



**UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA 1**  
**FACULTE DE TECHNOLOGIE**  
**DEPARTEMENT DE MECANIQUE**

Laboratoire d'étude et recherche en technologie industrielle

Projet de Fin d'Etudes  
Pour l'obtention du Diplôme de Master en  
Fabrication mécanique et productique

Titre :

Etude et conception d'une machine CNC à 5Axes

Encadré par :  
A.KIRAD

Réalisé par :

ALANE Khaoula

Co-encadré par:  
L.ZEDDAM

## **Remerciement**

Tout d'abord, je tiens à remercier Dieu pour sa bénédiction, pour m'avoir donné le courage de faire ce travail.

Un grand merci à ma famille, mon premier et fort soutien ; à mon cher papa pour sa souffrance et à faire de son mieux pour faire qui je suis aujourd'hui, et à ma chère mère.

Je tiens à remercier mon promoteur KIRAD d'avoir accepté ce travail, je remercie tout particulièrement M. LOUNICI pour m'avoir guidé à travers ce travail et m'avoir appris beaucoup de choses pendant des années et a été l'une des raisons pour lesquelles je suis ici aujourd'hui et l'étudiante qui je suis, aussi et enfin je veux me remercier moi-même pour toute cette nuit que j'ai passée à leur réveil, d'avoir étudié dur et d'avoir cru en moi.

## *Dédicace*

La première des choses je veux remercier Allah de m'avoir donné de la force et m'avoir aidé dans ce modeste travail auquel je veux le dédier :  
Mon premier amour, mon soutien mon père, à ma chère mère, à mes Sœurs, Fadoua, Sarah, Marya, et mon frère "Mohamed", et tous mes amis qui me souhaitaient toujours le meilleur, et enfin à mes adorables et précieux chats "Sasha et Phoenix" Ceux qui me réconfortent dans ma solitude toutes les nuits au long de mes études.

## ملخص

تعتبر الآلات ذات التحكم الرقمي جد رائجة في وقتنا المعاصر ، و ذلك لأنها تلعب دورا كبيرا في اقتصاد الشركات ذات الانتاج . . العالي ، و ذلك نظرا الى دقتها و سرعتها الانتاجية و امكانياتها في التصنيع التسلسلي

هذا العمل المقدم ، يتمثل في بحث في الآلات ذات 5 محاور ، و مقارنة بين انواعها ، اختيار احدى التصاميم ، تصميم الة بأبعادها ، دراستها من ناحية نقل الطاقة ، اختيار المحركات

كلمات المفتاح: نقل الطاقة، عزم القيادة، القوة المسموح بها، قوة الالتواء، قوة القطع، قوة الاحتراق.

## Résumé

Les machines à commande numérique calculateur sont très populaires à notre époque, car elles jouent un rôle important dans l'économie des entreprises à haute production, en raison de leur précision, leur vitesse de production et de leurs capacités de fabrication en série. .

Ce travail présentait, représenté un recherche sur les machines CNC à 5 axes, une comparaison entre leurs types, la sélection d'un des modèles, la conception d'une machine avec ses dimensions, son étude en termes de transmission de puissance, et dimensionnements des moteurs utilisés.

Mots clés : couple de transmission, couple moteur, force admissible, force de flambage, l'effort de coupe, l'effort de pénétration.

## Abstract

Computer numerical control machines are very popular in our time, because they play an important role in the economy of high production enterprises, due to their precision, speed of production and serial production capabilities. .

This work represent a research on 5-axis CNC machines, a comparison between their types, the selection of one of the models, the design of a machine with its dimensions, its study in terms of power transmission, and sizing the used. Engines.

Keywords: transmission torque, motor torque, allowable force, buckling force, cutting force, penetration force.

## Table des matières

### Chapitre I :

#### Généralités

I.1 Introduction :	2
I.2 Généralités sur l'usinage par enlèvement de la matière :	3
I.3 Classification	4
I.3.1 Fraisage	5
I.3.2 Tournage	5
I.4 Machines-outils	6
I.5 Différence entre MO conventionnel et CNC :	6
I.5.1 Machines-outils conventionnels	6
I.5.2 Machine CNC	8
I.6 Comparaison entre machine-outil CNC et conventionnel[6] :	9
I.6.1 Avantages de CNC	10
I.6.2 Inconvénients de CNC	10
I.7 Conclusion :	11

### Chapitre II :

#### Analyse fonctionnel

II.1. Introduction	13
II.2. Analyse fonctionnel de la machine	14
II.2.1 Rechercher des idées et des solutions	15
II. 3 .FAST Descriptif partiel de la machine	16
II.3.1 Description de la fonction FS1	16
II.3.2 Description de la fonction FS2	17
II.4 Recherche des solutions	17
II.5 Evaluer la solution choisie	18
II.6 description de fonctionnement de la machine	19
II.6.1 Principe de fonctionnement	20
II.7 Système de guidage	21
II.7.1 Système de guidage à galets	21
II.7.2 Douilles à billes	21

II.7.3 Rails de guidage .....	22
II.8 Système de transmission suivant les axes x, y, z : .....	22
II.8.1 Courroie : .....	22
II.8.2 Les chaînes à rouleaux .....	23
II.8.3 Transmission par vis à bille .....	23
II.8.4 Transmission par vis trapézoïdale et écrou .....	24
II.8.5 Comparaison des systèmes de transformations de mouvement .....	24
II.9 Système de fixation : .....	26
II.9.1 Par vis : .....	26
II.10. Le choix final des composants .....	26
II.11. Autres composants : .....	27
II.11.1 Les roulements : .....	27
II.11.1.1 Avantage et inconvénients des .....	27
II.11.2. Accouplements semi-élastiques .....	27
II.12 Le choix de système de transmission de l'énergie final permettant le déplacement .....	28
II.13. Conclusion .....	29

### Chapitre III :

#### Etude et conception

III.1 Introduction .....	31
III.2 Cahier de charge .....	32
III.2.1 Fonction principale .....	32
III.2.2 Fonction partielle .....	32
III.3 Variantes solutions proposées .....	33
III.4 Partie mécanique .....	33
III.5 Dimensionnement .....	34
III.5.1 Détermination des masses .....	34
III.5.2. Dimensionnements de la vis à billes suivants l'axes des Z .....	35
III.5.2.1 Calcule de la charge maximale admissible <b>Fadm</b> .....	36
III.5.2.2 Calcule force de flambage <b>Ff</b> .....	36
III.5.2.3 Calcule de rendement <b>η</b> .....	36
III.5.2.4 Calcule de couple d'entraînement <b>Ma</b> : .....	37
III.5.3. Dimensionnements de la vis à billes suivants l'axes des X .....	39
III.5.3.1 Calcule de couple d'entraînement <b>Ma</b> : .....	39

III.5.4 Dimensionnement de la vis à billes pour l'axe des Y .....	40
III.5.4.1 Calcul de couple d'entraînement <b>Ma</b> .....	40
III.6. Dimensionnement de poulies courroies .....	41
III.6.1 Transmission de l'énergie du moteur vers le Mandrin.....	41
III.6.1.1 Dimensionnement des poulies .....	41
III.6.1.1.a Détermination de nombre des dents de poulie motrice <b>Zd1</b> .....	42
III.6.1.2.a Détermination de nombre des dents et la longueur de courroies .....	43
III.6.1.2.b largeur de la courroie .....	43
III.6.2 Dimensionnement de moteur pour <b>4ème</b> axe (axe b): .....	44
III.6.3 Dimensionnement de <b>5ème</b> axes (axe a) rotation du mandrin.....	46
III.7 Conclusion :.....	47

## Chapitre IV:

### Partie Electronique

IV.1. Introduction .....	49
IV.2 Arduino : .....	49
IV.3 Arduino MEGA:.....	50
IV.4 L'utilisation de l'Arduino Méga : .....	51
IV.5 RAMPS : .....	52
IV.6 Caractéristiques: .....	52
IV.7 DRIVER A4988 : .....	53
VI.7 Détail techniques sur le driver A4988 :.....	54
VI.9 Caractéristiques techniques sur les moteurs pas à pas .....	55
IV.10 Alimentation :.....	56
IV.10.1 Alimentation intégrée :.....	56
VI.11. Programmation :.....	57
VI.11.1 Le Grbl .....	57
IV.11.2 Logiciel cncjs .....	58
IV.12. Conclusion .....	58

## Liste de figures :

<b>Figure I.1(a) :</b> Fraiseuse conventionnel.....	4
<b>Figure I.1(b) :</b> Fraiseuse à commande numérique.....	4
<b>Figure I.2(a) :</b> Tour conventionnel (classique).....	5
<b>Figure I.2(b) :</b> Tour à commande numérique.....	5
<b>Figure I.3 :</b> Mouvements de coupe et d'avance de fraisage.....	5
<b>Figure I.4 :</b> mouvement de coupe et d'avance de tournage.....	6
<b>Figure I.5 :</b> Chaîne cinématique d'un tour conventionnel.....	7
<b>Figure I.6 :</b> chaîne cinématique d'une fraiseuse conventionnelle.....	8
<b>Figure II.1 :</b> cycle de vie d'un produit. ....	14
<b>Figure II.2 :</b> Le diagramme des activités décrivant le cycle de vie d'un produit.....	15
<b>Figure II.3 :</b> Diagramme FAST .....	
<b>Figure II.4 :</b> Les 3types de machine CNC à 5axes.....	17
<b>Figure II.5 :</b> Schémas de fonctionnement de la machine.....	19
<b>Figure II.6 :</b> Système de guidage à galets. ....	20
<b>Figure II.7:</b> Module de guidage parallèle.....	21
<b>Figure II.8 :</b> modèle de rails de guidage.....	21
<b>Figure II.9 :</b> Système de transmission par courroie.....	22
<b>Figure II.10 :</b> Chaîne à rouleaux.....	22
<b>Figure II.11:</b> Vis à billes. ....	23
<b>Figure II.12 :</b> vis trapézoïdale.....	23
<b>Figure II.13 :</b> vis de fixation.....	25
<b>Figure II.14 :</b> Roulement.....	26
<b>Figure II.15 :</b> Accouplement semi-élastique.....	26
<b>Figure II.16 :</b> Schémas cinématique de la machine.....	27
<b>Figure III.1 :</b> Les spécifications de la machine.....	31

<b>Figure III.2</b> : les solutions proposées.....	32
<b>Figure III.3</b> : vue de l'axe des Z de la machine.....	34
<b>Figure III.4</b> : Catalogue du moteur pas à pas Nema 23.....	38
<b>Figure III.5</b> : vue de l'axe des X de la machine.....	38
<b>Figure III.6</b> : Vue de l'axe des Y de la machine.....	40
<b>Figure III.7</b> : vue de quatrième axe de la machine « axe a ».....	40
<b>Figure III.8</b> : Catalogue de moteur pas à pas Nema 34.....	48
<b>Figure III.9</b> : Vue globale du quatrième et cinquième axes de la machine.....	49
<b>Figure IV.1</b> : Les différents modèles des cartes Arduino.....	51
<b>Figure IV.2</b> : Arduino Méga 2560.....	52
<b>Figure IV.3</b> : Schémas explicatifs de driver A4988.....	56
<b>Figure IV.4</b> : Moteur pas à pas Nema23.....	57
<b>Figure IV.5</b> : Les trois types des de câblage.....	57
<b>Figure IV.6</b> : Alimentation.....	58
<b>Figure IV.7</b> : Le Grbl.....	59
<b>Figure IV.8</b> : Un capteur de encjs au cours d'exécution .....	60

## Liste des tableaux :

<b>Tableau II.1</b> : Comparaison entre les types des machines CNC à 5 axes.....	18
<b>Tableau II.2</b> : Comparaison des systèmes de transmission de mouvement .....	24
<b>Tableau III.1</b> : Tableau des masses utilisé dans la conception.....	33
<b>Tableau III.2</b> : Vitesse de coupe pour différents matériaux(m/mm).....	42
<b>Tableau III.3</b> : Poulie de distribution HTD taper <<Phosphées>> type 8M30.....	43
<b>Tableau III.4</b> : Pression spécifique de coupe $K_c$ en Mpa.....	46

# Introduction Général

Une CNC (computer numerical control) est une machine-outil permet d'effectuer plusieurs opération (fraisage, tournage, rectification, perçage...etc.). ces opération sont faits par un opérateur qui fait des gestes précis et répétitifs (méthode classique). Dans le cas d'une machine CNC ces opérations seront commandées par un ordinateur ou un dispositif numérique (méthode numérique).

Dans les deux méthodes la pièce usiné doit être passé par plusieurs opération et chaqu'une est automatiquement s'effectuer dans leur machine (fraisage sur la fraiseuse, tournage au niveau de tour, le perçage sur la perceuse...etc.).

Donc la problématique résume en générale par le temps d'usinage, la précision, et la faisabilité de réalisation des pièces complexe .pour cette raison j'ai décidé de faire une conception d'une machine CNC à 5 axes qui combine deux machine en même temps (tour plus fraiseuse) ; sous un design très simple réalisable, qui permet d'usiné les pièces simples et compliqué par plusieurs opération dans une seul machine dans une période courte.

Le présent travail consiste à étudier la conception de la machine et la dimensionné.

-Dans le premier chapitre, il y a une introduction sur l'usinage par enlèvement de la matière, on va définir les machines CNC, une comparaison entre les machines-outils CNC et conventionnels.

-Le deuxième chapitre présente l'analyse fonctionnelle de notre machine avec son cahier de charge, les composants utilisé dans la conception.

-Le troisième chapitre consiste l'étude de la machine le dimensionnements de ses éléments.

- Et finalement une conclusion général sur les résultats.

# **Chapitre I :**

# **Généralités**

## I.1 Introduction :

Avant l'évolution de la technologie, les techniques de coupe des métaux s'effectuaient avec des outils à main très simples dont certains se sont conservés jusqu'à nos jours sans changement important (lime d'ajusteur, pointe de graveur, scie, burin).

Aujourd'hui l'effort musculaire se trouve évincé par le travail des machines spéciales dites machines-outils (tour, fraiseuse, perceuse, rectifieuse, MOCN, ...etc.).

On trouve trois types des machines-outils [1]:

- Machine-outil conventionnel (classique).
- Machine NC (numerical control).
- Machine CNC (computerized numerical control).

Dans ce chapitre nous présenterons :

- Généralités sur l'usinage par enlèvement de la matière.
- Machine-outil.
- Classification.
- Type des machines-outils.
- Différence entre conventionnel et CNC.
- Avantages de CNC.
- Inconvénients de CNC.
- Conclusion.

## I.2 Généralités sur l'usinage par enlèvement de la matière :

L'usinage par enlèvement de la matière est un procédé de fabrication des pièces mécaniques. Le principe de l'usinage est d'enlever de la matière de façon à donner à la pièce brute la forme et les dimensions voulues, à l'aide d'une machine-outil. Par cette technique, on obtient des pièces d'une grande précision.

Ils existent plusieurs procédés d'usinage, notamment :

- L'usinage par déformation : comme le forgeage, le thermoformage, le pliage
- Les usinages par découpage : découpe laser, oxycoupage,
- Et enfin les usinages par enlèvement de matière : tournage, fraisage, électroérosion. [2]

Dans ce travail, on traite les procédés par enlèvement de matière, particulièrement le tournage et fraisage.

L'usinage d'une pièce est la modification de sa forme par l'action d'une machine à l'aide d'un outillage. Donc chaque usinage met en relation entre ces trois éléments : Machine, pièce et outil.

La pièce et l'outil sont fixés sur la machine grâce au porte-pièce et au porte-outil.

