



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique
جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis de
Mostaganem



كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie

N° d'ordre : M/GM/2019

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Construction mécanique

Thème

**ETUDE ET REALISATION D'UNE MACHINE A
GRAVER SUR BOIS**

Présenté par :

1. Benkorich Hamza
2. Belhadri Tewfik

Soutenu le 06 / 07/ 2019 devant le jury composé de :

Président	: Guermat Abdelkader	UMAB - Mostaganem
Examineur	: Benkabouche Salah-Eddine	UMAB - Mostaganem
Encadreur	: Guechichi Hocine	UMAB – Mostaganem

Année Universitaire : 2018 / 2019

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*A mes très chers parents qui m'ont aidé et
encouragé durant toutes mes études.*

*A mes chers frères et cousins, ainsi que mes chers
oncles et tantes.*

A toute la famille Belhadri.

*A tous mes amis **et en particulier :***

Benkorich Hamza ,Belwassa Madjdoub,Riad Bouhadeb,
Alaa Eddine Benlahbib, Abdeljalil Tliba , Hadjaze houssein,
Balarbi Hicham,Berazzoug Kaddour, Memchout Abdelkader,
Karim Meshoub.

*A tous mes amis, et collègues de la promotion 2018
avec lesquels j'ai partagés mes meilleurs moments.*

T.Belhadri

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*A mes très chers parents qui m'ont aidé et
encouragé durant toutes mes études.*

*A mes chers frères et cousins, ainsi que mes chers
oncles et tantes.*

A toute la famille Benkorich.

*A tous mes amis, et collègues de la promotion 2018
avec lesquels j'ai partagés mes meilleurs moments.*

H.Benkorich

Remerciements

Dieu merci de nous avoir donné la volonté et le courage d'arriver à faire ce modeste travail. En préambule à ce mémoire, nous souhaitons adresser notre reconnaissance à toute personne ayant apporté son aide et contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Nous remercions notre encadreur Professeur **Guechichi Hocine**, d'avoir accepté de diriger ce travail. Nous tenons à exprimer notre gratitude au Docteur **Guermat Abdelkader**, d'avoir accepté de présider le jury de notre projet de fin d'études. Nos remerciements vont au Docteur **Benkabouche Salah Eddine**, qui nous a fait l'honneur d'accepter l'examen de ce mémoire. Le temps que les membres de jury aient passé, ainsi que l'intérêt qu'ils ont manifesté pour ce travail sont une marque de reconnaissance inestimable.

A tous nos enseignants de Génie mécanique de l'université de Mostaganem et particulièrement ceux qui ont contribué à notre formation particulièrement en master.

Table des matières

Dédicaces	ii
Dédicaces	iii
Remerciements	iv
Liste des figures	viii
Liste des tableaux	x
Liste des abréviations	xi
Introduction générale	1
I. Généralités sur la gravure du bois et la machine-outil à commande numérique	2
I.1 Introduction	3
I.2 Définition de la gravure	3
I.3 Les outils et les supports de gravure	3
I.4 Les techniques de la gravure	4
I.5 Généralités sur le bois	4
I.5.1 Différents essences de bois	5
I.5.2 Caractéristiques mécaniques du bois	5
I.6 La gravure moderne	6
I.7 Définition de la machine-outil à commande numérique	6
I.8 Historique des machines-outils à commande numérique	6
I.9 Les commandes numériques	7
I.10 Domaines d'emploi des commandes numériques	7
I.11 Structure d'une MOCN	8
I.11.1 La partie opérative	8
I.11.2 La partie commande	8
I.12 Principe de fonctionnement d'une MOCN	8
I.13 La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)	8
I.14 La Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO)	9
I.14.1 Code G	9
I.15 Le post-processeur	9
I.16 Intérêts des MOCN	10
II. Analyse fonctionnelle de la machine à graver sur bois	11
II.1 Introduction	12
II.2 Analyse fonctionnelle externe	12
II.2.1 Analyse de besoin	12

II.2.2	Définition	12
II.2.3	Expression de besoin	13
II.2.4	Diagramme bête à cornes	13
II.2.5	Identification des fonctions de services.....	14
II.2.6	Cahier des charges fonctionnelles	15
II.3	Analyse fonctionnelle interne	15
II.3.1	Définition	15
II.3.2	Diagramme F.A.S.T	15
III.	Etude fonctionnelle et conception de la machine	17
III.1	Introduction	18
III.2	Partie mécanique.....	18
III.2.1	Support de la machine à graver sur bois (Bâti)	18
III.2.2	Guidage linéaire	19
III.2.3	Système de transformation du mouvement de rotation en un mouvement de translation.....	20
III.2.4	Modélisation cinématique	21
III.2.5	Graphe des liaisons.....	27
III.2.6	Schéma cinématique.....	27
III.3	Partie électronique et électrique	28
III.3.1	La carte Arduino.....	28
III.3.2	Le contrôleur de moteurs pas à pas (TB6560)	28
III.3.3	Le moteur pas à pas	30
III.3.4	Le transformateur de courant	32
III.3.5	Montage électrique	32
III.4	Partie informatique	33
III.4.1	L'application de dessin.....	33
III.4.2	L'application de commande	35
IV.	Calcul et dimensionnement	37
IV.1	Introduction	38
IV.2	Las paramètre de coupe	38
IV.2.1	Vitesse de coupe.....	38
IV.2.2	Mouvement de coupe M_c	38
IV.2.3	Vitesse d'avance.....	38
IV.3	Les efforts de coupe.....	38

IV.4	Puissance de coupe	39
IV.5	Système de transformation de mouvement.....	39
IV.5.1	Transformation de mouvement :	39
IV.5.2	Transmission d'effort :	40
IV.6	Assemblage par vis ou boulon	41
IV.7	Les limites de la machine	42
IV.7.1	Force de coupe maximale.....	43
IV.7.2	Vitesse de coupe maximale	44
IV.7.3	La vitesse de coupe minimale	44
IV.7.4	Coefficient spécifique de coupe maximale	44
IV.7.5	Résistance de vis mère	45
	Conclusion Générale.....	46
	Bibliographie	47
	ANNEXE	48

Liste des figures

Figure 1. Gravure sur bois.....	3
Figure 2. Gravure sur acier.....	4
Figure 3 : Gravure lapidaire	4
Figure 4. Anisotropie du bois.....	5
Figure 5. Gravure par commande numérique.....	6
Figure 6. Structure d'une MOCN.....	8
Figure 7. Cycle d'une pièce fabriquée par une commande numérique (CFAO).....	9
Figure 8. Les différentes étapes de l'analyse fonctionnelle.....	12
Figure 9. Diagramme bête à cornes.....	13
Figure 10. Boîte A-0.....	13
Figure 11. Diagramme Pieuvre.	14
Figure 12. Diagramme FAST.....	16
Figure 13. Vue d'ensemble de la machine.....	18
Figure 14. Support de la machine.....	19
Figure 15. Galet avec deux roulements et une excentricité.....	19
Figure 16. Rail en aluminium.....	20
Figure 17. Les supports mobiles.	20
Figure 18. Excentrique.	20
Figure 19. Système Vis-Ecrou.	21
Figure 20. Classe A.	22
Figure 21. Désignation des pièces de la classe A.....	22
Figure 22 : Classe B	23
Figure 23. Classe C.	24
Figure 24. Classe D.	25
Figure 25 : Classe E, F, G, H	26
Figure 26. Graphe de liaisons.....	27
Figure 27. Schéma cinématique.	27
Figure 28 . Carte Arduino.	28
Figure 29. Contrôleur de moteur pas à pas.....	29
Figure 30. Contrôleur TB6560 4 axes.....	30
Figure 31. Moteur pas à pas.	30
Figure 32.schéma de moteur bipolaire.	31

Figure 33. Fonctionnement de moteur bipolaire.	31
Figure 34. Fonctionnement à couple maximale d'un moteur bipolaire.	32
Figure 35. Fonctionnement par demi-pas de moteur pas à pas.	32
Figure 36. Transformateur de courant.	32
Figure 37. Schéma électrique globale de la machine.	33
Figure 38. Capture d'écran de l'application de dessin.	33
Figure 39. Exemple 'enregistrement des données.	34
Figure 40. Capture d'écran de l'application de commande.	35
Figure 41. Algorithme de la commande.	36
Figure 42. Fraisage en bout centré.	39
Figure 43 : représentation linéaire d'un tour hélicoïdale de filet	40
Figure 44 . Assemblage vissé.	41
Figure 45. Pré dimensionnement selon NF E25 030.	42
Figure 46. Router à bois.	43
Figure 47. Transmission des efforts (Vis-Ecrou).	43
Figure 48. Limite de vitesse de coupe.	44
Figure 49. Limite de coefficient spécifique de coupe.	45

Liste des tableaux

Tableau 1. Différents types d'essences de bois.....	5
Tableau 2. Les trois questions pour l'élancement de besoin.	13
Tableau 3. Caractérisation de fonctions de services.....	15
Tableau 4. Liste des pièces de la classe A.....	23
Tableau 5. Liste des pièces de la classe B.....	24
Tableau 6. Liste des pièces de la classe C.....	25
Tableau 7. Liste des pièces de la classe D.....	26
Tableau 8. Désignation des éléments classe E, F, G, H.	26
Tableau 9. Structure des données d'un dessin vectoriel.	34
Tableau 10. Les données d'un fichier vectoriel.	35
Tableau 11. La conversion d'un fichier vectoriel en code G.....	35

Liste des abréviations

MOCN : machine outille à commande numérique.

CNC : Computer Numerical Control en anglais.

DSP : Digital Signal Processor.

UAL : Unité arithmétique et logique.

APT: Automatic Programed Tools.

DNC: Direct Control Numerical.

FCN : fraisage à commande numérique.

TCN : tournage à commande numérique.

CUCN : centres d'usinage à commande numérique.

CAO : La conception assistée par ordinateur.

FAO : La fabrication assistée par ordinateur.

CDCF : Le cahier des charges fonctionnelles.

FAST: Functional Analysis System Technique.

Introduction générale

La gravure sur bois est l'ensemble des techniques artistiques qui utilisent l'impression ou le creusement pour produire une image ou un texte. Le principe consiste à inciser ou à creuser sur bois une matrice à l'aide de différents types d'outils. Cette technique est considérée comme l'une des plus anciennes techniques de gravure de reproduction. De nos jours, la sculpture sur bois s'est développée par rapport au passé. Aujourd'hui, nous trouvons des machines de haute qualité permettant de gagner du temps et de travailler avec précision. En effet, ce progrès a été réalisé grâce à l'utilisation des techniques à commande numérique. Il est établi que les machines à commande numérique ne se limitent pas seulement à l'industrie mécanique, mais s'ouvrent à d'autres domaines tels que les œuvres d'art, particulièrement la gravure sur bois. L'objectif de ce projet s'inscrit dans cette optique et consiste à concevoir et réaliser une machine à graver sur bois avec commande numérique.

Ce mémoire est subdivisé en quatre chapitres. Dans le premier chapitre, nous présentons une bibliographie sur la gravure sur bois et l'utilisation des machines-outils à commande numérique. Dans le deuxième chapitre, après identification des besoins, nous nous intéressons à l'analyse fonctionnelle externe et interne de la conception que nous avons mise en œuvre. Nous avons abouti à l'élaboration de diagramme de 'Fast' lequel nous a conduit à déterminer toutes les solutions technologiques nécessaires à la réalisation de la machine. Dans la troisième partie, nous expliquons, avec détails, les trois parties qui composent la machine à savoir :

- la partie mécanique,
- la partie électronique et électrique,
- la partie informatique.

Le quatrième chapitre est consacré au calcul et dimensionnement. Nous estimons, les efforts de coupe afin de connaître les limites de la machine conçue.

Enfin, le présent mémoire s'achève par une *conclusion* générale qui résume les *principaux résultats obtenus* par la présente étude ainsi que les perspectives à envisager pour pouvoir poursuivre ce travail.

Chapitre I

**Généralités sur la gravure du bois et
la machine-outil à commande
numérique**

I.1 Introduction

La gravure sur bois est l'art ou technique de gravure qui utilise le bois comme support. Il s'agit peut-être de la plus ancienne technique de gravure de reproduction. Cette ancienne technique nécessite un très grand effort manuel, ce qui cause une perte de temps et un manque considérable de précision.

I.2 Définition de la gravure

Le terme gravure sur bois désigne l'ensemble des techniques artistiques qui utilisent l'impression ou le creusement pour reproduire une image ou un texte. Le principe consiste à inciser ou à creuser sur bois une matrice à l'aide de différents types d'outils tels que les canifs, les ciseaux et les gouges en forme C et V.

La gravure a été pour la première fois utilisée à l'âge de la pierre. Elle a ainsi évolué à travers les âges, en passant par le bois, la pierre, le métal. Aujourd'hui on peut graver sur de nombreuses surfaces de différents types de matériaux.

I.3 Les outils et les supports de gravure

On distingue différents types de supports de gravure [1]:

- Gravure sur bois : la gravure sur bois est l'art de gravure qui utilise le bois comme support. Il s'agit peut-être de la plus ancienne technique d'impression. On l'appelle xylographie (écriture sur bois).



Figure 1. Gravure sur bois.

- Gravure sur acier : le graveur taille le métal, en général l'acier ou du laiton, avec différents outils : burin, onglettes, échoppe, etc.



Figure 2. Gravure sur acier.

- Gravure lapidaire : est la gravure sur pierre, en particulier l'écriture d'inscription en creux sur des plaques (monument, architecture...).



Figure 3 : Gravure lapidaire

I.4 Les techniques de la gravure

Le domaine de l'estampe est tellement vaste qu'il est difficile de le décrire de manière exhaustive selon les différents procédés de gravure. On distingue généralement trois grandes familles de procédés de gravure :

- la gravure en relief, ou taille d'épargne.
- la gravure en creux, ou taille-douce.
- les procédés à plat.

I.5 Généralités sur le bois [2]

Le bois est un matériau naturel d'origine végétale. Il est constitué par un tronc, des branches et des racines qui sont formées par des vaisseaux coulisseaux conduisant la sève brute, les fibres et le parenchyme.

I.5.1 Différents essences de bois

On classe les multiples essences de bois en deux grands ensembles : les feuillus et les résineux.

- Les bois feuillus (angiospermes) sont issus des végétaux à feuilles caduques, c'est-à-dire qui tombent cycliquement tous les ans.
- Les bois résineux (gymnospermes) sont issus des végétaux à feuillage persistant.

On peut, néanmoins, citer quelques exceptions, comme le chêne vert qui est un feuillu à feuillage persistant ou encore le mélèze, qui est un résineux dont les aiguilles tombent en hiver. Quelques essences de bois sont présentées dans le tableau 1.

Bois		Caractéristiques		
		Durabilité	Résistance	Couleur
Bois tendres	Pin	Passable	Faible	Blanc
	Sapin	Faible	Moyenne	Blanc
	Épinette	Faible	Moyenne	Blanc
	Cèdre	Grande	Très faible	Brun
Bois durs	Érable	Faible	Très forte	Brun pale
	Chêne	Grande	Très forte	Brun pale
	Frêne	Moyenne	Moyenne	Blanc
	Hêtre	Grande	Forte	Blanc

Tableau 1. Différents types d'essences de bois.

I.5.2 Caractéristiques mécaniques du bois

Le bois est un matériau anisotrope du fait que ses constituants tels que les fibres et les rayons médullaires sont orientés dans les trois directions :

- une direction axiale ou longitudinale, suivant l'orientation des fibres,
- une direction radiale, perpendiculaire à la direction axiale,
- une direction tangentielle, perpendiculaire aux deux précédentes.

La figure 4 illustre l'anisotropie du bois.

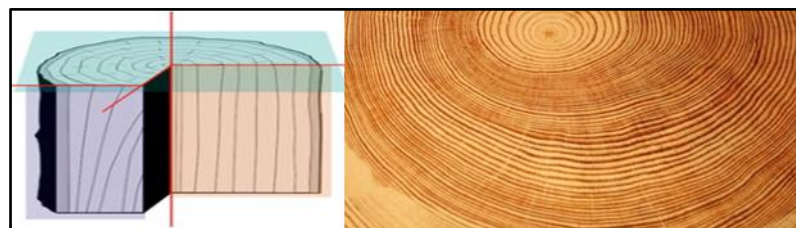


Figure 4. Anisotropie du bois.

Par conséquent, l'anisotropie engendre une différence du comportement du matériau suivant le sens de sollicitation.

I.6 La gravure moderne

Le domaine de la sculpture sur bois est développé par rapport au passé. Aujourd'hui, nous trouvons des machines de haute qualité telles que les machines-outils à commande numérique qui permettent de gagner du temps et de travailler avec précision. La figure 5 montre la gravure par commande numérique.



Figure 5. Gravure par commande numérique.

