	113
Figure IV. 15 Plaque signalétique	113

Liste des tableaux

Chapitre I :

Chapitre II :

Tableau II. 1 Caractéristiques des médias-----	53
Tableau II. 2 Masse volumique des medias-----	56
Tableau II. 3 Différents additifs chimiques liquides.-----	59

Chapitre III :

Tableau III. 1 Caractéristiques dimensionnelles de moteur MVSI-----	71
Tableau III. 2 Tableau des fréquences et modes propres -----	88

Chapitre IV :

Tableau IV. 1 Gamme de fabrication de la cuve-----	94
Tableau IV. 2 Gamme de Fabrication de la paroi gauche -----	95
Tableau IV. 3 Gamme de Fabrication de la paroi droite-----	96
Tableau IV. 4 Gamme de Fabrication du Cloisons de séparation -----	97
Tableau IV. 5 Gamme de Fabrication de la nervure-----	98
Tableau IV. 6 Gamme de Fabrication du support moteur -----	99
Tableau IV. 7 Gamme de Fabrication du guide ressort -----	100
Tableau IV. 8 Gamme de Fabrication du support de la table-----	100
Tableau IV. 9 Gamme de Fabrication de la tôle pliée du bac de lubrification-----	101
Tableau IV. 10 Gamme de Fabrication des parois du bac de lubrification-----	102
Tableau IV. 11 Gamme d'assemblage de la chambre de travail-----	102
Tableau IV. 12 Gamme d'assemblage du bac de lubrification-----	103
Tableau IV. 13 Gamme d'assemblage de la table-----	103
Tableau VI. 14 Amplitudes des vibrations en fonction du réglage des masselottes -----	113

Introduction générale

Dans ce modeste travail, on s'intéresse à la conception et réalisation d'un vibreur linéaire qui est un équipement destiné pour le traitement mécanique de surface (tribofinition).

Le terme « tribofinition », est composé de deux parties, *tribo*, qui vient du latin et qui signifie frotter, et *finition*, qui veut dire achever, autrement dit, La tribofinition est un procédé mécano-chimique qui consiste à enlever les petites particules du métal sur la surface par des outils non guidés afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques, physiques et autres, tout en faisant des opérations de polissage, rayonnage, ébavurage, décalaminage, lissage, désoxydation, décapage, dégraissage, grenailage, le brillantage, etc. Il permet de traiter les différents matériaux, bois, verre, composites, acier, aluminium, etc...

Le domaine d'application convient particulièrement aux industries diverses, aéronautiques, navale, automobile, nucléaire, médicale, agro-alimentaire, etc.

Le vibreur linéaire conçu sous le logiciel SOLIDWORKS 2014 est une machine qui se compose de plusieurs éléments, un moteur électrique à balourd d'une puissance de 0.97 KW transmettant le mouvement à l'arbre principal sur lequel sont montés sur ces deux extrémités des balourds (masselottes excentriques) pour provoquer de la vibration. Le mouvement vibratoire arrive à la chambre de travail qui a une forme rectangulaire avec un fond arrondi pour avoir une meilleure immersion de la charge abrasive, recouvert d'une couche de polyuréthane moulée à chaud permettant de protéger les pièces et les medias contre les chocs.

La chambre de travail repose sur des éléments élastiques ressorts de compression mis en place pour amortir les vibrations.

Le mémoire est subdivisé en 4 chapitres :

Le premier chapitre aborde les procédés du traitement mécanique de surface en l'occurrence, le grenailage, le galetage, le martelage, le brunissage, le choc laser et enfin la tribofinition (vibro-abrasion), qui consiste à enlever les petites particules du métal et ses oxydes par des outils non guidés appelés (medias), avec ou sans additifs.

INTRODUCTION GENERALE

Le second chapitre traite les différents types de vibrateurs, à savoir, vibrateurs linéaires, circulaires ou machines à force centrifuge, avec le choix des medias selon la finition de surface à envisager toutes en ajoutant l'additif chimique qui se présente sur trois états, liquides, poudres ou pates.

Le troisième chapitre porte sur la conception du vibrateur linéaire sous le logiciel SOLIDWORKS 2014, tout en commençant par les éléments essentiels, la chambre de travail, les éléments élastiques, la table et l'armoire électrique. On introduit aussi dans ce chapitre le calcul analytique et numérique des balourds ainsi que le graphe des liaisons et le schéma cinématique.

Le dernier chapitre est dédié à la réalisation du vibrateur après avoir exécuté la gamme de fabrication et d'assemblage qui est basé principalement sur la construction mécano-soudée.

La conclusion générale fait une synthèse des travaux réalisés.

Chapitre I

Traitement mécanique de surface

Introduction

Les traitements mécaniques de surface sont des procédés qui permettent d'améliorer les caractéristiques des matériaux à savoir les propriétés physiques, mécaniques, métallurgiques et géométriques et autres....

Dans le domaine du traitement mécanique de surface, il existe plusieurs procédés à titre d'exemple :

Le grenailage, le galetage, le martelage, le brunissage, le choc laser et enfin la tribofinition (vibro-abrasion). Chaque procédé est utilisé dans un domaine d'application bien spécifique.

Dans notre travail, on s'intéresse au procédé de tribofinition qui est une méthode de traitement mécano-chimique qui consiste à enlever les petites particules du métal et ses oxydes par des outils non guidés appelés (médiats), tout en rajoutant des additifs chimiques pour compléter le traitement, la particularité de ce procédé par rapport aux autres, consiste dans le traitement des pièces de configuration géométriques très complexes.

I.1 Différents procédés de traitement mécanique de surface

Les procédés de traitement mécanique de surface sont utilisés dans les domaines de l'industrie mécanique, navale, aéronautique, automobile et autres, afin de satisfaire le bon fonctionnement des composants mécaniques traités.

I.1.1 Grenailage

Le grenailage de précontraintes réfère, de manière générale, aux procédés mécaniques de mise en compression des surfaces. Dans le cas du grenailage conventionnel ou ultrason, des médias sont projetés vers la pièce à traiter. Quant à la méthode de projection des médias, elle diffère d'un procédé à l'autre. Il existe également d'autres procédés de mise en compression, dits sans contact, qui utilisent des ondes de choc afin d'introduire les contraintes résiduelles.

[8]

Principe de fonctionnement

Le grenailage est un procédé de mise en compression le plus répandu dans l'industrie mécanique. Le grenailage consiste à projeter en flux continu de la grenaille, de taille comprise entre 0.18 mm et 2.0 mm, à très grandes vitesses vers la pièce à traiter. Les vitesses de projection peuvent aller de 20 à 120 m/s, en fonction de la technologie utilisée et du type de grenaille choisi. Quant au débit de grenaille projeté, il se compte généralement en kilogrammes par minute. [8]

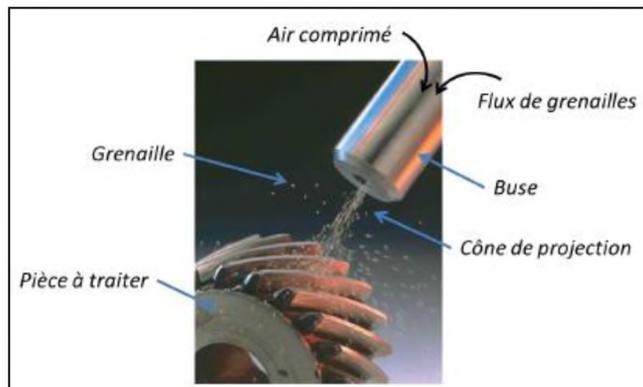


Figure I. 1 Système de propulsion des machines de grenailage [8]

I.1.2 Galetage

Le galetage constitue un traitement de mise en œuvre à froid, il déforme plastiquement les couches superficielles d'une pièce ayant subi en général un usinage préalable par enlèvement de copeaux. [14]

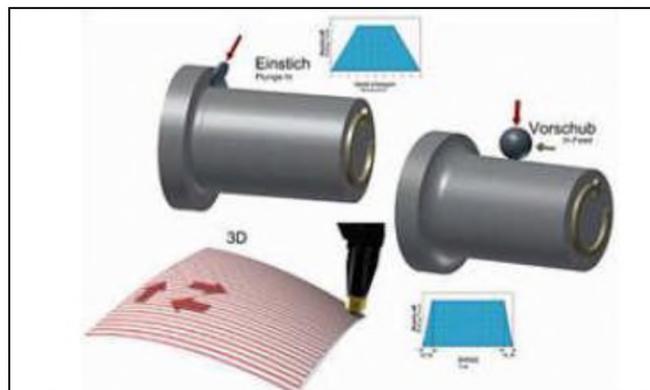


Figure I. 2 Principe du fonctionnement du galetage [15]

CHAPITRE I : Traitement mécanique de surface

La technologie du procédé est variée selon la machine et l'outil utilisé. Elle réside principalement dans le fait que la force appliquée par l'outil de galetage sur la pièce à traiter oblige les couches superficielles de celles-ci à subir une déformation plastique. [15]

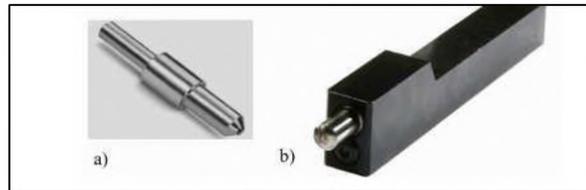


Figure I. 3 Outil de Galetage (a- partie active ; b- corps de l'outil) [15]

Avantages du Galetage

Amélioration de l'état de surface de la pièce usinée. Opération économique du fait qu'elle se fait sur pièce non traitée, et donc qu'elle économise une opération de rectification plus coûteuse. Opération très précise, surtout dans le cas de l'utilisation de la commande numérique.

I.1.3 Martelage

Le martelage conventionnel est une technique datant des années 1940 qui est effectué à l'aide d'un outil pneumatique, hydraulique ou électrique dont l'extrémité arrondie vient marteler la surface de la pièce à traiter. Les impacts répétés à une fréquence généralement comprise entre 20 et 100 Hz induisent la création d'un sillon qui peut être plus ou moins prononcé suivant le nombre de passes [9]

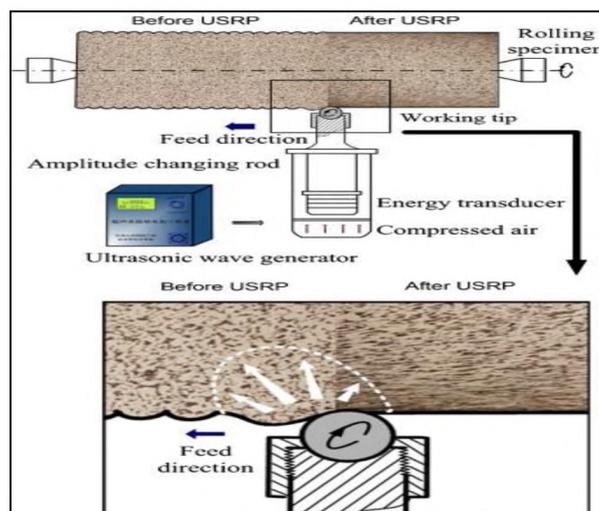


Figure I. 4 Principe du fonctionnement du martelage

Les contraintes résiduelles provenant de ces déformations plastiques locales atteignent généralement entre 2 et 5 mm de profondeur. Les modifications apportées par cette technique en font l'une des plus efficaces pour le post-traitement des joints soudés. Cependant, ce procédé reste fastidieux et bruyant. De plus, la surface relativement lisse obtenue peut parfois dissimuler des défauts de type repli conduisant à l'amorçage prématuré de fissures. [9]

I.1.4 Brunissage

Le brunissage ou le traitement de finition par pression est un procédé de traitement à froid sans enlèvement de matière. Son principe est basé sur les propriétés des matériaux et leur aptitude à la déformation élasto-plastique de la couche superficielle. Sous la pression des métaux durs, des alliages durs ou diamant, de l'outil (bille, galet, pointe sphérique), les microreliefs de départ de la pièce se déforment plastiquement, se compriment en formant un nouveau microrelief avec plus de régularité [13]

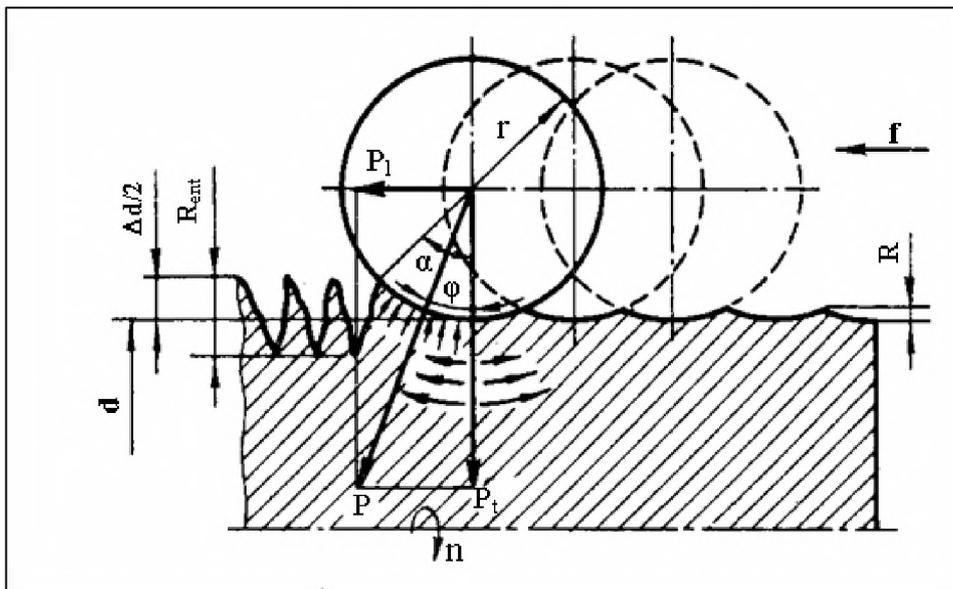


Figure I. 5 Schéma de la déformation des irrégularités de surface lors du brunissage [13]

Avec :

r - rayon de la bille

d - diamètre de la pièce

Δd - déformation restante

R - hauteur de rugosité après repassage

P_l - pression longitudinale

P_t - pression transversale

Outil de brunissage

Le dispositif a été conçu pour réaliser les opérations de brunissage à la bille ou au rouleau (galet) sur un tour parallèle. Il présente l'avantage d'une simplicité de son montage sur la tourelle du tour. Le mouvement de pénétration est obtenu par l'action de la pointe en diamant du brunissoir sous l'effet d'un effort réglable. La déformation est obtenue par la rotation de la pièce et l'avance de l'outil qui est communiqué par l'intermédiaire du chariot longitudinal. L'effort « P_y » étalonné sur le dispositif est réglé à l'aide du vernier de la machine-outil. [13]

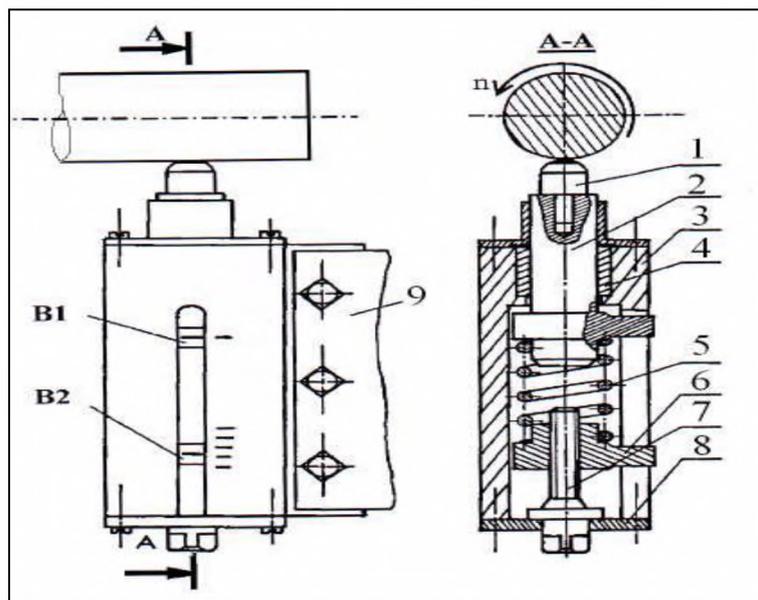


Figure I. 6 Outil de brunissage (brunissoir) [13]

Avec :

- 1- Outil à pointe en diamant sphérique de rayon « r »
 - 2- Mandrin support
 - 3- Corps
 - 4- Manchon guide
 - 5- Ressort
 - 6- Butée mobile
 - 7- Vis de réglage de l'effort « P_y »
 - 8- Plateau
 - 9- Tourelle porte outil du tour
- B1 et B2- Indicateurs de réglage de l'effort.

I.1.5 Choc laser

Le choc laser est une technologie émergente dans le domaine des traitements de précontraintes et fait actuellement l'objet de nombreuses études et simulations. Tout comme le cas du martelage ou du grenailage, ce traitement induit de fortes contraintes résiduelles en surface qui se traduisent par une amélioration significative de la tenue en fatigue des éléments traités. Le principal bénéfice de ce traitement concerne les contraintes résiduelles de compression qui atteignent 2 à 3 fois les profondeurs habituellement observée en grenailage. De plus, leur relaxation thermique semble être significativement plus faible que dans le cas de traitements mécaniques. [13]

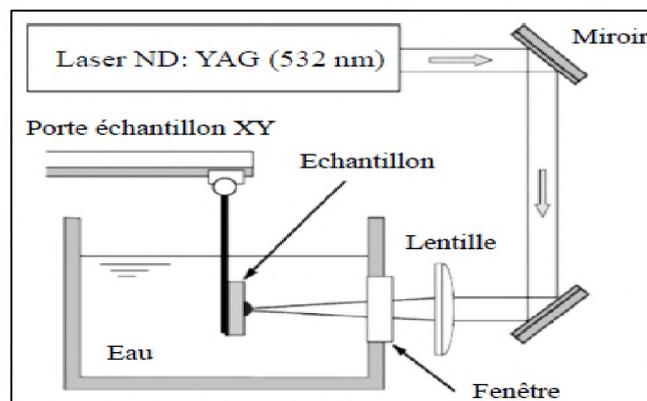


Figure I. 7 Schéma du dispositif classique de traitement de choc laser. [10]

	ÉBAVURAGE	INDIQUÉ POUR LE RETRAIT DE BAVURES DE DÉCOUPE, MOULAGE ET FUSION.
	PROFILAGE	APPLICATION POUR ARRONDIR ET ÉMOUSSER LES BAVURES, LES ARÊTES ET LES ANGLES
	LISSAGE	TRAITEMENT POUR L'AMÉLIORATION DE LA RUGOSITÉ DE SURFACE
	POLISSAGE	SUPERFINITION AVEC FAIBLES VALEURS DE RUGOSITÉ ET SURFACES BRILLANTES
	DÉGRAISSAGE	APPLICATION CHIMICO-CÉRAMIQUE POUR L'ÉLIMINATION DES HUILES, GRAISSES ET ÉMULSIONS
	BRILLANTAGE À SPHÈRE	PROCESSUS AVEC SPHÈRES EN PORCELAINE OU EN INOX POUR BRILLANTER/DÉGRAISSER LES MÉTAUX
	FINITION CHIMIQUE	APPLICATION DE LISSAGE ET DE SUPERFINITION AVEC L'EMPLOI D'ACCÉLÉRATEURS CHIMIQUES

Figure I. 8 Illustrations d'autres procédés de traitement mécanique de surface

I.2 Tribofinition

La tribofinition est un procédé de traitement mécanique de surface qui consiste à enlever les petites particules du métal et ses oxydes par des outils non guidés (medias et additifs chimiques), la particularité de ce procédé par rapport aux autres traitements consiste dans le traitement des pièces de configuration géométriques très complexe.

Les équipements les plus utilisés dans la tribofinition sont principalement les vibrateurs linéaires, les vibrateurs circulaires, les machines à force centrifuge et les vibrateurs de Smuritropie.

I.2.1 Aspects et méthodes de la tribofinition

Aspects de la tribofinition

La tribofinition est une technologie empirique qui requiert la considération de nombreux et différents facteurs tels que les pièces à traiter, la matière, la géométrie, la surface de finition désirée, la quantité à produire, le facteur d'hygiène et les réglementations environnementales. Le développement de cette technologie est un processus itératif et complexe.

Autre aspect important, les essais. En règle générale, le plus adapté et le plus économique des traitements est le résultat de nombreux essais. Ces essais déterminent la combinaison optimale de la machine, du produit, du composé et du traitement des effluents. Bien sûr, une réelle communication entre fabricants d'implants et fournisseurs d'équipements de traitement est absolument essentielle. Seuls les fabricants d'implants peuvent fournir une évaluation réaliste des essais passés ou en cours et déterminer la ligne directrice pour les essais à venir. [1]

Méthodes de la tribofinition

Il n'existe qu'une seule méthode dans le domaine du traitement mécanique de surface à savoir la tribofinition pouvant être utilisée dans sa large gamme et exclusivement pour des pièces de configuration géométrique complexe, afin d'avoir un meilleur état de surface de finition, un nombre important de quantité à traiter et un rapport prix qualité intéressant, tout cela dépend de plusieurs paramètres en l'occurrence, choix de la procédure à adopter, choix de la machine, choix des medias et d'additif chimique.

Fréquemment, le processus de finition nécessite plusieurs étapes, on commence tout d'abord par un traitement agressif puis on procède à la demi-finition et enfin on termine par un polissage. Plusieurs vibrateurs peuvent être utilisés, à titre d'exemple le vibreur circulaire, est utilisé pour des pièces relativement petites, par contre le vibreur linéaire est utilisé pour les pièces les plus longues et larges.

Considérant l'élimination agressive des métaux, cette machine est idéale pour l'ébavurage et l'arrondissement des arêtes vives. Elle est utilisée pour traiter des pièces de petite à moyenne taille n'étant pas abimées par le contact des pièces entre elles.

Enfin, les machines de smuritropie sont exclusivement utilisées pour des pièces délicates ou de haute valeur ajoutée, qui ne doivent pas se toucher entre elles pendant le traitement. Ces dernières années, la smuritropie a remplacé beaucoup de systèmes de polissage robotisés pour les implants orthopédiques. [1]

I.2.2 Paramètres du procédé de tribofinition

L'intensité du traitement par tribofinition dépend du régime du moteur à balourd et de plusieurs autres paramètres. Les pièces sont caractérisées par leur milieu d'utilisation, les conditions de travail, et le lieu d'exploitation.

Les différents paramètres physico-mécaniques du procédé sont :

- La force d'impact.
- La vitesse et l'accélération des particules.
- La pression de contact, les contraintes et l'énergie d'impact.
- La température dans la zone d'impact.

L'amplitude des oscillations dans la plupart des cas varie entre 0,5 – 5mm, elle atteint rarement 7 – 8mm, avec une basse fréquence qui varie, entre 15 – 50 Hz. L'efficacité du traitement par tribofinition dépend du régime du traitement et de ses paramètres, la force d'impact (micro-impact), les caractéristiques des particules et leurs vitesses, l'accélération, la pression, la contrainte et la température dans la chambre de travail et dans la zone d'impact.

Les valeurs numériques de ces paramètres sont :

- la vitesse des médias varie entre 0,5 – 1.0 m/s.
- l'accélération varie entre 20 - 150 m/s².
- La force micro-impact varie entre 15 – 25 N.
- La pression de contact varie entre 6000-15000 MPa
- La température moyenne dans la chambre de travail en général est situé entre 30 -40 °C, par contre dans la zone d'impact est autour de 500°. [1]

I.2.3 Vitesse d'impact des medias et des pièces traitées

La vitesse d'impact des medias varie entre 0,5 – 1 m/s, elle est déterminée par la formule empirique suivante :

$$v_i = v_{ch} \times k_v \quad (I.1)$$

$$v_{ch} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (I.2)$$

$$k_v = a^L \quad (I.3)$$

Et on a

$$\begin{cases} v_x = A_x \times \Omega \times \sin \Omega t \\ v_y = A_y \times \Omega \times \sin \Omega t \end{cases}$$

En injecte dans l'équation (I.2)

$$v_{ch} = A \times \Omega$$

Avec

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi N}{60} \cong \frac{N}{10}$$

On en déduit

$$v_{ch} \cong \frac{A \times N}{10} \quad (I.4)$$

Où :

v_i : Vitesse d'interaction des media et des pièces à traiter (m/s).

v_{ch} : Vitesse de déplacement des points de la chambre de travail (m/s).

k_v : Coefficient de perte de vitesse.

A : Amplitude (mm).

Ω : Vitesse angulaire d'oscillation (rad/s).

N : Vitesse de rotation (tours/min)

t : Temps en secondes (s).

A_x Et A_y : Les valeurs de l'amplitude d'oscillation selon les coordonnées x et y (mm).

a : Coefficient empirique.

L : La distance de la paroi de la chambre de travail jusqu'à la position de la particule (mm).

I.2.4 Accélération d'impact

L'accélération d'impact des objets traités avec tribofinition varie entre 15 - 150 m/s² et elle peut être calculée par la formule suivante :

$$\begin{cases} a_x = A_x \times \Omega^2 \times \cos \Omega t \\ a_y = A_y \times \Omega^2 \times \cos \Omega t \end{cases} \quad (I.5)$$

D'où

$$a = A \times \Omega^2 \times \sin(\Omega t + \varphi) \quad (I.6)$$

I.2.5 Force d'impact des medias

La force d'impact des médias et des pièces à traiter dépend du régime d'oscillation et des caractéristiques des particules, généralement elle varie entre 4.9-49 [N].

Pièces fixées :

$$F_{pf} = 58.8 \times V_i \times \sqrt{\frac{m \times \sigma_e \times R_b \times k_m \times k_g}{k_n}} \left(1 - \frac{3}{8}k\right) \quad (I.7)$$

Pièces libres :

$$F_{pl} = 58.8 \times V_i \times \sqrt{\frac{m \times \sigma_e \times R_b \times k_m \times k_g \times B}{k_n}} \quad (I.8)$$

Avec :

m : Masse des particules (g).

V_i : Vitesse d'impact (m/s).

R_b : Rayon de la bille (mm).

σ_e : Limite d'élasticité des matériaux des pièces à traiter (MPa ou N/mm²).

k_n : Coefficient qui prend en considération l'impact répétitif des particules dans un seul endroit.

k_m : Coefficient qui prend en considération la simultanéité d'action des particules.

k_g : Coefficient qui prend en considération les propriétés d'amortissement du milieu actif au moment de l'impact.

k : Coefficient de régénération (récupération).

B : Coefficient qui détermine la quantité d'énergie de l'impact et du déplacement des pièces chargées librement.

I.2.6 Energie d'impact des medias avec les pièces

Elle est déterminée par la formule suivante :

$$E = \frac{HB \times d^2}{6D} \quad (I.9)$$

Avec :

HB : Dureté Brinell du matériau.

d : Diamètre de l'empreinte (mm).

D : Diamètre de la bille (mm).

I.2.7 Pression de contact dans la zone de l'impact

La pression de contact dans la zone de l'impact est déterminée par l'équation suivante

$$P_{cmax} = \frac{3}{2} \times \frac{F}{\pi ab} \quad (I.10)$$

Avec

$$\begin{cases} a = \theta_1 \left[\frac{3}{8} \times \frac{F}{\Sigma \rho} (\theta_1 + \theta_2) \right]^{\frac{1}{3}} \\ b = \theta_2 \left[\frac{3}{8} \times \frac{F}{\Sigma \rho} (\theta_1 + \theta_2) \right]^{\frac{1}{3}} \end{cases} \quad (I.11)$$

Où

F : force de l'impact [N].

a Et b : dimensions de demi-axe de la surface de contact (mm).

θ_1 et θ_2 : Coefficients d'élasticité qui caractérisent les propriétés d'élasticité du matériau des objets de l'impact.

$\Sigma \rho$: Somme des valeurs des rayons de courbure principale des surfaces de contact.

I.2.8 Température dans la zone d'impact

Le phénomène thermique est considéré comme un résultat de la collision des matériaux. Celle-ci engendre de la chaleur dans la zone de l'impact et elle est déterminée sur la base de l'évolution de l'énergie cinétique dans un environnement en traitant la surface au moment de l'impact.

Le calcul de la température dans la zone d'impact se fait comme suit :

$$T = \frac{m \times v_i^2}{2} \times \frac{1}{427} \times \frac{1-k^2}{c_s \times \gamma \times n \times \mu} \quad (1.13)$$

Avec

$$\mu = \frac{\pi r^4}{4R} \quad (1.14)$$

Où

μ : Volume de l'empreinte.

v_i : Vitesse d'interaction des medias et des pièces à traiter (m/s).

c_s : Chaleur spécifique.

γ : Densité du matériau.

n : Coefficient de proportionnalité.

μ : Rayon de l'empreinte.

R : Rayon de la bille (les media du milieu actif).

m : Masse des particules.

k : Coefficient de régénération (récupération)

I.2.9 Avantages et inconvénients de la tribofinition

On a cité auparavant les avantages du traitement par tribofinition (vibro-abrasion), néanmoins ce procédé de traitement mécanique de surface a ses propres inconvénients lors de la mauvaise manipulation de l'opérateur qui peut engendrer des résultats plus au moins inacceptables.

- Débit d'eau trop élevé, entraînant un amortissement excessif
- Utilisation d'un mauvais type de composant.
- Fréquence d'action vibratoire qui n'est pas approprié pour les pièces traitées.
- De la saleté, de l'huile ou des fragments de métal dans la solution qui retournent à la surface des pièces.
- Rinçage et nettoyage insuffisants des médias de la cuve de traitement
- Utilisation d'un mauvais type de composé de finition.
- Action vibratoire trop dure
- Rapport incorrect entre les pièces et les medias.

I.3 Contraintes résiduelles

On définit généralement les contraintes résiduelles comme étant les contraintes qui subsistent dans les pièces mécaniques qui ne sont soumises à aucun effort extérieur. Ces contraintes sont en équilibre sur l'ensemble du volume que constitue un composant ou une structure mécanique. [11]

Tous les procédés de fabrication introduisent les contraintes résiduelles, qui ne peuvent être obtenues que par une déformation plastique hétérogène.