Pour usiner une pièce, l'outil doit se déplacer par rapport à la pièce. C'est la machine qui se charge d'assurer la bonne coordination entre les vitesses et les trajectoires de l'outil et de la pièce. Tout mouvement d'un élément d'une machine-outil (MO) s'inscrit dans un repère orthonormé à trois dimensions. On distingue 2 types de mouvement [2] :

- **Mouvement de coupe** : le mouvement de la partie qui fait l'action de coupage (dans le fraisage est mouvement de l'outil, et dans le tournage c'est le mouvement de la pièce)
- **Mouvement de l'avance** : c'est le mouvement de la partie qui fait le déplacement (dans le tournage l'outil qui déplace, et dans le fraisage c'est la pièce qui déplace).

## I.3 Classification [3]:

Les machines-outils sont classées en deux catégories :

- Les machines de Fraisage (Figure I.1 (a) et Figure I.2(b)): l'outil tourne, la pièce se déplace par rapport à l'outil. Cela permet de réaliser des pièces de forme plane.



**Figure I.1(a) :** Fraiseuse conventionnel **Figure I.2(b) :** Fraiseuse à commande numérique

- Les machines de Tournage (Figure I.3 (a) et Figure I.4 (b)) : la pièce tourne, l'outil se déplace par rapport à la pièce : pour réaliser des pièces de révolution



**Figure I.3(a) :** Tour conventionnel (classique) **Figure I.4(b) :** Tour à commande numérique

Bien entendu, des industriels fabriquent des tours, où les outils peuvent tourner, ou des centres de fraisage où les pièces peuvent être entraînés en rotation... ce sont des machines hybrides, mixtes, ou machine multi-axes.

### I.3.1 Fraisage (sur une fraiseuse classique ou à commande numérique) :

En fraisage, le mouvement de coupe ( $M_c$ ) est obtenu par rotation de l'outil (la fraise), tandis que le mouvement d'avance est obtenu par le déplacement ( $M_a$ ) de la pièce maintenue dans un étau (Figure I.5). Le fraisage classique permet principalement d'obtenir des formes prismatiques, mais le fraisage par CNC permet d'obtenir des formes pouvant être très complexe.

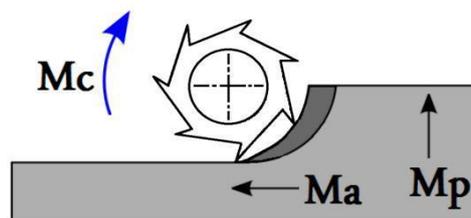


Figure I.5: Mouvements de coupe et d'avance de fraisage

### I.3.2 Tournage (sur un tour classique ou à commande numérique) :

En tournage, le mouvement de coupe ( $M_c$ ) est obtenu par rotation de la pièce serrée entre les mors d'un mandrin ou dans une pince spécifique, tandis que le mouvement d'avance ( $M_a$ ) est obtenu par le déplacement de l'outil coupant. Le tournage permet principalement d'obtenir des formes de révolution autour de l'axe de rotation de la pièce (Figure I.6).

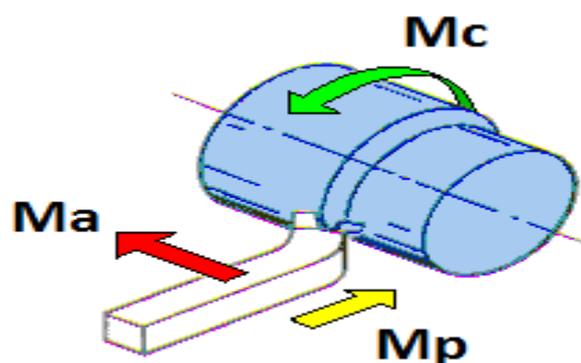


Figure I.6: mouvement de coupe et d'avance de tournage

## I.4 Machines-outils :

Une machine-outil est un équipement mécanique destiné à exécuter un usinage, ou autre tâche répétitive, avec une précision et une puissance adaptées. 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.

## I.5 Différence entre MO conventionnel et CNC :

### I.5.1 Machines-outils conventionnels [4]:

Les machines conventionnelles sont les machines classiques où l'usinage est réalisé manuellement.

Pour générer une ou plusieurs surfaces élémentaires, il est nécessaire de combiner deux mouvements générateurs :

- **Le mouvement de coupe  $M_c$**
- **Le mouvement d'avance  $M_a$**

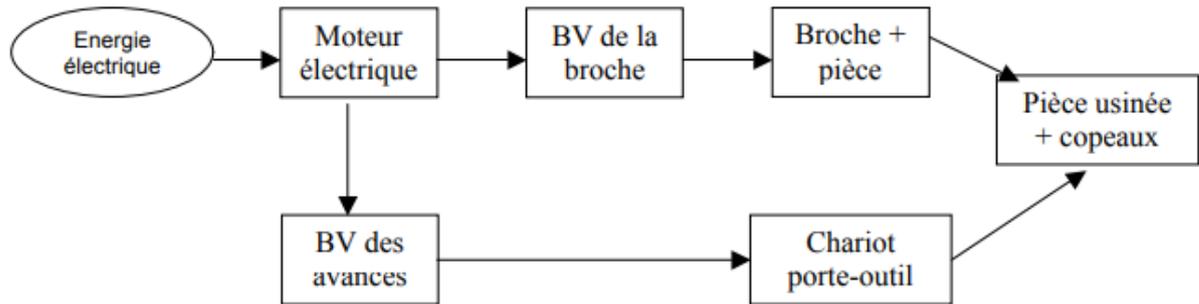
Les principales caractéristiques pouvant être associées à chacun de ces mouvements :

- **La vitesse** (donnée cinématique essentielle réglable à partir de la boîte de vitesse).
- **La trajectoire rectiligne ou circulaire.**
- **La direction et le sens du déplacement.**

#### ❖ **Tour conventionnel :**

C'est une opération qui permet, par coupe de métal à l'aide d'un outil à tranchant unique, la réalisation des surfaces de révolution intérieures ou extérieures, sur une machine-outil appelée TOUR. Les usinages sont réalisés à partir de la combinaison de deux mouvements :

- un mouvement de rotation de la pièce appelé mouvement de coupe ( $M_c$ ). Il s'exprime en tour / minute (tr/min) : c'est la fréquence de rotation ( $n$ ).
- un déplacement rectiligne de l'outil appelé mouvement d'avance ( $M_f$ ). Il s'exprime en millimètre / minute (mm/min) : c'est la vitesse d'avance. [4]



**Figure I.7:** Chaîne cinématique d'un tour conventionnel.

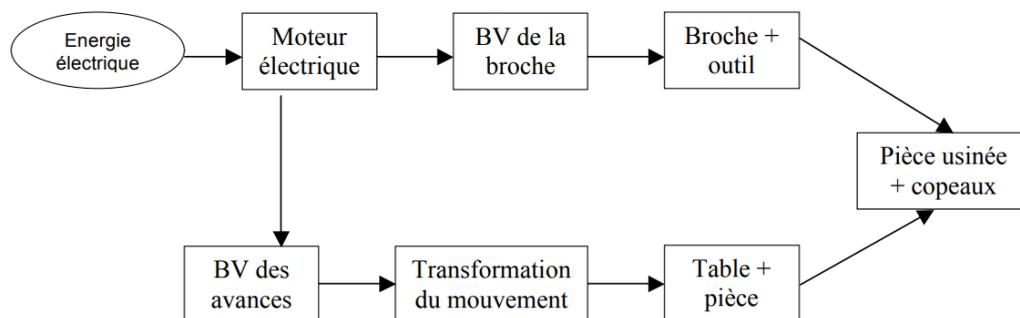
### ❖ Fraiseuse conventionnel :

Le fraisage est un procédé d'usinage, permettant l'obtention de formes géométriques qui peuvent être :

- des surfaces géométriques simples (principalement des plans).
- des associations de surfaces géométriques simples (rainure, épaulement, ...).

Ces usinages sont réalisés à partir de la combinaison de deux mouvements :

- un mouvement de rotation de l'outil (fraise) appelé mouvement de coupe ( $M_c$ ). Il s'exprime en tour / minute (tr/min) : c'est la fréquence de rotation ( $n$ ).
- un déplacement rectiligne de la pièce appelé mouvement d'avance ( $M_a$ ). Il s'exprime en millimètre / minute (mm/min) : c'est la vitesse d'avance. [4]



**Figure I.8:** chaîne cinématique d'une fraiseuse conventionnelle

## I.5.2 Machine CNC[5] :

L'usinage par commande numérique (CNC) par ordinateur est un processus utilisé principalement par les fabricants pour produire des pièces, des produits et des articles usinés. Les machines CNC sont ce qui accomplit le processus.

Les premières machines CNC ont été développées par l'US Air Force dans les années 40. Les premières machines utilisaient la technologie du papier perforé comme pilote, et celle-ci est devenue le logiciel numérique d'aujourd'hui. L'usinage CNC est rapidement devenu populaire en raison de sa capacité à produire des résultats ultra-précis en grande quantité dans de nombreuses applications. L'aspect informatisé de l'usinage CNC donne des résultats détaillés et cohérents.

Une machine CNC est une machine qui utilise le contrôle numérique par ordinateur sur des machines-outils comme les tours, les toupies, les rectifieuses, ou les fraiseuses. Le contrôle numérique par ordinateur est différent des PC typiques par le type de logiciel utilisé pour contrôler la machine, qui est spécialement personnalisé et programmé avec G-Code un langage machine CNC spécifique qui permet un contrôle précis de fonctionnalités telles que la vitesse, l'emplacement, la coordination et la vitesse d'avance.

Des logiciels spécialisés pilotent l'usinage informatisé. Le logiciel a personnalisé le code G, le langage qui permet de contrôler précisément la coordination, la vitesse d'avance, l'emplacement et la vitesse. Le logiciel infusé de code G se trouve dans un ordinateur qui ressemble à un bureau sophistiqué.

Un programmeur à la console peut commander un travail sur machine qui serait l'équivalent de plusieurs opérateurs sur tours, rectifieuses, routeur, fraiseuses et façonneuses. La méthode d'usinage automatisée et informatisée peut atteindre des portées, des prises et d'autres actions que les opérateurs humains et les machines conventionnelles ne font généralement pas efficacement.

La fabrication trouve que l'usinage CNC est particulièrement utile car l'industrie a besoin de grandes quantités de pièces métalliques et plastiques, souvent sous des formes complexes. Une variété de machines CNC offrent l'avantage d'avoir plusieurs axes qui peuvent s'adapter aux angles difficiles et aider à gérer les matériaux difficiles à couper.

Les machines de base ont un outil de coupe le long des axes X et Y qui peuvent chacun travailler indépendamment, mais simultanément. Les machines avancées peuvent avoir jusqu'à cinq axes qui fonctionnent de manière similaire et ont la capacité de tourner et retourner la pièce. Par exemple, l'axe Z se déplace de haut en bas.

La programmation dans les machines CNC incorpore tous les mouvements exigeants et à grande vitesse nécessaires pour produire l'objet, et elle permet une personnalisation détaillée.

L'usinage CNC devient de plus en plus populaire comme moyen de fabriquer des pièces métalliques ainsi que des pièces en plastique, car il permet au fabricant de produire des formes complexes qu'il serait presque impossible de créer manuellement. De nombreuses industries, en particulier les fabricants, se tournent vers les avantages de l'usinage CNC pour les solutions de production impliquant le métal et le plastique et tout nombre de processus d'usinage dont ils peuvent avoir besoin. [5]

## **I.6 Comparaison entre machine-outil CNC et conventionnel :**

L'usinage CNC et l'usinage conventionnel visent à atteindre le même objectif, et tous deux commencent avec un morceau brut de métal ou de plastique et le façonnent en une pièce. La différence la plus fondamentale entre les deux est l'automatisation de la CNC par rapport à la nature manuelle du conventionnel. La vitesse, le taux de production et la précision sont quelques-uns des principaux avantages de l'usinage CNC par rapport à l'usinage conventionnel.

Avec CNC, un logiciel de programmes d'employés qualifiés pour couper la pièce. Avec le conventionnel, un employé qualifié prend toutes les mesures pour configurer et utiliser la machine. Dans la situation manuelle, un opérateur hautement qualifié doit également régler les engrenages, tandis que l'usinage CNC n'utilise pas d'engrenages.

Le conventionnel coûte généralement moins cher et est utilisé pour des projets en petite quantité. L'usinage CNC est normalement utilisé pour de grandes quantités et n'est pas aussi rentable pour les plus petites.

L'une des premières choses à se produire avec l'usinage CNC est l'utilisation d'un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) pour produire un modèle bidimensionnel ou tridimensionnel du composant final. L'image prototype de ce composant est ensuite introduite dans le logiciel, qui fonctionne via l'ordinateur pour commander aux outils d'usinage de produire des articles identiques au modèle.

Une fois que l'ordinateur a chargé une nouvelle image pour l'usinage CNC, il peut tirer ce modèle encore et encore pour produire plus de ce qu'il est, ce qui est un autre des avantages de la machine CNC. La technologie est conçue pour atteindre une précision d'usinage de 0.001.

## I.6.1 Avantages de CNC :

Les machines CNC ont plusieurs avantages, parmi ces avantages :

- Composants de précision.
- Haute production et évolutivité.
- Plus de capacité.
- Moins de main-d'œuvre.
- Produit uniforme.
- Coûts réduits.
- Moins de maux de tête.
- Meilleure sécurité.
- Conservation de la conception.
- Faible maintenance.
- Polyvalence.

## I.6.2 Inconvénients de CNC :

L'usinage CNC ne sera pas l'option la moins chère, ce que vous pouvez initialement voir comme un inconvénient. Cependant, le coût est un investissement dans des économies à long terme, l'efficacité, la fidélisation de la clientèle et une réputation de qualité et de fiabilité.

Dans un premier temps, il vous en coûtera plus cher d'avoir des services CNC pour vous. De nombreuses entreprises comptent sur un fournisseur de confiance pour faire leurs services d'usinage CNC pour eux, ce qui fonctionne bien pour de nombreuses entreprises dans de nombreux secteurs. Le premier cycle de production sera plus cher que les suivants.

Un autre inconvénient que certains machinistes perçoivent avec la méthode CNC est qu'elle vise à rendre obsolètes les compétences conventionnelles manuelles. Avec eux, les compétences en mathématiques et en sciences développées par ceux qui apprennent pendant des années à utiliser des tours, des usines, des perceuses et plus encore à la main.

Alors que l'usinage CNC a créé d'énormes opportunités pour toutes sortes d'entreprises, il a également conduit à un usinage moins conventionnel et, finalement, à un certain chômage. Cependant, la plupart des experts ne conviennent pas que les compétences manuelles deviendront obsolètes. En fait, certains pensent que l'usinage conventionnel prospérera grâce à de petits projets spécialisés.

## I.7 Conclusion :

L'apparition des systèmes CNC a changé le monde des machines, les machines aujourd'hui sont plus précises, usinées des tâches plus complexes, plus flexibles, sécurisées, productive est plus rapide.

# **Chapitre II :**

# **Analyse fonctionnel**

### II.1. Introduction\_ :

La réalisation d'une CNC est très compliquée et coûteuse. Ce chapitre a pour objectifs principales de décrire les différentes composantes de la CNC et leurs principes de fonctionnement.

