



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement Supérieur

et de la Recherche scientifique

Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

Faculté de Technologie

Mémoire de Fin d'Étude

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique



Thème

Réalisation et Commande d'une machine CNC à 3 axes

Réalisé par :

- ✓ Chouikh Tahar
- ✓ Chouiref Badreddine
- ✓ Delleabani Hamza

Encadré par :

* Dr. Meziane Assia

Devant le jury composé de :	
Dr .	Président
Dr .	Examinateur
Dr .	Encadreur

Soutenu en Juin 2023

Remerciement

Nulle œuvre n'est exaltante que celle réalisée avec le soutien moral et financier des personnes qui nous sont proches.

Je tiens à exprimer ma plus profonde reconnaissance à :

- DIEU, pour m'avoir donné la force dans les moments difficiles d'éditer ce mémoire.
- Tous mes professeurs sans exception de la phase primaire jusqu'à ce que je suis aujourd'hui pour leurs disponibilité et conseils,
- Mes collègues qui n'ont cessé de m'encourager.

Trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude et reconnaissance.

Merci à tous du fond du nos cœurs.

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

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

finir ce mémoire de Master.

ملخص

هذا المشروع عبارة عن دراسة وتصميم وبناء آلة CNC. الهدف من هذا العمل هو تعميق المعرفة في مجالات الإنتاج الرقمي. وفقًا لأحدث ماكينات CNC ، ينقسم هذا العمل إلى ثلاثة أجزاء: الجزء الأول يشمل الدراسات الكهربائية والدراسات والتصميمات الميكانيكية ، والجزء الثاني يتعامل مع المحاكاة العددية والجزء الأخير يتناول التنفيذ والبرمجة والتشغيل. في الخدمة.

Résumé

Ce projet est une étude, conception et construction d'une machine CNC. L'objectif de ce travail est d'approfondir les connaissances dans les domaines de la production numérique. Faisant suite à des machines à commande numérique de pointe, ce travail est divisé en trois parties : une partie comprend les études électriques et les études et conceptions mécaniques, la deuxième partie traite des simulations numériques et la dernière partie traite de la mise en œuvre, de la programmation et de la mise en service en service.

Mots clés : Machine CNC , commande, arduino; circuit intégré .

Abstract

This project is a study, design and construction of a CNC machine. The objective of this work is to deepen knowledge in the fields of digital production. Following state-of-the-art CNC machines, this work is divided into three parts: one part includes electrical studies and mechanical studies and designs, the second part deals with numerical simulations and the last part deals with implementation, programming and commissioning. in service.

Keywords: CNC machine, control, arduino; integrated circuit .

Liste de figure

Figure 1 Pincipe de fonctionnement	4
Figure 2 .Système à boucle ouverte.....	5
Figure 3.Système à boucle fermé	5
Figure 4.Système adaptative.....	6
Figure 5.Schéma synoptique.....	8
Figure 6 Carte Arduino.....	10
Figure 7.Arduino IDE.....	10
Figure 8. Régle trois doigts.....	11
Figure 9.Driver A4988	12
Figure 10.Relais.....	12
Figure 11.Circuit de commande moteur pas à pas.....	13
Figure 12. Moteur 2 fils et 4 fils.....	13
Figure 13. Dents du rotor hybride	15
Figure 14.Découpe montre l'alignement.....	15
Figure 15.Alignement des dents	15
Figure 16.Exitiation des phases	16
Figure 17.Exitiation des phases moins de 50 millisecondes.....	16
Figure 18.excitation standard.	17
Figure 19.Exitiation dmi-pas	17
Figure 20. Moteur pas a pas NEMA 17	17
Figure 21.Vis de transmission	18
Figure 22.Axes glissières des tables	18
Figure 23.Supports moteurs.....	19
Figure 24.Raccords moteur axe	19

Figure 25.Montage moteur axe.....	19
Figure 26.Vis roulement et rondelle	20
Figure 27.Assemblage par soudage	20
Figure 28.montage des glissières.....	20
Figure 29.table de de travail	20
Figure 30.tube profilé carré	21
Figure 31.Les cornières.....	21
Figure 32.Le montage final de la machine	22
Figure 33.le flux d'informations entre les composants	24
Figure 34.Le site web github.com	25
Figure 35.Ajout fichier zip au librerie	25
Figure 36. Selectioner le fichier	26
Figure 37. Selectioner le fichier	28
Figure 38.Exemple G code	29
Figure 39. Interface Mach3	29
Figure 40. Interface GrblGru	30
Figure 41. Selection du port com.....	30
Figure 42. Selection du FrameWare	31

Liste de Tableaux

Tableau 1. Caracteristiques carte Arduino	9
Tableau 2.Avantages et inconvenients	13
Tableau 3 Les catégories des moteurs pas a pas.....	14
Tableau 4.Spécifications Moteur NEMA 17	17
Tableau 5.Table des composants et le coût	23

Sommaire

Liste de figure.....	III
Liste de Tableaux.....	IV
1. Historique	2
2. Définition de la commande numérique	2
3. C'est quoi une machine CNC.....	3
4. Domaine d'utilisation	3
5. Principe de fonctionnement	3
6. Base de fonctionnement d'une machine CNC	4
6.1. Système à boucle ouverte.....	4
6.2. Système à boucle fermé	5
6.3. Système adaptative.....	6
7. Conclusion	7
1. Introduction :	8
2. Schéma synoptique	8
3. Carte Arduino	8
3.1. l'origine du nom	8
3.2. Les caractéristiques techniques de la carte Arduino	9
3.3. Programmation de la carte Arduino	10
3.4. Micro programme GRBL.....	11
3.5. G -CODE	11
3.6. Driver A4988	12
4. Relais	12

5.	Moteur pas à pas	13
5.1.	AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS	13
5.2.	LES CATEGORIES.....	14
5.3.	Rotor hybride :	14
5.4.	Excitation des phases	15
5.5.	Spécifications.....	17
6.	Construction de structures mécaniques :	18
6.1.	Les vis de transmission :	18
6.2.	Les axes glissières des tables	18
6.3.	Les supports moteurs	19
6.4.	Les raccords moteur axe:	19
6.5.	Montage moteur axe et support:	19
6.6.	Les glissières des tables:	20
6.7.	Le montage des glissières:	20
6.8.	La table de de travail:.....	20
6.9.	Le châssis:	21
6.10.	Les cornirnières:	21
6.11.	Le montage final de la machine:	21
7.	Table des composants:.....	23
8.	Conclusion:.....	23
1.	Introduction:	24
2.	Installation GRBL :	24
2.1.	Paramétrage GRBL :.....	26
3.	Création G code :	27
3.1.	Inkscape:	27
4.	G code :	28

4.1. Exemples G code:	29
4.2. G code émetteur:	29
5. Conclusion Générale.....	24

Introduction Générale

Les machines CNC, qui sont devenues de plus en plus populaires et bien connues ces dernières années, ne sont pas nouvelles. Le développement de cette technologie s'est accompagné des calculatrices électroniques et des ordinateurs, dont la puissance de calcul permet aujourd'hui l'utilisation massive de logiciels de CFAO. Ce travail, développé dans le cadre d'un mémoire de fin d'études, est une contribution à la compréhension du fonctionnement des machines dans le domaine de la numérisation et de l'automatisation.

Il s'agit de la conception et de la fabrication d'une machine CNC à trois axes.

Cet objectif nous a permis de mettre en pratique et d'approfondir les connaissances théoriques acquises au cours de nos études dans différents domaines (électronique et électricité, construction mécanique, programmation informatique). Grâce à ce projet, nous avons pu acquérir une bonne expérience dans la mise en œuvre pratique.

Ce fut également une occasion précieuse d'acquérir une compréhension générale de la programmation CNC et CN assistée par ordinateur, ainsi que des stratégies d'usinage FAO et CFAO.

L'objectif de ce travail est de réaliser un prototype d'une machine CNC à commande numérique constituée de trois axes.

Nous présentons le contenu de ce mémoire en trois chapitres, répartis comme suit :

- ❖ Dans le premier chapitre nous avons présenté une recherche bibliographique sur les machines-outils à commande numérique.
- ❖ Le deuxième chapitre consacré à l'étude la conception et réalisation de la machine CNC.
- ❖ Troisième chapitre nous avons étudié la commande numérique Par calculateur.

