RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ Dr YAHIA FARES DE MÉDÉA
FACULTÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE DE LA MATIÈRE



Mémoire de Fin d'Études

Pour l'obtention du diplôme de Master

en **Génie Mécanique**

Option : **Conception Mécanique**

Thème :

Etude de Conception d'une Table Routeur Multiaxes Orthogonaux pour le Découpage par Jet Plasma

Présenté Par : ZIOUI Mohamed

Dirigé par : Dr. AMOURA Nasser Eddine (MCB à l'UYF Médéa)
Codirigé par : Dr. ALLICHE Mounir (MCB à l'UYF Médéa)

Promotion 2011/2012

DEDICACES

Je dédie ce travail :

- A mes parents Zioui Rabah et Ghani Hamama.

  A mes deux chères frères Arezki et Rachid

  A mes chères sœurs Nora, Houria, Hayet, Zohra, Nacira, Hakima et Saida

Vous vous êtes dépensés pour moi sans compter.
En reconnaissance de tous les sacrifices consentis par tous et chacun pour me permettre d'atteindre cette étape de ma vie.
Avec toute ma tendresse.

- A mes neveux et nièces.

Meilleurs vœux de succès dans vos études.

- A mes oncles, tantes, cousins et cousines.

Vous avez de près ou de loin contribué à ma formation.
Affectueuse reconnaissance

- Sincère gratitude A mes amis d'enfance et mes camarades et tous ceux de la faculté des sciences et de technologie de l'Université de Médéa et à leurs familles.

Zioui Mohamed

REMERCIEMENTS

Un travail de thèse est le fruit d'un travail collectif.

Je tiens à remercier ici toutes les personnes m'ayant aidé tout au long de mon parcours.

Je remercie en premier lieu « Dieu » pour m'avoir donné la chance et la force à arriver à ce niveau d'études.

Je remercie profondément mon Directeur de thèse, Dr. AMOURA Nasreddine et mon Co-encadreur Dr. ALLICHE Mounir, qui sont en grande partie à l'initiative de cette thèse. Leurs suggestions avisées ont permis la réalisation effective de ce travail.

Je tiens aussi à remercier Pr. ABDALLAH ELHADJ Abdallah pour son soutien et ses précieux conseils.

Je saisis cette occasion pour remercier les enseignants et les professeurs de la faculté des sciences et de technologie de l'Université de MEDEA, et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à accomplir ce travail dans des meilleures conditions.

Je remercie aussi en particulier mon collègue Bouamrane Toufik pour son soutien et son encouragement.

Je tiens aussi à remercier les membres de jury pour avoir lire et soutenir mon travail.

Zioui Mohamed

SOMMAIRE

Introduction générale 01

Chapitre I : Découpage des métaux 02

I.1) Généralités sur l'usinage 02

I.1.1) Introduction 02

I.1.2) Coupe et outils coupants 02

I.2) Découpage par jet d'eau 04

I.2.1) Principe Fonctionnement de la découpe au jet d'eau 04

I.2.2) Exemples de vitesses de découpe 05

I.3) Découpage thermique 05

I.3.1) Introduction 05

I.3.2) Méthodes de découpe thermique 06

-La découpe laser 07

-Oxycoupage 09

-Découpe plasma 10

I.3.3) Qualité de coupe – Critères de choix 11

- Zone Affectée Thermiquement (Z.A.T.) : 12

- Retard : 12

- Dépouille : 12

- Largeur de trait : 13

- Scories : 13

I.3.4) Comparaison des procédés thermiques 14

I.4) Conclusion 18

Chapitre II : Généralités sur les machines de découpage par jet plasma 19

II.1) Machine routeurs 19

II.1.1) introduction 19

II.1.2) Machine CNC 19

II.1.2.1) Définition 19

II.1.2.2) Généralités 20

II.1.2.3) Conception assistée par ordinateur 21
II.1.2.4) Fabrication assistée par ordinateur 21
II.1.2.5) Modélisation 3D 21
II.1.2.6) Élaboration des parcours-outils 21
II.1.2.7) Génération du programme CN 22
II.1.2.8) Transfert vers la Machine à Commande Numérique 22
II.1.2.9) Post-processeur 22
II.2) Transmission et transformation de mouvement 23
II.2.1) Définition 23
II.2.2) Modes et organes de transmission 23
-Transmission par fluides 23
-Transmission sans contact 24
-Transmission avec des fonctions complémentaires 24
-Transmission par contact solide 24
II.2.3) Transmission par contact solide 25
II.2.3.1) Engrenage 25
-Description 25
-Généralités 26
-Les dents 26
-Profil en développante de cercle 27
-Étude géométrique 31
-Taillage des pignons 32
-Conditions d'engrènement 32
II.2.3.1) Types d'engrenages 34
-Engrenage à roue et crémaillère 34
-Engrenages parallèles ou cylindriques 34
-Engrenages concourants ou coniques 34
-Engrenages gauches 34
-Lanternes et rouets 35

II.2.3.2) Trains d'engrenages 35
-Train simple 35
-Train planétaire (ou épicycloïdal) 36
-Train sphérique 36
II.2.3.3) Détérioration des dentures 37
II.2.4) Courroie synchrone 37
II.2.4.1) Standards 38
II.2.4.2) Désignation 38
II.2.4.3) Usure 39
II.2.5) Performances d'une transmission 39
II.2.5.1) Rapport d'une transmission de mouvement de rotation 39
II.2.5.2) Rendement d'une transmission de puissance 40
II.3) Moteurs électriques 40
II.3.1) Moteur tournant 40
II.3.1.1) Les types de moteurs 40
II.3.1.2) Moteurs pas à pas 41
II.3.1.2.1) Pourquoi des moteurs Pas à Pas 41
• Avantages: 41
• Inconvénients: 41
II.3.1.2.2) Les différents types de Moteurs PaP 41
II.4) Système de guidage 42
II.4.1) Guidage en rotation 42
II.4.1.1) Définition : 42
II.4.1.2) Arbre et Moyeu 42
II.4.1.3) Paramètres dynamiques 43
II.4.1.4) Critères de choix 44
II.4.2) Guidage en translation 45
II.4.2.1) Précision du guidage 45
II.4.2.2) Guidage par glissement 46
II.4.2.3) Guidage par roulement 47
II.4.3) Conclusion 48
II.5) Conclusion 48

Chapitre III : Application SolidWorks 49
III.1) Le logiciel SolidWorks 49
III.1 .1) Introduction sur SolidWorks 2011 49
III.2) Fonction de base de SolidWorks 49
III.2.1) Concept 49
III.2.2) Modélisation 3D 49
III.2.3) Personnalisation de l'interface utilisateur 53
III.2.4) Méthode de conception 54
- Esquisses 54
- Fonctions 55
- Assemblages 56
- Mises en plan 56
III.3) Conclusion 57
Chapitre IV : Conception d'une table multi-axes de découpe par jet plasma 58
V.1) Introduction 58
IV.2) Description de la machine 58
A) Partie fixe de la machine 59
B) Partie mobile 59
IV.3) Fonctionnement de la machine 59
IV.3 .1) Déplacement longitudinal 60
IV.3 .1.1) Guidage 60
IV.3 .1.2) Génération de mouvement : 60
IV.3 .1.3) Transmission et transformation du mouvement 60
IV.3 .2) Déplacement transversal 61
IV.3.2.1) Guidage 62
IV.3.2.2) Génération de mouvement 62
IV.3.2.3) Transmission et transformation du mouvement 62
IV.3 .3) Déplacement vertical 63
IV.3.3.1) Guidage 63
IV.3.3.2) Génération de mouvement 63
IV.3.3.3) Transmission et transformation du mouvement 63
IV.3.4) Guidage en rotation 63

IV.4) Système d'alimentation 64
IV.4.1) Alimentation de la torche 64
IV.4.2) Alimentation des moteurs 64
IV.4.3) Chaine porte câble 64
IV.5) Fixation de la tôle à découper 65
IV.5.1) Fixation de la tôle 65
IV.5.2) Récupération des chutes de tôle 65
IV.6) Récapitulation : Liste des pièces formant l'assemblage 70
IV.6) Conclusion 72
Chapitre V : Étude générale de la table 73
V.2) Étude cinématique 73
V.2.1) Translation suivant l'axe (X) 73
V.2.1.1) Schéma cinématique 73
V.2.1.2) Étude du mouvement 74
V.2.2) Translation suivant l'axe (Y) 74
V.2.2.1) Schéma cinématique 74
V.2.2.2) Étude du mouvement 75
V.2.3) Translation suivant l'axe (Z) 75
V.2.3.1) Schéma cinématique 75
V.2.3.2) Étude de mouvement 75
V.3) Choix du moteur 76
V.3.1) Détermination du couple résistant 76
V.3.2) Caractéristiques du moteur choisit 80
V.4) Géométrie de la table 82
V.5) Étude statique 82
V.5.1) introduction 82
V.5.2) Le logiciel ANSYS 82
V.5.2.1) ANSYS Structural : 82
V.3.2.2) ANSYS Workbench 83
V.5.3) Les déformations élastiques liées à des sollicitations statiques 83
V.5.4) Étude du châssis (bâti) : 84
V.5.4.1) Torche au centre de la table 84
-Chargement imposé 84

-Réaction de la table 85
V.5.4.2) Torche sur côté de la table 85
-Chargement imposé 85
-Réaction de la table 85
V.5.4.3) Table chargée 86
-Chargement imposé 86
-Réaction de la table 86
V.5.5) Étude de chariot (axe Y) 87
V.5.5.1) Torche au milieu du chariot 87
-Chargement imposé 87
-Réaction du chariot 87
V.5.5.2) Torche sur coté du chariot 88
-Chargement imposé 88
-Réaction du chariot 88
V.6) Etude dynamique : 89
V.6.1) Détermination des six premiers modes propres de la table 89
V.7) conclusion 92
Conclusion Générale 93
Bibliographie 94

ملخص

تستخدم طاولات القطع على نطاق واسع في الصناعة الحالية. فهي تتميز بالسرعة و الأشكال المعقدة المحصول عليها بعد القطع.الهدف من هذا العمل هو تصميم طاولة لقطع البلازما ذات تحكم آلي. وقد تم التصميم باستخدام البرنامج solidworks 2011. عدة دراسات حركية والديناميكية اجريت لتصميم أجزاء الطاولة. تمت معالجة سلوك الجهاز للتحقق من صحة خصائص الالة. تم تنفيذ هذا الجزء الأخير باستخدام البرنامج ANSYS 12.0.

كلمات دالة: طاولات القطع, لقطع البلازما ,تصميم, ديناميكية

Résumé

Les tables de découpage sont largement utilisées dans l'industrie. Elles sont caractérisées par leur rapidité et la complexité des formes obtenues du découpage des tôles. L'objectif du présent travail consiste à la conception d'une table routeur de découpage par jet plasma à commande numérique. La conception a été mise au point à l'aide du logiciel SolidWorks 2011. Des études cinématique, statique et dynamique ont été faites en vue du dimensionnement des pièces de la table. Le comportement de l'assemblage a été traité pour valider les exigences et les propriétés de la machine. Cette dernière partie a été réalisée en utilisant le logiciel ANSYS 12.0.

Mots clés : Conception Mécanique, SolidWorks, Table Routeur, Découpage par Jet Plasma, Déplacements multi axes.

Abstract

Cutting tables are widely used in industry. They are characterized by their speed and the complexity forms of the cutting plates. The objective of this work is to design a router table cutting by CNC plasma jet. The design was developed using SolidWorks 2011. Studies of kinematic, static and dynamic have been made to design parts of the table. The behavior of the assembly was treated to validate the requirements and properties of the machine. This last part was performed using the ANSYS 12.0.

Keywords: Mechanical Design, SolidWorks, router Table, Plasma Cutting, plasma Jet

Liste des figures

Figure (I-1) : outils en coupe 03
Figure (I-2) : découpage per jet d'eau 04
Figure (I-3) : Tête laser de découpe. 09
Figure (I-4): Dispositif d'oxycoupage. 09
Figure (I-5) : Géométries de torches à plasma pour la découpe. 11
Figure (I-6) : Définition de diverses grandeurs et termes techniques utilisés pour le découpe thermique. 12
Figure (I-7) : Exemple de scories sous la plaque. 14
Figure (I-8) : Vitesse de coupes suivant les épaisseurs pour les procédés de découpe présentés 17
Figure (II-1) Chaîne de transmission 24
Figure (II-2) Mise en évidence du point de contact entre les dents 26
Figure (II-3) Engrenage classique : la droite intérieure roule sans glisser simultanément sur les deux cercles de base 27
Figure (II-4) Engrenage paradoxal : la tangente commune est extérieure aux deux cercles. Les deux roues tournent dans le même sens. 28
Figure (II-5) Denture droite et denture hélicoïdale. Les trois pignons ont le même module apparent et les deux grandes roues le même nombre de dents 29
Figure (.II-6) Engrenages à chevrons en V d'André Citroën, devenus emblème et logo des automobiles Citroën. 30
Figure (II-7) Génération d'un pignon par crémaillère 31
Figure (II-8) Pignon sur une crémaillère 34
Figure (II-9) Engrenage conique 35
Figure (II-10) Engrenage gauche 35
Figure (II-11) Engrenage conique 35
Figure (II-12) Roue et vis sans fin 35
Figure (II-13) train planétaire 36
Figure (II-14) Profil de courroie synchrone. 37
Figure (II-15) Courroie synchrone. 37
Figure (II-16) Nacelle d'une éolienne contenant le multiplicateur et la génératrice 38

Figure (II-17) : guidage en rotation 42
Figure (II-18) Moyeu fixe, arbre tournant 42
Figure (II-19) Arbre fixe, moyeu tournant 42
Figure (II-20) guidage bielle/axe 43
Figure (II-21) guidage avec bague 43
Figure (II-22) guidage avec roulement 43
Figure (II-23) guidage en chape 44
Figure (II-24) guidage en porte à faux 44
Figure (II-25) schéma cinématique 45
Figure (II-26) précision du guidage 46
Figure (II-27) guidage par queue d'aronde 46
Figure (II-28) guidage par deux surfaces cylindriques 47
Figure (II-29) guidage prismatique en roulement 47
Figure (II-30) guidage cylindrique avec roulement 47
Figure (III-1) arbre de création feature manager 52
Figure (III-2) PropertyManager 52
Figure (III-3) Configuration manager 53
Figure (III-4) poignées 54
Figure (III-5) Esquisse 54
Figure (III-6) fonction extrusion 55
Figure (III-7) Mise en plan 56
Figure (IV-1) table de découpe 59
Figure (IV-2) déplacement de la torche 60
Figure (IV-3) déplacement longitudinal de la torche 61
Figure (IV-4) transmission pignon-crémaillère 61
Figure (IV-5) déplacement transversal de la torche 61
Figure (IV-6) déplacement vertical de la torche 62
Figure (IV-7) système vis-écrou 63
Figure (IV-8) bague de frottement 63
Figure (IV-9) chaine porte câble 64
Figure (IV-10) Tiroir a roulette 65
Figure (IV-11) roulette 65
Figure (V-1) translation suivant x 73

Figure (V-2) schéma cinématique en 3D 74
Figure (V-3) translation suivant y 74
Figure (V-4) translation suivant z 75
Figure (V-5) Accélération longitudinal 76
Figure (V-6) Vitesse angulaire du moteur 77
Figure (V-7) couple résistant de la machine 77
Figure (V-8) Accélération du chariot 78
Figure (V-9) Vitesse du chariot 79
Figure (V-10) accélération de la torche avec le moteur (42) 80
Figure (V-11) vitesse de la torche avec le moteur (42) 81
Figure (V-7) Amplitude des défauts d'usinage en fonction de la fréquence de la sollicitation pour chaque source d'erreur 83
Figure (V-8) étude du châssis cas 1 84
Figure (V-9) étude du châssis cas 2 85
Figure (V-10) châssis chargé 86
Figure (V-11) traverse y 87
Figure (V-12) chargement sur coté 88
Figure (V-18) premier mode propre de la table 89
Figure (V-19) deuxième mode propre de la table 90
Figure (V-20) troisième mode propre de la table 90
Figure (V-21) quatrième mode propre de la table 91
Figure (V-22) cinquième mode propre de la table 91
Figure (V-23) sixième mode propre de la table 92

Liste des tableaux

Tableau (I-1) Exemple de vitesse 05

Tableau (II-1) Modules normalisés 32

Tableau (II-2) Conditions engrènement 33

Tableau (II-3) Courroie cranté standards 38

Tableau (IV-) Liste des pièces formant l’assemblage 70

Tableau (V-1) caractéristique du moteur 80

Nomenclature

2D	deux dimensions
3D	3 dimensions
CAO	conception assisté par ordinateur
CFAO	conception et fabrication assisté par ordinateur
CN	machine à commande numérique
CNC	computer numéral command
CO_2	oxyde de carbone
CUCN	Usinage à commande numérique
DFN	fichier de définition numérique
DNC	Direct Numerical Control
DXF	d'échange fichier intermédiaire
FAO	fabrication assisté par ordinateur
FCN	Fraisage à commande numérique FCN
Fdc	face de coupe
Fdd	face de dépouille
IGES	d'échange fichier intermédiaire
ISO	système international des unités
MCN	machine à commande numérique
MOCN	Machine à Commande Numérique
NCC	Numerical Control Code
num	fichier de définition numérique
STEP	d'échange fichier intermédiaire
TCN	Tournage à commande numérique TCN
VDA	d'échange fichier intermédiaire
ZAT	zone affecté thermiquement
MPP	moteur pas à pas
MCC	moteur a courant continu

a	: entraxe	[mm]
C_e	: couple d'entré	[N.m]
C_s	: couple de sortie	[N.m]

d_i	: diamètre primitif	[mm]
E_e	: travaille d'entrée	[J]
E_s	: travaille de sortie	[J]
F	: Force	[N]
i	: rapport de transmission du train d'engrenage	/
m	: module de denture	/
n_1	: vitesse de rotation pignon cranté	[tr/min]
n_2	: vitesse de rotation roue cranté	[tr/min]
P_e	: puissance d'entrée	[Watt]
P_s	: puissance de sortie	[Watt]
Q	: charge repartie	[N/m^2]
R_1	: rapport de transmission axe (x)	/
R_2	: rapport de transmission axe (y)	/
V	: volume	[m^3]
V_x	: vitesse suivant l'axe (x)	[m/s]
V_y	: vitesse suivant l'axe (y)	[m/s]
V_z	: vitesse suivant l'axe (z)	[m/s]
Z_A	: nombre de dents pignon cranté	[dents]
Z_B	: nombre de dents roue cranté	[dents]
Z_C	: nombre de dents pignon	[dents]
δ_{max}	: flèche (déplacement en flexion)	[m]
η	: rendement d'une transmission	[%]
ω_e	: travaille d'entrée	[J]
ω_s	: travaille de sortie	[J]

Bibliographie

[1] Bruno Johns., «Découpage par jet d'eau, avec ou sans abrasif »,(2000), pp13-14

[2] Decker K., « Cutting systems in an environmental context », Svetsaren, (1), (1999), pp34-37.

[3] Valetoux H., « Approche expérimentale des phénomènes impliqués dans la découpe par plasma d'arc transféré. Contribution à l'étude des instabilités et du transfert thermique », Thèse de doctorat, Université de Limoges, (1998).

[4] Fernicola R., « New oxygen plasma process rivals laser cutting methods », Welding journal, (73), 6, (1994), pp65-69.

[5] Bechkri Bouchra., «analyse des défauts de denture et leurs influences sur les transmissions mécaniques par engrenages », Thèse de Magister-Université Mentouri Constantine, 2007

[6] Jean MARTIN., «Mécanismes de transformation de mouvement à contact local», Ingénieur de l'École Nationale Supérieure des Arts et Métiers, Paris, France, 2001.

[7] Marcel Jufer, « Traite D'électricité électromécanique», Volume IX.Paris.2008.

[8] Wikipédia, l'encyclopédie libre www.wikipédia.com/moteurelectrique

[9] G. Pritschow. Parallel Kinematic Machines. Limitations and New Solutions. Annals of the CIRP. vol. 49. pages 275–280, January 2000.

[10] Help SolidWorks 2011

[11] G. Pritschow, C. Eppler et T. Garber. Influence of the Dynamic Stiffness on the Accuracy of Machines in Research and Practice, pages 313–333, Chemnitz, Germany, April 2002.

[12] Stepper motors (EMMS-ST) edition 07/2012 .www.festo.com/catalog

[13] http://simonmomignies.be/fr/ms/ms/toles-profilees-et-panneaux-sandwichs-momignies-6590/ms-127587/

Fiche Technique

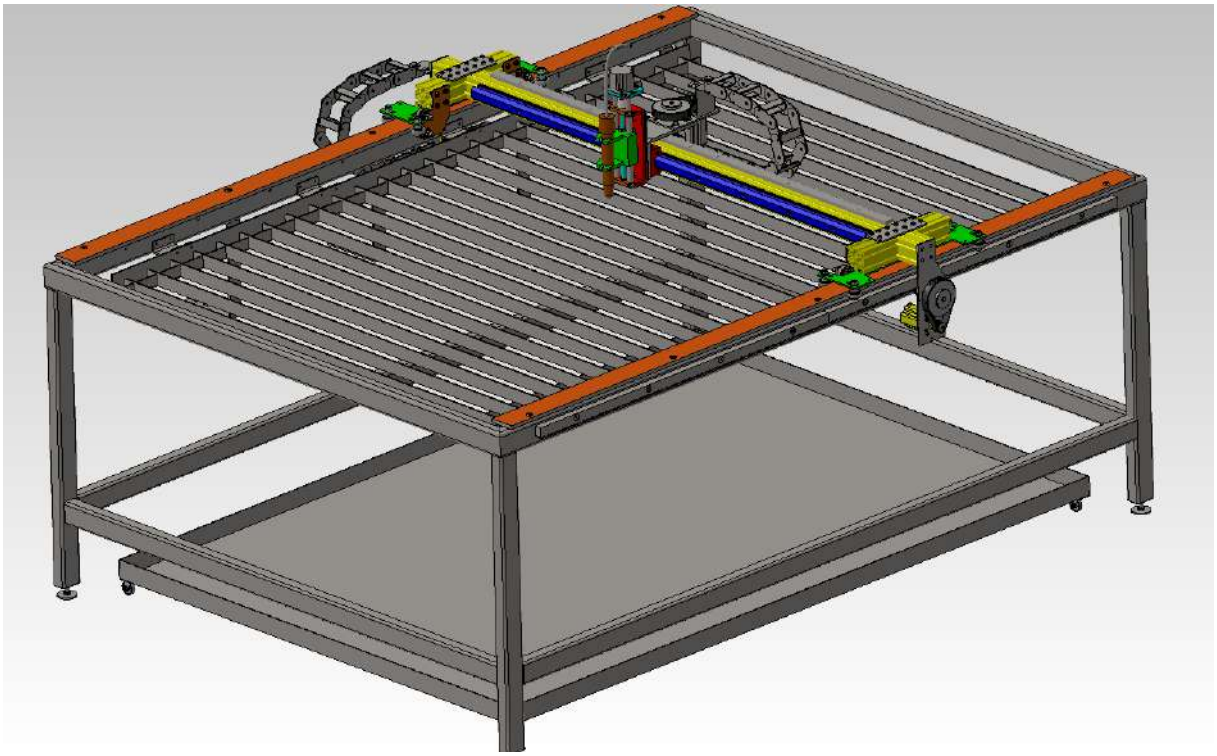


Table CNC de découpage par jet plasma

Dimensions de la machine

Longueur	2300mm
Largeur	1900mm
Hauteur	1300mm

Dimensions fonctionnelles

Déplacement longitudinale	1660mm
Déplacement transversal	1320mm
Déplacement vertical	75mm

Poids totale de la machine 330 kg

Vitesses de déplacement linéaire de la torche

$V_{x\text{-}max}$ = 20m/min_____ n=1000 tr/min

$V_{y\text{-}max}$ = 20m/min_____ n=1000 tr/min

$V_{z\text{-}max}$=1.75m/min_____ n=1000 tr/min

Couple moteur 0.5 Nm

ملخص

تستخدم طاولات القطع على نطاق واسع في الصناعة الحالية. فهي تتميز بالسرعة و الأشكال المعقدة المحصول عليها بعد القطع.الهدف من هذا العمل هو تصميم طاولة قطع بلبلازما ذات تحكم آلي. وقد تم التصميم باستخدام البرنامج solidworks 2011. عدة دراسات حركية والديناميكية اجريت لتصميم أجزاء الطاولة. تمت معالجة سلوك الجهاز للتحقق من صحة خصائصه. تم تنفيذ هذا الجزء الأخير باستخدام البرنامج ANSYS 12.0.

كلمات دالة: طاولات القطع, لقطع البلازما ,تصميم, ديناميكية

Résumé

Les tables de découpage sont largement utilisées dans l'industrie. Elles sont caractérisées par leur rapidité et la complexité des formes obtenues du découpage des tôles. L'objectif du présent travail consiste à la conception d'une table routeur de découpage par jet plasma à commande numérique. La conception a été mise au point à l'aide du logiciel SolidWorks 2011. Des études cinématique, statique et dynamique ont été faites en vue du dimensionnement des pièces de la table. Le comportement de l'assemblage a été traité pour valider les exigences et les propriétés de la machine. Cette dernière partie a été réalisée en utilisant le logiciel ANSYS 12.0.

Mots clés : Conception Mécanique, SolidWorks, Table Routeur, Découpage par Jet Plasma, Déplacements multi axes.

Abstract

Cutting tables are widely used in industry. They are characterized by their speed and the complexity formsof the cuttingplates. The objective of this work is to design a router table cutting by CNC plasma jet. The design was developed using SolidWorks 2011. Studies of kinematic, static and dynamic have been made to design parts of the table. The behavior of the assembly was treated to validate the requirements and properties of the machine. This last part was performed using the ANSYS 12.0.

Keywords: Mechanical Design, SolidWorks, router Table, Plasma Cutting, plasma Jet

INTRODUCTION GENERALE

Le développement industriel est porté par le souci permanent de trouver de nouvelles procédures de fabrication pour des produits présentant un rapport qualité/prix de plus en plus amélioré.

Le développement des produits a toujours été un processus lent et très risqué, qui nécessite plusieurs phases d'ajustement qui touchent aussi l'outil de production.

La concurrence dans le monde industriel de plus en plus accrue ne permet plus le moindre risque de pertes matérielles ou humaines, pire encore, elle exige d'anticiper vers l'obligation de tout prévoir, de la conception au recyclage en passant par le bon fonctionnement du produit.

Ceci permet d'éviter énormément d'erreurs et de problèmes de mise au point, et contribue à la réduction du coût final de fabrication.

La robotique et les machine numériques font ainsi partie des moyens mis en œuvre en vue d'atteindre ces objectifs.

D'autre part, les simulations sont plus faciles à établir, plus rapides, plus commodes, moins chères à employer, et permettent à l'utilisateur d'exécuter des expériences sans risque d'endommager la machine en permettant de prévoir le nombre des outils nécessaires pour l'exécution d'une tâche, de trouver la position optimale des outils dans la cellule et de prévoir les obstacles.

Pour simuler le comportement d'une machine CNC, on doit lui créer un modèle. Plusieurs niveaux de modélisation existent suivant les objectifs, les contraintes de la tâche et les performances recherchées, à savoir modèle géométrique, cinématique ou dynamique.

Dans ce contexte et dans le cadre d'un projet PNR au sein du laboratoire LMP2M à l'Université de Médéa, l'objectif du présent travail est de concevoir une table routeur multiaxes utilisant deux axes de déplacements orthogonaux supportant une charge qui décrit un profil quelconque 2D. On utilisera le logiciel de CAO SolidWorks 2011 pour la conception des éléments de l'assemblage. Un calcul cinématique a été ensuite entamé.

En outre, une analyse statique et une autre dynamique s'avèrent alors nécessaires afin de compléter l'étude. Pour ce faire, on a utilisé le logiciel ANSYS 12.0.

Chapitre I - Découpage des métaux

I.1) Généralités sur l'usinage

I.1.1) Introduction

Tournage-décolletage et alésage, fraisage, perçage et forage, taraudage, sciage, brochage, taillage et arasage font partie des techniques conventionnelles d'usinage par enlèvement de copeaux à l'outil coupant. Les techniques dites "non-conventionnelles" telles que l'usinage par ultrasons, par jet d'eau, l'usinage chimique ou électrothermique (laser, plasma, faisceaux d'ions) trouvent leur application, pour l'instant, dans des domaines plus spécialisés que les techniques traditionnelles. Chacune de ces techniques se distingue par des outils ayant des géométries différentes.

De plus, pour un matériau donné, elle nécessite le choix de conditions de coupe particulières. Plusieurs techniques, en particulier conventionnelles, peuvent être en concurrence pour une application donnée.

Dans ce cas, la sélection de l'une par rapport à l'autre se fait au profit de celle opposant le moins de contraintes dans la mise en œuvre. Ce choix peut être critique si l'opération en question intervient en fin de gamme de fabrication où la valeur ajoutée de la pièce usinée est la plus élevée.

Quelle que soit la technique d'usinage, le cisaillement du copeau et les phénomènes de déformation qui l'accompagnent ainsi que l'influence des paramètres de coupe sur sa formation sont communs.

Dans la plupart des cas, les grandeurs fondamentales et leur nomenclature (définition des efforts de coupe, des paramètres de coupe ou de la géométrie de l'arête de coupe) sont pratiquement les mêmes.

I.1.2) Coupe et outils coupants

L'outil en coupe est défini par deux faces : face de coupe (Fdc) et face de dépouille (Fdd). L'intersection de ces deux faces constitue l'arête de coupe. L'attaque de l'outil conduit

à la séparation de la matière et à la formation de deux surfaces fraîches : la face usinée de la pièce et la face du copeau au regard de la face de coupe de l'outil (l'aspect lisse de cette face du copeau est dû au frottement sur l'outil).

De façon générale, l'action que subit l'outil porte sur les deux zones de contacts, copeau-face de coupe de l'outil et pièce usinée-face de dépouille de l'outil, pour lesquelles les sollicitations thermiques et mécaniques ne sont pas les mêmes Figure (I-1). Leur grandeur n'est pas fixe et dépendra de nombreux paramètres. A titre d'exemple, dans le cas de l'usinage de l'acier avec l'outil en carbure

À l'interface entre le copeau et la face de coupe de l'outil, la pression est très intense, supérieure à 1 GPa, et les températures élevées résultant de la chaleur de la déformation et du frottement du copeau dépassent souvent 600 °C et peuvent même aller au-delà de 800 °C selon le type d'acier usiné. La température maximale est atteinte à l'arrière de l'arête de coupe de l'outil à l'interface copeau-face de coupe de l'outil.