Cette description se fera comme suivant :

- Analyse fonctionnel de la machine
- FAST description partiel de la machine
- Recherche des solutions.
- Evaluer les solutions choisis.
- Description de fonctionnement de la machine

## II.2. Analyse fonctionnel de la machine [6] :

Pour aboutir le dossier « avant-projet » à partir du C.D.C.F (cahier des charges fonctionnel) d'un produit, il faut passer par l'étape (ou l'activité) concevoir du diagramme des activités (figure II.2) décrivant le cycle de vie d'un produit (figure II.1). Celle-ci se décompose et se structure selon les phases suivantes :

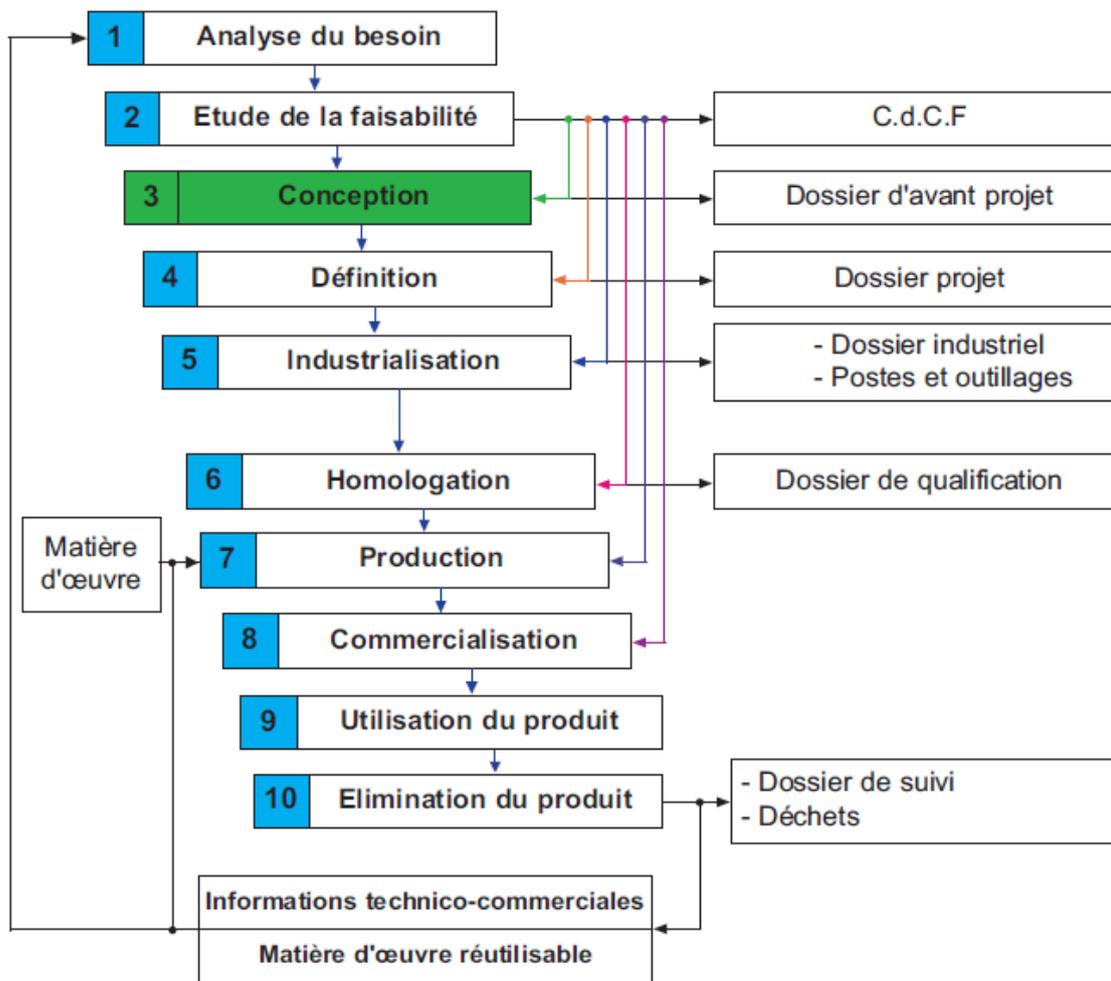
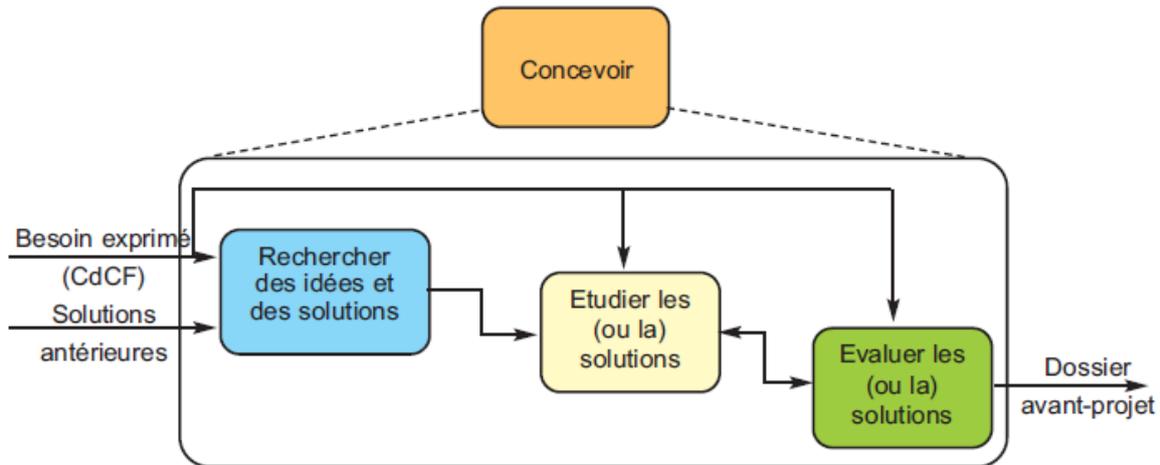


Figure II.1 : cycle de vie d'un produit. [6]



**Figure II.2 :** Le diagramme des activités décrivant le cycle de vie d'un produit.[6]

## II.2.1 Recherche des idées et des solutions :

Cette phase importante nous fait appel aux outils de créativité ; elle a pour objectif de recenser le maximum de solutions possibles.

Sachant que le problème est globalement complexe d'une part, et que le produit est conçu pour assurer des services à l'utilisateur, il est de loin préférable de raisonner fonction par fonction, c'est-à-dire :

- On a recherché le maximum de solutions possibles permettant de satisfaire chacune des fonctions de service.

- On ne figer aucune solution avant d'analyser toutes les fonctions.

- On a Combiné toutes les solutions.

Et pour rechercher le maximum de solution on a utilisé le diagramme F.A.S.T (Fonction d'Analyse de Système Technique) (figure II.3) [6]

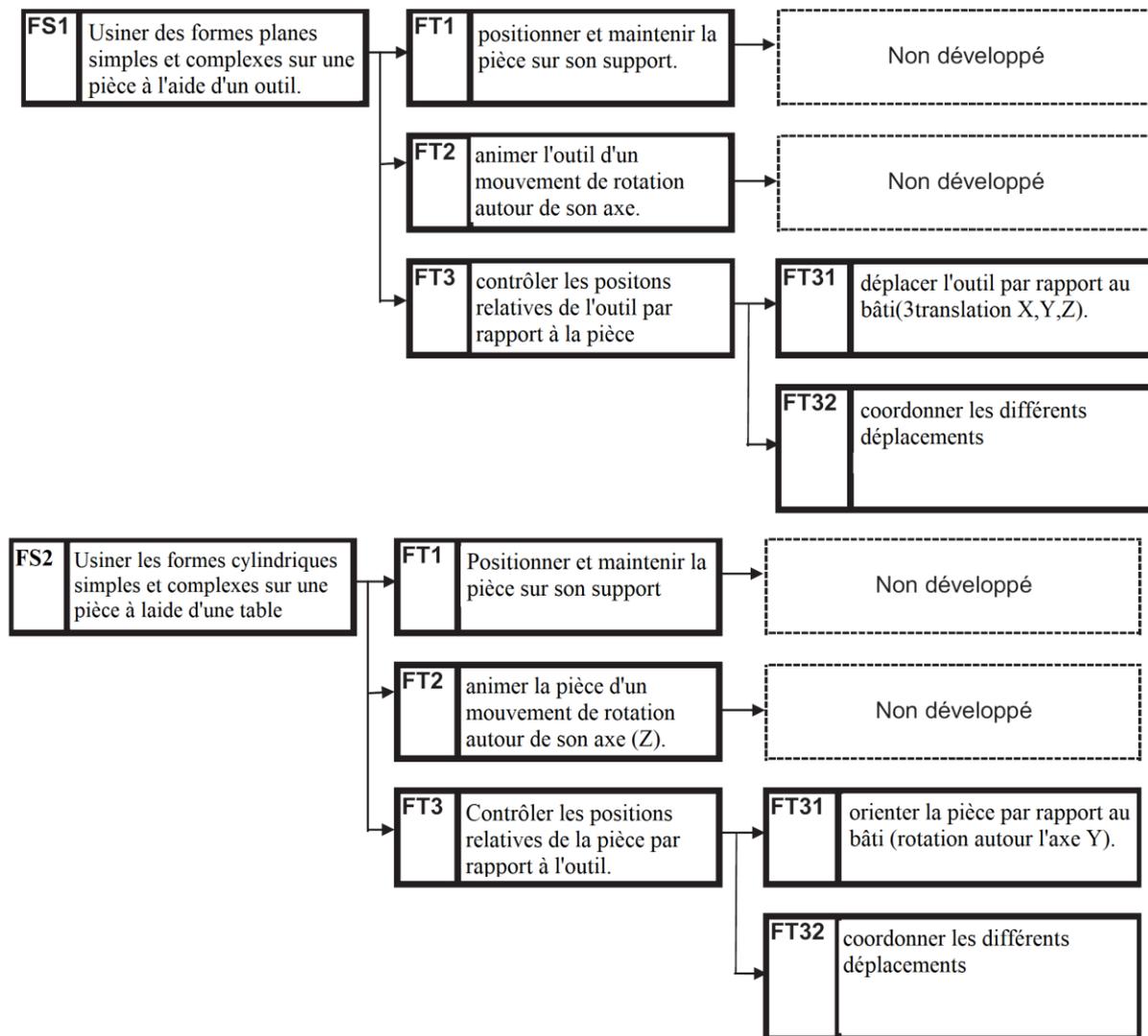


Figure II.3 : Diagramme FAST [6]

### II. 3 .FAST Descriptif partiel de la machine:

L'objectif de cette machine est l'usinage des pièces planes ou cylindriques, de forme simples ou complexes de manière très rapide, avec un excellent état de surface avec moins d'efforts et plus de lucre.

#### II.3.1 Description de la fonction FS1[6] :

FS1 présente une partie de la machine ; inspiré par les fraiseuses CNC à 3 axes ; ça conception est destinée spécialement pour l'usinage des pièces planes des formes simples ou compliqué. Elle est basé sur un bâti supportant 3 mouvement de translation suivant l'axe X (pour les supports de la machine), suivant l'axe des Y (pour porte broche) et suivant l'axe des Z (pour la broche).

Un dispositif de mise en rotation de l'outil autour de son axe géométrique par rapport au bâti. Cette rotation générant le mouvement de coupe ne sera pas étudiée.

### II.3.2 Description de la fonction FS2 [6]:

La fonction FS2 est une idée déjà existé, c'est une table qui a l'option de tourner autour l'axe des X ou bien l'axe des Y, cette dernière porte un mandrin qui fait une rotation autour de son axe Z.

### II.4 Recherche des solutions :

Dans cette phase après les recherches qu'on a déjà faites on a trouvé qu'il existe 3 types de machines CNC à 5 axes

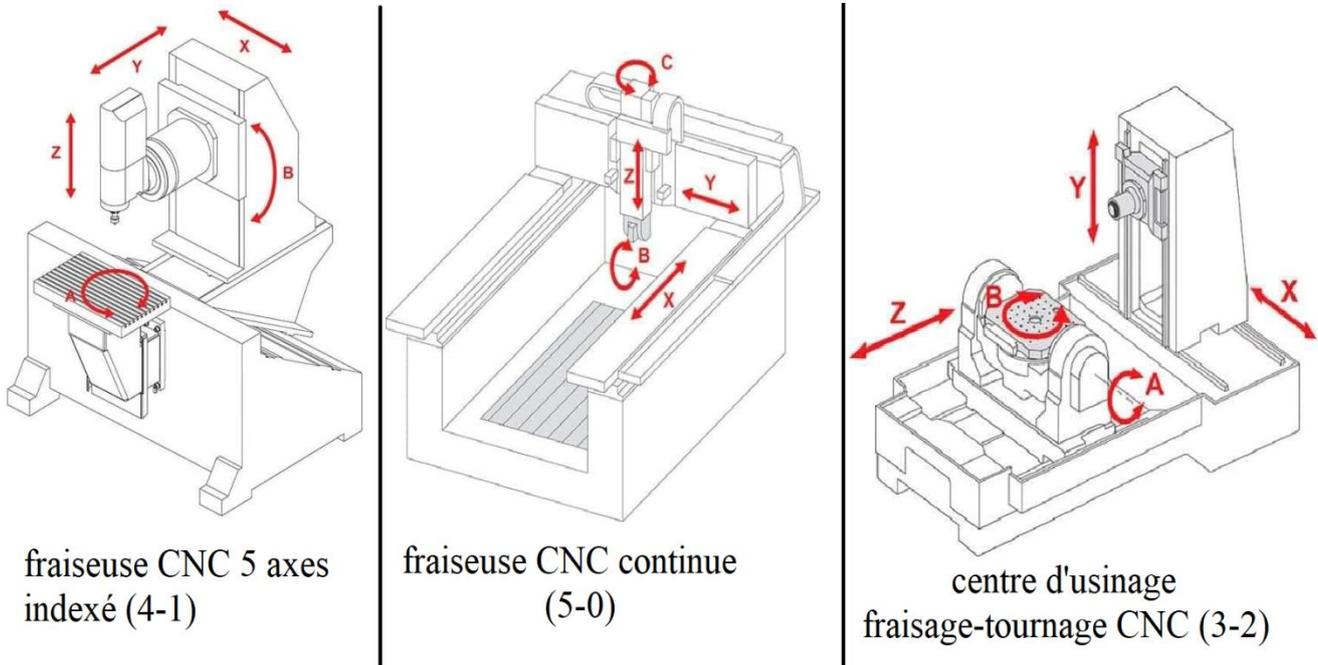


Figure II.4 : Les 3types de machine CNC à 5axes

On a étudié chaque type ; et nous avons trouvé que Chacune de ces machines ont des avantages et des inconvénients sont :

Fraiseuse CNC 5 axes indexé (4-1)	Fraiseuse CNC continue (5-0)	Centre d'usinage fraisage- tournage CNC (3-2)
<p><b>Avantage :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-l'outil se déplace selon 3 axes de translation et s'articule par rapport un axe de rotation.</li> <li>-la table fait le mouvement de rotation suivant un seul axe (c'est le 5ème axe).</li> <li>-élimination de l'intervention de l'opérateur et repositionnement manuel.</li> <li>-usinage des pièces avec des fonctionnalités qui ne s'alignent pas avec l'un des axes principaux avec une précision plus élevée.</li> </ul> <p><b>Inconvénient :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-un prix plus élevé par rapport à la machine CNC 3-2.</li> <li>-ne peut pas à produire les contours des surfaces très précis.</li> </ul>	<p><b>Avantage:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-l'outil bénéficié de 5 degré de liberté permettre le déplacement selon 3 axes de translation et 2 axes de rotation.</li> <li>- l'outil peut déplace sur les 5 axes simultanément pendant l'usinage.</li> <li>-usinage des pièces complexes avec haute précision.</li> <li>-usinage des surfaces organiques avec marques d'usinage minimal (excellente état de surface.</li> </ul> <p><b>Inconvénient :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-c'est la plus cher parmi tous les machines CNC.</li> <li>- Tous les contraintes s'appliquent toujours sur le porte-outil.</li> </ul>	<p><b>Avantage :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-dans ce cas l'outil se déplace selon 3 axes de translation et bénéficié de 2 axes d rotation pour un ensemble d'une table et un mandrin.</li> <li>-usine des pièces de forme cylindrique et de forme plane.</li> <li>-haute productivité d'un tour CNC et géométrie flexible d'une fraiseuse CNC.</li> <li>-c'est la moins cher parmi tous les machines CNC à 5 axes.</li> <li>- elle a les avantages d'une fraiseuse CNC plus les avantages d'un tour CNC</li> </ul> <p><b>Inconvénient :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-les contraintes s'appliquent sur le porte outil toujours.</li> </ul>

**Tableau II.1 :** comparaison entre les types de machine CNC à 5 axes

Et d'après l'étude de ces types on a choisi le centre d'usinage fraisage-tournage CNC 5 axes.