Finalement, notre travail sera terminé par une conclusion générale résumant les principaux résultats obtenus et quelques perspectives.

Chapitre I

Généralités sur les machines à commande numérique par ordinateur.

1. Historique

La commande numérique est née en 1947. Tout a commencé lorsque John C. Parsons de Parsons Corporation de Traverse City, Michigan, un fabricant de pales de rotor d'hélicoptère, n'a pas pu construire son modèle assez rapidement. Il a donc inventé un moyen de connecter le matériel informatique à la perceuse. M. M. Parsons utilisait des cartes perforées pour faire fonctionner le système de cryptage "Ron". 1949 est l'année de nouveaux "besoins urgents".

L'Air Matter Command des États-Unis a constaté que les composants d'avions et de missiles étaient de plus en plus complexes. De plus, comme la conception était constamment améliorée, des modifications de conception étaient fréquemment apportées. A la recherche d'une méthode de production plus rapide, l'Air Force a signé un contrat de recherche avec Parsons.

Le Servo Mechanics Lab du Massachusetts Institute of Technology (MIT) a agi en tant que sous-traitant. En 1951, le MIT a repris tout le travail et, en 1952, a présenté avec succès un prototype de la machine CNC d'aujourd'hui, la fraiseuse à hydrogel améliorée de Cincinnati. Le terme contrôle numérique vient du MIT [1].

2. Définition de la commande numérique

Avec l'avènement des ordinateurs, les fabricants de machines-outils ont commencé à équiper les machines-outils d'ordinateurs. Cela a permis de lier automatiquement plusieurs opérations différentes sur la même machine via un programme.

La commande numérique (CN) est un système de contrôle qui coordonne le mouvement des machines-outils afin qu'elles suivent des trajectoires prédéfinies sur des axes spécifiques sans intervention directe de l'opérateur. La CNC numérique est aujourd'hui numéro un dans le monde de l'usinage.

Cela a permis une étape importante dans l'automatisation des machines-outils telles que les tours, les raboteuses et les fraiseuses. Et nous pouvons assurer la quantité et la qualité de la production de toutes les manières. Le prix et la taille des machines CN continuent de diminuer à mesure que la microélectronique progresse et coûte. Cette réduction de prix rendra la franchise du CN plus abordable [2].

3. C'est quoi une machine CNC

Il s'agit d'une machine avec un ordinateur capable de recevoir des fichiers numériques contenant toutes les instructions de mouvement nécessaires à la réalisation d'une pièce mécanique et de les transmettre sous forme de signaux électriques aux appareils qui contrôlent les organes qui contrôlent la machine. Les organes de cette machine se déplacent en fonction de ces signaux, fournissant finalement un produit fini avec le même détail et la même précision que ceux précédemment conçus.

4. Domaine d'utilisation

La commande numérique trouve son origine dans les machines-outils et l'industrie militaire, mais s'est étendue à d'autres industries telles que l'alimentation et la pharmacie. Même les soi-disant appareils intelligents dans nos maisons, nos fermes, nos villes, etc. ne sont rien de plus que des choses qui fonctionnent sous le contrôle de microcontrôleurs, d'ordinateurs et, finalement, de machines CNC.

5. Principe de fonctionnement

La "commande numérique" faisait référence aux armoires de commande qui enregistraient des programmes de traitement sous forme de bandes perforées (années 1950-1980) ou de bandes magnétiques (années 1970-1985).

Parce que ces systèmes sont coûteux et que les erreurs dans les instructions ne sont pas découvertes tant qu'elles ne sont pas terminées, les ingénieurs ont dû répéter le processus à partir de zéro pour le même coût, sans parler du temps que cela prend.

L'avènement des programmes CAD/CAM a permis de simuler le processus de fabrication sur ordinateur, permettant de vérifier chaque processus avant l'envoi du projet à l'usine. En plus de cela, vous pouvez désormais modifier votre fichier de projet à tout moment [3].

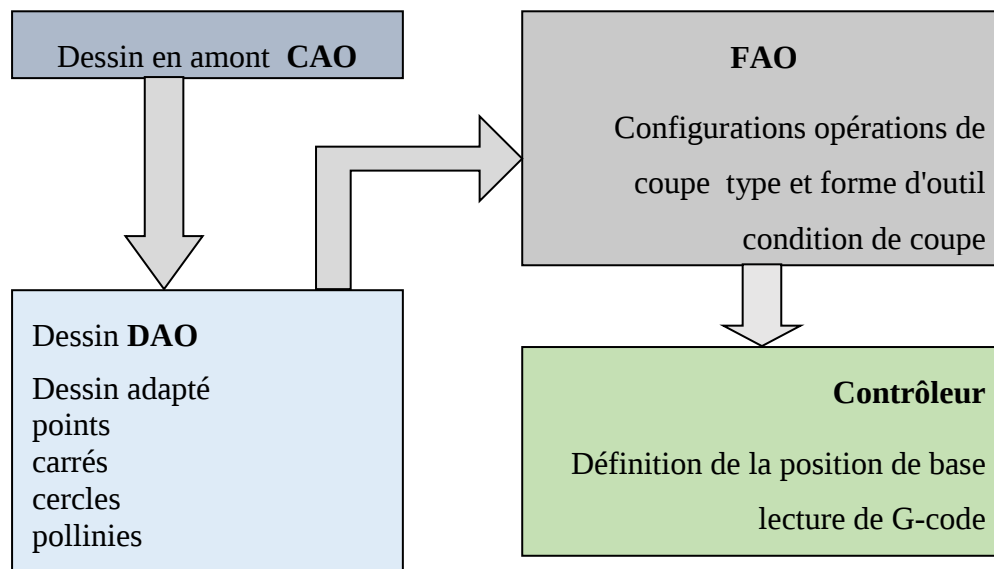


Figure 1 : Principe de fonctionnement

6. Base de fonctionnement d'une machine CNC

Il est assez facile de comprendre le fonctionnement de ces systèmes CNC. Les projets de fabrication peuvent être transférés du bureau de l'ingénieur CAO/FAO à l'atelier de fabrication sous la forme de fichiers informatiques et sont désormais généralement envoyés par e-mail. Ces fichiers sont téléchargés sur l'ordinateur intégré à la machine. Après avoir ajusté les paramètres de la machine, le corps principal atteint le point de départ de la fabrication, et les signaux et commandes sont envoyés pas à pas aux composants et moteurs de la machine jusqu'à la fin du processus.

6.1. Système à boucle ouverte

Un système de mouvement basé sur des moteurs pas à pas sans contrôle d'état.

Ce faisant, le système de commande envoie un signal de mouvement au moteur, mais aucun appareil connecté au moteur ne signale au système si le mouvement est terminé [4].

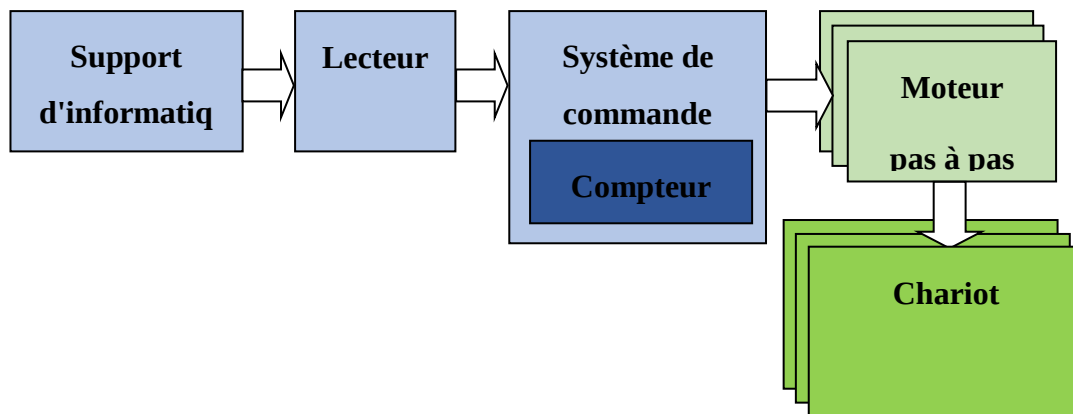


Figure 2 : Système à boucle ouverte

6.2. Système à boucle fermé

Il s'agit d'un système de mouvement basé sur un moteur à courant continu avec un comparateur d'état (servomoteur) qui contrôle la trajectoire définie et mesurée. Dans ce système, un moniteur de rotation et d'angle du moteur est connecté à chaque moteur, ce qui fournit au contrôleur les coordonnées du mouvement et détermine s'il est effectué ou non en fonction du signal envoyé.