I.3.1 Ordres des contraintes résiduelles

Les contraintes résiduelles existent à des différents ordres, comme indiqué ci-dessous :

Premier ordre

C'est l'ordre macroscopique où ces contraintes peuvent être mesurées grâce aux jauges qui détectent les déformations produites ou par rayons X.

Deuxième ordre

Dans ce cas les contraintes résiduelles sont dues à l'anisotropie et l'hétérogénéité dans les matériaux poly cristallin. Elles sont mesurées par diffraction des rayons X.

Troisième ordre

Ce sont les actions défauts cristallins dans les grains comme les interstitiels, atomes en substitution, dislocations et les défauts d'empilement qui créent ce type de contraintes.

I.3.2 Origines des contraintes résiduelles

Les origines des contraintes résiduelles peuvent être séparées en 3 grandes catégories

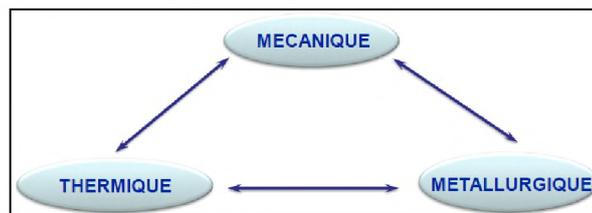


Figure I. 9 Origines des contraintes résiduelles

Elles peuvent être dues à un écoulement plastique non homogène sous l'action de forces extérieures, une déformation plastique non homogène au cours d'un chauffage ou d'un refroidissement non uniforme, aux déformations structurales de transformation de la matière, à des traitements superficiels divers etc.

I.4 Etat de surface

L'hétérogénéité du matériau et les conditions de lubrification engendrent des petits défauts anormaux de rugosité (fentes, piqure, arrachement de matière).

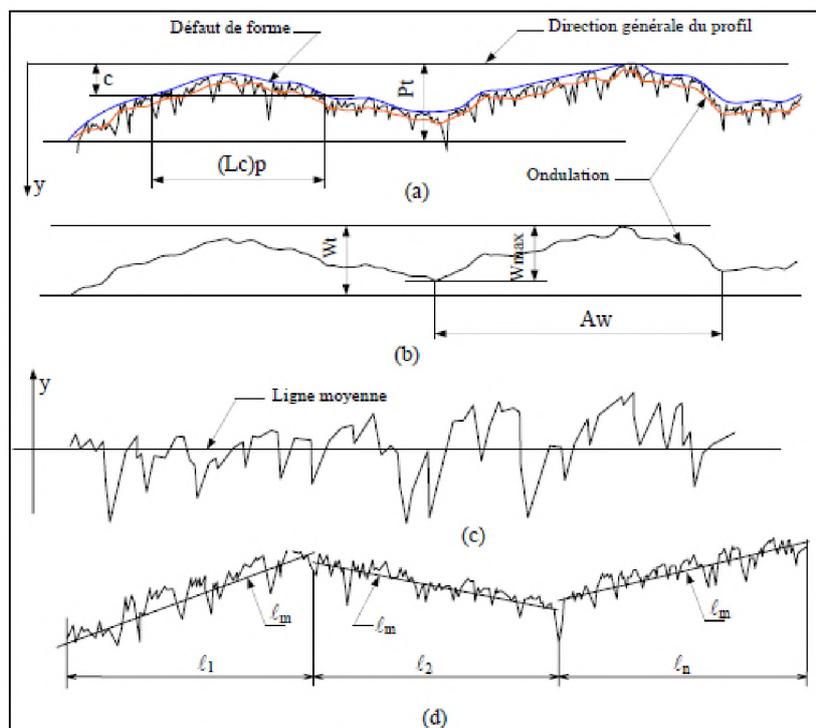


Figure I. 10 Défauts d'états de surface

- (a) Défauts de forme
- (b) Défauts d'ondulation
- (c) Défauts de rugosité
- (d) Longueur de bas l , longueur d'évaluation $L = nl$, ligne moyenne l_m

P : primaire

W : Ondulation

R : Rugosité

I.4.1 Paramètres d'états de surface

- **Hauteur maximale du profil :**

R_{yi} Est la distance entre la ligne des creux et la ligne des saillies sur la longueur de base.

La hauteur totale

$$R_t = \max(R_{yi})_l \quad (I.15)$$

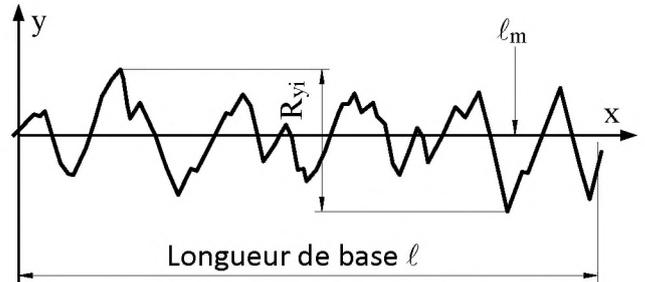


Figure I. 11 Hauteur maximale du profil

- **Hauteur maximale de saillie :**

R_{pi} Est la distance du point le plus haut à la ligne moyenne l_m

$$R_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{pi} \quad (I.16)$$

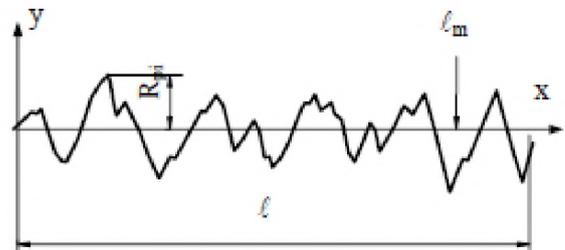


Figure I. 12 Hauteur maximale de saillie

- **Ecart moyen arithmétique du profil**

$$Ra_i = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (I.17)$$

Est la rugosité arithmétique

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Ra_i \quad (I.18)$$

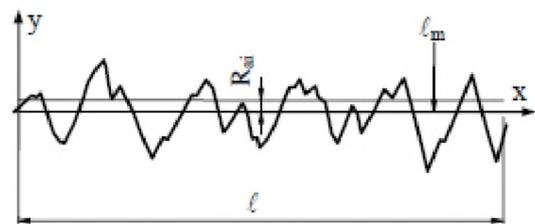


Figure I. 13 Ecart moyen arithmétique

I.5 Propriétés mécaniques des métaux

Les propriétés mécaniques courantes des métaux sont liées aux concepts usuels d'élasticité et de plasticité. Elles résultent des différentes orientations des cristaux et de la présence des joints de grains.

I.5.1 Dureté

L'essai de dureté sert à caractériser la résistance à la déformation plastique d'un matériau non fragile à l'aide d'un essai simple et rapide. La dureté est définie comme la résistance opposée par l'éprouvette à la pénétration d'un corps plus dur.

Comme la géométrie de l'écoulement plastique lors d'un essai de dureté est complexe, l'essai de dureté n'est pas considéré comme une analyse du comportement mécanique d'un matériau au même titre que l'essai de traction. L'essai de dureté ne fournit qu'une seule valeur. En revanche, l'essai est très simple à réaliser, n'utilise pas de machine coûteuse et n'exige pas l'usinage d'une éprouvette, puisqu'une surface plane de quelques mm suffit. En résumé, c'est un essai bon marché et souvent employé pour des essais comparatifs de séries d'éprouvettes et pour examiner les effets des divers traitements thermiques, thermomécaniques ou thermochimiques.

De nouvelles techniques ont élargi le champ d'application de l'essai de dureté. Ainsi les fabricants proposent maintenant des appareils permettant de mesurer quelques caractéristiques supplémentaires (Module Young, Module de Coulomb, Coefficient de Poisson, Viscosité, Forces d'adhésion (entre la pointe et le substrat) ou encore ténacité et énergie de rupture, etc.) à partir de l'enregistrement de la courbe force-déplacement. [5]

Types d'essai :

Essai de dureté Brinell

Il consiste à faire pénétrer dans le métal à tester, une bille polie de forme sphérique en acier trempé ou en carbure de tungstène.

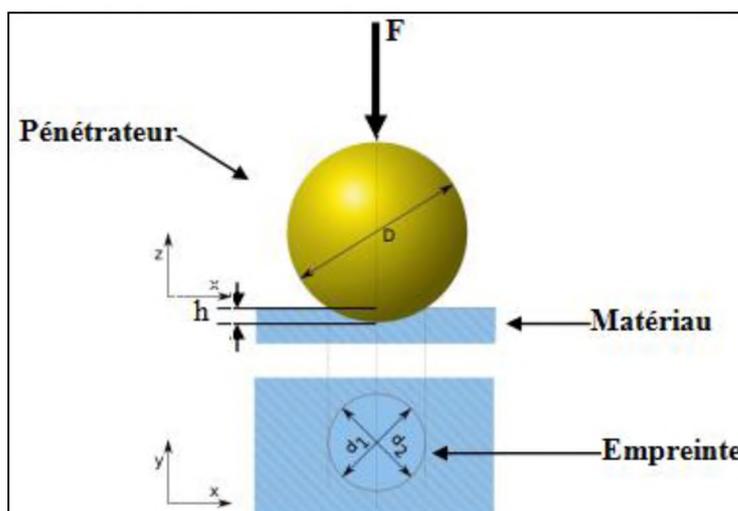


Figure I. 14 Principe de la dureté brinell

La force F étant exprimée en kgf, le diamètre de l'empreinte d (même remarque) en mm et la dureté Brinell HB est exprimée en kgf/mm^2 selon la relation suivante

$$HB = \frac{2F}{\pi \times D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{I. 19})$$

Avec :

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

CHAPITRE I : Traitement mécanique de surface

Essai de dureté Rockwell

L'essai consiste à mesurer la profondeur rémanente de l'empreinte indentée. Le pénétrateur de forme géométrique conique pour le critère HRC, ou bien sphérique pour le critère HRB est appuyé sous faible charge, sur la surface à essayer et dans des conditions bien précises.

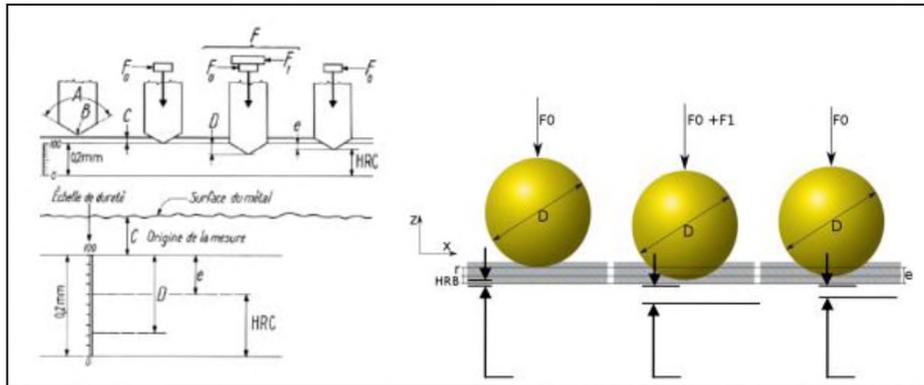


Figure I. 15 Principe de mesure de la dureté Rockwell

Essai de dureté Vickers

Il consiste à imprimer dans le métal testé une empreinte avec un pénétrateur en diamant de forme géométrique pyramidale à base carrée et d'angle au sommet entre deux faces opposées de 136° , sous l'action d'une force connue. On mesure la diagonale de l'empreinte laissée par le pénétrateur.

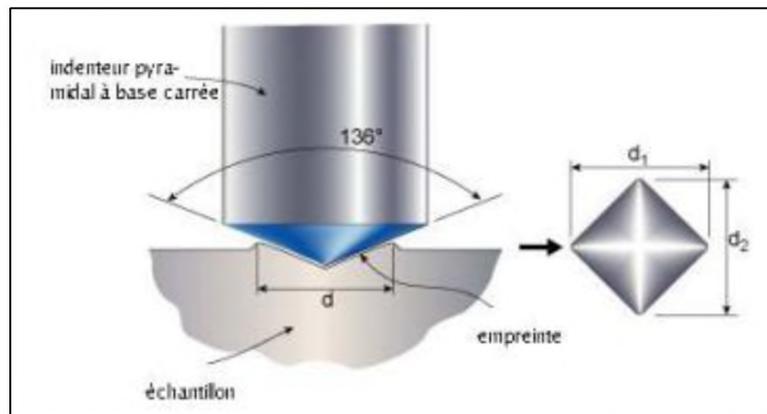


Figure I. 16 Principe de dureté Vickers HV

La force F étant exprimée en kgf, le diamètre de l'empreinte d en mm et la dureté Vickers est exprimée en kgf/mm² selon la relation suivante

$$HV = \frac{1.8454P}{d^2} \quad (I.20)$$

Avec :

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

I.5.2 Résistance mécanique

C'est la capacité d'une structure de résister aux efforts mécaniques extérieurs, le plus souvent cette grandeur est caractérisée par la résistance à la rupture « σ_r » mesurée à la suite d'un essai de traction, c'est la grandeur la plus utilisée pour la majorité des pièces soumises à un chargement statique. [6]

I.5.3 Rigidité

Intervalle de la déformation élastique réversible d'une structure atomique. Cette propriété est liée aux forces inter atomiques dues à la variation de distance entre les atomes. Elle est caractérisée par le module longitudinal de Young où la loi de Hooke est valable. Elle est mesurée suite à un essai de traction. [12]

I.5.4 Ductilité

C'est le domaine de la déformation permanent irréversible d'une structure, souvent désigné sous le nom de domaine plastique, cette plasticité est due au glissement irréversible entre les plans cristallographiques du matériau, un matériau ductile peut être étiré ou allongé sans se rompre. [12]

I.5.5 Ténacité

Elle représente la capacité globale du matériau à absorber l'énergie d'une déformation, et caractérise sa résistance à la propagation brutale de la fissure. Cette propriété est quantifiée par la mesure de la résilience. [12]

I.5.6 Résistance à la fatigue

Elle caractérise la résistance à une sollicitation cyclique, type traction compression ou autre, elles sont caractérisée par la limite d'endurance « σ_D » qui est mesurée par les courbes de Wöhler. [7]

Conclusion

Dans ce premier chapitre, on a étalé les notions fondamentales sur les traitements mécaniques de surface, en l'occurrence le grenailage, le galetage, le martelage, le brunissage, le choc laser et en particulier le traitement de tribofinition qui est le plus utilisé dans le domaine de toutes les industries, car cette technique s'applique beaucoup plus à des fins multiples et aussi pour des pièces de formes géométriques simples et complexes afin d'améliorer leurs caractéristiques géométriques, mécaniques et métallurgiques.

On a aussi évoqué les différents paramètres de cette méthode, nature, et lois empiriques, en l'occurrence la vitesse d'impact, l'accélération, la force d'impact, la pression et la température dans la zone d'impact.

Et enfin on a cité quelques caractéristiques mécaniques sur lequel le procédé influe d'une manière très importante.

Chapitre II
Equipements, Medias et
additifs chimiques

Introduction

La tribofinition intègre les techniques mécanisées de traitement de surfaces, en particulier polissage et ébavurage, les ingrédients sont les medias abrasifs (céramique, porcelaine, plastique, métaux), les additifs chimiques et bien sûr les équipements qui génèrent les mouvements (vibrateurs, centrifugeuses...).

Ce traitement est l'exploitation industrielle des phénomènes de friction ou vibro-impact avec des pièces et abrasif (media) dans un environnement chimique contrôlé

Les pièces et medias sont mis en vibration dans une chambre de travail sous l'action de deux mouvements (mouvement rotatif lent et un mouvement vibratoire) avec ajout d'eau et d'additif chimique pour obtention de la finition demandée.

Sous l'effet des vibrations, le traitement se produit dans toute la zone de la chambre de travail, grâce au mouvement circulaire qui assure un traitement uniforme sur toutes les surfaces de la pièce.

En recevant un grand nombre de micro-coups sur les différents sens qui contribue à l'élimination de la bavure, arrondissement des angles vifs et enlèvement de la calamine sur la surface des pièces et la couche superficielle (changement des paramètres géométriques et physico-mécaniques des couches superficielles).

II.1 Equipements (vibrateurs)

Le concept de technologie de vibration est apparu récemment dans les années 60, comme une conséquence au développement du processus utilisant les impacts de vibration à basse fréquence, dans le domaine de la construction mécanique, la construction du bâtiment, l'exploitation minière et d'autres secteurs de production.

Dans le domaine du traitement mécanique de surface, il existe plusieurs types de vibrateurs, chaque un d'eux est destiné pour des pièces bien définies du point de vue matériaux et formes géométriques.

Il existe plusieurs types de vibrateurs :

II.1.1 Vibrateurs linéaires

Les vibrateurs linéaires sont des machines de finition de surface conçus pour une utilisation particulière. Ils sont principalement adaptés à des traitements de pièces lourdes et de grandes dimensions.

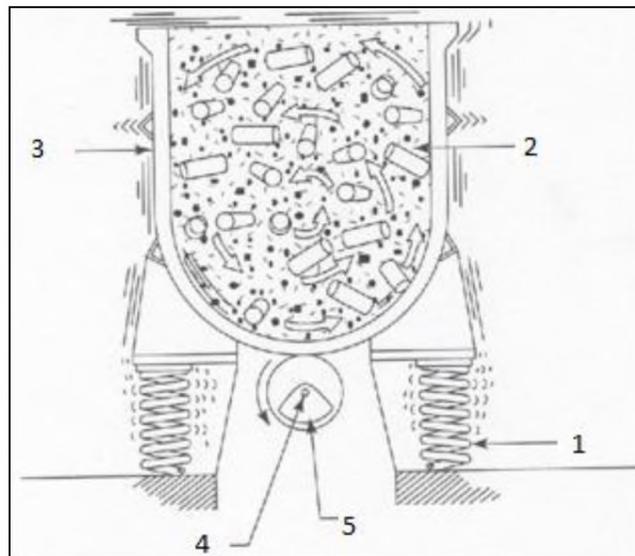


Figure II. 1 Vibrateur linéaire [1]

Avec :

1 Ressorts

2 Medias et additifs chimiques

3 Chambre de travail

4 Moteur

5 Balourd

CHAPITRE II : Equipements, Medias et additifs chimiques

Domaine d'application

Les vibreurs linéaires sont principalement adaptés pour des opérations d'ébavurage, décapage, rayonnage, ébarbage, décalaminage, polissage et brillantage etc... des pièces moulées et forgées.

Il y a une possibilité de séparer les pièces par des cloisons amovibles dans le cas où plusieurs types de medias et différents types de matériaux sont utilisés.

Les vibreurs linéaires sont entraînés par un moteur balourdé en position horizontale, Les medias et les pièces sont chargés dans la cuve de travail dans une action linéaire rotative. Il y a une possibilité d'effectuer un traitement pièces contre pièces sans médias, ou pièces contre pièces avec medias, ou pièces contre pièces avec medias et additifs chimiques.

Eléments du vibreur linéaire

1-Chambre de travail

La chambre de travail est en forme de U avec des parois courbées sa structure est soudée, renforcée par des nervures pour une meilleure rigidité et stabilisation thermique.

La chambre de travail est composée de :

- Glissières et séparateur ou cloison de séparation pour compartimer la cuve
- Système de distribution du lubrifiants (eau + additifs) en acier inoxydable sur toute la longueur de la cuve.
- Pour éviter la transmission des vibrations, aux autres éléments, une isolation de la cuve de travail est prévue par des plots amortisseurs.
- Porte de vidage des abrasifs est conçu pour cet objectif.
- Bandes en polyuréthane couvre toutes les parois de la chambre de travail afin d'éviter d'abimer les pièces traitées.

CHAPITRE II : Equipements, Medias et additifs chimiques

2-Moteur

Les vibrateurs linéaires sont équipés de différents types de moteurs et que ces moteurs sont positionnés horizontalement, voir détail ci-après:

Puissance moteur de min au max 0,150-16 KW

Fréquence 50 – 60 Hz

3-Bâti de la machine

Tous les bâtis des machines sont en construction mécano-soudés parfaitement rigide. Le concept des ressorts spéciaux hélicoïdaux permet à la cuve de traitement d'être parfaitement isolée du bâti de la machine. Des trappes de visite larges et accessibles facilitent les réglages et la maintenance. Des patins anti-vibratiles minimisent la transmission de vibrations.

4-Armoire Electrique

L'armoire électrique est composée de :

- Bouton pour allumer et éteindre la machine
- Réglage de la variation de vitesse du moteur
- Réglage de la variation de fréquence
- Réglage des masselottes

Types de vibreur linéaire

1-Les vibreurs linéaires type TS

Les vibreurs linéaires de type TS sont entraînés par 2 groupes balourdés fixés sur le côté de la chambre de travail.

Le moteur et le groupe balourdé sont assemblés par des accouplements particuliers adaptés aux vibrations, ce qui permet une alternance idéale et équilibrée de la charge dans la cuve de travail.

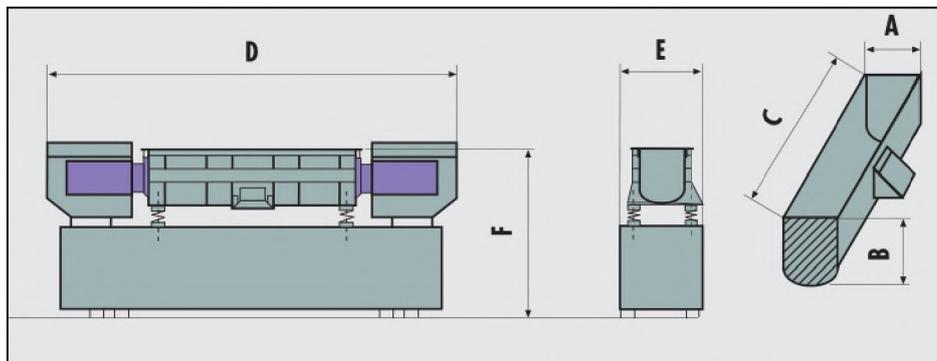


Figure II. 2 Vibreur linéaire de type TS [20]

2-Les vibreurs linéaires type TS-D

Les vibreurs linéaires de type TS-D sont équipés de 2 moteurs qui exercent, montés sur les côtés de la cuve de travail. Le concept est particulièrement puissant, de faible encombrement et très flexible.

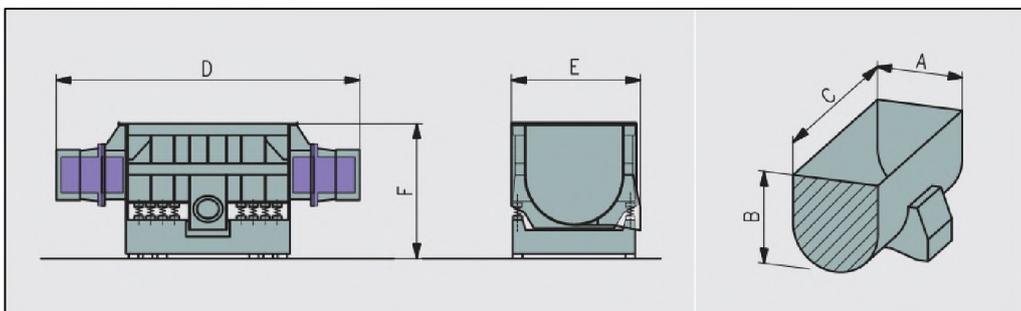


Figure II. 3 Vibreur linéaire de type TS-D [20]

CHAPITRE II : Equipements, Medias et additifs chimiques

3-Les vibrateurs linéaires économiques type TE

Les vibrateurs linéaires type TE, le moteur est fixé sous la cuve.

Ce concept de motorisation permet une construction compacte et de faible encombrement.

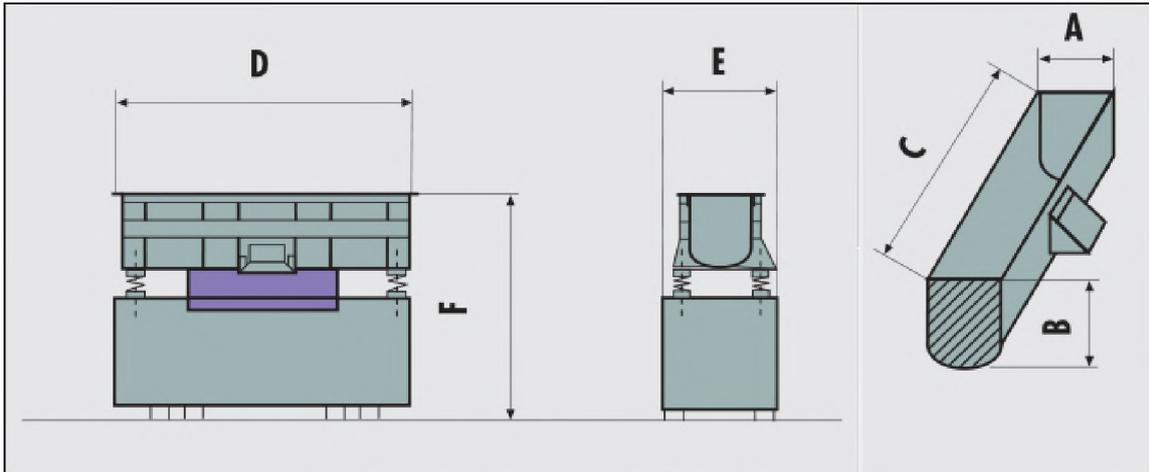


Figure II. 4 Vibrateur linéaire de type TE [20]

4-Les vibrateurs linéaires type TU

Les vibrateurs linéaires type TU sont conçus pour des traitements doux. Une motorisation unique fixée sur le côté de la cuve transmet le mouvement sur la série de groupes balourdés espacés sur toute la longueur de la cuve de travail.

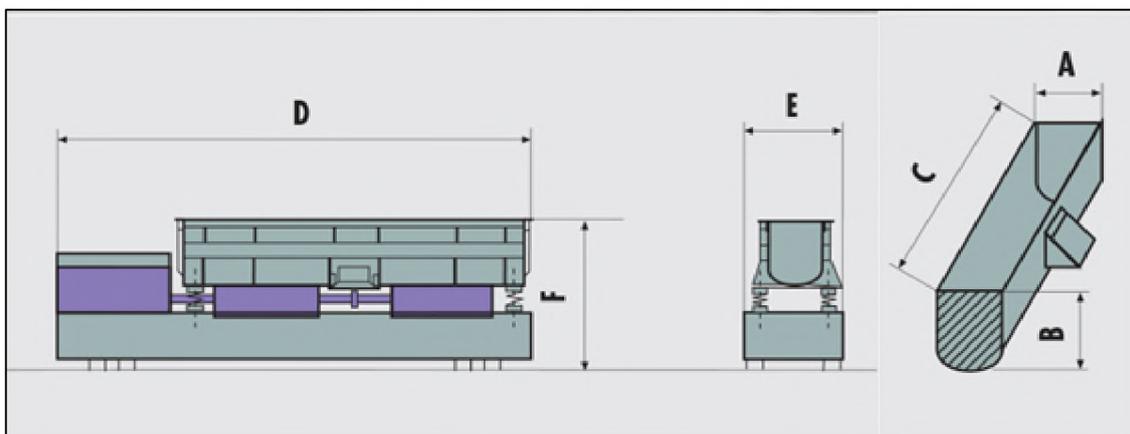


Figure II. 5 Vibrateur linéaire de type TU [20]

II.1.2 Vibrateurs Circulaires

Les vibrateurs circulaires sont des équipements industriels utilisés pour plusieurs opérations à titre d'exemple l'ébavurage, polissage et autres.

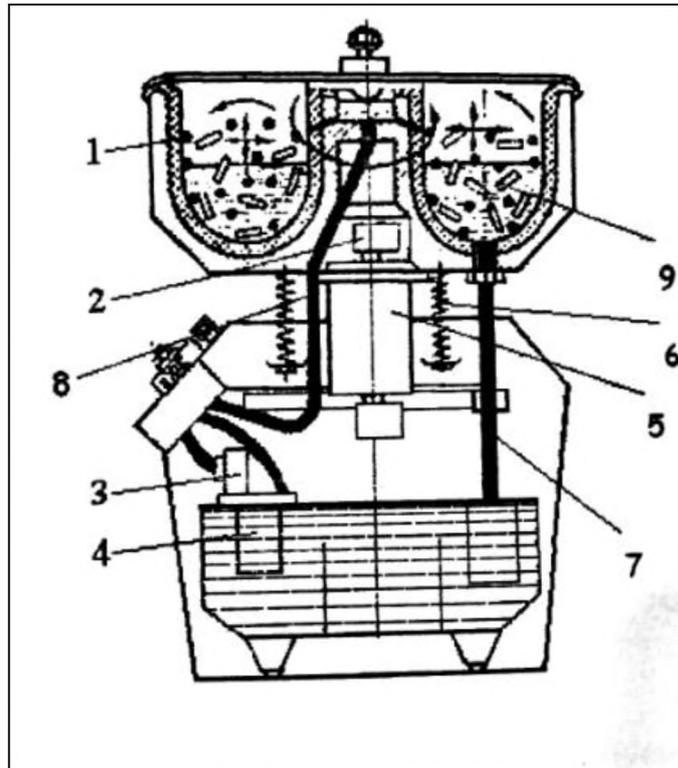


Figure II. 6 Schéma d'un vibrateur circulaire [16]

Avec :

- 1-chambre de travail
- 2-balourd
- 3-pompe
- 4-réservoir de vidage pour les épouses toxiques
- 5-moteur électrique
- 6-ressort d'amortissement
- 7-tuyau de vidange
- 8-tuyau d'arrosage
- 9-medias+pièces+additif chimique

CHAPITRE II : Equipements, Medias et additifs chimiques

Domaine d'application

Les vibrateurs circulaires sont des machines adaptées pour des traitements de surface tels que : ébavurage, ébarbage, rayonnage, nettoyage, décalaminage et polissage de pièces provenant d'emboutissage, fonderie, formage, forge, usinage.