### II.5 Evaluer la solution choisie :

D'après l'étude de ces types on a choisi le centre d'usinage fraisage-tournage CNC 5 axes.

Le centre d'usinage « 5axes » étudié, permet l'obtention de formes complexes et simples.

Il est constitué d'un bâti supportant :

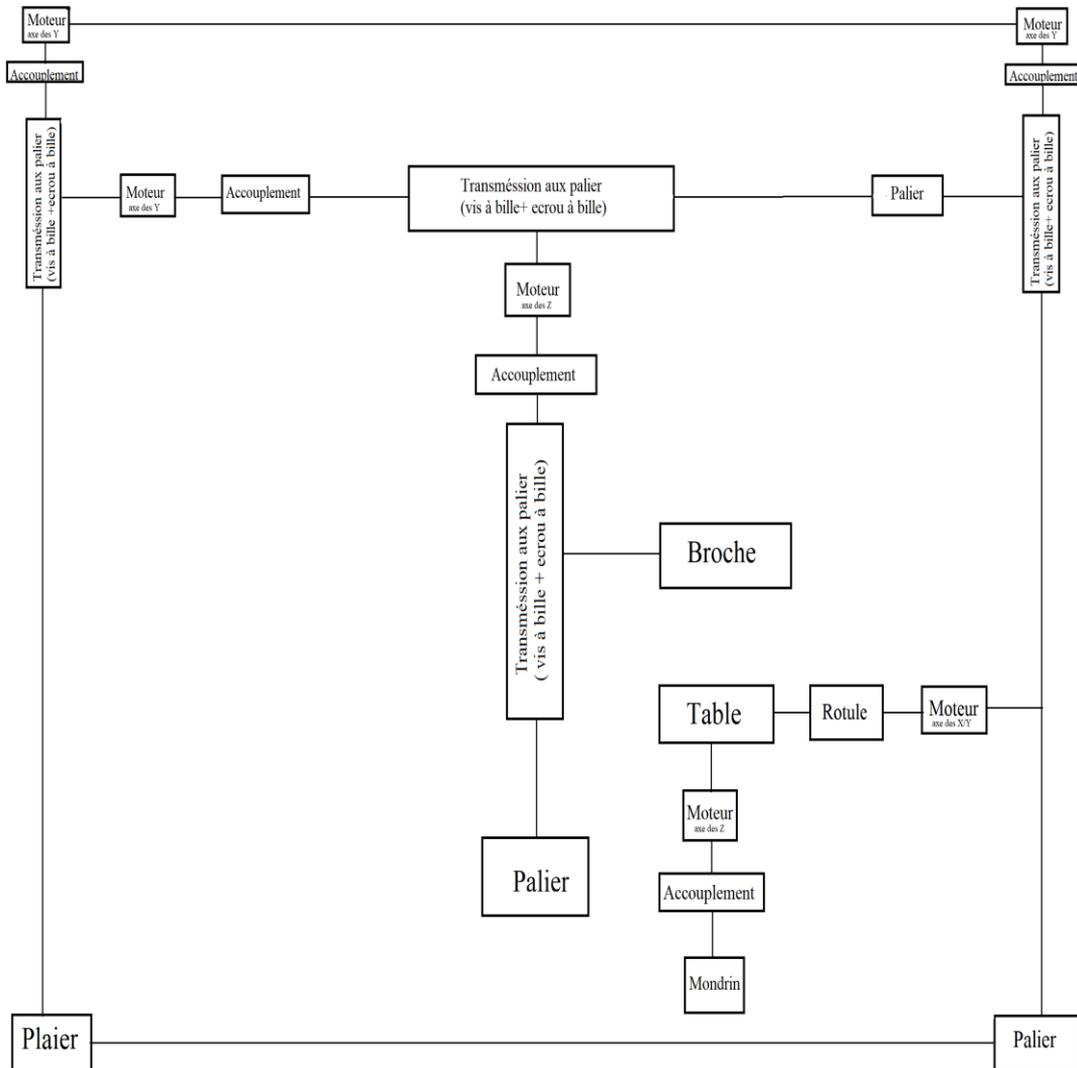
-3 « axes » pour la mise en mouvement de l'outil par rapport au bâti. Ces 3 translations sont notées « X » et « Y » et « Z ».

-2 « axes » pour la mise en mouvement de la pièce par rapport au bâti. Ces 2 rotations sont notées « Y » et « Z ».

Ce type de machine que nous avons choisis est exactement ce que nous voulons, il répond à nos besoin, il est pratique, facile à travailler, a un design simple qui rend sa construction très facile.

### **II.6 description de fonctionnement de la machine :**

Pour connaître la conception de la machine et son fonctionnement, il faut consulter le schéma de fonctionnement (figure II.4) puis le schéma cinématique de la machine (figure II.16).



**Figure II.5 :** Schémas de fonctionnement de la machine.

## II.6.1 Principe de fonctionnement :

La fonction de cet appareil est d'usiner les pièces. Elle est constituée de deux parties ; une pour les pièces planes (en aluminium, bois, plastique...etc.), et l'autre pour les pièces cylindriques (en aluminium, bois, plastique...etc.) Quel que soit les formes des pièces à usinées.

Dans le cas d'usinage d'une pièce plane, l'utilisateur fixant la pièce sur la table (dans ce cas on utilisant 3axes seulement), référencer l'outil, et lancer le programme. Mais dans le cas d'une pièce cylindrique il doit premièrement placer la table qui constitué le mandrin sur la table (bâti) puis fixé la pièce sur le mandrin ; référencer l'outil et lancer le programme.

### II.7 Système de guidage :

#### II.7.1 Système de guidage à galets [7]:

Dans le cas d'une glissière frottement chargé, il suffit pour réduire le frottement d'intercaler entre les surfaces de guidage des éléments roulants.

Généralement le système de guidage à galets associe un chariot à quatre galets de roulements et un rail en alliage léger. Le rail comporte deux arbres en acier C55 ou en acier inoxydable trempé et rectifié. [7]

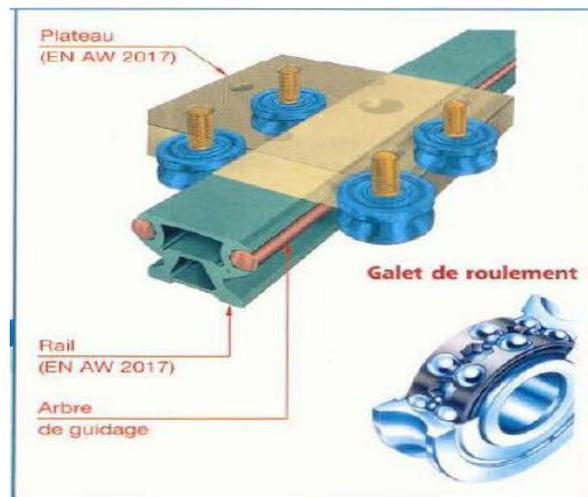
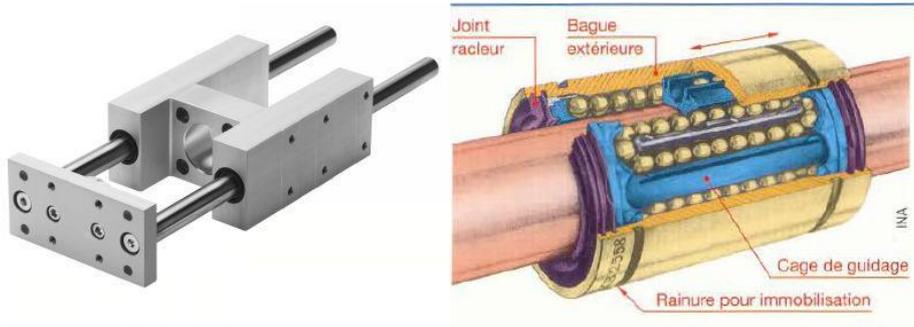


Figure II.6 : Système de guidage à galets. [7]

#### II.7.2 Douilles à billes :

Il s'agit de tige lisse. C'est à dire qu'ils ne tournent pas Permettent des fonctionnements sans jeux, améliorent la Valeur du coefficient de frottement de 0,001 à 0,005. Utilisées sur les machines-outils, robots, systèmes automatisés... Vitesse de déplacement 5 m/s. Economiques pour arbres lisses, ne supportent que des charges radiales. [8]



**Figure II .7:** Module de guidage parallèle.

### II.7.3 Rails de guidage :

Les guidages de type prismatiques (Figure II.7) associe des surfaces de contact planes ils sont utilisés dans la mécanique de précision (automation, dispositifs de contrôle et de mesure...) car ils sont caractérisés par une absence totale de jeu et ils possèdent un très faible coefficient de frottement (0,0005 à 0,003). Pour des vitesses de déplacement allant de 3 à 5 m/s. [8]



**Figure II.8:** modèle de rails de guidage.

### II.8 Système de transmission suivant les axes x, y, z :

#### II.8.1 Courroie :

Les courroies et les poulies permettent la transmission d'un mouvement de rotation d'un arbre Menant à un arbre mené relativement éloignés l'un de l'autre. Le glissement qui résulterait du fonctionnement d'une transmission par friction exclut les courroies plates ; seules les courroies crantées sont utilisées en robotique. [8]

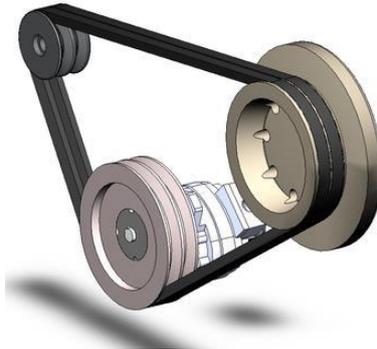


Figure II.9 : Système de transmission par courroie.

### II.8.2 Les chaînes à rouleaux :

Elles sont constituées d'une succession de deux types de maillons différents disposés alternativement, Les maillons intérieurs et les maillons extérieurs.

- Les maillons intérieurs sont formés de deux pièces tubulaires appelées douilles généralement en acier cémenté.
- Les maillons extérieurs sont formés de deux plaque dites extérieures en acier, traité ou non, reliées par deux axes généralement en acier cémenté ; ils sont rives ou fixes par tout autre moyen : goupilles, écrous, etc. [8]



Figure II.10 : Chaîne à rouleaux.

### II.8.3 Transmission par vis à bille :

Une vis à billes est un mécanisme assurant la conversion d'un mouvement de rotation en un Mouvement de translation (liaison hélicoïdale). C'est un équivalent du mécanisme vis-écrou, ou des billes sont intercalées entre les deux pièces (Figure II .11). La présence des billes permet de diminuer fortement le frottement qu'on rencontre dans un système vis-écrou simple. La vis à billes s'impose donc dans les cas :

- De transmission de puissance ;

- De mouvement de précision.

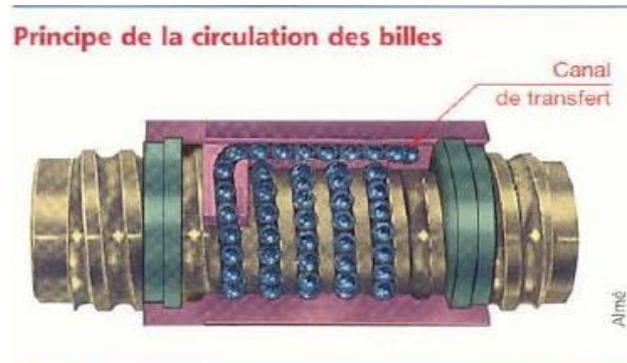


Figure II.11 : Vis à billes. [8]

### II.8.4 Transmission par vis trapézoïdale et écrou :

La vis trapézoïdale c'est une tige filetée, la tige filetée est en mécanique le composant mâle d'un système vis/écrou destiné à l'assemblage de pièces ou à la transformation de mouvement. Son complément, pièce femelle est l'écrou.

Cette tige comporte un noyau de section circulaire, avec sur sa périphérie un filetage forme générée par le balayage d'une section le long d'une hélice. La tige peut être réalisée en métal dans la plupart des cas. Elle peut aussi être en matière plastique dure pour les pièces de petite dimension (industrie de précision) ou ayant des contraintes techniques particulières (légèreté notamment). [7]



Figure II.12 : vis trapézoïdale.

### II.8.5 Comparaison des systèmes de transformations de mouvement :

Le tableau suivant présente les différents avantages et inconvénients de chaque type de transmission.

Système de transmission	Avantage	Inconvénient
Courroie	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Transmission mécanique flexible.</li> <li>-Transmission à grande vitesse.</li> <li>-Frais d'installation réduite, entretien facile.</li> <li>-Silencieuse et simple position éloignée des arbres.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Glissement</li> <li>-Sensibilité à l'huile.</li> </ul>
Chaîne	<ul style="list-style-type: none"> <li>-puissance transmise élevée à faible vitesse</li> <li>-position éloignée des arbres</li> <li>-utilisables dans des conditions (chocs, vibration)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-nécessité d'une lubrification</li> <li>-poids élevé</li> <li>-arbres parallèles seulement</li> </ul>
Vis à bille	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Rendement <math>90\% &lt; \mu &lt; 98\%</math></li> <li>-précision élevée</li> <li>-puissance transmise élevée</li> <li>-silencieux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Coût élevé</li> <li>-montage complexe</li> </ul>
Vis trapézoïdale et écrou	<ul style="list-style-type: none"> <li>-puissance transmise moyenne.</li> <li>-Coût normale.</li> <li>-montage facile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Rendement <math>\mu = 50\%</math></li> <li>-précision moyenne.</li> </ul>

**Tableau II.2 :** Comparaison des systèmes de transformation de mouvement

### II.9 Système de fixation :

#### II.9.1 Par vis :

La vis de fixation (Figure II.13) est un organe mécanique, comportant une tige filetée et une tête. Elle est destinée à la fixation d'une ou de plusieurs pièces par pression. La fixation par vis crée une liaison plane sur plan démontable, par placage précontraint des deux pièces à assembler. Tant que les efforts de traction appliqués sur la liaison n'excèdent pas la tension exercée au repos par les vis, l'assemblage bénéficie de la raideur des pièces assemblées. [8]

Ces avantages sont :

- Fixation très simple et fiable ;
- Bonne accessibilité pour le serrage.



Figure II.13 : vis de fixation

#### II.10. Le choix final des composants :

Après avoir étudié soigneusement les solutions proposées, en tenant compte des avantages et des inconvénients de chacune et en vue des moyens mis à notre disposition, on a choisi pour notre machine CNC :

- Une transmission de mouvement par système vis-écrou à billes pour les 3 axes.
- Une transmission de mouvement par système courroie.
- Un guidage par des rails de guidage.
- Un serrage par vis pour assurer une bonne fixation.
- Moteur pas à pas.