I.7 Définition de la machine-outil à commande numérique [3]

Une machine-outil est un équipement mécanique destiné à exécuter un usinage, ou autre tâche répétitive, avec une précision et une puissance adaptée. C'est un moyen de production destiné à maintenir un outil fixe, mobile, ou tournant, et à lui imprimer un mouvement afin d'usiner ou déformer une pièce ou un ensemble fixé sur une table fixe ou mobile.

Une machine-outil à commande numérique est pilotée par des moteurs pas à pas. Ces derniers permettent de convertir directement un signal électrique numérique en un positionnement angulaire de caractère incrémental.

I.8 Historique des machines-outils à commande numérique [4]

Les travaux menés par Falcon et Jacquard à la fin du XVIIIe siècle ont montré qu'il était possible de commander les mouvements d'une machine à partir d'informations transmises par un carton perforé. Le métier à tisser, en 1805, fut le premier équipement à être doté de cette technique, il peut être considéré comme l'ancêtre de la commande numérique. Il faut, cependant, rattacher l'exploitation industrielle de la commande numérique au développement de l'électronique.

Les différentes étapes de développement de la commande numérique sont comme suit :

1954 : Bendix acquiert le brevet de Parsons et fabrique la première CN industrielle.

1955 : Le constructeur américain Giddins & Lewis commercialise la première MOCN.

1959 : Apparition de la CN en Europe (foire de Hanovre). Le MIT (Massachusetts Institute of Technology) annonce la création du langage de programmation APT (Automatic Programed Tools).

1960 : Apparition du système DNC (Direct Numerical Control).

1964 : En France, la Télémécanique électrique lance la CN NUM 100 conçue à base de relais Téléstatic.

1968 : La CN adopte les circuits intégrés ; elle devient plus compacte et plus puissante. Le premier centre d'usinage est mis en vente par Kearney & Trecker (USA).

1972 : Les mini calculateurs remplacent les logiques câblées ; la CN devient CNC.

1976 : Développement des CN à microprocesseurs.

1984 : Apparition de fonctions graphiques évoluées et du mode de programmation conversationnel, début de l'ère de la fabrication assistée par ordinateur (FAO).

1986 : Les CN s'intègrent dans les réseaux de communication, début de l'ère de la fabrication flexible (CIM : computer integrated manufacturing).

1990 : Développement des CN à microprocesseurs 32 bits.

I.9 Les commandes numériques

Une commande regroupe l'ensemble de matériels et logiciels qui sont mis en œuvre pour ordonner les mouvements que la machine-outil doit exécuter.

Les composants de l'appareil sont principalement les suivants :

- l'outil d'usinage,
- les plateaux où sont immobilisées les pièces,
- les systèmes de stockage et de changement d'outil,
- les éléments de changement de pièce.

I.10 Domaines d'emploi des commandes numériques

Les domaines d'emploi des commandes numériques sont principalement les suivants :

- fraisage à commande numérique (FCN)
- tournage à commande numérique (TCN)
- centres d'usinage à commande numérique (CUCN)
- rectification à commande numérique
- robotique

I.11 Structure d'une MOCN

Comme pour tout système automatisé, nous pouvons décomposer la structure d'une MOCN en deux parties principales. La figure 6 représente la structure d'une MOCN.

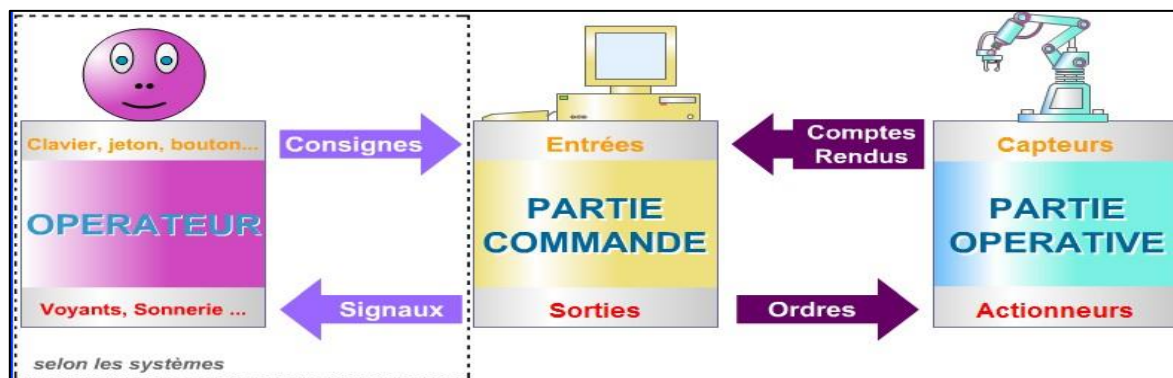


Figure 6. Structure d'une MOCN.

I.11.1 La partie opérative

La partie opérative (notée PO) comprend principalement un ou plusieurs mobiles, appelé stables ou chariots, liés au bâti ou entre eux par des liaisons glissières ou pivots. La position des mobiles est détectée par un capteur de position, et leur vitesse est mesurée en permanence. On donne à ce sous-ensemble de partie opérative le nom d'axe numérique.

I.11.2 La partie commande

Les différentes opérations, constituant la tâche d'usinage, sont gérées par l'intermédiaire d'un DNC (Direct Numerical Control). Ces systèmes permettent le pilotage de plusieurs machines à partir d'un ordinateur.

I.12 Principe de fonctionnement d'une MOCN

Quel que soit le langage de programmation utilisé pour assurer la réalisation automatisée des pièces, une suite d'instructions établies dans un langage codé est le seul langage compréhensible par la machine-outil à commande numérique.

A partir d'un programme d'usinage établi par un opérateur, le Directeur de Commande Numérique (DCN) fournit des ordres aux servocommandes des axes de la machine.

I.13 La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

La CAO comprend l'ensemble des programmes et des techniques de modélisation qui permettent la conception de modèles et de produits. La CAO permet aussi de simuler et donc de tester virtuellement les produits avant de les fabriquer. Il est ensuite aisé de transmettre les informations à la Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO).

I.14 La Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO)

La fabrication assistée par ordinateur (FAO) désigne généralement l'utilisation d'applications logicielles de commande numérique (CN) pour créer des instructions détaillées (G-code) qui pilotent les machines-outils de fabrication de pièces à commande numérique par ordinateur (CNC). Les fabricants de nombreux secteurs sont dépendants des capacités de la FAO pour produire des pièces de haute qualité.

I.14.1 Code G [5]

Le 'Code G' est un langage informatique ISO utilisé pour la programmation des différentes machines-outils à commandes numériques. Il existe aussi d'autres types de code comme le langage « IPT ». Par contre, dans le cadre de ce cours seulement une brève introduction au 'Code G' sera faite. Ce code est divisé en fonctions « préparatoires G » et en fonctions « auxiliaires M ».

I.15 Le post-processeur [6]

La majorité des post-processeurs disponible aujourd'hui sont simplement des outils de traduction entre le logiciel CFAO et le MOCN, laissant les tâches de vérifications, de test et d'optimisation dans vos mains. Les post-processeurs sur mesure offrent une solution tout-en-un pour la simulation, l'optimisation de trajectoires et le post-processing, menant à un meilleur code en moins de temps.

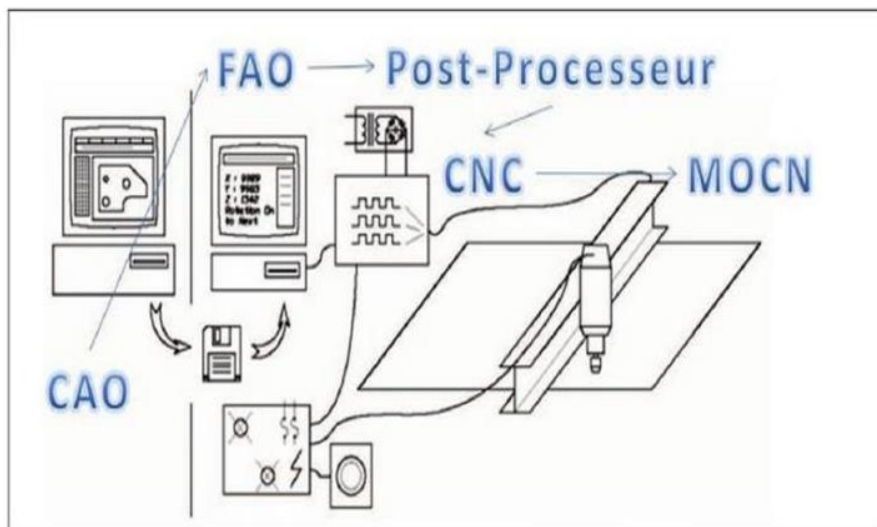


Figure 7. Cycle d'une pièce fabriquée par une commande numérique (CFAO).

La figure 7 schématise le cycle de la commande numérique. Dans un premier temps, on génère un dessin de CAO, ensuite on passe ce dessin à la FAO qui le convertit en un code

machine, lequel est transmis au post processeur qui l'interprète et le convertit en un signal de commande pour la partie "actionneur".

I.16 Intérêts des MOCN

D'une manière générale, l'utilisation d'une MOCN présente un certain nombre d'avantages :

- Assurer la réalisation automatisée des pièces, les mouvements nécessaires sont décrits dans un programme.
- Faciliter l'usinage de formes complexes, de nombreuses opérations peuvent être exécutées en travail d'enveloppe, ce qui limite le nombre d'outils de forme ou d'outillages spécifiques.
- Permettre de diminuer les temps d'usinage (optimisation des conditions de coupe) et les temps morts (vitesses de déplacements élevées, temps de changements d'outils réduits).
- Améliorer la qualité du produit (meilleure précision dimensionnelle et meilleur état de surface).

Chapitre II

**Analyse fonctionnelle de la machine à
graver sur bois**

II.1 Introduction

L'analyse fonctionnelle consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un produit placé dans un système pour satisfaire les besoins. Selon qu'on s'intéresse aux fonctions de service ou aux fonctions techniques, on parle d'analyse fonctionnelle externe ou interne. La figure 8 montre les différentes étapes de l'analyse fonctionnelle.

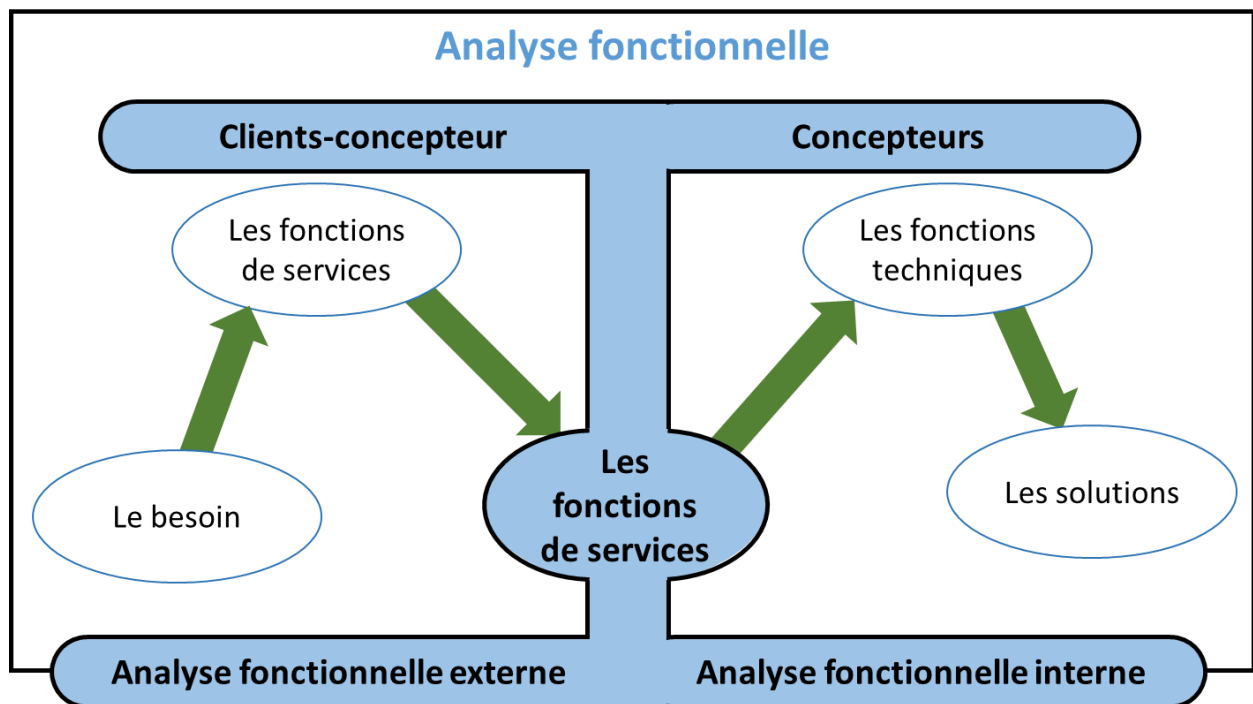


Figure 8. Les différentes étapes de l'analyse fonctionnelle.

II.2 Analyse fonctionnelle externe

L'analyse fonctionnelle externe décrit le point de vue d'utilisateur, et ne s'intéresse au produit qu'en tant que « Boîte noire » capable de former des services dans son environnement durant son cycle d'utilisation [7].

II.2.1 Analyse de besoin

La première étape de la conception consiste à analyser la situation pour tenir compte des contraintes, des risques et de tout autre élément pertinent. Elle assure un ouvrage ou un processus répondant au besoin du client.

II.2.2 Définition

Un besoin est défini (selon la norme NF X50-150) comme étant une nécessité ou un désir exprimé par l'utilisateur. Une fois l'étude de marché réalisée, le besoin est identifiée. Il faut l'énoncer clairement : il s'agit de formuler, avec rigueur, le but et les limites de l'étude. Pour ce faire, l'outil utilisé est « la bête à cornes » (diagramme APTE) [8].

II.2.3 Expression de besoin

On souhaite permettre, aux menuiseries, de générer des gravures sur bois.

II.2.4 Diagramme bête à cornes

Pour réaliser le diagramme 'bête à cornes' on doit répondre à ces trois questions : à qui ?, sur quoi ? Et pour quel but ? Cet ensemble de questions est regroupé dans le tableau 2.

Questions	Réponses
A qui ?	Menuiserie
Sur quoi ?	Bois
Pour quel but ?	Générer des gravures

Tableau 2. Les trois questions pour l'élanement de besoin.

On obtient ainsi le diagramme illustré par la figure 9.

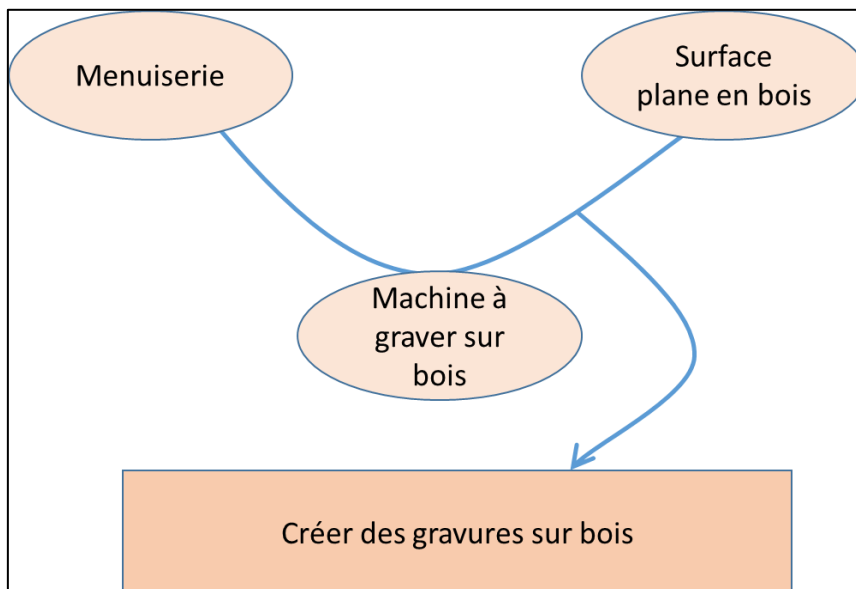


Figure 9. Diagramme bête à cornes.

II.2.4.1 Validation du besoin

La boîte A-0 (Figure 10) est un outil graphique permettant de valider le besoin.

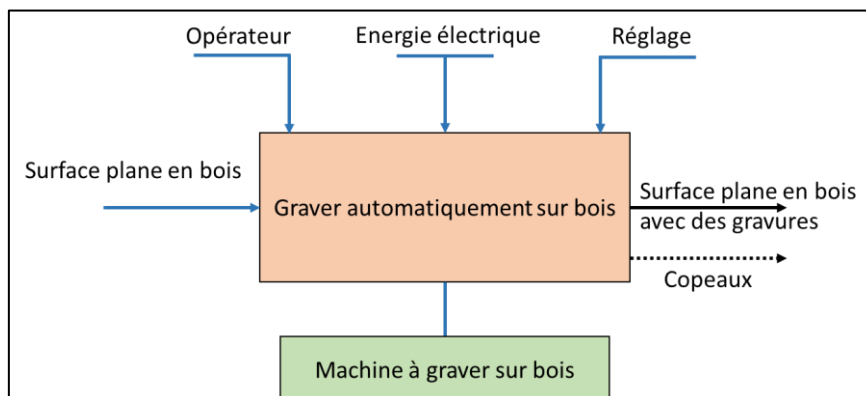


Figure 10. Boîte A-0.