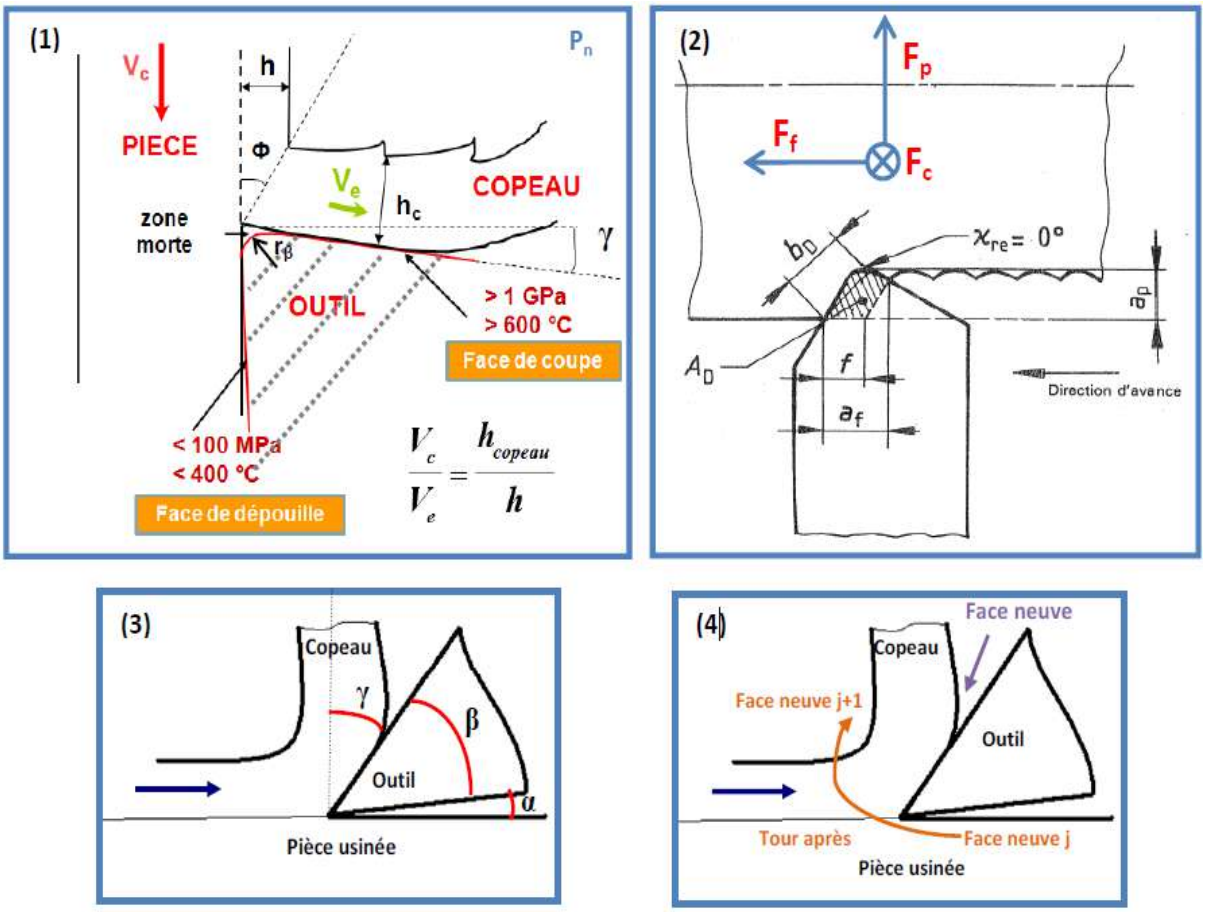


Figure (I-1) : outils en coupe

À l'interface entre la pièce usinée et la face de dépouille de l'outil, les contraintes (< 100 MPa) et les températures (< 400 °C) sont moins sévères que dans le cas précédent.

En revanche, la vitesse sur la face de dépouille est plus importante que celle sur la face de coupe de l'outil (vitesse de coupe > vitesse d'évacuation du copeau).

I.2) Découpage par jet d'eau

Le découpage au jet d'eau est un procédé de fabrication qui utilise un jet d'eau pour découper la matière (exemples : mousse, cuir, matériaux métalliques, matériaux composites etc…).

I.2.1) Principe de Fonctionnement de la découpe au jet d'eau

L'eau, ou plus exactement le fluide, peut contenir des additifs, notamment pour faciliter la coupe du matériau. La découpe au jet d'eau additionnée d'abrasif (type grenat), d'une granulométrie de 80 mesh dans le standard, permet la découpe de métaux, pierres, marbres, verre dans des épaisseurs allant jusqu'à 600 millimètres.

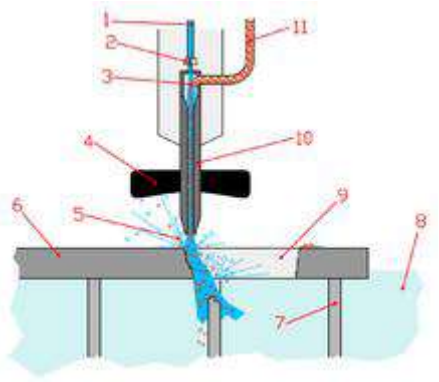


Figure (I-2) : découpage per jet d'eau

On distingue deux techniques de découpage :

- la découpe à l'eau pure (tous les matériaux se coupant au cutter) ; buse de coupe de 0,08 mm à 0,30 mm (sertie d'un saphir industriel) ;
- la découpe à l'eau chargée d'abrasif (tout matériaux) ; l'eau passe par la buse, on y adjoint le sable, l'eau et le sable passent par le canon de focalisation qui assure une

cylindricité du mélange ; buse de coupe de 0,20 mm à 0,40 mm (sertie d'un saphir ou d'un diamant industriel). Canon de focalisation de 0,50 mm à 1,2 mm.

Un seul matériau ne peut être découpé au jet d'eau : le verre trempé, qui casse dès les premiers millimètres de découpe à cause des trop fortes contraintes présentes dans le matériau.

L'eau sous très haute pression (jusqu'à 6150 bars) sort de la buse de découpe :

- à une vitesse de 900 m/s à 4135 bars (environ 3 fois la vitesse du son)
- à une vitesse de 1 200 m/s à 6150 bars (environ 4 fois la vitesse du son)

Le bruit d'une machine en fonctionnement peut monter jusqu'à 90 décibels.

I.2.2) Exemples de vitesses de découpe

Matériaux Epaisseur Matériaux	5 mm	10 mm	15 mm	20 mm	25 mm	30 mm	50 mm	100 mm
Acier rapide	678	370	236	169	128	102	48	18
Ader inoxydable 304	833	454	290	208	159	125	60	22
Titane	1083	590	377	270	206	163	78	28
Aluminium	2250	1226	782	561	427	339	162	59
Granité <Mohogany)	2974	1621	1035	741	565	448	214	78
Composites Fibres de Carbone	3915	2135	1363	975	744	590	281	103
Verre	4315	2352	1502	1075	820	650	310	113
Marbre	4672	2547	1626	1164	888	704	336	123
Plexiglas	4904	2674	1707	1222	932	739	352	129
Composites Fibre de Verre	5948	3243	2070	1482	1131	896	427	156
Kevlar	6195	3378	2156	1543	1178	934	445	163
Graphite	8087	4409	2815	2015	1538	1219	581	213
Carreau de céramique	8869	4835	3087	2210	1686	1337	637	233

Tableau (tab.I-1) : Exemple de vitesses [1]

Ces valeurs représentent la vitesse de séparation maximale et sont obtenues en travaillant à 4100 bar, 3,7 l/min, et 580 g/min d'abrasif (FLOW PASER plus Garnet mesh 80). Pour une découpe d'ébauche, comptez 80% de ces valeurs et 40% pour une découpe de qualité. Ces valeurs sont théoriques et non contractuelles.

I.3) Découpage thermique

I.3.1) Introduction

L’étude des arcs électriques a débuté il y a plus de deux siècles. Ainsi, la première expérience concernant un arc électrique fut menée par Davy en 1813. Cet arc était créé entre

deux charbons dans une cage de verre sous vide. À cette époque, les études étaient limitées par les connaissances scientifiques et les appareils de mesures existants.

Il n'était ainsi possible que de mesurer des grandeurs macroscopiques telles que la tension ou l'intensité de l'arc. Cela n'a pas empêché les scientifiques d'alors, d'envisager les prémices des applications industrielles plasmas présentes aujourd'hui. Ces applications reposaient sur les différentes constatations plus ou moins empiriques concernant les fortes températures régnant dans le plasma ou encore sur les capacités réactives du milieu. Il faudra cependant attendre le développement de l'aire industrielle pour voir apparaître les procédés plasma dans l'industrie. Ainsi, au début du XXème siècle, le plasma fut utilisé pour la production d'oxydes d'azote et d'acétylène. Quelques essais furent menés sur la soudure à l'arc ou sur le chauffage de coulées de métal dans la métallurgie.[2]

À cette époque, le milieu plasma n'était toujours pas caractérisé et ce n'est que dans les années 30 que Langmuir fit des études plus théoriques sur les gaz ionisés. C'est cependant la seconde guerre mondiale qui favorisa le plus le développement de nouvelles techniques industrielles plasmas.

Ainsi, c'est à cette période qu'apparurent aux Etats Unis les premières torches de soudage sous flux de gaz. Puis dans les années 50 se développa le procédé de découpe plasma. A l'heure actuelle, les plasmas thermiques sont utilisés dans de nombreux autres domaines d'applications tels que la métallurgie, la sidérurgie, le traitement des déchets, le traitement de pièces mécaniques, la chimie et pétrochimie ou encore la cimenterie. Les installations industrielles utilisent principalement trois types de configurations : les torches à plasma soufflé, les arcs transférés et les torches à plasma inductif. Si la maturité industrielle semble atteinte pour beaucoup de procédés plasmas, étrangement, ce ne sont que des études plus ou moins semi – empiriques qui ont permis de faire évoluer ces techniques jusqu'au milieu des années 70. Les ingénieurs, se sont rendu compte alors de la nécessité d'études plus fondamentales pour obtenir des procédés optimisés et une meilleure connaissance de « l'outil » plasma.

I.3.2) Méthodes de découpe thermique

Afin de situer la place du procédé de découpe plasma sur le marché de la métallurgie, nous allons décrire dans ce paragraphe les diverses techniques de découpes existantes à l'heure actuelle.

Ces techniques se divisent en deux grandes catégories :

- Une première qui regroupe tous les procédés mécaniques fonctionnant par cisaillement ou arrachement de la matière
- et une deuxième qui concerne les procédés dits « thermiques » qui fonctionnent par fusion de la pièce à couper.

Dans cette présentation, nous laisserons de côté les procédés mécaniques car ils ne sont pas directement concurrents de la découpe plasma.

En effet, ils sont plus lourds à mettre en place et ne permettent pas la découpe de forme complexe en 2D. On peut toutefois citer quelques outils existants tels que le coupage à la cisaille, le poinçonnage à la presse ou encore le tronçonnage à la meule. Un procédé par arrachement de matière tel que la découpe par jet d'eau est aussi relativement utilisé dans le milieu industriel .Il s'agit d'une découpe par érosion du métal et nous ne détaillerons donc pas son fonctionnement.

Les procédés thermiques ont tous un fonctionnement commun : Une quantité d'énergie est transmise à la plaque à couper de manière à fondre le métal, et un jet de fluide fournit une force vive pour éjecter le métal fondu. L'outil (ou la plaque) se déplace à une certaine vitesse qui dépend du procédé. Il se forme alors une saignée dans la pièce dont les caractéristiques vont déterminer la qualité de la découpe. Celle-ci est jugée sur différents paramètres tels que son profil, la production de bavures, et la déformation thermique du matériau coupé. La qualité et la vitesse de coupe sont des éléments importants dans le choix d'un procédé.

D'autres paramètres comme la pollution engendrée et le rapport qualité/coût pour l'entreprise entrent aussi en jeu. Il faut aussi prendre en compte le montant initial de l'installation, la formation du personnel et, ce qui est souvent oublié, le prix d'un éventuel retraitement de la pièce coupée pour la rendre utilisable pour un autre procédé (le soudage par exemple).

On peut remarquer que la plupart des techniques mécaniques nécessitent un contact direct entre la pièce à couper et l'outil ce qui n'est pas le cas des procédés thermiques.

Ce dernier point est un avantage non négligeable des outils de découpe thermique. Les techniques de découpe thermique sont au nombre de trois : la découpe laser, l'oxycoupage et la découpe plasma. Ces trois techniques sont concurrentes et le choix de l'une ou l'autre se fera suivant les critères que nous avons mentionnés ci-dessus et que nous détaillerons dans ce paragraphe.

On présente, dans ce chapitre, le fonctionnement des différentes techniques de découpe thermique.

-La découpe laser

Des trois procédés thermiques, la découpe laser est celui qui est apparu le plus récemment dans l'industrie (autour des années 80) [2]. Malgré cette récente apparition, elle occupe aujourd'hui une place prépondérante sur le marché, concurrençant fortement la découpe plasma et les procédés mécaniques.

Le schéma d'un dispositif laser est présenté sur la Figure (I-3) L'énergie qui sert à la fusion du métal est apportée par un faisceau de photons monochromatiques. Ce faisceau est focalisé par une lentille et frappe ensuite la plaque de métal à couper sur la plus petite surface possible.

L'apport d'énergie doit alors être suffisant pour vaporiser une partie du métal.

L'éjection des produits fusion/vaporisation hors de la saignée est effectuée par un soufflage simultané d'un gaz de coupe. La nature de ce gaz peut être changée suivant les matériaux envisagés.

Ainsi, pour des aciers faiblement alliés, on utilisera de l'oxygène de manière à obtenir sur les tranches de la saignée un effet chimique d'oxydation (qui rend plus lisses les bords de saignée) alors que pour les aciers inoxydables ou des métaux contenant par exemple du chrome, on utilisera des gaz plus inertes tels que l'argon ou l'azote. Ce gaz a aussi pour but de protéger les éléments de l'optique du laser en évitant que des particules de métal fondues viennent se coller dessus.

Le type de laser utilisé est généralement un laser CO_2 [2] fonctionnant en continu dans l'infrarouge. Le diamètre de sortie de la tuyère est d'environ 1mm. La puissance mise en jeu pour alimenter la source laser est de l'ordre de 50 à 100kW pour une puissance utile au niveau de la tête de coupe de seulement 2000W. Le rendement de l'ensemble est donc très faible et le procédé très consommateur d'énergie.

Le procédé laser peut couper n'importe quel type de métal non réfléchissant sur des épaisseurs allant de huit à moins de un millimètre. Des métaux tels que l'or ou l'aluminium ne pourront être découpés car ils reflètent trop la lumière. Le laser permet aussi à l'industriel de diversifier son activité grâce à la découpe d'autres matériaux tels que le bois ou le plastique.
Si l'on a un laser à longueur d'onde accordable, il suffit pour cela d'adapter la longueur d'onde en fonction du matériau à traiter.

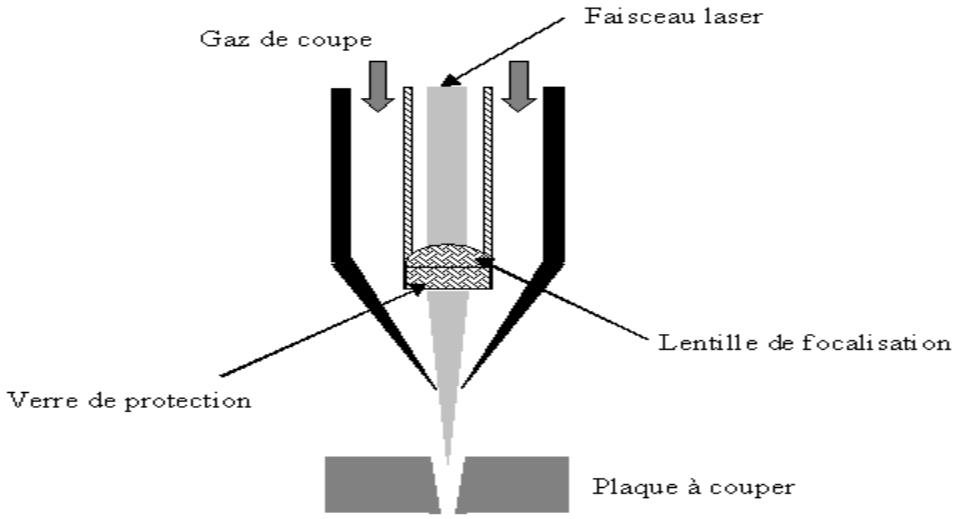


Figure (I-3) : Tête laser de découpe.

-Oxycoupage

Ce procédé est le plus ancien des trois. Il est utilisé dans l'industrie depuis le début du siècle [2]. Malgré l'apparition des procédés plasma et laser et bien qu'il ne permette la découpe que de d'aciers faiblement alliés, il équipe encore actuellement un grand nombre de bancs de découpe.

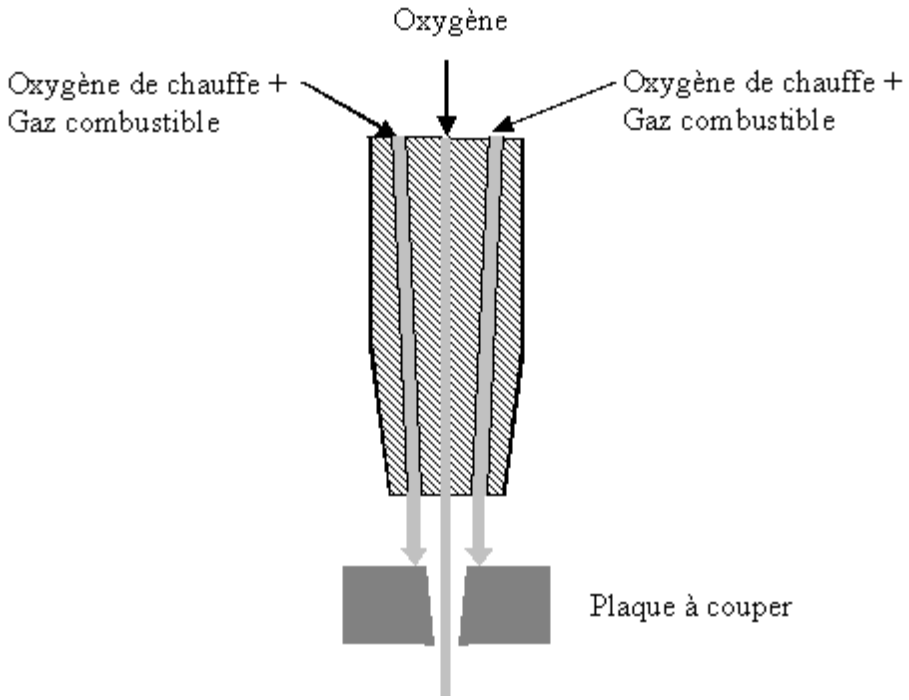


Figure (I-4): Dispositif d'oxycoupage.

Dans ce procédé, l'énergie de fusion est fournie par la réaction d'oxydation du fer. Il s'agit d'une réaction exothermique se produisant préférentiellement dans une gamme de températures de 1600K à 1800K. Il est indispensable d'entourer le jet d'oxygène servant à la combustion/oxydation du métal par une flamme de préchauffage. Cette dernière, permet à la pièce de métal d'atteindre localement la température nécessaire à l'amorçage de la réaction d'oxydation. La force vive du jet d'oxygène éjecte alors le métal fondu hors de la saignée tout en laissant le métal solide en front de saignée à une température suffisante pour entretenir la réaction pendant que l'outil avance. La Figure (I-4) donne un schéma simplifié du procédé.

Le gaz de coupe est injecté au centre de la buse et doit toujours être de l'oxygène assez pur avec moins de 0.5% d'impuretés. Le gaz de chauffe est distribué par des injecteurs placés en couronne autour du jet central. Ce gaz périphérique peut avoir différentes natures suivant l'installation (propane, acétylène ou gaz commerciaux comme le tétrène d'Air Liquide). Il est toujours mélangé à de l'oxygène comme comburant.

Si ce n'est l'alimentation pour déplacer la tête de découpe, l'oxycoupage ne consomme aucune énergie électrique. Il permet de découper tous les métaux non alliés contenant du fer dans une plage d'épaisseur de 3 à 150 mm. Tous les autres types de métaux, ou de matériaux ne pourront pas être traités.

-Découpe plasma

Le principe de base des procédés plasma consiste en la création d'un arc qui est transféré entre une cathode autour de laquelle est soufflé un gaz et une pièce métallique à couper prise comme anode. L'échange d'énergie entre le plasma et la plaque fait rentrer le métal en fusion et la force vive du jet éjecte le métal liquide hors de la saignée. Il existe deux types de configuration de torche : une où la cathode est pointue et une autre où elle est plate de type « bouton ». La cathode plate est généralement en cuivre et possède habituellement un insert en hafnium. La cathode pointue est la plupart du temps en tungstène. Ces deux types de géométries sont représentés sur la Figure (I-5). Dans le cas des cathodes pointues, l'écoulement de gaz est axial alors que pour les cathodes plates, il est en vortex. Ce dernier point semble présenter deux avantages : (1) L'utilisation d'un vortex place le point d'émission de l'arc hors du flux gazeux, économisant ainsi les cathodes et diminuant donc le coût de fonctionnement du procédé [2], (2) La présence du vortex modifie le profil de saignée et on obtient des bords dissymétriques : un côté présentant très peu de dépouille et un autre un peu

plus. Ce deuxième point peut devenir un inconvénient si l'on veut conserver les deux pièces obtenues après découpe.

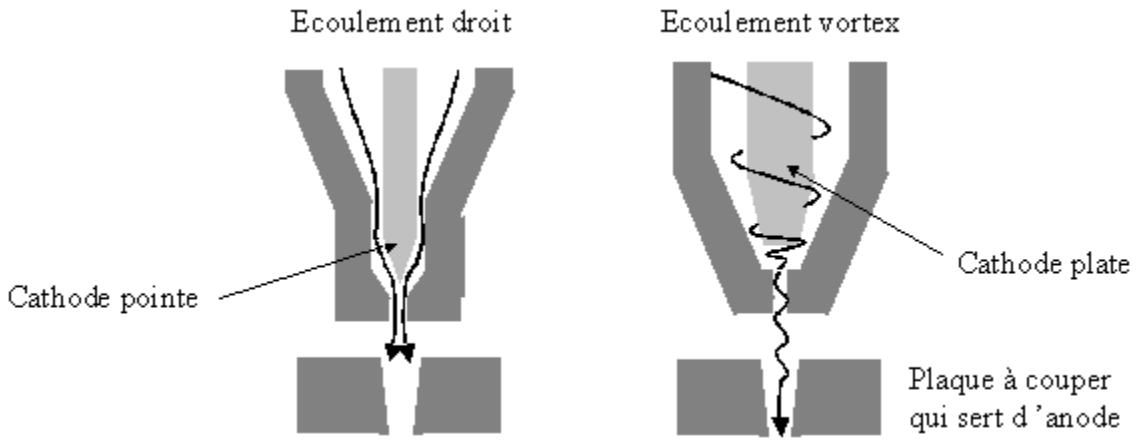


Figure (I-5) : Géométries de torches à plasma pour la découpe.

Ces deux types de géométries correspondent à différentes générations de torches. Les premières torches des années 50 avaient une cathode pointue. Elles présentaient un diamètre de sortie de tuyère de quelques millimètres et fonctionnaient avec des gaz chimiquement inertes. Les dernières installations ont toutes une injection en vortex, un diamètre de tuyère plus réduit autour du millimètre, et fonctionnent avec de l'air ou mieux de l'oxygène. Les configurations à cathodes pointues sont de moins en moins utilisées de nos jours.

Les gaz plasmagènes doivent posséder des propriétés physiques particulières. Il faut tout d'abord qu'ils aient une conductivité thermique et une enthalpie élevées de manière à favoriser un transfert rapide d'importantes quantités de chaleur du plasma vers la plaque. Cela permet d'avoir une vitesse de coupe élevée en conservant de bonnes caractéristiques de coupe. Les gaz doivent aussi posséder une masse moléculaire ou atomique importante afin que le jet de plasma puisse éjecter le métal fondu hors de la saignée.

I.3.3) Qualité de coupe – Critères de choix

Après avoir présenté le fonctionnement des trois procédés thermiques, nous nous intéressons dans ce paragraphe à la qualité de coupe et de manière plus générale, aux critères de choix pour l'utilisateur d'une technique ou d'une autre.

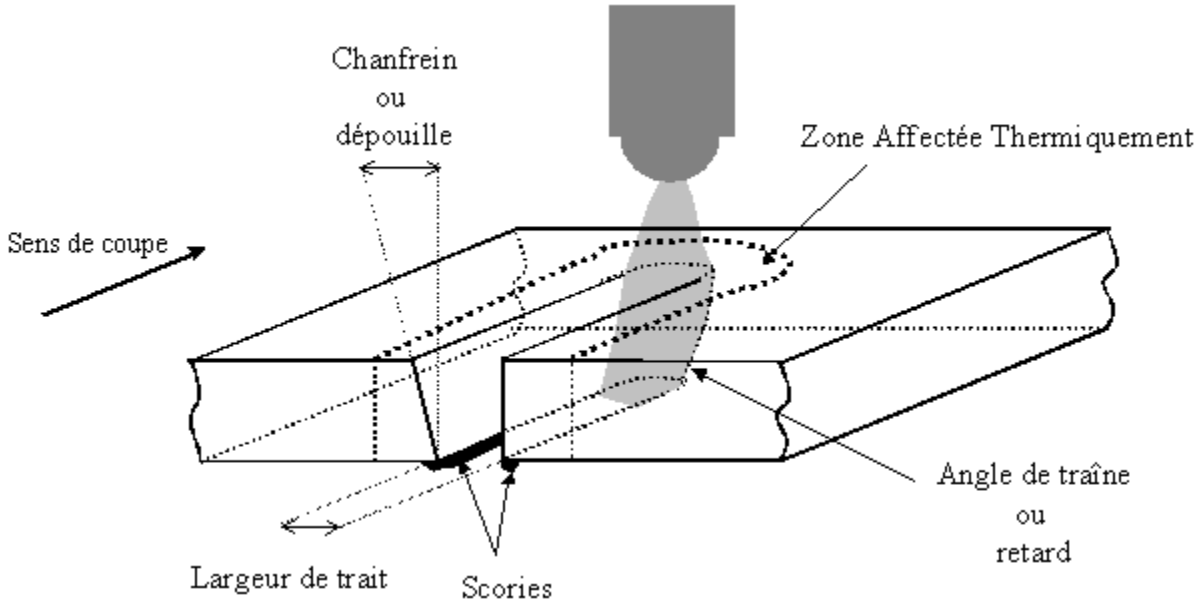


Figure (I-6) : Définition de diverses grandeurs et termes techniques utilisés pour la découpe thermique.

Nous présentons sur la Figure (I-6) le schéma d'un procédé thermique découpant une plaque. Ce procédé peut être soit un laser, une torche d'oxycoupage ou une torche plasma. Sur cette figure, divers termes associés à la découpe thermique sont introduits

- Zone Affectée Thermiquement (Z.A.T.) :

Lors de la découpe, une certaine quantité d'énergie est fournie au métal par l'outil. Suivant les cas, ce flux thermique peut modifier la structure du métal autour de la saignée sur plusieurs millimètres. Par définition, la ZAT représente l'isotherme à partir de laquelle la structure du métal est inchangée. Cette isotherme est égale à 700°C pour l'acier [3]. Elle peut être révélée par un traitement chimique acide effectué après la découpe. Plus la ZAT est réduite, meilleure est la qualité du produit fini. En effet, la ZAT peut être vue comme l'image de l'effet thermique de l'outil sur le matériau. Si elle est étendue, cela traduit le fait que le flux de chaleur s'est propagé profondément dans le matériau entraînant des déformations thermiques indésirables.

- **Retard** :

Ce terme désigne l'angle créé par l'outil sur le front de fusion du métal. Cet angle dépend principalement de la vitesse de déplacement de l'outil et du flux thermique reçu par la pièce. **Ramakrishnan** a étudié pour une torche à plasma les retards engendrés par différentes

vitesses de coupe. Pour des vitesses de torches trop élevées, il a montré que la puissance fournie à la pièce à couper est réduite et que cela entraîne un retard sur le front de fusion. Si par contre, la vitesse est trop faible, un retard est aussi créé mais dans l'autre sens, la courbure du front de fusion s'inversant alors vers l'avant. Pour la séparation de plaque de métal en deux, le retard a peu d'incidence sur la qualité de la coupe. Par contre, pour des applications plus complexes comme la découpe de formes en deux dimensions, il sera primordial de bien adapter la vitesse de l'outil pour éviter au maximum une courbure positive ou négative du front de fusion.

- **Dépouille** :

Dans la plupart des cas, quand la saignée se forme, sa largeur en haut et en bas de plaque n'est pas la même. La dépouille représente l'angle que forment les bords de la saignée par rapport à la verticale. Cet angle n'est pas forcément identique à gauche et à droite de la saignée. Il dépend du procédé utilisé, des conditions opératoires (gaz, vortex, débits…), mais aussi de l'épaisseur de la plaque. Plus la pièce à couper est épaisse, plus la dépouille risque d'être importante. Une bonne qualité de coupe correspondra à la plus petite dépouille possible (au moins sur un des bords de la saignée). [3]

- Largeur de trait :

Suivant les procédés, la largeur moyenne de saignée varie de quelques dixièmes de millimètres à quelques millimètres. Cette largeur de trait va jouer sur la précision du procédé. Plus elle sera petite, plus le procédé sera précis et plus l'on pourra découper de petites pièces.

- **Scories** :

Lors de la fusion du métal le long de la saignée, il arrive souvent que des gouttelettes restent accrochées sous la tôle. Ce sont ces éléments de métal solidifiés sous la plaque et sur les bords de saignée que l'on appelle scories. A titre d'exemple, nous avons représenté sur la Figure (I-7) les scories crées par un plasma d'azote. On peut observer que leur hauteur peut atteindre jusqu'à 1cm. Lors de la présence de scories, il est nécessaire de retraiter la pièce après découpe en « ébavurant » ses bords. Cette opération entraîne un surcoût qui influencera directement le choix d'un procédé. Sur cette même figure, on peut voir la présence de stries dans la saignée. Ces stries sont aussi un défaut important de la découpe plasma et ont fait l'objet de nombreuses études dont la thèse de **Valetoux** [3]. Cependant il semble qu'aucune explication valable sur leur origine n'ait été trouvée. Il est à noter que ces stries apparaissent aussi bien lors de la découpe laser que lors de la découpe plasma.

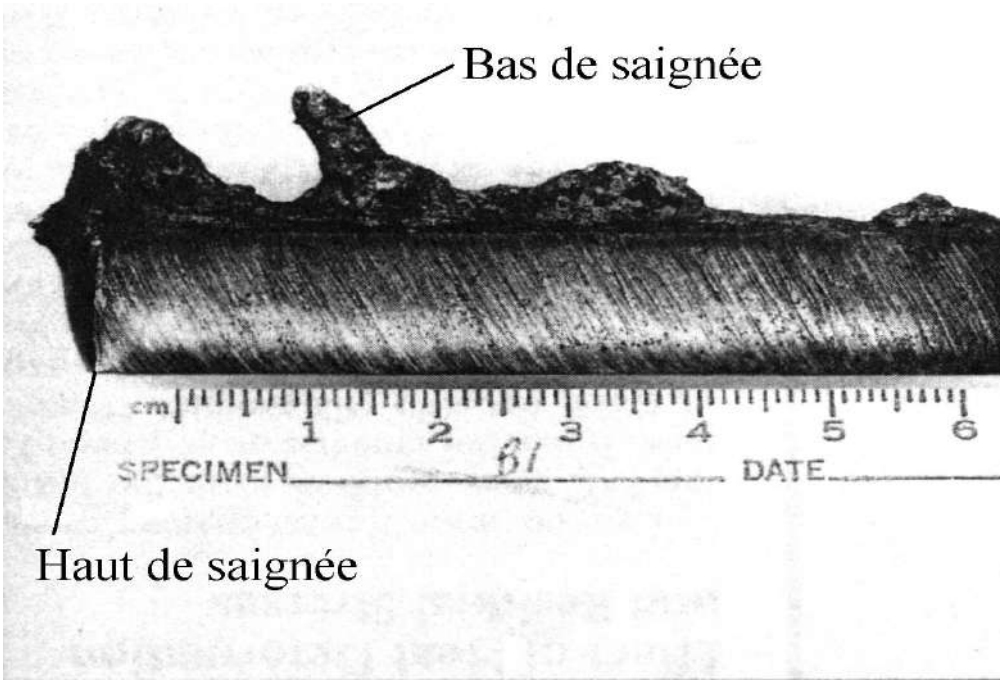


Figure (I-7) : Exemple de scories sous la plaque. [2]

Ainsi donc, la qualité de coupe sera jugée suivant les différents critères présentés. Elle n'est cependant pas le seul paramètre qui entre en jeu dans le choix d'un procédé. En effet, le coût de l'installation, des consommables, de la formation du personnel, et celui d'un éventuel retraitement de la pièce après découpe sont d'autres critères importants.

La notion de rendement avec la vitesse de coupe est aussi essentielle. Enfin n'oublions pas dans ces critères, les diverses pollutions créées par le procédé parmi lesquelles les fumées dégagées, le rayonnement et le bruit émis par l'outil. Sur ce dernier point, si le retraitement des gaz dégagés par le procédé est bien maîtrisé, beaucoup de progrès restent à faire pour les deux autres types de pollutions [2].

L'utilisateur devra donc bien définir ses besoins afin d'optimiser au mieux le rapport (qualité + rendement)/coût de son installation.

I.3.4) Comparaison des procédés thermiques

Nous présentons dans ce paragraphe, pour chaque technique, les caractéristiques qui vont permettre à l'utilisateur d'élaborer son choix.

- La découpe Laser.