Cette technologie a été développée

après des accidents dans des voitures où le moteur a été endommagé ou il y avait des obstacles sur le chemin qui étaient déjà gravement endommagés. Ici, nous évitons de telles erreurs, car le contrôleur n'envoie plus de signaux s'il ne reçoit pas de signal de réponse des dispositifs de surveillance du moteur et avertit d'un dysfonctionnement [4].

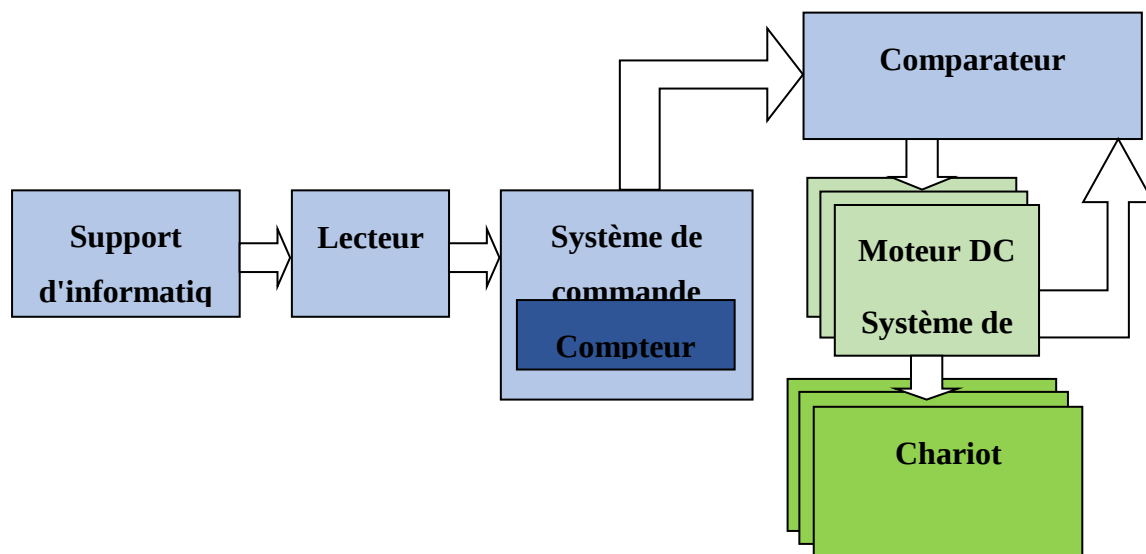


Figure 3 : Système à boucle fermé

6.3. Système adaptative

Ce système fonctionne non seulement en boucle fermée, mais surveille également tout ce qui arrive à l'outil, comme : B. le changement de température, l'augmentation du couple ou les vibrations causées par le processus de coupe, puis envoie des signaux au contrôleur. . sont modifiés pour que les mesures correspondant aux mesures demandées puissent être obtenues [4].

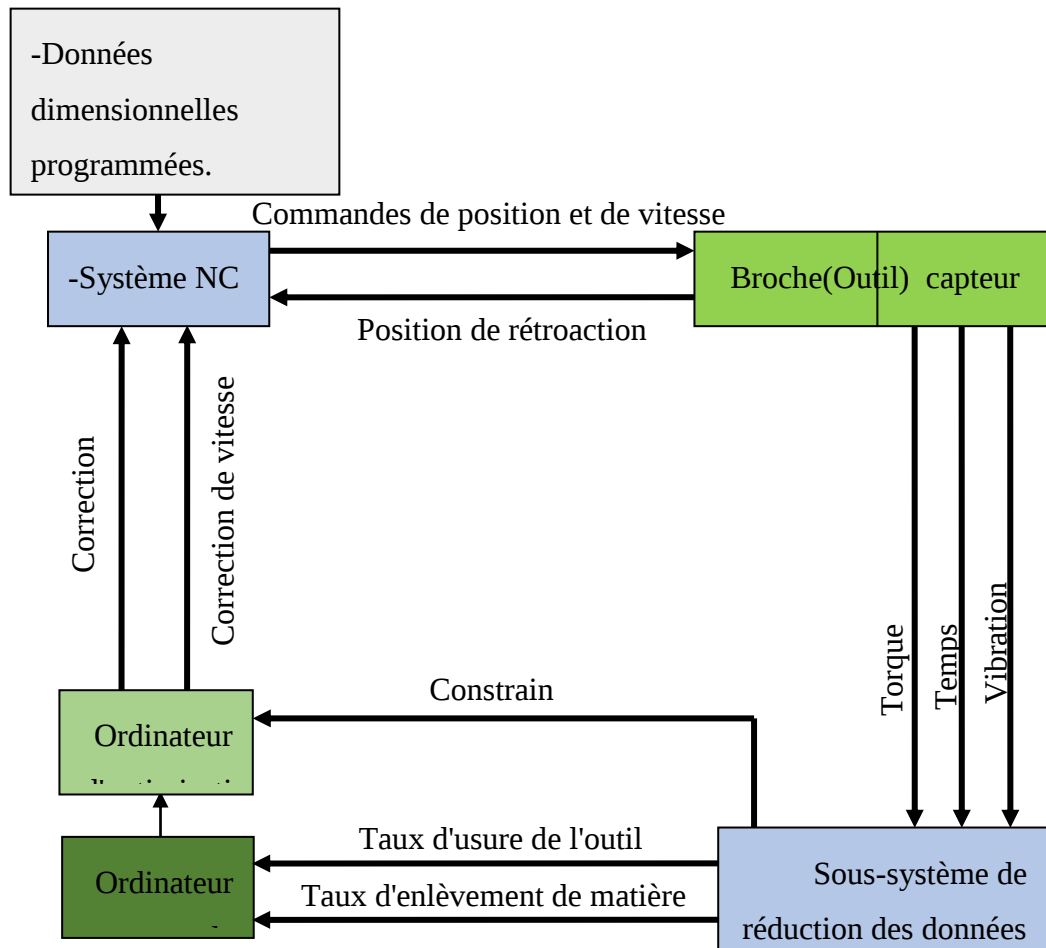


Figure 4. Système adaptative

Le développement dans le domaine des capteurs, comparateurs et appareils de mesure basés sur des composants électroniques promet de nombreux changements et améliorations dans les performances des machines à commande numérique, et comme le logiciel a atteint le niveau de l'intelligence artificielle, l'avènement des appareils de contrôle apportera de tout nouveaux ajouts qui peut faire une grande différence dans ce domaine [4].

7. Conclusion

La commande numérique a amené le monde dans une autre ère de l'histoire mais a gardé la précédente. Il s'agit en fait d'une série d'appareils pouvant être installés sur n'importe quelle machine et programmés selon ses spécificités. La différence que ces appareils ont fait est leur qualité le produit, car il se caractérise par une précision que la main humaine ne peut égaler. Nous parlons de surfaces simples, mais lorsque nous touchons des surfaces aux détails complexes, un humain ne peut pas les atteindre avec des machines de découpe ordinaires.

Chapitre II :

Réalisation de la machine CNC

1. Introduction :

Notre objectif dans ce travail est de produire une machine CNC de bureau pour la fabrication de PCB. Dans ce chapitre, nous expliquons la partie contrôle et mouvement et les programmes qui fonctionnent avec.

2. Schéma synoptique

Ce diagramme explique comment le travail est effectué et comment les instructions sont transférées entre les commandes de la machine. Tout d'abord, les pièces créées sont modélisées sur ordinateur à l'aide de programmes de conception CAO, puis nous simulons le processus de fabrication pour déterminer les trajectoires des pièces de la machine pendant le fonctionnement. Ce dernier crée un fichier G-CODE qui est envoyé au microcontrôleur chargé de distribuer les commandes à chaque partie de la machine.