Plusieurs matières peuvent être traitées (métaux ferreux et non ferreux, plastique, céramique, caoutchouc, bois, pierre et verre) avec petite et grandes dimensions tout en obtenant des résultats satisfaisants.

Le traitement mécanique de surface s'effectue dans une chambre de travail montée sur des ressorts hélicoïdaux. Un moteur à balourd monté au centre de la chambre fournit l'énergie nécessaire.

Les pièces et abrasifs, auxquels sont ajoutés de l'eau et d'additif chimique, sont agitées dans la chambre de travail.

Ces vibrateurs sont constamment équipés de cloison de séparation et de trappe pneumatique pour assurer la séparation des pièces et médias.

Tandis que les pièces sont transférées via ce tamis de séparation à l'extérieur du vibrateur pour être ensuite séchées dans un sécheur circulaire, les medias restants retournent dans la cuve de travail.

CHAPITRE II : Equipements, Medias et additifs chimiques

Eléments du vibreur circulaire

Le succès des applications en tribofinition résulte d'une combinaison des procédés technologiques créatifs et d'ingénieries innovantes. Cette approche est le reflet de toute la gamme des vibreurs circulaires et leurs caractéristiques performantes. Ils associent la grande qualité des équipements et une grande fiabilité avec un design extrêmement fonctionnel.

C'est une gamme de machines en général à tamisage intégré extrêmement polyvalentes pour traiter une multitude de pièce.

De plus, ils sont faciles d'utilisation et procurent un haut degré de productivité.

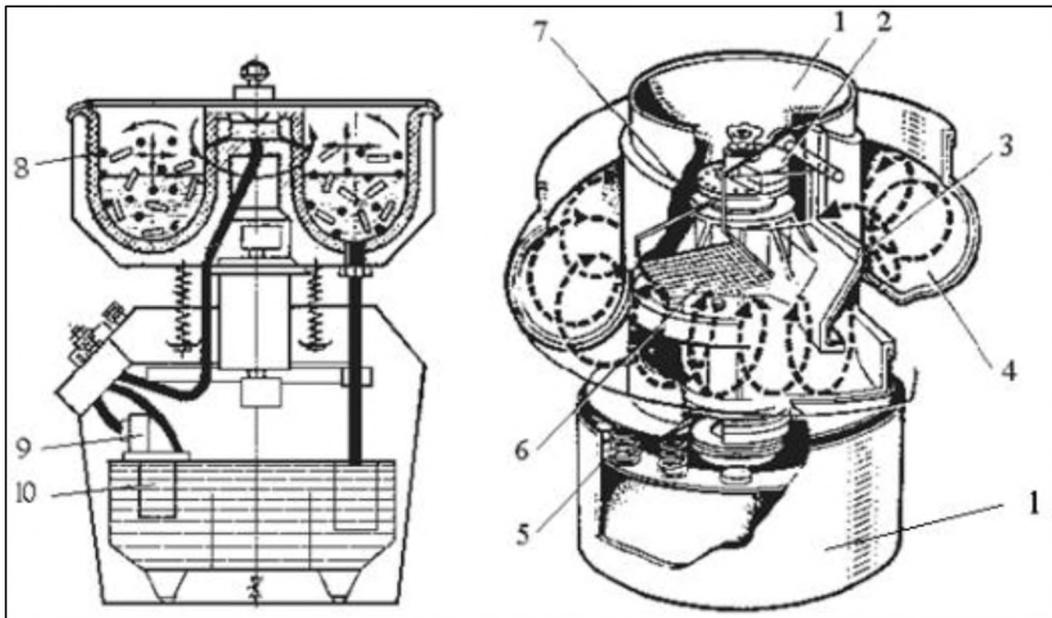


Figure II. 7 Schéma descriptif d'un vibreur circulaire

Avec :

1 : Suspension de la cuve de traitement 2 : Vibreur (les balourds) 3 : Porte de vidage des abrasifs 4 : Cuve de traitement 5 : Amortisseur 6 : Tamis de séparation intégré 7 : Moteur

8 : Revêtement 9 : Pompe 10 : Porte de vidage

CHAPITRE II : Equipements, Medias et additifs chimiques

1- Chambre de travail

La chambre de travail est sous forme circulaire avec un fond plat pour une meilleure immersion de la charge abrasive.

Une pompe est installée afin d'arroser les éléments en contact (pièces medias) avec de l'eau et d'additif chimique.

La chambre de travail est recouverte d'un revêtement en polyuréthane pour une raison d'éviter la détérioration des pièces traitées.

2- Séparateur

Le vibreur circulaire est équipé d'un tamis de séparation pour lequel les médias et les pièces sont acheminés vers lui. Les médias tombent à travers le tamis puis sont réacheminés dans la cuve de travail alors que les pièces sont dirigées vers la sortie.

3- Moteur

Contrairement aux vibreurs linéaires, les vibreurs circulaires sont équipés d'une motorisation positionnée verticalement

4- Armoire électrique

Une armoire électrique est installée dans le but contrôler les paramètres et le fonctionnement de la machine (mise en marche et arrêt, variation de la vitesse de rotation et de la fréquence).

CHAPITRE II : Equipements, Medias et additifs chimiques

Types de vibrateurs circulaires

Il y a plusieurs types de vibrateurs circulaires qui diffèrent par la forme et la dimension de la cuve ou par leurs caractéristiques.

Les vibrateurs circulaires «EC » sont les plus proposés grâce à la conception spéciale de la cuve de travail qui a un fond incliné qui permet le traitement et la séparation des petites et grandes pièces. Ils sont idéalement adaptés pour la finition de pièces fragiles.

Les vibrateurs circulaires « Euro » sont idéals pour les traitements de finition automatiques et ils sont caractérisés par une cuve torique spiralée avec une trappe de séparation automatique intégrée.

Les vibrateurs circulaires « A » ont été spécialement conçus pour le traitement de pièces pouvant être séparées magnétiquement grâce à un séparateur magnétique et une cuve de travail, renforcée et spéciale.

Les vibrateurs circulaires « R » sont des machines toriques à fond plat destinées au traitement des pièces lourdes et/ou fragiles. Leur fond plat assure une parfaite immersion des pièces dans les abrasifs.

Pour les pièces devant être traitées séparément, il est possible d'adapter des cloisons mobiles. Les pièces traitées sont généralement retirées manuellement. Une porte permet le vidage complet de la cuve de travail et une séparation externe des pièces et médias.

Les vibrateurs circulaires à grand rayon ont la possibilité d'être utilisés dans un système de production en continu ou par charge. Leur degré de flexibilité élevé offre des avantages significatifs pour une planification de production, favorisant la réduction des temps de traitement avec un coût plus économique, par ailleurs, ils nécessitent un faible encombrement au sol. [12]



Figure II. 8 Vibrateur circulaire à grand rayon.

II.1.3 Machine à force centrifuge

Les machines à force centrifuge prennent une importance de plus en plus grande dans le secteur dans la finition de surface car ces vibrateurs permettent d'atteindre des gains de temps dans un ratio de 3 à 10 par rapport à une application similaire dans un autre vibrateur.

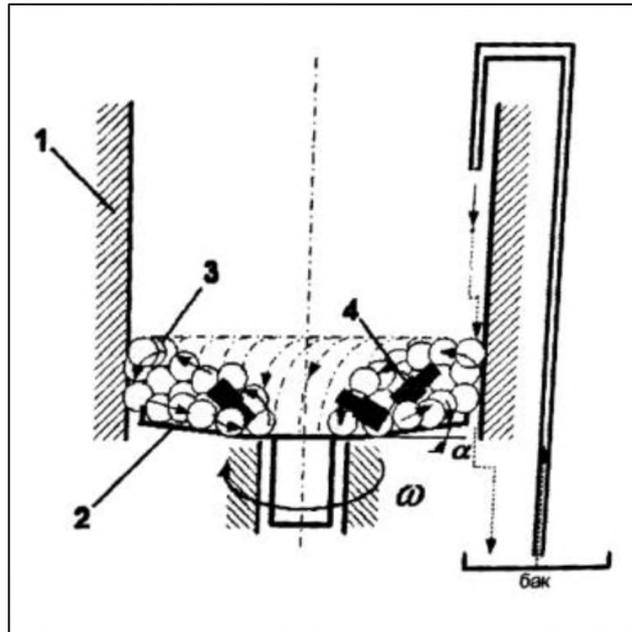


Figure II. 9 Schéma d'une machine à force centrifuge [16]

- 1: Chambre de travail
- 2: Fond incliné avec l'angle α (partie mobile) en rotation avec une vitesse ω
- 3 : Medias
- 4 : Pièces à traiter

Domaine d'application

Les techniques d'ébavurage, rayonnage, polissage de pièces en acier forgé, en fonte où usinées, utilisent la vitesse de la force centrifuge. Ce type de machine permet des temps de traitement très courts et un haut niveau d'automatisation. Les possibilités d'utilisation de ce système sont très variées qu'il s'agisse du traitement de disques intercalaires légèrement déformables d'une épaisseur de 0,2 mm ou bien de pignons pouvant mesurer jusqu'à 150 mm de diamètre. [12]

CHAPITRE II : Equipements, Medias et additifs chimiques

Fonctionnement de la machine centrifugeuse

Le spinner ou l'assiette tourne dans une cuve de travail cylindrique et fixe. Grâce à la force centrifuge, pièces et medias sont brassés dans un mouvement toroïdal de l'intérieur vers l'extérieur et vers le haut des parois de la cuve. Les parois fixes de la cuve ralentissent cette charge jusqu'à ce que la force centrifuge la rapporte à nouveau vers le centre du spinner et ainsi de suite. La diversité des opérations de traitement possible dépend de la vitesse de rotation du spinner et du niveau d'eau réglable pour le polissage ou l'ébavurage intensif. La puissance du mouvement rotatif permet d'atteindre des gains de temps dans un ratio de 3 à 10 par rapport à une application similaire en machine vibrante. [12]



Figure II. 10 Machine à force centrifuge

II.2 Medias

Le terme « Medias » ou éléments consommables se rapporte à l'abrasif ou non-abrasif utilisés dans le traitement mécanique de surface dans le but de roder ou polir les bords surfaciques des pièces traitées, ils peuvent également rendre des surfaces lisses et brillantes.

Tableau II. 1 Caractéristiques des médias

Abrasifs	Composition	La composition de l'abrasif détermine son pouvoir de coupe ainsi que l'état de surface de la pièce.
	Forme	La forme de la pièce à traiter détermine la forme de l'abrasif nécessaire. La parfaite adaptation entre l'abrasif et la pièce permet de s'assurer que toutes les surfaces sont traitées uniformément et que l'abrasif ne coince pas. La forme de l'abrasif influence également sur le pouvoir de coupe. Les formes angulaires et à arêtes vives sont plus agressives que les formes arrondies.
	Dimensions	La dimension et le poids sont des facteurs clés du pouvoir de coupe. Un abrasif de grande taille et lourd a plus de mordant et procure un état de surface plus grossier ; un abrasif petit et léger est moins agressif et donc mieux adapté à des exigences de bon état de surface.
	Séparation	Une fois le traitement terminé, les abrasifs doivent être séparés complètement des pièces. Le tamisage est la méthode de séparation la plus connue, nécessitant que les abrasifs soient plus petits que les pièces. Les pièces en acier peuvent être séparées de façon magnétique. Une séparation inverse peut être utilisée dans les cas où l'abrasif est plus grand que les pièces. Des solutions individualisées peuvent être proposées pour des exigences particulières.

II.2.1 Domaine d'application des medias

La sélection du media approprié pour un traitement mécanique spécifique est primordiale pour l'obtention de meilleurs résultats de finition de surface. Malheureusement, le choix du media est difficile sans l'expérience à cause des conditions diversifiées des nombreuses applications et objets et la grande variété de types, de tailles, et de formes de media disponible. Dans des nombreux cas, la sélection optimale doit être fait sur une base de test et erreur.

Les facteurs principaux de la sélection à prendre en compte sont composition (type), taille, forme et poids de media à utiliser. D'autres considérations importantes incluent la capacité, l'économie, et la polyvalence du media. Matériel, taille, et géométrie d'objet, tailles de bavures et emplacements, conditions de finition, équipement de finissage utilisé, et suivant les opérations et les fonctions des objets sont facteurs aussi critiques.

Les pièces ferreuses exigent généralement l'addition d'équipement de démagnétisation. C'est très important si des pièces doivent être plaquées.

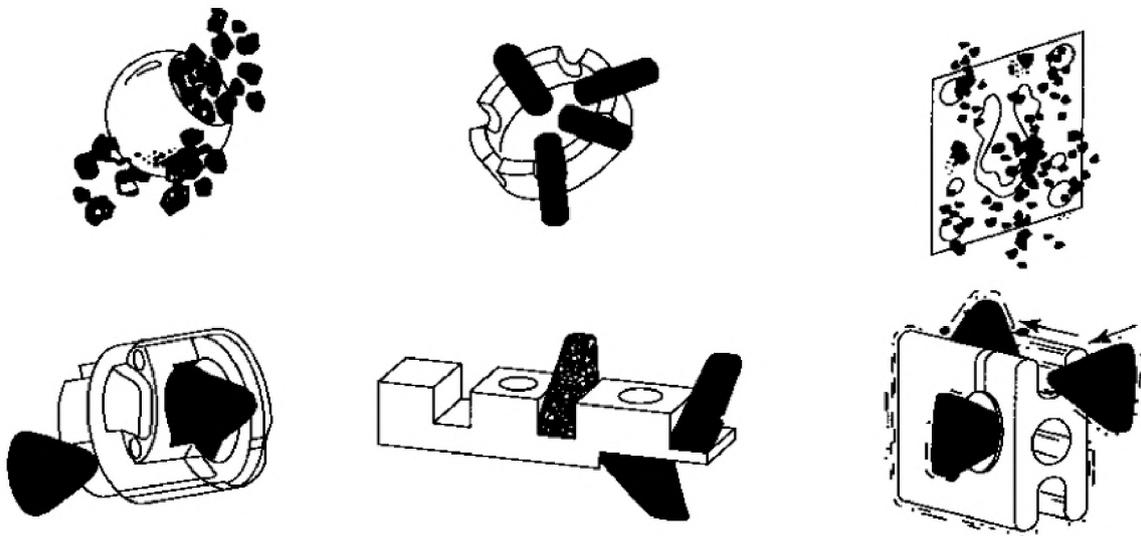


Figure II. 11 Exemple des abrasifs et ses applications

II.2.2 Types de media

Il existe plusieurs types d'abrasifs, le choix se fait en fonction des pièces à traiter, (taille, forme et matériau), type de machine.

Abrasifs en céramiques

L'abrasif en céramique est fabriqué en partant de matières premières spécialement sélectionnées, les matières premières sont mélangées, extrudées et cuites dans un four entièrement automatisé, à la pointe de la technique afin d'assurer une qualité constante et des résultats sans cesse reproductibles.

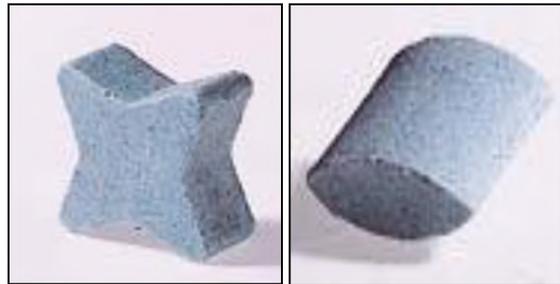


Figure II. 12 Abrasifs céramiques

Abrasifs en plastiques

Les abrasifs en plastiques, L'ensemble du procédé de fabrication, depuis le mélange jusqu'au moulage et à la cuisson, est totalement automatisé. Le processus est commandé par ordinateur et contrôlé en permanence.

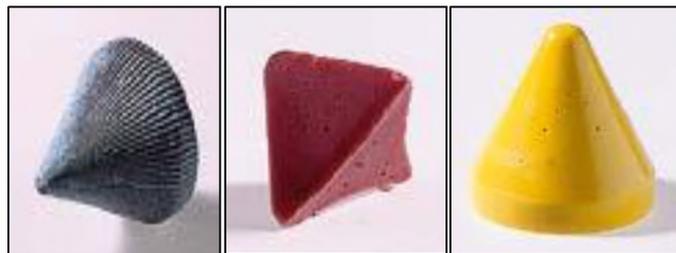


Figure II. 13 Abrasifs en plastiques

CHAPITRE II : Equipements, Medias et additifs chimiques

II.2.3 Forme des medias

Les medias peuvent avoir plusieurs formes, sphère, cône et prisme etc... chaque forme est choisie en fonction de la forme de la forme des pièces.

II.2.4 Masse volumique des medias

Tableau II. 2 Masse volumique des medias

Media	Masse volumique (Kg/m ³)
Coquilles de noix	700
Cylindres en céramique	1500
Billes d'acier	4600
Oxyde d'aluminium poussières abrasives	1900
Media en plastique	900
Épis de maïs	500
Carbure de silicium	1200

Le media lourd exerce plus de pression sur la surface de la pièce traitée que le media léger. Ce poids permet l'intensification du traitement mécanique, mais il cause également de minces couches malléables. Le tableau fournit une comparaison de media commun et leurs poids.

II.2.5 Capacité de media

Une considération la plus importante dans la sélection de media est la capacité du media d'enlever des bavures. Cycle les temps exigés pour réaliser ces résultats sont également critique. Conditions rodage minimum, usage, et les besoins de reclassification, aussi bien que bon amortissement de l'action, sont les caractéristiques souhaitables. La composition interne du media est la source de coupe action, poids, usage, et finitions de surface.

II.3 Additifs chimiques

C'est des produits chimiques qui se présentent sous trois formes, liquide, poudre et pâte. Ils sont utilisés dans le but d'améliorer la dureté et l'état de surface des pièces traités selon le besoin industriel. Pour le cas de la tribofinition il procure à la surface des pièces traités les propriétés mécano-chimiques nécessaire selon le type de l'additifs choisi en tenant comptes des paramètres suivants :

- La qualité de surface souhaité
- Le traitement de surface effectué
- Le matériau traité
- La température dans la chambre de travail
- La forme d'abrasif utilisé
- Le taux de pollution chimique de l'additif



Figure II. 14 Additifs chimiques

II.3.1 Les additifs liquides

Les additifs liquides sont utilisés dans la chambre du travail du vibreur d'une façon diluée. Indépendamment de leurs caractéristiques propres, ils permettent dans une utilisation en machine d'améliorer le travail de la finition mécanique. Ils permettent de garder les propriétés des abrasifs sans les endommagés et il garde aussi les pièces propres ainsi le traitement de finition surfacique sera satisfaisant. [12]

C'est le type le moins polluant et le plus économique ce qui fait de lui le plus utilisé, il permet :

- de refroidir les pièces traitées.
- garder la surface des échantillons propres
- nettoyer les surfaces et les protéger contre la saleté.
- protection contre la corrosion
- le dérouillage des ferreux et le décapage, brillantage des alliages cuivreux



Figure II. 15 Additifs liquides

CHAPITRE II : Equipements, Medias et additifs chimiques

On représente dans le tableau ci-dessous les différentes formules des additifs liquides et leur domaine d'exploitation :

Tableau II. 3 Différents additifs chimiques liquides.

N°	Composition des additifs chimiques	Symbole	Concentration	Domaine d'application
1	Silicate de sodium	[Na ₂ SiO ₃]	20 – 30	Protéger les pièces de la corrosion, conservation de courte durée.
2	Hydroxyde de Sodium	[NaOH]	20	Protéger les pièces de la corrosion, conservation de courte durée.
3	Carbonate de soude	[Na ₂ CO ₃]	20	Protéger les pièces de la corrosion, conservation de courte durée.
4	Nitrate de sodium	[NaNO ₃]	20 – 30	Nettoyage, décalaminage.
5	Hydrate d'oxyde de sodium	[Na ₂ O, H ₂ O]	15	Nettoyage des surfaces épaisses de la calamine
6	Phosphate de Sodium	[Na ₃ PO ₄]	20 – 30	Nettoyage des surfaces épaisses de la calamine.
7	Soude à l'ammoniac	[NH ₃ , NaOH]	20 – 30	Nettoyage des surfaces épaisses de la calamine.
8	Perchlorure de fer	[FeCl ₃]	20 – 10	Assure une couleur éclatante pour l'état de surface.
9	Polyacrylamides	[-CH ₂ - CH - CPOH _{2n}]	10	Assure la brillance du métal.

II.3.2 Les additifs en poudres

Sous forme de poudre les additifs ont un rôle secondaire : on les utilise lorsque d'autres produits ne suffisent pas pour certaines opérations :

- dégraissage massif,
- procédés spéciaux de décapage et de décalaminage,
- augmentation du pouvoir abrasif,
- nettoyage des abrasifs.

Il existe aussi des poudres très fines dont la taille est de l'ordre de la dizaine de nanomètres.

Ces poudres permettent d'obtenir des résultats particulièrement intéressants lorsque l'on recherche un état de surface de très haute qualité. Quelques exemples de ce type d'additifs sont présents dans le tableau suivant.



Figure II. 16 Additifs en poudres

II.3.3 Les additifs en pâte

Les pâtes sont utilisées avec des médias en vibrateurs circulaires et machines à force centrifuge pour obtenir un état de surface lisse et très brillant (finition des surfaces sensibles).

Avec la pâte et les médias, est adapté à tous les problèmes spécifiques car elle peut être utilisé comme pâte de polissage ou d'ébavurage.

Cette même pâte s'accorde à la structure des surfaces et les affine de façon économique en respectant l'environnement.

Les produits en poudre sont l'évolution logique de nos pâtes déjà éprouvées.

Et on en trouve plusieurs types qui se différencient avec le type de matériaux utilisés (Acier, Cuivre, Aluminium, Zinc...) et le travail à faire (Ébarbage, Ébavurage, Rayonnage, Superfinition, Brillantage, Polissage...).

Et parmi les différents types de pate on trouve :

- pâte de polissage,
- pâte d'ébavurage universelle,
- pâte à effet légèrement abrasif,
- pâte de polissage avec brillantage,
- pâte de brillantage pour la finition de pièces pré-polies,
- pâte légèrement abrasive ayant une bonne action de brillantage et de polissage,
- pâte de polissage avec bonne capacité de brillantage,
- produit spécial pour métaux non ferreux et précieux,
- pâte d'ébavurage très et extrêmement mordante.



Figure II. 17 Additifs en pâte

Conclusion

Le choix du vibreur se fait en fonction des pièces à traiter du point de vue dimensions, les medias cités ont un rôle important pour l'obtention de la finition demandée et le choix se fait en fonction de la forme, taille et matériau des pièces à traiter.

Les additifs chimiques sont choisis en fonction du milieu actif et de l'environnement de travail et aussi en fonction des objectifs fixés.

Chapitre III

Conception du vibreur linéaire

Introduction

Le troisième chapitre consacré à la conception des éléments du vibreur linéaire sous le logiciel SOLIDWORKS 2014, tout d'abord on a commencé par l'élément essentiel qui est la chambre de travail, puis les éléments élastiques, et enfin la table et l'armoire électrique.

Ensuite, on a procédé aux calculs analytiques des amplitudes (balourds), ainsi que les éléments élastiques (ressorts en compression).

On a aussi élaboré un schéma cinématique et le graphe des liaisons du vibreur linéaire.

Enfin, on a achevé le chapitre par une simulation numérique (analyse modale et harmonique) des vibrations avec le logiciel ANSYS 17.1.

III.1 conception des éléments du vibreur linéaire

Le vibreur conçu sous le logiciel SOLIDWORKS 2014, est un vibreur linéaire (Voir figure III.1), d'une capacité de 66.74 dm^3 destiné pour le traitement mécanique de surface (tribofinition), le choix de ce type de vibreur (linéaire) est dû aux gabarits de la chambre de travail conçue pour traiter des pièces de petites, moyennes et grandes dimensions.

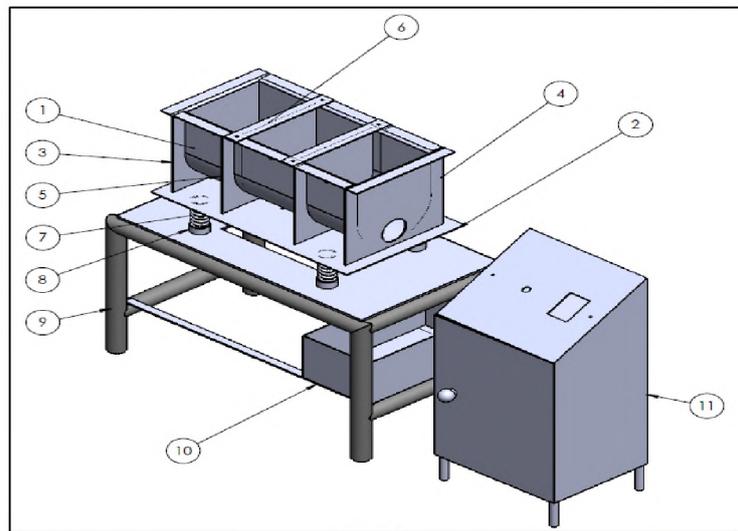


Figure III. 1 Vibreur linéaire sous SOLIDWORKS

1 Cuve - 2 Support de la chambre de travail - 3 Paroi latérale gauche - 4 Paroi latérale droite - 5 Nervure de renforcement - 6 Cloison de séparation - 7 Ressort de compression - 8 Fixation ressort de compression - 9 Table - 10 Bac de lubrification - 11 Armoire électrique.

CHAPITRE III : Conception du vibreur linéaire

III.1.1 Chambre de travail

La chambre de travail conçue est sous forme rectangulaire avec un fond bombé pour avoir une meilleure immersion des pièces pendant le traitement dans la charge abrasive, renforcée par des nervures pour une meilleure rigidité de la structure, compartimenté par des cloisons de séparation pour avoir un traitement de différents matériaux et medias.

La figure ci-après fig.III.2 représente une illustration schématique normalisée de ladite chambre de travail.

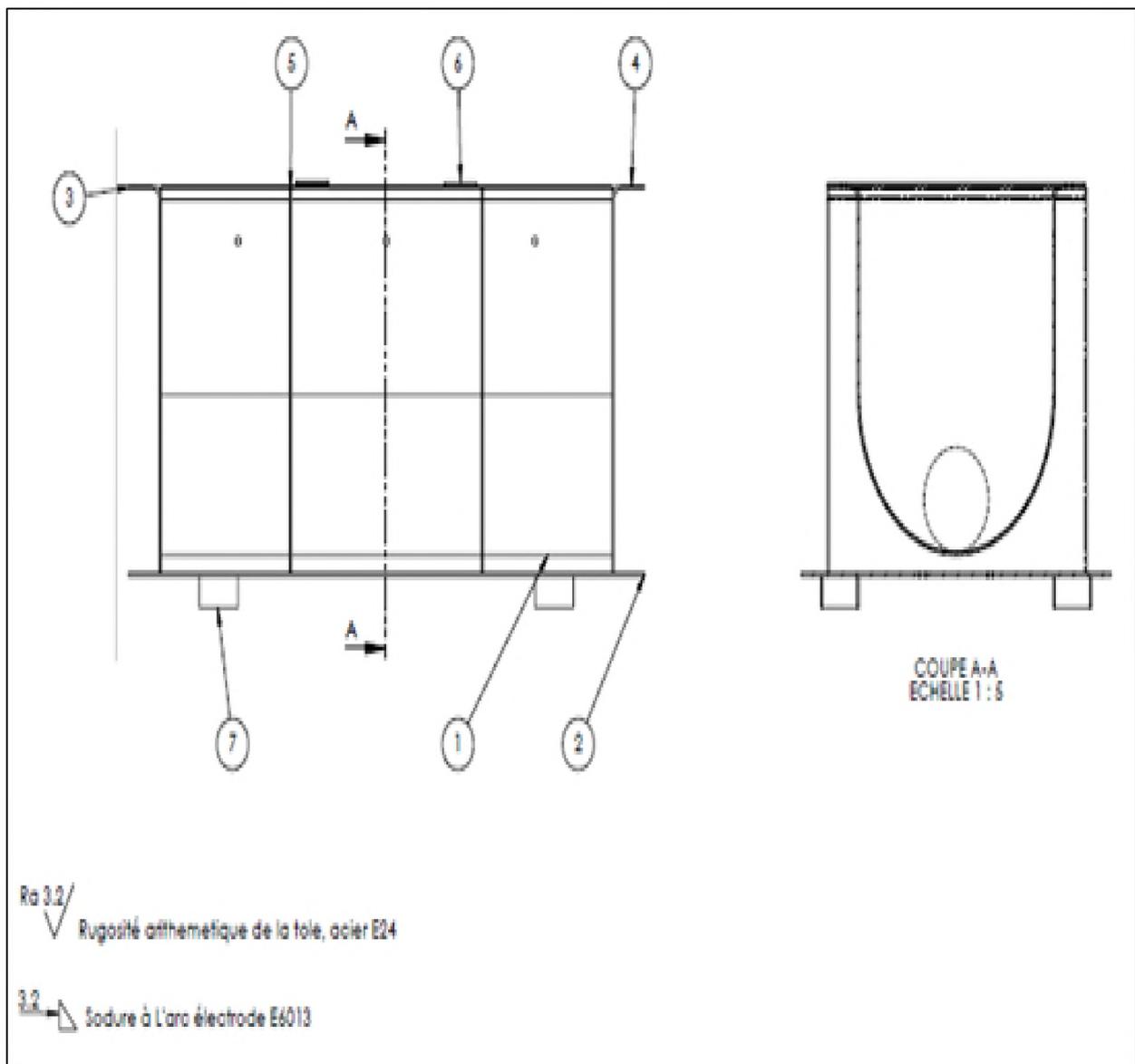


Figure III. 2 Chambre de travail

CHAPITRE III : Conception du vibreur linéaire

Les éléments essentiels de la chambre de travail sont :

III.1.1.1 Cuve nue

La cuve nue réalisée en forme de U, en acier E24 destinée spécialement pour les pièces en mécano-soudée de dimensions $700 \times 300 \times 350 \text{ mm}^3$, percée par trois de diamètre 8mm équidistant de 230mm pour adapter un système de lubrification.

La figure suivante Fig III.3 montre le schéma représentatif de la cuve nue.