Le choix des composants est mécanique mais aussi un peu économique. On a pris en considération les besoins techniques du système ainsi que la capacité financière et matérielle. Les éléments ainsi choisis nous permettent d'assurer un fonctionnement idéal moyennant un coût de fabrication raisonnable.

### II.11. Autres composants :

#### II.11.1 Les roulements :

Utilisés pour les liaisons en rotation entre les vis à billes et les supports. Les roulements sont des organes qui ont pour fonction d'assurer une liaison mobile entre deux éléments d'un mécanisme en rotation. Les roulements sont soumis à des charges axiales, et radiales et à des vitesses de rotation maximum.



Figure II.14 : Roulement.

#### II.11.1.1 Avantage et inconvénients des roulements :

##### -Avantage :

Les billes remplacent les frottements par des roulements, chose qui offre donc un gain de puissance et par conséquent moins d'échauffements et donc moins d'usure.

##### - Inconvénients :

- L'encombrement est augmenté ;
- La prise est plus élevée qu'une liaison de conception moindre (palier lisse) ;
- Mise en œuvre plus complexe, la conception d'une telle liaison doit tenir compte de paramètres précis.

#### II.11.2. Accouplements semi-élastiques :

Pour la liaison en rotation entre les arbres moteurs et les vis trapézoïdales, on a utilisé des accouplements semi-élastiques. Ceux-ci permettent de rattraper de petits défauts d'alignement (typiquement les défauts d'usinage). Ces accouplements sont généralement constitués de deux parties rigides solidaires des arbres et d'une partie légèrement flexible qui rattrape les défauts d'alignement.



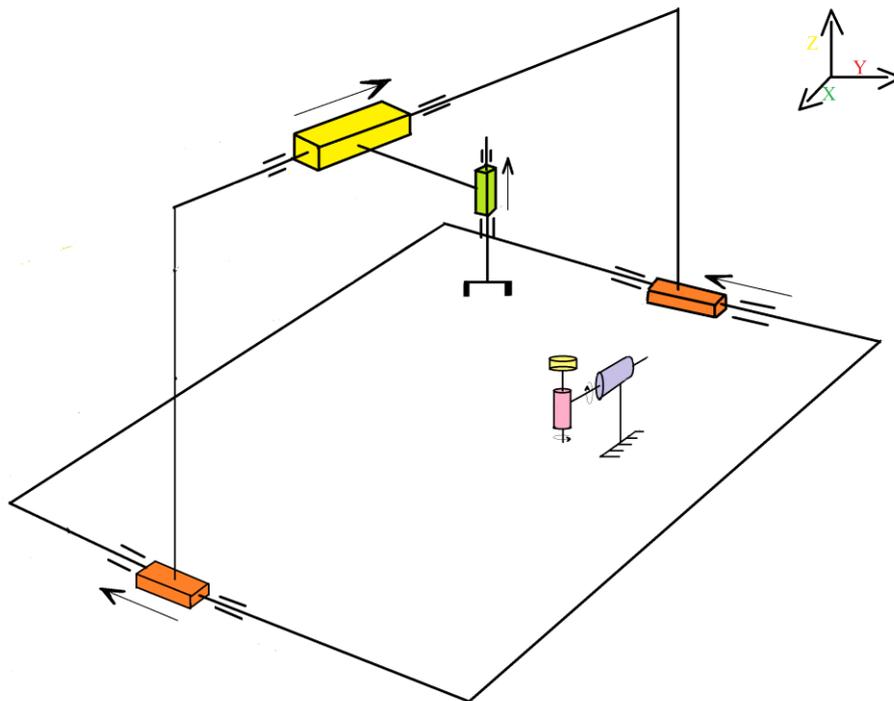
Figure II.15 : Accouplement semi-élastique

### II.12 Le choix de système de transmission de l'énergie final permettant le déplacement:

Pour le déplacement du support de la machine par rapport au bâti, le mouvement de translation suivant l'axe de  $s'X'$  est généré par un moteurs Nema pas à pas, ce dernier est lié avec un accouplement qui transmette le mouvement de rotation au vis à bille, la rotation de la vis se transforme en translation grâce à écrou à bille qui est fixé sur la porte broche, plus un système de guidage par des rails de guidage pour supporter les charges appliques et assurer la direction du mouvement.

La même méthode est utilisée pour le mouvement de translation du porte broche par rapport au bâti suivant l'axe de  $s'Y'$ .

Pour la broche on utilise la même méthode de transmission de l'énergie, un moteur pas à pas attaché avec un accouplement, ce dernier accorde le moteur avec un vis à bille et son écrou, ce système assure la translation suivant l'axe de  $s'Z'$ , et deux rails de guidage pour assure la translation et sa direction et supporte les charges appliques par la broche.



**Figure II.16 :** Schémas cinématique de la machine.

### II.13. Conclusion\_:

Ce type de machine que nous avons choisis est exactement ce que nous voulons, il répond à nos besoin, il est pratique, facile à travailler, a un design simple qui rend sa construction très facile.

Nous avons faits beaucoup de recherches et vu beaucoup de machines CNC, puis nous avons pris les plus bonne idées et les solutions créatives de chaque type, et nous avons trouvé ce concept que nous pensons qu'il est résistant et supportant tous les charges appliquées par la machines et cela ne coûte pas beaucoup d'argent comme les autres conceptions, puis nous avons fait notre propre design pour mettre notre touche.

# **Chapitre III :**

# **Etude et conception**

## III.1 Introduction :

Au siècle dernier, le développement électronique a beaucoup aidé le domaine mécanique, il rend tous les processus de réalisation d'un prototype beaucoup plus facile et très simple, surtout le côté de financement ; grâce à la disponibilité des ressources matérielles, comme les microcontrôleurs Arduino. Donc le développement et la réalisation d'un prototype CNC sont donc devenus très faciles et ne coûtent pas si cher. Alors on peut dire qu'en raison de ce développement électronique, l'aménagement d'une machine CNC et le temps de son prototypage considérablement réduit. Dans un autres sens, l'utilisation d'une machine CNC à 5axes basée sur un système de contrôle Arduino a rendu ce développement de cette machine beaucoup plus facile.

Dans ce chapitre notre travail est divisé en trois parties comme suit : La Partie électronique, la partie mécanique et la partie programmation ; et on termine par une conclusion.

### III.2 Cahier de charge :

Notre projet consiste une étude et conception d'une machine à commande numérique (fraiseuse +tour 5axes). Le projet s'inscrit dans le cadre d'un mémoire de fin d'étude.

Le cahier des charges décrit les spécifications du point de vue technique, économique et Opérationnel. Il exprime les exigences relatives au produit.

#### III.2.1 Fonction principale :

Notre machine a été étudié pour usiner des matériaux tendres comme l'aluminium, le bois, le plastique. Quel que soit la forme des pièces à usinée la machine peut le réaliser. La machine ne peut usiner les pièces en matière dure comme l'acier et la fonte... Etc.

#### III.2.2 Fonction partielle :

Il y a cinq fonctions partielles :

- guidage des axes (X, Y, Z).
- articulation des axes des Y.
- variations des coordonnées suivant les 5 axes.
- système de fixation des pièces.
- partie commande.

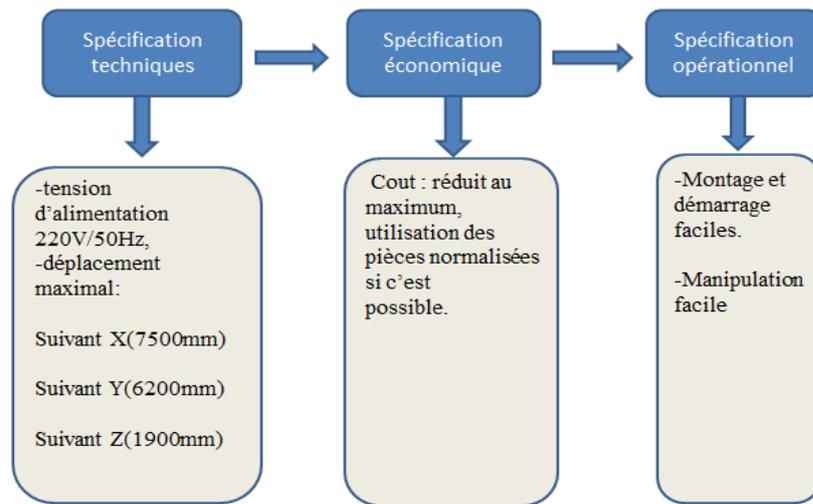


Figure III.1 : Les spécifications de la machine[5]

III.3 Variantes solutions proposées :

L’organigramme suivant présente les différentes solutions proposées pour accomplir les différentes fonctions de l’appareil.

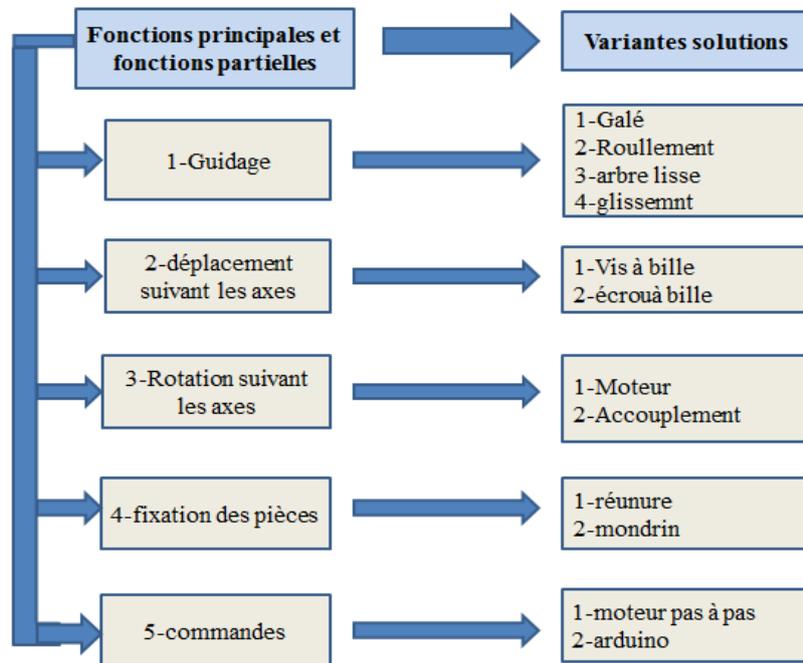


Figure III.2 : les solutions proposées [5]

III.4 Partie mécanique :

Le but de cette partie est de donner à notre machine sa dimension et les éléments

fonctionnels nécessaires de notre dispositif afin que nous puissions assurer la bonne fonctionnalité de notre appareil.

### III.5 Dimensionnement :

Les éléments fonctionnels de la machine à dimensionner sont :

-les vis à billes

-les roulements.

#### III.5.1 Détermination des masses :

avant d'étudier notre machine, nous devons d'abord calculer le poids de chaque élément, nous avons pris quelques éléments qui sont normalisés ; leur masses est tirées d'après des catalogues, le reste des éléments seront défini par la fonction « propriétés des masses » du logiciel SolidWorks.

Déplacement	Nom de pièce	Nombre de pièce	$m_i^{axe}$	La masse (Kg)
<b>Direction X</b>	-Tôle support système Z	1	$m_1^y$	-
	-Paliers	2	$m_2^x$	-
	-Vis à billes	1	$m_3^x$	-
	-Tube carré	2	$m_4^y$	-
	-Glissière	2	$m_4^x$	-
	-Moteur	1	$m_5^x$	-
<b>Direction Y</b>	-Support du système X,Z	2	$m_1^x$	-
	-paliers	2	$m_2^y$	-
	-Vis à billes	1	$m_3^y$	-
	-Glissières	2	$m_5^y$	-
	-Moteur	1	$m_6^y$	-

<b>Direction Z</b>	-Tôle support système Z	1	$m_1^z$	-
	-Tube carré	2	$m_2^z$	-
	-Glissière	2	$m_3^z$	-
	-Paliers	2	$m_4^z$	-
	-Vis écrou à bille	1	$m_5^z$	-
	-Tôle porte spindel	1	$m_6^z$	-
	-porte spindel	1	$m_7^z$	-
	-Moteur	1	$m_8^z$	-

Tableau III.1 : Tableau des masses utilisées dans la conception [5]

**III.5.2. Dimensionnements de la vis à billes suivants l'axe des Z[10] :**

Selon un guide de constructeur on a choisi une vis à billes :

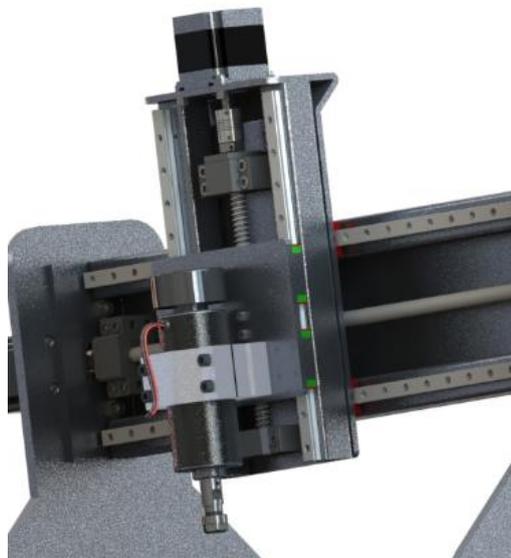


Figure III.3 : Vue de l'axe des Z

**III.5.2.1 Calcule de la charge maximale admissible  $F_{adm}$  :**

$$F_{adm} = \frac{C_{stat}}{F_s} \text{ (N)}$$

$C_{stat}$  : Charge statique.

$F_s$  : Coefficient de service (dans notre cas mode normale  $\approx 1-2$ ).

$$C_{stat} = 7.8 \times 10^3 \text{ N.}$$

On prend :

**III.5.2.2 Calcule force de flambage  $F_f$  :**

$$F_f = \frac{K_f}{S_f} \cdot \frac{d_2^4}{L_f^2} \cdot 10^3 \text{ (N).}$$

$K_f$  : Constante caractéristique du cas de charge (conditionné par la construction)

Dans notre as on prend  $K_f = 400$ .

$L_f$  : Longueur de la vis de transmission de force (mm).

$S_f$  : Facteur de sécurité contre le flambage (2— 4). On prend :

$d_2$  : Diamètre de noyau de la vis.

**III.5.2.3 Calcule de rendement  $\eta$  :**

$$\eta = \frac{\tan \alpha}{\tan(\alpha + p)} \quad [\%].$$

$p$  : Angle de frottement ( $0.30^\circ - 0.60^\circ$ )

On prend :

$$p = 0.30^\circ$$

$\alpha$  : angle de pas.

Ou l'on respectivement :

$$\tan \alpha \simeq \frac{P}{d_0 \cdot \pi}$$

Avec :

P : pas de filetage.

$d_0$  : Diamètre nominal de la vis (mm).

Alors :

$p$  : Angle de frottement (0.30°—0.60°)

On suppose

$$p = 0.30^\circ$$

Alors on obtient :

$$\eta = 0.95\%$$

### III.5.2.4 Calcule de couple d'entraînement $M_a$ :

Axe	Tôles/visserie	Moteurs/composants	Masse totale sur l'axe
Z	(support porte spindel)	Estimation maximale -	- Kg

L'axe doit déplacer une charge de X Kg c'est-à-dire une force de  $X \times 10N$ , d'où le couple nécessaire  $M_a$  :

$$M_a = \frac{F_a \times P}{2000 \times \pi \times \eta}$$

$M_a$  : Couple d'entraînement (N.m)

$F_a$  : La force axiale (N)

P : Le pas de la vis (mm).

$\eta$  : Le rendement.