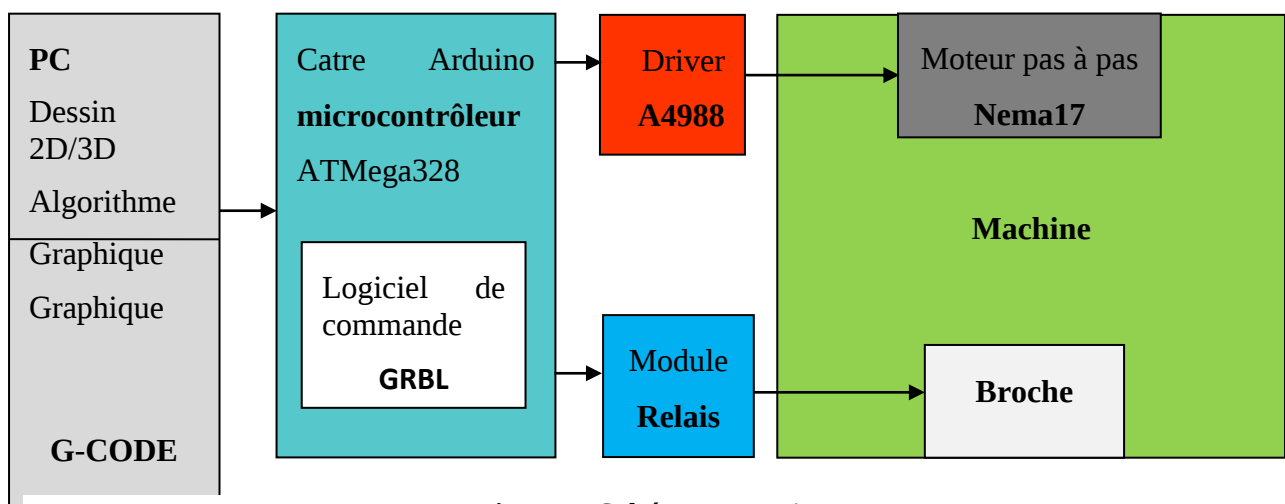


Figure 5.Schéma synoptique

Pour notre projet, nous allons commencer par la carte Arduino.

3. Carte Arduino

3.1. l'origine du nom

Arduino tire son nom du Bar di Re Arduino (français pour "King Arduino's Bar"), un lieu de rencontre pour les concepteurs de cartes à Ivrea, dans le nord de l'Italie^{2,3} (wikipedia.org)

Arduino est une marque déposée d'une plate-forme de prototypage ouverte qui permet aux utilisateurs de créer des objets électroniques interactifs à partir de circuits imprimés sans matériel abritant un microcontrôleur (architecture Atmel AVR comme Atmega328p et architecture ARM comme Cortex-M3 pour Arduino) [5].

Les schémas de ces cartes électroniques sont publiés sous licence libre. Cependant, avec certains composants, comme un microcontrôleur, ce n'est pas le cas.

Le microcontrôleur peut être programmé pour analyser et générer des signaux électriques pour effectuer diverses tâches telles que la domotique (contrôle des appareils électroménagers - lumières, chauffage, etc.), le contrôle d'un robot, d'un ordinateur de bord, etc.

3.2. Les caractéristiques techniques de la carte Arduino

Microcontroller	ATmega328P	
USB connector	USB-B	
Pins	Built-in LED Pin	13
	Digital I/O Pins	14
	Analog input pins	6
	PWM pins	6
Communication	UART	yes
	I2C	yes
	SPI	yes
Power	I/O Voltage	5V
	Input voltage (nominal)	7-12V
	DC Current per I/O Pin	20 mA
	Power Supply Connector	Barrel Plug
Clock speed	Main Processor	ATmega328P 16 MHz
	USB-Serial Processor	ATmega16U 2 16 MHz
Memory	ATmega328P	2KB SRAM, 32KB FLASH, 1KB EEPROM
Dimensions	Weight	25 g
	Width	53.4 mm
	Length	68.6 mm

Tableau 1. Caracteristiques carte Arduino [5]

Le monde des microcontrôleurs est immense et il existe de nombreux types et marques qui peuvent varier en taille, en capacité et même en applications.

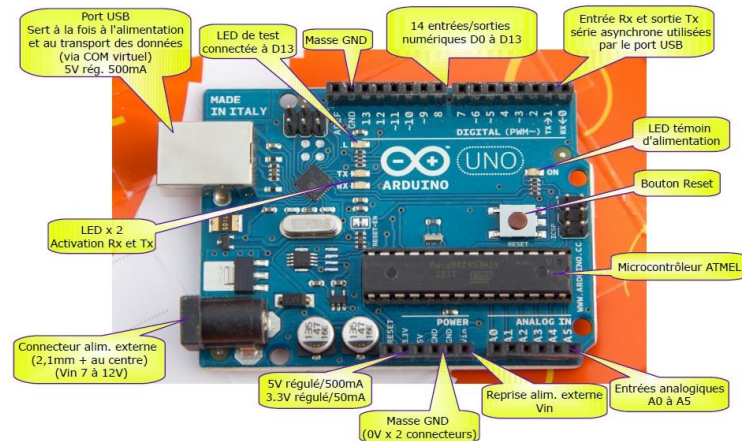


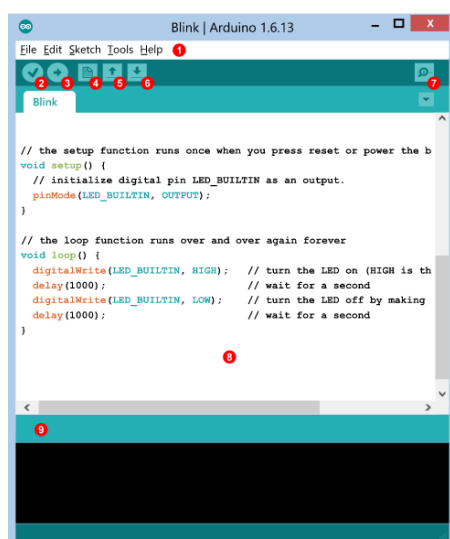
Figure 6 : Carte Arduino [6]

3.3. Programmation de la carte Arduino

L'IDE Arduino (environnement de développement intégré) est utilisé pour écrire du code informatique et le transférer sur une carte de circuit physique. L'IDE Arduino est très simple, et cette simplicité est probablement l'une des principales raisons pour lesquelles Arduino est devenu si populaire. Nous pouvons dire en toute sécurité que la compatibilité Arduino IDE est désormais l'une des principales exigences pour une nouvelle carte de microcontrôleur. De nombreuses fonctionnalités utiles ont été ajoutées à l'IDE Arduino au fil des ans et vous pouvez désormais gérer des bibliothèques et des cartes tierces via l'IDE tout en gardant la programmation de la carte simple. La fenêtre principale de l'IDE Arduino est illustrée ci-dessous avec un exemple simple de Blink.

Le programme peut être téléchargé gratuitement : <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

ARDUINO IDE



- 1 Menu
- 2 Vérifier : compile et vérifie votre sketch
- 3 Téléchargement: Envoyez votre sketch à STEMera
- 4 Nouveau : ouvrez un nouvelle fenêtre d'esquisse
- 5 Ouvrir : ouvrir une esquisse existante
- 6 Enregistrer : enregistrer l'esquisse active actuelle
- 7 Moniteur : fenêtre pour envoyer et recevoir des informations
- 8 Éditeur : zone d'édition. collez votre croquis dans cette zone
- 9 Message : IDE rapporte un message de réussite ou d'échec ici

Figure 7. Arduino IDE [7]

3.4. Micro programme GRBL

Grbl est un logiciel gratuit qui s'exécute sur des cartes de microcontrôleur de type Arduino et permet de transférer le code G d'un ordinateur doté d'un port USB vers le contrôleur de moteur pas à pas des machines-outils à commande numérique telles que les imprimantes 3D ou les découpeuses laser. Cette approche offre une alternative à l'utilisation du port parallèle de l'ordinateur (appelé « LPT » ou « port d'imprimante »), qui n'est plus présent sur les ordinateurs plus récents. Ainsi, le Grbl rend ce type de machine-outil traditionnellement très chère accessible même aux usines et aux amateurs les plus exigeants [7].