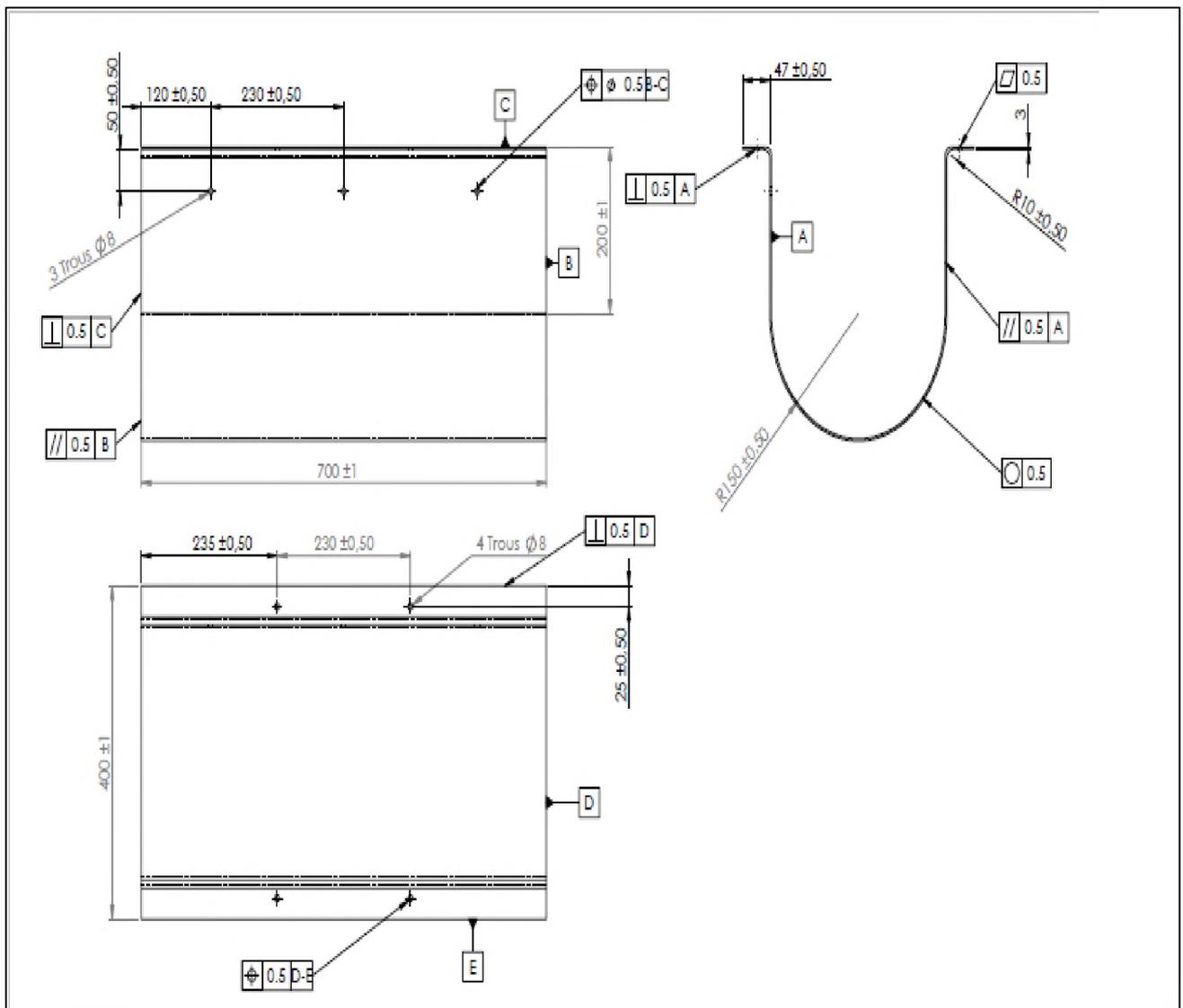


Figure III. 3 Cuve nue

CHAPITRE III : Conception du vibreur linéaire

III.1.1.2 Support de la chambre de travail

La base de la chambre de travail est une tôle rectangulaire de dimensions $800 \times 480 \times 3 \text{ mm}^3$. Percée de quatre trous de diamètre 9mm pour la fixation du moteur à balourds.

Ci-après la figure Fig. III.4 qui représente le support de la chambre de travail

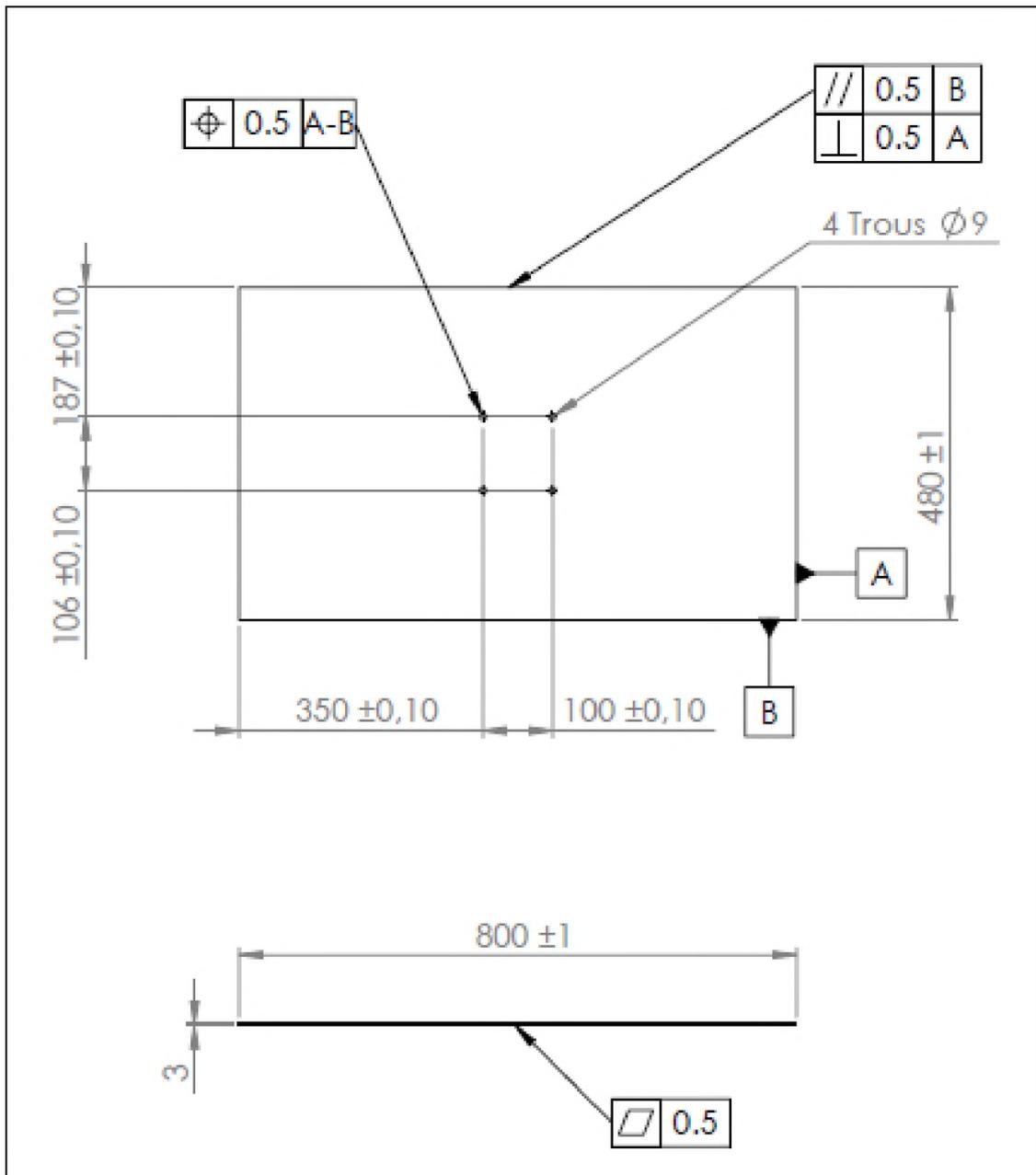


Figure III. 4 Support de la chambre de travail

CHAPITRE III : Conception du vibreur linéaire

III.1.1.3 Parois de la chambre de travail

La fermeture des deux extrémités de la chambre de travail est faite par deux parois de forme rectangulaire et de dimensions $400 \times 370 \text{ mm}^2$, l'une des deux extrémités est munie d'une ouverture en bas de la paroi pour le vidage des abrasifs.

Les figures ci-dessous Fig. III.1.5 et Fig. III.1.6 dévoilent les deux parois de la chambre de travail.

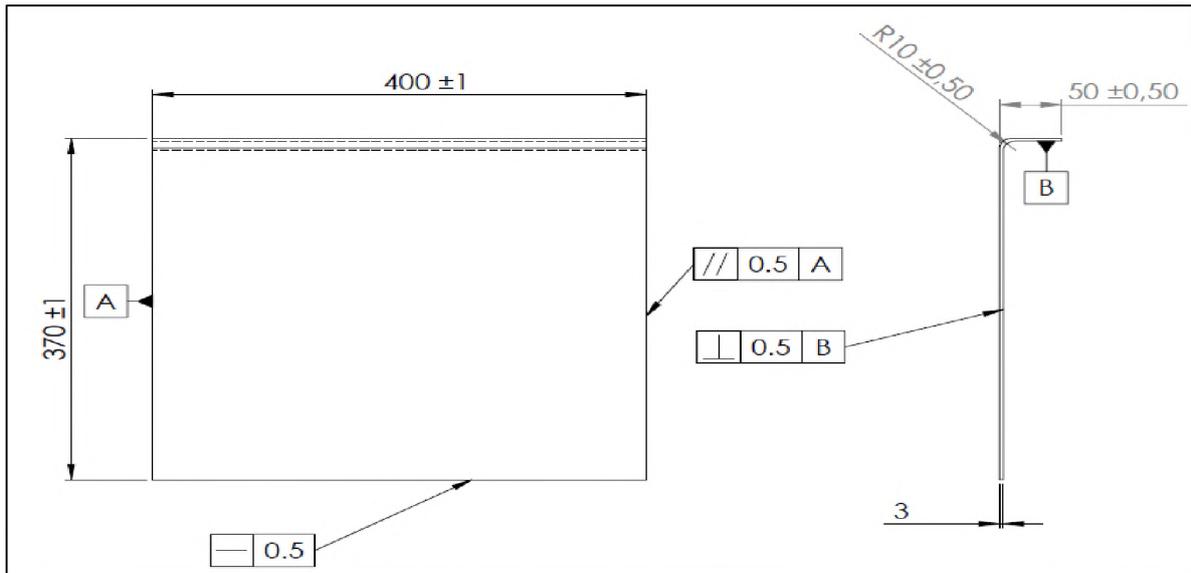


Figure III. 5 Paroi gauche

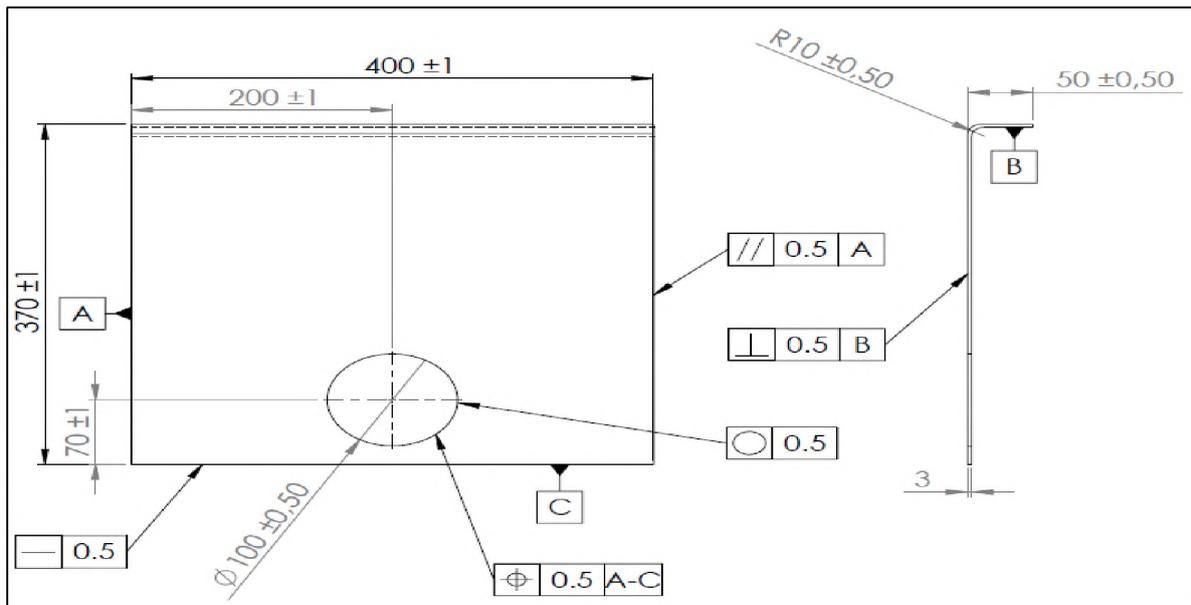


Figure III. 6 Paroi droite

CHAPITRE III : Conception du vibreur linéaire

III.1.1.4 Nervures de renforcement

La chambre de travail est renforcée par deux nervures équidistantes de 300mm.

La figure ci-dessous Fig.III.7 illustre la nervure.

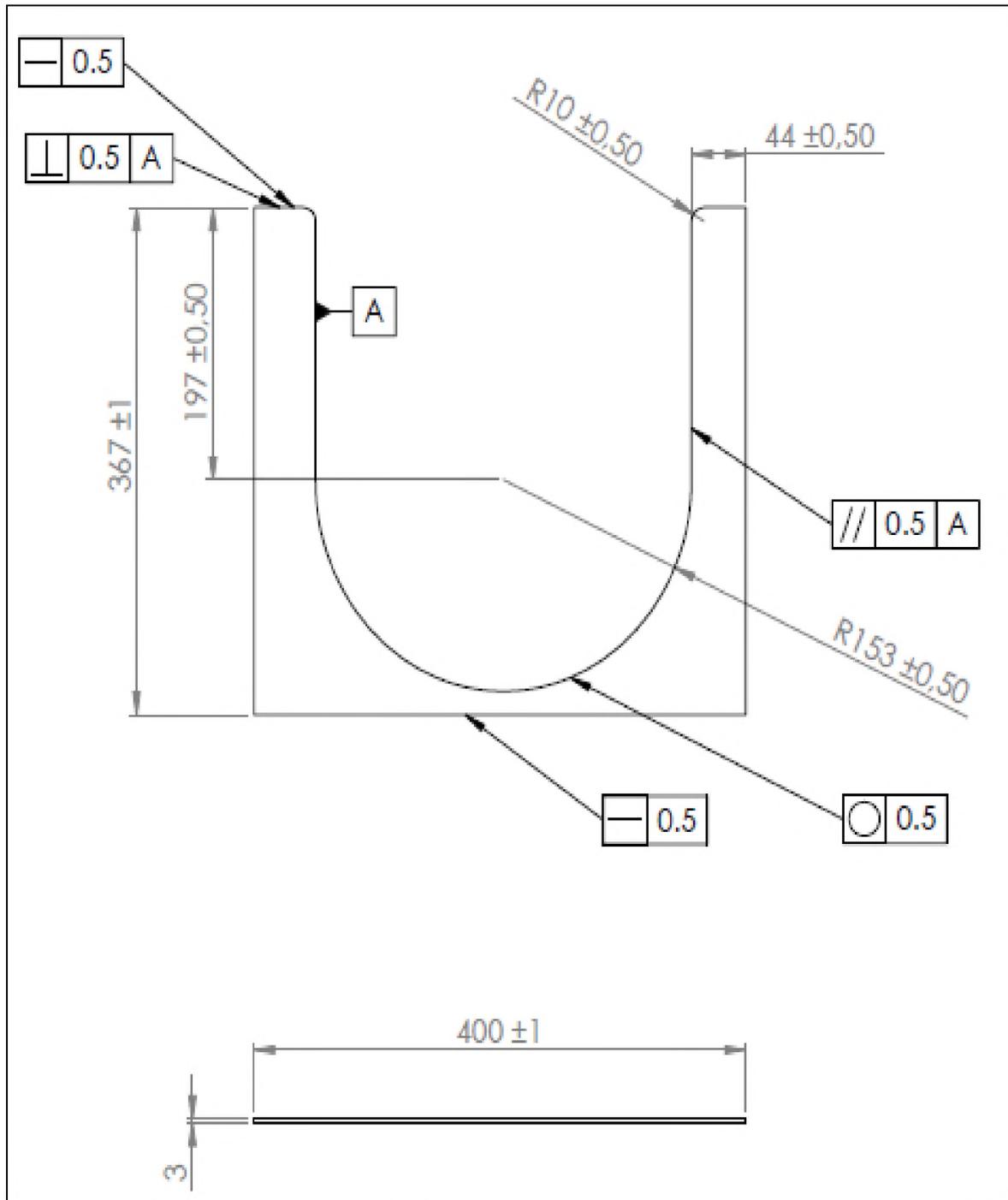


Figure III. 7 Nervure de renforcement

CHAPITRE III : Conception du vibreur linéaire

III.1.1.5 Cloisons de séparation

Deux cloisons équidistantes de séparation ont été installés dans la cuve de travail afin de répartir les pièces et les medias de matériaux différents. Ils sont percés avec des trous de 8 mm pour leur fixation sur la chambre de travail lors du traitement de tribofinition.

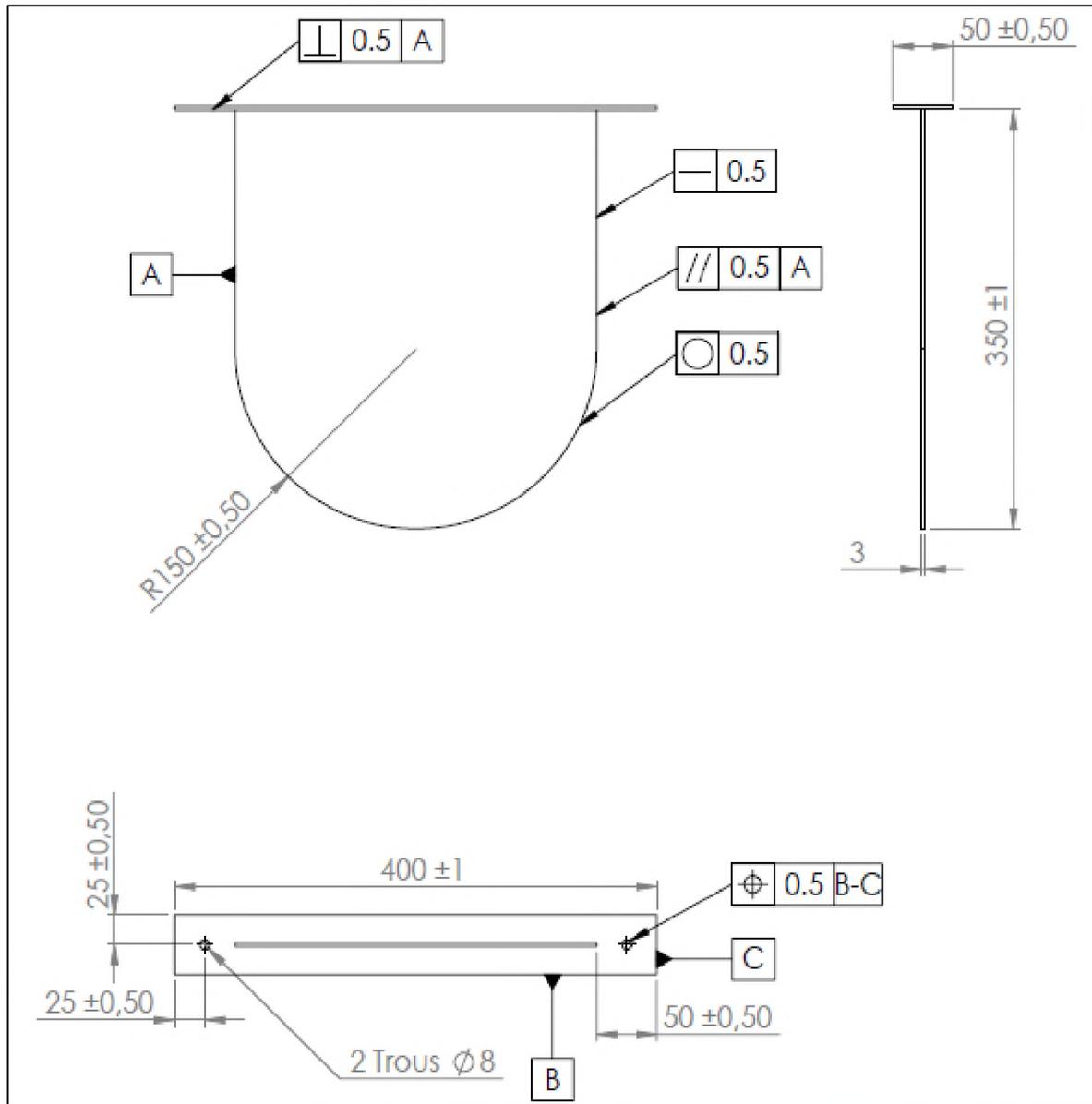


Figure III. 8 Cloison de séparation

CHAPITRE III : Conception du vibreur linéaire

III.1.2 Moteur à balourds

Le moteur électrique à balourds (procuré de la part de U.M.B.B), est essentiellement un moteur avec des masses excentriques aux deux extrémités de l'arbre, destiné pour la vibration. Ce moteur est caractérisé par différentes caractéristiques dimensionnelles, mécaniques et électriques.

La figure suivante Fig.III.9 illustre le moteur à balourds MVSI 3/100-S90

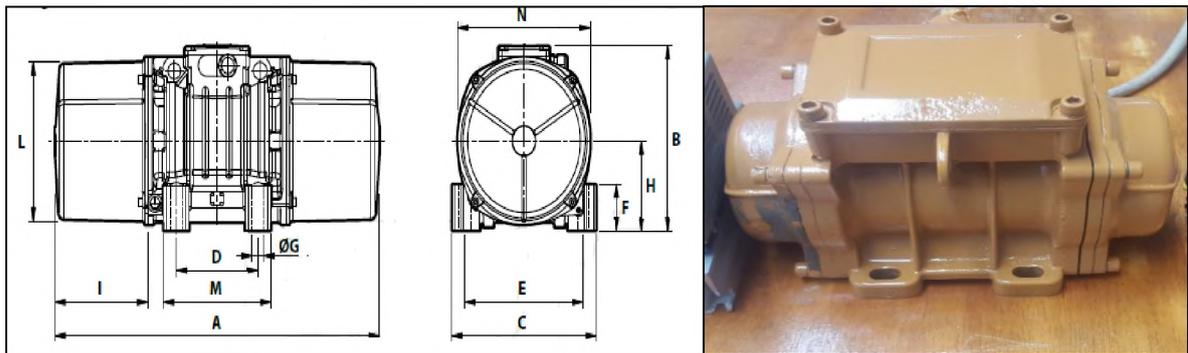


Figure III. 9 Moteur à balourds

Caractéristiques dimensionnelles

Tableau III. 1 Caractéristiques dimensionnelles de moteur MVSI

A	B	C	D	E	G	H	F	I	L	M	N
211	153	125	72/64	106	9	24	61	46	103	100	117

Caractéristiques mécaniques :

- Force centrifuge 0.981 KN
- Vitesse de rotation 3000tr/min
- Poids 4.3 Kg

Caractéristiques électriques :

- Puissance du moteur jusqu'à 0.97 KW
- La tension d'alimentation monophasé 220/240 V
- La tension d'alimentation triphasé 380/415 V
- Le courant en fonction de la tension 2 A

CHAPITRE III : Conception du vibreur linéaire

Balourds

Les balourds sont des masselottes, fabriqués en alliage de bronze avec la nuance 28Cr4 montés sur un arbre clavetté, pour transmettre le mouvement et générer les vibrations.

Les masselottes du balourd sont réglables sur une plaque circulaire graduée de 0 à 100 %, chaque côté de l'arbre contient six masselottes de masse de 55 grammes. Ils sont bloqués axialement d'un côté par un épaulement et de l'autre côté par un écrou à frein.

L'amplitude est déterminée en fonction du réglage des masselottes, elle est minimale lorsqu'elles sont alignées sur le même axe, elles peuvent être désaxées à un certain angle jusqu'au où toutes les masselottes sont montées les unes sur les autres pour atteindre l'amplitude maximale.

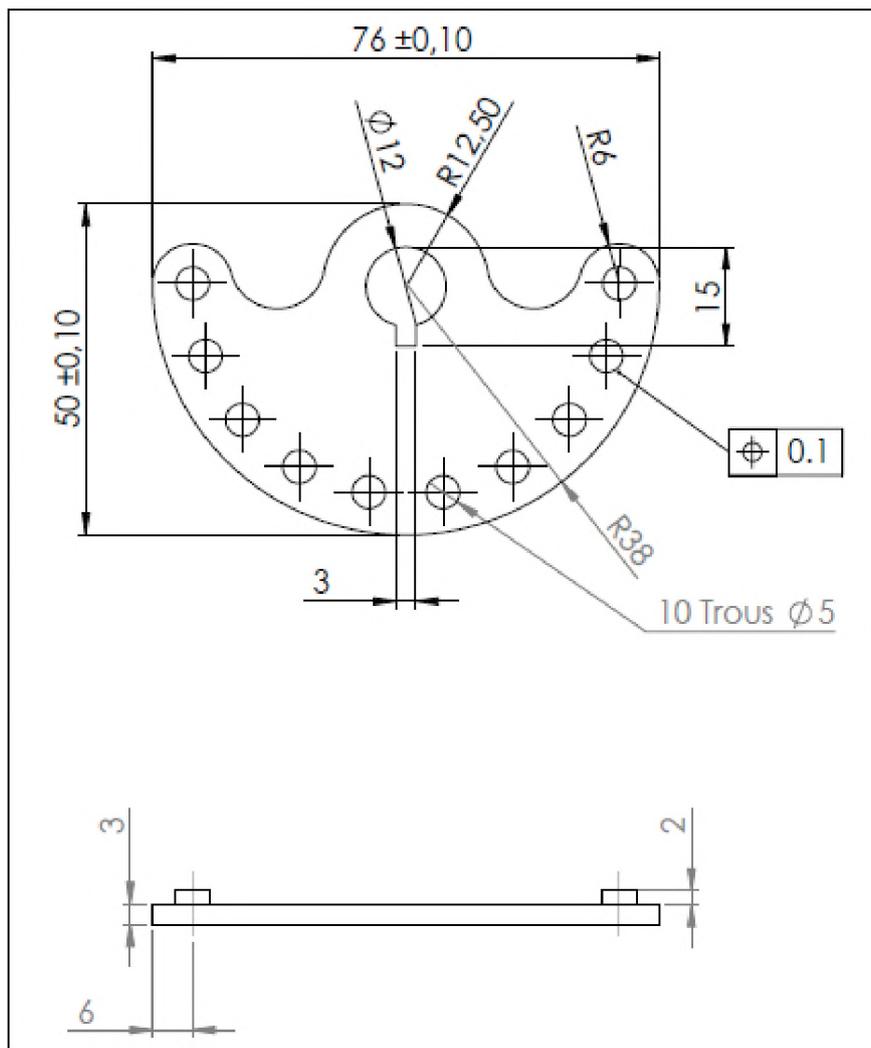


Figure III. 10 Masselotte

CHAPITRE III : Conception du vibreur linéaire

Calcul d'amplitude

L'amplitude est donnée par la formule suivante :

$$\text{Amplitude} = \frac{F_c}{0,615 \cdot \left(\frac{\text{CPM}}{1000}\right)^2 \cdot m} \cdot \frac{1}{G} \quad (\text{III.1})$$

Avec

CPM (Cycles per minute) = fréquence (tr/min)

F_c : Force centrifuge (N)

m : Masse du moteur(kg)

G : Constante gravitationnelle (m/s)

On a pour la fréquence de 50Hz, la force centrifuge et la masse du moteur sont de 981 N et 4.3 Kg respectivement. [22]

On calcule CPM :

On a

$$1\text{Hz} = \frac{1\text{CPM}}{60} \quad (\text{III.2})$$

Application numérique :

$$\text{CPM} = 50 * 60 = 3000$$

$$\text{Amplitude} = \frac{981}{0,615 \cdot \left(\frac{3000}{1000}\right)^2 \cdot 4,3} \cdot \frac{1}{9,81} \cong 4.20\text{mm}$$

III.1.3 Eléments élastiques (ressorts de compression)

Un ressort est un organe ou pièce mécanique qui utilise les propriétés élastiques de certains matériaux pour absorber de l'énergie mécanique, produire un mouvement, ou exercer un effort ou un couple.

La chambre de travail est montée sur des éléments élastiques (ressorts de compression) guidés par des tubes en acier dans le but d'amortir les vibrations avec des plots en caoutchouc pour isoler la structure vibrante de la table.

CHAPITRE III : Conception du vibreur linéaire

La figure III.11 ci-après montre le schéma des ressorts de compression.