Pour ce procédé, la vitesse de coupe varie de 0.3m/min à 10m/min suivant l'épaisseur de la plaque et la puissance du laser. L'apport d'énergie se faisant sur une surface de quelques dixièmes de mm^2, la ZAT est peu importante et la largeur de trait de l'ordre de quelques

dixièmes de millimètres. Le matériau à couper subit peu de déformations thermiques ce qui est un avantage important. Les bords de saignée sont bien droits et la dépouille quasiment négligeable. Avec le laser, à condition d'avoir de bons réglages, la formation de scories est inexistante. Par contre l'apparition de stries persiste. L'épaisseur de la plaque que l'on peut couper de manière rentable varie du dixième de millimètre à 3-4 millimètres. En termes de qualité de coupe, le laser présente de nombreux avantages : une très bonne précision, une ZAT très étroite et une grande diversité de matériaux traitables.

En terme de pollution, les installations laser font un bruit important (autour de 100dBA à un mètre de l'installation) et dégagent beaucoup de rayonnement [2]. Des solutions peu pratiques pour éviter cela, consistent à encapsuler la tête laser ou de séparer l'utilisateur de l'endroit où se fait la découpe. Ceci a pour conséquence d'augmenter le coût de l'installation, d'abaisser la productivité et donc d'accroître le coût de la découpe. Des solutions individuelles peuvent aussi être mises en place.

Le prix d'une installation complète se situe aux alentours de 500 mils-euros [2].
Cela représente un investissement de départ lourd pour une entreprise. De plus les installations laser restent tout de même relativement fragiles et leur coût d'entretien est très élevé.

- Oxycoupage

Pour l'oxycoupage, les vitesses de coupe se situent autour d'une cinquantaine de centimètres par minute. Seuls les aciers pas ou faiblement alliés peuvent être coupés. La ZAT créée est très importante, de l'ordre de 6mm autour de la saignée [2]. Cette très large ZAT est principalement due à la présence des flammes de préchauffage qui portent le métal autour de la saignée à une température avoisinant les 1600K pour amorcer la réaction d'oxydation. Une autre raison provient de la réaction chimique exothermique s'effectuant au sein de la plaque de métal. En effet, cette réaction propage de la chaleur de manière isotrope à partir de tous les bords de la saignée. Le flux de chaleur transmis dans la plaque, modifie de manière importante la structure du métal dans la ZAT et favorise l'apparition de fortes déformations thermiques. La largeur de trait est de l'ordre de 2 à 3mm et la précision finale de l'ordre de 1 à 2 millimètres. La présence d'oxygène a tendance à fluidifier le métal liquide, évitant que des scories s'accrochent en bas de saignée [4]. L'oxycoupage a ainsi l'avantage de créer des saignées aux bords bien lisses et aucun retraitement de la pièce coupée n'est nécessaire. La dépouille créée est quasi inexistante. Finalement, la qualité de coupe de l'oxycoupage est

moyenne : les caractéristiques de la saignée sont bonnes mais la précision est médiocre et les déformations thermiques importantes. Malgré cela, l'oxycoupage est beaucoup utilisé dans l'industrie car c'est un procédé très robuste avec un coût très faible aux alentours de quelques centaines d'euros [2]. De plus, l'oxycoupage permet de couper des épaisseurs de plaque variant de 20cm à 2m. De plus, la pollution de ce procédé se limite à la création de gaz toxiques du type Nx-Oy et cette pollution est bien maîtrisée et traitée par des systèmes d'extraction et de filtrage des fumées [2].

- Découpe plasma

Pour la découpe plasma, la vitesse de coupe dépasse 5 m/min pour les plus faibles épaisseurs et n'atteint que quelque dizaine de centimètres par minute pour les plus fortes. On peut couper de manière rentable des épaisseurs de métal allant de quelques dixièmes de millimètres à plus de 150 mm. Il faudra toutefois adapter la géométrie de la torche et sa puissance pour les plus fortes épaisseurs. La largeur de trait se situe aux alentours de 1 à 2 mm. Elle dépend de la puissance et de la géométrie de la torche. Avec les nouveaux procédés à l'oxygène on arrive à obtenir des largeurs de trait inférieures au millimètre et une précision de coupe de quelques dixièmes de millimètres, comparable à celle du laser [4]. Suivant la configuration de la torche et les conditions opératoires, la ZAT varie de 1 à 2mm. Elle est beaucoup moins importante que dans le cas de l'oxycoupage. Lorsque la découpe est réalisée sous l'eau, la ZAT est quelque peu diminuée [2]. La présence d'une ZAT de 2 mm traduit la présence d'un fort gradient de température lors de la découpe engendrant, pour les torches de forte puissance, des déformations thermiques au sein de la pièce coupée. On peut éventuellement pour les éviter mettre en place une découpe simultanée des deux bords de la pièce par deux torches [2]. En terme de qualité de coupe, le plus gros inconvénient de la découpe plasma reste la difficulté à réduire l'accrochage de scories à la sortie de la saignée telles que celles présentées sur la Figure (I-7). L'utilisation de l'oxygène diminue notablement leur formation. En effet avec l'oxygène, la tension de surface du métal est fortement abaissée [4] et les gouttes de métal, plus petites que dans le cas de l'azote ou du mélange argon - hydrogène, se forment beaucoup plus rapidement. Les scories sont donc beaucoup moins nombreuses. On pourrait penser que comme pour l'oxycoupage une action d'oxydation est couplée à l'action du plasma. En fait les ordres de grandeurs des températures en haut de la saignée (15000K) ne permettent pas l'oxydation qui ne se fait qu'à des températures voisines de 2000K. Par contre en bas de saignée, l'oxydation a lieu et semble dans une certaine mesure

éviter la formation de scories. Les bords de la saignée obtenus avec l'oxygène sont beaucoup plus lisses qu'avec les autres gaz. Cependant, l'emploi de l'oxygène n'empêche pas la formation de stries.

Le coût d'une installation plasma est de quelques dizaines de milliers d'euros. Si on utilise de l'oxygène comme gaz de coupe, il faut aussi compter un surcoût important dû aux consommables [4]. La pollution engendrée par le procédé plasma est à peu près de même nature que celle du laser (bruit + rayonnement). Cependant, contrairement à son concurrent, elle peut être réduite par la mise en place d'un banc de découpe sous l'eau [2].

Pour conclure, la découpe plasma permet de traiter des métaux dans une gamme d'épaisseur variant de 1 à 150mm. Cependant pour cela il faudra adapter la torche pour les différentes épaisseurs. Par rapport à l'oxycoupage, la ZAT est fortement réduite et la précision accrue. La technique plasma, peu fragile permet de couper tous les types de métaux et le coût d'une installation est à peu près dix fois moindre que celui d'un banc de découpe laser.

L'apparition des nouvelles torches à oxygène permet d'accroître la précision et la vitesse de coupe tout en consommant moins d'énergie. La Figure (I-8) [2] présente les différentes gammes de fonctionnement pour les procédés thermiques. On peut observer que la découpe plasma sous oxygène se place comme un concurrent direct de la découpe laser. En effet, ces deux techniques opèrent dans la même plage d'épaisseur, la découpe sous oxygène étant deux à trois fois plus rapide. De plus son coût de revient et d'entretien est bien inférieur à celui d'une installation laser.

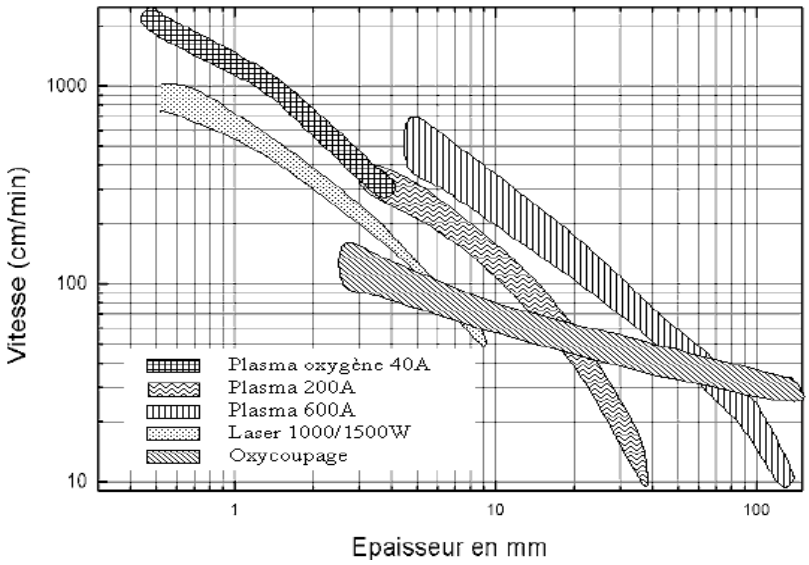


Figure (I-8) : Vitesse de coupes suivant les épaisseurs
pour les procédés de découpe présentés

I.4) Conclusion

On a présenté ici les différentes techniques thermiques de découpe de métaux existantes à l'heure actuelle dans le milieu industriel. Ces techniques sont aux nombres de trois : l'oxycoupage, la découpe laser et la découpe plasma.

Chacune de ces techniques présente ses avantages et inconvénients : L'oxycoupage est un procédé très peu onéreux mais qui n'offre qu'une qualité de coupe médiocre. La découpe laser est très précise mais le coût de l'installation est relativement élevé. En revanche, la découpe plasma est moins onéreuse et plus rapide que la découpe laser néanmoins elle n'offre pas encore la précision de cette dernière

Chapitre II- Généralités sur les machines de découpage par jet plasma

II.1) Machine routeurs

II.1.1) introduction

Une machine routeur est une machine capable de maintenir un outil et de lui imprimer un mouvement afin de tailler, découper, graver, dessiner ou déformer un matériau.

Cette machine peut donc être utilisée comme moyen de production, la technologie actuelle facilite la tâche en simplifiant le système de commande pour réaliser des tâches très compliquées.

II.1.2) Machine CNC

Une machine à commande numérique (MCN, ou simplement CN) est une machine dotée d'une commande numérique. Lorsque la commande numérique est assurée par un ordinateur, on parle parfois de machine CNC pour **Computer Numéral Command.**

II.1.2.1) Définition

Dans le domaine de la fabrication mécanique, le terme « commande » désigne l'ensemble des matériels et logiciels ayant pour fonction de donner les instructions de mouvements à tous les éléments d'une machine :

- L'outil (ou les outils) d'usinage équipant la machine,
- Les tables ou palettes où sont fixées les pièces,
- Les systèmes de magasinage et de changement d'outil,
- Les dispositifs de changement de pièce,
- Les mécanismes connexes, pour le contrôle ou la sécurité, l'évacuation des copeaux, …

On peut aussi diviser la famille des commandes numériques en sous familles de machines :

- Fraisage à commande numérique (FCN) ;
- Tournage à commande numérique (TCN) ;

- Usinage à commande numérique (CUCN) ;
- Rectification à commande numérique ;
- Électroérosion à commande numérique.

Dans chaque famille, les méthodes de montage et de travail sont totalement différentes, mais elles se rejoignent sur le principe de programmation.

La grande majorité des machines utilisent un langage ISO. À cela peuvent se rajouter des interfaces dites conversationnelles ou par apprentissage qui simplifient l'utilisation de la machine.

La notion de commande numérique s'étend aussi au domaine de la chaudronnerie : découpage plasma, presse plieuse.

II.1.2.2) Généralités

Par extension, on appelle « commande numérique » l'armoire de commande recevant le programme d'usinage sous forme d'un ruban perforé, d'une bande magnétique, ou de données issues d'un ordinateur. On désigne parfois ainsi la machine complète équipée d'un tel dispositif. On parle d'un tour à commande numérique, ou d'une fraiseuse à commande numérique, par opposition à un tour conventionnel ou une fraiseuse conventionnelle, dont les mouvements sont commandés manuellement ou par un dispositif automatisé d'une façon figée.

Les machines spécialisées (aléseuses-perceuses, fraiseuses) à commande numérique ont évolué en centres d'usinage à commande numérique permettant d'usiner des formes complexes sans démontage de la pièce. Ces centres d'usinage sont généralement équipés de magasins d'outils (tourelles, tables, chaînes) sur lesquels sont disposés les différents outils. Les changements d'outils équipant la (ou les) tête(s) d'usinage sont programmés en fonction de la définition numérique de la pièce.

Le fichier de définition numérique (qu'on appelle aussi DFN, définition numérique, numérisation ou même tout simplement « num ») est un fichier informatique généré par CAO, qui remplace de plus en plus le plan sur la traditionnelle planche à dessin.

CATIA est actuellement l'un des logiciels les plus utilisés pour établir les DFN dans les domaines de l'automobile et de l'aéronautique.

Sur ces définitions doivent ensuite être calculés des parcours d'outil au moyen de logiciels de FAO. Ces parcours seront ensuite traduits dans un langage compréhensible par la « commande numérique ».

II.1.2.3) Conception assistée par ordinateur

La conception assistée par ordinateur (CAO) comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de concevoir, de tester virtuellement - à l'aide d'un ordinateur et des techniques de simulation numérique - et de réaliser des produits manufacturés et les outils pour les fabriquer.

II.1.2.4) Fabrication assistée par ordinateur

Le but de la Fabrication Assistée par Ordinateur ou FAO est d'écrire le fichier contenant le programme de pilotage d'une machine à commande numérique. Ce fichier va décrire précisément les mouvements que doit exécuter la machine pour réaliser la pièce demandée. On appelle également ce type de fichiers : programme ISO ou blocs ISO.

II.1.2.5) Modélisation 3D

La conception de la pièce à fabriquer est réalisée à l'aide d'un progiciel de Conception assistée par ordinateur (CAO) : on nomme le fichier ainsi obtenu "modélisation 3D" ou encore "DFN" pour Définition de Formes Numérisée. Cette modélisation en trois dimensions de la pièce à réaliser est ensuite « exportée », c'est-à-dire sauvée depuis la CAO dans un fichier intermédiaire en utilisant un standard d'échange comme IGES, STEP, VDA, DXF ou autre. Certains outils de FAO sont capables de relire directement les fichiers des grands fournisseurs de CAO. Dans d'autres cas, la CAO et la FAO sont complètement intégrées et ne nécessitent pas de transfert. Pour ces progiciels, on parle de CFAO.

II.1.2.6) Élaboration des parcours-outils

La modélisation 3D étant importée sur le progiciel de FAO puis relue par celui-ci, il est possible de passer à la programmation des parcours outils, le cœur de l'activité de la FAO. Le programmeur crée les parcours en respectant les choix d'outil, les vitesses de coupe et d'avance, et les stratégies d'usinage à mettre en œuvre. Le progiciel de FAO "plaque" les trajectoires des outils choisis sur la modélisation 3D et enregistre celles-ci sous forme d'équations. Depuis 1990-2000, les progiciels de FAO sont capables de reproduire

graphiquement (visualisation volumique) et d'une manière fiable, l'action des outils dans la matière, permettant ainsi au programmeur de vérifier ses méthodes d'usinage et éviter a priori les collisions sur les machine. Il est possible désormais de modéliser entièrement la machine et de visualiser les mouvements des éléments mobiles de celle-ci (tête, table, axes rotatifs) lors de la simulation d'usinage : cette possibilité est précieuse lors de la vérification et la validation de parcours en 5 axes, où les risques de collision sont décuplés par rapport à un usinage plus classique, en 3 axes.

II.1.2.7) Génération du programme CN

L'étape suivante consiste, depuis le programme de FAO (au format texte dit APT ou au format binaire dit CL File) ainsi élaboré, à générer les blocs ISO pour la machine. Ce programme de conversion est appelé un Post-Processeur. Le Post-Processeur est développé spécifiquement pour une cinématique machine et une Commande numérique données.

Le développement peut-être fait en langage C ou VB (Post-Processeur dit "à Façon") soit avec un Générateur de Post-Processeur. Il existe différents éditeurs de logiciel spécialisés dans ce domaine. Certains éditeurs de logiciel de FAO proposent leur propre Générateur de Post-Processeur mais ne fonctionnent que pour leurs propres parcours d'outils.

II.1.2.8) Transfert vers la Machine à Commande Numérique

Le fichier ISO obtenu est transmis à la MOCN (Machine à Commande Numérique) par un logiciel de DNC (Direct Numerical Control), puis exécuté par cette machine, après la phase de réglage indispensable.

II.1.2.9) Post-processeur

Le post-processeur est un outil informatique utilisé en fabrication assistée par ordinateur. Un post-processeur permet de traduire le langage d'une FAO (programme, logiciel de fabrication assistée par ordinateur), le processeur, vers une MOCN (machine à commande numérique).

En effet, un logiciel de FAO crée un fichier qui n'est pas directement assimilable par la MOCN. Il faut traduire ce fichier pour créer un nouveau fichier exploitable par la MOCN. Ce fichier peut être par exemple au format ISO, dit aussi G-code, qui est supporté par la plupart des machines.

Chaque constructeur de MOCN a ses spécificités qui nécessitent des adaptations de post-processeurs.

Chaque logiciel de FAO a lui aussi ses propriétés qui font que le post-processeur d'un logiciel A ne sera pas le même qu'un post-processeur d'un logiciel B pour la même machine.

On peut dire aussi qu'un post-processeur est un programme conçu pour traiter des données lues à partir d'un fichier source (APT par exemple) comprenant des informations, des trajectoires d'outil et les paramètres d'usinage pour les adapter à une machine spécifique sous forme d'un programme conforme aux standards ISO (par exemple) qui sera sauvegardé dans un fichier NCC (Numerical Control Code).

II.2) Transmission et transformation de mouvement

II.2.1) Définition

Une transmission est un dispositif mécanique permettant de transmettre un mouvement d'une pièce à une autre. Cet élément de la chaine d'énergie a pour fonction l'adaptation de la puissance au besoin.

La transmission du mouvement est l'une des fonctions les plus courantes des éléments de la mécanique générale, c'est-à-dire des dispositifs mécaniques destinés à remplacer la main de l'homme.[5]

Selon les mécanismes, la transmission est dimensionnée suivant des considérations concernant :

- La position d'une partie du mécanisme ;
- Le mouvement souhaité ;
- La force, ou le couple recherché ;
- La puissance.

II.2.2) Modes et organes de transmission

-Transmission par fluides

- pneumatique: air comprimé ou tout autre gaz,
- hydraulique: (eau), (huile) ou tout autre liquide

-Transmission sans contact

En utilisant l'électromagnétisme : aimant, électroaimant

-Transmission avec des fonctions complémentaires

Dans certains cas, l'environnement impose l'utilisation d'organes spécifiques au sein de la transmission :

- accouplement élastique lorsqu'il s'agit d'absorber des chocs
- joint de Cardan, joint d'Oldham pour transmettre le mouvement entre deux arbres dont l'alignement n'est pas toujours garanti.

-Transmission par contact solide



Figure (II-1) Chaîne de transmission

- Par pression :
  - arbre dans le cas d'une rotation
  - traction par corde, cordage, sangle ou poussée par tirants
- Par frottement :
  - roue
  - courroie de transmission
  - embrayage
- Par obstacles :
  - engrenages
  - transmission par chaîne, courroie synchrone, crémaillère uniquement dans le cas où il s'agit d'éviter tout glissement
  - Vis-écrou

II.2.3) Transmission par contact solide

II.2.3.1) Engrenage

Un engrenage est un système mécanique composé de deux roues dentées engrenées servant :

- soit à la transmission du mouvement de rotation entre elles
- soit à la propulsion d'un fluide (on parle alors de pompe à engrenages).

Dans le cas de la transmission de mouvement, les deux roues dentées sont en contact l'une avec l'autre et se transmettent de la puissance par obstacle.

Un engrenage est composé d'un pignon, c'est ainsi que l'on nomme la seule roue ou la roue la plus petite, et d'une roue, d'une crémaillère ou d'une couronne. Quand plus de deux roues dentées sont présentes, on parle de train d'engrenages. [6]

-Description

Le profil le plus répandu, en mécanique générale, est le profil en développante de cercle. On distingue différents types de dentures :

- les dentures droites ;
- les dentures à chevron (Citroën) ;
- les dentures hélicoïdales ;

De même, il existe plusieurs types d'engrenages:

- les engrenages à axes parallèles;
- à axes concourants ;
- à axes non concourants - dont font partie les engrenages à roue et vis sans fin - et les engrenages a pignon et crémaillère.

Le plus vieux mécanisme à engrenage connu est la machine d'Anticythère.

▪ Généralités

Les engrenages sont utilisés dans toutes les branches de la mécanique pour transmettre des mouvements, de l'horlogerie jusqu'aux réducteurs de l'industrie lourde. La transmission se fait avec un très bon rendement énergétique étant donné qu'il est généralement supérieur à 95 % dans des conditions correctes de montage.

Le rapport de vitesses obtenu entre l'entrée et la sortie, également connu sous les dénominations de « rapport d'engrenage » et « rapport de transmission », ne dépend que des nombres de dents des roues en contact. Il est également égal au rapport des rayons, et, a fortiori, des diamètres des roues (au signe près).

Pour des transmissions à grand entraxe, en regard de la dimension des pièces, on préférera une chaîne, une courroie ou une cascade d'engrenages.[5]

-Les dents

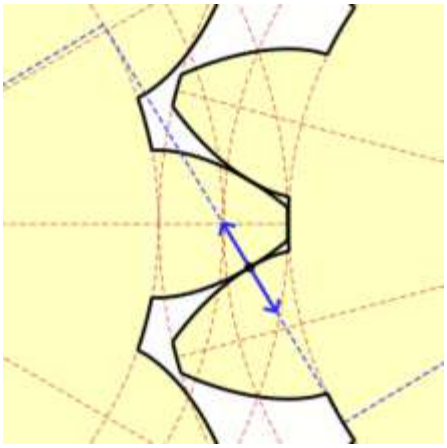


Figure (II-2) Mise en évidence du point de contact entre les dents

Il existe plusieurs types de dentures, aux propriétés particulières. Le quasi-totalité des formes sont dites conjuguées : pendant la rotation, les dents restent en contact dans un plan sagittal, et quand le lieu géométrique de ce point de contact est une droite, les profils des dents sont des développantes de cercle. Une exception notable est l'engrenage « Novikov », dit

aussi quelquefois de « Fisher », dans lequel le contact entre deux dents se fait pendant un temps « ponctuel » tout le long du profil.

-Profil en développante de cercle

C'est le profil presque universellement utilisé pour la transmission de puissance. La développante du cercle est la trajectoire d'un point d'une droite qui roule sans glisser sur un cercle. Ce cercle est appelé « cercle de base », de diamètre d_b. La zone d'existence de la développante se situe entre le cercle de base et l'infini. Il n'existe pas de développante à l'intérieur du cercle de base. Il ne faut donc pas chercher à faire fonctionner un engrenage à l'intérieur des cercles de base des dentures qui le constituent.

Si on considère deux cercles de base associés à deux roues d'un même engrenage, il est possible de faire rouler sans glisser une droite simultanément sur les deux cercles. De ce fait la vitesse circonférentielle des points des cercles est la même que ceux de la droite. Un point de la droite (point d'engrènement) va générer, sur les deux pignons, le flanc de dent.[5]

Engrenage classique

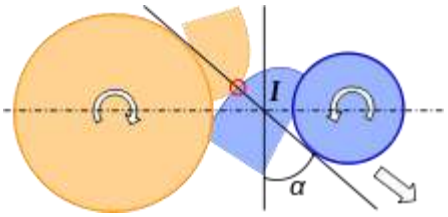


Figure (II-3) Engrenage classique : la droite intérieure roule sans glisser simultanément sur les deux cercles de base.

Si la droite passe entre les centres des cercles, on obtient l'engrenage classique. Les roues tournent alors en sens contraire et le rapport de transmission dépend des diamètres. Lorsqu'elle est extérieure, l'engrenage est dit paradoxal et les roues tournent dans le même sens.

Dans le cas de l'engrenage classique, et plus particulièrement des engrenages standards, les cercles de base sont rapprochés de telle sorte que la droite intérieure forme un

angle de pression α avec la perpendiculaire à la droite qui passe par les axes. Selon le standard, α vaut 20 ° en Europe, 25 ° aux US et 14,5 ° pour les anciens engrenages.

Les dents sont limitées à une zone autour du point I, dit « point d'engrènement », où les vitesses de glissement des dents sont infimes, ce qui contribue à un rendement optimal de l'engrenage. On obtient les deux flancs de dent en considérant les deux tangentes intérieures.

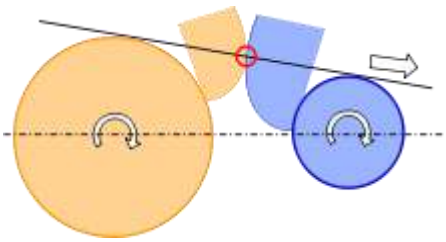


Figure (II-4) Engrenage paradoxal : la tangente commune est extérieure aux deux cercles. Les deux roues tournent dans le même sens.

La force exercée d'une dent sur l'autre se décompose en deux : une tangentielle (utile) qui transmet le couple, et une radiale (parasite) qui tend à éloigner les roues. Un angle de pression petit à l'avantage de limiter cette force de répulsion parasite, mais donne une forme de dent fragile. À l'opposé, un angle de pression élevé donne des dents trapues donc plus résistantes, mais génère beaucoup de forces sur les axes.

Engrenage paradoxal

L'engrenage paradoxal est utilisé dans certains différentiels (comme le différentiel Mercier, ingénieur chez Renault). Les vitesses importantes de glissement relatif sur les dents permettent un « blocage » partiel du différentiel lorsque les roues du véhicule ne disposent pas de la même adhérence au sol. Il ne s'agit pas de blocage à proprement parler puisque la résistance au mouvement n'est pas obtenue par obstacle sinon par frottement. Pour assurer le relais de la prise des dents, il est souvent nécessaire de disposer les dents dans des plans radiaux différents, ou avoir recours à une dent en hélice (solution continue).

Génération des dents



Figure (II-5) Denture droite et denture hélicoïdale. Les trois pignons ont le même module apparent et les deux grandes roues le même nombre de dents.

Denture droite

La génératrice de forme des dents est une droite parallèle à l'axe de rotation. C'est le type de denture le plus courant. Il est utilisé dans toutes les applications de mécanique générale. En effet, il s'agit du système qui permet de transmettre le maximum d'effort. Néanmoins, son principal défaut est d'être bruyant.

Denture hélicoïdale

La génératrice de forme des dents est une ligne hélicoïdale de même axe que l'axe de rotation. Ce type de denture présente l'avantage d'être plus silencieux que la denture droite, en créant moins de vibrations. Les dentures hélicoïdales permettent également d'augmenter la conduite de la transmission, en faisant en sorte que le nombre de dents simultanément en contact devienne constant, ce qui permet de transmettre des efforts plus importants et surtout d'atténuer les vibrations et les bruits.

En contrepartie ce type de denture engendre un effort axial dont l'intensité dépend de l'angle d'inclinaison de denture. Les roulements ou les paliers doivent être dimensionnés pour reprendre cet effort. Pour les engrenages à axes parallèles, les hélices sont obligatoirement de sens contraires pour que les dentures puissent engrener, sauf dans le cas très particulier de l'engrenage paradoxal.

Engrenages en chevrons



Figure (II-6) Engrenages à chevrons en V d'André Citroën, devenus emblème et logo des automobiles Citroën.

Une denture en chevrons, ou denture « Citroën », est composée de deux dentures hélicoïdales mises en opposition de manière à annuler l'effort axial. Bien que séduisant du point de vue théorique, ce type de denture est, en pratique, compliquée à réaliser car le profil n'est pas dégageant à l'intersection des deux hélices. Il est de ce fait cher à réaliser. Les dentures en chevrons ne sont utilisées que dans l'industrie lourde. Dans ce cas, il s'agit de deux engrenages à hélices contraires associés et non de pignons monoblocs.[5]

Engrenages à vis

Un engrenage à vis est un engrenage gauche constitué d'une vis sans fin et d'une roue à vis conjuguée, appelé « roue et vis sans fin ». Le profil de la vis est en général trapézoïdal.

Dans de nombreux cas, ce dispositif est « irréversible », ce qui signifie que si la vis peut entraîner la roue, la roue ne peut pas, en raison des frottements et de l'angle de l'hélice de la vis, entraîner celle-ci. Cet aspect est intéressant notamment pour la commande d'un treuil qui ne peut pas se dérouler tout seul. Son rôle de réducteur de vitesse est aussi très intéressant, car il permet un rapport de rotation très élevé avec seulement deux éléments, et ce dans un espace réduit et avec un renvoi d'angle à 90 ° au prix d'un rendement nettement inférieur à celui d'un engrenage conique. C'est d'ailleurs ce mauvais rendement qui lui permet d'assurer dans certaines conditions l'irréversibilité.

- **Étude géométrique [6]**

Pour les engrenages à axes parallèles

Les formules ci-dessous sont valables pour une denture normalisée.

- Diamètres primitifs :

$$\boldsymbol{d_i = m.z_i} \qquad [m] \qquad (II\text{-}1)$$

- Entraxe :

$$\boldsymbol{a = \frac{(d_1+d_2)}{2} = \frac{(z_1+z_2)}{2}} \qquad [m] \qquad (II\text{-}2)$$

- rapport d'engrenage (z_1 : pignon, z_2 : roue) :

$$\boldsymbol{u = \frac{z_2}{z_1}} \qquad [/] \qquad (II\text{-}3)$$

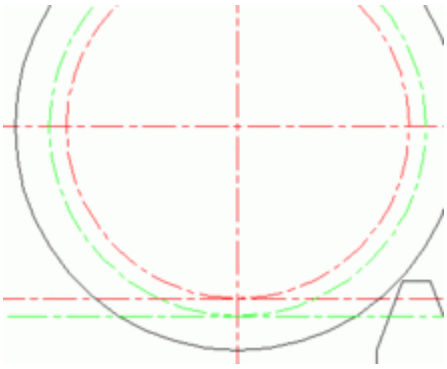


Figure (II-7) Génération d'un pignon par crémaillère

- rapport de transmission (vitesses) depuis un arbre d'entrée (e) vers un arbre de sortie (s) à travers 1 engrenage extérieur :

$$\boldsymbol{i = \frac{N_S}{N_e} = \frac{z_e}{z_s} = \frac{C_e}{C_s}} \qquad (II\text{-}4)$$

avec :

- z : le nombre de dents,
- N : la vitesse de rotation quelle que soit l'unité (tr/min) (rad/s)
- C : couple exprimé quelle que soit l'unité (N.m) (N.cm)
- i : rapport de transmission d'un train d'engrenages :

$$\boldsymbol{i_{tot} = i_I . i_{II} . i_{III} \ldots . i_n} \qquad \text{(II-5)}$$

-Taillage des pignons

Pour les pièces métalliques, les dentures sont réalisées, principalement, par enlèvement de matière (usinage). Il s'agit le plus souvent d'un engrènement simulé entre un outil (pignon, crémaillère, ou fraise) et la roue à tailler. De ce fait, le module de denture est imposé par l'outillage. Le mouvement d'engrènement contribue dans tous les cas au mouvement d'avance dans l'opération d'usinage. Le mouvement de coupe dépend du procédé.

Les modules sont normalisés. Il y a les valeurs principales, les valeurs secondaires (entre parenthèses) et les valeurs admises à titre exceptionnel (entre parenthèses et en *italique*) :

Modules normalisés																					
(0,06)	*(0,07)*	*(0,08)*	*(0,09)*	0,1	*(0,11)*	*(0,12)*	*(0,14)*	0,15	*(0,18)*	0,2	*(0,22)*	0,25	*(0,28)*	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,7
0,75	0,8	0,9	1	*(1,125)*	1,25	*(1,375)*	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	*3,25*	3,5	*3,75*	4	4,5	5	5,5	6
6,5	7	8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40	45	50	55	60	70

Tableau (II-1) : Modules normalisés

▪ Conditions d'engrènement

Il n'est pas possible de réaliser n'importe quel engrenage. Les bonnes conditions d'engrènement limitent le choix du nombre de dents de chaque pignon. Les critères à considérer sont :

Interférence entre les dents

Nombre minimal de dents (pour éviter l'interférence)					
Z_A	13	14	15	16	17
Z_B	de 13 à 16	de 13 à 26	de 13 à 45	de 13 à 101	de 14 à ∞

Tableau (II-2) : conditions d'engrènement

Répartition des usures

Les nombres de dents doivent être si possible choisis premiers entre eux (ce qui permet à chaque dent d'une roue de rencontrer toutes les dents de l'autre).

Rapport de conduite

Il faut optimiser le nombre de dents en prise pour mieux répartir les charges, et ainsi à la fois diminuer les effets de fatigue sur les dents, et réduire le bruit. On a alors souvent recours aux engrenages hélicoïdaux.

Départ de denture et modification d'entraxe

Un couple de pignons donnés peut fonctionner dès lors que les dentures sont suffisamment imbriquées. Même s'il y a du jeu, l'entraxe étant alors plus grand. Dans ce cas, il est possible d'annuler le jeu en gonflant les dents d'un ou des deux pignons (ce qui revient à réduire la saillie au profit de la dent). Le rapport de transmission et les diamètres primitifs sont inchangés.