Pour une majoration de sécurité de 40% on aura :  $M_a \times 1.4$

### Pendant la descente :

Pour déterminer un effort de coupe, nous devons avoir les conditions de coupe du matériau usiné, car chaque matière a sa propre paramètres d'usinage, parmi ces paramètres la vitesse de coupe, l'avance, vitesse d'avance..etc. dans notre cas notre machine destiné à usiné l'aluminium, et nous avons pris les résultats de l'expérience de Mm.jinna Qin comme un référence (1.2)

Pour une opération de surfacage suivant l'axe des « Y » et d'après les résultats (1.2)

$$F_c = N$$

$$M_a = \frac{F_c \times p}{2000 \times \pi \times \eta}$$

$$M_a = N.m$$

$$M_a = N.m + M_a = N.m$$

Pour une majoration de sécurité de 40% .

Pour des raisons de commande et disponibilité de matériel, le choix final des moteurs pour l'axe Z est : moteur pas à pas Nema 23 M1233031 d'après le catalogue suivant :

Model	Holding Torque (Nm)	Phase current (A)	Rotor Inertia (g/cm <sup>2</sup> )	Motor Length L max (mm)	Detent Torque (Nm)	Phase Resistance (ohm)	Phase Inductance (mH)	Lead Wire (No)	Motor Weight (Kg)	Note
M1233011	0.55	0.62	150	41	0.025	13	34	4	0.47	
M1233012	0.55	2.0	150	41	0.025	1.2	3.20	4	0.47	
M1233021	0.80	0.62	190	45	0.028	12	29	4	0.52	
M1233022	0.80	2.5	190	45	0.028	1.0	2.2	4	0.52	
M1233031	1.00	0.62	190	51	0.028	13.4	33	4	0.62	
M1233032	1.10	2.5	190	51	0.028	1.15	3.3	4	0.62	
M1233041	1.10	4.2	280	56	0.035	0.4	1.2	4	0.68	8 mm shaft available
M1233051	1.40	3.0	380	64	0.05	0.8	2.4	4	0.85	
M1233061	1.80	3.0	440	76	0.06	1.0	3.54	4	1.05	
M1233062	1.80	4.2	440	76	0.06	0.55	1.8	4	1.05	
M1233064	1.80	6.0	440	76	0.06	0.3	1	4	1.05	
M1233070	3.00	4.2	680	100	0.1	0.8	3.0	4	1.5	
M1233071	3.00	6.0	680	100	0.1	0.4	1.5	4	1.5	
M1233081	3.40	6.0	800	112	0.12	0.44	1.9	4	1.7	

Figure III.4 : catalogue du moteur pas à pas Nema23

III.5.3. Dimensionnements de la vis à billes suivants l'axes des X :

Selon un guide de constructeur on a choisi une vis à billes :

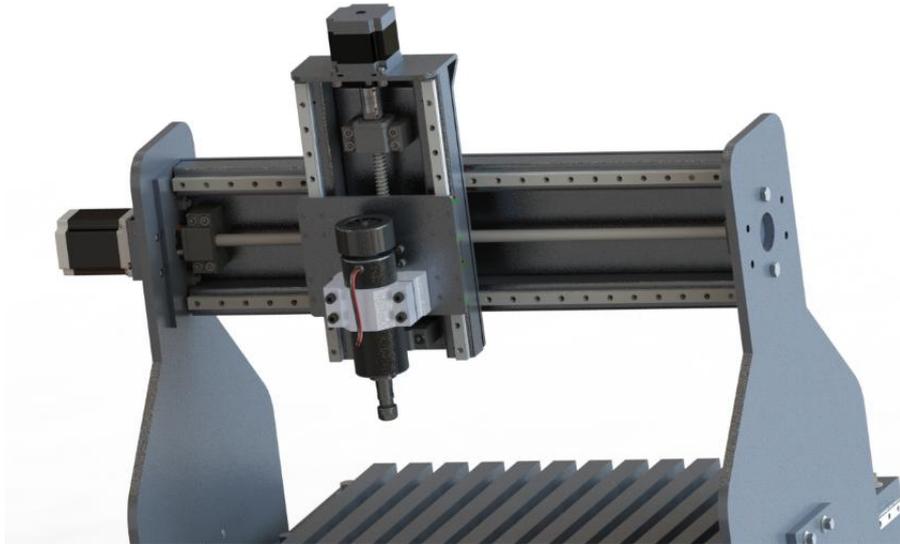


Figure III5. : Vue de l'axe des X de la machine

III.5.3.1 Calcul de couple d'entraînement  $M_a$ :

Axe	Tôles/visserie	Moteurs/composants	Masse totale sur l'axe
X	1 Tôle de - Kg 1 Tôle de - kg	Estimation maximale - kg	par sécurité on prend - Kg

L'axe doit déplacer une charge de Kg c'est-à-dire une force de N plus l'effort de coupe N , d'où le couple nécessaire  $M_a$  :

$$M_a = \frac{F_c \times p}{2000 \times \pi \times \eta}$$

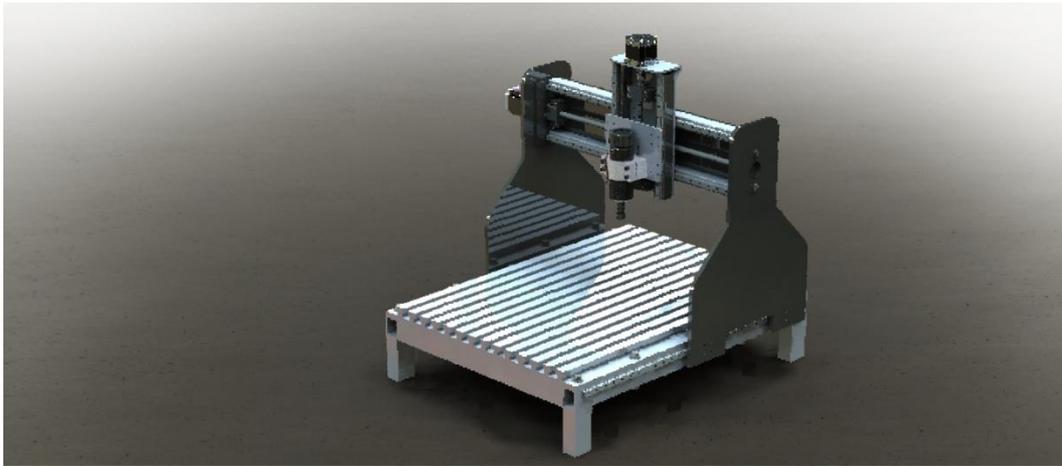
$$M_a = N.m$$

Pour une majoration de sécurité de 40% on aura :  $M_a = N.m$

Donc notre choix d'un seul moteur Nema 23 est suffisant pour faire déplacé tout le système de la machine suivant l'axe « X ».

### III.5.4 Dimensionnement de la vis à billes pour l'axe des Y:

Selon un guide de constructeur on a choisi une vis à billes :



**Figure III.6** : vue de l'axe des Y de la machine

#### III.5.4.1 Calcule de couple d'entraînement $M_a$ :

Axe	Tôles/visserie	Moteurs/composants	Masse totale sur l'axe
Y	5 Tôle de -Kg	Estimation maximale - Kg	- Kg par sécurité on prend - Kg

D'où le couple moteur nécessaire  $M_a$  :

$$M_a = \frac{F_a \cdot P}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} \text{ [Nm].}$$

$F_a$  : La force axiale [N].

Alors :

$$M_a = \frac{F_c \times p}{2000 \times \pi \times \eta}$$

$$M_a = N.m$$

### Remarque :

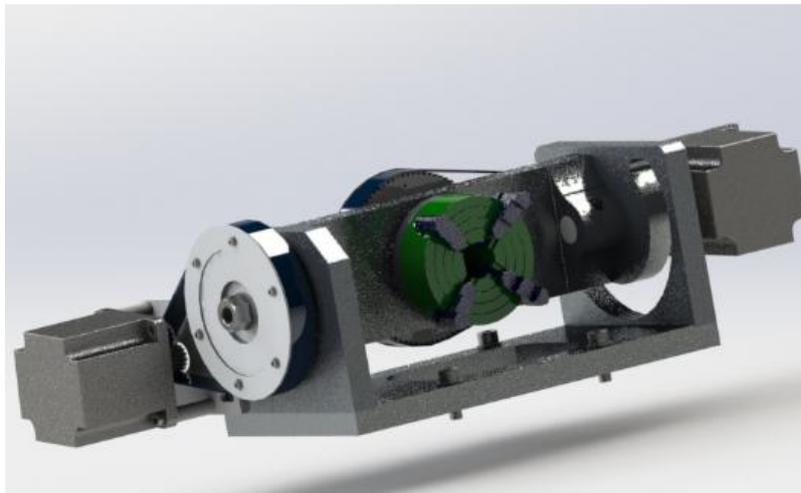
C'est un couple théorique, il faut une majoration de sécurité pour les frottements, l'inertie...

Par exemple 40% d'où :  $M_a = N.m \times 1.4 = N.m$

Donc notre choix d'après le catalogue précédent est un moteur pas à pas du modèle Nema23 model M1233032 est suffisant pour faire déplacer tout le système de la machine suivant l'axe Y

### III.6. Dimensionnement de poulies courroies [12] :

#### III.6.1 Transmission de l'énergie du moteur vers le Mandrin :



**Figure III.7 :** Vue du 4eme axe de la machine

#### III.6.1.1 Dimensionnement des poulies :

Pour le départ on a comme données :

Poulie motrice :

$d_1 = 17.8mm$ ,  $N_d = 3000tr/min$  ;  $D_1 = 366.32mm$ ,  $N_{D_1} = 2000 tr/min$ , Avec

$d_1$  : le diamètre de poulie motrice [mm]

$N_{d_1}$  : la vitesse de la poulie motrice [tr/min]

$Z_{p_1}$  : le nombre des dents de la poulie motrice [dents]

Matériau à usiner	Outil en acier rapide supérieur	Outil en carbure	Usinage grande vitesse
Acier (résilient)	15 - 18	60 - 70	-
Acier doux	30 - 38	110 - 140	-
Fonte (moyenne)	18 - 24	70 - 85	-
Bronze	24-45		-
Laiton (recuit)	45 - 60	100-200	-
Aluminium	75 - 400	150 - 1 000	2 000
Titane	30	60 - 70	-

**Tableau III.1:** vitesse de coupe pour différents matériaux à usiner(en m/min)

**III.6.1.1.a Détermination de nombre des dents de poulie motrice  $Z_{d_1}$ :**

Le nombre de dents de la poulie réceptrice se déduit par la loi du rapport de transmission  $r$  :

$$r = \frac{D_1}{d_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{Z_{D_1}}{Z_{d_1}} = 20.5$$

$$Z_{d_1} = \frac{Z_{D_1}}{r}$$

$$Z_{d_1}$$

$$Z_{d_1} = 7 \text{ dents}$$

**III.6.1.1.b Diamètre primitifs des poulies  $D_{p_1}$  et  $d_{p_1}$  [12] :**

Ils sont donnés par la relation approché :

$$D_p = \frac{P \times Z}{\pi}$$

Poulie motrice :  $d_{p_1} = .\text{mm}$

Poulie réceptrice :  $D_{p_1} = 366.87 \text{ mm}$

D'après le tableau suivant on vérifie les résultats :

TYPE	P. NUMBER	N. TEETH	EXEC.	BUSH.	BORE MAX	Dp	De	Df FLANGE	Dm HUB	Ø Di	F	S	P	N. FLANGE	WEIGHT kg.
TL 22- 8M- 30	41430022	22	2F	1008	25	56,02	54,65	60	-	37	38	22	16	53	0,33
TL 24- 8M- 30	41430024	24	2F	1108	25	61,12	59,75	66	-	44	38	22	16	69	0,40
TL 26- 8M- 30	41430026	26	2F	1108	25	66,21	64,85	70	-	45	38	22	16	61	0,45
TL 28- 8M- 30	41430028	28	2F	1210	25	71,30	70,08	75	-	50	38	22	13	79	0,50
TL 30- 8M- 30	41430030	30	1F	1615	25	76,39	75,13	82,5	-	58	38	22	-	73	0,55
TL 32- 8M- 30	41430032	32	1F	1615	42	81,49	80,16	87	-	63	38	25	-	76	0,60
TL 34- 8M- 30	41430034	34	1F	1615	42	86,58	85,22	91	-	64	38	25	-	66	0,80
TL 36- 8M- 30	41430036	36	1F	1615	42	91,57	90,30	97	-	68	38	25	-	68	1,00
TL 38- 8M- 30	41430038	38	1F	1615	42	96,77	95,59	102	-	72	38	25	-	70	1,10
TL 40- 8M- 30	41430040	40	1F	1615	42	101,86	100,49	106	-	76	38	25	-	77	1,34
TL 44- 8M- 30	41430044	44	2F	2012	50	112,05	110,67	120	92	-	38	32	6	75	1,30
TL 48- 8M- 30	41430048	48	2F	2012	50	122,23	120,86	128	96	-	38	32	6	78	1,80
TL 56- 8M- 30	41430056	56	2F	2012	50	142,60	141,23	150	110	-	38	32	6	85	3,80
TL 64- 8M- 30	41430064	64	6F	2517	50	162,97	161,60	168	110	137	38	32	7	90	4,30
TL 72- 8M- 30	41430072	72	6F	2517	50	183,35	181,97	192	110	158	38	32	7	97	4,40
TL 80- 8M- 30	41430080	80	7	2517	50	203,72	202,35	-	110	180	38	32	7	-	4,65
TL 90- 8M- 30	41430090	90	7	2517	50	229,18	227,81	-	110	204	38	32	7	-	5,80
TL 112-8M-30	41430112	112	7	2517	60	285,21	283,83	-	125	254	38	45	7	-	6,20
TL 144- 8M- 30	41430144	114	8	2517	60	366,69	365,32	-	125	336	38	45	7	-	9,00

Tableau III.2 : Poulies de distribution HTD taper lock « phosphées » type 8M30 [13]

III.6.1.2.a Détermination de nombre des dents et la longueur de courroies[10] :

La longueur primitive de la courroie peut être exprimée par la relation :

$$L = \frac{\pi}{2} (d_{p_1} + D_{p_1}) + \beta (D_{p_1} - d_{p_1}) + 2E \cos \beta$$

$$\sin \beta = \frac{D_{p_1} - d_{p_1}}{2E}$$

Le nombre de dent de la courroie tel que  $L = PZ_c$ , ce qui donne :

$$Z_c = \frac{L}{P}$$

III.6.1.2.b largeur de la courroie [12]:

Selon la norme ISO 925 de 1987, la puissance transmissible par la courroie de largeur b est donnée par la relation ci-dessous :

$$P_t = [K_z \times K_w \times T_a - (\frac{b}{b_0}) m_l \times V^2] V \text{ en [W]}$$

$K_z$  est un facteur dépendant du nombre de dent en prise  $Z_m$  la petite poulie on a :

- $K_z=1$  si  $Z_m \geq 6$
- $K_z=1-0.2 \times (6 - Z_m)$  si  $Z_m \leq 6$

$K_w$  Est un facteur donné par  $K_w = \left(\frac{b}{b_0}\right)^{1.14}$

$T_a$  Est l'effort maximal admissible pour une courroie de largeur  $b_0$ .