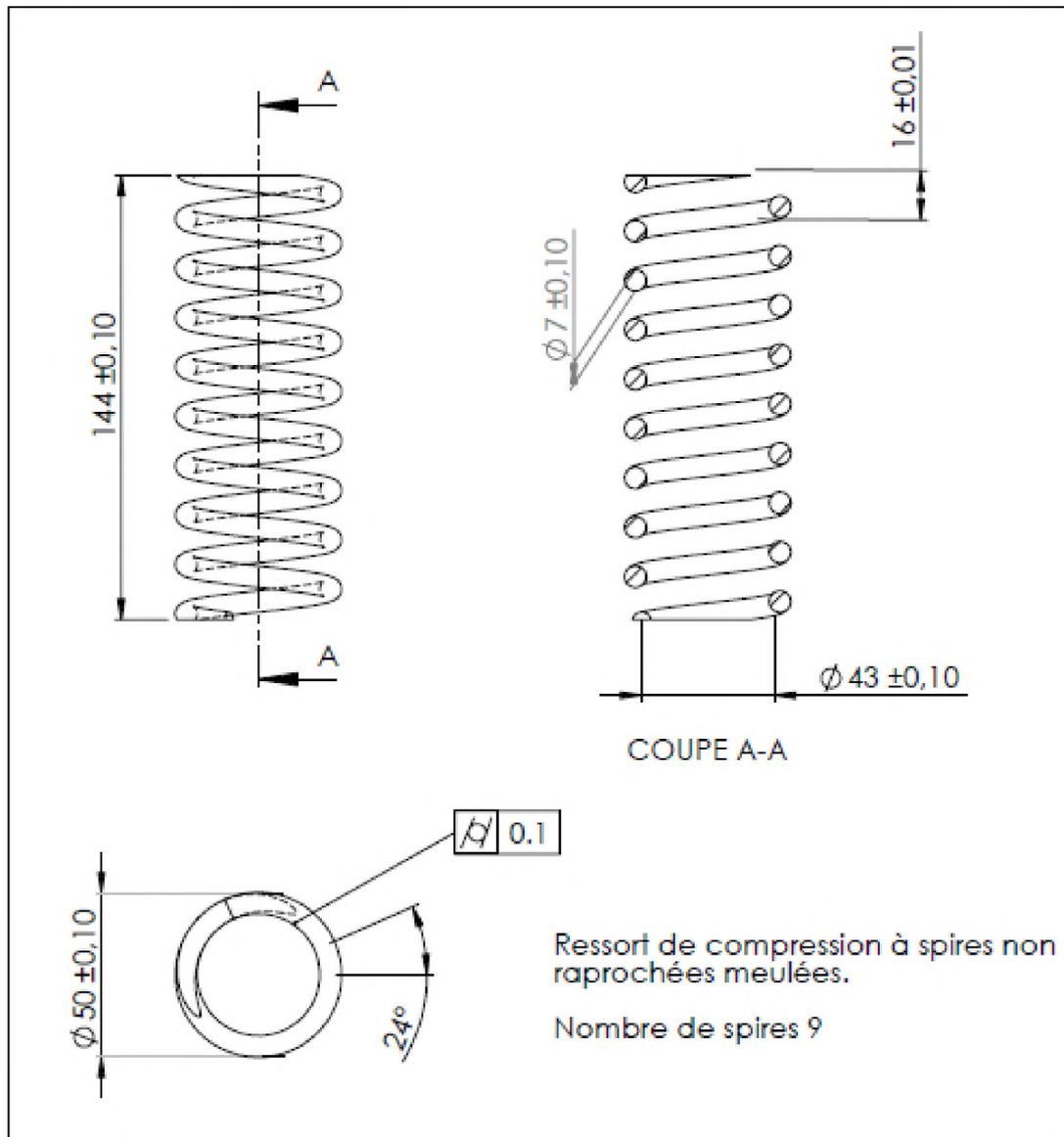


Figure III. 11 Ressort de compression

CHAPITRE III : Conception du vibreur linéaire

Principe et représentation normalisée (NF ISO 2162)

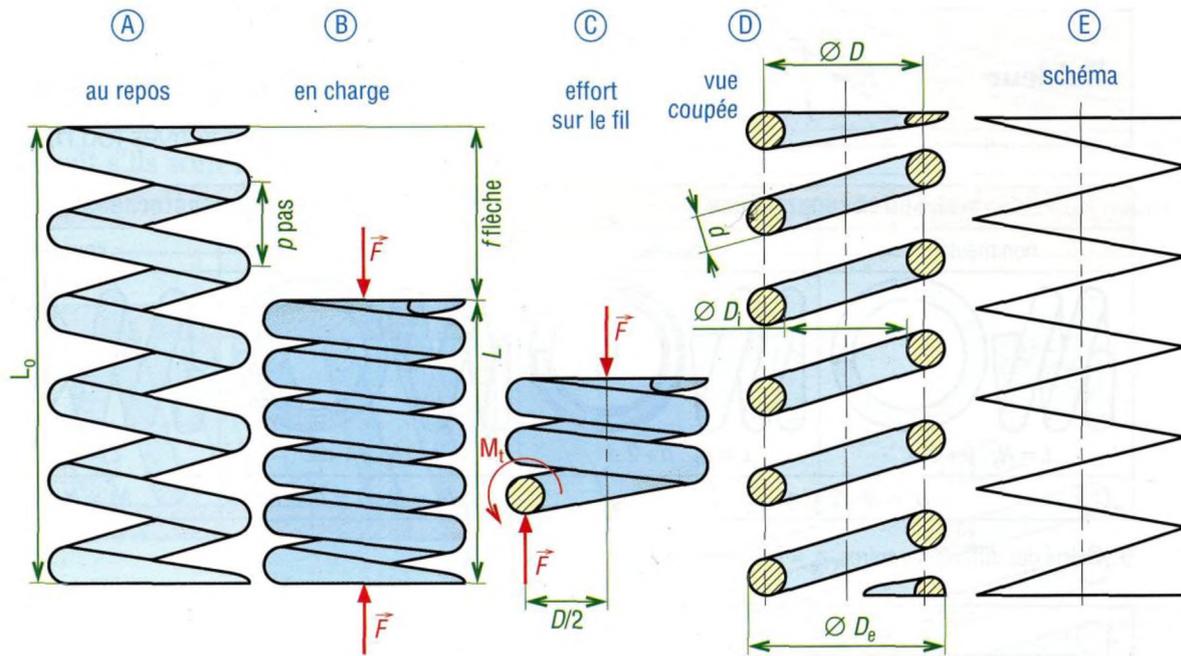


Figure III. 12 Ressort de compression cylindrique [18]

Les spires deviennent jointives, en contact les unes avec les autres, en cas de surcharge, le ressort réagit comme une pièce « solide », ce qui le protège de la rupture.

Calculs et formules utiles

Les formules suivantes sont obtenues en résistance des matériaux « cas de la torsion ». Le fil enroulé supporte un couple de torsion $M_t = F \cdot D/2$. [18]

Flèche :

$$f = \frac{8 \cdot N_a \cdot F \cdot D^3}{G \cdot d^4} \quad (\text{III.3})$$

CHAPITRE III : Conception du vibreur linéaire

Raideur

$$K = \frac{F}{f} = \frac{G.d^4}{8.N_a.D^3} \quad (\text{III.4})$$

Avec

f : L-L₀ = Flèche du ressort en mm

F : Charge appliquée en N

D : Diamètre d'enroulement en mm

d : Diamètre du fil en mm

G : Module d'élasticité transversal du matériau (G - 80 000 N/mm² pour les aciers)

K : Raideur ou rigidité du ressort en N/mm

N_a : Nombre de spires actives (ou n) ou utiles.

Principaux matériaux pour ressorts

Les aciers (bruts, zingués, étamés, etc.) sont les plus utilisés. Leur résistance varie avec la taille et le procédé d'obtention.

Principaux matériaux pour ressorts						
matériau	indice prix	diamètres fils mm	températures maxi °C	E N/mm ²	G N/mm ²	observations
C 60 à C 70 roulé	1	0,05 à 12	120	206 000	81 500	pour solutions économiques
C 60 à C 70 trempé-revenu	1,4	3 à 12	180	206 000	81 500	remplace les C80-C95 au gros diamètres
C 80 à C 95 (corde à piano)	2,5	0,12 à 3	120	206 000	81 500	pour petits ressorts, les plus résistants et les plus tenaces
aciers au chrome-vanadium 50CrV4 51CrMoV4	3	0,5 à 17	220	206 000	78 500	endurants, résistent à la fatigue, supportent des contraintes et des chocs plus élevés que les XC
aciers au chrome-silicium 56SiCr7 61SiCr7	4	0,5 à 12	250	206 000	78 500	pour haute résistance, résistent à la fatigue et aux chocs élevés, longues durées de vie
aciers inox X10CrNi18-10 X7CrNiAl17-7	7 à 11	0,2 à 10	350	195 000	73 000	résistent à la corrosion et aux températures élevées
cuivreux CuBe2, CuCo2Be	8 à 27			120 000	47 000	résistent à la corrosion, bonne conductivité électrique
alliages de nickel Monel, Inconel...	≈ 40			195 000	70 000	résistent à la corrosion, aux hautes et aux basses températures, sont non magnétiques

Figure III. 13 Principaux matériaux pour ressorts. [18]

CHAPITRE III : Conception du vibreur linéaire

III.1.4 Table avec bac de lubrification

La table ou le support est composé de quatre pieds sous forme tubulaire de 50 mm sur laquelle repose la chambre de travail par l'intermédiaire des ressorts de compression sert de support, pour le vibreur linéaire. Les vibrations sont isolées de la table par des ressorts de compression qui sont montés sur des plots élastiques qui absorbe le maximum de vibration.

La table est conçue d'une façon à assurer la stabilité de la chambre de travail. Une trappe rectangulaire a été envisagé dans le but de laisser assez d'espace pour l'emplacement du moteur à balourd. Elle est ouverte de tous les côtés afin de faciliter le réglage du balourd du moteur et effectuer la maintenance préventive et corrective en cas de besoin.

Un bac de lubrification d'une dimension de 450X270X200 mm³ est soudé sous la table pour alimenter en goutte à goutte la chambre de travail en eau industrielle + additifs chimiques.

La figure suivante Figure III.14 illustre la table conçue sous SOLIDWORKS 2014

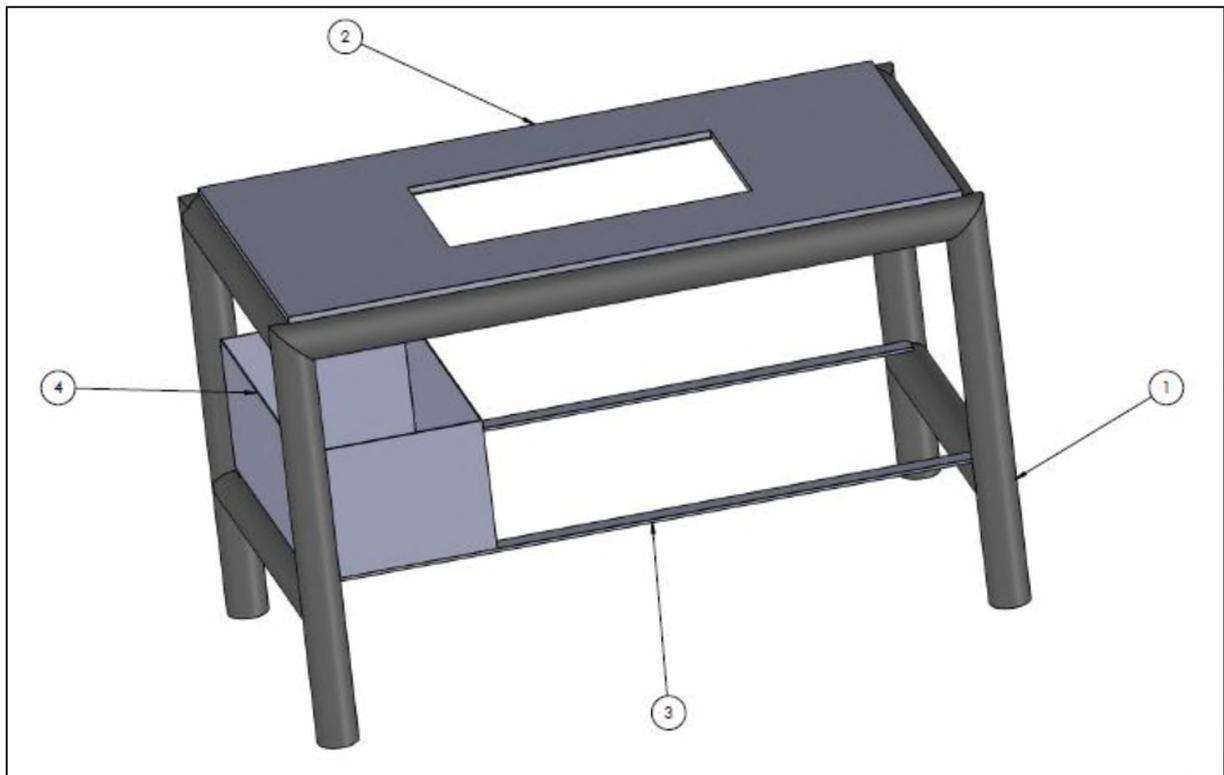


Figure III. 14 Table conçue sous SOLIDWORKS

Avec

1 Pieds de la table 2 Support de la table 3 Fer plat de renforcement 4 Bac de lubrification

III.1.5 Armoire électrique

L'armoire électrique a pour rôle d'alimenter le moteur par un courant électrique monophasique de 220V ou triphasique de 380V, elle est composée d'un bouton poussoir de mise en marche et d'arrêt et d'un variateur de fréquence afin d'augmenter ou de diminuer la fréquence de rotation ce qui représente techniquement en vibration le nombre d'impact par seconde.

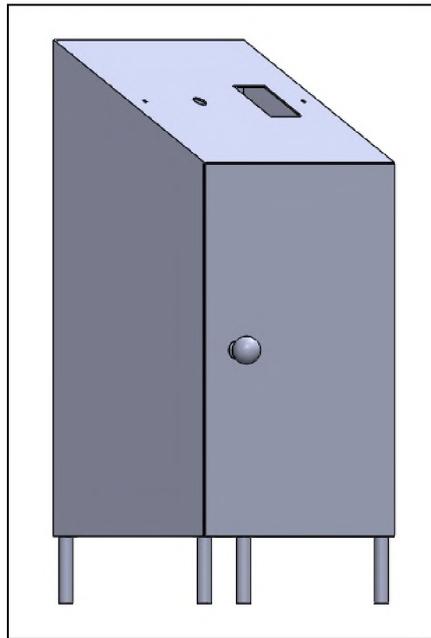


Figure III. 15 Armoire électrique conçue sous SOLIDWORKS

Elle a été conçue de façon à ce qu'elle puisse commander le moteur à balourd à travers le variateur d'une manière simple et pratique. Une chambre à l'intérieur de cette armoire électrique a été envisagée comme réservoir pour les medias de la chambre de travail une fois le traitement mécanique de surface est achevé, ce qui fait l'ingéniosité et l'innovation de la conception de cette armoire électrique.

III.2 Schéma cinématique et graphe de liaison

Le schéma cinématique est une représentation simplifiée et codée du mécanisme, qui ne tient compte ni des formes, ni des dimensions du mécanisme, et qui obéit à une norme. Il traduit de façon simple le fonctionnement cinématique du mécanisme et il est utilisé en :

- Analyse pour appréhender rapidement le fonctionnement.
- Conception pour exprimer rapidement la solution technique liée à une fonction de service.

III.2.1 Graphe de liaison

C'est un modèle cinématique du mécanisme c'est à dire une interprétation en termes de mouvements relatifs possibles entre pièces.

-Groupe 1 : le sol -Groupe 2 : la pompe -Groupe 3 : la table -Groupe 4 : ressorts -Groupe 5 : moteur -Groupe 6 : la chambre de travail.

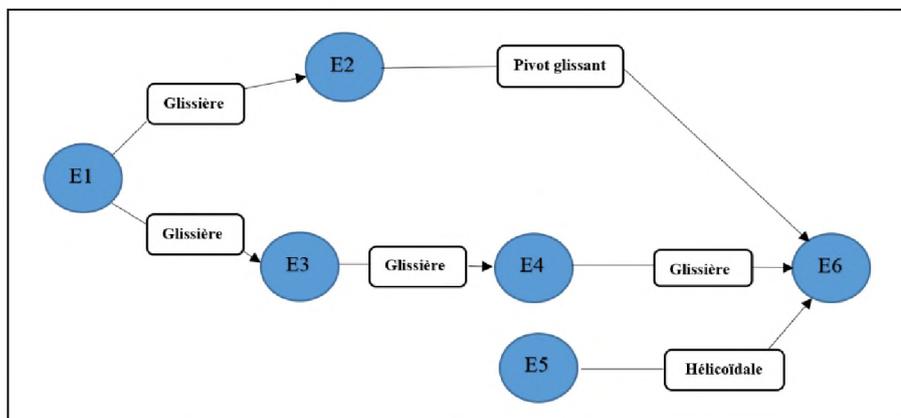
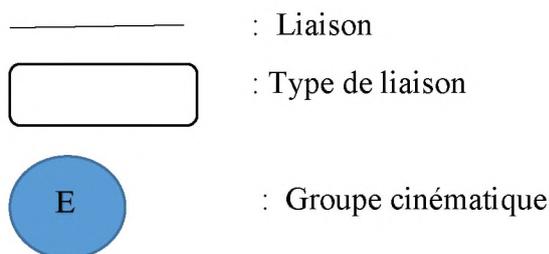


Figure III. 16 graphe de liaison du vibreur linéaire



III.2.2 Schéma cinématique du vibreur

Le mouvement commence par la rotation de l'arbre du moteur sur lequel les balourds sont montés sur ses extrémités, le réglage de la position des balourds mobiles par rapport aux balourds fixes nous donne le mode et l'amplitude de vibration. Les vibrations sont transmises directement à la chambre du travail où se trouvent le milieu actif composé de medias et pièces à traiter.

Afin d'avoir un traitement complet, on ajoute de l'eau et d'additif chimique, pour cela on envisage un système de lubrification nécessaire.

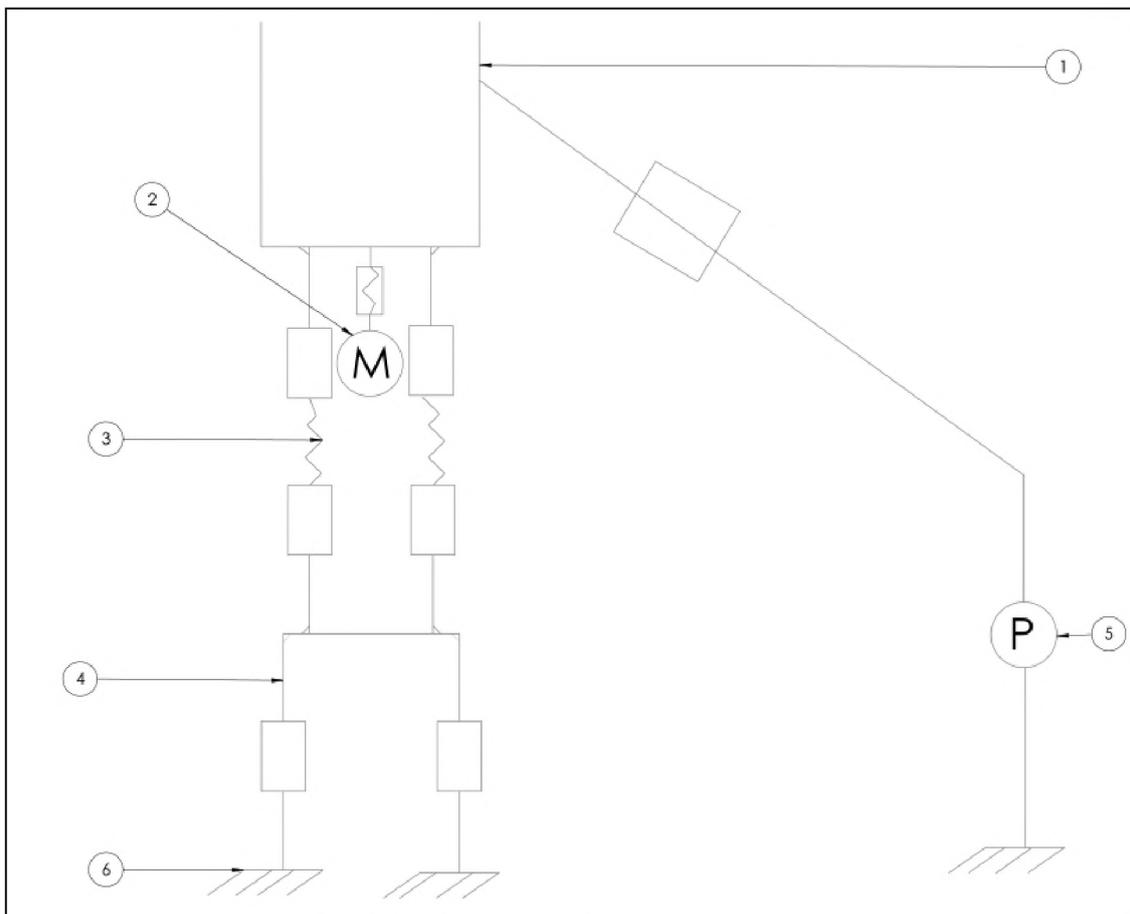


Figure III. 17 Schéma cinématique du vibreur

Avec :

-1. La chambre de travail -2. Moteur-3. Ressort -4. Table -5. Pompe -6. Le sol

III.3 Simulation des vibrations

La simulation des vibrations a été faite sous le logiciel ANSYS 17.1 conçu pour l'étude des structures et des fluides en mécanique, le calcul numérique se fait par la méthode des éléments finis. Les outils proposés permettent de résoudre les problèmes de vibration et de structure. Ils permettent d'optimiser le processus de conception (gain de temps énorme).

Dans cette partie du chapitre (simulation) dans un premier temps on commence par la détermination des modes et fréquences propres.

Dans un second temps, on passe au calcul des amplitudes, vitesses et accélération en fonction de la fréquence de service.

III.3.1 Etapes de la simulation

La simulation avec ANSYS WORKBENCH se déroule selon les étapes suivantes :

1- Choix de l'analyse

La détermination par simulation des modes et fréquences propres se fait par l'analyse modale.

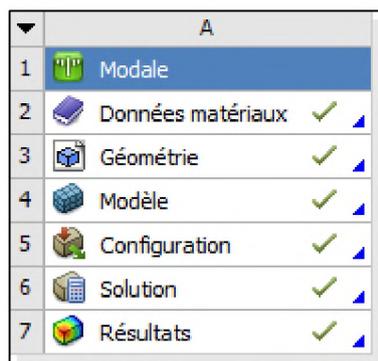


Figure III. 18 Choix de l'analyse modale

CHAPITRE III : Conception du vibreur linéaire

2- Choix du matériau

Dans cette phase, on a introduit les propriétés mécaniques du matériau acier E24 de la chambre de travail ci-dessous :

Masse volumique 7850 Kg/m³

Module de Young 200 GPa

Coefficient de Poisson 0.3

Module de compressibilité 166.67 GPa

Module de cisaillement 76.923 GPa

The image shows a software interface with a tree view on the left and two data tables on the right. The tree view has seven items: 'Modale', 'Données matériaux', 'Géométrie', 'Modèle', 'Configuration', 'Solution', and 'Résultats'. The 'Données matériaux' item is selected. The top table, titled 'Arborescence de Schéma A2 : Données matériaux', shows a hierarchy where 'Acier standard' is selected under 'Material'. The bottom table, titled 'Propriétés de Ligne d'arborescence 3 : Acier standard', lists material properties with their values and units.

	A	B	C	D	E
1	Contenu de Données matériaux	Source	Description		
2	Material				
3	Acier standard	Les données de fatigue à niveau de contrainte moyenne nul sont tirées du ASME BPV Code 1998, Section 8, Div. 2, Table 5-110.1			
*	Cliquez ici pour ajouter un nouveau matériau.				

	A	B	C	D	E
1	Propriété	Valeur	Unité		
2	Masse volumique	7850	kg m ⁻³		
3	Coefficient isotrope sécant de dilatation thermique				
6	Elasticité isotrope				
7	Dériver de	Module de You...			
8	Module de Young	2E+11	Pa		
9	Coefficient de Poisson	0,3			
10	Module de compressibilité	1,6667E+11	Pa		
11	Module de cisaillement	7,6923E+10	Pa		

Figure III. 19 Données du matériau

3- Importation de la géométrie

Dans cette étape, on importe la géométrie de la chambre de travail du logiciel SOLIDWORKS vers le logiciel ANSYS.

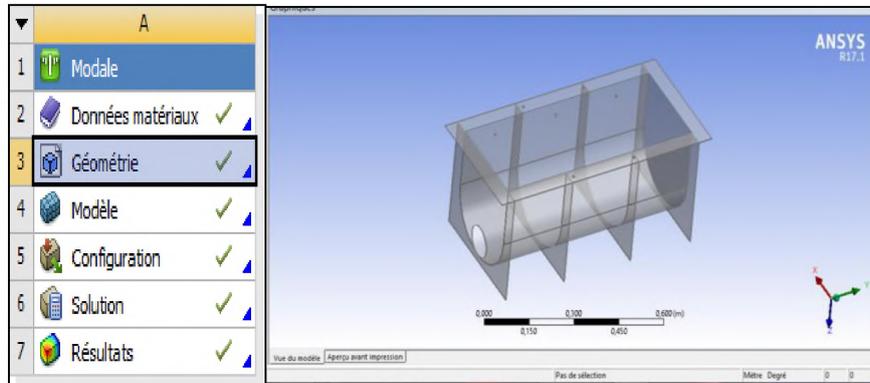


Figure III. 20 Insertion de la géométrie

4- Maillage de la géométrie

Cette étape de la simulation consiste à discrétiser la géométrie en un nombre convenable d'éléments et de nœuds.

Le maillage a été effectué avec des éléments triangulaires car ils sont les plus convenables et précis vue les discontinuités la géométrie courbée de la chambre.

Le nombre d'éléments à partir duquel la solution est convergente est de l'ordre de 10^5 éléments.

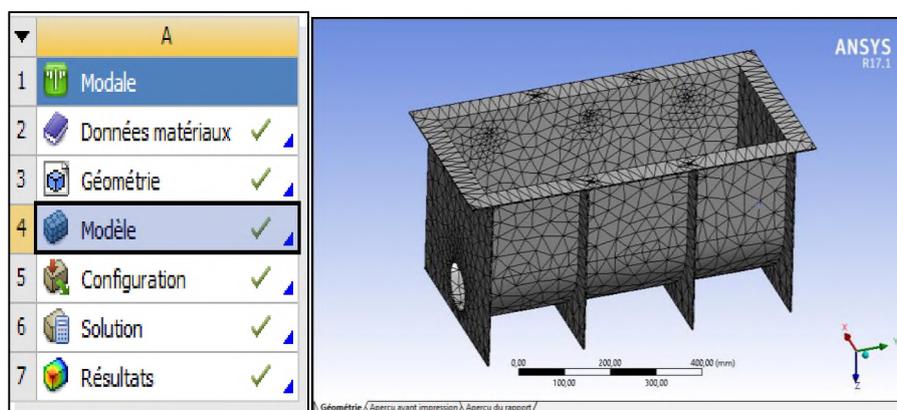


Figure III. 21 Le maillage

CHAPITRE III : Conception du vibreur linéaire

5- Insertion des conditions aux limites :

Après le maillage de la géométrie, on passe à l'introduction des conditions aux limites tout en précisant les nœuds supposés fixes en déplacement de la chambre du travail en l'occurrence les nœuds qui se situent sur la partie inférieure de la cuve.

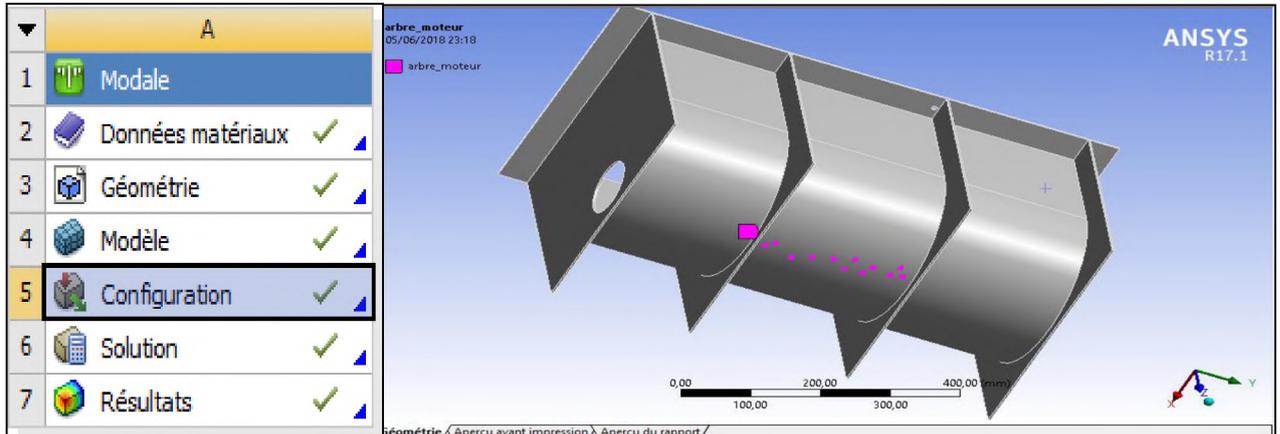


Figure III. 22 Conditions aux limites (fixation des nœuds)

6- Résolution du problème

Après l'introduction des données nécessaires du matériau, le maillage et les conditions aux limites, on passe à la résolution du problème par la méthode des éléments finis.

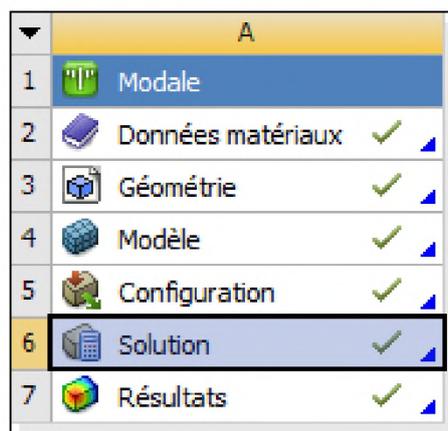


Figure III. 23 Résolution du problème

III.3.2 Résultats et interprétations

La simulation est basée sur deux analyses, la première est nommée analyse modale qui sert à la détermination des modes et fréquences propres de la structure, la deuxième représente la réponse aux vibration engendré par le moteur à balourds (analyse vibratoire).

III.3.2.1 Modes et fréquences propres

Le déplacement est représenté des valeurs min et max allant de 5.581 jusqu'à 6.808 mm, voir figure III.24.