La plupart des engrenages standards sont sans déport de denture (la dent étant alors aussi grosse que la saillie), mais dans des cas très pointus (boîte de vitesses) cela est pratiqué pour deux raisons principalement. La première est qu'il n'existe pas de couple (Z1, Z2) permettant d'assurer à la fois le rapport (Z1/Z2) et l'entraxe (Z1+Z2), il faut donc faire varier (artificiellement) sa valeur en déportant au moins une denture. La seconde est que les dents du petit pignon, plus souvent sollicitées, sont grossies, et celles du grand pignon réduites, afin de leur conférer une même durée de vie (notion de fatigue).

En règle générale, s'il y a déport de denture, il n'est pas toujours possible de ne changer qu'un seul pignon dans un engrenage.[5]

II.2.3.1) Types d'engrenages



Figure (II-8) Pignon sur une crémaillère

- **Engrenage à roue et crémaillère**

Le système de pignon-crémaillère est principalement utilisé pour transformer un mouvement rotatif en mouvement de translation ou le contraire. Il est constitué d'une roue dentée (Pignon) et d'une barre elle aussi dentée (Crémaillère). La roue dentée, en tournant, entraine les dents de la barre qui se déplace, alors, en translation. Ce mécanisme est couramment utilisé dans les systèmes de direction d'automobiles.[5]

- **Engrenages parallèles ou cylindriques**

Les axes des deux roues dentées sont parallèles.

- **Engrenages concourants ou coniques**

Les axes des deux roues dentées sont concourants. Les sommets des cônes primitifs (ou cônes tangents aux roues de frictions de mêmes dimensions) doivent être confondus.

- **Engrenages gauches**

Les axes des deux roues dentées ne sont pas dans le même plan. C'est notamment le cas des engrenages gauches hélicoïdaux, des engrenages hypoïdes (à ne pas confondre avec les engrenages coniques) ou encore la roue et vis avec engrenage restreint.



Figure (II-9)Engrenage conique



Figure (II-10)Engrenage gauche



Figure (II-11)Engrenage conique



Figure(II-12)Roue et vis sans fin

- **Lanternes et rouets**

Il s'agit d'un ancien système d'engrènement. Il est composé en entrée d'une « lanterne » (deux disques espacés au périmètre par des fuseaux ou cylindres) et en sortie d'un « rouet » (équipé de récepteurs de couple sous forme de fuseau ou d'alluchons) [6]

II.2.3.2) Trains d'engrenages

Un train d'engrenages est une combinaison d'engrenages.

- **Train simple**

Le rapport de réduction est le produit des nombres de dents des roues menantes divisé par celui des roues menées. Soit :

$$\frac{w_s}{w_e} = (-1)^n \frac{\Pi Z_{menantes}}{\Pi Z_{menees}} \qquad \text{(II-6)}$$

Avec :

- w_e et w_s respectivement les vitesses en entrée et en sortie du train d'engrenages
- $\Pi Z_{menantes}$ le produit des nombres de dents des roues menantes
- ΠZ_{menees} de même pour les roues menées
- n : le nombre de contacts extérieurs

- **Train planétaire (ou épicycloïdal)**



Figure (II-13) train planétaire

Un train épicycloïdal comportant trois satellites.

Ce sont des systèmes composés de satellites montés sur un porte-satellite tournant autour de deux planétaires. Ils présentent donc trois éléments mobiles par rapport à un autre fixe. Ils sont utilisés tels quels dans les systèmes différentiels.

En bloquant un élément, on obtient, avec la même géométrie, différents rapports de réduction entre les éléments encore mobiles. C'est d'ailleurs le principe utilisé dans les boîtes de vitesses « automatiques ».

Ces trains sont très utilisés en mécanique car ils peuvent fournir des rapports de réduction élevés, avec des pièces de taille raisonnable, et des rendements acceptables (98% par étage). De plus leur géométrie aboutit souvent à une configuration où l'arbre d'entrée est coaxial avec l'arbre de sortie. On trouve dans le commerce des réducteurs épicycloïdaux compatibles avec des moteurs électriques (devenant du coup motoréducteurs).

- **Train sphérique**

Sur le principe le train sphérique se rapproche du train épicycloïdal. Les engrenages sont coniques et semblent donc disposés sur une sphère. C'est la géométrie du différentiel des essieux moteurs des véhicules automobiles. Ils combinent aisément la fonction renvoi d'angle, la réduction, et la fonction différentielle.

II.2.3.3) Détérioration des dentures [5]

Les dentures peuvent être détériorées de deux manières :

- par rupture d'une ou plusieurs dents, provenant des chocs
- par usure des surfaces de contact provenant du manque de graissage

II.2.4) Courroie synchrone

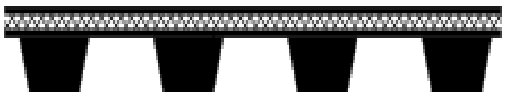


Figure (II-14)- Profil de courroie synchrone.



Figure (II-15)- Courroie synchrone.

La **courroie synchrone** (parfois appelée courroie crantée) est une courroie qui est dentée. La fonction de la courroie synchrone est d'assurer une transmission sans glissement (comme les chaînes ou les engrenages).

II.2.4.1) Standards

Courroie synchrone — Pas et largeur					
Symbole	**Pas (mm)**	**Pas (in)**	**Largeur (mm)**	**Largeur (in)**	**Largeur (in)**
MXL	2,032	2/25 (8/100)	3,175	1/8	**0,12**
			4,763	3/16	**0,19**
			6,350	1/4	**0,25**
XL	5,080	1/5	6,350	1/4	**0,25**
			7,938	5/16	**0,31**
			9,525	3/8	**0,37**
L	9,525	3/8	12,700	1/2	**0,50**
			19,050	3/4	**0,75**
			25,400	1	**1,00**
H	12,700	1/2	19,050	3/4	**0,75**
			25,400	1	**1,00**
			38,100	1 1/2	**1,50**
			50,800	2	**2,00**
			76,200	3	**3,00**
XH	22,225	7/8	50,800	2	**2,00**
			76,200	3	**3,00**
			101,600	4	**4,00**
XXH	31,750	1 1/4	50,800	2	**2,00**
			76,200	3	**3,00**
			101,600	4	**4,00**
			127,000	5	**5,00**

Tableau (II-3) Courroie cranté standards.[6]

II.2.4.2) Désignation

- **Courroie synchrone**
- la longueur primitive
- le symbole de pas (**MXL**, **XL**, **L**, **H**, **XH**, **XXH**)
- la largeur de la courroie

Par exemple : **Courroie synchrone 420 L 050**

II.2.4.3) Usure

Contrairement au train d'engrenage, ou au chaines, la courroie crantée ne nécessite pas de lubrification mais son vieillissement, dans le cas d'un moteur thermique, peut entrainer sa **casse** et les soupapes peuvent venir frapper le piston, lors de la phase de compression ou d'échappement. Ceci impose son remplacement régulier (années, km ou temps de fonctionnement) pour éviter ce problème.[6]

II.2.5) Performances d'une transmission

II.2.5.1) Rapport d'une transmission de mouvement de rotation

On définit le rapport de transmission comme étant le rapport des vitesses du mouvement de sortie sur le mouvement d'entrée ; la plupart du temps, il s'agit d'une loi proportionnelle qui ne dépend pas de la position du mécanisme. On l'exprime le plus souvent comme une relation sur les vitesses, mais le rapport sur les déplacements est le même :

$$R = \frac{vitesse\ de\ sortie}{vitesse\ d'entrée} \qquad \text{(II-7)}$$

Il s'agit, le plus souvent d'une transmission du mouvement de rotation. Dans ce cas particulier on obtient :

$$\boldsymbol{R = \frac{N_s}{N_e} = \frac{w_s}{w_e}} \qquad \text{(II-8)}$$

De plus, si on considère la définition des puissances d'entrée et de sortie, à savoir $p_e = w_e.C_e$ et $p_s = w_s.C_s$, où C_e est le couple imposé en entrée, on obtient alors une expression du rapport à partir des efforts transmis :

$$\boldsymbol{p_s = \eta.p_e = w_s.C_s = \eta.w_e.C_e} \qquad \text{(II-9)}$$

D'où

$$\boldsymbol{R = \frac{w_s}{w_e} = \eta\frac{C_e}{C_s}} \qquad \text{(II-10)}$$

II.2.5.2) Rendement d'une transmission de puissance

Dans le cas d'une transmission de puissance, l'objectif est généralement de limiter les pertes. On définit alors le rendement.

$$\eta = \frac{travail\ de\ sortie}{travaail\ d'entrée} = \frac{E_s}{E_e} = \frac{puissance\ de\ sortie}{puissance\ d'entrée} = \frac{P_s}{P_e} \qquad \text{(II-11)}$$

Un engrenage classique a un rendement supérieur à 95% (0,95).[6]

II.3) Moteurs électriques

Une machine électrique est un dispositif électromécanique permettant la conversion d'énergie électrique en travail ou énergie mécanique; ce processus est réversible et peut servir à produire de l'électricité:

* Les machines électriques produisant de l'énergie électrique à partir d'une énergie mécanique sont appelées des génératrices, dynamos ou alternateurs suivant la technologie utilisée.

* Les machines électriques produisant une énergie mécanique à partir d'une énergie électrique sont appelées des moteurs.

Toutes les machines électriques étant réversibles, la distinction moteur/générateur ne se fait que par rapport à l'usage final de la machine. Les moteurs rotatifs produisent une énergie correspondant au produit d'un couple par un déplacement angulaire tandis que les moteurs linéaires produisent une énergie correspondant au produit d'une force par un déplacement linéaire.[7]

II.3.1) Moteur tournant

II.3.1.1) Les types de moteurs

-Moteurs linéaires

-Moteur à courant continu

-Moteurs pas à pas

-Moteurs sans balais

-Moteur à courant alternatif

- Les moteurs universels ;
- Les moteurs asynchrones ;
- Les moteurs synchrones.

II.3.1.2) Moteurs pas à pas

Un moteur pas à pas permet de transformer une impulsion électrique en un mouvement angulaire. Ce type de moteur est très courant dans tous les dispositifs où l'on souhaite faire du contrôle de vitesse ou de position en boucle ouverte, typiquement dans les systèmes de positionnement. L'usage le plus connu du grand public est dans les imprimantes reliées à un ordinateur (positionnement de la tête d'impression et rotation du rouleau porte-papier dans les imprimantes matricielles, à marguerite et à jet d'encre, et rotation du rouleau porte-papier seulement dans les imprimantes à xérographie à laser). [8]

• Avantages:

– Rotation constante pour chaque commande (précision meilleure que 5% d'un pas).

– Existence de couple à l'arrêt.

– Contrôle de la position, de la vitesse et synchronisation de plusieurs moteurs (pas de besoin de contre-réaction).

– Moteur sans balais.

• Inconvénients:

– Plus difficile à faire fonctionner qu'un moteur à courant continu.

– Vitesse et couple relativement faible.

– Couple décroissant rapidement lorsque la vitesse augmente.

– Résonance mécanique.

II.3.1.2.2) Les différents types de Moteurs PaP

• Trois catégories de moteurs:

– A réluctance variable: On ne sent pas les pas.

A caractéristique électrique identique, un tel moteur est moins puissant, mais plus rapide que les moteurs à aimant permanent.

Sans doute les plus anciens.

– A aimants permanents: on sent les pas.

Ce sont des moteurs à faible coût de revient, et de résolution moyenne (jusqu' à 100 pas/tour).

– Les hybrides:

Ces moteurs combinent les 2 technologies précédentes, et sont plus chers. Leur intérêt réside dans un meilleur couple, une vitesse plus élevée, et une résolution de 100 à 400 pas/tour.

Les moteurs les plus courants sont ceux à aimants permanents et les hybrides. [7]

II.4) Système de guidage

En mécanique, le guidage est une fonction assurée par un joint cinématique dans un mécanisme. Par exemple une glissière assure un guidage en translation, une bague ou un roulement assurent le guidage en rotation.

II.4.1) Guidage en rotation

II.4.1.1) Définition :

Un guidage en rotation est destiné à assurer une liaison pivot entre deux pièces ou sous-ensembles. Le seul degré de liberté restant est un mouvement de rotation autour d'un axe spécifique. [8]

- Dans l'exemple ci-contre l'ensemble vert est guidé en rotation, par le solide rouge, autour de l'axe X .

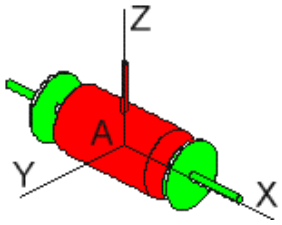


Figure (II-17) : guidage en rotation

II.4.1.2) Arbre et Moyeu :

Dans un guidage en rotation, on distingue l'arbre du moyeu

- Selon le guidage rencontré, ces deux éléments peuvent être soit fixes soit tournants



Figure (II-18)- **Moyeu fixe, arbre tournant**



Figure(II-19)-**Arbre fixe, moyeu tournant**

Solution technologique :

L'articulation peut être réalisée par contact direct. Le guidage bielle / axe est à **contact direct**

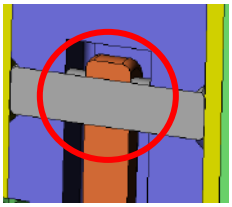


Figure (II-20) guidage bielle/axe

Ou par interposition d'une bague

- Un **coussinet** est intercalé entre le maneton et le pied de bielle

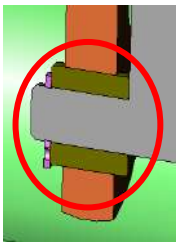


Figure (II-21) : guidage avec bague

Ou d'un roulement

- Un **roulement à billes** participe au guidage de l'arbre de sortie de la meuleuse par rapport au carter.

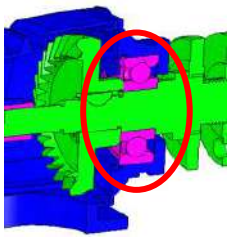


Figure (II-22) guidage avec roulement

II.4.1.3) Paramètres dynamiques :

La solution technologique adoptée dépend de multiples paramètres parmi lesquels : la direction de la charge, l'intensité de **la charge** et la **vitesse** de rotation dans la liaison.

- La charge exercée sur une liaison peut être : **Charge axiale** (parallèle à l'axe) ou **Charge radiale** (perpendiculaire à l'axe).

,

- Des charges différentes impliquent des solutions différentes
- Des vitesses différentes impliquent des solutions différentes

II.4.1.4) Critères de choix :

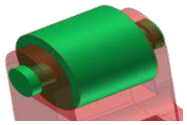
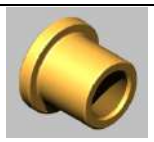
Solution technologique		**Charges admissibles**	**Vitesse Admissible**
Contact direct		-	- -
Interposition d'une bague de frottement		+	+
Interposition d'éléments roulants		+ +	+ +

Tableau (II-3) : critère de choix.[9]

On distingue deux types d'articulation :

- Le guidage est dit **en chape** quand la charge s'applique entre les 2 zones du guidage

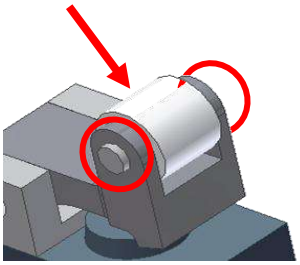


Figure (II-23) guidage en chape

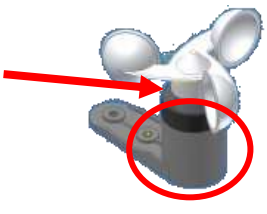


Figure (II-24) guidage en porte à faux

- Le guidage est dit **en porte à faux** quand la charge est décalée par rapport au guidage

II.4.2) Guidage en translation

Le guidage en translation entre deux pièces est la matérialisation de la **liaison glissière**. Il faut donc éliminer entre ces deux pièces **5 degrés de liberté** : **2 Translations** et **3 Rotations**.

Représentation schématique normalisée d'une **liaison glissière d'axe X**.



Figure (II-25) schéma cinématique

Le degré de liberté en translation peut être obtenu aussi bien par association de surfaces planes que de surfaces de révolution. Selon la nature de ces surfaces assurant la mise en position on distinguera :

* **le guidage prismatique** : Surfaces de contact planes.

* **le guidage cylindrique** : Surface de contact cylindrique plus un arrêt en rotation.

Dans ces deux cas il existe une combinaison minimale des surfaces permettant d'obtenir un guidage isostatique.

La **pièce** prise comme référence **fixe** sera appelée **glissière**.

La **pièce mobile** par rapport à la glissière sera appelée **coulisseau**. [9]

II.4.1.1) Précision du guidage

Quelle que soit la solution technologique retenue pour la liaison glissière (contact direct du coulisseau sur la glissière ou interposition d'éléments roulants) elle se comporte comme l'indique-la figure1.

Le jeu de fonctionnement entraîne une **imprécision angulaire** du coulisseau par rapport à la direction de translation : **angle** α

Pour obtenir un guidage précis et **éviter à l'angle** α **d'être trop important** il est souhaitable de respecter la règle :

Longueur de guidage **L > 2l** avec l : diamètre ou largeur de la glissière

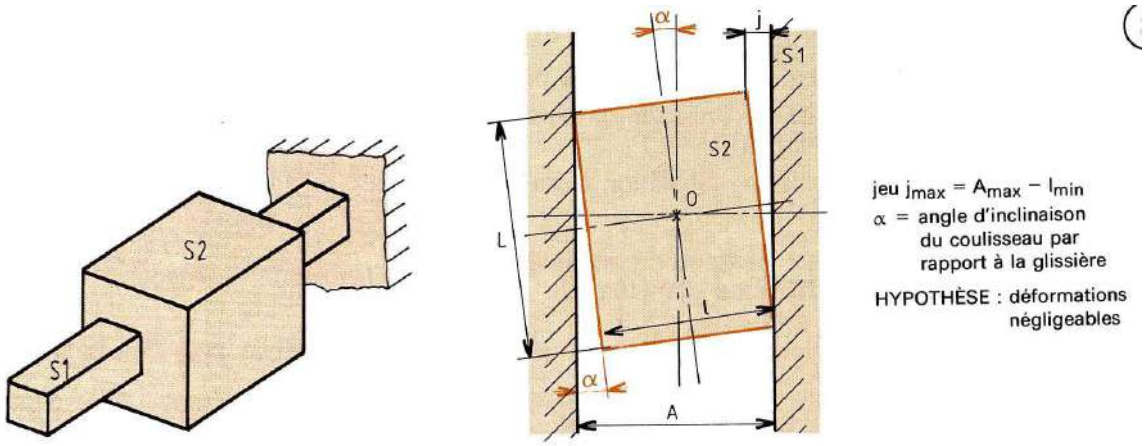


Figure (II-26) précision du guidage

II.4.1.2) GUIDAGE PAR GLISSEMENT. [9]

Avec ce type de guidage apparaît un frottement entre le coulisseau et la glissière ce qui entraîne une perte d'énergie, une augmentation de la température et donc une usure entre les deux pièces.

Le frottement f dépend de la nature des matériaux, de l'état de surface. Pour diminuer f la solution est d'utiliser un lubrifiant. Les solutions par queue d'aronde ou par profil rectangulaire exigent un système de rattrapage de jeu pour fonctionner avec précision.

Guidage par queue d'aronde

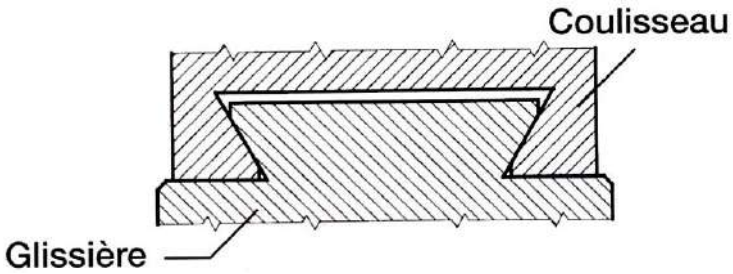


Figure (II-27) guidage par queue d'aronde

Par deux surfaces cylindriques

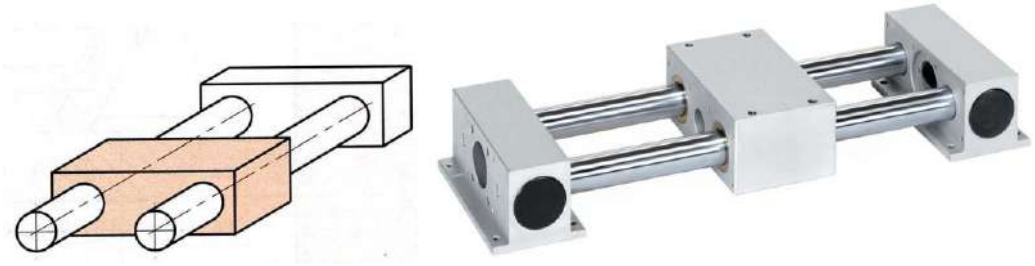


Figure (II-28) guidage par deux surfaces cylindriques

II.4.1.3) GUIDAGE PAR ROULEMENT. [9]

Rail de guidage pour guidage prismatique

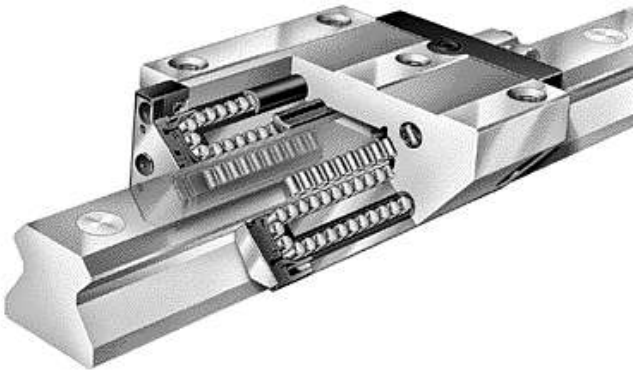


Figure (II-29) guidage prismatique en roulement

Douille à billes pour guidage cylindrique

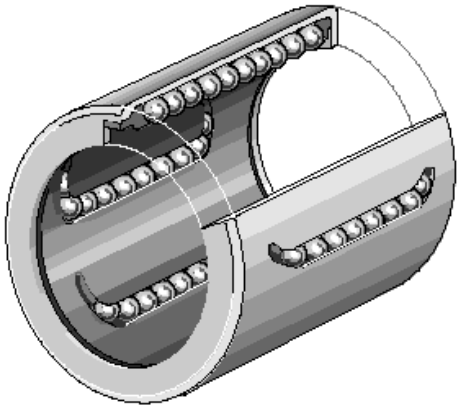


Figure (II-30) guidage cylindrique avec roulement

II.4.3) Conclusion

Il n'existe pas à ce jour de guidage possédant toutes ces propriétés et remplissant toutes les exigences de manière optimale.

Le choix est grand, mais l'expérience montre que le guidage le mieux adaptée aux exigences définies est représentée par le guidage à éléments roulants.

On peut dire sans risques que l'amélioration d'un guidage à éléments roulants résulte en partie de la réduction du coefficient de frottement.

II.4) CONCLUSION

L'industrie actuelle exige des moyens de fabrication et de production rapides, plus précis et de cout réduit ; ce qui oblige de faire le bon choix de la construction des machine. Pour cela, on a montré dans ce chapitre les différentes systèmes et mécanismes pour fabriquer une machine qui répond aux exigences du marché.

Chapitre III - Présentation du logiciel SolidWorks

III.1) Le logiciel SolidWorks [10]

III.1 .1) Introduction

Le logiciel de CAO SolidWorks est une application de conception mécanique 3D paramétrique qui permet aux concepteurs d'esquisser rapidement des idées, d'expérimenter des fonctions et des cotes afin de produire des modèles et des mises en plan précises.

On présente dans ce chapitre les concepts et la terminologie de l'application SolidWorks dans le but de se familiariser avec les fonctionnalités les plus utilisées de SolidWorks.

III.2) Fonctions de base de SolidWorks

III.2.1) Concepts

Les pièces constituent les éléments de base du logiciel SolidWorks. Les assemblages contiennent des pièces ou d'autres assemblages, appelés des sous-assemblages.

Un modèle SolidWorks est constitué de géométrie 3D qui définit ses arêtes, faces et surfaces. Le logiciel SolidWorks vous permet de concevoir rapidement des modèles précis.

Les modèles SolidWorks sont :

- basés sur la modélisation 3D
- basés sur les composants

III.2.2) Modélisation 3D

SolidWorks adopte l'approche de modélisation 3D. Lorsqu'on conçoit une pièce, on crée un modèle 3D, de l'esquisse initiale au résultat final. A partir de ce modèle, on peut créer des mises en plan 2D ou contraindre des composants constitués de pièces ou de sous-assemblages afin de créer des assemblages 3D. On peut aussi créer des mises en plan 2D d'assemblages 3D.

Un modèle conçu à l'aide de SolidWorks peut être visualisé dans ses trois dimensions, c'est-à-dire dans son aspect final après fabrication.

Conception basée sur les composants

L'application SolidWorks présente une fonctionnalité très puissante qui consiste à refléter tout changement apporté à une pièce dans les mises en plan ou les assemblages associés à cette pièce.

Terminologie

Ces termes apparaissent à travers le logiciel et la documentation SolidWorks.
Apparaît sous forme de deux flèches bleues dont l'intersection représente la coordonnée (0,0,0) du modèle. Quand une esquisse est active, son origine.

Origine

apparaît en rouge et représente sa coordonnée (0,0,0). On peut ajouter des côtes et des relations à l'origine d'un modèle.

Esquisse.

Géométrie de construction plate. On peut utiliser des plans pour ajouter une esquisse 2D, une vue en coupe d'un modèle ou un plan neutre dans une fonction de dépouille, par exemple.

Plan

Ligne droite utilisée pour créer une géométrie de modèle, des fonctions ou des répétitions. on peut créer également un axe de différentes manières.

Axe

C’est l'intersection de deux plans. L'application SolidWorks crée implicitement des axes temporaires pour chaque face conique ou cylindrique d'un modèle.

Face

Une face est une zone sélectionnable (plane ou non) d'un modèle ou d'une surface. Par exemple, un parallélépipède rectangle a six faces.

Arête

Emplacement où deux faces ou plus se croisent et sont jointes. Vous pouvez sélectionner des arêtes à des fins d'esquisse et de cotation, par exemple.

Sommet

Point où se croisent deux ou plusieurs lignes ou arêtes. On peut sélectionner des sommets à des fins d'esquisse et de cotation, par exemple.

Interface utilisateur

L'application SolidWorks offre des outils et des fonctionnalités d'interface utilisateur qui aident à créer et à éditer efficacement les modèles, notamment :

Fonctionnalités Windows

L'application SolidWorks offre des fonctionnalités Windows connues, comme le glissement et le redimensionnement des fenêtres. Un bon nombre de ces fonctionnalités, comme imprimer , ouvrir , enregistrer , couper et coller , etc., sont représentées dans SolidWorks par les mêmes icônes.

Fenêtres de documents SolidWorks

Les fenêtres de documents SolidWorks sont constituées de deux panneaux. Le panneau de gauche, ou Manager Pane, contient :

Affiche la structure de la pièce, de l'assemblage ou de la mise en plan. On peut également sélectionnez un élément dans l'arbre de création

Arbre de création Feature Manager

FeatureManager afin d'éditer l'esquisse sous-jacente, d'éditer la fonction, et de supprimer ou d'annuler la fonction ou le composant, par exemple.

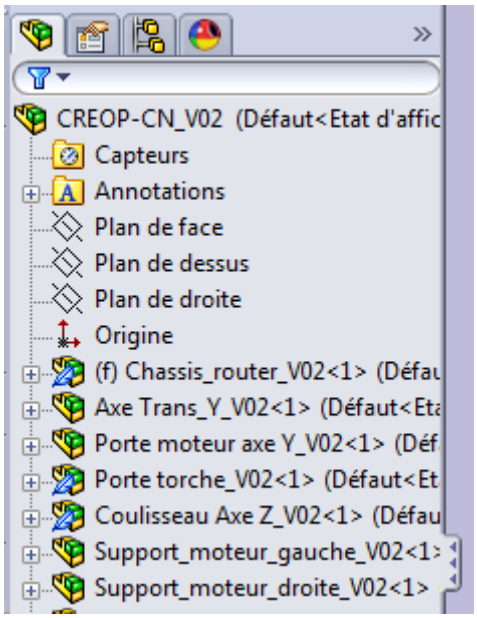


Figure (III-1) : arbre de création feature manager

PropertyManager

Fournit des paramètres pour de nombreuses fonctionnalités, telles que des esquisses, des fonctions de congé et des contraintes d'assemblage.

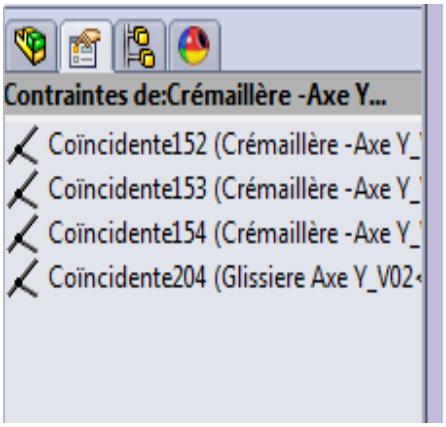


Figure (III-2) PropertyManager

Configuration Manager

Permet de créer, de sélectionner et d'afficher plusieurs configurations de pièces et d'assemblages dans un document.

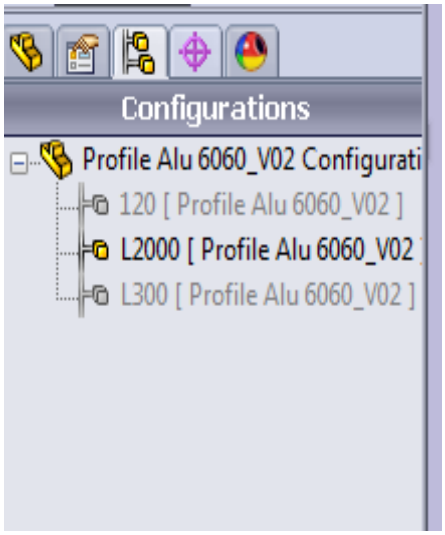


Figure (III-3) Configuration manager

Les configurations sont des variations d'une pièce ou d'un assemblage dans un document unique. On peut par exemple utiliser des configurations de boulon pour indiquer des longueurs et des diamètres différents.

III.2.3) Personnalisation de l'interface utilisateur

On peut aussi personnaliser les barres d'outils, les menus, les raccourcis-clavier et autres éléments de l'interface utilisateur.

Poignées

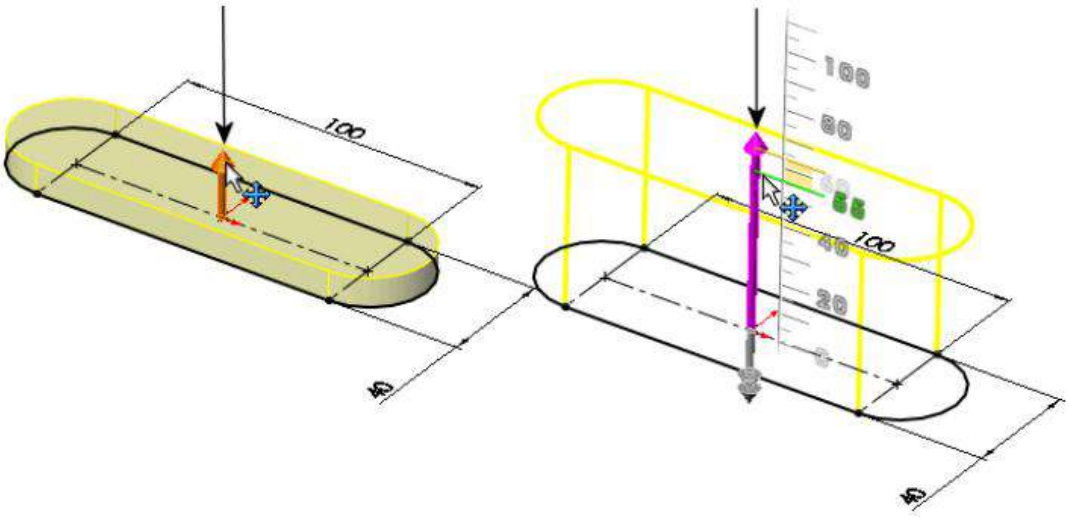


Figure (III-4) poignées

On peut utiliser PropertyManager pour définir des valeurs telles que la profondeur d'une extrusion, ou utiliser les poignées graphiques pour faire glisser et définir certains paramètres de manière dynamique sans quitter la zone graphique.