On calcule le nombre de dents en prise  $Z_m$  :

$$Z_m = \text{ent} \left[ \frac{Z_1}{2} - \frac{P Z_1}{2\pi^2 E} (Z_2 - Z_1) \right]$$

Alors :

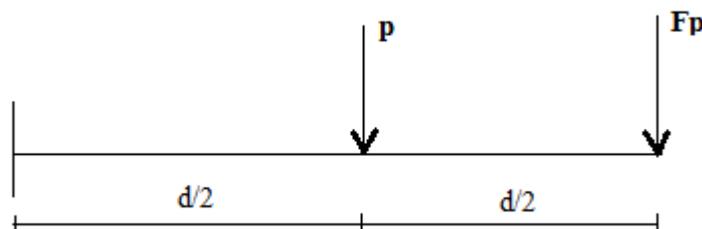
$$Z_m \leq 6 \quad \text{donc} \quad K_z = 1 - 0.2 \times (6 - 4)$$

$$K_z = 1.6$$

On calcule la vitesse de courroie :

$$V = \frac{N d_1 \times P \times Z d_1}{60}$$

### III.6.2 Dimensionnement de moteur pour 4<sup>ème</sup> axe (axe b):



-Détermination de P :

$$P = m_{\text{pièce}} \times g$$

Détermination de  $M_1$  :

$$M_1 = p \times d$$

-calcul de l'effort de coupe cas tournage  $F_c$  :

$$F_c = K_c \cdot a \cdot f$$

D'après le tableau si –dessous pour une outil en acier

Pression spécifique de coupe Kc en Mpa						
Matière	Résistance à la traction (Mpa) et dureté	0,1 mm/tr	0,2 mm/tr	0,3 mm/tr	0,4 mm/tr	0,6 mm/tr
Acier doux	520	3610	3100	2720	2500	2280
Acier au carbone	620	3080	2700	2570	2450	2300
Acier traité	720	4050	3600	3250	2950	2640
Acier outil	670	3040	2800	2630	2500	2400
Acier outil	770	3150	2850	2620	2450	2340
Acier chrome manganèse	770	3830	3250	2900	2650	2400
Acier chrome manganèse	630	4510	3900	3240	2900	2630

**Tableau III.3:** pression spécifique de coupe  $K_c$  en Mpa

Détermination de l'effort de pénétration  $F_p$  :

$$F_p = \frac{5}{2} F_c$$

Calcul de du couple  $M_2$  :

Calcul de couple d'entraînement T :

$$T = M_1 + M_2$$

$$\text{Avec } R = \frac{D_2}{d_1}$$

pour le choix de moteur on va basé sur leur couple , et on le détermine par le rapport de transmission :

$$C_m = \frac{T}{r}$$

C'est un couple théorique, il faut une majoration de sécurité de 40%

En raison de la petitesse du couple  $M_p$ , par rapport le couple du Pénétration, et pour éviter les calculs d'inertie, nous le négligeons, car le résultat a été majoré par le facteur de sécurité, et cela suffit pour couvrir  $M_p$

Donc un moteur pas à pas model Nema 34 son couple es 12N.m est suffisant pour notre système.

Specifications:

Model	Holding Torque (Nm)	Phase current (A)	Rotor Inertia (g/cm <sup>2</sup> )	Motor Lenght L max (mm)	Detent Torque (Nm)	Phase Resistance (ohm)	Phase Inductance (mH)	Lead Wire (No)	Motor Weight (Kg)	Note
M1343011	3.1	5.6	850	66	0.055	0.26	1.5	8	1.9	Bip. parallel
M1343020	4.4	5.6	1050	78	0.065	0.35	2.8	8	2.3	Bip. parallel
M1343021	4.4	7.1	1050	78	0.065	0.21	1.6	8	2.3	Bip. Parallel
M1343031	6.8	7.1	1550	98	0.095	0.26	2.2	8	3	Bip. Parallel
M1343041	8.1	7.1	1800	114	0.13	0.38	3.2	8	3.8	Bip. parallel
M1343050	9.2	7.1	2200	126	0.19	0.43	3.4	8	4.1	Bip. parallel
M1343051	9.2	10	2200	126	0.19	0.18	1.6	8	4.1	Bip. Parallel
M1343060	12.1	10	2500	150	0.25	0.21	2.2	8	5	Bip. Parallel
M1343061	12.1	12	2500	150	0.25	0.17	1.8	8	5	Bip. parallel

Figure III.8 : Catalogue des moteur Nema 34

### III.6.3 Dimensionnement de 5<sup>ème</sup> axes (axe a) rotation du mandrin:

On a utilisé même principe et même méthode de calcul :

On a utilisé les même poulie de la partie précédente , donc on va juste dimensionné le moteur

Donc pour :

$$P = m \times M_1$$

$$M_2 = F_p =$$

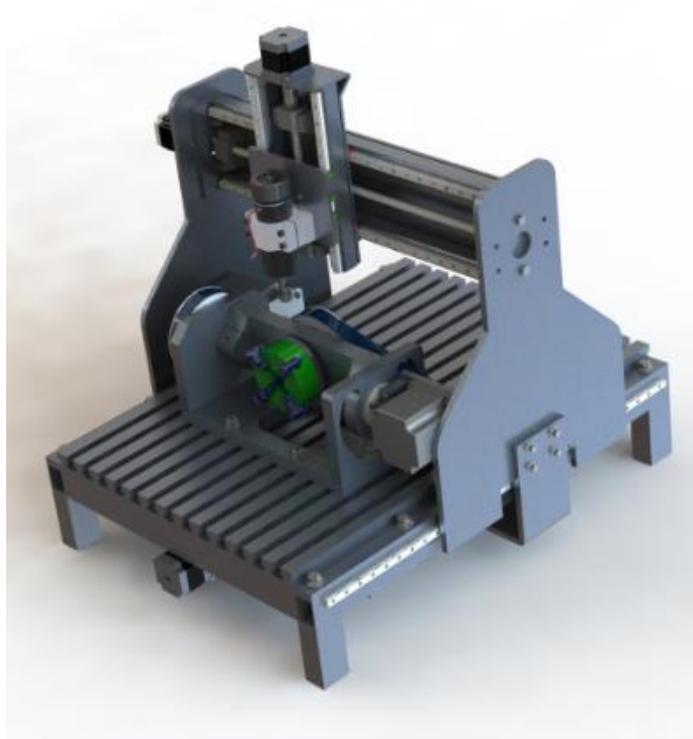
$$M_{Totale} = M_1 + M_2$$

$$C_m = \frac{M_{Totale}}{r} =$$

C'est un couple théorique, il faut une majoration de sécurité de 40%

Donc on le major :  $C_m \times 1.4$

Donc notre choix de moteur va être le même de quatrième axes un moteur Nema 34 de couple 12.1N.m.



**Figure III.9** : vue globale de la machine

### **III.7 Conclusion :**

Dans ce chapitre on a effectué une étude théorique dans l'état statique et dynamique de la machine, dans le but de dimensionner et déterminé les couples moteurs nécessaires pour faire déplacer le système sur les 5 axes

# **Chapitre IV :**

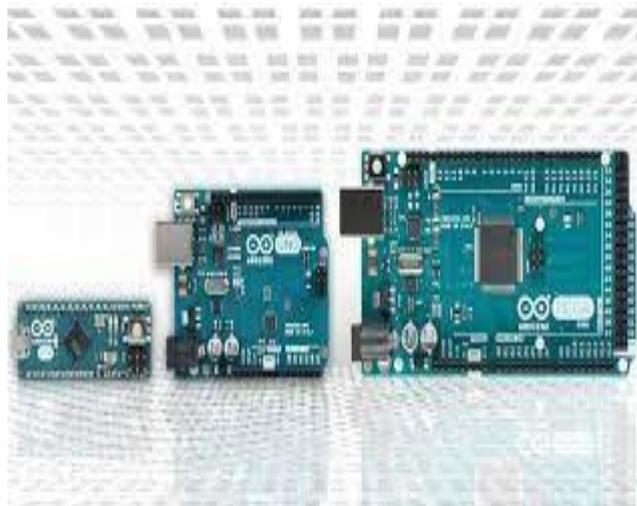
# **Partie Electronique**

## IV.1. Introduction [13] :

Ce chapitre est une étude générale sur les logiciels de commande graphique et le programme de commande de la machine CNC. Les données géométriques indiquent la forme et les dimensions de la pièce à usiner et permettent à la CN de calculer les positions successives de l'outil par rapport à la pièce pendant les diverses phases de l'usinage.

## IV.2 Arduino :

L'Arduino est une carte électronique programmable sert de microcontrôleur pour la conception et le pilotage de montages électroniques, mécaniques, domotiques ou robotiques. En effet, grâce à l'Arduino, il est possible de créer des systèmes ingénieux amateurs ou professionnels, comme par exemple des systèmes de contrôle pour diverses composantes de votre maison. Vous pouvez en effet grâce à Arduino, vous servir de votre smartphone comme d'une télécommande pour par exemple, allumer ou éteindre vos lumières de maison, ou encore baisser ou lever vos volets électriques, réguler la température de votre maison en pilotant le chauffage à distance...etc.



**Figure IV.1 :** Les différents modèles de la carte Arduino

Ce bijou technologique est né de la volonté de professeurs et élèves d'une université d'Italie, de démocratiser ce système et de montrer à quel point il est accessible au plus grand nombre ; même pour ceux qui ne sont absolument pas familiarisés avec les langages de programmation depuis 2006, on retrouve désormais l'Arduino de partout sur internet à des prix accessibles. Mais c'est surtout la diversité des tutoriels, forums et vidéos réalisés par les amateurs, qui font

le prestige et la grande force d'accessibilité de cette carte électronique. En effet, en suivant les explications en image, on parvient très facilement à réaliser des choses plutôt techniques, sans n'avoir pour autant aucune base en codage, ou très peu. Les résultats obtenus peuvent en Motiver plus d'un vouloir se renseigner et s'expérimenter sur les techniques et ainsi développer de nouveaux procédés encore plus performants. Les Geeks amateurs, professionnels, artistes et créateurs, ont trouvé, grâce à ce système, une source d'expression créative et artistique ! Il n'y a qu'à voir la multitude des créations existantes et partagées sur la toile, pour s'en rendre compte.

Maintenant que vous en savez un peu plus sur l'arrivée de ce système sur le marché, voyons la particularité du modèle Mega. Il existe plusieurs cartes Arduino sur le marché, présentant différentes configurations et caractéristiques de puissance et correspondant donc à différents types de besoins.

Il existe également d'autres cartes électroniques dérivés des Arduino, dites non officielles, qui reprennent exactement les mêmes fonctionnalités mais qui sont développées par des indépendants avec leur propre marque. Ceci a été rendu possible grâce au partage des plans de construction de ladite carte. Ces cartes sont moins chères ; cependant, si vous souhaitez une qualité irréprochable, tournez-vous vers les cartes officielles Arduino.

L'Arduino MEGA est le modèle le plus perfectionné et puissant de la célèbre carte électronique. Elle permet d'effectuer un maximum d'actions et délivre un potentiel tel, qu'il est possible de se pencher sur les montages les plus lourds et gourmands en code. Cette carte peut être utilisée par les amateurs confirmés, mais est principalement destinée aux experts qui pourront en faire un usage plus professionnel

### IV.3 Arduino MEGA:

L'Arduino Méga, en sa qualité de carte haut de gamme, présente des caractéristiques supplémentaires par rapport aux autres modèles Arduino :

L'Arduino Méga présente la configuration suivante : microprocesseur ATMega2560, 16 entrées analogiques, mémoire flash de 256 KB, mémoire SRAM de 8 KB, mémoire EEPROM de 4 KB, 54 broches d'E/S dont 14 PWM, 3 ports série ...

Ce qui est beaucoup plus complet que le modèle Uno, la carte réservée au débutant qui ne présente quant à elle que : 6 entrées analogiques, une mémoire flash de 32 KB, une mémoire SRAM de 2 KB, une mémoire EEPROM de 2 KB, 14 broches d'E/S dont 6 PWM ...

La carte Méga est donc plus puissante, permet une marge de manœuvre beaucoup plus importante et des montages plus poussés qu'avec d'autres cartes Arduino. En bref, cette carte représente le niveau supérieur : vous pourrez faire des choses que vous ne pouvez pas réaliser avec une carte plus classique.

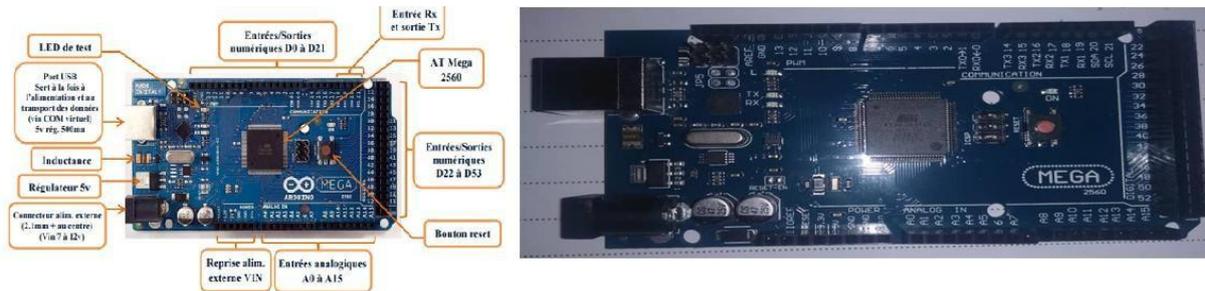


Figure IV.2 : Arduino Méga 2560

## IV.4 L'utilisation de l'Arduino Méga :

Comme expliqué plus haut, la carte Méga d'Arduino nécessite une utilisation plus poussée des capacités de la programmation et induit donc de posséder des compétences beaucoup plus avancées. Pour utiliser au mieux les caractéristiques de puissance de votre carte Arduino Méga, il est conseillé de réaliser des prototypes expérimentaux qui touchent à des thématiques plus sérieuses et techniques : telles que la robotique ou la domotique. C'est véritablement en s'avancant sur ce genre de terrain, que vous pourrez réellement saisir et réaliser l'écart de potentiel, ainsi que la différence de cap possible entre une carte Uno et une carte Méga.

En effet, si vous souhaitez coder et développer une intelligence artificielle pour un robot, vous aurez beaucoup plus de facilité à le faire grâce à la puissance offerte par la Méga. À partir de là, un nombre presque infini de possibilités s'offrent à vous : programmer le robot pour qu'il réalise des actions spécifiques, etc.

Il vous est possible également de fabriquer un détecteur de métaux grâce à un écran relié, un véhicule miniature d'exploration avec une caméra embarquée pilotable depuis votre

Smartphone, un détecteur d'obstacle, une box domotique, des codes plus ou moins complexes pour faire effectuer de multiples actions à un robot...etc.