II.2.5 Identification des fonctions de services

On identifie les fonctions de services de notre machine grâce à un outil graphique qui consiste en un diagramme des intégrateurs (Figure 11) ou graphe fonctionnel (le diagramme Pieuvre).

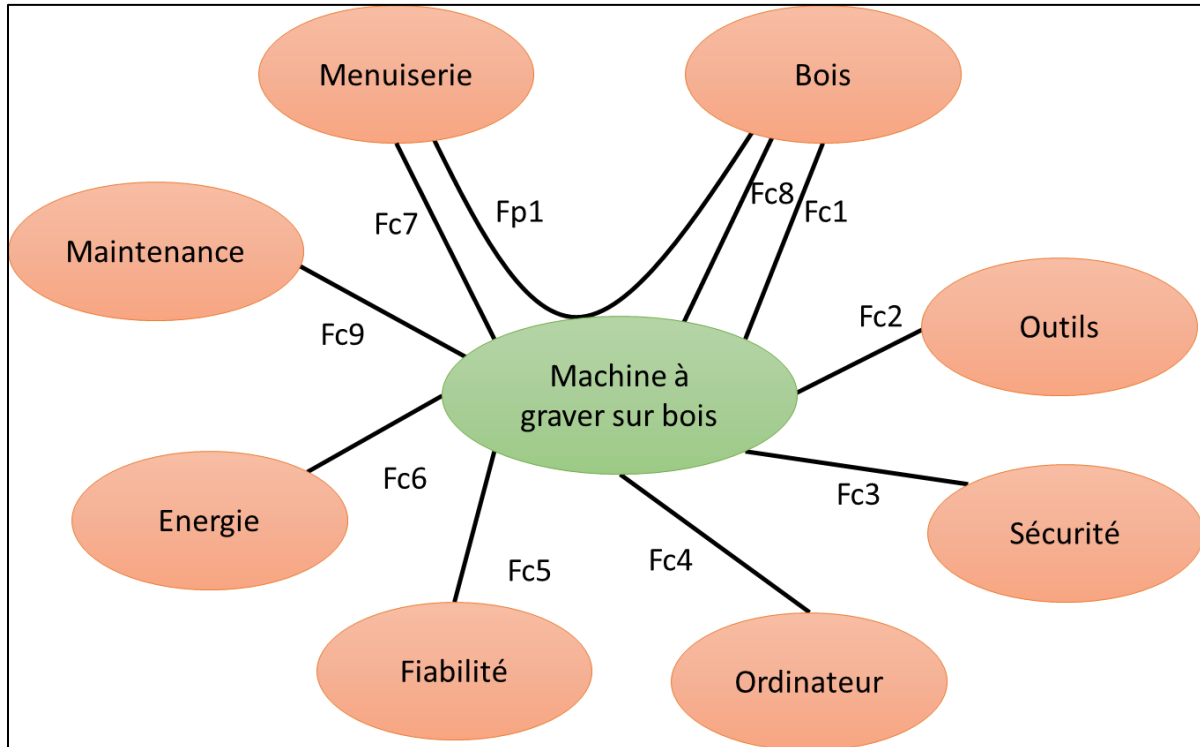


Figure 11. Diagramme Pieuvre.

Les fonctions de service sont comme suit :

Fp1 : Graver sur bois automatiquement.

Fc1 : Supporter les efforts de coupe de bois.

Fc2 : S'adapter à la taille de l'outil avec une possibilité de mise à jour du repère.

Fc3 : Respecter les normes de sécurité.

Fc4 : Avoir une synchronisation entre la machine et l'ordinateur.

Fc5 : Avoir une bonne probabilité de n'avoir aucune défaillance.

Fc6 : S'adapter avec l'énergie électrique disponible.

Fc7 : Etre facile à utiliser.

Fc8 : Supporter la taille de bois à graver.

Fc9 : Avoir une maintenance préventive.

II.2.6 Cahier des charges fonctionnelles

Le cahier des charges fonctionnelles (CDCF) est le document qui récapitule la démarche et les résultats de l'analyse fonctionnelle du besoin. Il porte donc essentiellement sur les fonctions de service [9]. Le tableau 3 représente la caractérisation de toutes les fonctions de services en conformité avec le cahier de charges préalablement établi.

Fonction	Critère	Niveau
Fp1	Vitesse d'usinage	$f_{max} = 1000 \text{ mm/min}$
	Formes de fraisage	Fraise de forme (V, arrondie, cylindrique)
Fc1	Résister l'usinage de bois	$K_c = 100 \text{ N/mm}^2$
Fc2	S'adapter avec la taille de l'outil (diamètre)	$D = 15 \text{ mm}$
Fc3	Les normes de sécurité	ISO 16090- 1:2017
Fc4	Communication	Communication série
	Synchronisation	Paquet de deux lignes de commande
Fc5	Fiabilité	$R = 90\%$
Fc6	Type d'énergie électrique	AC 220V/1A
Fc7	Interface Homme-machine	Ecran d'ordinateur
Fc8	La taille maximale de brute	1000mm x 600mm

Tableau 3. Caractérisation de fonctions de services.

II.3 Analyse fonctionnelle interne

II.3.1 Définition

L'analyse fonctionnelle interne permet de faire la transition entre l'analyse fonctionnelle du besoin (qui reste étrangère aux préoccupations d'ordre technologiques) et la conception détaillée, qui entre de plein pied dans les considérations technologiques. L'analyse fonctionnelle interne est aussi appelée analyse fonctionnelle technique [10].

II.3.2 Diagramme F.A.S.T

Pour mener une analyse fonctionnelle technique, il existe un outil principal : c'est le FAST (acronyme de «Functional Analysis System Technique»). Le FAST d'un produit donné (Figure 12) représente les arbres de chaque fonction de service ; dans notre cas on s'intéresse à la fonction principale Fp1.

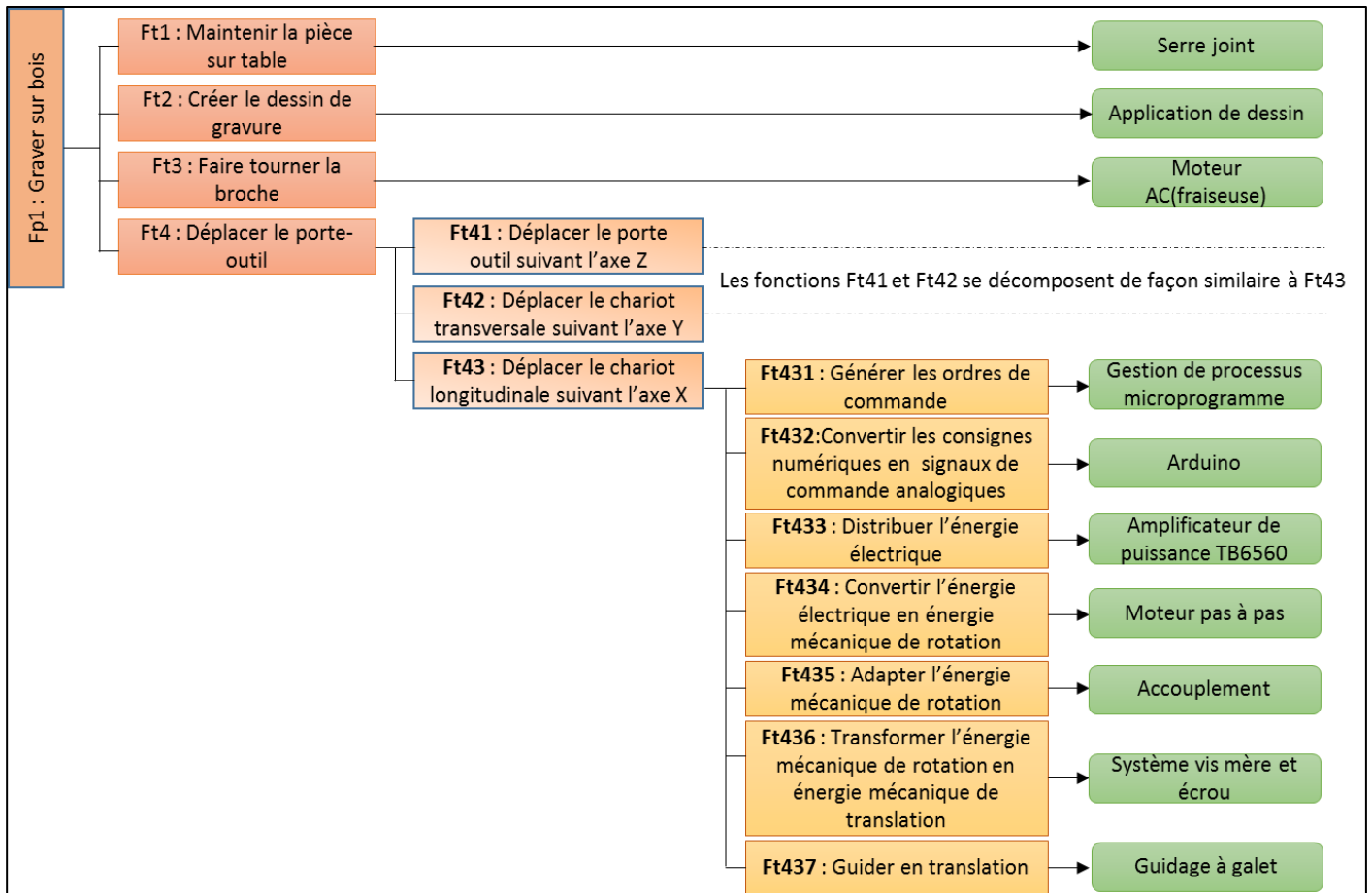


Figure 12. Diagramme FAST.

Chapitre III

Etude fonctionnelle et conception de la machine

III.1 Introduction

Après avoir cité les fonctions techniques dans le chapitre précédent, il est opportun d'étudier et de caractériser les solutions technologiques convenables de la machine conçue. Dans ce chapitre, nous expliquons, avec détails, les trois parties qui composent la machine à savoir : mécanique, électronique-électrique et informatique. Les photos de la machine sont présentées en annexe.

III.2 Partie mécanique

Dans cette partie nous avons étudié et modélisé tous les éléments mécaniques de la machine. La figure 13 représente une vue d'ensemble de la machine à graver sur bois modélisé par le logiciel SolidWorks.

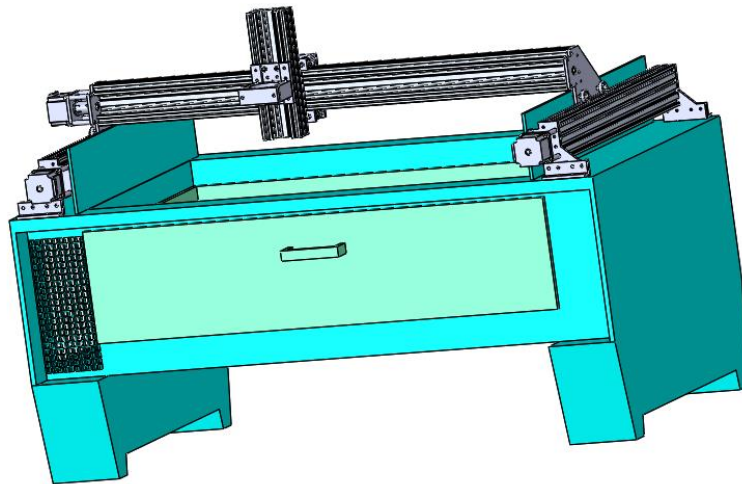


Figure 13. Vue d'ensemble de la machine.

III.2.1 Support de la machine à graver sur bois (Bâti)

Le bâti (figure 14) constitue l'ensemble des bases d'une machine liées rigidement et supportant les actions d'usinage. Il assure le positionnement stable et précis des constituants de la machine. Il comporte une armoire pour aménager les éléments électroniques et électriques et un tiroir pour récupérer les copeaux d'usinage.

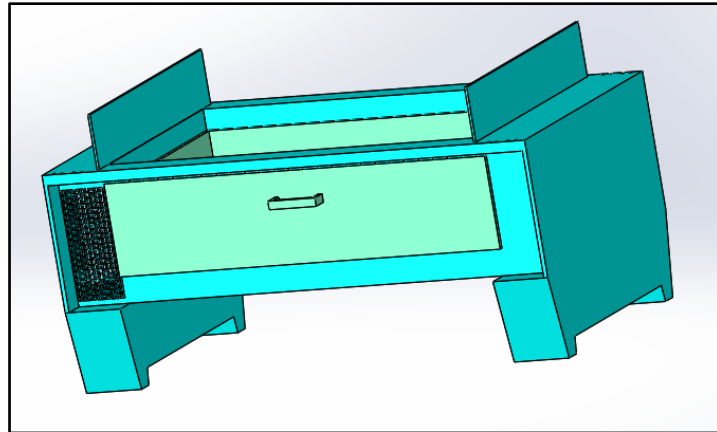


Figure 14. Support de la machine.

III.2.2 Guidage linéaire

III.2.2.1 Définition

Le guidage linéaire est un dispositif qui permet de déplacer de façon longitudinale des objets ou des charges. Les guidages linéaires sont des éléments qui assurent les mouvements de translation. Un bon système de guidage linéaire doit être silencieux, précis et maintenir une régularité de mouvement. Le système de guidage le plus utilisé, dans le cas des machines-outils et en robotique, est celui à galet sur rail linéaire lequel est bien adapté aux systèmes robotisés. Ils se distinguent tout particulièrement par un fonctionnement silencieux, des vitesses de déplacement élevées et des courses importantes de leur système modulaire.

III.2.2.2 Composition du système de guidage à galet

Le système de guidage à galet utilisé se compose par les éléments suivants :

- Les galets (figure 15) : ce sont des éléments roulants grâce au double roulement à bille à contact radial.

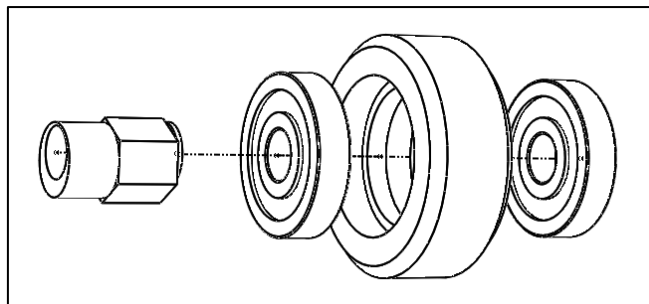


Figure 15. Galet avec deux roulements et une excentricité.

- Les rails (figure 16) : sont des profilés en aluminium avec une rainure en V extrêmement lisse sur chaque face.

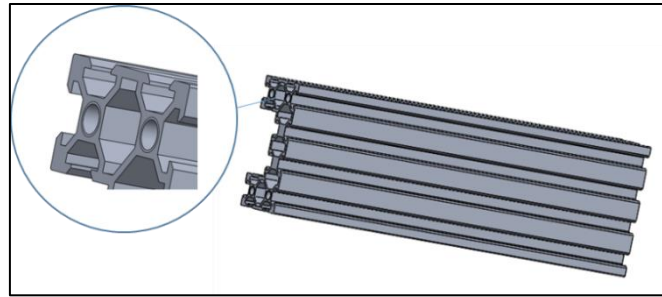


Figure 16. Rail en aluminium.

- Les supports (figure 17) : sont des plaques en aluminium dans lesquelles les galets sont montés.

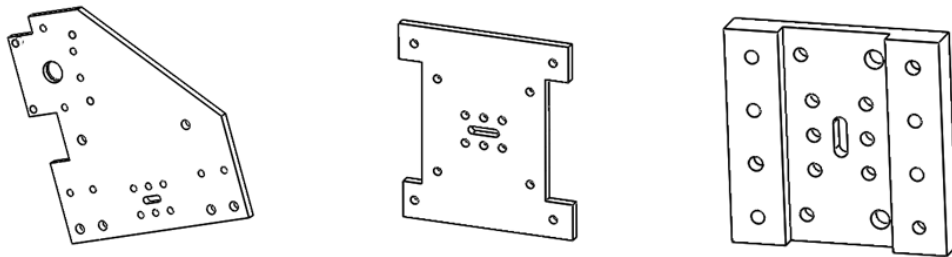


Figure 17. Les supports mobiles.

- Excentrique (figure 18) : il est utilisé pour assurer le bon contact entre les galets et les rails. L'axe du galet est décalé par rapport à l'axe du support d'une distance réglable, ce qui limite les défauts de fabrication.

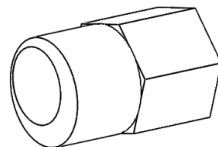


Figure 18. Excentrique.