III.2.4) Méthode de conception

Avant de procéder réellement à la conception du modèle, il est utile de planifier sa méthode de création. Une fois les besoins identifiés et les concepts appropriés élaborés, on peut développer le modèle :

- **Esquisses**

Créez les esquisses et décidez du mode de cotation et des emplacements d'application des relations. L'esquisse sert de base à plupart des modèles 3D.

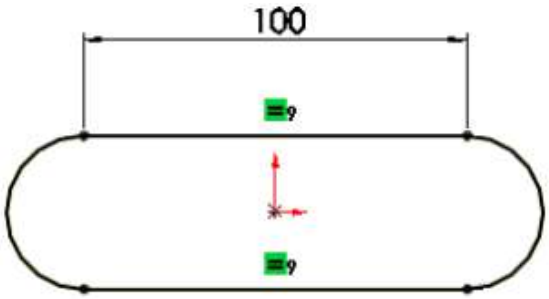


Figure (III-5) Esquisse

La création d'un modèle commence généralement par une esquisse. A partir de l'esquisse, on crée des fonctions. On peut combiner une ou plusieurs fonctions pour créer une pièce. Ensuite, combiner et contraindre les pièces appropriées pour créer un assemblage. A partir des pièces ou des assemblages, on crée des mises en plan.

Une esquisse est un profil ou une coupe transversale en 2D. Pour créer une esquisse 2D, on utilise un plan ou une face plane. Outre les esquisses 2D, on peut créer des esquisses 3D contenant un axe Z en plus des axes X et Y.

- **Fonctions**



Figure (III-6) fonction extrusion

Sélectionnez les fonctions appropriées, comme les extrusions et les congés, déterminez les meilleures fonctions à appliquer et l'ordre de leur application.

Une fois l'esquisse terminée, on peut créer un modèle 3D en utilisant de fonctions telles que l'extrusion et la révolution.

Certaines fonctions basées sur des esquisses présentent des formes particulières, bossages, enlèvements de matière et perçages. D'autres, telles que les lissages et les balayages, utilisent un profil le long d'une trajectoire.

Les fonctions appliquées représentent un autre type de fonction et ne requièrent pas d'esquisse. Il s'agit notamment des congés, des chanfreins ou des coques. Elles sont appelées "appliquées" car elles sont appliquées à la géométrie existante à l'aide de côtes et d'autres caractéristiques pour créer la fonction.

Généralement, on crée des pièces en incluant des fonctions basées sur des esquisses, telles que des bossages et des perçages. On ajoute ensuite des fonctions appliquées.

Il est possible de créer une pièce sans fonctions basées sur des esquisses. on peut par exemple importer un corps ou utiliser une esquisse dérivée.

- ## Assemblages

Sélectionnez les composants à contraindre et les types de contraintes à appliquer.

on peut combiner plusieurs pièces et les monter ensemble pour créer des assemblages.

On intégre les pièces à un assemblage à l'aide de contraintes coaxiales et coïncidentes par exemple. Les contraintes définissent la direction de mouvement autorisée des composants.

Avec des outils tels que Déplacer le composant ou Faire pivoter le composant, on peut observer le fonctionnement des pièces d'un assemblage dans un contexte 3D.

on peut assurer du bon fonctionnement de l'assemblage en utilisons des outils tels que

***Détection de collision.**

Cet outil permet de détecter des collisions avec d'autres composants lorsque on déplace ou on pivote un composant.

- ## Mises en plan

-

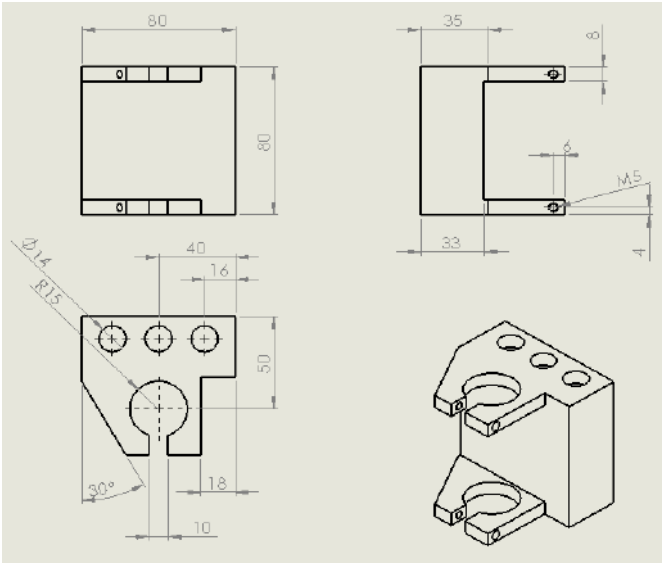


Figure (III-7) Mise en plan

Les mises en plan sont créées à partir de modèles de pièces ou d'assemblages, Ils sont disponibles dans plusieurs vues, telles que les 3 vues standard et les vues isométriques (3D). on peut importer les côtes du document de modèle et ajouter des annotations telles que des symboles de cible de référence.

Edition de modèle

Utilisez l'arbre de création Feature Manager de SolidWorks et Property Manager pour éditer esquisses, mises en plan, pièces ou assemblages. on peut également éditer des fonctions et des esquisses en les sélectionnant directement dans la zone graphique. Grâce à cette approche visuelle, on n'a pas à connaître le nom de la fonction.

Les fonctionnalités d'édition comprennent :

- Éditer l'esquisse
- Éditer la fonction
- Cacher et montrer des composants
- Supprimer et annuler la suppression

III.3) Conclusion

Le produit SolidWorks (outils de conception et d'analyse 3D) est moderne et riche en informations. Il peut grandement améliorer la productivité des entreprises de développement de produits, ce qui les aide à atteindre leurs objectifs : réduction des cycles de conception et des frais de développement, amélioration de la qualité des produits et accélération de la commercialisation.

Chapitre IV : Conception d'une table multi-axes de découpage par jet plasma

IV.1) Introduction

Ce projet consiste à la conception et la réalisation d'une table routeur multi axes pour découpage plasma à commande numérique.

La conception de la table a été réalisée par le logiciel SolidWorks 2011 avec une License éducatif.

Pour que le cout de la réalisation de la machine soit raisonnable, on a pensé à utiliser des pièces simples et efficaces.

IV.2) Description de la machine

La machine doit présenter les qualités requises pour le coupage plasma grâce à sa conception et aux choix techniques retenus pour sa réalisation :

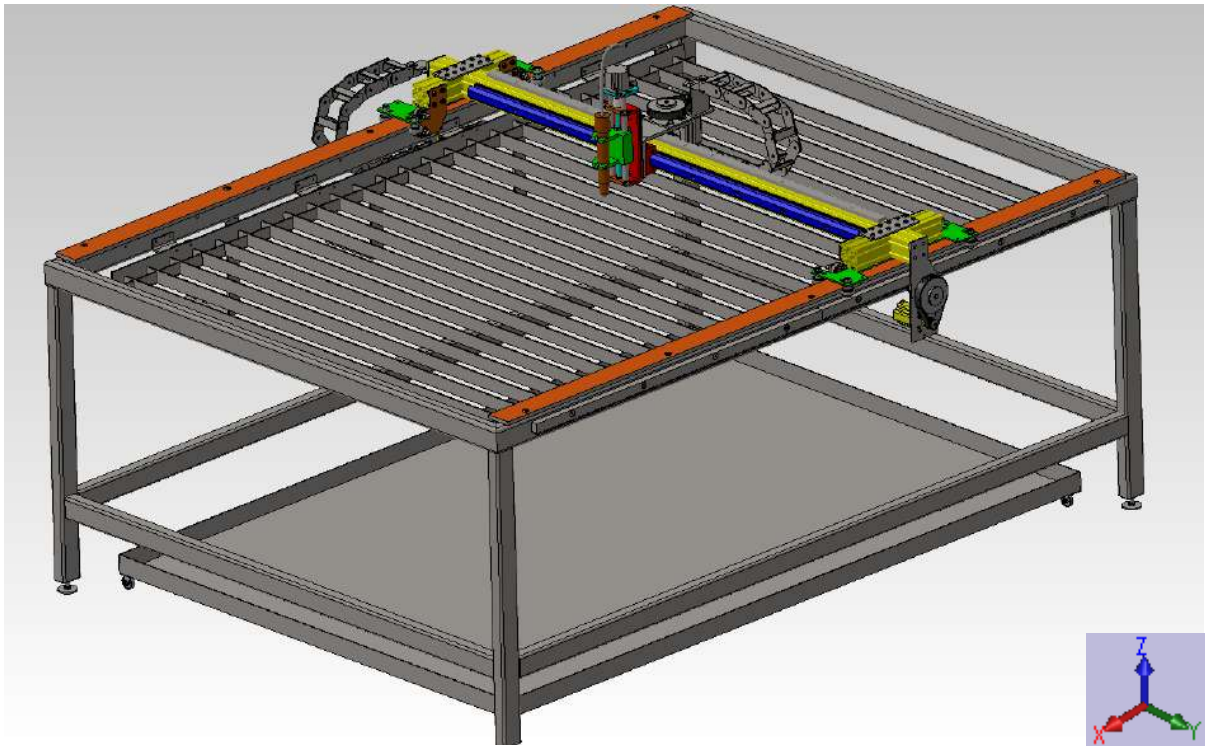


Figure (IV-1) table de découpe

Comme toutes les machines, cette table se compose de deux partie essentielles :

A) Partie fixe de la machine : comportant les éléments suivants :

- Un châssis en acier extrêmement rigide

- Barre plate pour le guidage longitudinale (longue distance) pour lequel on obtient la main d'ajuster le jeu toléré avec un système de guidage à galet

- Des lames en acier positionnées verticalement pour supporter le poids de la tôle à découper l'écart entre les lames permet le dégagement des gaz et la tombée des chutes de tôlerie.

- Un terroir roulant au-dessus de la table pour récupérer les chutes de tôle

B) Partie mobile : cette partie contient le reste des pièces qu'on va indiquer dans la suite du chapitre.

IV.3) Fonctionnement de la machine (partie mobile)

La torche peut se déplacer vers ou à partir de la pièce suivant les trois axes orthogonaux (x, y, z).

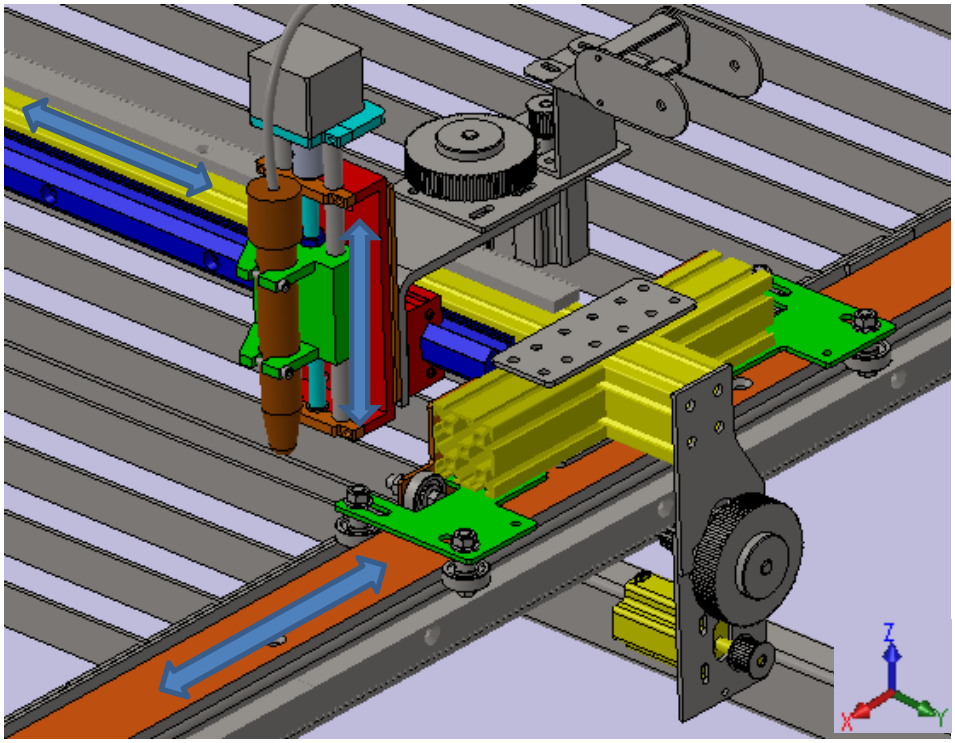


Figure (IV-2) déplacement de la torche

IV.3 .1) Déplacement longitudinal

Le déplacement suivant l'axe (x) est assuré par deux moteurs électriques (MPP {moteur pas à pas} ou MCC {moteur a courant continu}) symétriques pour diviser la charge du chariot et augmenter la précision du déplacement par guidage à galet.

La transmission de mouvement depuis les moteur est assuré par le système courroie cranté et pignon-crémaillère.

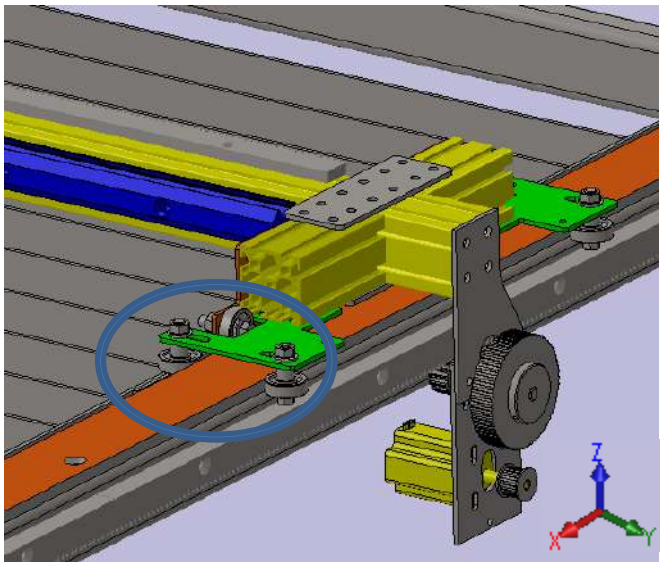


Figure (IV-3) déplacement longitudinal de la torche

IV.3 .1.1) Guidage :

Le guidage en translation longitudinal est assuré grâce au système à galet. Le choix de ce système dépend de la distance de guidage et du chargement imposé ; ce qui explique le choix d'un guidage par roulement.

IV.3 .1.2) Génération de mouvement :

Le mouvement suivant l'axe X est actionné par deux moteurs (pas à pas par exemple) positionnés symétriquement permettant d'avoir un faible déplacement. Ce dernier doit être précis.

IV.3 .1.3) Transmission et transformation du mouvement :

La transmission du mouvement est assurée par un système (courroie et pignon cranté), pour éliminer le glissement et avoir un déplacement synchrone.

Pour la transformation du mouvement de rotation en mouvement de translation, on a utilisé le système pignon-crémaillère vue son rendement et la simplicité de son installation.

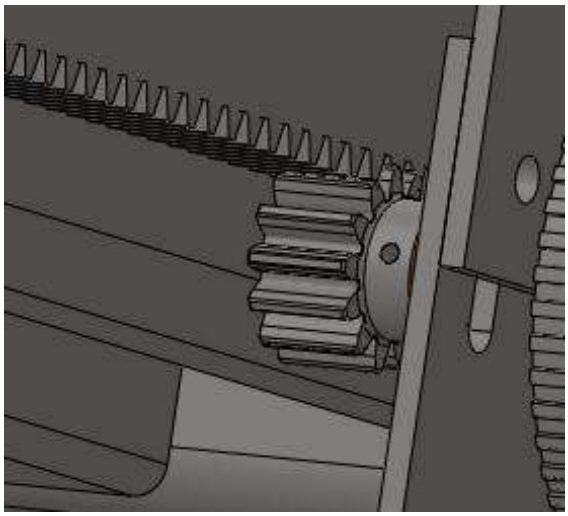


Figure (IV-4) transmission pignon-crémaillère

IV.3 .2) Déplacement transversal

Le déplacement suivant l'axe (y) est assuré par un moteur électrique (pas à pas par exemple), une glissière et des coulisseaux.

Le même système de transmission que pour l'axe x est utilisé dans ce cas.

Cependant, une poutre transversale en Aluminium rigide et légère, pour laquelle un entraînement performant supportant la charge de la torche, permet d'obtenir des résultats optimums.

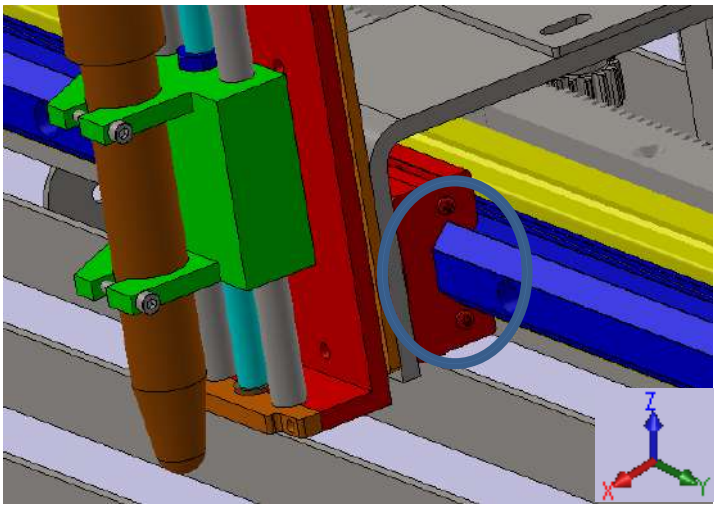


Figure (IV-5) déplacement transversal de la torche

IV.3.2.1) Guidage :

Le guidage en translation transversal est assuré grâce au système de glissière-coulisseau. Le choix de ce système est en fonction du chargement imposé et l'encombrement des pièces.

IV.3.2.2) Génération de mouvement :

Le mouvement suivant l'axe y est actionné par un moteur électrique (MPP) permettant d'avoir un déplacement faible et précis.

IV.3.2.3) Transmission et transformation du mouvement :

Le même système de transmission et de transformation de mouvement que pour la direction longitudinale.

Ce choix a été pris pour avoir le même rapport de transmission, et de ne pas avoir trop de pièces différentes.

IV.3 .3) Déplacement vertical

Le mouvement vertical (axe z) se fait par un moteur électrique (pas à pas) et un système vis-écrou pour avoir une avance très faible et précise avec un system de guidage de deux surfaces cylindriques.

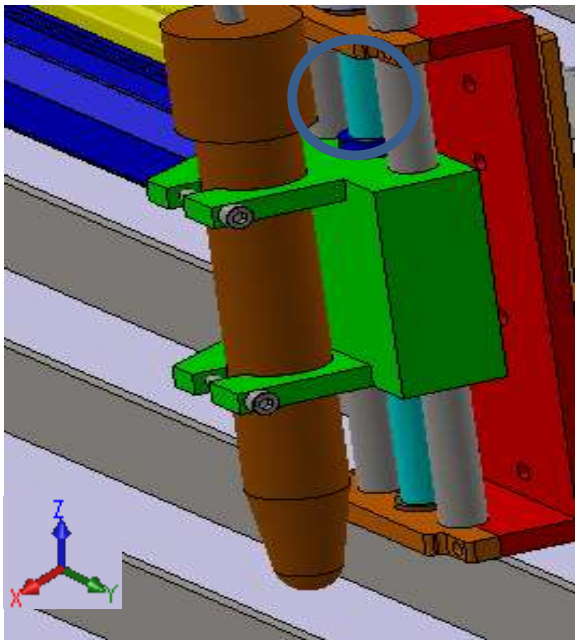


Figure (IV-6) déplacement vertical de la torche

IV.3.3.1) Guidage : Le guidage en translation vertical est assuré grâce au système de deux surfaces cylindrique qui garantit un bon glissement précis pour les faibles distances.

IV.3.3.2) Génération de mouvement : Le mouvement suivant l'axe z est actionné par un moteurs pas à pas permettant d'avoir un déplacement faible et précis.

IV.3.3.3) Transmission et transformation du mouvement : la transmission du mouvement est assuré par un accouplement entre l'arbre moteur et la tige filetée qui joue le rôle de transformation du mouvement de rotation en translation du système vis-écrou.

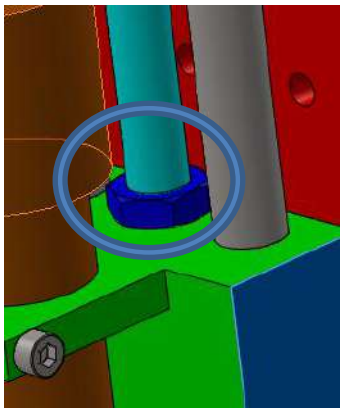


Figure (IV-7) système vis-écrou

IV.3.4) Guidage en rotation

Pour le guidage en rotation des axes, on a utilisé - pour les trois directions - des bagues en bronze simple et facile à rechanger

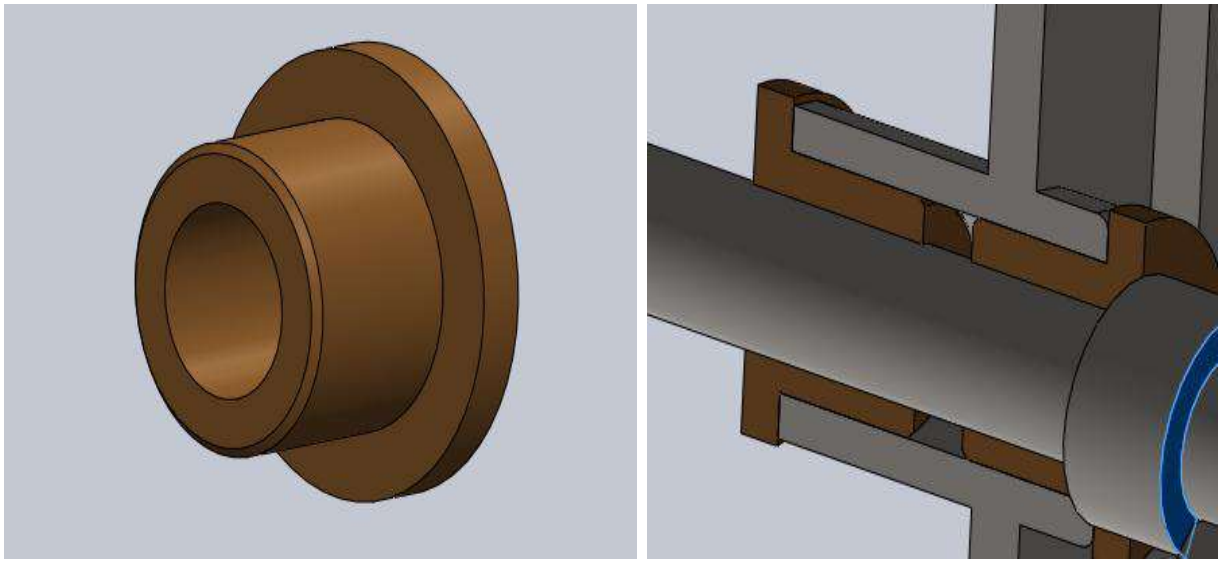


Figure (IV-8) bague de frottement

IV.4) Système d’alimentation

IV.4.1) Alimentation de la torche :

Un câble électrique souple de courant continue pour créer l’arc électrique et un tuyau flexible pour alimenter la torche en gaz plasmagène sont enveloppés dans une chaine porte câble (gaine) pour les protéger et augmenter leur duré de vie.

IV.4.2) Alimentation des moteurs:

Des câbles électriques sont menés pour alimenter les moteurs à travers la chaine porte câble pour les protéger.

IV.4.3) Chaine porte câble :

La chaine porte câble est une sorte de gaine pour protéger un système de câblage, ayant une forme d’une chaine de transmission. Sa longueur est en fonction du nombre d’éléments qui la constitue.

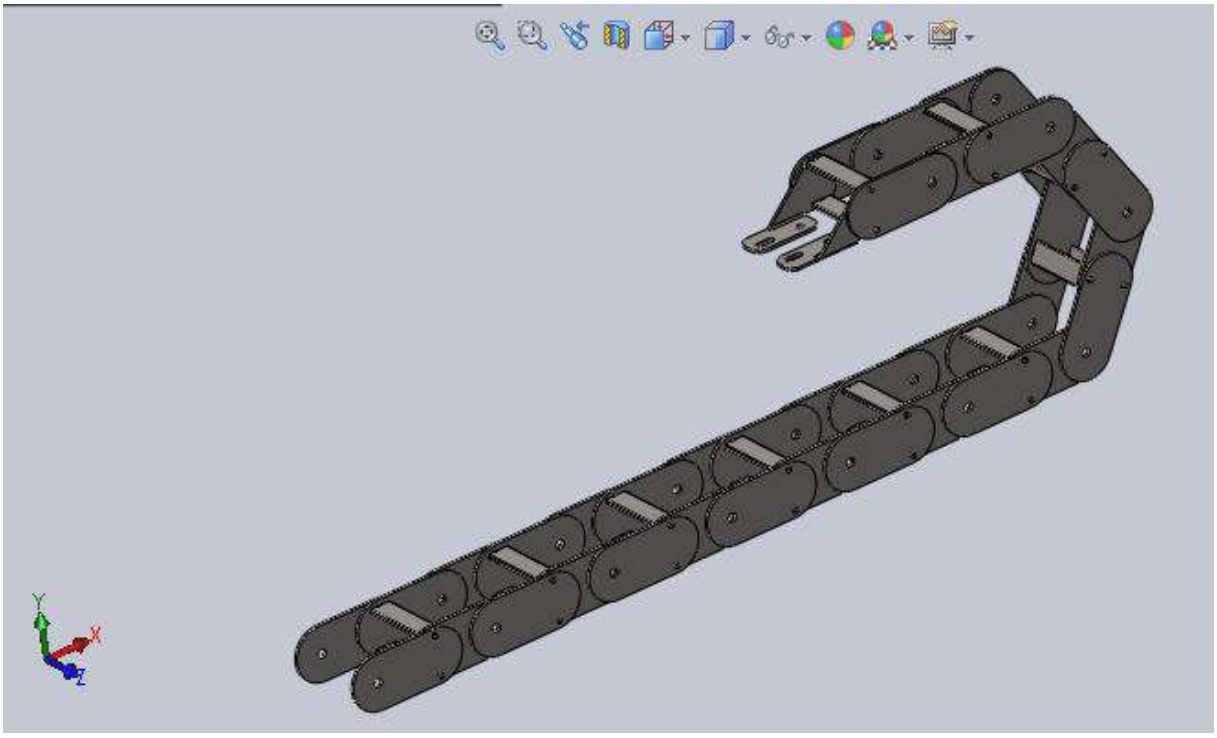


Figure (IV-9) chaine porte câble

IV.5) Fixation de la tôle à découper :

IV.5.1) Fixation de la tôle :

Pour les tôles épaisses, la fixation sur la table n'est pas nécessaire car leur poids les maintient immobile durant tout le procédé de découpage.

Cependant, pour les tôles minces de moins de 2mm, on envisage un système de fixation. Plusieurs propositions sont disponibles en industrie. [13]

IV.5.2) Récupération des chutes de tôle :

La table est équipée d'un tiroir roulant indépendant de la machine pour récupérer les petites pièces découpées et les chutes de tôle.

Le choix de ce système permet de faciliter la tâche à l'ouvrier opérationnel. On lui a aménagé un système de roulette très simple mais efficace.

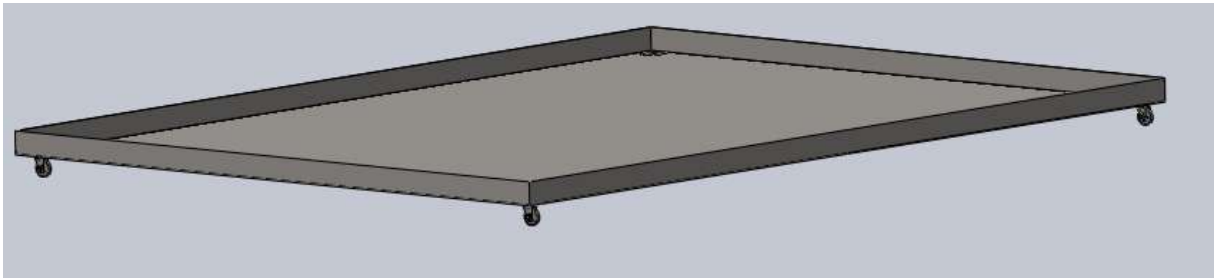
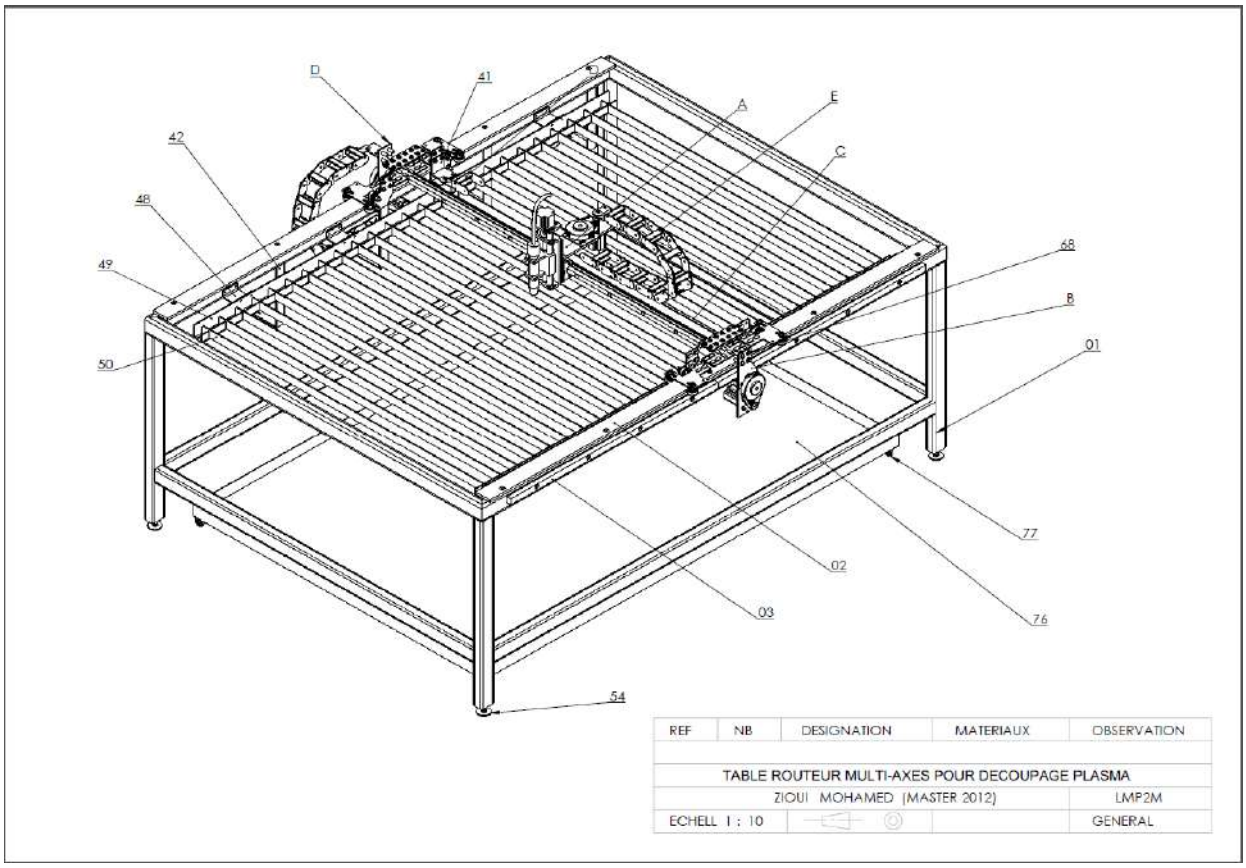