## IV.5 RAMPS :

Le Ramps 1.4 est un "shield" (carte fille d'une carte de contrôle) open-source interfaçant les éléments électroniques avec la carte de contrôle Arduino 2560 Le Ramps 1.4 (Reprap Arduino Mega Pololu Shield), associé à la carte Arduino Mega 2560, peut gérer une imprimante avec les configurations suivantes:

- **A)** 1 Tête, les axes X et Y, 2 moteurs pour l'axe Z couplés sur le même pilote (puissance limitée), 1 plateau chauffant, 1 ventilation
- **B)** 1 Tête, les axes X et Y, 1 moteur pour l'axe Z, 1 moteur pour l'axe Z', 1 plateau chauffant, 1 ventilation
- **C)** 2 têtes, les axes X et Y, 2 moteurs pour l'axe Z couplés sur le même pilote (puissance limitée), 1 ventilation
- D)** 2 têtes, les axes X et Y, 2 moteurs pour l'axe Z couplés sur le même pilote (puissance limitée), 1 plateau chauffant Avec un module d'extension:
- E)** 2 têtes, les axes X et Y, 2 moteurs pour l'axe Z couplés sur le même pilote (puissance

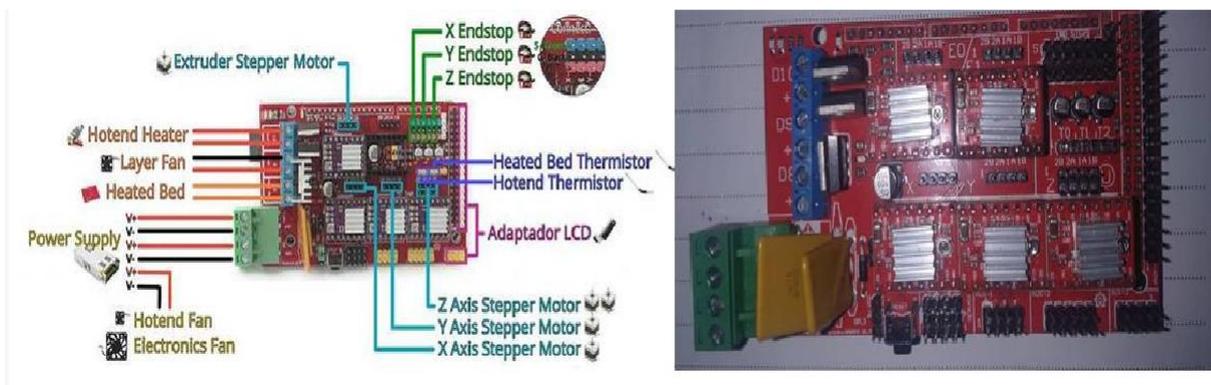


Figure IV.3 : Schémas explicatifs du Ramps [13]

## IV.6 Caractéristiques:

- Compatible Arduino Méga 2560
- Tension d'entrée : 12V
- Axes pilotables: X,Y,Z + 2 extrudeurs
- Entrées température : 3

- Sorties de puissance: 3 (parties chauffantes ou ventilation)
- Entrées de fin de course: 6
- Connexion LCD
- Sorties servomoteurs: 4

### IV.7 DRIVER A4988 :

Cette carte break out supporte une pilote Microstepping Allegro A4988 (DMOS) incluant une protection contre les sur-courants (overcurrent). C'est le contrôleur de moteur pas-à-pas que l'on retrouve sur les cartes de commande des imprimantes 3D comme OrdBot Hadron.

Ce contrôleur permet de contrôler des moteurs pas-à-pas bipolaires en micro-stepping avec un maximum de 2 ampères par bobine (attention aux conditions de dissipation de chaleur).

Voici quelques caractéristiques clés de ce breakout:

- Interface de contrôle de pas et de direction simplissime.
- 5 résolutions différentes de pas:
  - full-step : Pas complet
  - half-step : 1/2 pas
  - quarter-step : 1/4 de pas
  - eighth-step : 1/8 ième de pas
  - sixteenth-step : 1/16 ième de pas
- Contrôle en courant ajustable - un potentiomètre permet de fixer le courant maximum à l'aide d'un potentiomètre. Cela permet d'utiliser une tension supérieure à celle recommandée par le moteur (puisque le courant est limité) et permet ainsi d'atteindre un débit de pas plus élevé (et donc une vitesse plus élevée).

Une commande de hachage intelligente qui sélectionne automatiquement le bon mode de décroissance de courant (fast decay = baisse/chute rapide du courant OU slow decay = chute lente)

- Protection (arrêt) en cas de surchauffe, sous tension, surcharge/sur-courant/court-circuit. Utile en cas de surcharge/blocage moteur (car le courant va monté en flèche, ce qui doit provoquer la mise en protection).

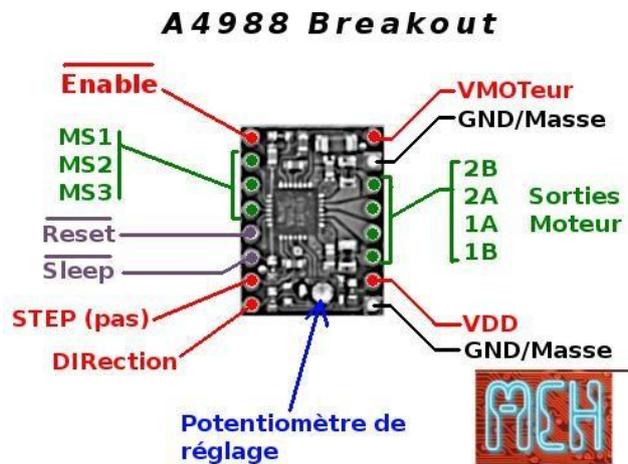


Figure IV.4 : schémas explicatifs de driver A4988

### VI.7 Détail techniques sur le driver A4988 :

Pensez à prendre connaissance de la fiche technique du A4988. En effet, s'il est capable de piloter un courant important, cela ne se fait pas dans n'importe quel condition, il fait être attentif à la dissipation de chaleur.

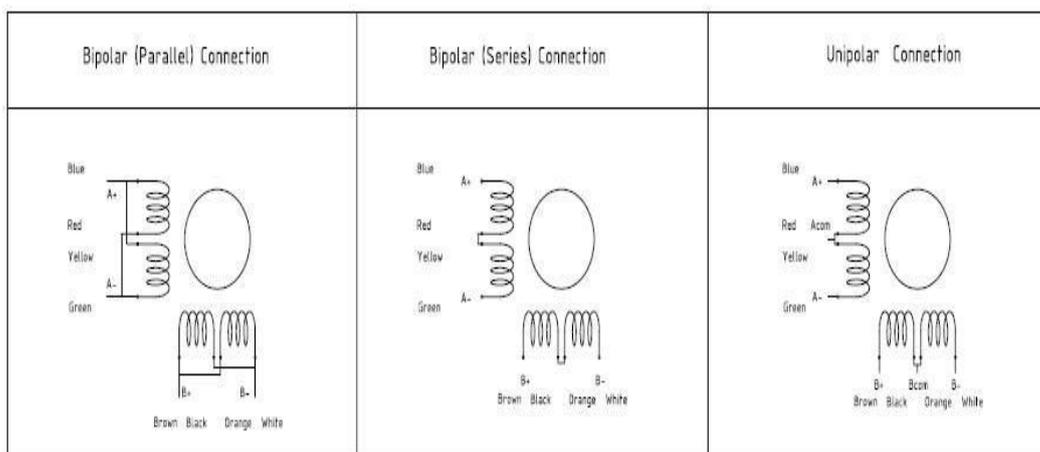
- Tension de fonctionnement minimum : 8 V
- Tension maximale de fonctionnement : 35 V
- Courant par phase (en continu) : 1,2 Amp
- Courant maximum par phase : 2.3 Amp
- Logique de contrôle
  - Tension minimale: 3 V
  - Tension Maximale : 5.5
- Résolution Microstep: Pas complet, 1/2, 1/4, 1/8 et 1/16 de pas
- Protection contre inversion de tension: NON

**VI.9 Caractéristiques techniques sur les moteurs pas à pas :**

Comme tout moteur électrique, le moteur pas à pas se sert de champ magnétique pour transformer l'énergie électrique en énergie mécanique. Il possède au moins 2 bobinages qui sont alimentées d'une manière spécifique à ce type de moteur. On l'utilise surtout pour les Systèmes de positionnements car il permet un contrôle de sa rotation très précis( s'il est bien dimensionner.). Une rotation est divisée par un nombre de pas angulaire, donc plus il y a de pas, plus il sera précis. On peut même augmenter la précision en divisant chaque pas par 2,4,6,8 et plus.



**Figure VI.5 :** Moteur pas à pas Nema 23



**Figure IV.6:** les trois types de câblages

### IV.10 Alimentation :

Le terme d'alimentation électrique désigne un ensemble de systèmes capables de fournir de l'électricité aux industries, appareils électriques fonctionnant avec cette énergie. Plus spécifiquement, l'alimentation électrique est l'ensemble des équipements électriques qui assure le transfert du courant électrique d'un réseau électrique pour le fournir, sous les Paramètres appropriés (puissance, tension) de façon stable et constante à un ou plusieurs consommateurs et ce dans des conditions de sécurité généralement réglementées.

#### IV.10.1 Alimentation intégrée :

Dans la plupart des appareils électroménagers et de bureau, certains circuits nécessitent une alimentation électrique de caractéristiques différentes de celle distribuée à partir des compteurs électriques individuels. A l'entrée des appareils, avant ou intégré à l'alimentation, on trouve un filtre destiné à supprimer les parasites entrants, mais surtout ceux générés par l'alimentation elle-même et ceux de l'appareil qui pourraient perturber le réseau.



Figure IV.7 : Alimentation

On peut distinguer deux types principaux d'alimentation :

- Celles de faible puissance qui ne servent qu'à alimenter une petite partie de l'appareil : La majorité des appareils électroménagers un minimum sophistiqué, peuvent se décomposer en deux parties électriques distinctes, le circuit de commande et le circuit de puissance.

**-Le circuit de commande :** puisqu'il sert d'interface avec l'homme est en très basse tension, une alimentation transforme le 230 V en une tension (inférieure à 50V, généralement 12V) compatible avec le circuit de commande.

-Le circuit de puissance : se voit alimenté par la tension du secteur à travers un organe de commutation piloté par le circuit de commande.

- Et celles par laquelle transitent toute l'électricité consommée par l'appareil, celle-ci fournissent souvent plusieurs tensions séparées, affectées à des tâches différentes.

## VI.11. Programmation :

### VI.11.1 Le Grbl :

Grbl est un logiciel libre fonctionnant sur des cartes à microcontrôleur de type Arduino, permettant de transférer du G-code d'un ordinateur équipé d'un port USB au contrôleur de moteurs pas-à-pas de machines-outils à commande numérique, telles que des imprimantes 3D ou des machines de découpe laser. Cette approche constitue une alternative à l'utilisation du port parallèle de l'ordinateur (dit "LPT", ou "port imprimante"), en voie de disparition sur les ordinateurs récents. Grbl permet ainsi de rendre accessible ce type de machines-outil, traditionnellement très onéreuses, à des fab-lab et aux amateurs éclairés.

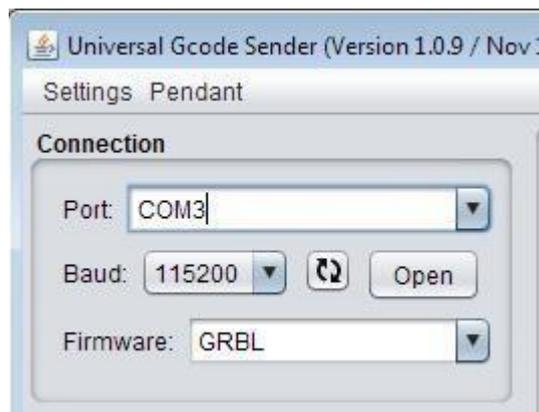


Figure IV.8 : Le Grbl [13]

Grbl est également utilisé dans des travaux de recherche universitaire, pour différentes type de machines, telle que des machines de fraisage<sup>2,3</sup>, ou encore un robot utilisé pour disperser de la nourriture afin d'étudier la mouche à fruit ou à vinaigre (famille des drosophiles) *drosophila melanogaster*<sup>4</sup>.

Ce dernier met en œuvre un analyseur de G-code écrit en langage C, hautement optimisé pour le microcontrôleur ATMEGA328 équipant les Arduino<sup>5</sup>.

La version originale ne gère que ce microcontrôleur 8 bits. Des portages sur des microcontrôleurs STMicroelectronics STM32<sup>6</sup> (32 bits, horloge plus rapide) ont ensuite été réalisés, permettant de piloter les moteurs pas-à-pas de la machine-outil à une cadence bien plus élevée.

## IV.11.2 Logiciel cncjs :

Cnc.js est un logiciel libre permettant le pilotage de machines à commandes numériques dotées des firmware GRBL, Smoothieware ou TinyG. C'est le logiciel utilisé pour piloter la Fraiseuse numérique (DIY) du fablab.

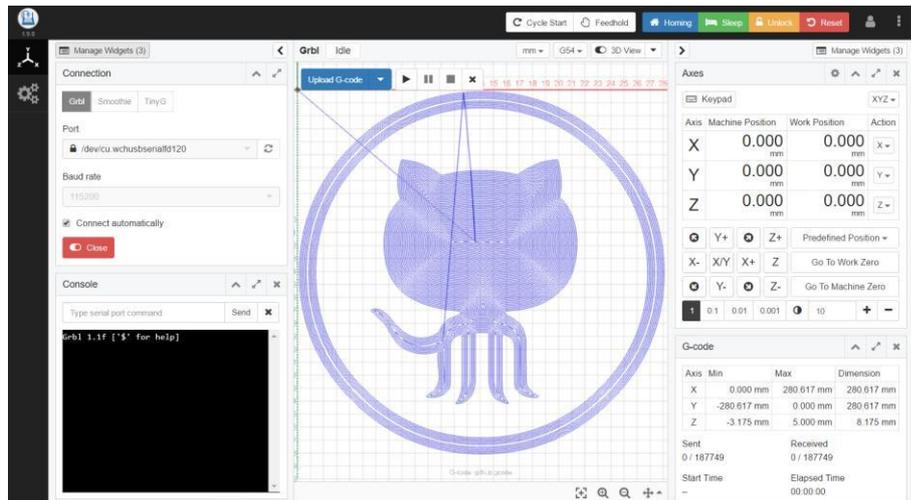


Figure IV.9 : un capteur de le cncjs au cours de l'exécution[13]

## IV.12. Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre une introduction sur la partie électronique , nous avons défini : L'Arduino Méga , driver , rampes moteurs pas à pas, et finalement nous avons donné cité deux dès les logiciels les plus utilisés

## **Conclusion Générale**

Dans ce travail, nous avons un objectif principal, et c'est que nous faisons une conception pour une machine qui se combine entre deux machines, nous l'avons étudié très attentivement, juste pour nous assurer qu'à l'avenir d'autres étudiants comme nous peuvent prendre ce travail comme une base sur l'étude et la construction d'une machine à commande numérique, nous donnons quelques conseils sur la partie électronique, qui a été prise à partir des travaux des étudiants en licence électronique, dont ils ont réalisé la moitié de notre machine (seulement les trois axes) et elle a été travaillée avec succès, nous concluons donc que notre conception est valable, et nous souhaitons dans le future que d'autres étudiants finissent ou modélisent ce que nous avons commencé

# Références

- [1] S. BENSAADA ; Coupe des metaux <https://www.univ-biskra.dz/enseignant/bensaada/coupe%20des%20metaux.pdf>
- [2] Ressources usinage par enlèvement de matière <https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr/sti/files/ressources/pedagogiques/5514/5514-ressources-usinage-par-enlevement-de-matiere.pdf>
- [3] Cours Fabrication mécanique
- [4] Cours CI1 MO tradi prof Allali
- [5] Généralité sur les machines-outils à commande numérique ; Hachemi CHERMITI– ESET kairouan ; <https://www.technologuepro.com/cours-production-commande-numerique/chapitre-1-generalites-machines-outils-commande-numerique.pdf>
- [6] manuel de technologie mécanique par Guillaume Sabatier, François Ragusa, Hubert Antz
- [7] Chevalier
- [8] mémoire de fin d'étude conception et réalisation d'une machine à 3 axes par Djamel SMAINI Rafik BEN KADI
- [9] bases des calculs carry- vis à billes ; <https://studylibfr.com/doc/4749949/bases-de-calculs-carry-vis-%C3%A0-billes>
- [10] exemple de calcul courroie crantée (cours M.MADANI)
- [11] Chapitre III de mémoire de fin de cycle, par ALANE Sarah , AISSOU Nassima, 202