III.2.3 Système de transformation du mouvement de rotation en un mouvement de translation

Le système le plus courant pour la transformation du mouvement de rotation en un mouvement de translation est le système vis-écrou (figure 19). Ce système correspond à la solution technologique associée à la réalisation d'une liaison hélicoïdale entre deux solides.



Figure 19. Système Vis-Ecrou.

III.2.3.1 Caractéristiques de système vis-écrou

Le système vis-écrou se caractérise par : un pas, un nombre de filets, un diamètre nominal et un type de filet (carrée, métrique). Il permet de transformer le mouvement et/ou de transmettre les actions mécaniques.

III.2.4 Modélisation cinématique

III.2.4.1 Introduction

La modélisation cinématique des mécanismes a pour objet la constitution d'un outil de calcul permettant de valider ou de vérifier, par le calcul, les performances mécaniques d'un système. Le graphe de liaisons en est la forme la plus fondamentale. Le schéma cinématique donne quant à lui une représentation simplifiée permettant une meilleure compréhension du fonctionnement (aspect cinématique) [11].

III.2.4.2 Les classes équivalentes

III.2.4.2.1 Définition

Afin de simplifier la représentation du mécanisme et la schématisation qui en résulte, il faut commencer par regrouper tous les éléments en contact n'ayant aucun mouvement relatif pendant l'usage du mécanisme à l'exception des pièces déformable. Chaque groupe constitue une classe d'équivalence selon la relation « pas de mouvement relatif » et sera effectué d'un même repère (celui de la pièce la plus représentative du groupe de par sa forme ou sa fonction). L'intitulé « groupe cinématique lié » pourra également être utilisé pour définir ces groupes. En principe on commence par repérer tous les éléments qui sont liés au bâti et qui serviront de référence pour l'étude du mécanisme.

III.2.4.2.2 La classe équivalente de la machine

La machine comporte 8 classes équivalentes.

Classe A (figure 20) : Elle est constituée par tous les éléments liés au bâti et qui n'ont aucun degré de liberté tels que les rails de guidage longitudinal.

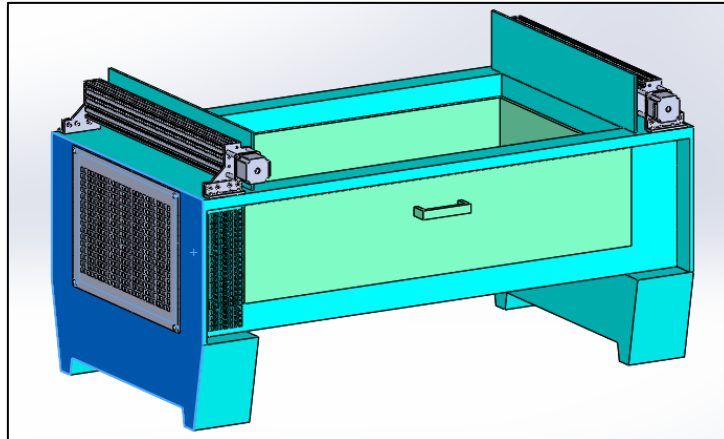


Figure 20. Classe A.

La figure 21 et le tableau 4 listent l'ensemble des pièces de la classe A.

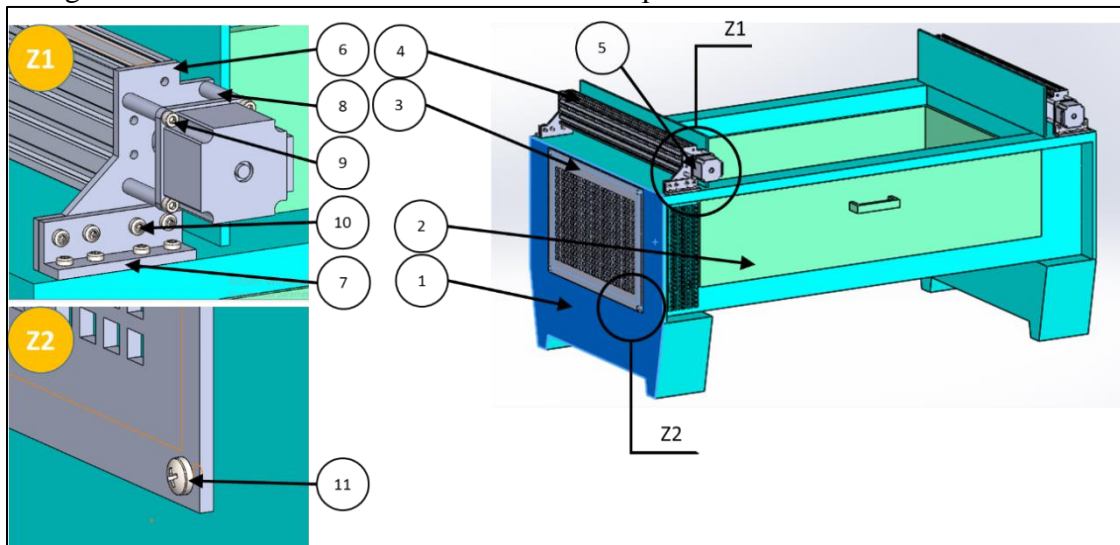


Figure 21. Désignation des pièces de la classe A.

Repère de la pièce	Désignation de la pièce	Description	Quantité
1	Bâti	Support de la machine	1
2	Tiroir	Rangement des copeaux	1
3	Cage	Protéger les éléments électroniques	1
4	Rail	Rail de guidage selon l'axe X	2
5	Moteur	Moteur pas à pas	2
6	Support	Positionnement des moteurs avec les rails	4
7	Support	Fixation des rails	4
8	Cale	Ajuster la distance entre le moteur et le support	8
9	ISO 4762 M5 x 40	Vis de fixation du moteur	8
10	ISO 7045 M5 x 20	Vis de fixation du support	24
11	ISO 7045 M6 x 12	Vis de fixation de la cage	4

Tableau 4. Liste des pièces de la classe A.

Classe B : elle est constituée par le chariot longitudinal comportant le rail de guidage transversal et tous les éléments liés. La figure 22 et le tableau 5 listent l'ensemble des pièces de la classe B.

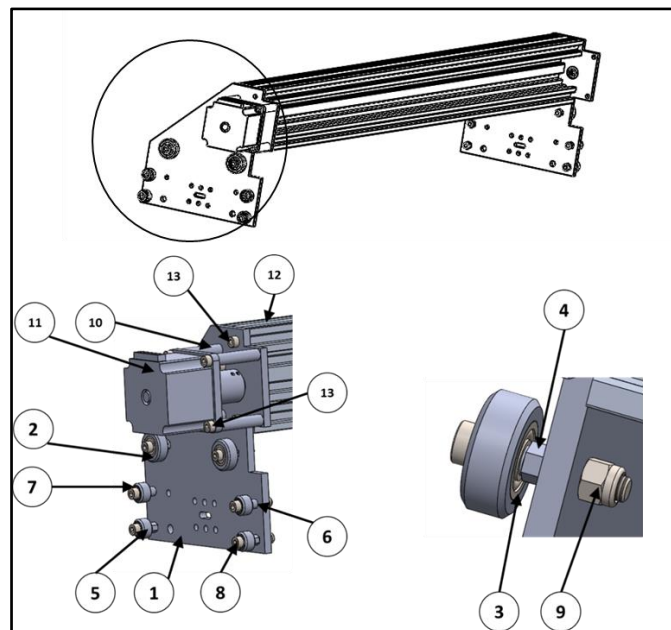


Figure 22 : Classe B

Repère de la pièce	Désignation de la pièce	Description	Quantité
1	plaque-y	Support glissant de rail de guidage de l'axe y	2
2	gallet24x16	Elément roulant	4
3	ISO 15 RBB-825-8,SI,NC,8_68	Roulements des galets	8
4	Excentrique	Réglage de contact entre les galets et les rails de guidage	8
5	gallet15x11	Elément roulant	8
6	Calles du galet	Positionner les galets sur les rails de guidage	4
7	SKF - 618-5 - 10,SI,NC,10_68	Roulements des galets	16
8	ISO 4762 M5 x 30	Vis des galets	12
9	ISO 7041-M5-C	Ecrou des galets	12
10	cale moteur	Avoir une distance entre le moteur et la plaque-y	4
11	Moteur	Moteur pas à pas	1
12	Rail y 40x80x1000	Rail de guidage profilé en V	1
13	ISO 4762 M5 x 40	Vis de fixation de moteur	4
14	ISO 4762 M5 x 8 - 8N	Vis de fixation de plaque-y	8

Tableau 5. Liste des pièces de la classe B.

Classe C : est constituée par le chariot vertical transversal comportant le rail de guidage vertical de porte-outil et tous les éléments qui y sont liés. La figure 23 et le tableau 6 listent l'ensemble des pièces de la classe C.

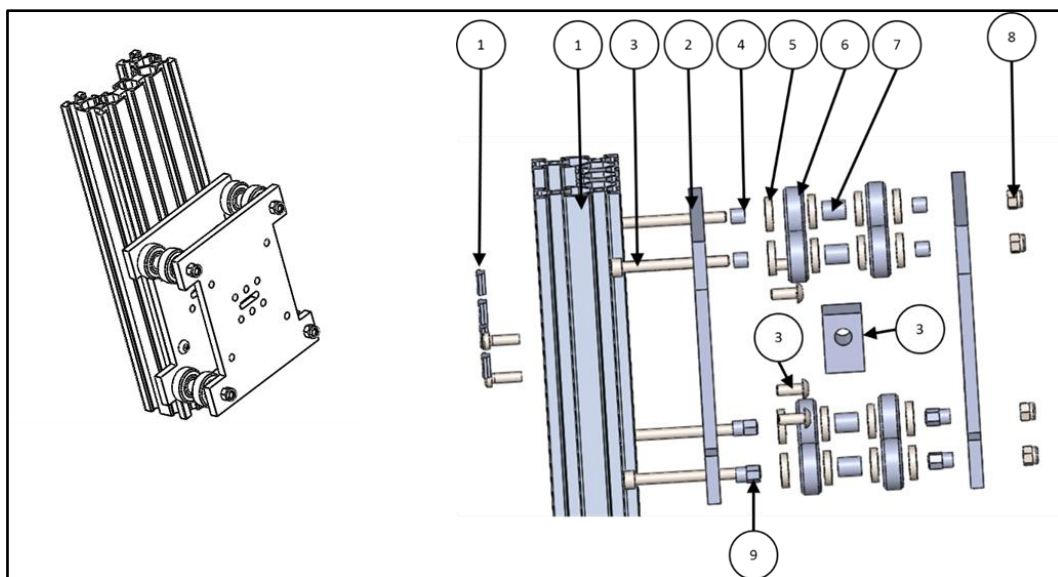


Figure 23. Classe C.

Repère de la pièce	Désignation de la pièce	Description	Quantité
1	Rail	Rail de guidage vertical	2
2	plaque-x	Support glissant de rail de guidage de l'axe x	4
3	ISO 4762 M5 x 50	Vis des galets	8
4	Calls du galet	Positionner les galets sur les rails de guidage	8
5	ISO 15RBB-825-8,SI,NC,8_68	Roulements des galets	8
6	Gallet 24x16	Elément roulant	4
7	Calls du galet	Positionner les galets sur les rails de guidage	16
8	ISO 7041-M5-C	Ecrou des galets	12
9	Excentrique	Réglage de contact entre les galets et les rails de guidage	12

Tableau 6. Liste des pièces de la classe C.

Classe D : elle est formée par le porte outil qui translate suivant les axes X, Y et Z. La figure 24 et le tableau 7 listent l'ensemble des pièces de la classe D.

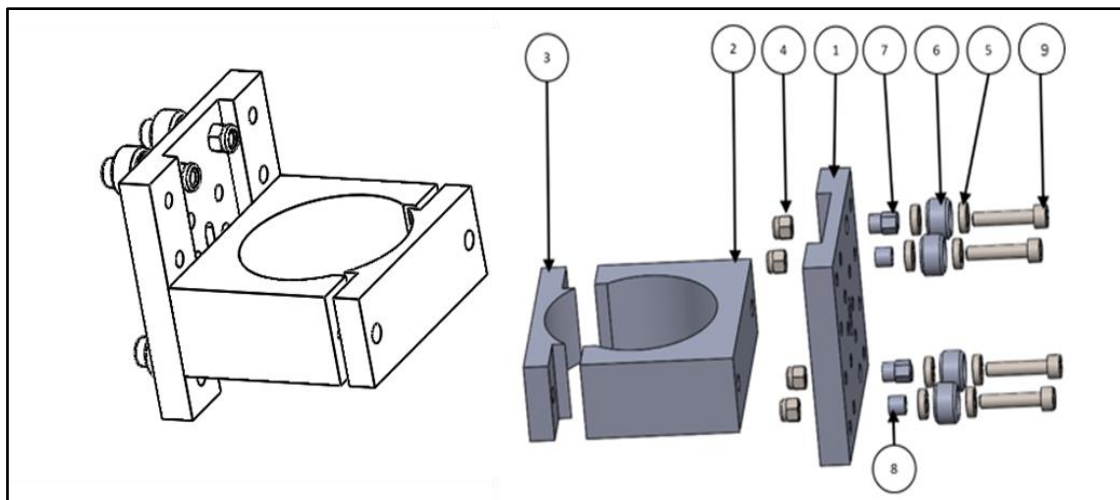


Figure 24. Classe D.

Repère de la pièce	Désignation de la pièce	Description	Quantité
1	Plaque-z	Support glissant suivant l'axe z	1
2	Bride	Support de fraiseuse	1
3	Tête de bride	Assurer la fixation de fraiseuse	1
4	ISO 7041-M5-C	Ecrou	4
5	SKF-618-5-10,SI,NC,10_68	Roulements des galets	8
6	Galet	Elément roulant	4
7	Excentrique	Réglage de contact entre les galets et les rails de guidage	2
8	Calls du galet	Positionner les galets sur les rails de guidage	5
9	ISO 4762 M5 x 30	Vis des galets	4

Tableau 7. Liste des pièces de la classe D.

Classe E, F, G, H : C'est le système de transformation de mouvement de rotation en mouvement linéaire (Vis-écrou). La figure 25 et le tableau 8 listent l'ensemble des pièces des classes E, F, G, H.

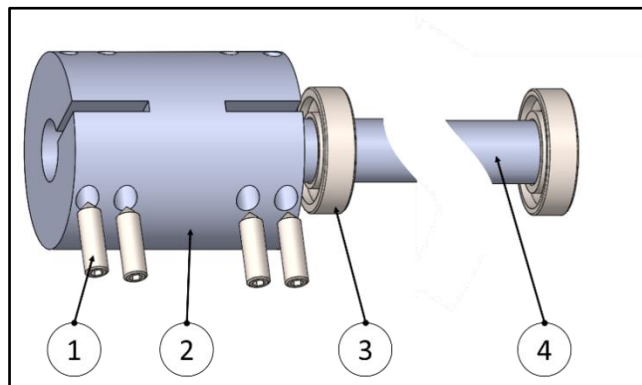


Figure 25 : Classe E, F, G, H

Repère de la pièce	Désignation de la pièce	Description	Quantité
1	ISO 4027 M3x10-N	Vis de serrage sans tête	4
2	Accouplement	Accouplement entre l'arbre de moteur et le vis-mère	1
3	ISO 15 ABB - 188 - 12, SI, NC, 12_68	Roulement à contact oblique	2
4	Vis mère	Vis trapézoïdale	1

Tableau 8. Désignation des éléments classe E, F, G, H.

III.2.5 Graphe de liaisons

Le graphe de liaisons est un schéma descriptif qui permet de faire le bilan des solides et des contacts entre les solides d'un mécanisme. Etant donné que les solides sont déterminés par les possibilités de mouvements compatibles avec les surfaces de contact lesquelles vont être modélisées par des liaisons. D'où l'appellation graphe de liaisons (Figure 26).

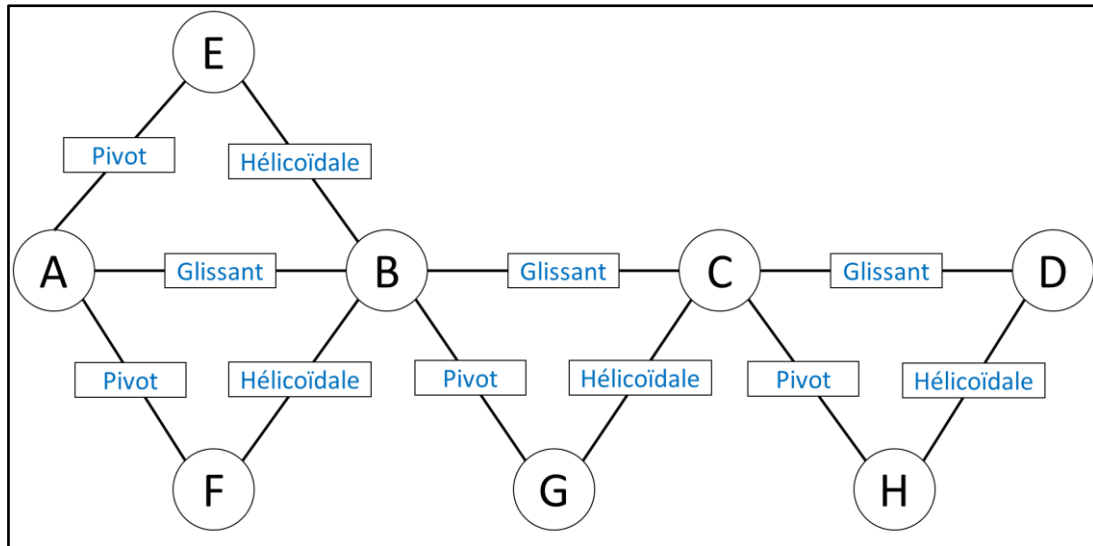


Figure 26. Graphe de liaisons.