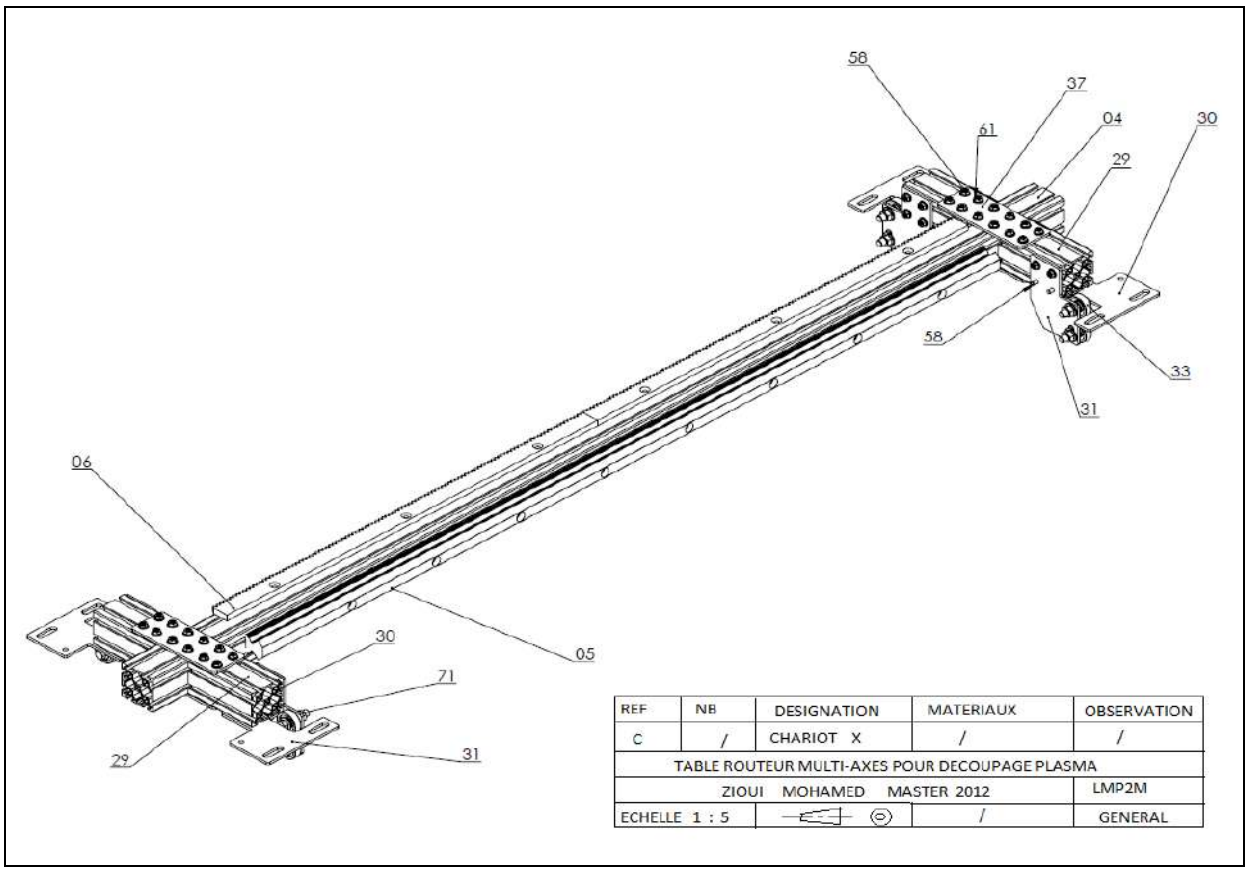
Figure (IV-10) Tiroir a roulette



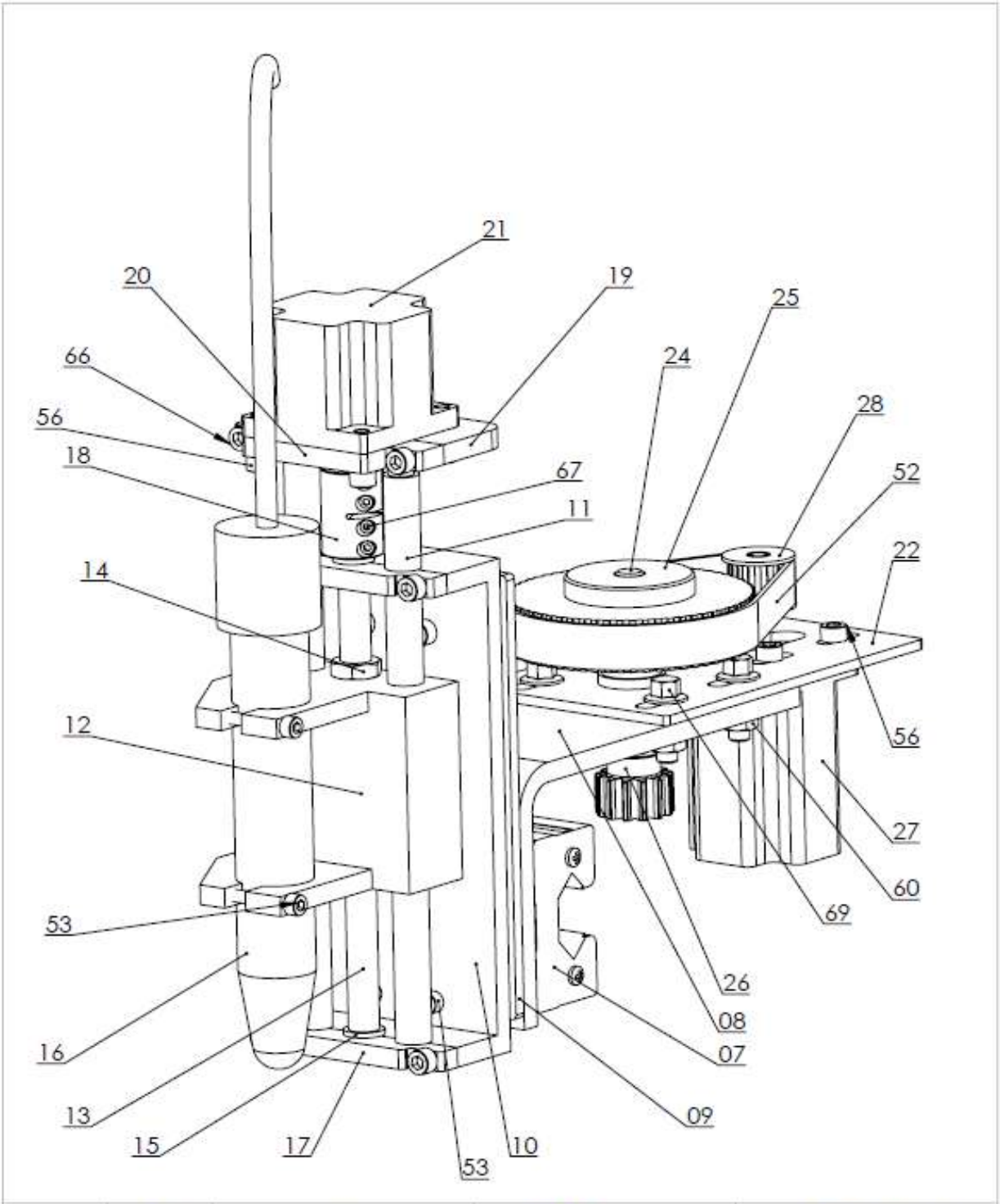
Figure (IV-11) roulette



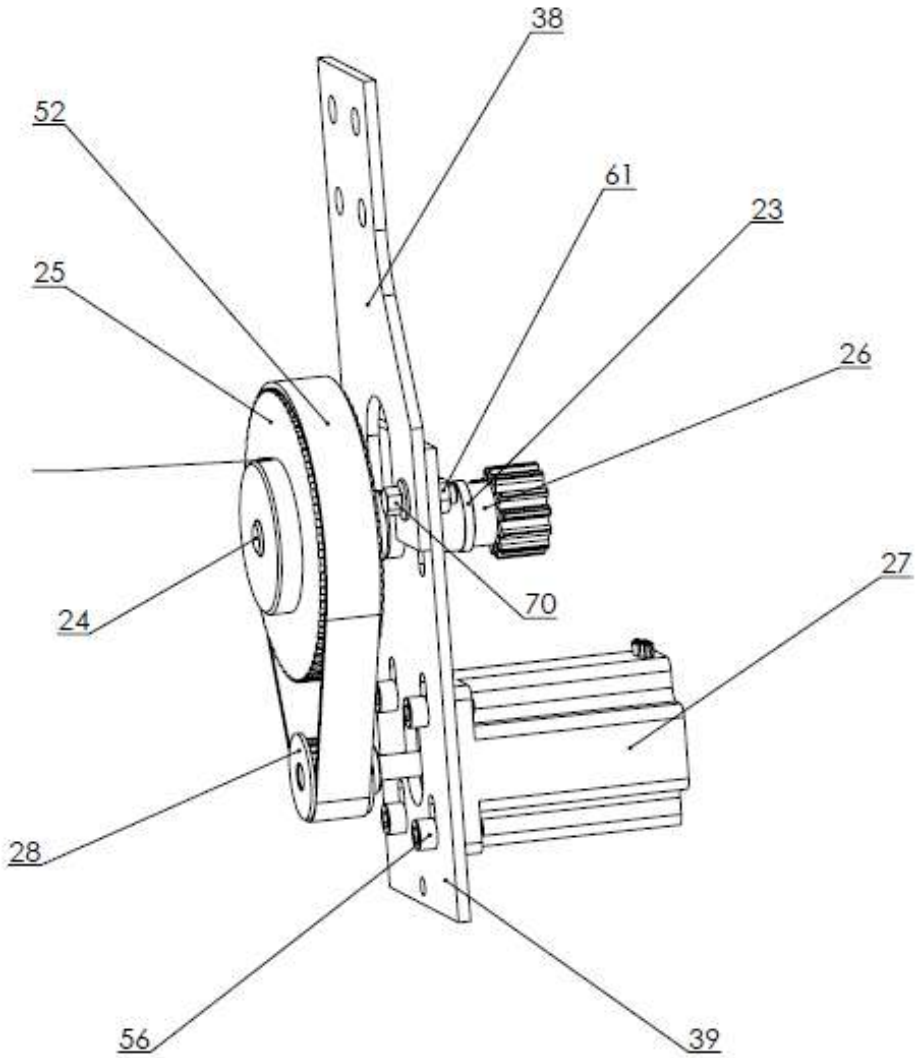
REF	NB	DESIGNATION	MATERIAUX	OBSERVATION
TABLE ROUTEUR MULTI-AXES POUR DECOUPAGE PLASMA				
ZIOUI MOHAMED (MASTER 2012)				LMP2M
ECHELL 1 : 10				GENERAL



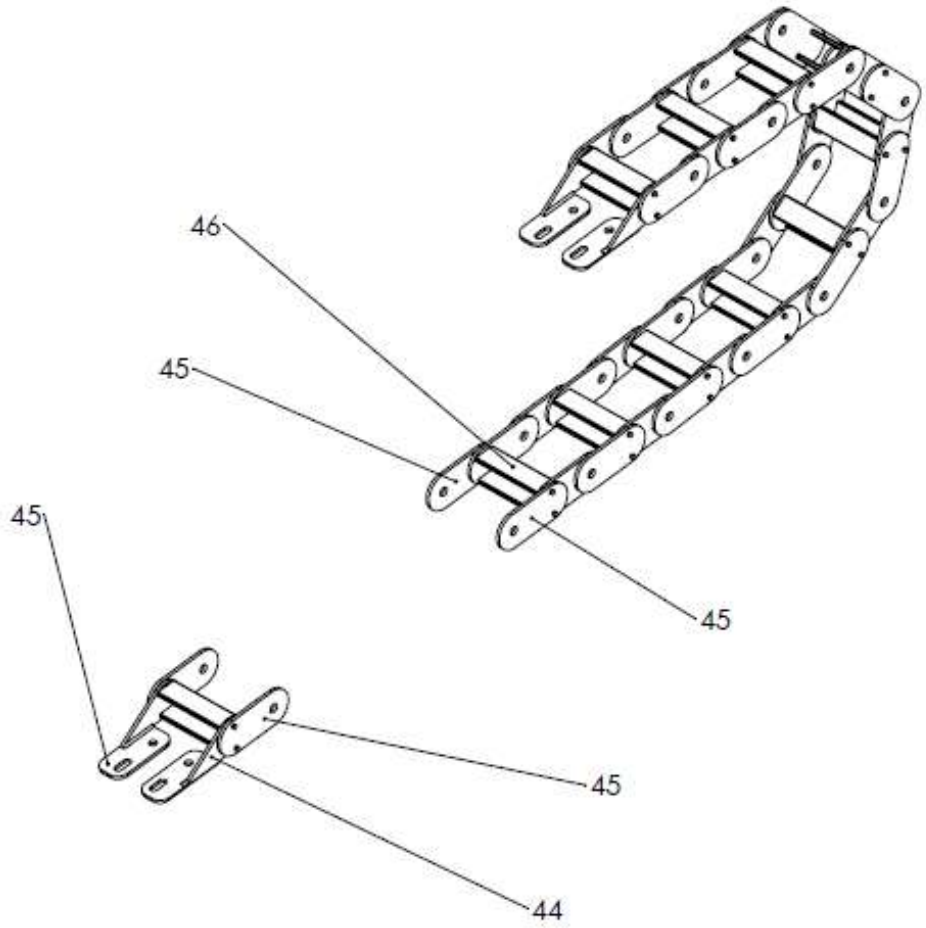
REF	NB	DESIGNATION	MATERIAUX	OBSERVATION
C	/	CHARIOT X	/	/
TABLE ROUTEUR MULTI-AXES POUR DECOUPAGE PLASMA				
ZIOUI MOHAMED MASTER 2012				LMP2M
ECHELLE 1 : 5			/	GENERAL



REF	NB	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
A	/	chariot y-z	ACIER	
TABLE ROUTEUR MULTI-AXES POUR DECOUPAGE PLASMA				
ZIOUI MOHAMED				LMP2M
ECHELLE 1 : 2				/



REF	NB	DESIGNATION	MATIERE	OBSERVATION
B	/	transmission X	/	
TABLE ROUTEUR MULTI-AXES POUR DECOUPAGE PLASMA				
ZIOUI MOHAMED				LMP2M
ECHELLE 1 : 2				/



REF	NB	DESIGNATION	MATERIAUX	OBSERVATION
E	/	CHAINE P CABLE	/	
TABLE ROUTEUR MULTI-AXES POUR DECOUPAGE PLASMA				
ZIOUI MOHAMED (MASTER 2012)				LMP2M
ECHELLE 1 : 5				GENERAL

IV.6) Récapitulation : Liste des pièces formant l'assemblage

Désignation	Référence	nombre d'éléments
• Élément de transmission		
○ Accouplement	18	01
○ Crémaillère -577-20-20-1000_V02	03	01
○ Crémaillère -Axe Y_V02	06	02
○ Pignon 13-20-m2_V02	26	03
○ Pignon cranté 15-8_V02	28	03
○ Roue cranté 60-10_V02	25	03
○ Tige Filetée_V02	13	01
○ Ecrou	14	02
• Éléments de guidages		
○ axe roue réduct	24	03
○ axe glissière Z	11	02
○ bague 10 L 06	34	08
○ bague 10 L 14	35	08
○ bague roue	23	04
○ bague de frottement	15	02
○ glissière axe X	02	02
○ coulisseau Y	07	01
○ glissière axe Y 05	05	01
○ porte torche	12	01
○ roulement 35BC 11-10	33	16
○ roulette	77	04
• Chaine porte câble		
○ P1	44	
○ P2	45	
○ P3	46	
○ P4	47	
• Supports et plaques géométrique		
○ Bâti	01	01
○ profilé d'aluminium 1730	04	01
○ Profilé d'aluminium 120	29	04
○ Tiroir	76	01
○ torche de découpe	16	01

○ élts fixe axe Z	17	02
○ équerre axe Y	08	01
○ plaque coulisseau	09	01
○ porte axe Z	10	01
○ porte moteur Z1	19	01
○ porte moteur Z2	20	01
○ support moteur Y	22	01
○ support galets 1	30	04
○ support galets 2	31	04
○ plaque fixe profilé	37	04
○ support moteur X	38	02
○ support moteur V02	39	02
○ U porte chaine	40	01
○ équerre porte chaine	41	01
○ support chaine	42	04
○ L porte chaine	43	01
○ support table	48	08
○ rail de lames	49	02
○ lame	50	26
○ équerre fixe tole	51	02
• Éléments d'assemblage		
○ vis six pans M5x35	53	06
○ vis M10x60 avec base	54	04
○ vis M10x40	55	08
○ vis CHC M6x16	56	16
○ vis FHC M8x15	57	12
○ vis a tète carré M6x15	58	56
○ écrou M10	59	24
○ écrou M8	60	16
○ écrou M6	61	64
○ clavette	62	/
○ vis FHC M8x20	63	06
○ vis FHC M6x40	64	10
○ vis FHC M6x20	65	04
○ vis CHC M6x25	66	04

○ vis CHC M3x12	67	06
○ vis ISO M8x 35	68	08
○ vis ISO M8x 25	69	02
○ vis ISO M6x 17	70	06
○ vis ISO M10 x 40	71	08
○ vis ISO M10 x 25	72	08

Tableau (IV-1) liste des pièces

IV.7) Conclusion :

Dans ce chapitre, on a proposé une conception d'une table multi-axes pour le découpage à jet plasma.

Le logiciel SolidWorks nous a permis d'évaluer efficacement le travail de conception et d'améliorer les mécanismes sans la perte ou la dépense du matériel.

On a mis au point une machine qu'on estime répondre aux exigences du partenaire industriel sachant que le présent travail s'inscrit dans le cadre d'un projet PNR.

Cependant, des études complémentaires cinématique, statique et dynamique s'avèrent nécessaires pour la valorisation de l'assemblage proposé.

D'autre part, la partie Commande va permettre de mettre au point les performances de la table ainsi conçue.

Chapitre V- Étude générale de la table

V.1) Introduction

Pour fabriquer une machine, le concepteur doit faire quelques études pour confirmer la fiabilité de cette machine. Pour cela on a fait trois études :

- Étude cinématique
- Étude statique
- Étude dynamique

V.2) Étude cinématique

La cinématique des mécanismes présente un outil de calcul très important qui permet de valider et de vérifier les performances mécaniques d'un système donné. Le schéma cinématique est la forme la plus fondamentale. Il donne, en effet, une représentation simplifiée permettant une meilleure compréhension du fonctionnement.

Pour le cas des machines complexes, on doit fractionner le schéma cinématique globale en des parties plus simples suivant les degrés de liberté de la machine.

Dans notre cas, on a séparé les chaines cinématiques suivant les axes de translation de la table. La vitesse de translation de la torche est en fonction de la vitesse de rotation des moteurs

V.2.1) Translation suivant l'axe (X)

V.2.1.1) Schéma cinématique

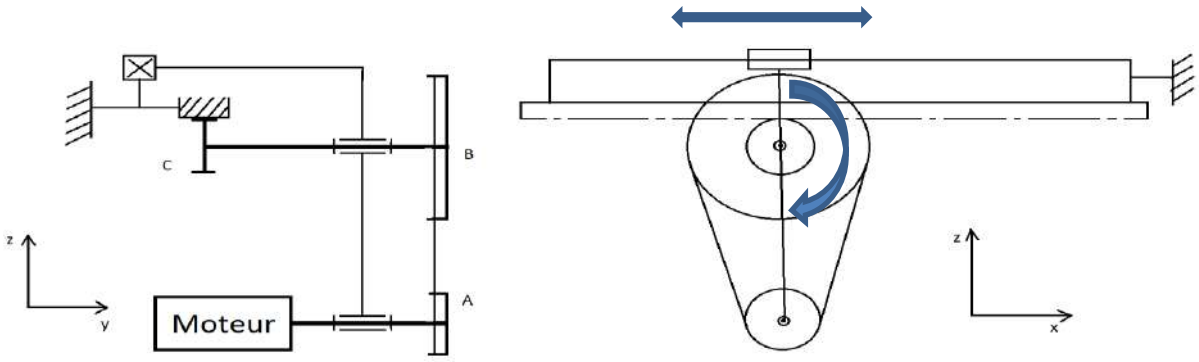


Figure (V-1) translation suivant x

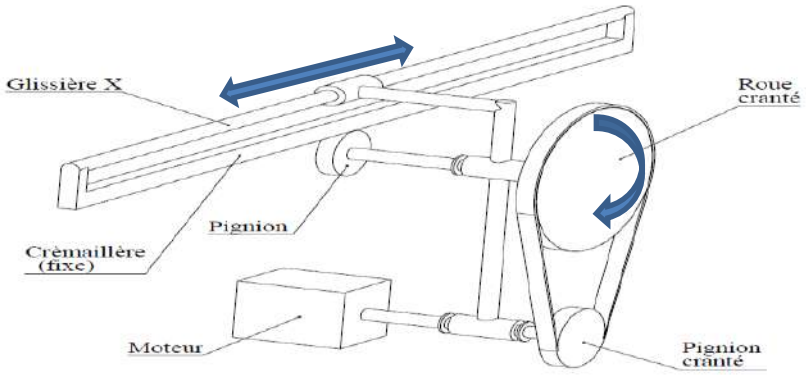


Figure (V-2) schéma cinématique en 3D

IV.2.1.2) Étude du mouvement

Pour avoir une translation de la torche suivant l'axe X, on a transformé la rotation du moteur A en translation à l'aide d'une crémaillère. Un rapport de transmission au niveau de la courroie crantée (réduction de vitesse) doit être défini.

- Rapport de transmission suivant l'axe (x) R_1

$$R_1 = Z_A / Z_B = 15/60 = 0{,}25 \qquad \text{(IV-1)}$$

Le nombre de dent a été choisi pour avoir un rapport de 0.25

- Calcul de la vitesse d'avance de la torche

$$V_x = \pi.m.Z_C.n_2 \quad \text{avec} \quad n_2 = 0{,}25\, n_1 \quad \text{avec} \quad n\ [tr/min] \qquad \text{(IV-2)}$$

$$V_x = (3{,}14.2.13.0{,}25\ n_1) \quad [mm/min]$$

$$= 20{,}42\, n_1$$

$$\boxed{V_x = 20{,}42\, n_1 \quad mm/min}$$

V.2.2) Translation suivant l'axe (Y)

V.2.2.1) Schéma cinématique

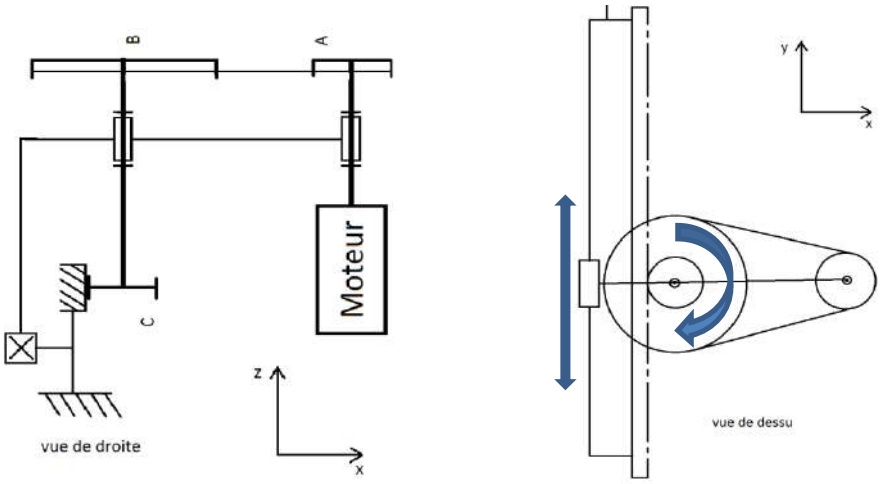


Figure (V-3) translation suivant y

V.2.2.2) Étude du mouvement

Le même mécanisme que la translation suivant l'axe X a été pris pour l'axe Y

Donc il y'aura le même rapport de transmission au niveau de la courroie crantée (réduction de vitesse)

- Rapport de transmission suivant l'axe x $R_2 = R_1$

$$R_2 = R_1 = 0{,}25 \qquad \text{(IV-3)}$$

- Calcul de la vitesse d'avance de la torche

$$V_y = \pi.m\ .Z_C\ .n_2 \quad \text{avec} \quad n_2 = 0{,}25\ n_1 \quad \text{avec} \quad n\ [tr/min] \qquad \text{(IV-4)}$$

$$V_y = (3,14.\ 2\ .13.0,25\ n_1) \quad [mm/min]$$

$$= 20{,}42\ n_1 [mm/min]$$

$$\boxed{V_y = 20{,}42\ n_1 \quad mm/min}$$

V.2.3) Translation suivant l'axe (Z)

V.2.3.1) Schéma cinématique

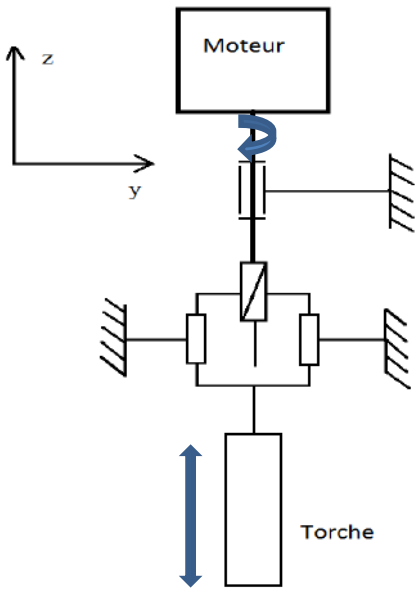


Figure (V-4) translation suivant z

V.2.3.2) Étude de mouvement

La translation suivant l'axe Z est assuré avec le système VIS-ECROU ; ce qui nous donne un déplacement du pas du filetage pour un tour de moteur

- Calcul de la vitesse d'avance de la torche

$V_z = p.\ 60.n_3 = 1{,}75.60.\ n_3$ [mm/min] (IV-5)

$V_z = 1{,}75\ n_3$[mm/min]

V.3) Choix du moteur

V.3.1) Détermination du couple résistant

Pour déterminer le couple résistant des moteurs, il faut connaitre les vitesses maximales et les accélérations de la machine. Sachant que le la torche peut se déplacer dans le plan horizontale avec les vitesses suivantes :

$V_{x(max)} = V_{y(max)} = 20.42$ m/min pour n = 1000 tr/mn

Le temps nécessaire pour atteindre ces vitesses est de 0.5s

Ce qui nous donne une accélération maximale de 1 m/s2.

Le logiciel solidworks permet une analyse du mouvement ; ce qui aide à déterminer les forces dynamiques du système.

Les graphes suivants montrent les performances de la machine :

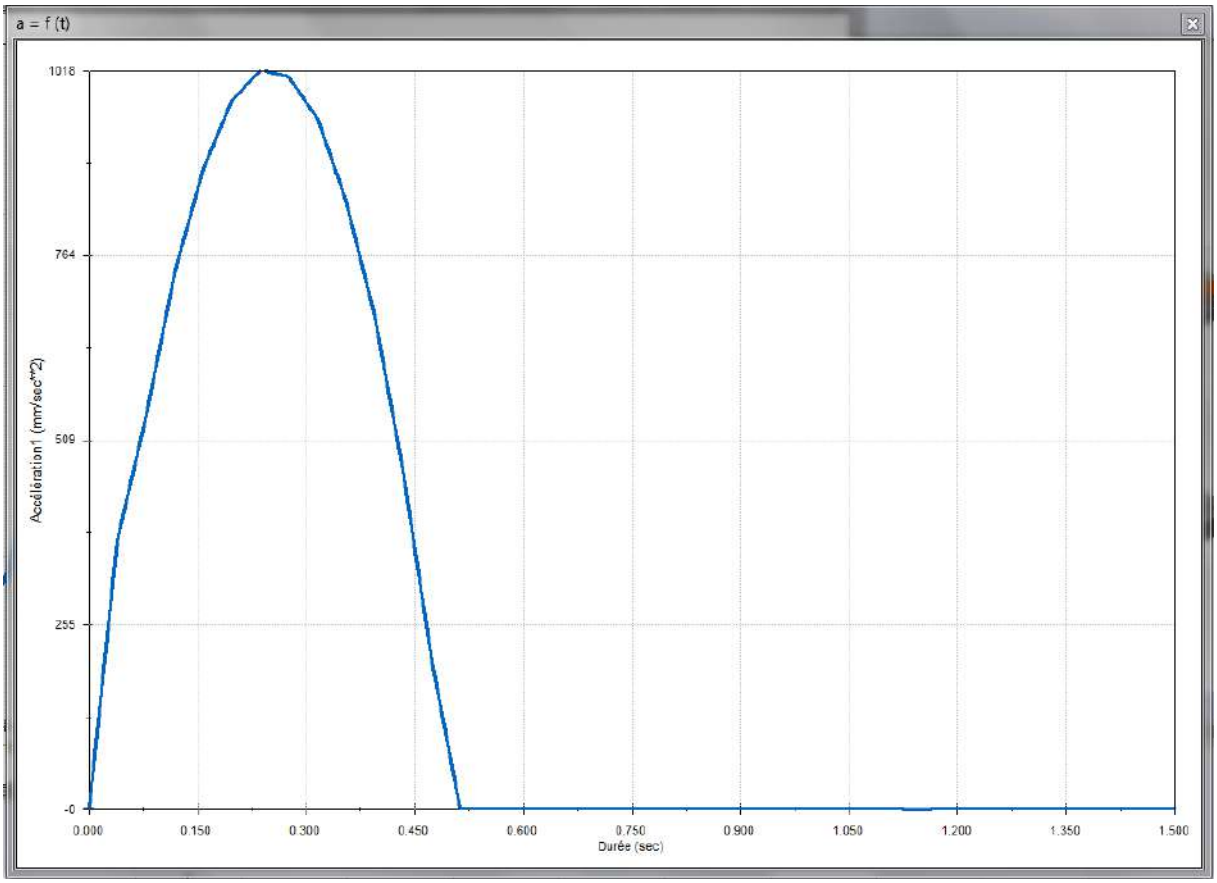


Figure (V-5) accélération longitudinale

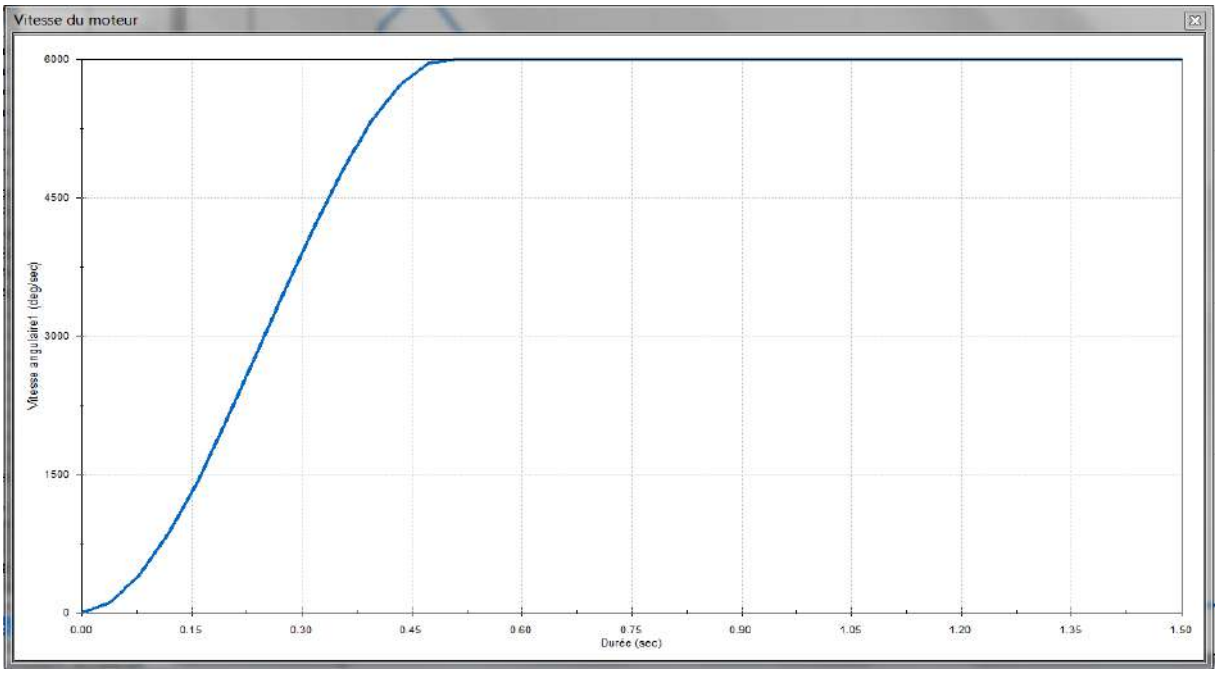


Figure (V-6) vitesse angulaire du moteur

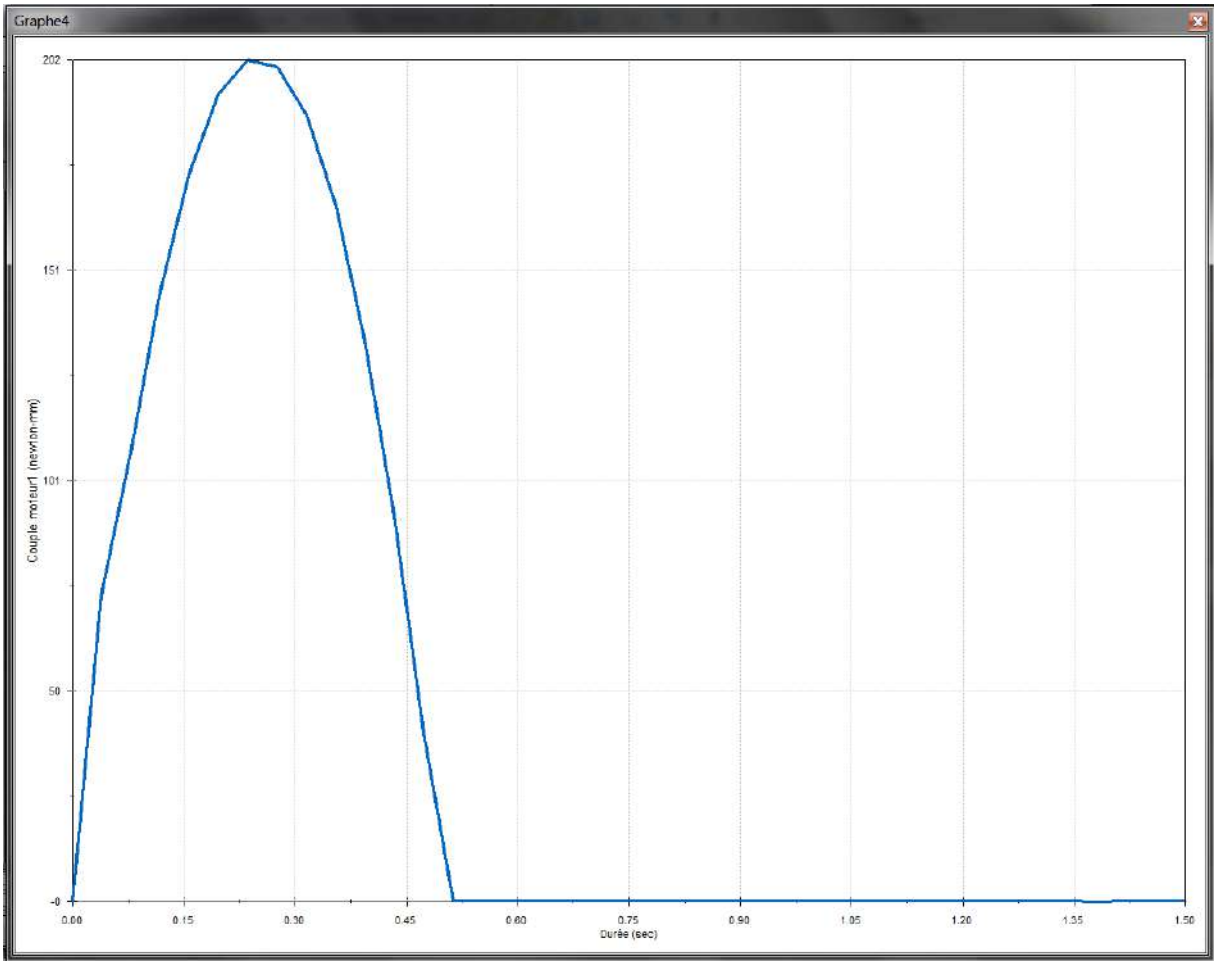


Figure (V-7) couple résistant de la machine.