Mode 1

Le nombre de modes propres pour cette structure (Chambre de travail) est infinie, on s'intéresse aux modes les plus proches des vibrations réelles de la chambre de travail.

La fréquence propre du premier mode est de l'ordre de 6×10^{-3} Hz

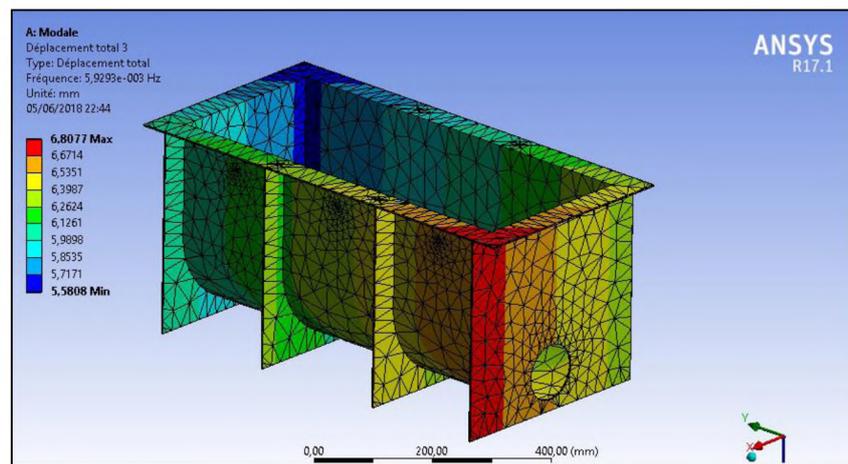


Figure III. 24 Mode 1

Mode 2

La fréquence propre du deuxième mode est de 93.158 Hz

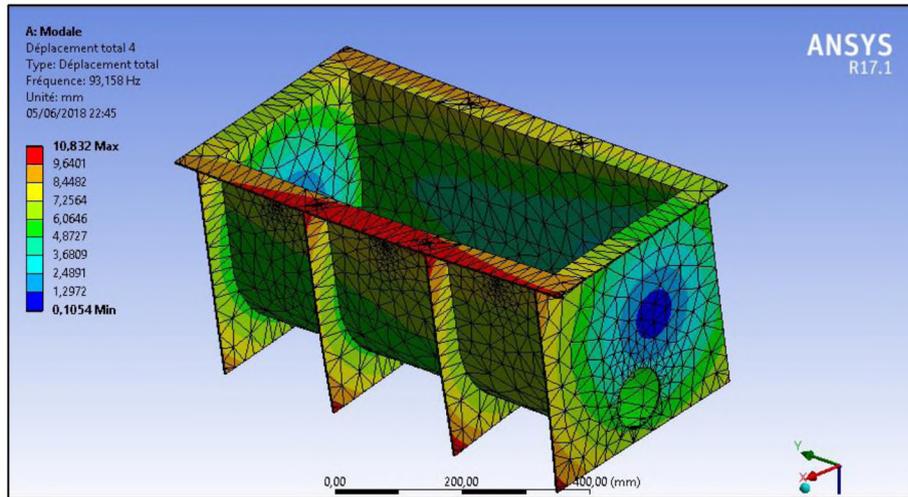


Figure III. 25 Mode 2

Mode 3

La fréquence propre du troisième mode est de 153.76 Hz

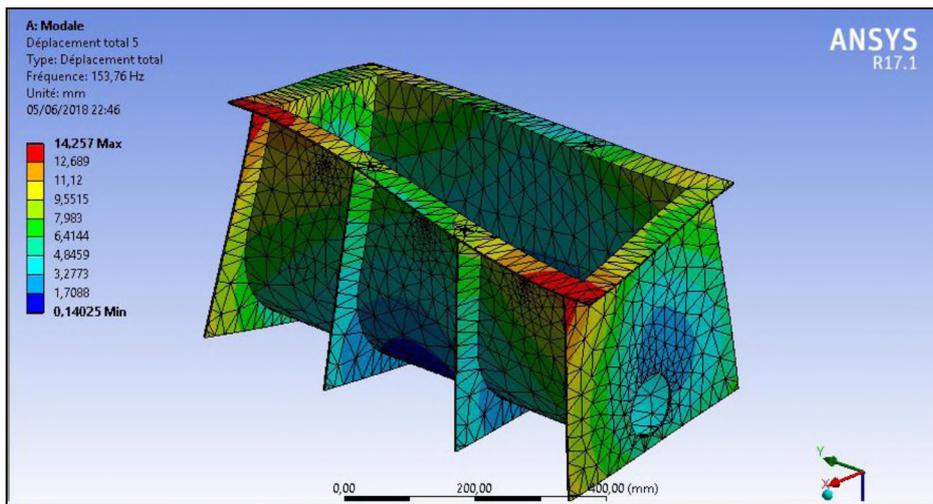


Figure III. 26 Mode 3

Mode 4

La fréquence propre du quatrième mode est de 177.96 Hz

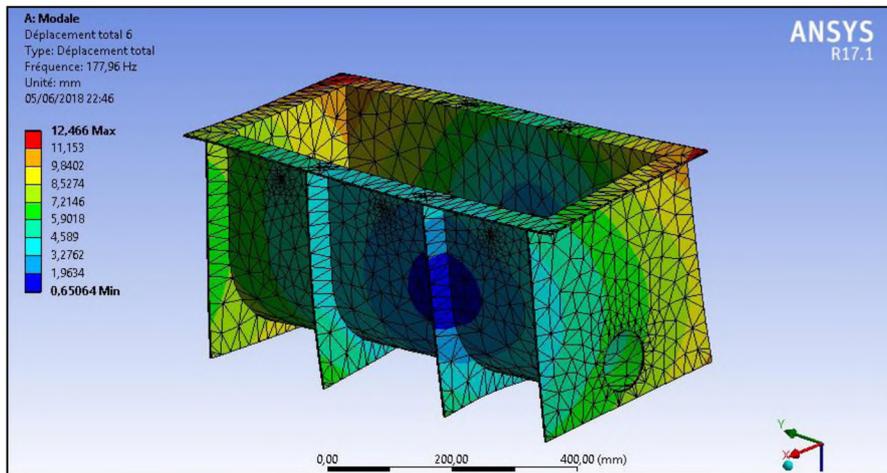


Figure III. 27 Mode 4

Interprétation des résultats

En négligeons les valeurs nulles des fréquences propres données par la simulation et on prenons en considération que les valeurs comprise dans l'intervalle [0-120] Hz en constate que :

L'analyse modale a abouti à quatre modes propres proche des modes de vibrations réels de la structure, le mode 2 décrit parfaitement le mouvement vibratoire de la chambre de travail.

Les fréquences propres associés à ces modes sont à éviter de façon primordiale lors du réglage de la fréquence de vibration avec le variateur de fréquence afin d'éviter le phénomène de résonance (destruction de la structure).

CHAPITRE III : Conception du vibreur linéaire

Tableau III. 2 Tableau des fréquences et modes propres

Mode Propre	1	2	3	4
Fréquence propre (Hz)	6×10^{-3}	93.158	153.76	177.96
Déplacement maximal (mm)	6.808	10.832	14.257	12.466
Déplacement minimale (mm)	5.581	0.105	0.140	0.651

- La première fréquence propre est très faible, on a remarqué ça lors des essais sur le vibreur linéaire lorsqu'il était sur le point de s'arrêter par une vibration excessive de la chambre de travail dans un laps de temps assez réduit ce qui ne laisse pas la durée nécessaire pour la destruction de la structure.
- La deuxième fréquence propre correspond au mode de vibration réel de la chambre de travail, elle est de 93.158, comprise dans l'intervalle 0-120 Hz de notre variateur de fréquence ce qui fait d'elle la plus dangereuse pour notre structure, il faut absolument l'éviter.
- Les deux dernières fréquences propres sont en dehors de l'intervalle du variateur de fréquence ALTIVAR-08, ce qui est plus au moins sûr concernant la sécurité de la structure du vibreur linéaire.

III.3.2.2 Amplitude, Vitesse et Accélération

Après la détermination des modes et fréquence propres, on passe à la deuxième simulation concernant les paramètres liés aux vibrations, en l'occurrence l'amplitude d'impact, la vitesse et l'accélération des medias.

Les conditions aux limites qui seront appliquée dans cette analyse sont liées à l'excitation produite par le moteur à balourds (force excitatrice).

1 L'amplitude

Après simulation de la réponse vibratoire de la chambre du travail, on a obtenu des amplitudes en fonction des fréquences de vibration.

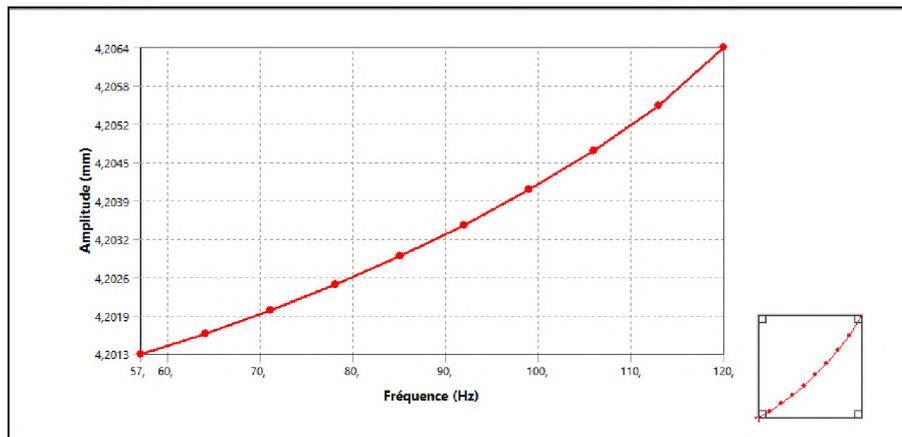


Figure III. 28 Amplitude en fonction de la fréquence

Selon la figure III.28 on constate la correspondance entre les caractéristiques du moteur à balourds utilisé dont l'amplitude et la fréquence maximale sont de 4.2 mm et 120 Hz respectivement et la simulation de la réponse vibratoire aux déplacements.

La vitesse

La réponse à l'excitation du moteur à balourds est théoriquement de l'ordre de 0.5-1m/s, on présente le résultat de la simulation de la vitesse en fonction de la fréquence de vibration, voir figure III.29.

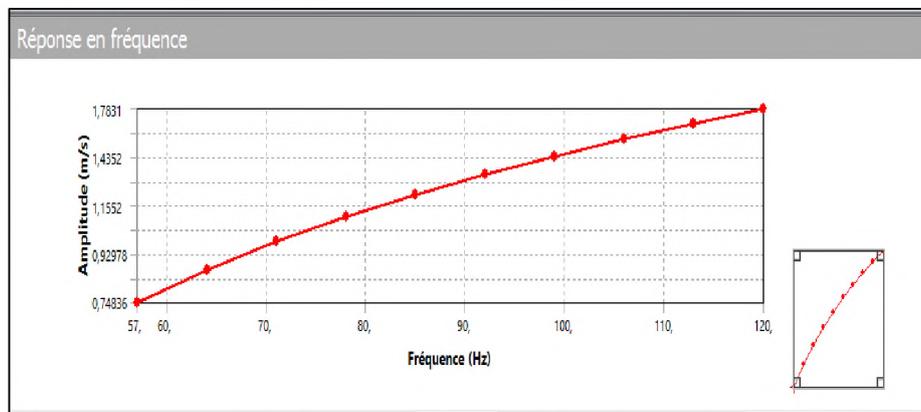


Figure III. 29 Vitesse en fonction de la fréquence

CHAPITRE III : Conception du vibrateur linéaire

On constate d'après la figure III.29 que la vitesse est proportionnellement croissante avec la fréquence. L'ordre de grandeur de cette dernière correspond aux valeurs théoriques développées dans le premier chapitre avec une erreur relative de 20% due aux calculs numériques de la simulation.

Cette vitesse se traduit sur le terrain par la vitesse des medias.

L'accélération

L'accélération théoriques des medias est de l'ordre de 15 à 150 m/s^2 .

Sur la figure III.30, on représente la courbe de l'accélération en fonction de la fréquence de vibration

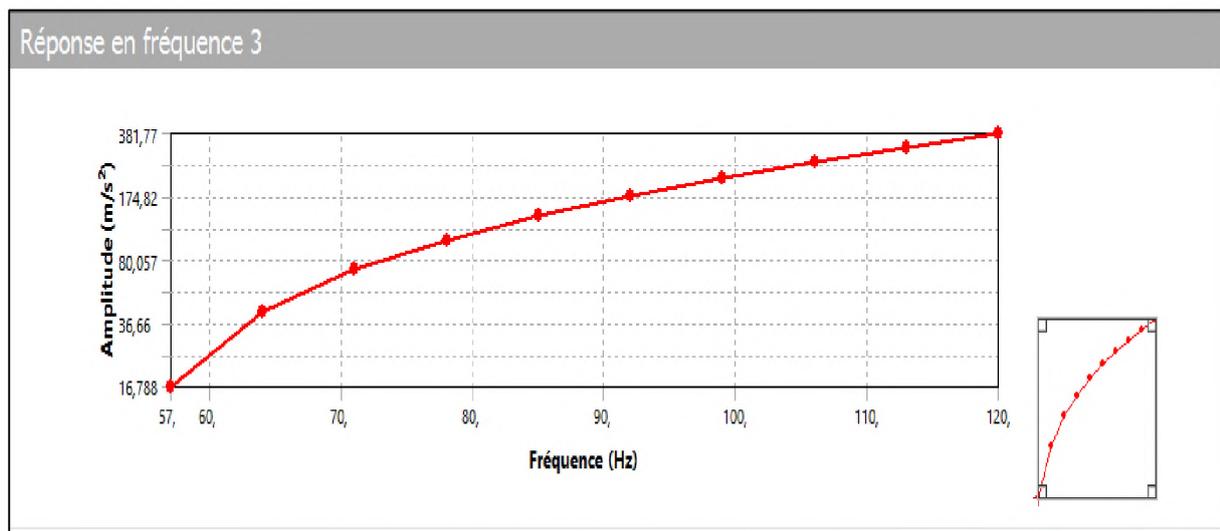


Figure III. 30 Accélération en fonction des fréquences

On constate que dans l'intervalle de fréquence dont le quel le traitement mécanique de surface s'effectue, l'accélération donnée par le calcul numérique est de 16 jusqu'à 170 m/s^2 , ce qui fait une erreur relative de 10%.

Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté une étude conceptuelle des éléments essentiels du vibreur linéaire tout en présentant un schéma cinématique et des schémas normalisés avec les tolérances dimensionnelles, géométriques et la rugosité des états de surface. (Voir détail en annexe).

En ce qui concerne la simulation numérique (analyse modale et harmonique), les résultats obtenus nous montrent les fréquences propres à éviter lors du réglage du variateur de fréquence.

Le calcul numérique de l'amplitude de vibration correspond au calcul analytique avec une faible erreur relative.

Chapitre IV

Réalisation du vibreur linéaire

Introduction

Dans ce dernier chapitre, après avoir conçu le vibreur, en s'appuyant sur les dessins de définition et dessin d'ensemble, on passe à l'étape suivante, l'élaboration de la gamme de fabrication des différents composants qui constituent le vibreur linéaire.

Dès que la gamme de fabrication est prête, on procède à la fabrication du vibreur en construction mécano-soudée, les étapes de la réalisation commencent par des opérations de découpage, pliage, roulage et enfin soudage.

L'installation du circuit électrique débute par le branchement des fils électriques au niveau du moteur commandé par un variateur de fréquence et la liaison entre le bouton poussoir et le contacteur.

En finalité un banc d'essai est effectué afin de vérifier le fonctionnement de la machine tout en réalisant des essais expérimentaux pour garantir un bon résultat de traitement.

IV.1 Gamme de fabrication

La gamme de fabrication est la liste de toutes les étapes à exécuter dans le but de réaliser les pièces qui compose un objet technique.

Une gamme de fabrication doit décrire chaque étape (opération, phase, séquence)

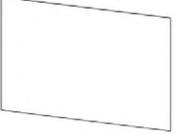
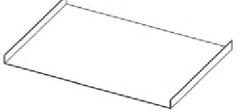
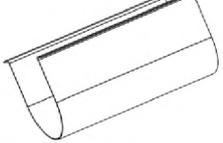
Pour chaque étape il est précisé l'ensemble des moyens utilisés :

- Poste de travail.
- Opérations nécessaires.
- Outillage et matériaux bruts.
- Contrôle.

CHAPITRE IV : Réalisation du vibreur linéaire

IV 1.1 Gamme de fabrication de la Cuve

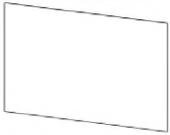
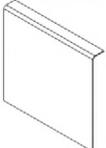
Tableau IV. 1 Gamme de fabrication de la cuve

Gamme de Fabrication		N° de la pièce : Cuve	Séquence : 8 heures	Matériau : Acier E24	Dimension de brut : 3000x2000x3
		Nombre de pièces : une		Etabli par : Aklil Oussama Bendali Younes	
N° Phase	Désignation	Machine	Outils	Contrôle	Croquis
1	Traçage		Réglet Pointeau Double mètre	Visuel Double mètre	
2	Découpage	Cisaille à guillotine	Deux lames en acier inoxydable	Visuel Double mètre	
3	Pliage	Plieuse manuelle	Réglet Double mètre Pointeau	Equerre Visuel	
4	Roulage	Rouleuse manuelle	Trois rouleaux	Gabarit de contrôle (Cloison de séparation)	
5	Pointage		Pointeau Marteau	Contrôle visuel	
6	Perçage	Perceuse manuelle	Foret ø 8	Visuel	

CHAPITRE IV : Réalisation du vibreur linéaire

IV 1.2 Gamme de Fabrication de la paroi gauche

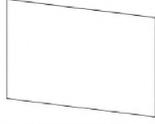
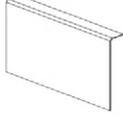
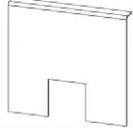
Tableau IV. 2 Gamme de Fabrication de la paroi gauche

Gamme de Fabrication		N° de la pièce : Paroi gauche		Séquence : 4 heures	Matériau : Acier E24	Dimension de brut : 3000x2000x3
		Nombre de pièces : une			Etabli par : Aklil Oussama Bendali Younes	
N° phase	Désignation	Machine	Outil	Contrôle	Croquis	
1	Traçage		Réglet Pointeau Double mètre	Visuel Double mètre		
2	Découpage	Cisaille à guillotine	Deux lames en acier inoxydable	Visuel Double mètre		
3	Pliage	Plieuse manuelle	Réglet Double mètre Pointeau	Equerre Visuel		

CHAPITRE IV : Réalisation du vibreur linéaire

IV 1.3 Gamme de Fabrication de la paroi droite

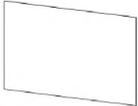
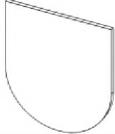
Tableau IV. 3 Gamme de Fabrication de la paroi droite

Gamme de Fabrication		N° de la pièce : Paroi droite	Séquence : 4 heures	Matériau : Acier E24	Dimension de brut : 3000x2000x3
		Nombre de pièces : une		Etabli par : Aklil Oussama Bendali Younes	
N° phase	Désignation	Machine	Outil	Contrôle	Croquis
1	Traçage		Réglet Pointeau Double mètre	Visuel Double mètre	
2	Découpage	Cisaille à guillotine	Deux lames en acier inoxydable	Visuel Double mètre	
3	Pliage	Plieuse manuelle	Réglet Double mètre Pointeau	Equerre Visuel	
4	Traçage		Réglet Pointeau Double mètre	Visuel Double mètre	
5	Découpage	Tronçonneuse Étau	Disque de coupage	Visuel Double mètre	

CHAPITRE IV : Réalisation du vibreur linéaire

IV 1.4 Gamme de Fabrication du Cloisons de séparation

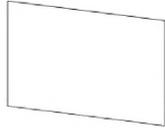
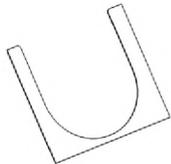
Tableau IV. 4 Gamme de Fabrication du Cloisons de séparation

Gamme de Fabrication		Nome de la pièce : Cloisons de séparation	Séquence : 6 heures	Matériau : Acier E24	Dimension de brut : 3000x2000x3
		Nombre de pièces : deux		Etabli par : Aklil Oussama Bendali Younes	
N° phase	Désignation	Machine	Outil	Contrôle	Croquis
1	Traçage		Réglet Pointeau Double mètre	Visuel Double mètre	
2	Découpage	Cisaille à guillotine	Deux lames en acier inoxydable	Visuel Double mètre	
3	Traçage		Réglet Pointeau Double mètre	Visuel Double mètre	
4	Découpage	Tronçonneuse Étau	Disque abrasifs	Visuel Double mètre	

CHAPITRE IV : Réalisation du vibreur linéaire

IV 1.5 Gamme de Fabrication de la nervure

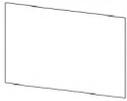
Tableau IV. 5 Gamme de Fabrication de la nervure

Gamme de Fabrication		Nome de la pièce : Nervure	Séquence : 6 heures	Matériau : Acier E24	Dimension de brut : 3000x2000x3
		Nombre de pièces : deux		Etabli par : Aklil Oussama Bendali Younes	
N° phase	Désignation	Machine	Outil	Contrôle	Croquis
1	Traçage		Réglet Pointeau Double mètre	Visuel Double mètre	
2	Découpage	Cisaille à guillotine	Deux lames en acier inoxydable	Visuel Double mètre	
3	Traçage		Réglet Pointeau Double mètre	Visuel Double mètre	
4	Découpage	Tronçonneuse Étau	Disque abrasifs	Visuel Double mètre	

CHAPITRE IV : Réalisation du vibreur linéaire

IV 1.6 Gamme de Fabrication du support moteur

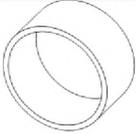
Tableau IV. 6 Gamme de Fabrication du support moteur

Gamme de Fabrication		Nome de la pièce : Support moteur	Séquence : 2 heures	Matériau : Acier E24	Dimension de brut : 3000x2000x3
		Nombre de pièces : une		Etabli par : Aklil Oussama Bendali Younes	
N° phase	Désignation	Machine	Outil	Contrôle	Croquis
1	Traçage		Réglet Pointeau Double mètre	Visuel Double mètre	
2	Découpage	Cisaille à guillotine	Deux lames en acier inoxydable	Visuel Double mètre	
3	Pointage		Pointeau Marteau	Contrôle visuel	
4	Perçage	Perceuse manuelle	Foret ø 8	Visuel	

CHAPITRE IV : Réalisation du vibreur linéaire

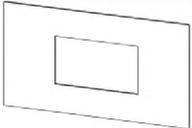
IV 1.7 Gamme de Fabrication du guide ressort

Tableau IV. 7 Gamme de Fabrication du guide ressort

Gamme de Fabrication		Nome de la pièce : Guide ressort	Séquence : 2 heures	Matériau : Acier E24	Dimension de brut : Tube ø54
		Nombre de pièces : huit		Etabli par : Aklil Oussama Bendali Younes	
N° phase	Désignation des phases	Machine	Outil	Contrôle	Croquis / Illustrations
1	Traçage		Réglet Pointeau Double mètre	Visuel Double mètre	
2	Découpage	Tronçonneuse Étau	Disque abrasifs	Visuel Double mètre	

IV 1.8 Gamme de Fabrication du support de la table

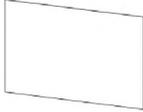
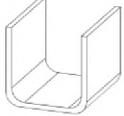
Tableau IV. 8 Gamme de Fabrication du support de la table

Gamme de Fabrication		Nome de la pièce : Support table	Séquence : 2 heures	Matériau : Acier E24	Dimension de brut : 3000x2000x10
		Nombre de pièces : un		Etabli par : Aklil Oussama Bendali Younes	
N° phase	Désignation	Machine	Outil	Contrôle	Croquis
1	Découpage	Commande numérique Plasma	Faisceau Laser	Visuel Double mètre	

CHAPITRE IV : Réalisation du vibreur linéaire

IV 1.9 Gamme de Fabrication de la tôle pliée du bac de lubrification

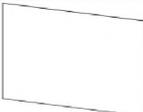
Tableau IV. 9 Gamme de Fabrication de la tôle pliée du bac de lubrification

Gamme de Fabrication		Nome de la pièce : Tôle pliée du bac de lubrification	Séquence : 1 heures	Matériau : Acier E24	Dimension de brut : 3000x2000x3
		Nombre de pièces : un		Etabli par : Aklil Oussama Bendali Younes	
N° phase	Désignation	Machine	Outil	Contrôle	Croquis
1	Traçage		Réglet Pointeau Double mètre	Visuel Double mètre	
2	Découpage	Cisaille à guillotine	Deux lames en acier inoxydable	Visuel Double mètre	
3	Traçage		Réglet Pointeau Double mètre	Visuel Double mètre	
4	Pliage	Plieuse manuelle	Réglet Double mètre Pointeau	Equerre Visuel	

CHAPITRE IV : Réalisation du vibreur linéaire

IV 1.10 Gamme de Fabrication des parois du bac de lubrification

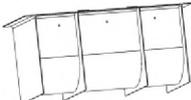
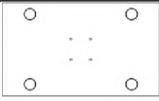
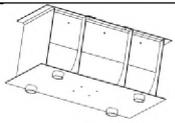
Tableau IV. 10 Gamme de Fabrication des parois du bac de lubrification

Gamme de Fabrication		Nome de la pièce : Parois du bac de lubrification		Séquence : 1 heures	Matériau : Acier E24	Dimension de brut : 3000x2000x3
		Nombre de pièces : 2			Etabli par : Aklil Oussama Bendali Younes	
N° phase	Désignation	Machine	Outil	Contrôle	Croquis	
1	Traçage		Réglet Pointeau Double mètre	Visuel Double mètre		
2	Découpage	Cisaille à guillotine	Deux lames en acier inoxydable	Visuel Double mètre		

IV.2 Gamme d'assemblage

IV .2.1 Gamme d'assemblage de la chambre de travail

Tableau IV. 11 Gamme d'assemblage de la chambre de travail

Gamme d'assemblage		Nome de l'assemblage : Chambre de travail		Matériau : Acier E24	Nombre de pièces à assembler : 6
		Etabli par : Aklil Oussama Bendali Younes			Séquence : 8 heure
N° phase	Désignation	Machine	Outil	Contrôle	Croquis
1	Soudage	Poste a soudé	Electrode de dimension $\varnothing 3.2$ mm	Visuel	
2	Soudage	Poste a soudé	Electrode de dimension $\varnothing 3.2$ mm	Visuel	
3	Soudage	Poste a soudé	Electrode de dimension $\varnothing 3.2$ mm	Visuel	

CHAPITRE IV : Réalisation du vibreur linéaire

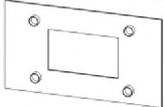
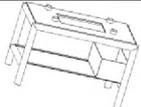
IV .2.2 Gamme d'assemblage du bac de lubrification

Tableau IV. 12 Gamme d'assemblage du bac de lubrification

Gamme d'assemblage		Nome de l'assemblage : Bac de lubrification		Matériau : Acier E24	Nombre de pièces à assembler :2
		Etabli par : Aklil Oussama Bendali Younes			Séquence : 1 heure
N° phase	Désignation des phases	Machine	Outil	Contrôle	Croquis
1	Soudage	Poste a soudé	Electrode de dimension ø3.2 mm	Visuel	

IV .2.3 Gamme d'assemblage de la table

Tableau IV. 13 Gamme d'assemblage de la table

Gamme d'assemblage		Nome de l'assemblage : Table		Matériau : Acier E24	Nombre de pièces à assembler :3
		Etabli par : Aklil Oussama Bendali Younes			Séquence : 8 heure
N° phase	Désignation	Machine	Outil	Contrôle	Croquis
1	Soudage	Poste a soudé	Electrode de dimension ø3.2 mm	Visuel	
2	Soudage	Poste a soudé	Electrode de dimension ø3.2 mm	Visuel	
3	Soudage	Poste a soudé	Electrode de dimension ø3.2 mm	Visuel	

CHAPITRE IV : Réalisation du vibreur linéaire

IV.3 Réalisation des éléments du vibreur linéaire

la chambre de travail réalisée a une capacité de 66 dm³ montée sur des éléments élastiques (ressorts de compression) pour amortir le choc, elle contient des cloisons pour la séparations des pièces traitées quand elles sont de différents matériaux ou de différents medias, le vibreur est équipé d'un moteur à balourd avec une puissance 0.97 KW à 50-60 Hz tourne à 3000 tr/mn, il contient six masselottes de chaque côté réglables qui détermine le mode de vibration et varie l'amplitude de 0 à 4,2 mm, on a adapté un vibreur de fréquence allant de 0 à 120 Hz.

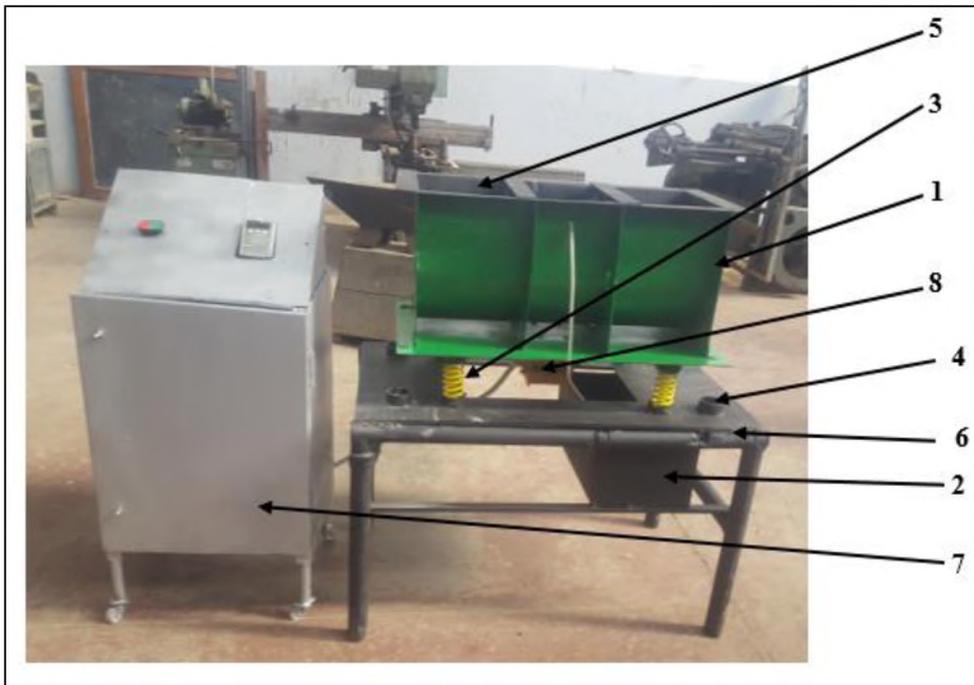


Figure IV. 1 vibreur linéaire réalisé VL66

Avec :

1 Chambre de travail. - 2 Bac de lubrification. -3 Ressorts de compression. -4 Guide ressort.

5 compartiment de la chambre de travail. - 6 La table. - 7 Armoire électrique. -8 Moteur à balourd.