III.2.6 Schéma cinématique

Lors d'une étude, un mécanisme est représenté sous forme d'un dessin d'ensemble. Si le mécanisme est complexe, il sera utile de le schématiser et de le représenter sous forme d'un schéma cinématique (Figure 27).

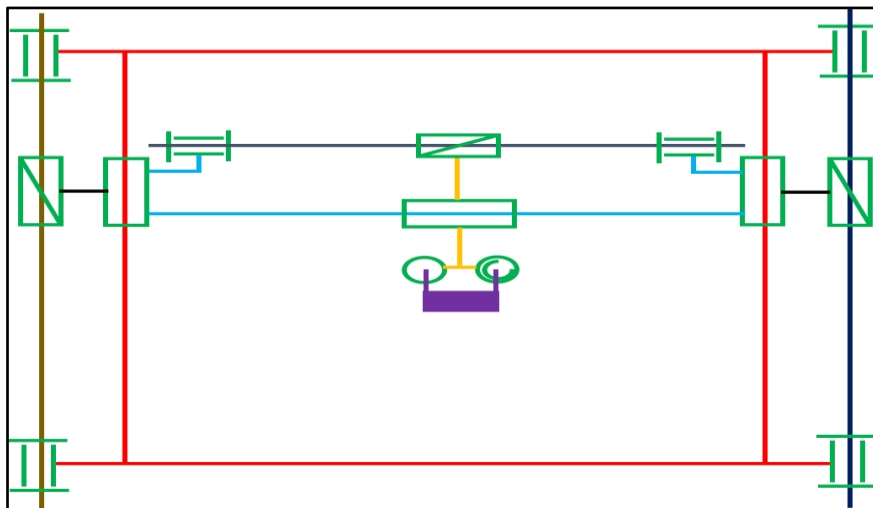


Figure 27. Schéma cinématique.

III.3 Partie électronique et électrique

Les machines à commande numérique comporte plusieurs composants électroniques et électriques (Hardware) tels que la carter Arduino, les contrôleurs des moteurs pas à pas, le transformateur de courant, et les moteurs pas à pas.

III.3.1 La carte Arduino

Arduino est un circuit imprimé en matériel libre sur lequel se trouve un microcontrôleur qui peut être programmé pour analyser et produire des signaux électriques. La figure 28 montre une carte Arduino de type Uno [12].

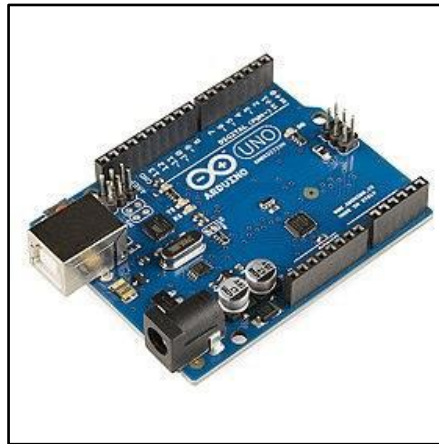


Figure 28 . Carte Arduino.

III.3.1.1 La bibliothèque GRBL

Pour que la carte puisse recevoir et traiter le (CODE G) envoyé par l'utilisateur (Interface graphique) on doit importer la bibliothèque GRBL vers la carte Arduino qui sert à traduire le code g (chaîne de caractères) en des signaux analogiques pour contrôler les moteurs pas à pas et générer le trajectoire de l'outil.

III.3.2 Le contrôleur de moteurs pas à pas (TB6560)

Consiste en une carte électronique (Figure 29) générée par la carte Arduino. Elle sert à :

- Fournir la puissance nécessaire à la commande des moteurs.
- Simplifier le pilotage.
- Augmenter le nombre de pas par tour (jusqu'à 1600 pas/tour) ce qui augmente la précision.
- Est un outil de communication entre la carte Arduino et les moteurs pas à pas.

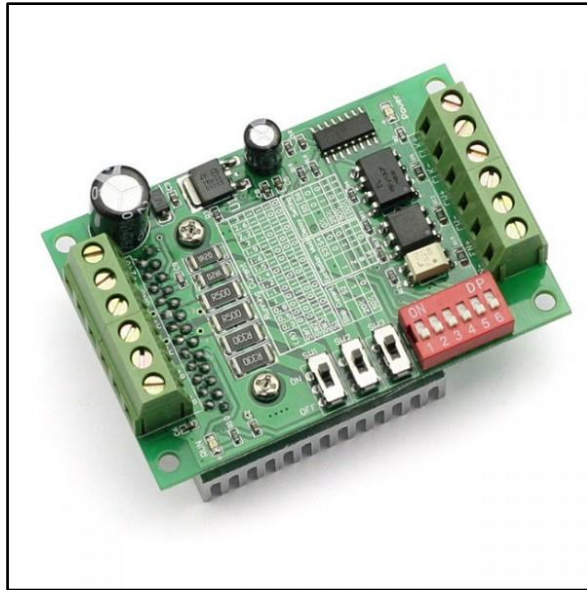


Figure 29. Contrôleur de moteur pas à pas.

III.3.2.1 Principe de fonctionnement

La commande est faite par deux broches :

- La broche DIR : Cette broche permet de contrôler la direction des moteurs pas à pas (1 indique le sens positive et 0 indique le sens inverse)
Le sens positif n'est pas toujours le sens antihoraire, il dépend du branchement du moteur.
- La broche STEP : Permet la commande du moteur pas à pas avec une vitesse et accélération données par une fréquence déterminée comme suit :
 - Le nombre de pas est le nombre de pulsation de fréquence passé par la broche STEP.
 - La vitesse est déterminée par le temps écoulé pour effectuer une pulsation
 - L'accélération dépend de la variation du temps écoulé pour effectuer chaque pulsation.

Puisque la machine dispose de 4 moteurs nous avons utilisé un contrôleur TB6560 à 4 axes (Figure 30).

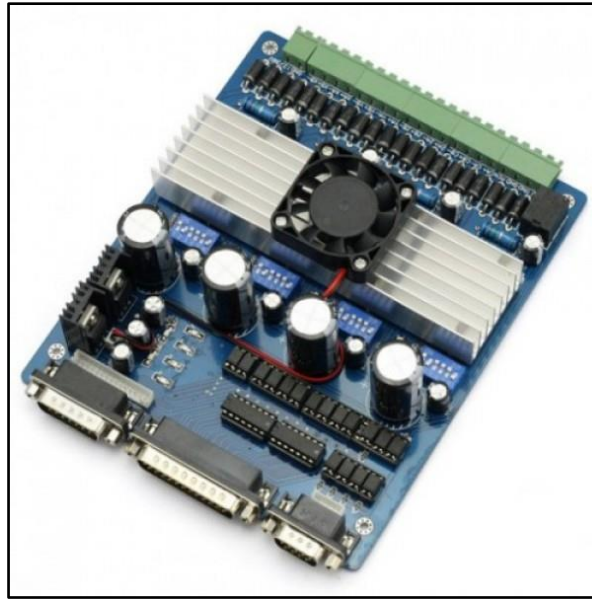


Figure 30. Contrôleur TB6560 4 axes.

III.3.3 Le moteur pas à pas

III.3.3.1 Définition [13]

Un moteur pas à pas (Figure 31) est une machine qui tourne et fonctionne en impulsions électroniques reçues dans ses bobinages, l'angle de rotation minimale entre deux modifications des impulsions électrique s'appelle un pas, On caractérise un moteur pas à pas par le nombre de pas par tour. On peut dire que le moteur pas à pas est un convertisseur électromécanique destiné à transformer l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation

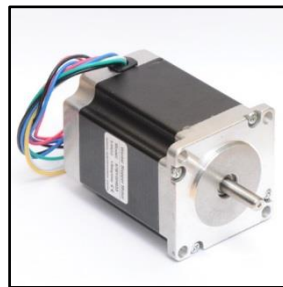


Figure 31. Moteur pas à pas.

III.3.3.2 Principe de fonctionnement des moteurs pas à pas

Il existe différentes types de moteurs pas à pas. Ils se distinguent par le placement des bobinages et la façon de les alimenter. Qui m'intéresse dans notre travail Moteur pas à pas bipolaire : Ce moteur possède quatre fils d'alimentation pour piloter des bobines par paire. La figure 32 montre ses constituants.

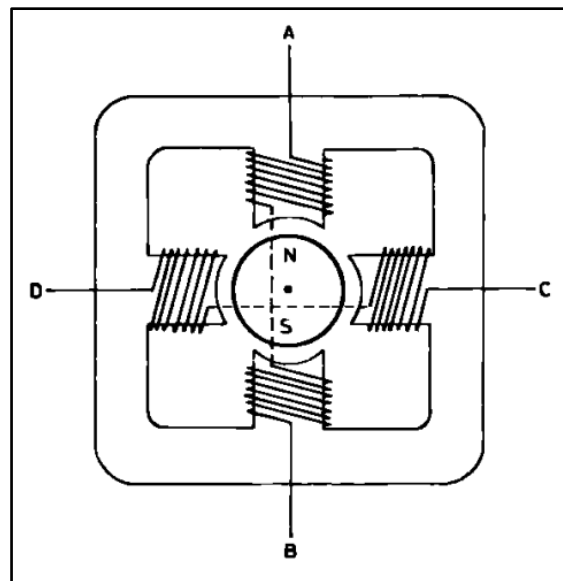


Figure 32. schéma de moteur bipolaire.

Les bobines sont reliées deux à deux en série et sont donc pilotées ensemble. Il n'y a pas donc finalement deux enroulements à commander, puisque deux bobines montées en série n'en font plus qu'une.

Il existe trois types de fonctionnements :

1. Simple fonctionnement : Ce mode de fonctionnement est le plus simple. Grâce à ce dernier, on peut faire des rotations "pas par pas". Pour cela, nous allons alternativement alimenter les bobines de droites et de gauche et inverser le sens du courant pour pouvoir faire une rotation complète du champ magnétique. La figure 33 montre le fonctionnement simple de moteur bipolaire.

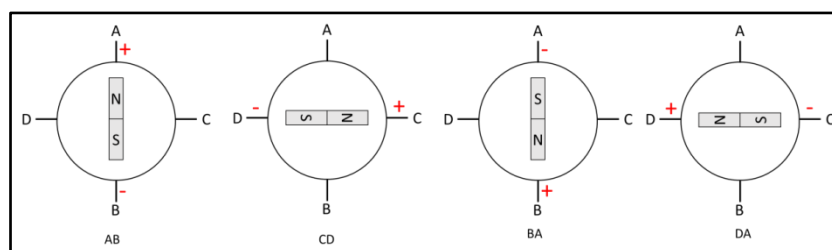


Figure 33. Fonctionnement de moteur bipolaire.

2. Fonctionnement à couple maximale : Un autre mode de fonctionnement est celui dit à couple maximal. Cette méthode de pilotage utilise toutes les bobines à la fois pour pouvoir immobiliser au maximum l'aimant central. En effet, en utilisant plus de champs magnétiques on obtient une force supplémentaire. Par contre, on consomme évidemment d'avantage de courant. Pour comprendre ce fonctionnement, examinons les différentes étapes par un dessin. La figure 34 montre le fonctionnement à couple maximale de moteur bipolaire.

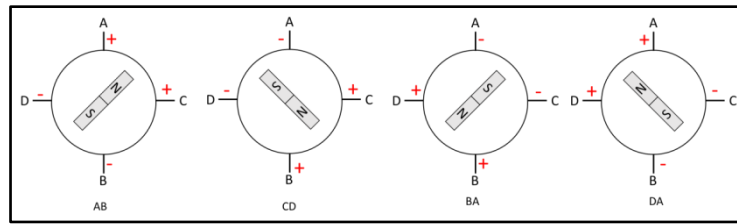


Figure 34. Fonctionnement à couple maximale d'un moteur bipolaire.

3. Fonctionnement par demi-pas (figure 35) : Le dernier mode de fonctionnement est celui dit à demi-pas. Ce mode mélange les deux précédents puisqu'on va alterner les étapes du mode à pas complet et les étapes du mode à couple maximal.

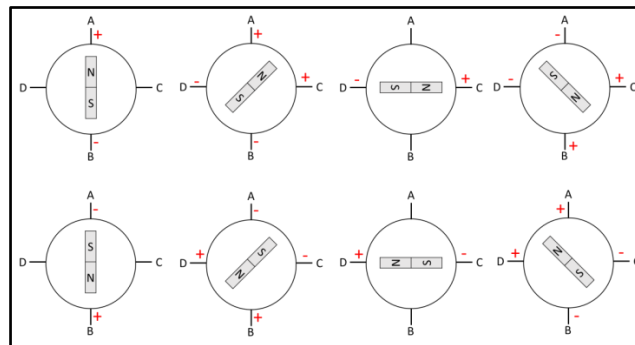


Figure 35. Fonctionnement par demi-pas de moteur pas à pas.

III.3.4 Le transformateur de courant

Le transformateur de courant sert à transformer le courant alternatif avec des valeurs données selon le besoin. Les moteurs utilisés dans la machine nécessitent un courant de (12v) de voltage et de (3A) de tension. C'est à dire que 4 moteurs nécessitent 12A de tension. Par conséquent, le transformateur (Figure 36) est de type (Input (220v, 1A)→ output (12v, 12A)).



Figure 36. Transformateur de courant.

III.3.5 Montage électrique

Après qu'on a cité tous les éléments électriques et électroniques de la machine. Il est préférable de schématiser le circuit globale (Figure 37) afin de visualiser le comportement globale de la machine de côté commande.

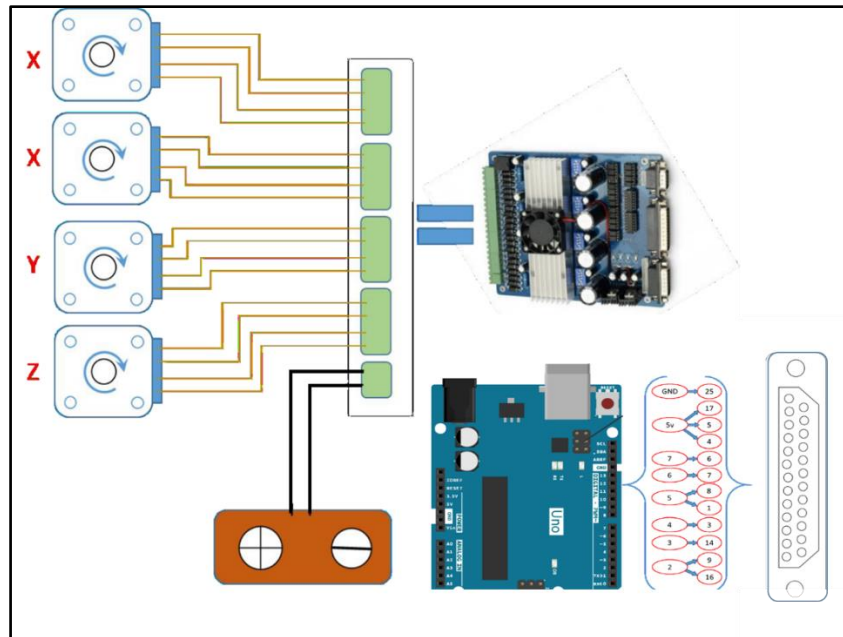


Figure 37. Schéma électrique globale de la machine.

III.4 Partie informatique

La commande de la machine se fait complètement par ordinateur. Le rôle de l'utilisateur est de dessiner la gravure (des trajectoires), puis il fait fonctionner la machine.

On peut contrôler ce dialogue homme-machine par deux applications que sont l'application de dessin et l'application de commande.

III.4.1 L'application de dessin

Consiste en une interface graphique (Figure 38) programmée par l'outil de développement « Delphi », elle permet de faciliter aux utilisateurs l'opération de dessin comportant plusieurs outils tels que la symétrie, la répétition circulaire et les outils de forme (cercle, rectangle, arc, hexagone, ligne et des formes libre).