Apres l'analyse effectuée, le couple moteur nécessaire pour déplacer la torche avec les vitesses prédéfinies est de 0.2 Nm.

Pour le déplacement longitudinal, on a utilisé deux moteurs symétriques pour diviser la charge donc le couple moteur nécessaire est de 0.1 Nm.

Le logiciel solidworks effectue la tache inverse, c'est d'introduire des couples moteur existants dans le marché et voir le comportement de la machine.

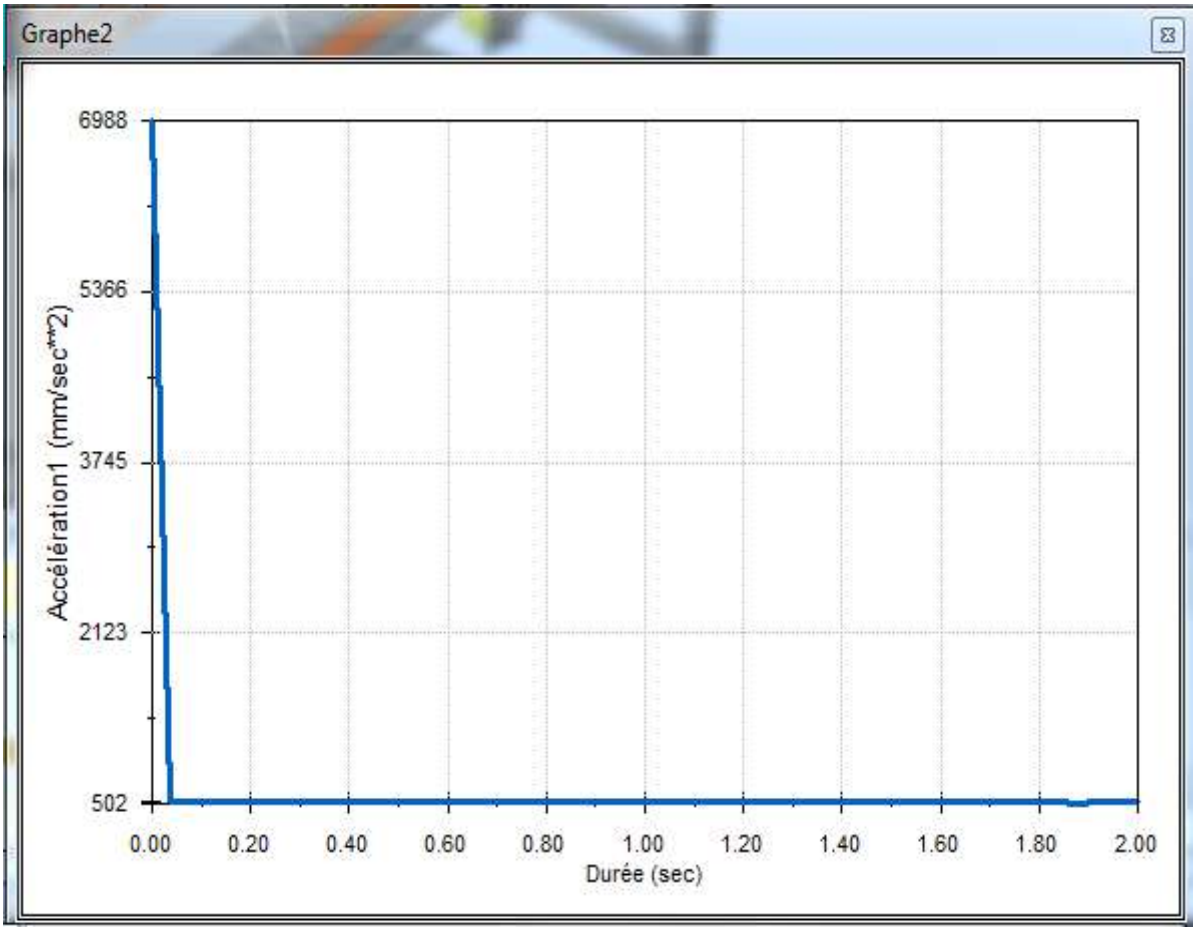


Figure (V-8) Accélération du chariot

Le graphe dans la figure (V-8) montre l'accélération du chariot suivant l'axe longitudinal pour un couple moteur de 0.1 N.m

C = 0.1 Nm

A = 0.5 m/s^2

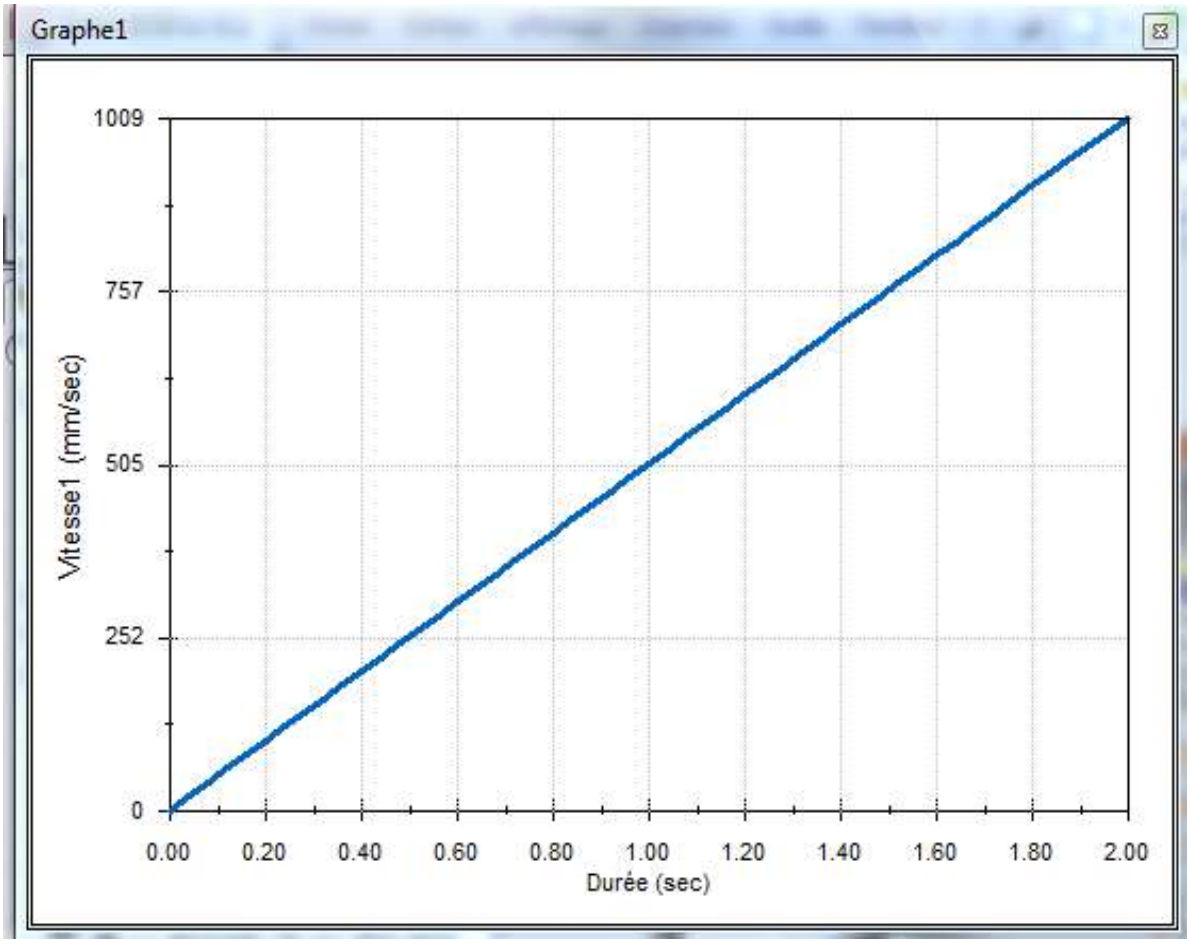


Figure (V-9) Vitesse du chariot

Le graphe dans la Figure (V-9) montre la vitesse du chariot pour le même couple

C = 0.1 Nm

Les résultats obtenus sont satisfaisants,

Donc la table peut être actionnée avec un moteur de **0,1 Nm**

Pour des mesures de sécurité, il faut prendre une marge de sécurité pour garantir la durée de vie des moteurs. Pour cela on choisit un moteur de type EMMS-ST-42-S-S-G2 (42), avec un couple de maintien de 0.5 Nm, ces caractéristiques sont représentés dans le tableau suivant :

V.3.2) Caractéristiques du moteur choisit

Caractéristique	Caractéristique
Angle de pas (pas entier)	1,8 deg
Tolérance d'angle de pas	±5%
Vitesse de rotation max	1 740 1/min
Classe d'isolement	B
Tension de service nominale CC	48 V
Courant nominal moteur	1.8 A
Classe de fonctionnement selon EN 60034-1	SI
Marque CE (voir déclaration de confomtfé)	selon la directive européenne CEM
Classe de résistance *à* la corrosion KBK	1
Température de stockage	-20 70 *C
Humidité relative de fair	45 - 80%
Degré de protection	IP54
Température ambiante	•10 50*C
Classe thermique selon EN 60034-1	B
Agrément	C-TicK
Moment d'inertie total de la prise de force	0.082 kgcm2
Couple de maintien frein	0.4 Nm
Couple de maintien moteur	0.5 Mm
Moment d'inertie du rotor	0.082 kycm2
Charge axiale admissible sur l'arbre	7 N
Charge radiale admissible sur l'arbre	20 N
Poids du produit	360 g
Connectique électrique	Connecteur male
Note sur la matière	Conforme RoHS
Conforme à la norme	IEC 60034

Tableau (V-1) caractéristique du moteur [ ]

Son comportement sur la machine est le suivant :

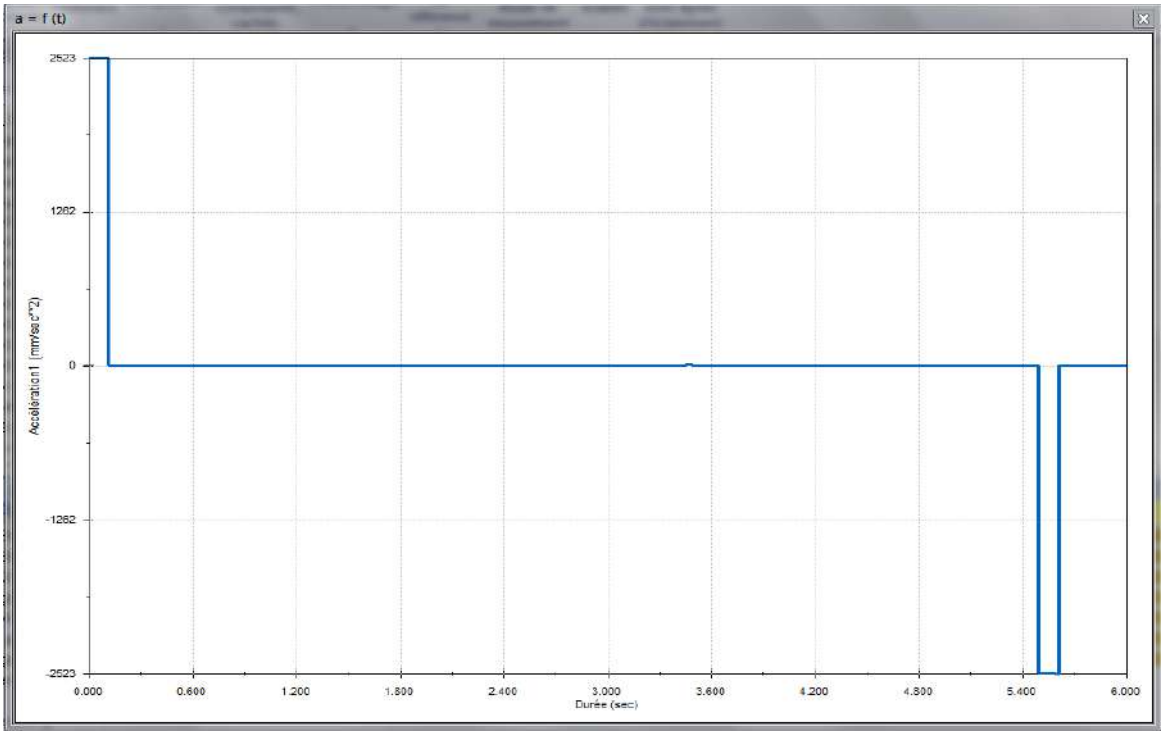


Figure (V-10) accélération de la torche avec le moteur (42)

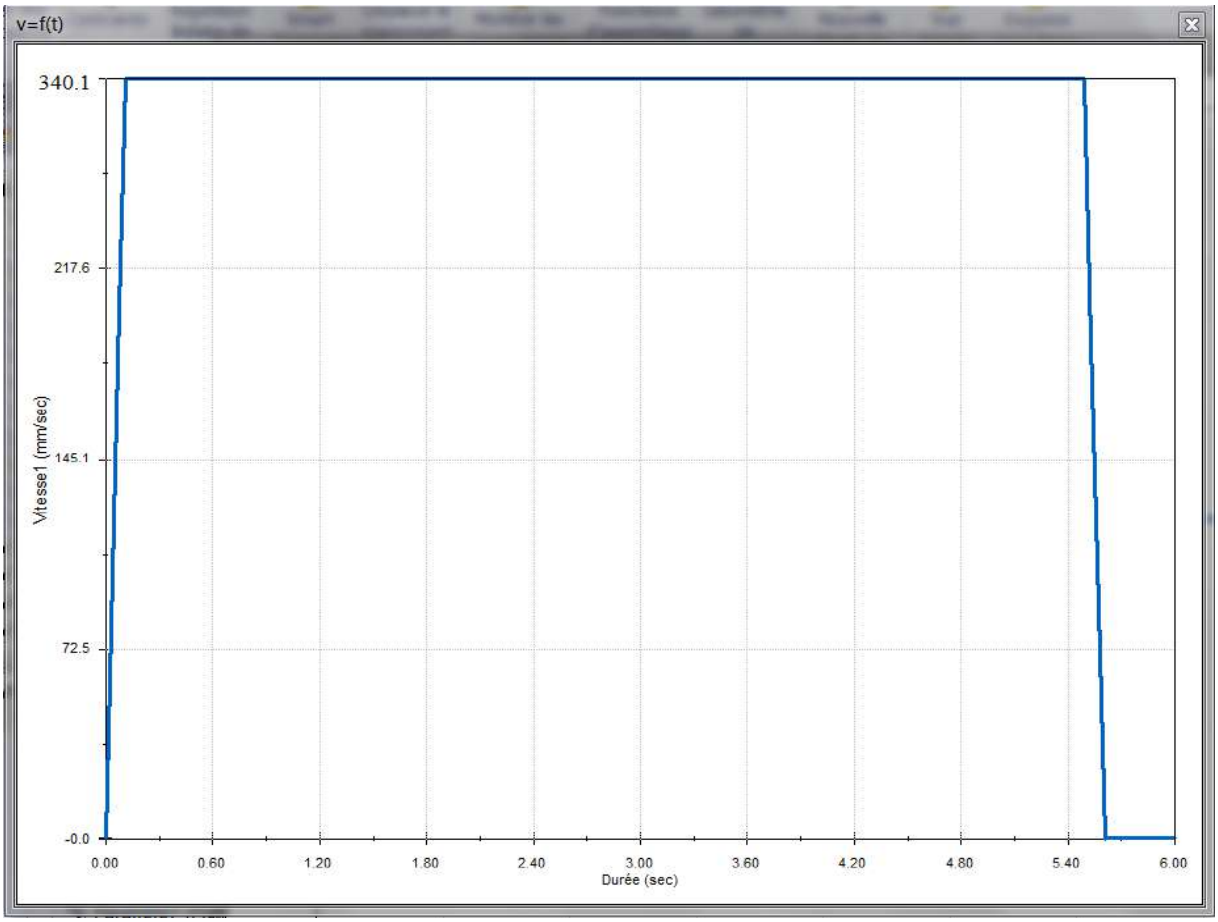


Figure (V-11) vitesse de la torche avec le moteur (42)

Avec les deux moteurs EMMS ST 42 installés sur le chariot, la torche peut atteindre sa vitesse maximale durant une période de **0.14 s**. Le couple de maintien pour le freinage est de **0.4 Nm** ; ce qui fait un temps d'arrêt un peu plus long de **0.18 s**

Le temps nécessaire pour que la torche traverse la diagonale de la table est moins de **6s**

Pour les deux autres directions, on utilise le même type du moteur.

V.4) Géométrie de la table

La torche de découpage peut se déplacer dans les trois directions par rapport à l'origine machine avec les parcours suivants :

Suivant l'axe X : 1660 mm

Suivant l'axe Y : 1320 mm

Suivant l'axe Z : 75 mm

Ce qui nous donne un déplacement dans le parallélépipède des dimensions (1660x1320x75) et un volume de $V=120\ 516\ 000mm^3$ supportant une géométrie de dimension maximale de 2160 x1380x55.

V.5) Étude statique

V.5.1) introduction

La recherche constante de gains en termes de productivité dans l'usinage de pièces mécaniques a conduit au développement de la simulation des opérations d'usinage, de fabrication et de productivité.

En effet, de la même manière que les calculs de structure par éléments finis ont permis de limiter considérablement les étapes de prototypage, ces opérations s'avérant couteuses puisqu'elles rendent les machines non productives pendant toute la durée de validation du processus.

Les logiciels d'analyse par éléments finis sont à l'heure actuelle les plus utilisés pour les études des machines et ses comportements au cours de son fonctionnement. L'un de ces logiciels est ANSYS. Ansys est un logiciel de simulation et de calcul par éléments finis.

V.5.2) Le logiciel ANSYS

V.5.2.1) ANSYS Structural :

Ce produit permet d'effectuer des simulations mécaniques en calcul de structures. Ses principales capacités sont :

L'analyse statique

L'analyse modale

L'analyse harmonique (réponse forcée)

L'analyse temporelle

La gestion de différentes situations non-linéaires (contacts, plasticité matériaux, grands déplacements ou grandes déformations).

V.5.2.2) ANSYS Workbench :

Cette plate-forme propose une approche différente dans la construction d'un modèle en réutilisant le code ANSYS initial. Elle est particulièrement adaptée au traitement de cas à la géométrie complexe (nombreux corps de pièces) et aux utilisateurs non confirmés dans le domaine du calcul. Dans cet environnement, l'utilisateur travaille essentiellement sur une géométrie et non plus sur le modèle lui-même. La plateforme est donc chargée de convertir les requêtes entrées par l'utilisateur en code ANSYS avant de lancer la résolution. Le modèle éléments finis généré reste néanmoins manipulable en insérant des commandes propres au code ANSYS.

V.5.3) Les déformations élastiques liées à des sollicitations statiques

Les déformations ´élastiques dues au poids propre de la structure ou au chargement thermique de la structure participent de façon non négligeable aux défauts de pose de l'outil d'après Pritschow [11]. Il a proposé un ordre de grandeur de ces erreurs de pose représenté sur la Figure (V-5)

De nombreux travaux s'intéressent à ce type de déformation et aux moyens

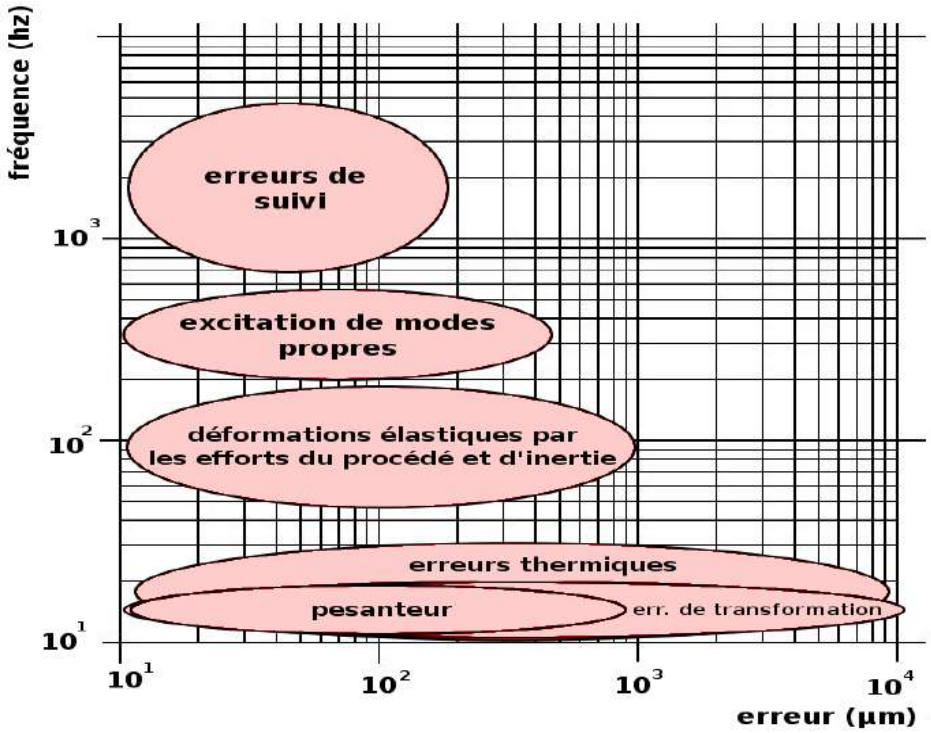


Figure (V-12) Amplitude des défauts d'usinage en fonction de la fréquence de la sollicitation pour chaque source d'erreur [11]

V.5.4) Étude du châssis (bâti) :

Une étude statique de la table a été faite par le logiciel Ansys Workbench pour déterminer la réaction de la table au chargement imposé sur elle et son propre poids.

La méthode utilisée prend les critères de déformation plane pour traiter le problème.

On a fait le calcul pour plusieurs cas (positionnement de la torche)

Le matériaux utilisé est l'acier allier (E = 2.1 e^{11} N/m^2)

V.5.4.1) Torche au centre de la table

Comportement de la table soumise au poids de la torche au milieu. On a supposé que la masse du l'ensemble Torche-Porte Torche est de 12 kg et un chariot de 22 Kg.

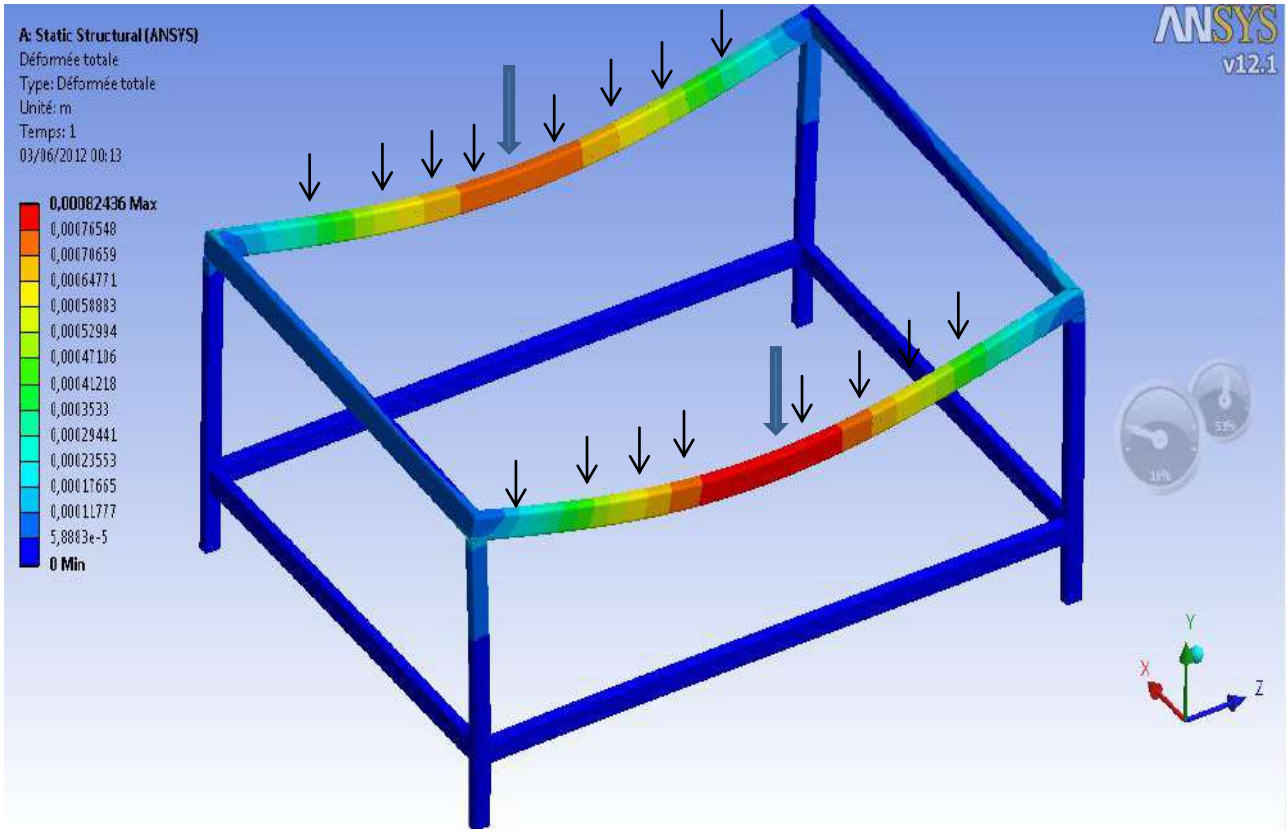


Figure (V-13) étude du châssis cas 1

Chargement imposé

1/2Charge de (chariot +la torche) F= 170 N

Charge uniformément repartie des lames porte tôles Q=1000 N

Charge de la chaine porte câble repartie sur un coté de la table Q= 50 N

Réaction de la table

Une flexion avec δ_{max} =0.82 mm (zone rouge)

V.5.4.2) Torche sur côté de la table

Comportement de la table soumise au poids de la torche sur les cotés

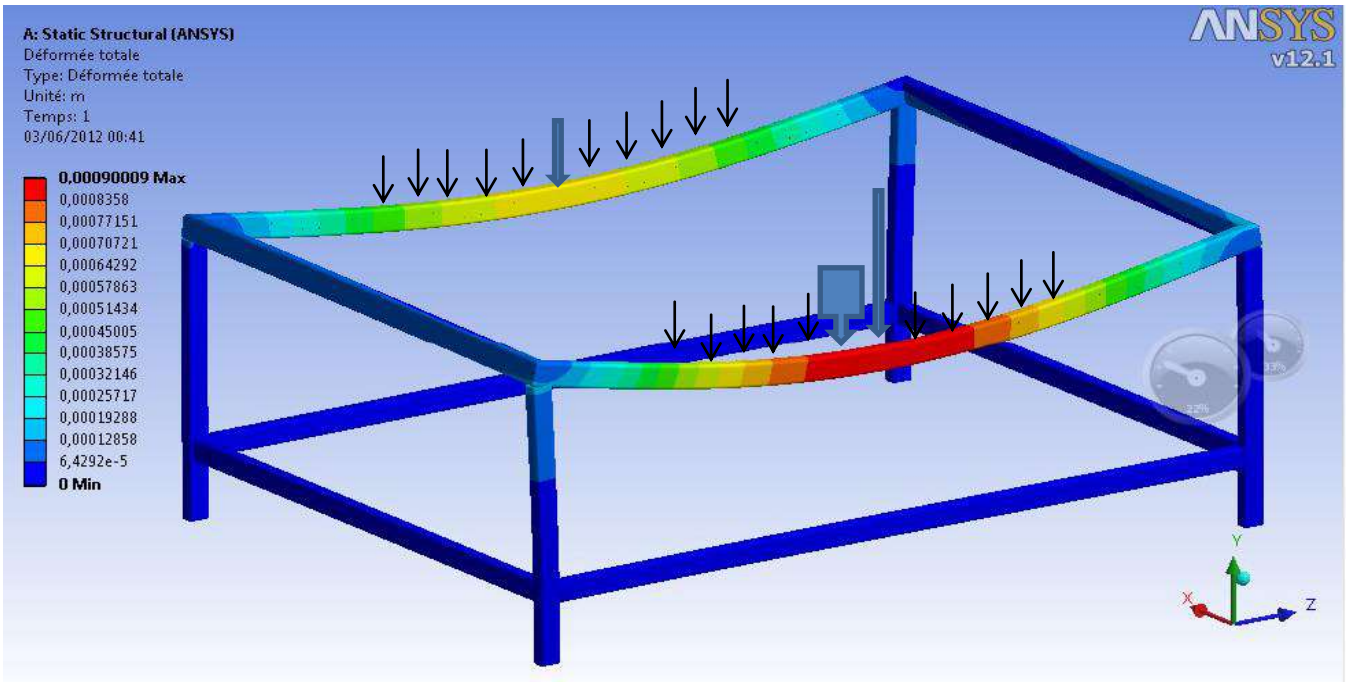


Figure (V-14) étude du châssis cas 2

Chargement imposé

1/2Charge de chariot F= 110 N

½ Charge de chariot +charge de la torche F = 230 N

Charge repartis des lames porte tôles Q=1000 N

Charge de la chaine porte câble repartis sur un cote de la table Q = 50N

Réaction de la table

Une flexion avec δ_{max} =0.9 mm (zone rouge)