IV.3.1 Chambre de travail

La chambre de travail réalisée sous forme U en suivant la procédure ci-après :

Cuve

- Découpage d'une tôle en Acier E24 en dimensions 870X700X3 avec une cisaille à guillotine de capacité maximale 3mm.
- Pliage des bords de la tôle à une distance de 50 mm
- Roulage grâce à la rouleuse manuelle à trois rouleaux pour lui donner la forme U.
- Perçage de trois trous de diamètre 8 mm pour le système de lubrification.
- Perçage de quatre trous de diamètre 8 mm pour la fixation des cloisons amovibles.



Figure IV. 2 Chambre de travail

CHAPITRE IV : Réalisation du vibreur linéaire

Cloisons amovibles

Deux cloisons de séparation amovibles sont réalisés et fixés avec des vis et écrous sur le cadre de la chambre de travail afin de répartir cette dernière en différents compartiments selon la taille des pièces à traiter. Ils offrent la possibilité d'avoir trois compartiment de $1/3$ du volume totale de la chambre de travail, où $2/3$ du volume totale selon le besoin.



Figure IV. 3 Cloison de séparation

Nervures de renforcement

Deux nervures de renforcement sont découpées avec du laser sous forme de U arrondi et soudés avec la chambre de travail.

Parois latérales

Deux toles sont soudés sur les extrémités de la chambre qui joue le rôle des parois de la chambre.

L'assemblage des éléments de la chambre de travail est effectué par une soudure à l'arc avec un poste à souder sous une tension de 80 volts et une électrode enrobée de 3.2 mm.

CHAPITRE IV : Réalisation du vibreur linéaire

IV.3.2 Bac de lubrification

Une tôle de 3 mm est découpée et pliée afin de fabriquer un bac. La pompe à force centrifuge immergée dans le fluide entraine le composé vers la chambre de travail.



Figure IV. 4 Pompe à eau et bac de lubrification

Caractéristiques de la pompe

Voltage 220-240V 50/60 Hz

Puissance 5 W

Auteur maximale 0.7 m

Débit maximal 450 L/h

IV.3.3 Système d'évacuation

Un système d'évacuation a été mis en place pour la décharge des medias une fois le traitement par vibro-abrasion est achevé. Une trappe est réalisée sur l'extrémité de la chambre de travail. Cette trappe est guidée par une porte de fermeture et d'ouverture.

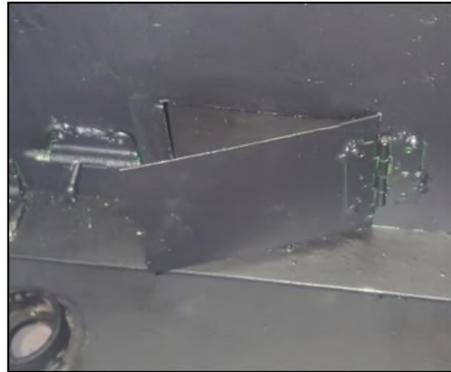


Figure IV. 5 Trappe d'évacuation

IV.3.4 Eléments élastiques

Afin d'amortir le choc des vibrations, quatre ressorts de compression ont été mis en place avec des plots antivibratoires qui jouent le rôle d'isolateur. Les ressorts sont maintenus avec des tubes de diamètre 54mm et d'épaisseur de 3mm.



Figure IV. 6 Ressorts de compression

CHAPITRE IV : Réalisation du vibreur linéaire

IV.3.5 La table

La table est réalisée d'une façon à assurer la stabilité de la chambre de travail. Une trappe rectangulaire a été envisagée dans le but de laisser assez d'espace pour l'emplacement du moteur à balourd. Elle est ouverte de tous les côtés afin de faciliter la manipulation des masselottes du moteur et ajouter un côté plus esthétique au vibreur linéaire.



Figure IV. 7 La table

IV.3.6 Armoire électrique

L'armoire électrique comporte le circuit de l'automatisation du vibreur linéaire notamment le bouton poussoir marche arrêt qui est relié au variateur de fréquence qui est à son tour commande le moteur à balourd.

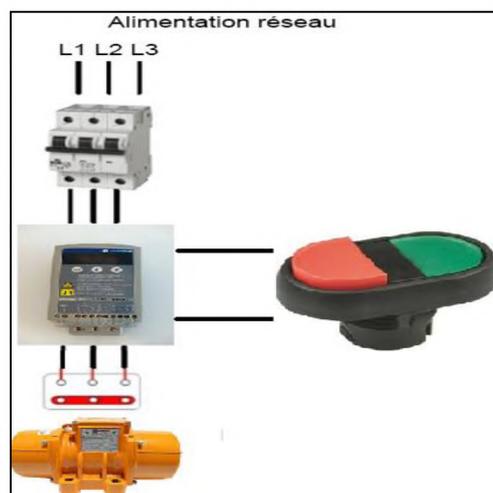


Figure IV. 8 Circuit électrique de l'armoire

CHAPITRE IV : Réalisation du vibreur linéaire

Bouton poussoir marche/arrêt

Il est défini par la Commission électrotechnique internationale (IEC), il contient de couleur, rouge et vert. Un côté pour mettre en route le courant, un autre pour le couper. Pour distinguer les deux états, le vert indique la présence du courant, le rouge son absence, selon la symbolique du tout ou rien. Exactement ce que l'on trouve sur l'interrupteur des rallonges électriques.



Figure IV. 9 Bouton poussoir marche/arrêt

Elle est fabriquée dans le but de regrouper tous les composants électriques de vibreur (Bouton marche/arrêt, variateur de fréquence et le câblage), une chambre à l'intérieur de cette armoire est envisagée pour l'emmagasinement des medias d'où l'ingéniosité de réalisation de cette dernière.



Figure IV. 10 Armoire électrique

CHAPITRE IV : Réalisation du vibreur linéaire

IV.4 Automatisation du vibreur linéaire

On s'intéresse maintenant à l'automatisation du vibreur linéaire et les rôles des composants électriques (Variateur de fréquence, moteur à balourd et le branchement électrique).

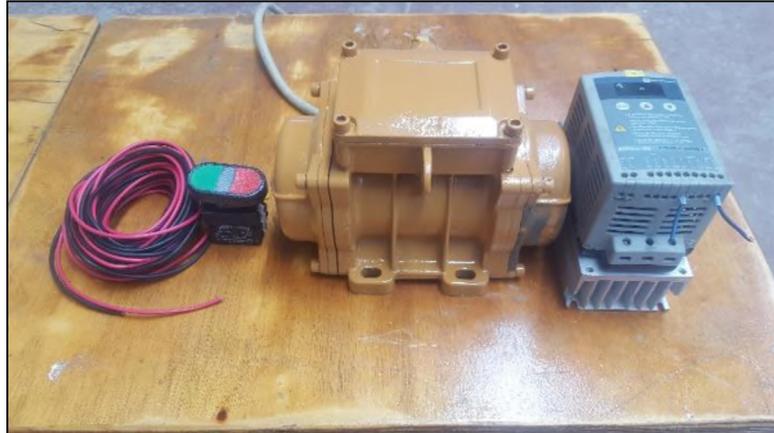


Figure IV. 11 Composants du circuit électrique

IV.4.1 Variateur de fréquence (ALTIVAR 08)

Son rôle est la variation de la fréquence, ce qui implique la variation de la vitesse de rotation du moteur.

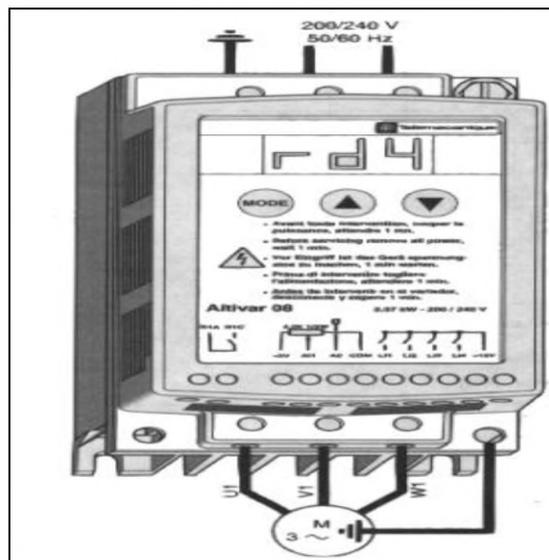


Figure IV. 12 Variateur de fréquence (ALTIVAR 08)

CHAPITRE IV : Réalisation du vibrateur linéaire

Les étapes de la mise en œuvre

- 1-Fixation du vibrateur
- 2-Raccordement selon le moteur utilisé (monophasé ou triphasé)
- 3-Mettre sous tension sans donner d'ordre de marche
- 4-Configuration de la fréquence nominale du moteur
- 5-Démarrage

IV.4.2 Moteur électrique à balourds

Les moteurs électriques à balourds sont essentiellement des moteurs électriques avec des masses excentriques aux deux extrémités de l'arbre. Il produit et transmet des vibrations, en effet un vibrateur est soumis à des sollicitations de type dynamique.

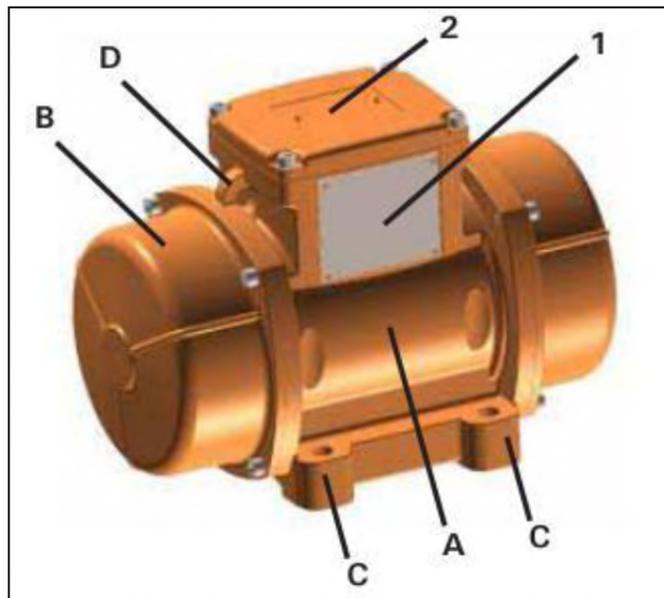


Figure IV. 13 Moteur série MVSI, ITALVIBRAS

- A- Corps moto vibrateur
- B- Couvercles masses
- C- Pieds d'appui et de fixation
- D- Étrier d'accrochage pour le levage et sécurité
- 1- Plaquette d'identification.
- 2- Plaquette d'attention

CHAPITRE IV : Réalisation du vibreur linéaire

Les Masselotte

Elles sont montées sur l'arbre du moteur à balourd, chaque coté contient six masselotes qui pésent 55 grammes chaqu'une. Une plaque signalitique de neuf graduation est monté sur l'arbre afin de régler l'amplitude fonctionelle.



Figure IV. 14 Masselottes

Réglage des masselottes :

L'amplitude maximale du moteur calculé dans le chapitre trois est de 4.2 mm. La plaque signalétique est graduée de 0 jusqu'à 100%, le calcul des amplitudes selon le réglage des masselottes se fait par la règle de trois. Le tableau ci-dessous illustre les différentes amplitudes selon le réglage effectué :

Tableau VI. 14 Amplitudes des vibrations en fonction du réglage des masselottes

Position (%)	0	17	34	50	64	77	87	94	98	100
Amplitude (mm)	0	0.714	1.428	2.10	2.688	3.234	3.654	3.948	4.116	4.20



Figure IV. 15 Plaque signalétique

Conclusion

Dans ce dernier chapitre, on a présenté la gamme de fabrication des éléments du vibreur linéaire, en l'occurrence la cuve, les parois latérales, le support de la chambre de travail, le support de la table etc...

Ensuite on a exposé la gamme d'assemblage des éléments constituant le vibreur linéaire qui est basé principalement sur la construction mécano soudées.

On a étalé par la suite les étapes de réalisation qui ont été faites au sein du département mécanique à l'aide des machines disponibles (Cisaille guillotine manuelle, plieuse manuelle, rouleuse à trois rouleaux, Tronçonneuse, perceuse et poste à souder).

Conclusion générale

Le présent mémoire a pour objectif la conception et la réalisation du vibreur linéaire qui est destiné pour le traitement mécanique de surface (tribofinition), la particularité de ce type de machine réside dans la possibilité de traiter des pièces de configuration géométrique très complexe avec différentes dimensions (petites, moyennes, grandes).

Il comporte deux parties, l'une théorique et l'autre expérimentale.

La première partie aborde la théorie des différents types de traitement mécanique de surface en l'occurrence le grenailage, le galetage, le martelage, le brunissage, le choc laser et la tribofinition, ainsi que les différents équipements utilisés dans ce domaine à savoir le vibreur linéaire, circulaire et machine à force centrifuge et leur accessoires (medias et additifs chimiques).

La deuxième partie consiste à concevoir sous SolidWorks version 2014 un vibreur linéaire qui a une capacité de sa chambre de travail 66dm^3 , cette dernière est divisée en 3 compartiments par des cloisons amovibles de séparations afin de traiter les pièces de différents matériaux et de différents medias.

Pour avoir une optimisation du traitement, il est impératif d'effectuer un réglage au niveau de l'amplitude et de fréquence, pour cela il est nécessaire de faire une simulation de vibration de la structure (analyse modale et harmonique) sous ANSYS 17.1 qui a pour but de déterminer les modes et les fréquences propres afin de les éviter pour qu'elles ne coïncident pas avec les fréquences de service.

Le phénomène de résonance peut être évité, si la valeur obtenue est de 93.158 Hz ne coïncide pas avec la valeur de service.

L'amplitude maximale calculée analytiquement est de 4.2mm correspond bien au calcul numérique.

CONCLUSION GENERALE

La réalisation du dit vibreur linéaire commence dans un premier par la conception des plans et puis par l'établissement de la gamme de fabrication et d'assemblage et enfin est achevée par la réalisation de ce dernier.

Cette réalisation permet d'établir tous les types de traitement de tribofinition, elle permet aussi le traitement des pièces individuelles séparées par des cloisons de séparation ou d'exécuter simultanément plusieurs opérations à titre d'exemple ébavurage, polissage, décalaminage, etc.....

Dans ce travail, on a appris beaucoup de choses liées à la tribofinition et qui nécessite d'avoir un savoir et des connaissances dans le domaine de la mécanique de contact, science des matériaux, mécanique de rupture et les vibrations tout en connaissant les différents procédés de fabrication.

En perspective, nous proposons l'amélioration du vibreur linéaire du point de vue système de lubrification et de vidange, se procurer de différents types de medias afin de réaliser des essais multi variés.

Enfin, sous souhaitons l'intégration de cette technique au niveau des entreprises algériennes privées et étatiques.

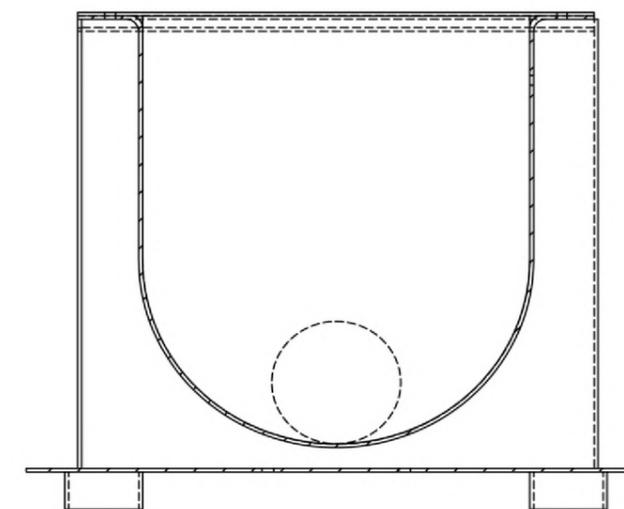
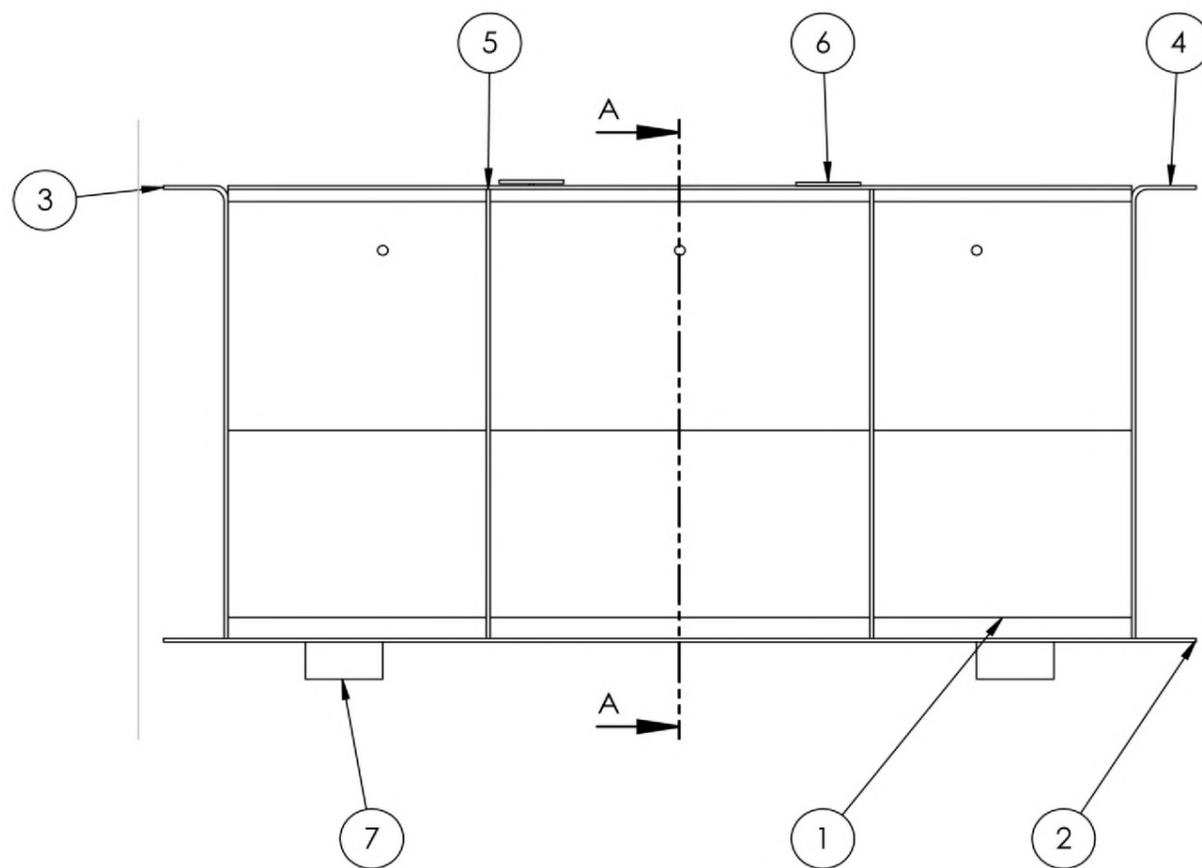
Références bibliographiques

- [1] LAROUX K. GILLESPIE. Mass Finishing Handbook. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, First Edition, P.P 237-295 ,2006.
- [2] VOLKER SCHULZE. Modern mechanical surface treatment, First Edition, P.P 25-135 2004.
- [3] CATHERINE M. COTELL, JAMES A. SPRAGUE, AND FRED A. SMIDT, JR. Surface Engineering. Volume 5, P.P 215-280, 1994.
- [4] A. CHEVALIER. Guide du dessinateur industriel. HACHETTE Technique, Edition 2004, P.P 1-12,2004.
- [5] ALEXANDRE N. OVCEYENKO, MAKSIMILIAN. M. GAJEK, VLADIMIR I. CEREBRYAKOV, Formation de l'état de surface des pièces par procédés technologiques, Politecnika OPOLOSKA, NAKLAD, Opole,2001.
- [6] L. SEDOV. Mécanique des milieux continus, IZDATELVSTVO Hayka,P.P 93-95 1973.
- [7] C. BATHIAS, J. P. BAILON, La fatigue du matériau et des structures pour les presses de l'université de Montréal, Edition MALOINE,P.P 20-60, Paris, 1980.
- [8] J. BADREDDINE. Modélisation du grenailage ultrason pour des pièces à géométrie complexe. Thèse de doctorat de l'UTT, 2014.
- [9] G. QUILLIEC. Application du martelage à haute fréquence à l'optimisation de la maintenance des ouvrages et des structures soudées. Thèse de doctorat, École Centrale de Nantes, 2011.

Références bibliographiques

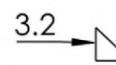
- [10] A. KANJER. De l'efficacité des procédés SMAT et de choc laser dans l'amélioration de la tenue à l'oxydation haute température d'alliages de titane. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne Franche-Comté, 2017
- [11] MARTINE DEPÉTRIS-WERY, MICHEL GANTOIS, Traitements thermiques superficiels et thermochimiques. Techniques de l'ingénieurs, traitements des métaux TI553, P.P 96, 1999.
- [12] M. ABDERRAHMAN BENSALÉM. Conception sous SOLIDWORKS d'un vibreur circulaire, PFE, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2015.
- [13] L. LAOUAR. Traitement mécanique de surface par brunissage des aciers XC48 et XC18 – Optimisation et caractérisation, Thèse de doctorat, université Badji Mokhtar – Annaba, 2007
- [14] M. TOURAB, Influence des paramètres du régime de galetage sur les fonctions finales de rugosité et de dureté de surface des aciers. Thèse de magister, université Badji Mokhtar, Annaba, 2003
- [15] K. NEDJMA et M. RABAH. Étude, conception et réalisation d'un outil de galetage et son effet sur la rugosité de surface d'un acier X8CrNiS18-9. Mémoire master Université M'hamed Bougara Boumerdes, 2017.
- [16] H. MOHAMED LAMINE, L. MUSTAPHA. Amélioration de la tenue en fatigue des éprouvettes par le procédé en alliage d'aluminium par le procédé de vibro-abrasion, PFE, Université des sciences et techniques Houari Boumediene, Alger, 2014.
- [17] M. BOUAZIZ. Défauts de forme et d'états de surface. Cours de métrologie, ENP Alger, 2015.
- [18] G. FRADE. Métallographie essais mécaniques, cours, 1970.
- [19] M. BOUAZIZ, Liaisons élastiques Ressorts, Cours de construction mécanique, ENP Alger, 2015.
- [20] Documentation de la fabrication d'équipement de tribofinition, Rosler, consulté en 2018
- [21] Notice du variateur ALTIVAR 08, La Ferté-Bernard, Annexe N°8.
- [22] <http://www.bertha.com/Companies/Italvibras/vibrators/MVSI>

Annexe



COUPE A-A
ECHELLE 1 : 5

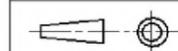
Ra 3.2/  Rugosité arithmétique de la tole, acier E24

3.2  Soudure à L'arc électrode E6013

Ref	Désignation	QTE	Matériau	Observation
1	Cuve	1	Acier E24	Réalisé
2	Support moteur	1	//	//
3	Paroi gauche	1	//	//
4	Paroi droite	1	//	//
5	Nervure	2	//	//
6	Cloison de séparation	2	//	//
7	Guide ressort	1	//	//

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

ECHELLE : 1 : 6



Matériau :
Acier E24

Désignation :
Chambre de travail

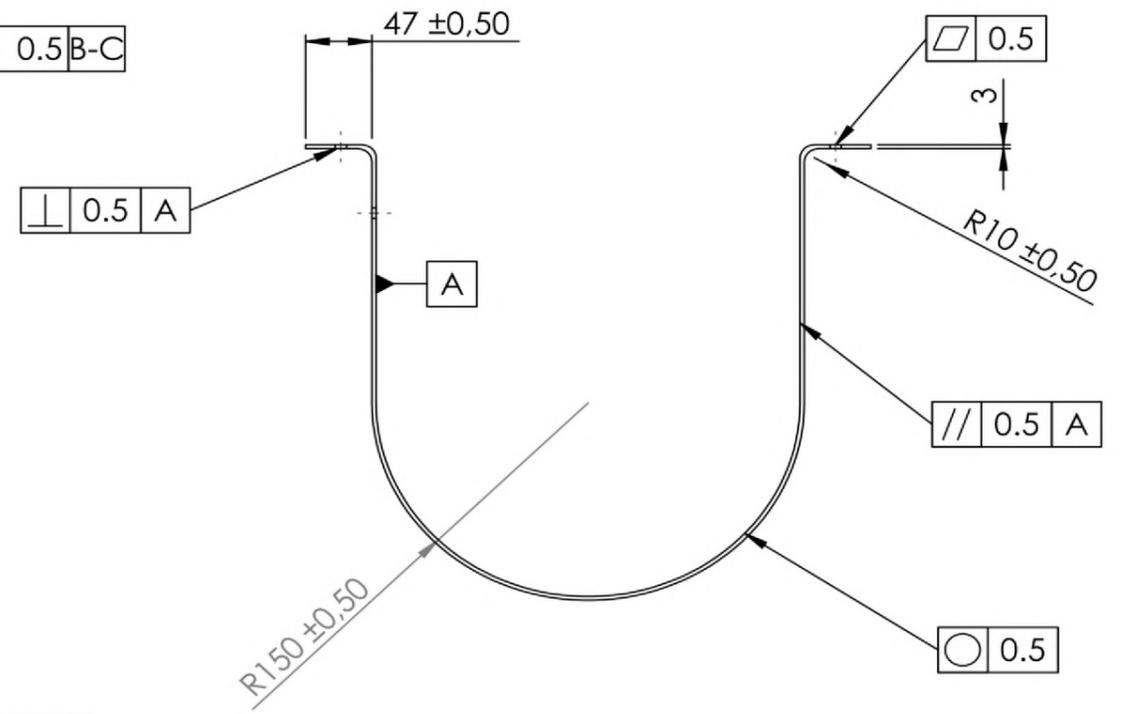
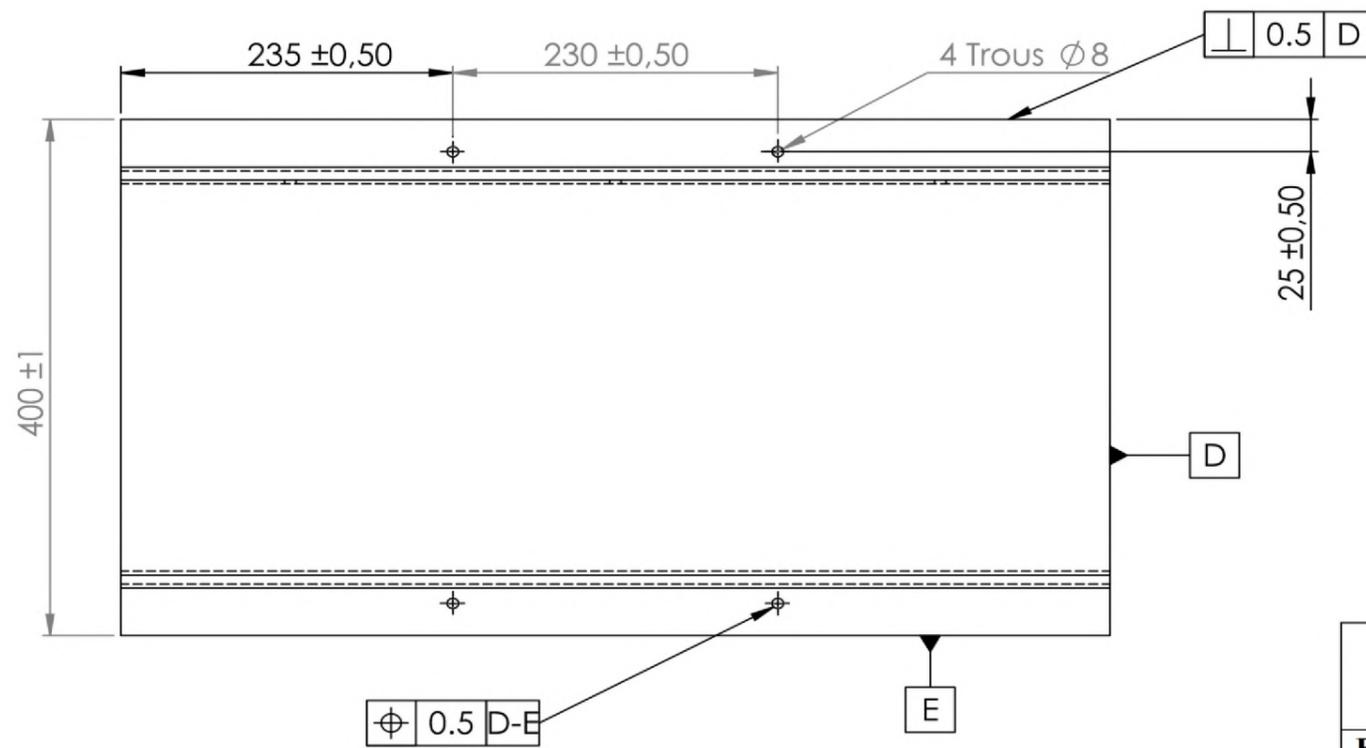
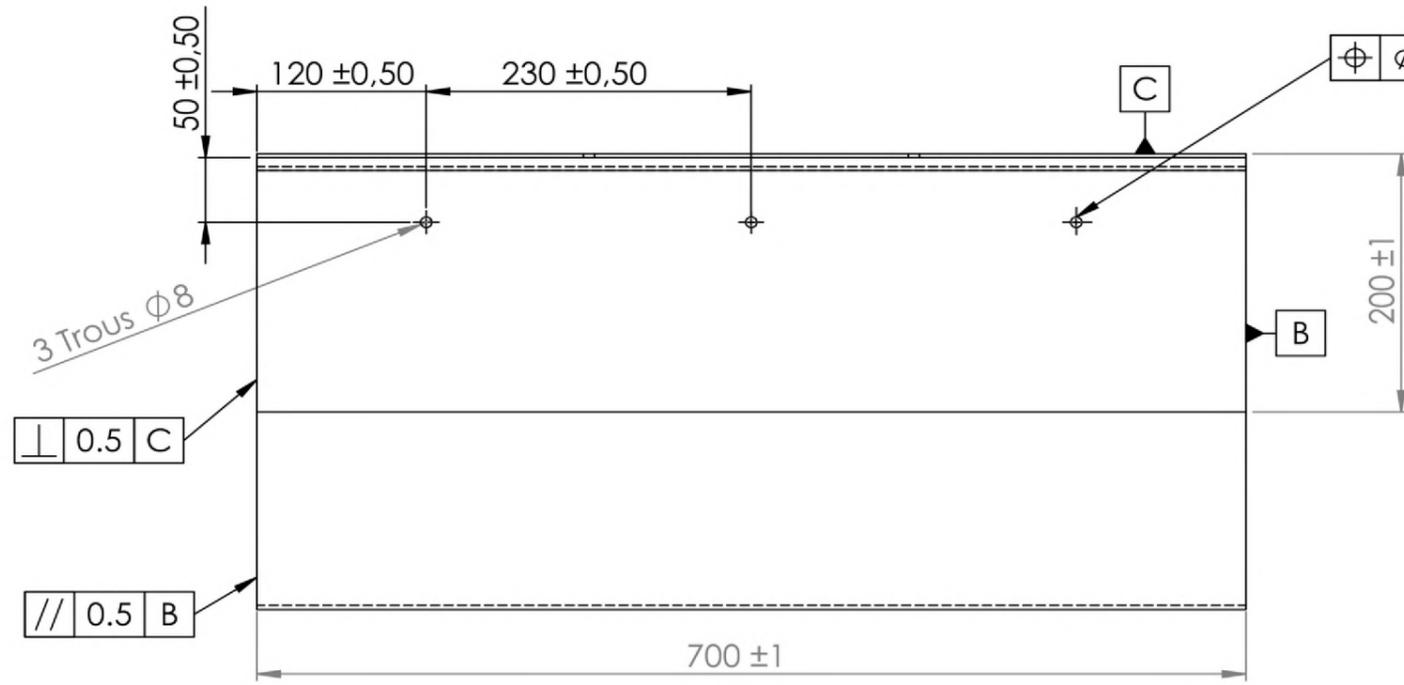
Dossier :
Vibrateur linéaire