3.5. G-CODE

Les instructions de code G sont envoyées au contrôleur de la machine (ordinateur industriel), qui indique aux moteurs où aller, à quelle vitesse aller et quel chemin emprunter. Les deux situations les plus courantes sont celles où, dans une machine-outil telle qu'un tour ou une fraiseuse, l'outil de coupe est déplacé le long de la trajectoire du matériau de l'outil de coupe conformément à ces instructions sans que la pièce finie et/ou la pièce non finie ne soit finalement positionnée avec une précision de vers le haut. à neuf axes en trois dimensions par rapport au parcours d'outil, et l'un ou les deux peuvent se déplacer l'un par rapport à l'autre. Le même concept comprend également des outils non coupants tels que des outils de façonnage ou de polissage, du photo-traçage, des méthodes additives telles que l'impression 3D et des outils de mesure [8].

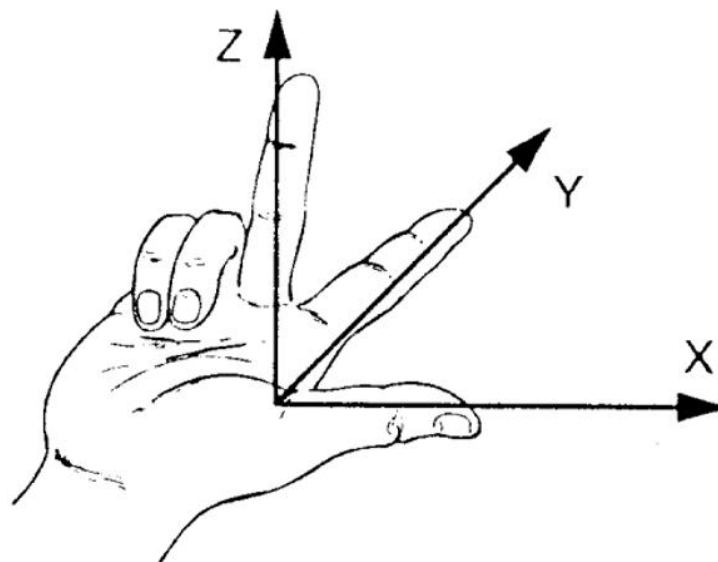


Figure 8. Règle trois doigts [10]

3.6. Driver A4988

Cette carte de répartition pour le moteur pas à pas bipolaire A4988 d'Allegro offre une limitation de courant réglable, une protection contre les surintensités et les surchauffes, et cinq résolutions de microstep différentes (jusqu'à 1/16-step). Il fonctionne de 8 V à 35 V et peut fournir jusqu'à environ 1 A par phase sans dissipateur de chaleur ou flux d'air forcé (il est évalué à 2 A par bobine avec un refroidissement supplémentaire suffisant). Cette planche est livrée avec des broches de tête de 0,1 mâle incluses mais non soudées [9].

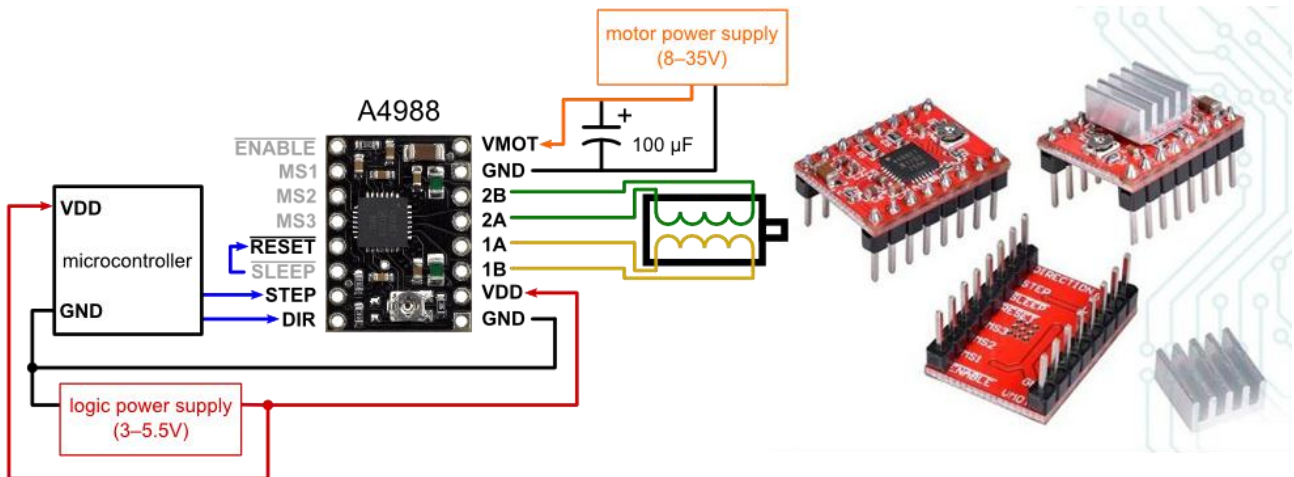


Figure 9.Driver A4988 [9]

4. Relais

Le relais est constitué d'un électroaimant et d'un contacteur mécanique. Lorsque le courant aux bornes d'entrée est suffisamment élevé, l'électroaimant devient magnétisé, provoquant la fermeture du circuit par le contacteur. Comme il n'y a pas de liaison mécanique entre le circuit de commande et le circuit de puissance (actionnement magnétique), il existe une isolation galvanique entre les deux circuits ; qui protège le circuit de commande [10].

Nous utilisons ce composant pour alimenter le moteur du porte-outil ou le mettre hors tension

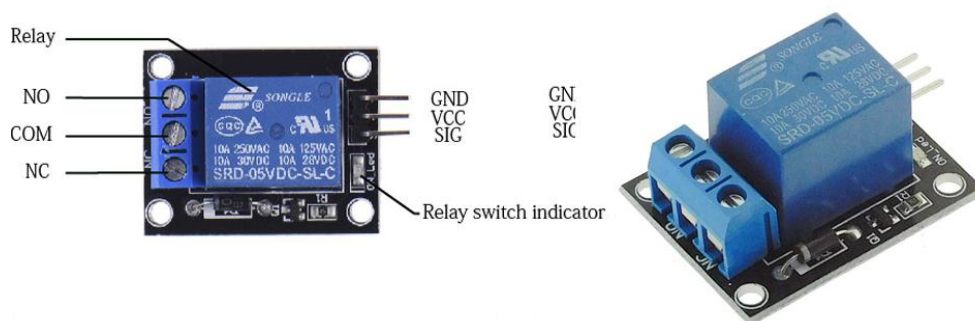


Figure 10.Relais [10]

5. Moteur pas à pas

Le moteur pas à pas a été inventé pour l'horlogerie en 1936 par Marius Lavet, ingénieur français des Arts et Métiers. Le moteur pas à pas convertit l'impulsion électrique en un mouvement angulaire. Ce type de moteur est largement utilisé dans tout appareil où vous souhaitez contrôler la vitesse ou la position en boucle ouverte, généralement dans les systèmes de positionnement et d'indexation [11]

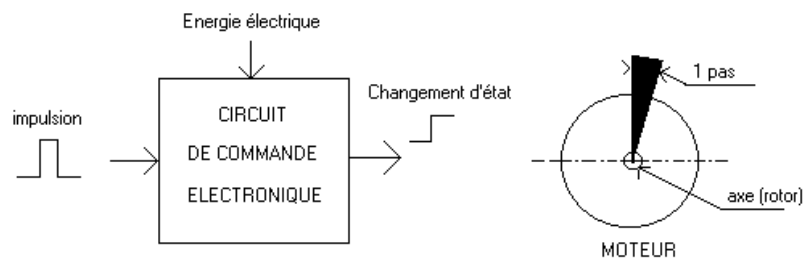


Figure 11. Circuit de commande moteur pas à pas [14]

Pour distinguer un moteur à courant continu d'un moteur pas à pas, on peut regarder le nombre de câbles d'alimentation.

De plus, lors de la rotation manuelle du rotor du moteur pas à pas, des "petites encoches" qui "correspondent" aux pas du moteur peuvent parfois se faire entendre.