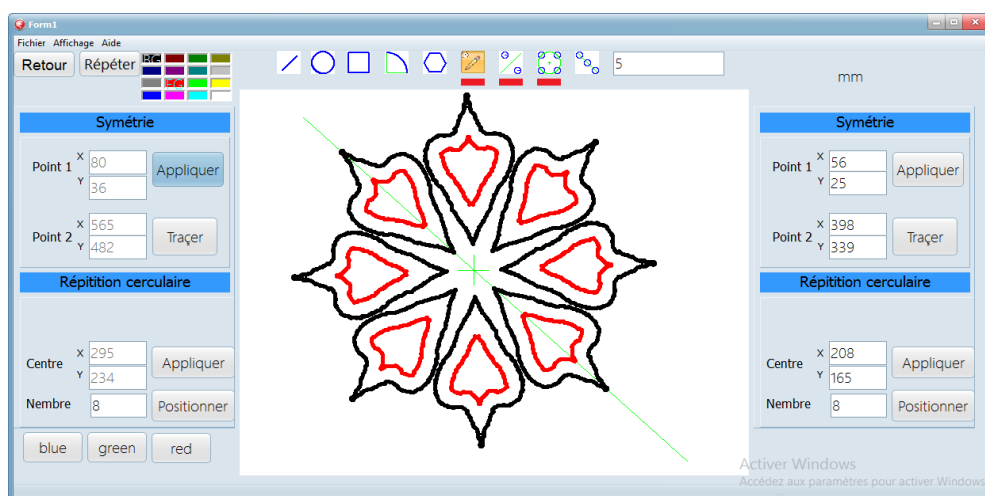


Figure 38. Capture d'écran de l'application de dessin.

Cette application enregistre le dessin sous forme d'un fichier vectoriel. Les fichiers vectoriels sont utilisés par tous les logiciels CAO tel que SolidWorks, Catia, Autocad... La structure de ces fichiers se différencie d'un logiciel à un l'autre. Dans notre application nous avons utilisé la structure représentée dans le tableau 9.

Variable	Type	Description	Exemple	Valeur	
X	Entier	Les coordonnées du point	P1	40	
Y				20	
Cx		Coordonnées du centre de répétition	P3	140	
Cy				200	
s1x		Coordonnées du point1 de ligne de symétrie	P2	180	
s1y				170	
s2x				Coordonnées du point2 de ligne de symétrie	255
s2y					40
Ndrépétition		Nombre de répétions	P3	5	
Liaison		Booléen	Liaison avec le point précédent	P3	1(vrai)
	P1			0(faux)	
Symétrie	Existence de symétrie		P2	1(vrai)	
			P1	0(faux)	

Tableau 9. Structure des données d'un dessin vectoriel.

La figure 39 et le tableau 10 représentent un exemple d'enregistrement des données d'un fichier vectoriel.

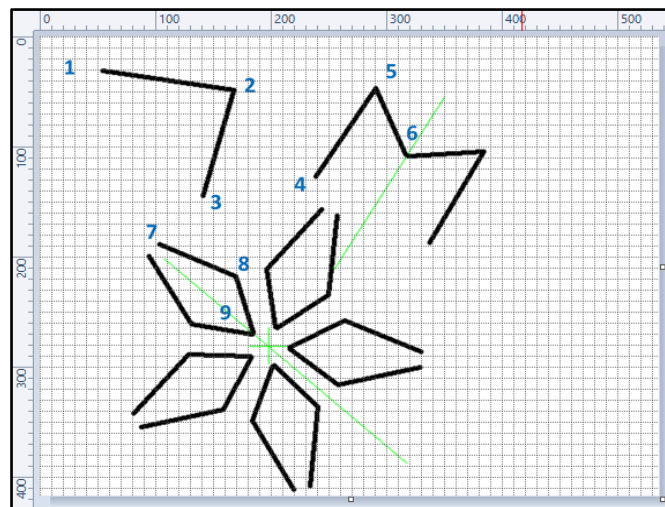


Figure 39. Exemple 'enregistrement des données.

Point	X	Y	Cx	Cy	S1x	S1y	S2x	S2y	ndr	Liaison	Symétrie
1	40	20	/	/	/	/	/	/	1	0	0
2	120	40	/	/	/	/	/	/	1	1	0
3	100	100	/	/	/	/	/	/	1	1	0
4	70	90	/	/	255	40	180	140	1	0	1
5	210	30	/	/	255	40	180	140	1	1	1
6	230	80	/	/	255	40	180	140	1	1	1
7	175	35	140	200	80	150	230	280	5	0	1
8	125	155	140	200	80	150	230	280	5	1	1
9	130	195	140	200	80	150	230	280	5	1	1

Tableau 10. Les données d'un fichier vectoriel.

III.4.2 L'application de commande

La machine (le contrôleur Arduino) ne comprend pas les données enregistrées par l'application de dessin. Afin d'y remédier, nous convertissons ces données en des instructions de Code-G. Cette conversion se fait par l'application de commande à partir d'un fichier vectoriel crée préalablement par l'application de dessin (figure 40).

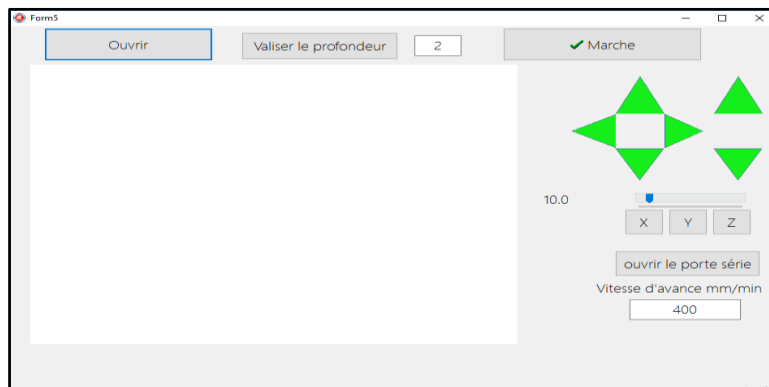


Figure 40. Capture d'écran de l'application de commande.

Tableau 11 montre cette conversion :

Point	Code-G
P1	G0 X40 Y20
P2	G01 X120Y40
P3	G01 X100 Y100
P4	G00 X70 Y90
P5	G01 X10 Y30
P6	G01 X230 Y80
P7	G01 X135 Y35

Tableau 11. La conversion d'un fichier vectoriel en code G.

Chapitre IV

Calcul et dimensionnement

IV.1 Introduction

L'étude et la détermination des efforts de coupe sont nécessaires pour choisir les outils et dimensionner le porte-pièce ; leurs directions permettent de connaître le sens de déplacement des outils afin que les appuis du montage s'opposent à ces efforts.

IV.2 Les paramètres de coupe

IV.2.1 Vitesse de coupe

La vitesse de coupe (V_c) constitue la grandeur cinématique de base du système outil/pièce. Elle est exprimée en (m/min) et dépend du matériau de la pièce à usiner et de l'outil employé. Généralement, la vitesse de coupe pour l'usinage du bois varie entre 400 et 500 m/min .

IV.2.2 Mouvement de coupe M_c

Elle constitue la vitesse de rotation de la broche (N) exprimée en tr/min par la formule suivante :

$$N = \frac{1000V_c}{\pi D} \quad (1)$$

Avec :

D : Diamètre de l'outil en (mm)

IV.2.3 Vitesse d'avance

La vitesse de déplacement de l'outil (en mm/min) est déterminée par la formule suivante :

$$f = N \times f_z \times Z \quad (2)$$

Avec :

f_z : Avance par dent (dépend du matériau de la pièce et de l'outil)

Z : Nombre de dent de l'outil

IV.3 Les efforts de coupe

L'effort de coupe F exercé par la pièce sur l'outil se décompose en trois composantes. La détermination des efforts de coupe est nécessaire pour dimensionner les éléments de la machine, leurs directions permettent la connaissance du sens de déplacement des outils lesquels sont indispensables pour la conception des montages d'usinage. Le cas de l'usinage qui est envisagée concerne le fraisage en bout (Figure 42).

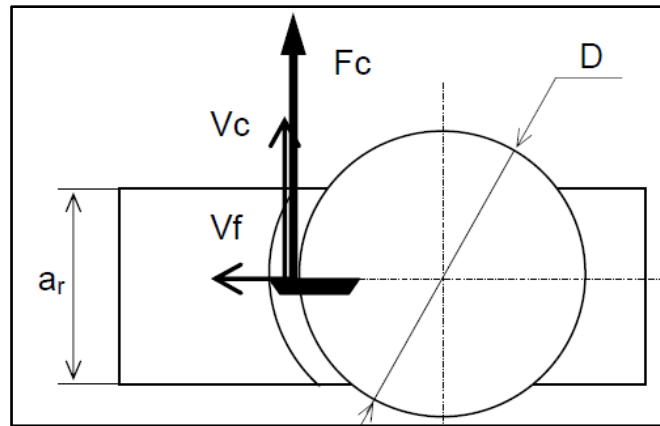


Figure 42. Fraisage en bout centré.

La force de coupe est calculée par la formule suivante :

$$F_c = \frac{a_p \times a_r \times f \times K_c}{\pi D \times 60 \times 1000} \quad (3)$$

Avec :

K_c : Coefficient spécifique de coupe en N/mm^2

a_p : Profondeur de passe en mm

a_r : Largeur fraisée

f : Vitesse d'Avance mm/s

D : Diamètre de l'outil en mm

IV.4 Puissance de coupe

$$P_c = F_c \times V_c = \frac{a_p \times a_r \times f \times V_c \times K_c}{\pi D \times 60 \times 1000} \quad (4)$$

Avec :

V_c : Vitesse de coupe en m/min

IV.5 Système de transformation de mouvement

Le système vis-écrou permet de transformer le mouvement de rotation en mouvement de translation et permet aussi la transmission de puissance.

IV.5.1 Transformation de mouvement :

Pour la transformation de mouvement la vis se caractérise par :

Pas : Distance parcourue par l'écrou pour une tour de vis.

Le pas réel (hélicoïdal) dépend du nombre n de filets

$p_h = n \times p$ Avec p est le pas de profile

$$X = p \times \frac{\theta}{360} \quad ; \quad N = \frac{V}{p} \quad (5)$$

Avec :

X : Distance parcourue

θ : Angle de rotation

N : Vitesse de rotation en tr/min

V : Vitesse d'avance en mm/min

IV.5.2 Transmission d'effort :

Pour la transmission d'effort le vis se caractérise par :

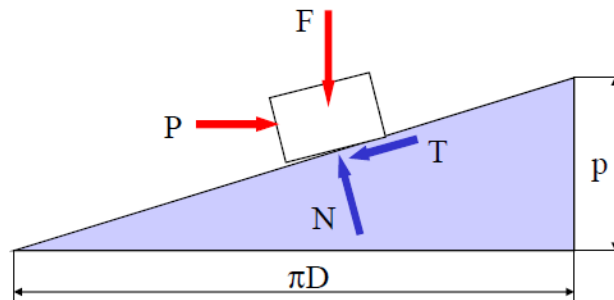


Figure 43 : représentation linéaire d'un tour hélicoïdale de filet

N : Réaction normale

T : Force de frottement

F : Charge axiale

P : Force nécessaire

D : Diamètre sur flancs

$C = P \times \frac{D}{2}$ Avec C est le couple nécessaire

Voici l'équation d'équilibre :

$$\sum F_x = P - T \cos(\alpha) - N \sin(\alpha) = 0 \quad (6)$$

$$\sum F_y = P + N \cos(\alpha) - T \sin(\alpha) = 0 \quad (7)$$

Les équations (1) et (2) nous donnent :

$$N = \frac{F}{\cos(\alpha) \left(1 + \frac{f \times p \alpha s}{\pi D} \right)}$$

$$P = \frac{\pi D f - p}{\pi D - f \times p}$$

Donc le couple nécessaire C est comme suit :

- Pour lever la charge :

$$C = \frac{FD}{2} \times \frac{p+f\pi D}{\pi D-fp} \quad (8)$$

- Pour baisser la charge :

$$C = \frac{FD}{2} \times \frac{f\pi D - p}{\pi D - fp} \quad (9)$$

Le rendement d'une transmission vis-écrou est donné par la relation suivante :

$$\eta = \frac{C_0}{C_f} \Rightarrow \eta = \frac{Fp}{2\pi C_f} \quad (10)$$

Avec :

C_0 : Couple nécessaire en l'absence de frottement

C_f : Couple nécessaire avec frottement

IV.6 Assemblage par vis ou boulon [14]

Pour concevoir un assemblage vissé, afin d'assurer la mise en position il est nécessaire d'avoir un appui plan, une orientation et un serrage.

Les efforts sont transmis par adhérence au niveau de l'appui plan, un serrage initial ou précharge assure l'effort normale nécessaire à cette transmission d'effort. Le dimensionnement consiste à déterminer la précharge en prenant en considération les conditions d'emploi et d'utilisation de la machine. Les efforts transmis par un assemblage vissé sont les efforts transversaux et axiaux comme le montre la figure 44.

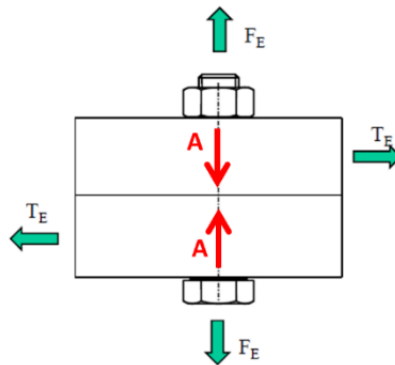


Figure 44 . Assemblage vissé.

A : Effort de serrage

F_E : Effort transversale

T_E : Effort axial

Les contraintes prise en compte sont de nature de torsion et de traction. La contrainte équivalente de Von-Mises est comparée à 85% de la limite élastique, soit :

$$\sigma_{max} = \sqrt{\left(\frac{F_0}{A_s}\right)^2 + 3\left(\frac{16Cfv}{\pi d_{eq}}\right)^3} < 0.85\sigma_e \quad (11)$$

$$F_0 : \text{précharge avec } F_0 = F_E + \frac{T_E}{\tan(\varphi)}$$

φ : Coefficient de frottement entre pièces

C_{fv} : Couple et coefficient de frottement entre la vis et l'écrou

d_{eq} : Diamètre équivalent de vis

A_s : Section de la vis

σ_e : Limite élastique

Le couple de serrage est donné par la formule suivante :

$$C_s = C_{ft} + C_{fv} = \frac{2}{3} F_0 f t \frac{r_e^3 - r_e^3}{r_e^2 - r_e^2} + F_0 \frac{d^2}{2} \tan(i + \varphi_{fv}) \quad (15)$$

$$i : \text{Angle d'hélice du filetage : } \tan(i) = \frac{p}{\pi d_e}$$

Pré dimensionnement selon NF E25 030

D Nominal (mm)	Précision de serrage	Classe 8-8								
		fv moyen = 0,10			fv moyen = 0,15			fv moyen = 0,20		
		Cs (N.m)	Fomin (N)	Fomax (N)	Cs (N.m)	Fomin (N)	Fomax (N)	Cs (N.m)	Fomin (N)	Fomax (N)
3	A	0,95	2079	2298	1,21	1877	2075	1,41	1888	1866
	B	0,91	1880	2298	1,16	1697	2075	1,35	1526	1866
	C	0,83	1532	2298	1,06	1383	2075	1,23	1244	1866
	D	0,67	766	2298	0,85	691	2075	0,99	622	1866
4	A	2,20	3605	3985	2,78	3251	3594	3,22	2922	3230
	B	2,10	3260	3985	2,66	2940	3594	3,08	2642	3230
	C	1,92	2656	3985	2,44	2396	3594	2,82	2153	3230
	D	1,54	1328	3985	1,95	1198	3594	2,25	1076	3230
5	A	4,34	5893	6514	5,5	5325	5886	6,4	4788	5293
	B	4,14	5329	6514	5,2	4815	5886	6,1	4330	5293
	C	3,80	4342	6514	4,83	3924	5886	5,6	3528	5293
	D	3,04	2171	6514	3,87	1692	5886	4,48	1764	5293
6	A	7,5	8319	9195	9,5	7511	8302	11,1	6753	7464
	B	7,2	7523	9195	9,1	6792	8302	10,6	6106	7464
	C	6,6	6130	9195	8,3	5534	8302	9,7	4976	7464
	D	5,2	3065	9195	6,7	2767	8302	7,7	2488	7464
8	A	18,2	15257	16863	23	13790	15242	27	12404	13710
	B	17,4	13797	16863	22	12470	15242	25	11217	13710
	C	15,9	11242	16863	20	10161	15242	23	9140	13710
	D	12,7	5621	16863	16,3	5080	15242	18,9	4570	13710
10	A	36	24282	26838	46	21963	24275	53	19762	21843
	B	34	21958	26838	44	19861	24275	51	17871	21843
	C	31	17892	26838	40	16183	24275	46	14562	21843
	D	25	8946	26838	32	8091	24275	37	7291	21843
12	A	62	35393	39119	79	32029	35401	92	28825	31860
	B	59	32006	39119	76	28964	35401	88	26067	31860
	C	54	26079	39119	69	23600	35401	81	21240	31860
	D	43	13039	39119	55	11800	35401	64	10620	31860

Figure 45. Pré dimensionnement selon NF E25 030.