V.5.4.3) Table chargée

Comportement de la table soumise au poids de la torche et une tôle d'acier de 100 Kg

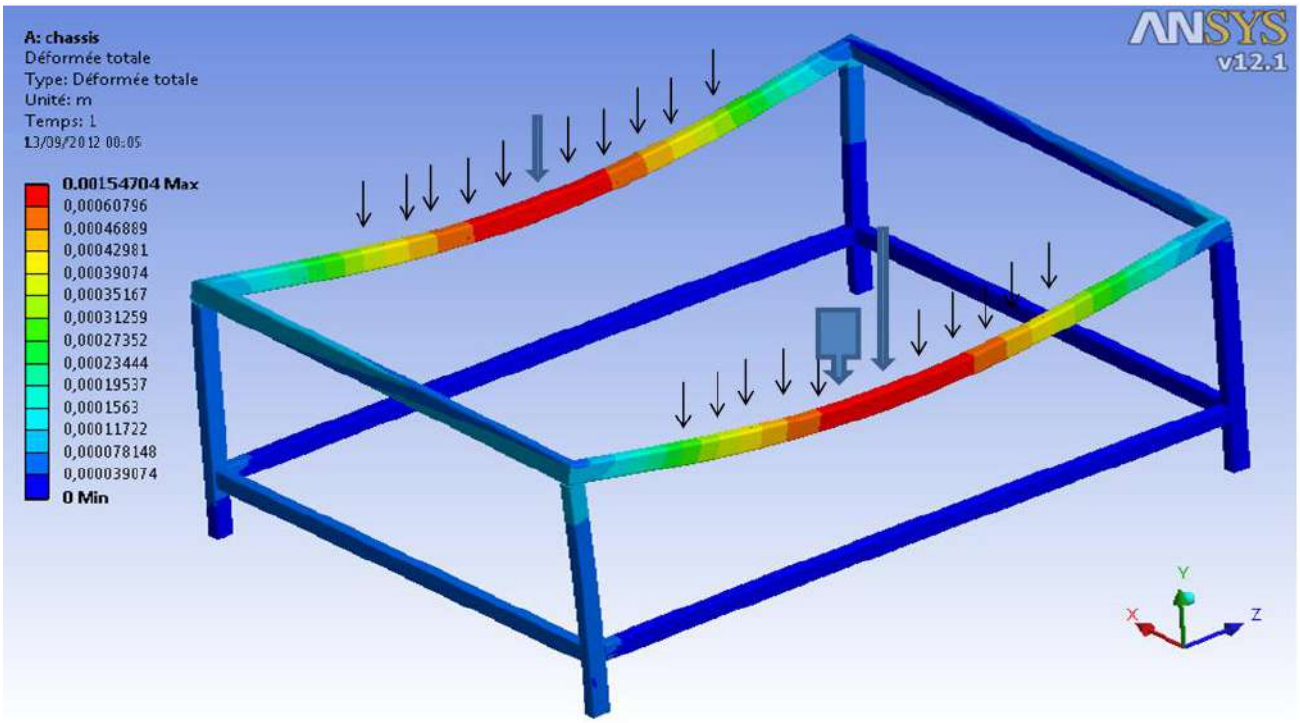


Figure (V-15) châssis chargé

Chargement imposé

1/2Charge de chariot F= 110 N

½ Charge de chariot +charge de la torche F = 230 N

Charge repartis des lames porte tôles et une tôle de 100 Kg Q=2000 N

Charge de la chaine porte câble repartis sur un coté de la table Q = 50N

Réaction de la table

Une flexion avec δ_{max} =1.54 mm (zone rouge)

V.5.5) Étude de chariot (axe Y)

Le matériaux utilisé est l'aluminium (E = 6.9 e^{10} N/m^2)

V.5.5.1) Torche au milieu du chariot

Poids de la torche au milieu

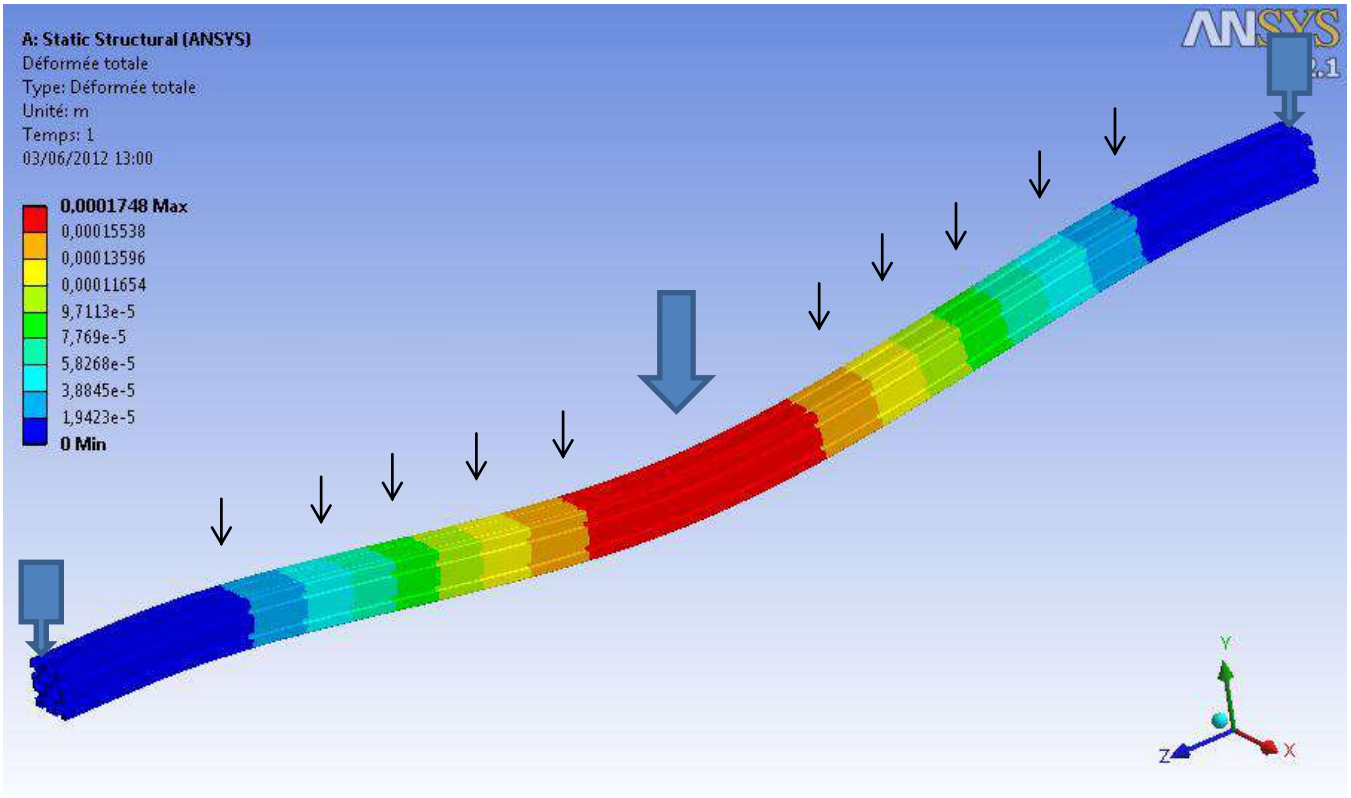


Figure (V-16) traverse y

Chargement imposé

Poids de la torche au milieu F= 120 N

Charge repartis sur la longueur du chariot (crémaillère +glissière +poids propre de la poutre +chaine porte câble) Q = 160 N

Charge du moteur et ses accessoires F=30N

Réaction du chariot

Une flexion avec δ_{max} =0.17 mm (zone rouge)

V.5.5.2) Torche sur coté du chariot

Poids de la torche sur le coté

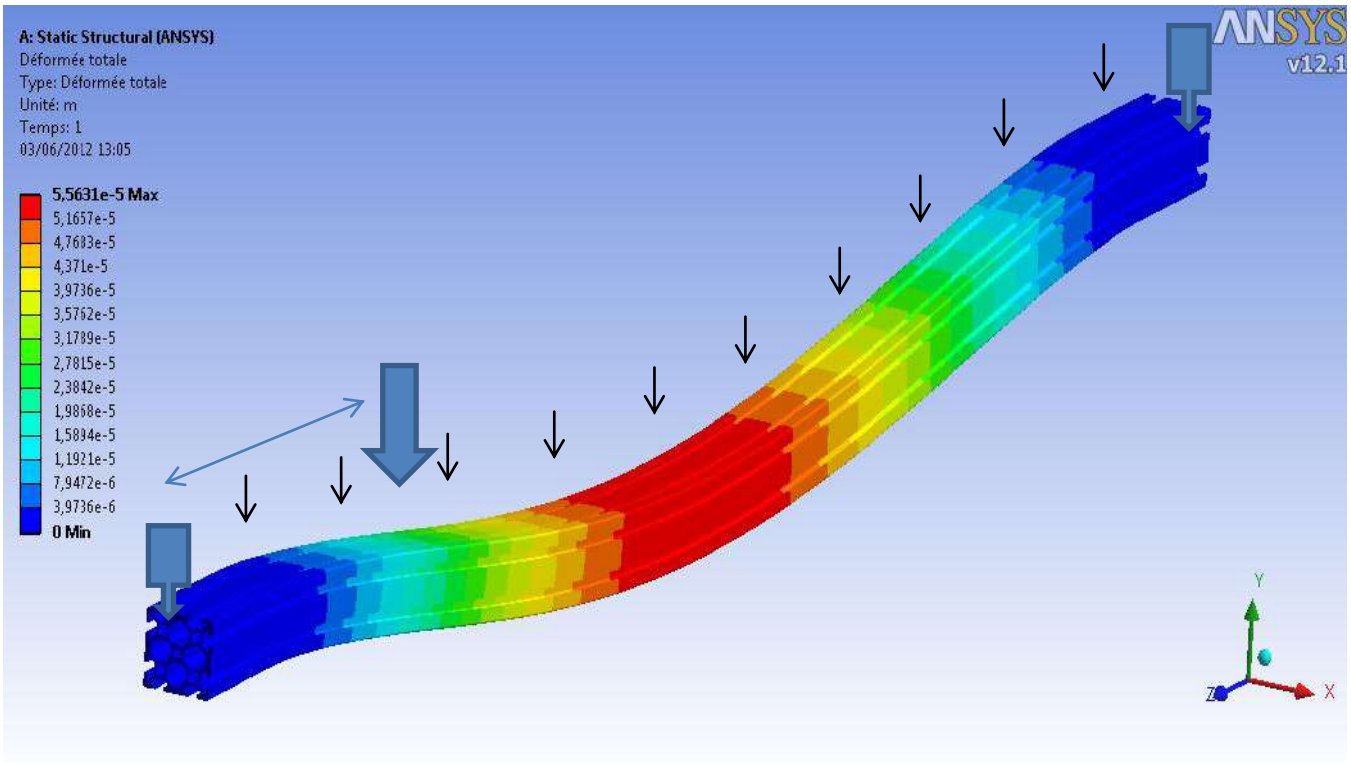


Figure (V-17) chargement sur coté

Chargement imposé

Poids de la torche à côté distant de l'extrémité de 175mm F= 150 N

Charge repartis sur la longueur du chariot (crémaillère +glissière +chaine porte câble)
Q = 200 N

Charge du moteur et ses accessoires F=30N

Réaction du chariot

Une flexion avec δ_{max} =5.56 E-5 m (zone rouge)

V.6) Etude dynamique :

V.6.1) Détermination des six premiers modes propres de la table

Pour déterminer les modes propres de la machine (fréquences de résonnance) on a établi une étude dynamique sur ansys avec un assemblage simplifié. Ce dernier permet de connaitre les vibrations de la table.

Les figures suivantes montrent les déformations de la machine pour les six premiers modes propres et les fréquences de résonnance pour chaque mode.

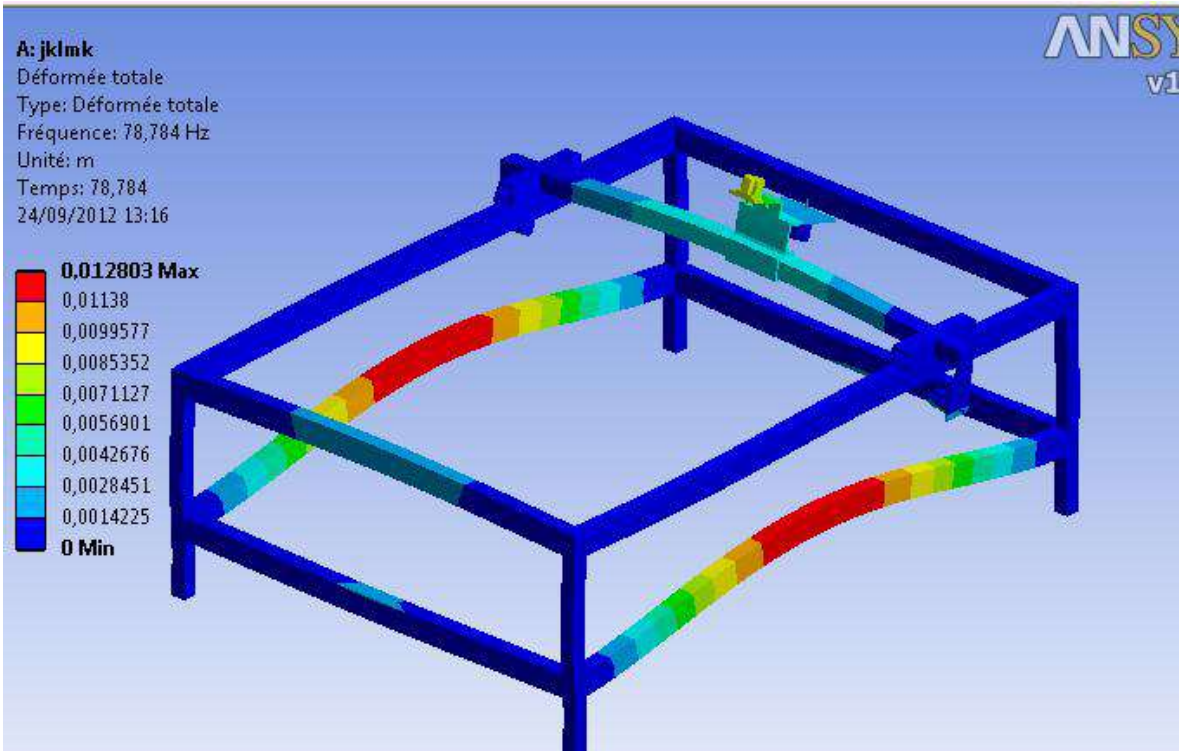


Figure (V-18) premier mode propre de la table

La figure (V-18) représente le premier mode propre de la machine, la fréquence est 78.784 Hz qui peut créer un déplacement de 12 mm .

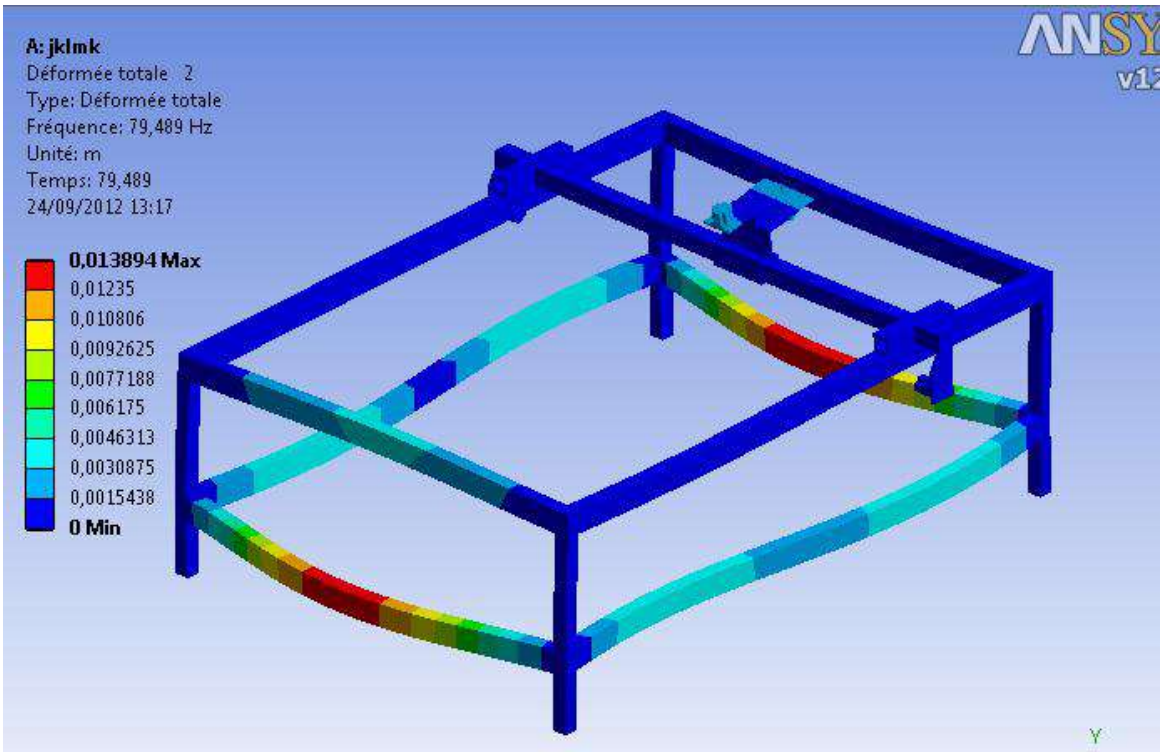


Figure (V-19) deuxième mode propre de la table

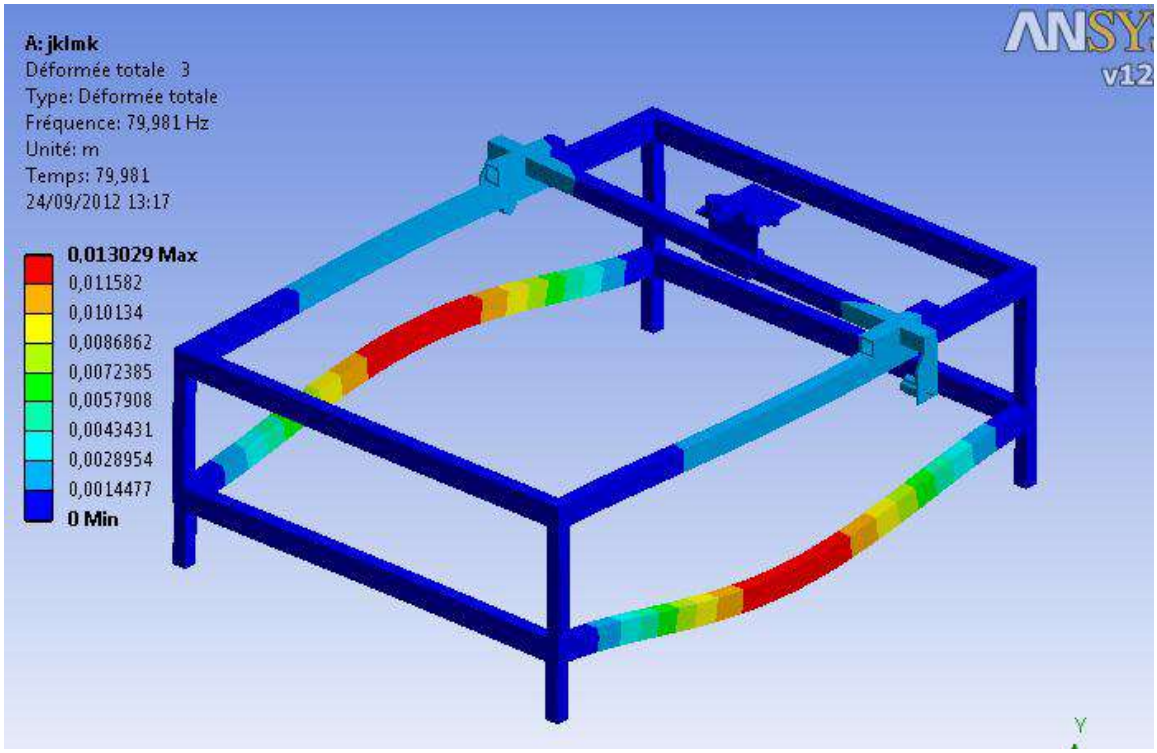


Figure (V-20) troisième mode propre de la table

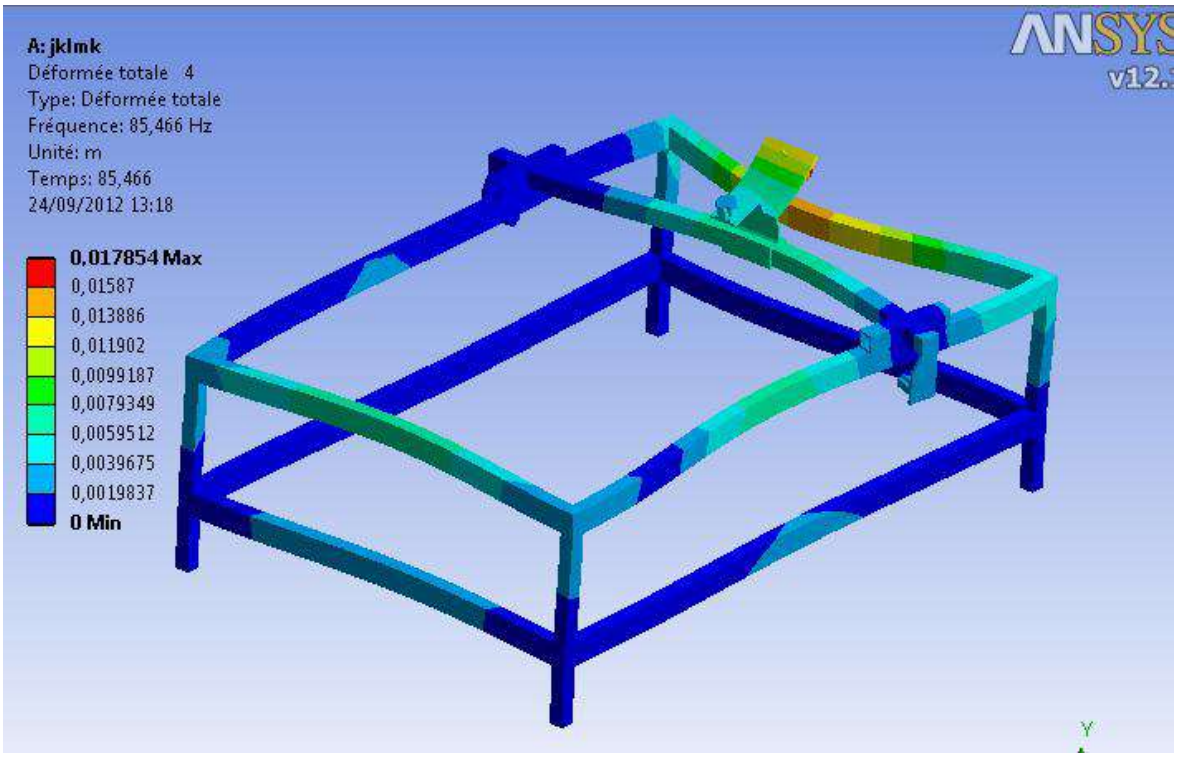


Figure (V-21) quatrième mode propre de la table

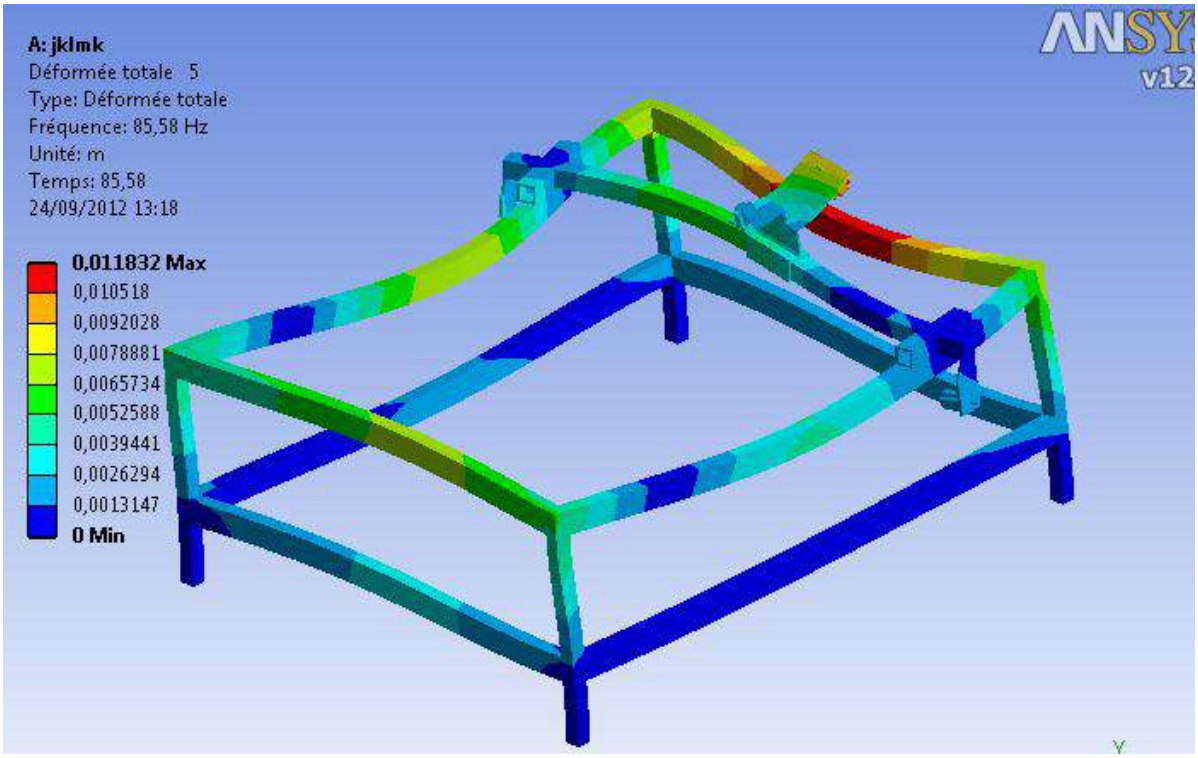


Figure (V-22) cinquième mode propre de la table

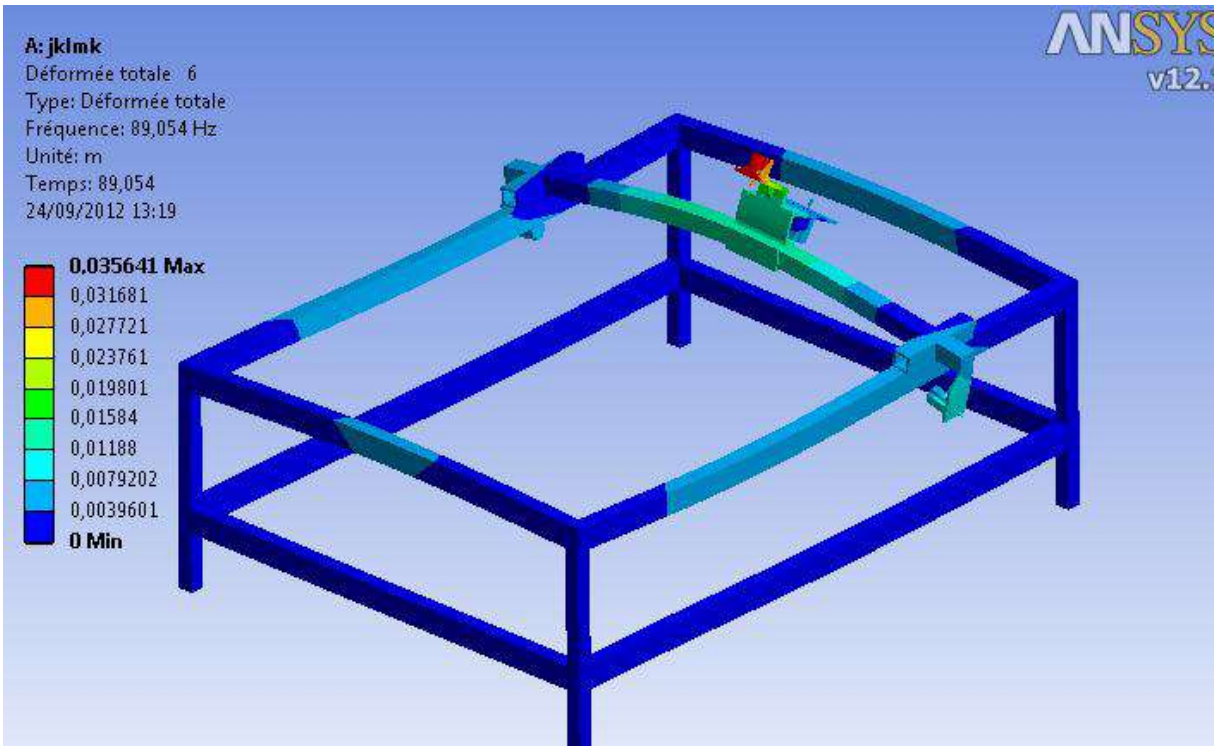


Figure (V-23) sixième mode propre de la table

Pour avoir un fonctionnement stable de la machine on a intérêt à éviter les fréquences propre de la table (pour ne pas avoir de résonnance).

V.7) Conclusion :

Une étude globale a été faite de l'assemblage proposé.

Pour la partie cinématique, l'étude effectué nous a permet de déterminer les vitesses de la torche, et les moteurs nécessaire pour la mise en marche

Sur le plan statique, la table routeur proposée a un comportement élastique malgré la charge propre appliquée plus au moins importante (de l'ordre de 34 Kg). En effet, les déformations maximales dans les deux traverses longitudinale et transversale ne dépassent pas Zmax = 0.9 mm

Cependant un calcul dynamique et particulièrement une analyse vibratoire s'avère importante pour montrer les performances de la structure proposée (notamment les fréquences de résonnance qui sont {**78.784 Hz, 79.489 Hz, 79.981 Hz, 85.466 Hz, 85.58 Hz, 89.054 Hz**).

Conclusion Générale

Les tables de découpage des métaux s'améliorent jour après jour vers la perfection des résultats de coupe.

Dans ce contexte et dans le cadre d'un projet PNR au sein du laboratoire LMP2M à l'Université de Médéa, on a proposé une conception d'une table routeur multiaxes utilisant deux axes de déplacements orthogonaux supportant une charge (torche de découpe par jet plasma et son mécanisme) qui décrit un profil quelconque 2D.

Pour ce faire, on a utilisé le logiciel de CAO SolidWorks 2011 pour la conception des éléments de l'assemblage.

Un calcul cinématique a été ensuite fait afin de vérifier les performances des éléments mobiles de la table, et de déterminer le couple résistant du chariot.

En outre, une analyse statique et une autre dynamique sont alors effectuées afin de compléter l'étude. Le but est de connaitre au mieux les performances de fonctionnement de la table ainsi que ses capacités. Pour cela, on a utilisé le logiciel de calcul et d'analyse ANSYS 12.0.

En effet, sur le plan statique, la table routeur proposée a un comportement élastique malgré la charge propre appliquée plus au moins importante (de l'ordre de **34 Kg**). Les déformations maximales dans les deux traverses longitudinale et transversale ne dépassent pas **Zmax = 01 mm**

Cependant un calcul dynamique et particulièrement une analyse vibratoire s'avère important pour montrer les performances de la structure proposée, (notamment le problème de résonnance), sachant que la plage du travail de la table est **(0 à 16.66 Hz**)

Pour cela l'étude effectuée nous a déterminé les 6 premiers modes (fréquences à éviter : (**78.784 Hz, 79.489 Hz, 79.981 Hz, 85.466 Hz, 85.58 Hz, 89.054 Hz**)

En fin, on note que malgré que la version proposée de la table routeur souhaitée par le projet lancé puisse avoir quelque modification et améliorations, le dossier des pièces constituantes de la table est prêt pour la réalisation pratique (fabrication mécanique).

En perspective, en envisage:

-la réalisation pratique de la machine

- d'équiper la table avec un système pour le dégagement des gaz (par aspiration et éjection à l'extérieur).

Cependant, le projet n'aura de valeur industrielle sensible que si la partie commande soit intégrée dans l'assemblage comme seconde approche.

La finalisation du projet se réalisera effectivement en intégrant une interface numérique CNC dans la table.