Département :
Génie mécanique

Coefficient : 1

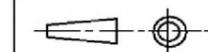
Etudiants : BENDALI Younes
AKLIL Oussama

Date : 10/062018



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

ECHELLE : 1 : 5



Matériau :
Acier E24

Désignation :
Cuve

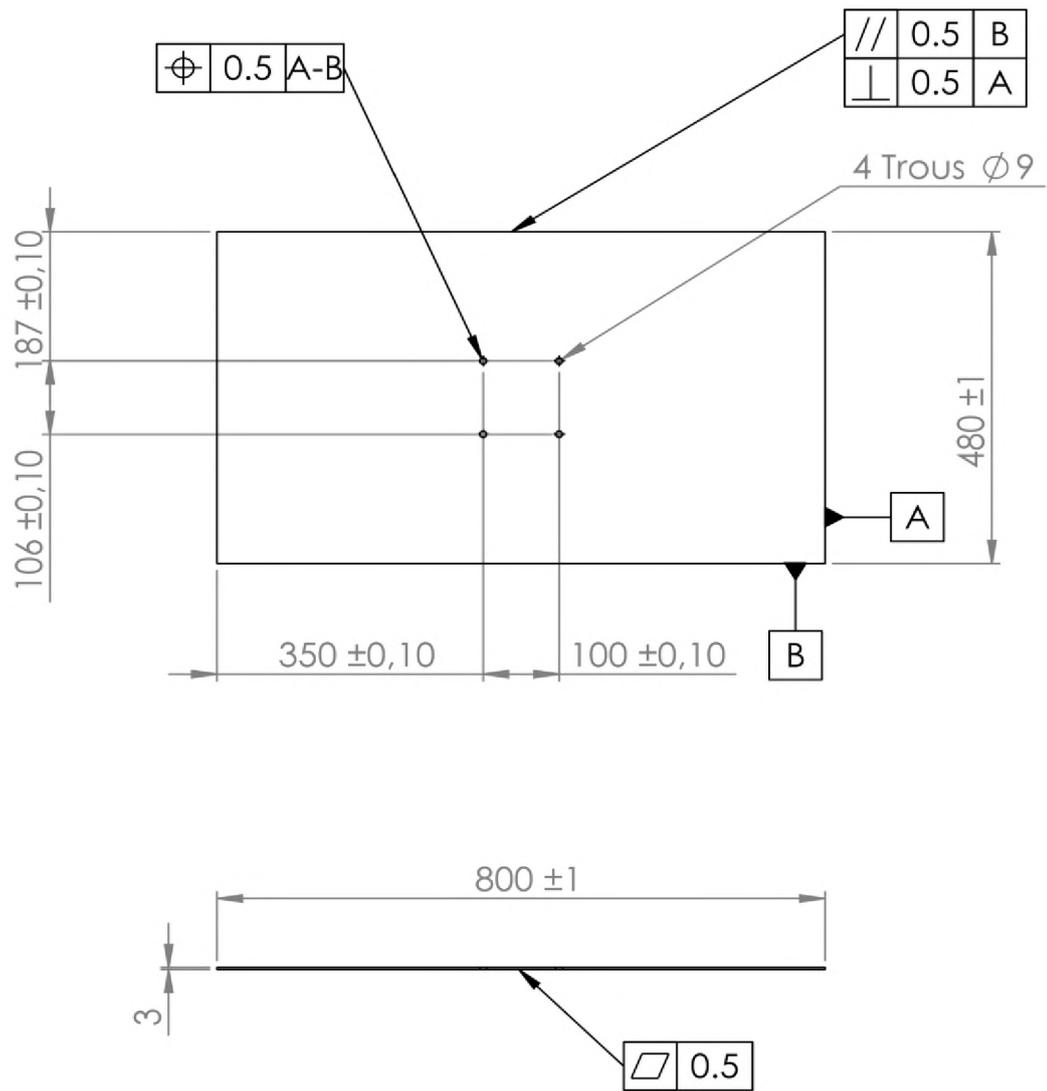
Dossier :
Chambre de travail

Département :
Génie mécanique
Référence : 1

Coefficient : 1

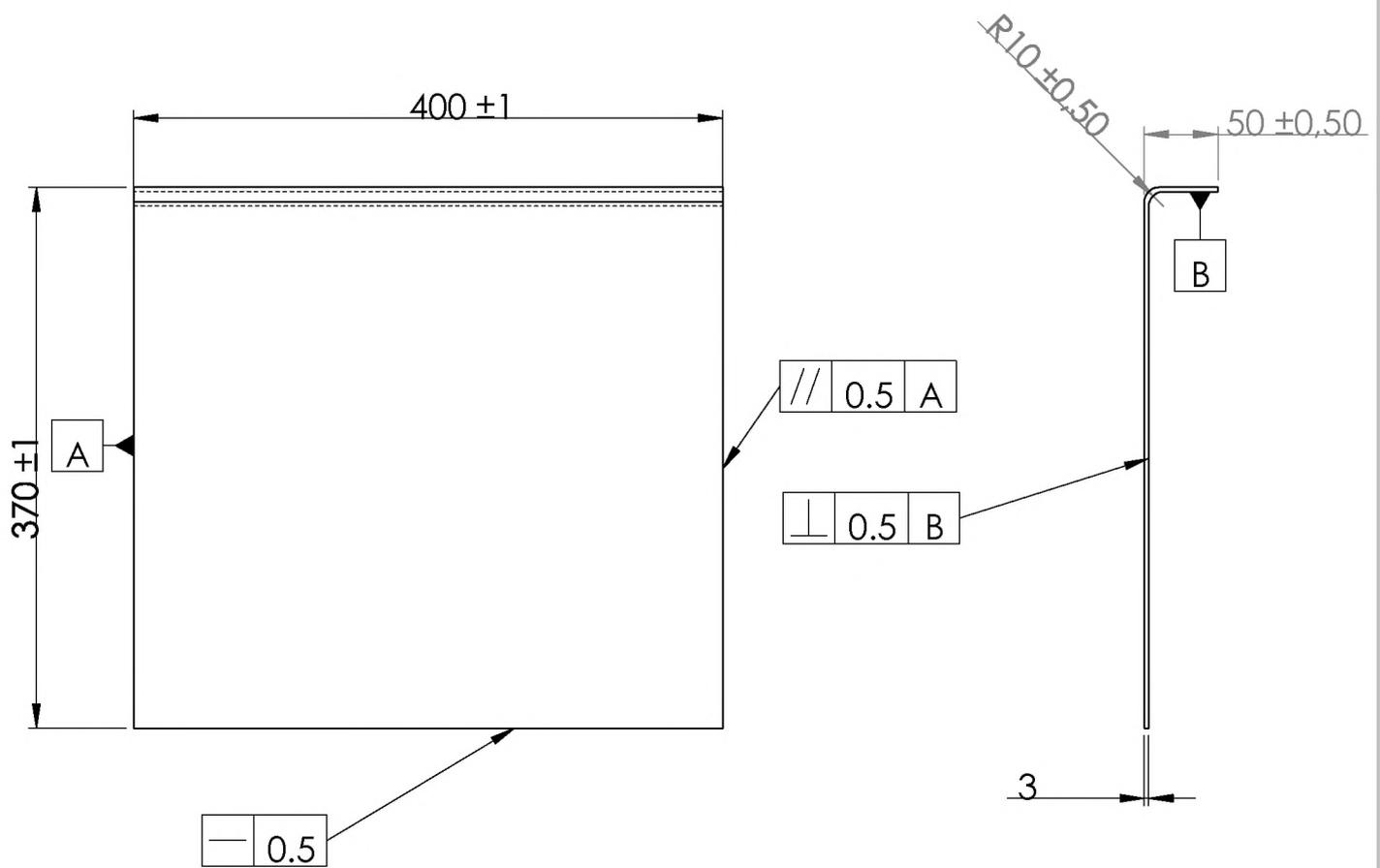
Etudiants : BENDALI Younes
AKLIL Oussama

Date : 10/062018



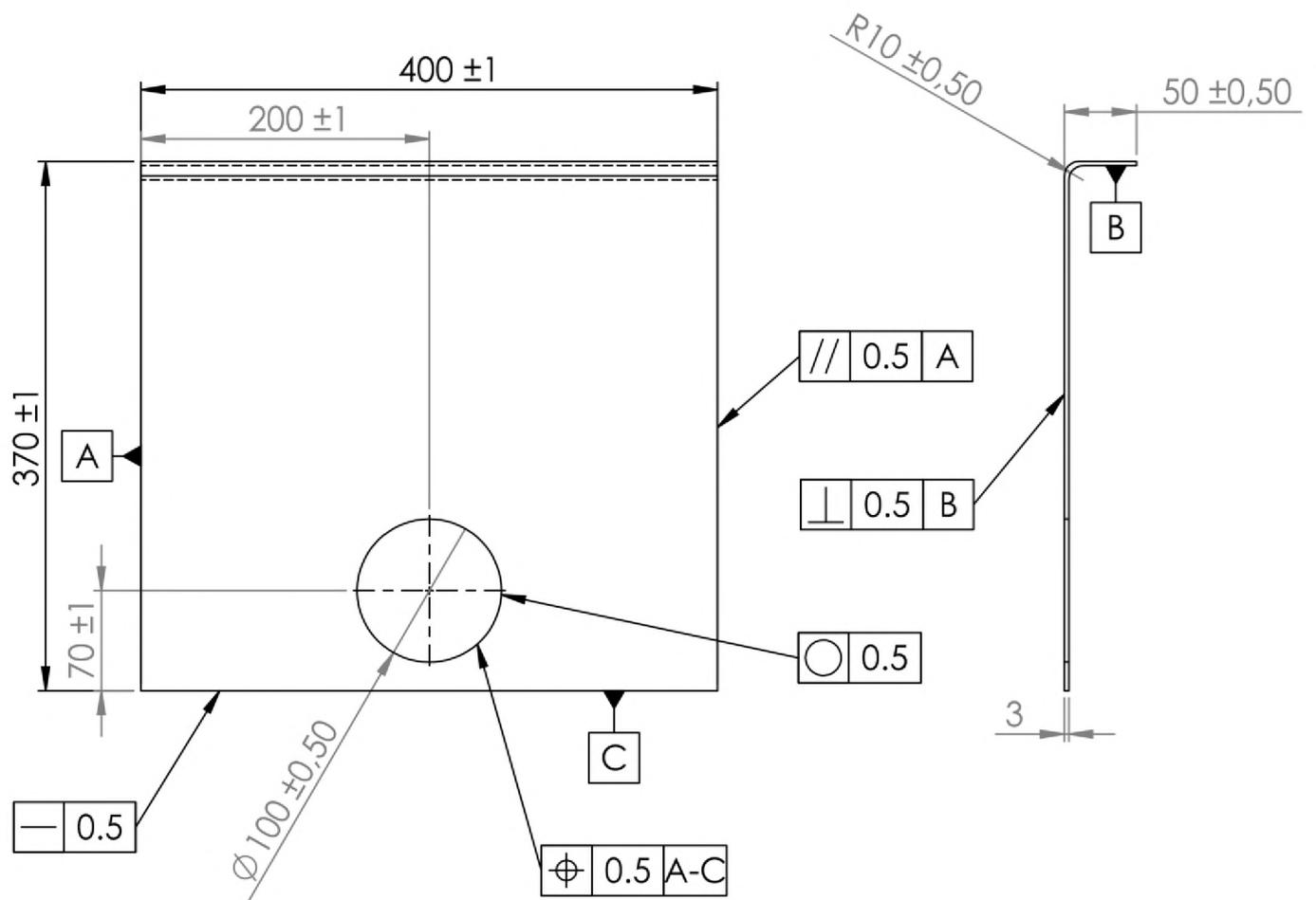
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

ECHELLE : 1 : 5	Désignation : Support chambre de travail	Département : Génie mécanique
		Référence : 2
Matériau : Acier E24	Dossier : Chambre de travail	Coefficient : 1
Etudiants : BENDALI Younes AKLIL Oussama		Date : 10/062018



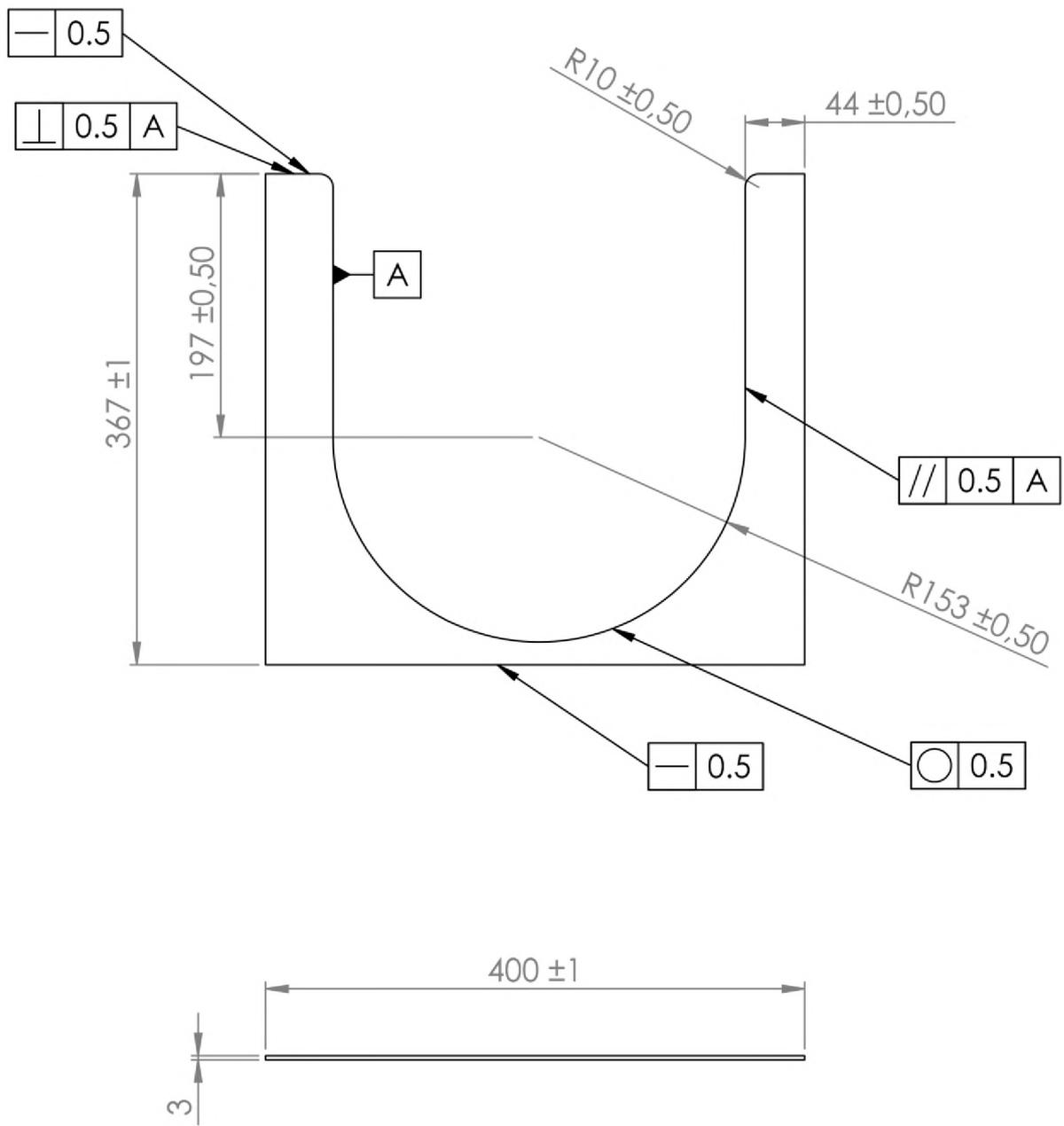
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

ECHELLE : 1 : 5	Désignation : Paroi gauche	Département : Génie mécanique
		Référence : 3
Matériau : Acier E24	Dossier : Chambre de travail	Coefficient : 1
Etudiants : BENDALI Younes AKLIL Oussama		Date : 10/062018

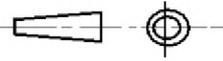


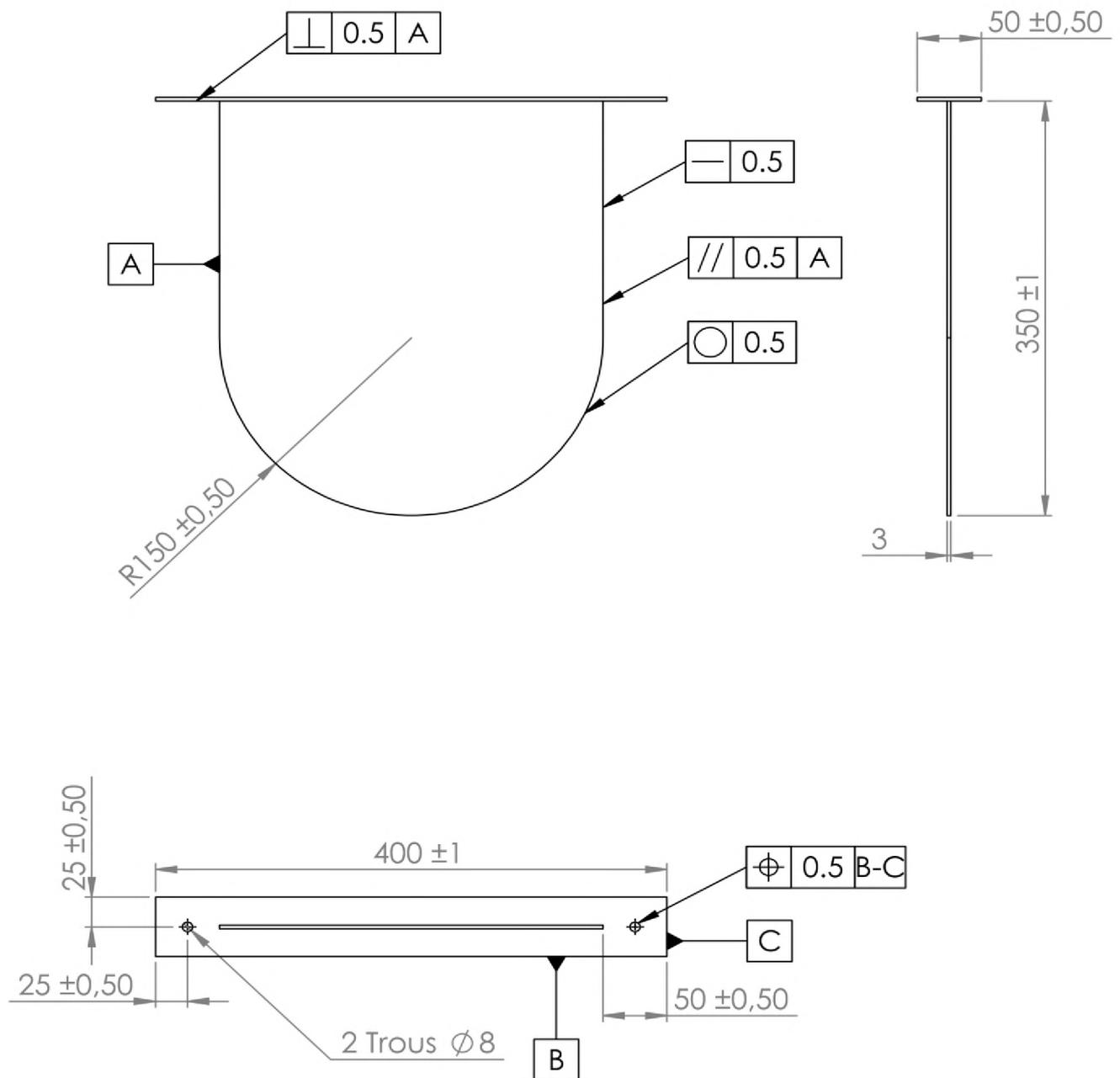
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

ECHELLE : 1 : 5	Désignation : Paroi droite	Département : Génie mécanique
		Référence : 4
Matériau : Acier E24	Dossier : Chambre de travail	Coefficient : 1
Etudiants : BENDALI Younes AKLIL Oussama		Date : 10/062018

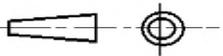


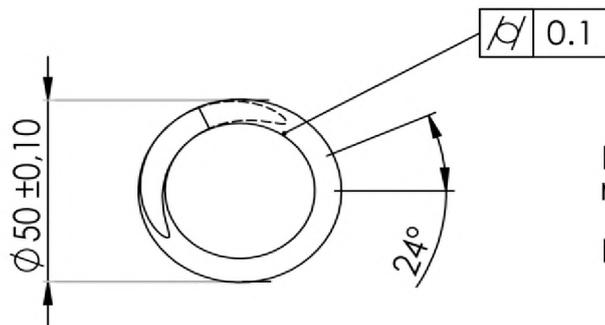
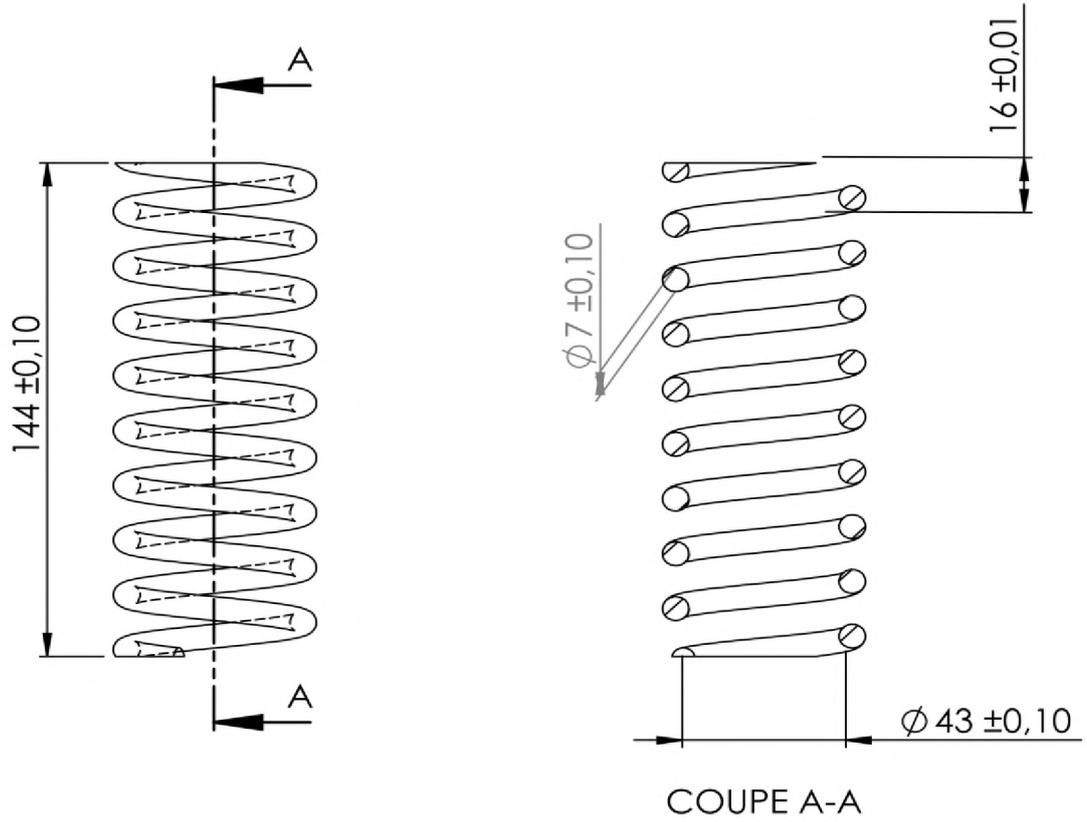
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

ECHELLE : 1 : 5	Désignation : Nervure	Département : Génie mécanique
		Référence : 5
Matériau : Acier E24	Dossier : Chambre de travail	Coefficient : 2
Etudiants : BENDALI Younes AKLIL Oussama		Date : 10/062018



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

ECHELLE : 1 : 5	Désignation : Cloison de séparation	Département : Génie mécanique
		Référence : 6
Matériau : Acier E24	Dossier : Chambre de travail	Coefficient : 2
Etudiants : BENDALI Younes AKLIL Oussama		Date : 10/062018

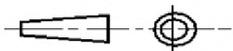


Ressort de compression à spires non rapprochées meulées.

Nombre de spires 9

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

ECHELLE : 1 : 2



Désignation :
Ressort de compression

Département :
Génie mécanique

Référence : 7

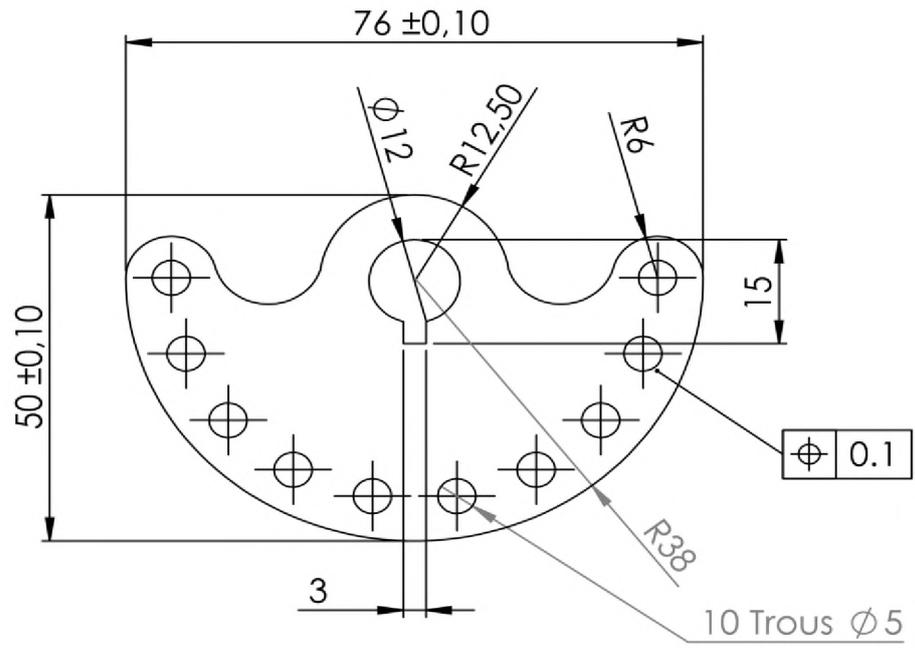
Matériau :
Corde à piano

Dossier :
Eléments élastiques

Coefficient : 4

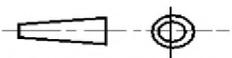
Etudiants : BENDALI Younes
AKLIL Oussama

Date : 10/062018



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

ECHELLE : 1 : 1



Désignation :
Masselotte

Département :
Génie mécanique
Référence : 1

Matériau :
Bronze

Dossier :
Moteur à balourd

Coefficient : 12

Etudiants : BENDALI Younes
AKLIL Oussama

Date : 10/062018