Les vis de fixation utilisés sont de dimensions suivantes :

$$D = 5 \text{ mm} - \text{Classe 8.8} - fv = 0.15 - \text{Précision de serrage(D)}$$

$$\text{Donc } C_s = 3.87 \text{ Nm et } F_0 (\text{min}) = 1692 \text{ N et } F_0 (\text{max}) = 5886 \text{ N}$$

IV.7 Les limites de la machine

Les limites de la machine sont les capacités maximales que la machine peut supporter tel que : la vitesse de coupe maximale V_c et le coefficient spécifique du bois K_c .

Le mouvement de coupe et le mouvement d'avance sont assurés par des moteurs pas à pas.

Le couple moteur : Le moteur utilisé est « moteur pas-a-pas nema 23 1.9 n.m 1.8° 78MM (57BYGH633B) » dont le couple de $C_m = 1.9 N.m$

Puissance de fraiseuse : Les caractéristiques de la fraiseuse sont les suivantes :

Puissance absorbé : $P_a = 500 \text{ watts}$

Vitesse de rotation : $N = 32000 \text{tr}/\text{min}$

La fraiseuse utilisée dans la machine est représenté dans la figure 46.



Figure 46. Router à bois.

IV.7.1 Force de coupe maximale

La figure 47 schématise le système de transmission des efforts (Vis-Ecrou).

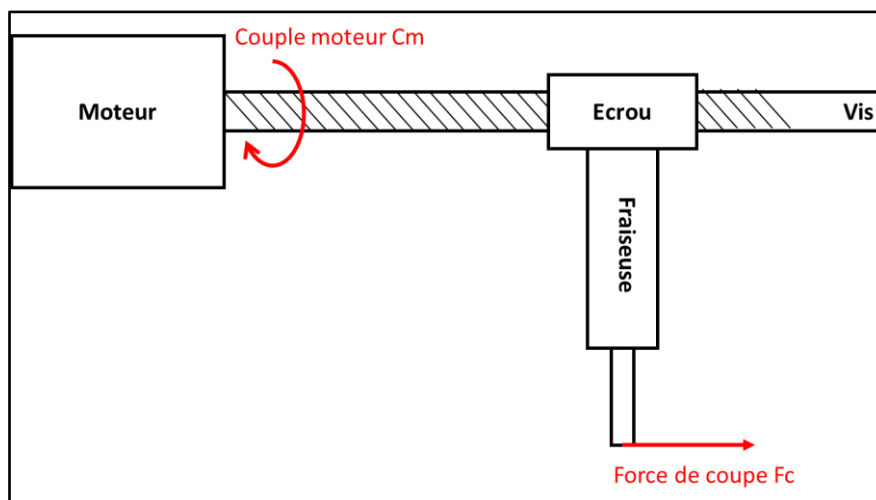


Figure 47. Transmission des efforts (Vis-Ecrou).

On peut déterminer la force F_c à partir de l'équation (10)

$$\eta = \frac{C_o}{C_f} \Rightarrow \eta = \frac{F_c \cdot p}{2\pi C_f} \Rightarrow F_c = \frac{2\eta\pi C_f}{p} = 1462.36N \text{ avec un rendement de } 98\%$$

IV.7.2 Vitesse de coupe maximale

Si on remplace N par la vitesse de rotation maximale $32000tr/min$, l'équation (1) permet de déterminer la vitesse de coupe maximale.

$$V_c = \frac{\pi DN}{1000} = 100.53 \times D$$

Par conséquent, la vitesse de coupe maximale dépend du diamètre de l'outil.

IV.7.3 La vitesse de coupe minimale

La vitesse de coupe minimale dépend de la puissance de la fraiseuse et de la force de coupe maximale.

$$\frac{P_c}{V_c} < F_c \Rightarrow V_c > \frac{P_c}{F_c} = \frac{500}{1462.36} = 20.51 \text{ m/min}$$

On peut limiter la vitesse de coupe par le graphe représenté dans la figure 48.

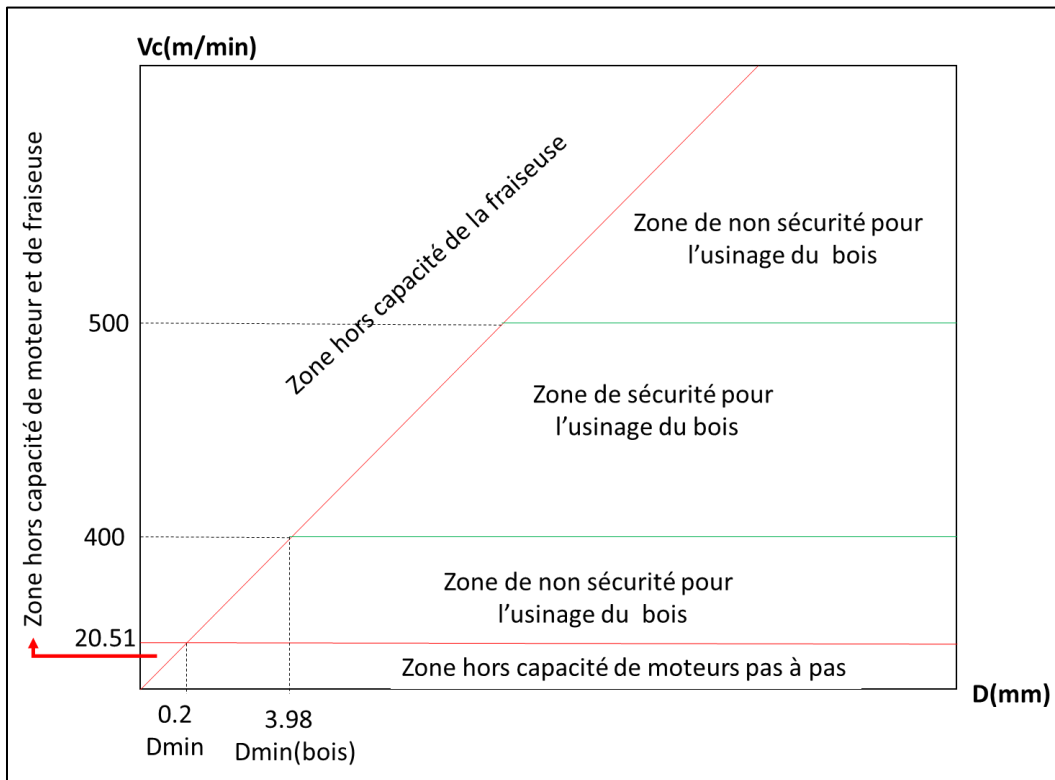


Figure 48. Limite de vitesse de coupe.

IV.7.4 Coefficient spécifique de coupe maximale

Le coefficient spécifique de coupe est calculé par la formule suivante :

$$K_c = \frac{60 \times 10^6 \times P_c}{a_p a_r V_f} = 30000 \times \frac{1}{a_p a_r V_f} \quad (12)$$

Les courbes de la figure 49 illustrent la représentation graphique de l'équation (12) pour différentes valeurs du diamètre de la fraise en prenant une valeur $a_p = 10mm$

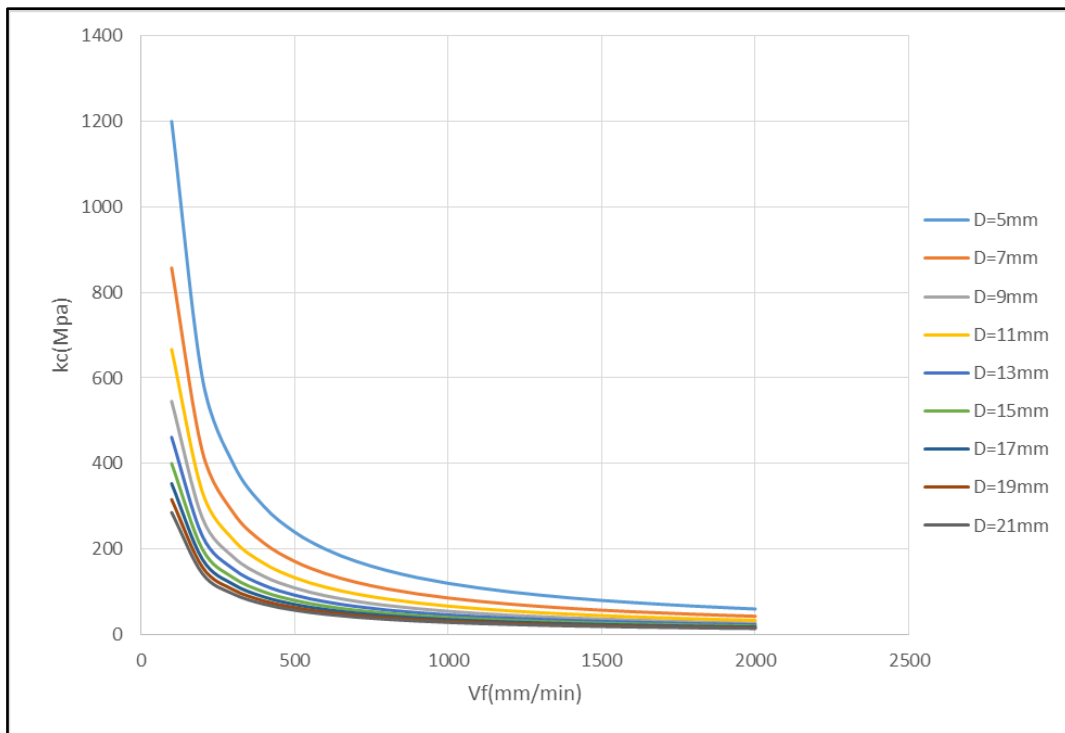


Figure 49. Limite de coefficient spécifique de coupe.

IV.7.5 Résistance de vis mère

Les contraintes appliquées sur la vis mère sont comme suit :

- Contrainte axiale :

$$\sigma = \frac{4Fc}{\pi d^2} = \frac{4 \times 1462.36}{8^2 \pi} = 29 \text{ Mpa}$$

- Contrainte tangentielle :

$$\tau = \frac{16C}{\pi d^3} = \frac{16 \times 1.9}{8^3 \pi} = 0.02 \text{ Mpa}$$

- Contrainte équivalent de Von-Mises :

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} < \frac{R_e}{S}$$

$$\sigma_{eq} = 29 \text{ Mpa} \ll \frac{R_e}{S}$$

Avec :

d : Diamètre de noyau (mm)

S : Coefficient de sécurité

Conclusion Générale

Le but de cette étude est la conception et la réalisation d'une machine à commande numérique permettant de graver sur bois à partir d'un dessin créé préalablement par une application de dessin développée par un outil de programmation 'Delphi'.

Nous avons conçu et caractérisé les trois parties (mécaniques, électronique-électrique et informatiques) qui composent la machine. La machine à commande numérique réalisée comporte plusieurs composants électroniques et électriques (Hardware) tels que la carte Arduino, les contrôleurs des moteurs pas à pas, le transformateur de courant, et les moteurs pas à pas. Nous avons étudié et modélisé, sous le logiciel SolidWorks, tous les éléments mécaniques de la machine. La commande de la machine se fait complètement par ordinateur. Le rôle de l'utilisateur consiste seulement à dessiner la gravure. Le contrôle du dialogue homme-machine se fait par deux applications en l'occurrence celles de dessin et de commande. L'application du dessin constitue une interface graphique programmée par l'outil de développement 'Delphi'. La machine (le contrôleur Arduino) ne comprend pas les données enregistrées par l'application de dessin. Afin d'y remédier, nous avons converti les données en instructions de 'Code-G'. Cette conversion se fait par l'application de commande à partir d'un fichier vectoriel créé préalablement par l'application de dessin. Sur la base d'un calcul des efforts de coupe, nous avons dimensionné la machine conçue dans le but de connaître ses limites d'utilisation.

Ce modeste travail n'est pas une fin en soi, mais il est possible d'apporter des améliorations et des perfectionnements surtout en ce qui concerne :

- l'optimisation des trajectoires de gravures pour minimiser le temps d'usinage,
- ajouter un système de fixation automatique,
- réaliser un système de changement automatique d'outils.

Bibliographie

- [1] https://www.clg-mauriac-houdan.ac-versailles.fr/IMG/ppt/La_gravure.ppt
- [2] F. Ghomari. Le bois. Mémoire de fin d'études. Université Aboubekr Belkaid. 2017
- [3] <http://www.outillage-industriel.com/la-machine-outil-a-commande-numerique-cnc-cest-quoi>
- [4] https://www.academia.edu/25070656/Chapitre_1_Introduction_à_la_commande_numerique
- [5] <https://www.scribd.com/document/143617070/Notes-de-Cours-TCH040-H2011>
- [6] F. Chihab. Conception et Commande d'une CNC. Mémoire de licence. ENST-Alger. 2017
- [7] <https://redouan-allali.over-blog.com/2014/08/analyse-fonctionnelle.html>
- [8] <https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/pedagogiques/7197/7197-analyse-fonctionnelle-du-besoin-ens.pdf>
- [9] <https://docplayer.fr/4299904-La-demarche-d-analyse-fonctionnelle.html>
- [10] https://public.iutenligne.net/conception.../analyse_fonctionnelle/AF-prof.pdf
- [11] <https://www.mountainfieldevents.nl/4564+lime.html>
- [12] <https://openclassrooms.com/fr/courses/2778161-programmez-vos-premiers-montages-avec-arduino/3285107-installez-vos-outils-de-travail>
- [13] <https://www.roboticus.org/electronique/45-le-moteur-pas-a-pas>
- [14] http://58consmecha.free.fr/CoursPdf/vis_ecrou.pdf

ANNEXE

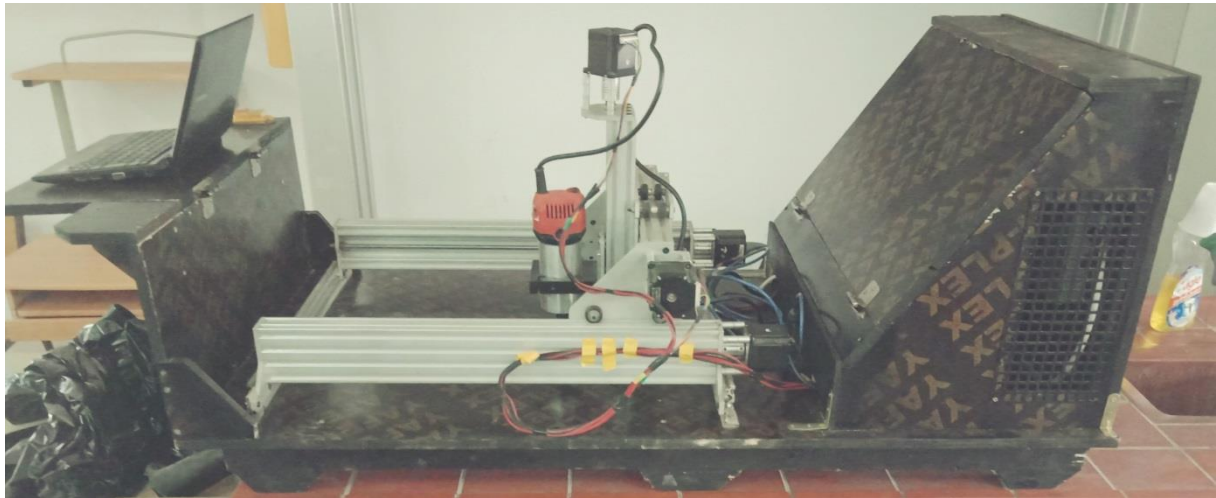


Photo 1. Photo de la machine

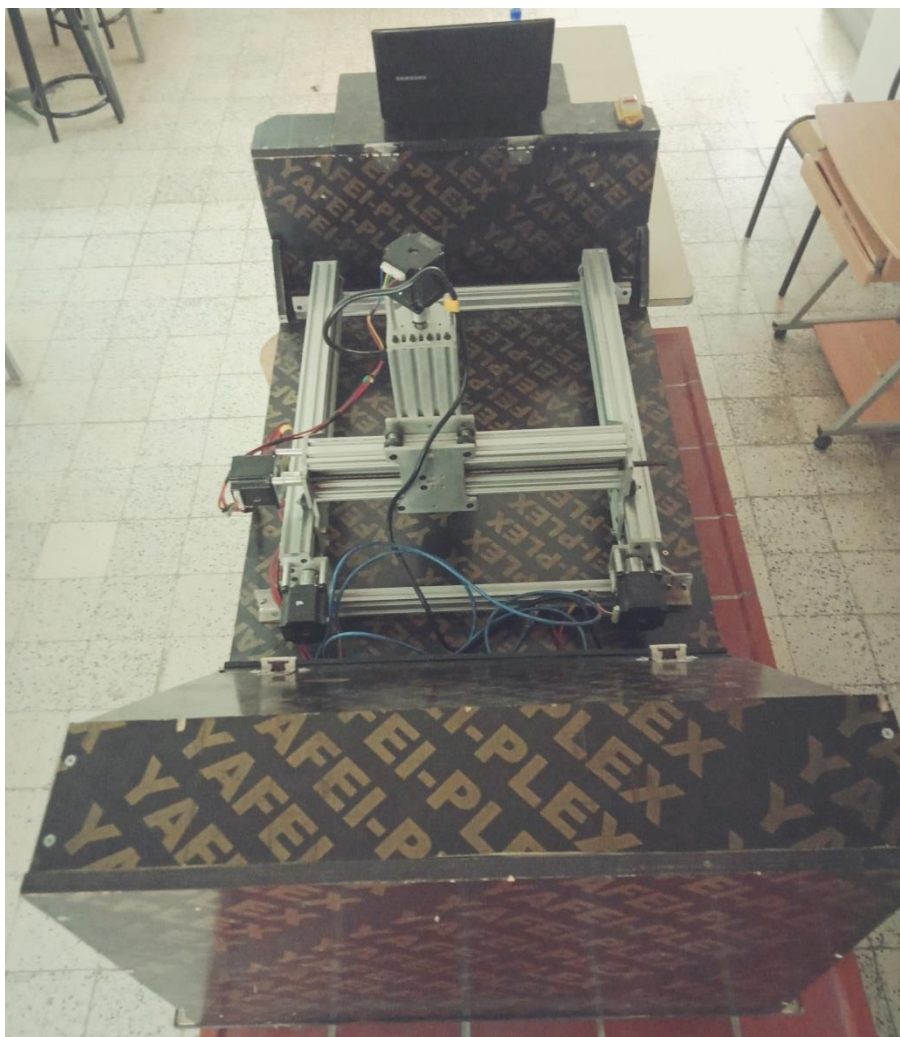


Photo 2. Vue de dessus de la machine.