Figure 12. Moteur 2 fils et 4 fils [15]

5.1. AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
-La précision	-Vitesse limitée -puissance limitée -Plus difficile à faire fonctionner qu'un moteur à courant continu -Couple relativement faible et décroissant rapidement lorsque la vitesse augmente.

Tableau 2. Avantages et inconvénients [12]

5.2. LES CATEGORIES

	A réluctance variable:	A aimants permanents:	Les hybrides:
Constitution			
Caractéristiques	- On ne sent pas les pas. - Moins puissant, mais plus rapide que les moteurs à aimant permanent. Les plus anciens.	- On sent les pas.	-Ils combinent les 2 technologies précédentes
Avantages		- Bon marché - Dimensions réduites - Bon rendement -Bon amortissement des oscillations -Grand angle de pas (nombre de pas faible : 48)	- Couple important - Plus de puissance - Rendement assez bon - Courbe start/stop assez élevée - Bon amortissement -Adapté au fonctionnement micropas - Roulement à billes pour une meilleure charge radiale et plus longue durée de vie - Petit angle de pas (résolution de 100 à 400 pas/tour.)
Inconvénients		-Puissance faible -Paliers en bronze ou plastique (pas de roulement) -Couple résiduel sans courant -Vitesse faible	-Inertie élevée -Couple résiduel sans courant -Plus coûteux -Plus volumineux

Tableau 3 Les catégories des moteurs pas à pas [13]

Pour notre projet, nous avons choisi d'installer un moteur hybride.

5.3. Rotor hybride :

Ce type de rotor a une conception spécifique et est un hybride des versions à aimant permanent et à réluctance variable. Le rotor a deux protège-dents alternés et est magnétisé axialement. Cette configuration permet au moteur de tirer parti des versions à réluctance variable et à aimants permanents, en particulier à haute résolution, vitesse et couple [14].

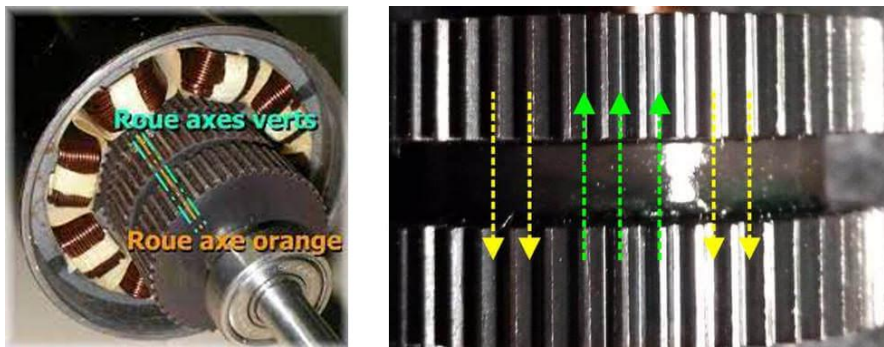


Figure 13. Dents du rotor hybride [14]

Les moteurs pas à pas sont souvent des moteurs hybrides à magnétisation permanente du rotor. Le rotor du moteur hybride se compose de deux engrenages décalés. Le premier cercle est le pôle sud magnétique et fait face aux pôles A du stator. Le deuxième cercle est le pôle nord magnétique et est opposé aux pôles B du stator. La figure ci-dessous montre le moteur hybride dans la configuration où la phase A est alimentée. Les dents du pôle sud du rotor sont alors alignées avec les dents du pôle A du stator.

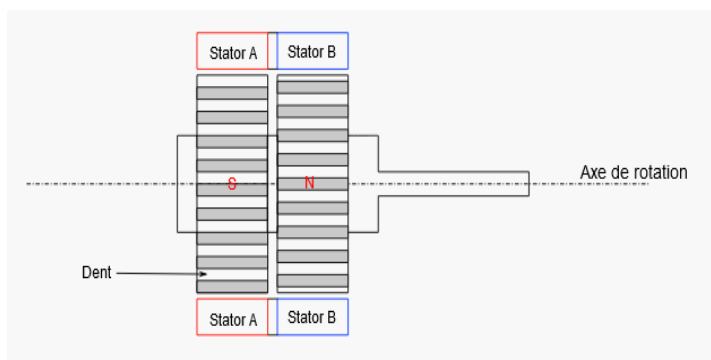


Figure 15.Alignement des dents [18]

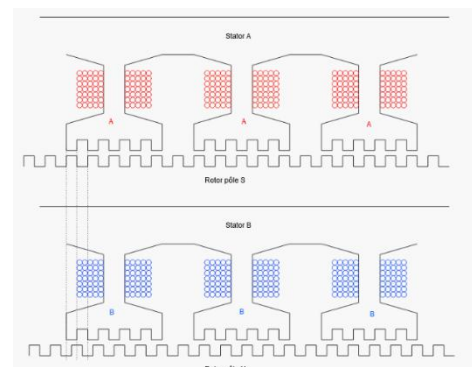


Figure 14.Découpe montre l'alignement [18]

Dans un moteur hybride, il y a peu de couple même lorsqu'il n'y a pas de courant, ce qui entraîne l'alignement du rotor avec les pôles A ou les pôles B (la charge de repos est faible). Le moteur pas à pas bipolaire possède quatre fils d'alimentation, deux pour la phase A et deux pour la phase B. Un ohmmètre permet d'identifier facilement les deux paires [15].

5.4. Excitation des phases

Dans le premier mode d'excitation, la rotation du rotor se produit lorsque l'alimentation est coupée dans une phase tandis que l'alimentation est allumée dans l'autre phase. Dans ce mode, le courant ne circule que dans une phase à la fois (monophasé actif, mode pas à pas). A chaque changement, le sens du courant est inversé. Ce mode est aussi appelé excitation ondulatoire [15].

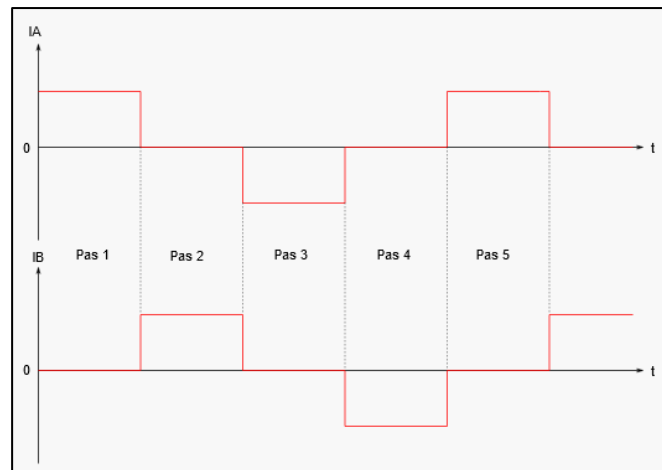


Figure 16.Excitation des phases [15]

La rotation se produit très rapidement, de l'ordre de la milliseconde, immédiatement après le changement de courant (le temps de génération du courant doit également être pris en compte). La durée des étapes est généralement de plusieurs dizaines de millisecondes. Le courant est maintenu pour fixer le rotor. De plus, lorsque la charge est légère, le courant peut être interrompu entre les étages après avoir appliqué une impulsion suffisamment longue pour initier la rotation. Par exemple, si les pas sont espacés d'une seconde, vous pouvez utiliser des impulsions de 50 millisecondes suivies de pas de courant nuls [15].

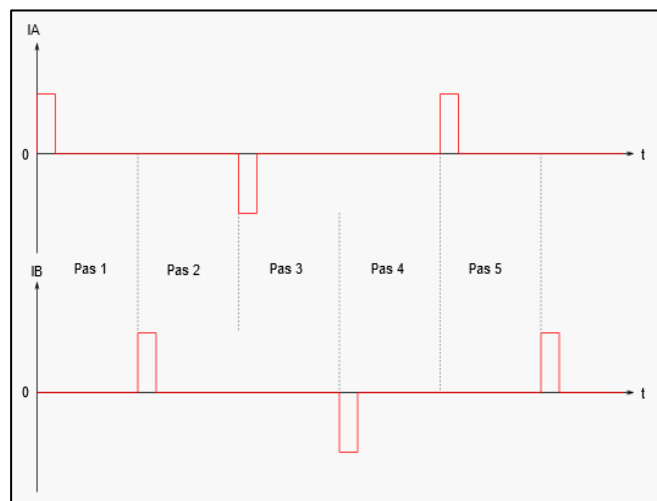


Figure 17.Excitation des phases moins de 50 millisecondes [15]

Le deuxième mode (Two Phase ON, Full Step) consiste à alimenter deux phases en même temps et à changer la direction du courant à chaque étape. Dans ce mode, le couple moteur est plus élevé, mais la puissance dissipée est évidemment plus élevée (dans le cas du moteur, c'est dans le circuit de commande). Ce mode est également appelé excitation standard [15]

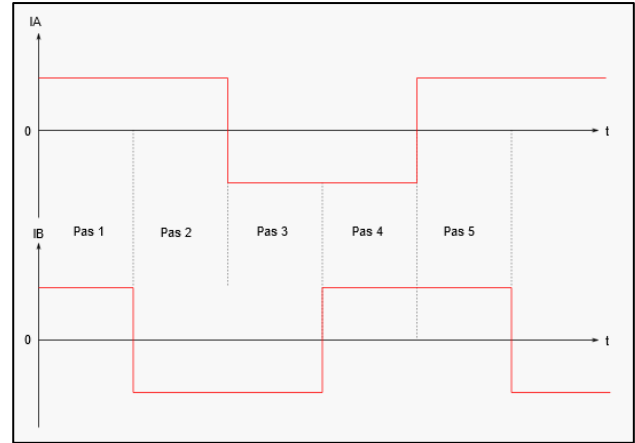
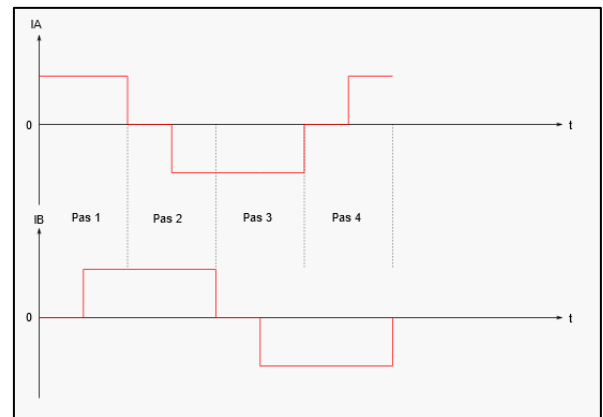


Figure 18.excitation standard. [15]

Le troisième mode vous permet de vous déplacer d'un demi-pas (mode demi-pas) :

Figure 19.Excitation dmi-pas [15]



5.5. Specifications

Spécifications	Valeur
Type de bobine	Bipolar
Tension nominale	12 VDC
Courant par phase	1700 mA
Angle de pas	1.8
Resistance par Phase	1.55 Ohm
Inductance par Phase	5 mH
Couple de maintien	3200 g-cm
Diamètre de l'arbre	4.829 mm
Longueur de l'arbre	38. mm
Taille (Diamètre x Longueur) (mm)	41.91 x 37.84
NEMA Frame Size	17
Espacement des trous	31 mm
Trou de montage	3,8 mm
Couple de détente	163 g-cm
poids	0.6 lbs

Tableau 4.Spécifications Moteur NEMA 17 [16]



Figure 20. Moteur pas a pas NEMA 17 [19]

6. Construction de structures mécaniques :

La construction mécanique d'une machine à commande numérique nécessite des composants mécaniques particuliers pour assurer une bonne liaison entre ses pièces et obtenir un produit répondant aux spécifications requises lors de sa fabrication.

6.1. Les vis de transmission :

Les matériaux que nous utilisons sont disponibles dans toutes les quincailleries, mais peuvent remplacer des composants spéciaux de cette machine.

Nous n'avons pas utilisé ce produit pour le montage de notre projet, uniquement la tige 03 avec filetage isométrique, diamètre nominal 10mm, pas 1,25mm.



Figure 21.Vis de transmission

6.2. Les axes glissières des tables

Deux axes chromés de 10mm de diamètre et 180mm de long pour l'axe « Z »

Deux axes chromés diamètre 12 mm et longueur 300 mm pour axe en « X »

Deux axes en acier, diamètre 14 mm et longueur 580 mm, pour axe "Y".



Figure 22.Axes glissières des tables

6.3. Les supports moteurs

formé d'un tube profilé carré 40*40 mm. Deux boulons sont ajoutés pour fixer le moteur et deux autres pour fixer l'ensemble au châssis de la machine.

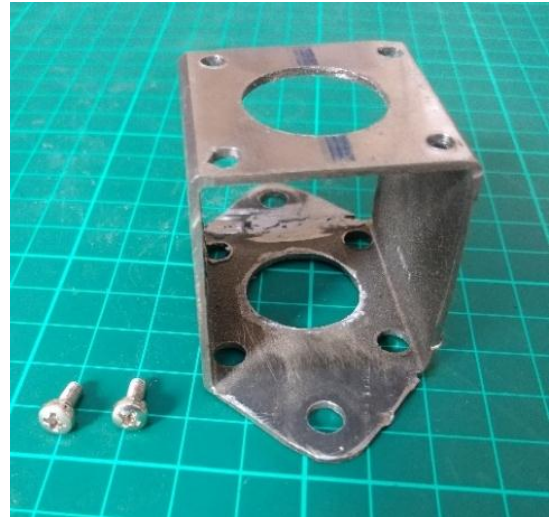


Figure 23. Supports moteurs

6.4. Les raccords moteur axe:

Ecrou d'acier 40*10 mm avec emplacement de deux vis M3*4 un pour fixer la tête du moteur et l'autre pour fixer la tige filée



Figure 24. Raccords moteur axe

6.5. Montage moteur axe et support:

Montage du moteur avec l'axe en utilisant les écrous.



Figure 25. Montage moteur axe

6.6. Les glissières des tables:



Figure 26. Vis roulement et rondelle



Figure 27. Assemblage par soudage

6.7. Le montage des glissières:

Assemblage de composants pour former une base de table où chacun a besoin de huit roulements et vis avec rondelles.

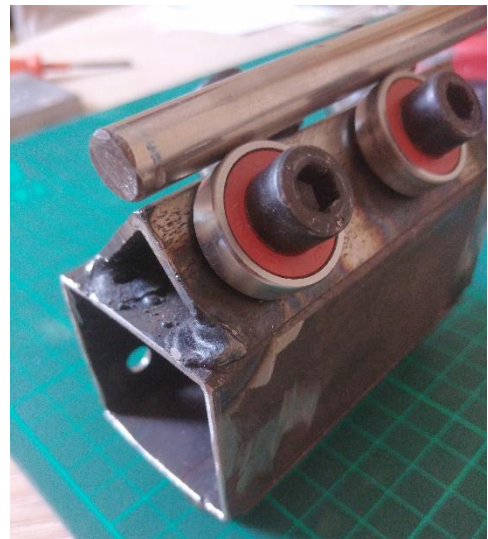


Figure 28. montage des glissières

6.8. La table de de travail:

Un alliage d'aluminium résistant avec les dimensions 300*200*10 mm.

Des trous et de taraudage sont ajoutés pour installer les artefacts plus tard.

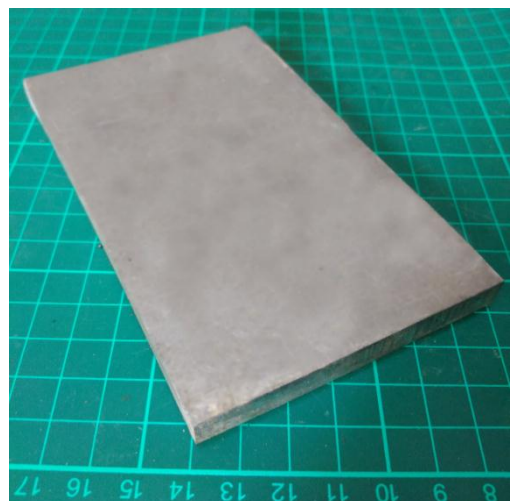


Figure 29. Table de travail

6.9. Le chassis:

Le tube profilé carré de 40*40 mm avec un épaisseur de 1 mm .