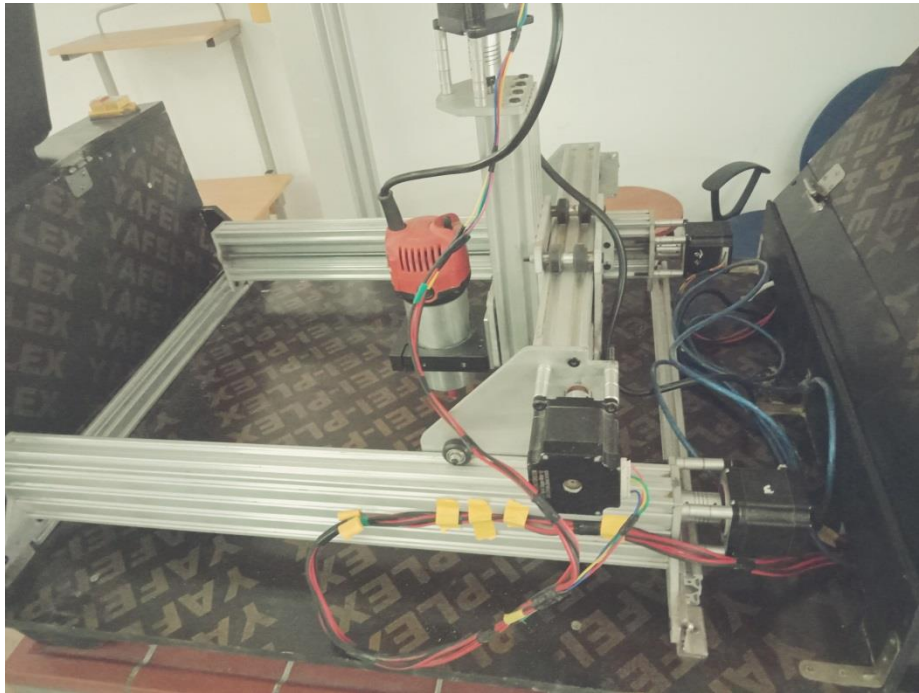


Photo 3. Photo de la partie active de la machine



Photo 4. Photo de l'outil et du porte-outil

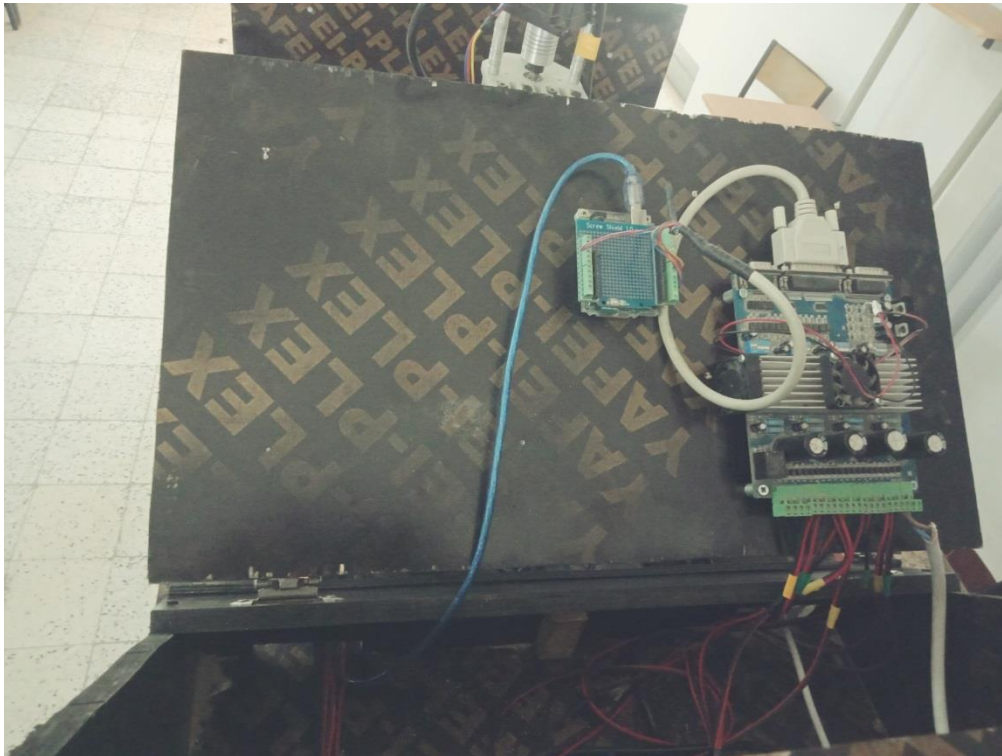


Photo 5. Photo des éléments électroniques (carte Arduino et contrôleur des moteurs pas à pas).

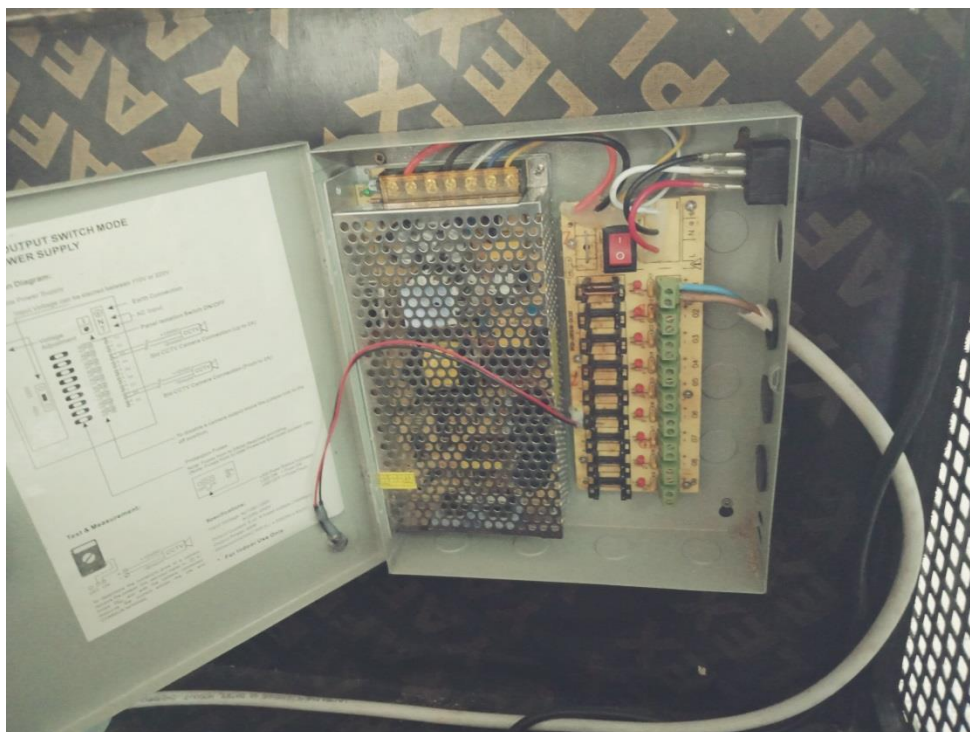


Photo 6. Photo du transformateur du courant électrique.

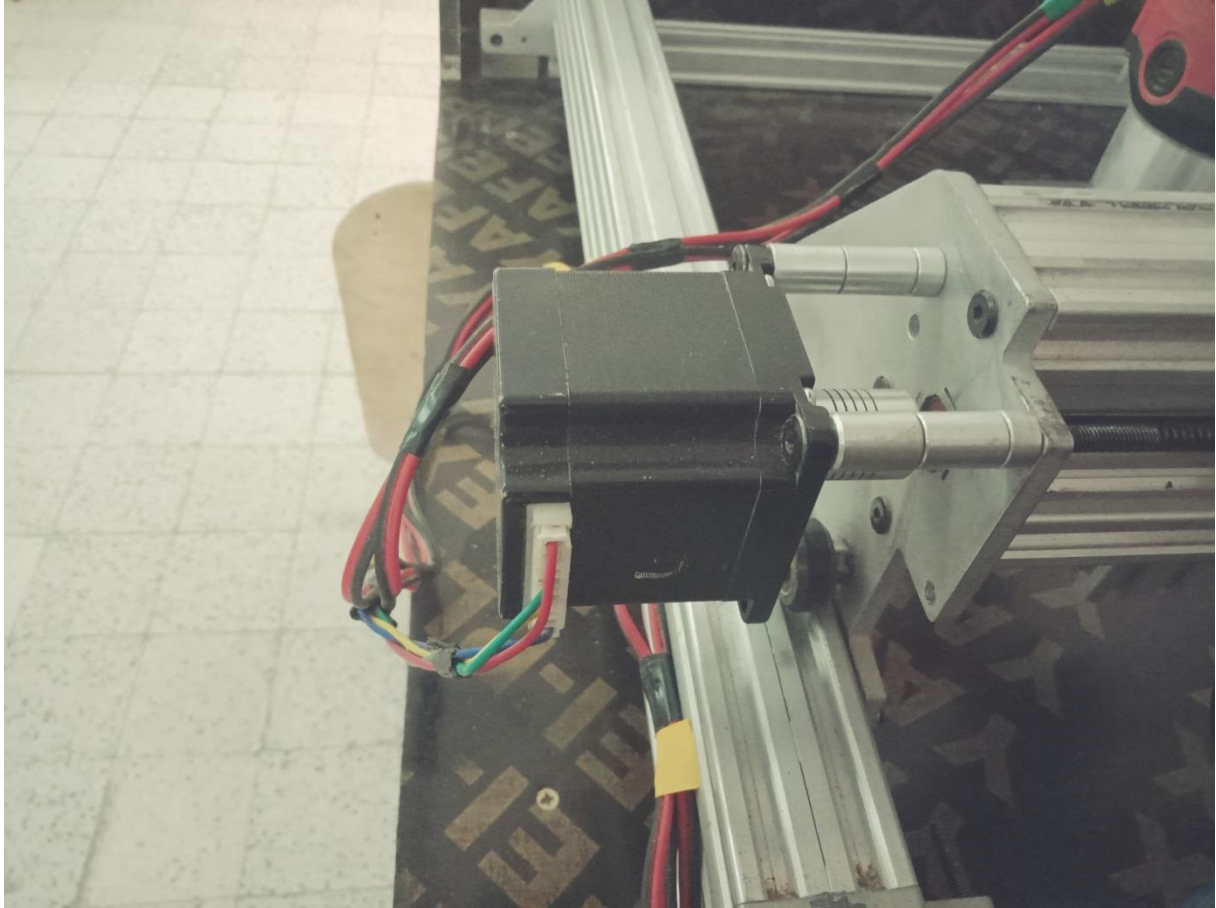


Photo 7. Photo du moteur pas à pas Nema23.

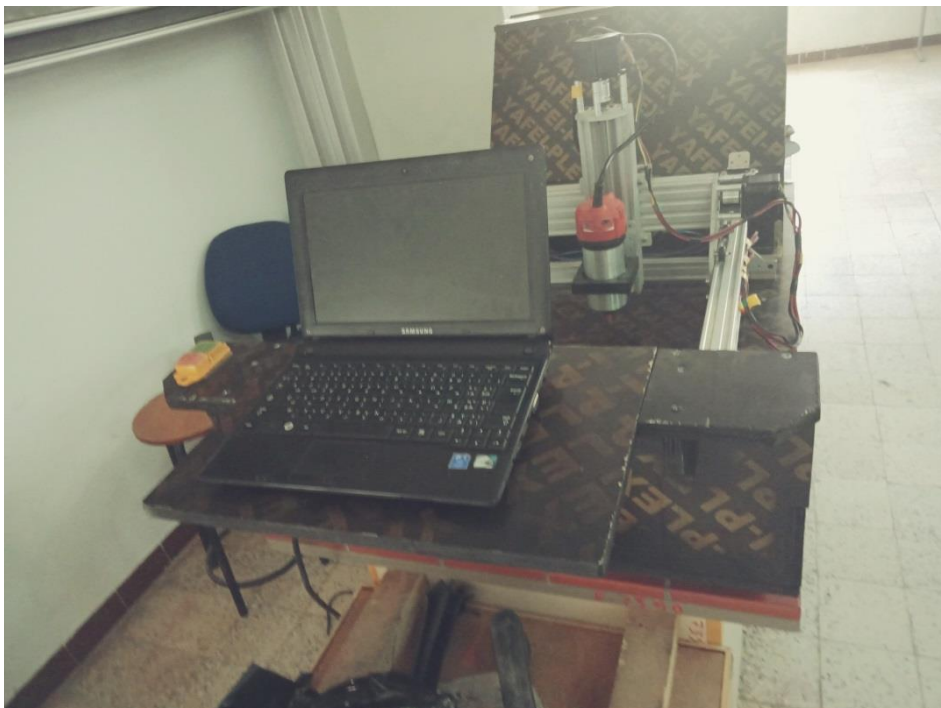


Photo 8. Photo de la partie commande de la machine par ordinateur.

الملخص:

الهدف من هذه المذكرة هو تصميم وإنشاء آلة نحت على الخشب ذات التحكم الآلي. التحكم في هذه الآلة يكون عن طريق تطبيق الرسم المبرمج بأداة البرمجة "الدلفي" الذي بدوره يسهل الاستعمال على النجار البسيط دون الحاجة الى معرفة التحكم باستعمال البرمجة بال Code G. يتم التصميم النموذجي لهذه الآلة عن طريق برنامج التصميم الميكانيكي . SolidWorks الغرض المرجو من هذا المشروع هو التمكن من إتقان كل مراحل التصميم الميكانيكي لهذه الآلة انطلاقا من دراسة وتحليل الاحتياج المعبر عنه من طرف الزبون على المستوى النظري والتطبيقي الى غاية الوصول الى إنجاز شكل نموذجي للآلة .

الكلمات المفتاحية: النحت على الخشب / تصميم / SolidWorks / تطبيق الرسم / شكل نموذجي

Résumé :

Le but de ce présent mémoire est la conception et la réalisation d'une machine de gravure sur bois. Cette machine est commandée par une 'Application Paint' développée, ce qui facilite son utilisation par un simple menuisier sans avoir besoin de connaissance de programmation en code G. La conception de cette machine est faite par avec un logiciel de conception mécanique SolidWorks. L'objectif visé à travers ce projet est la maîtrise de la chaîne de conception complète de cette Machine, après l'étude et l'analyse du besoin exprimé par le client sur le plan théorique et pratique on est parvenu à la réalisation d'un prototype.

Mots Clés : Gravure sur bois.Arduino, conception, SolidWorks, application Paint.

Abstract:

The aim of this present study is to design and realize a wood engraving machine. This machine is controlled with developed Paint Application which facilitates its use by a simple carpenter without needs for programming knowledge in G code. The conception of this machine is made by mechanical design software SolidWorks. The objective sought through this project is to master the complete design chain of this machine, after studying and analyzing the customer's expressed need on the theoretical and practical plan, we have achieved a prototype.

Keywords: Wood engraving, design, Paint Application, prototype.