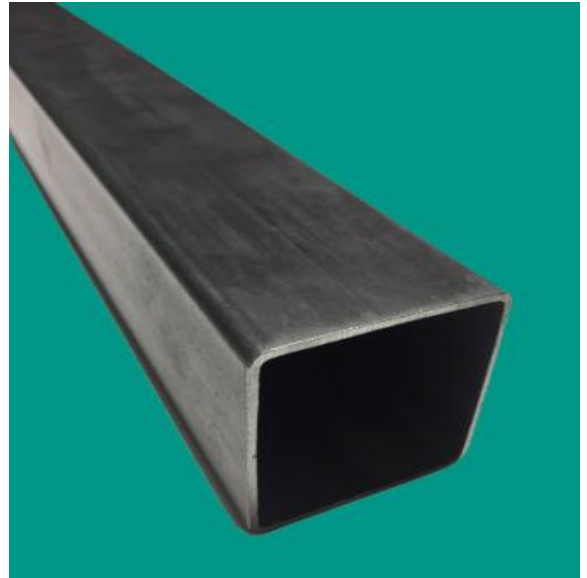
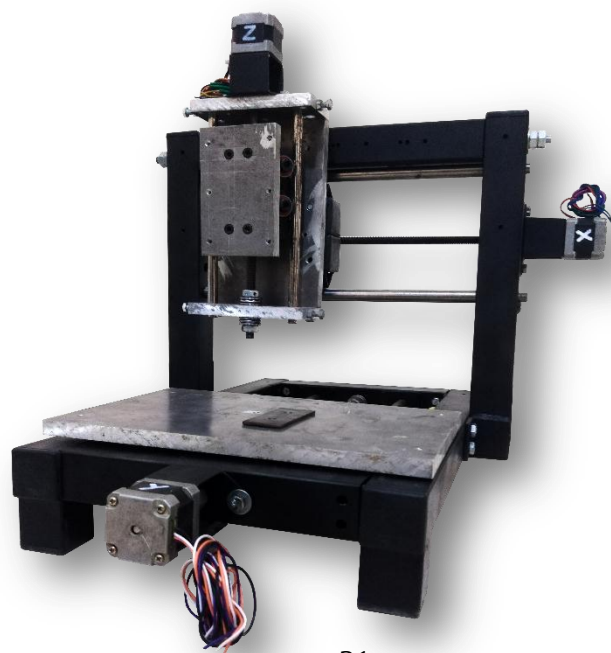


Figure 30. tube profilé carré

6.10. Les cornirnières:

Figure 31. Les cornirnières

6.11. Le montage final de la machine:

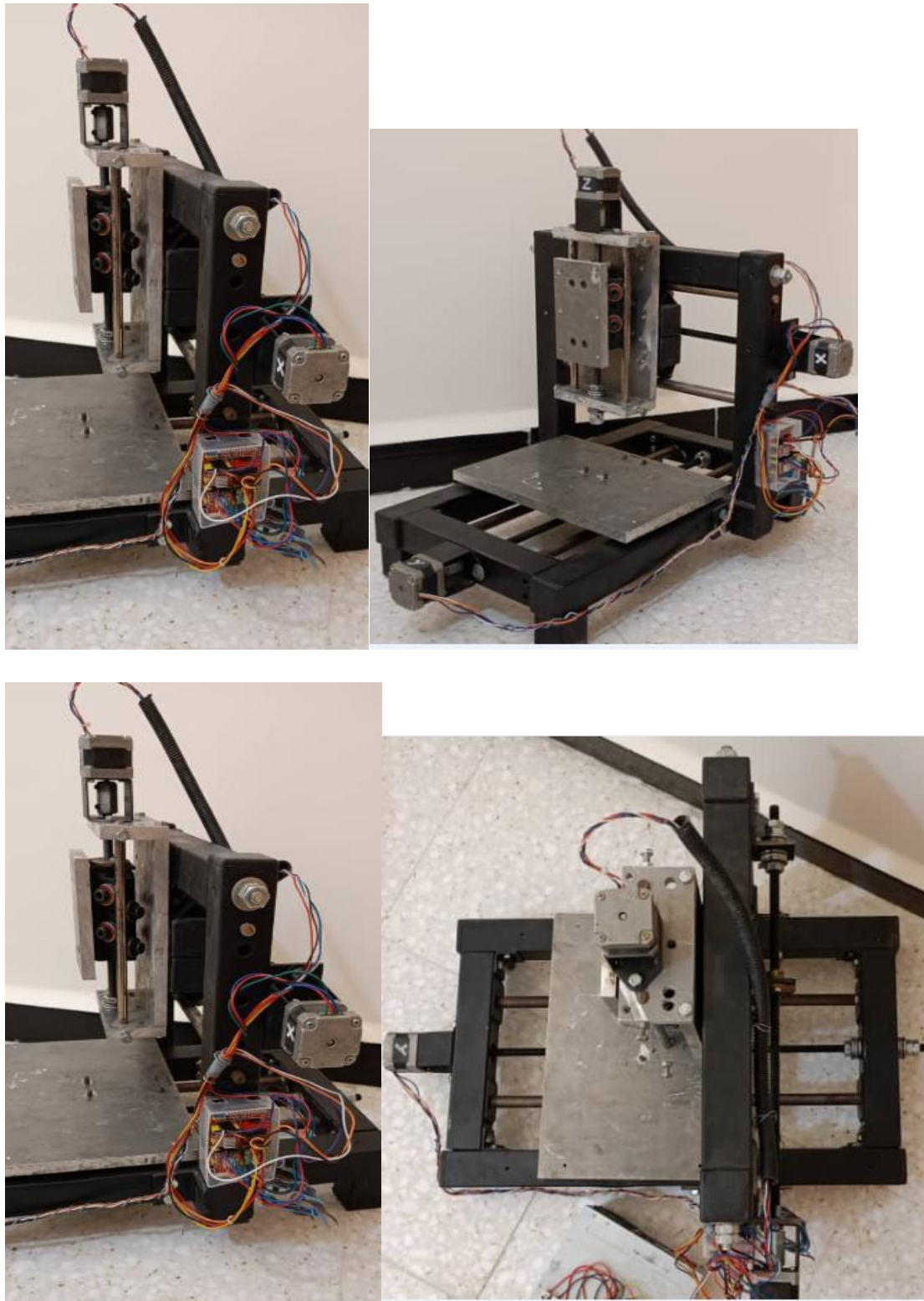


Figure 32. Le montage final de la machine

7. Table des composants:

N°	Destination	Qut	Prix Un DA	Côut DA
1	Tube rectangulaire 40	4 ml	300	1200
2	Axe de fixation	0.6	400	1200
3	Ecrou de fixation	13	10	130
4	Cornière	2	400	800
5	Vis de fixation 6mm	26	5	130
6	Axe de guidage	3 ml	600	1800
7	Vis et Ecrou avec frein	8	60	480
8	Usinage Support moteur	3	200	600
9	Usinage Ecrou bronze	3	1500	4500
10	Tige fileté	400	2	800
11	Bouchon tube rectangulaire 40	16	40	640
12	Roulement de guidage	6	350	2100
13	Vis de fixation roulement	24	10	240
14	Rondelle frein	48	5	240
15	Alliage Aluminium	0.5m ²	16000	8000
16	Vis de fixation tables	16	10	160
17	Moteur pas a pas	3	2500	7500
18	Carte Arduino Uno	1	3500	3500
19	Shiled CNC 3	1	2500	2500
20	Driver A4988	4	700	2800
21	Boite d'alimentation	1	900	900
	TOTAL			40220

Tableau 5.Table des composants et le coût

8. Conclusion:

L'achèvement et la conception de la structure en acier de la machine est un processus de conception fondamental où la compatibilité des pièces est essentielle. Moins il y a de pièces au total, plus la structure est stable et meilleure est la forme de la machine.

Ce faisant, nous avons prouvé expérimentalement que l'usinage sur une machine CNC ne concerne pas seulement des pièces complexes, mais que même les pièces les plus simples nécessitent des dimensions précises.

Chapitre III :

Commande de la machine CNC

1. Introduction:

La commande numérique et le contrôle des machines CNC nécessitent une série d'appareils bien connectés et des logiciels intermédiaires entre ces appareils. Ce diagramme montre le flux d'informations entre les composants d'un système de machine CNC.

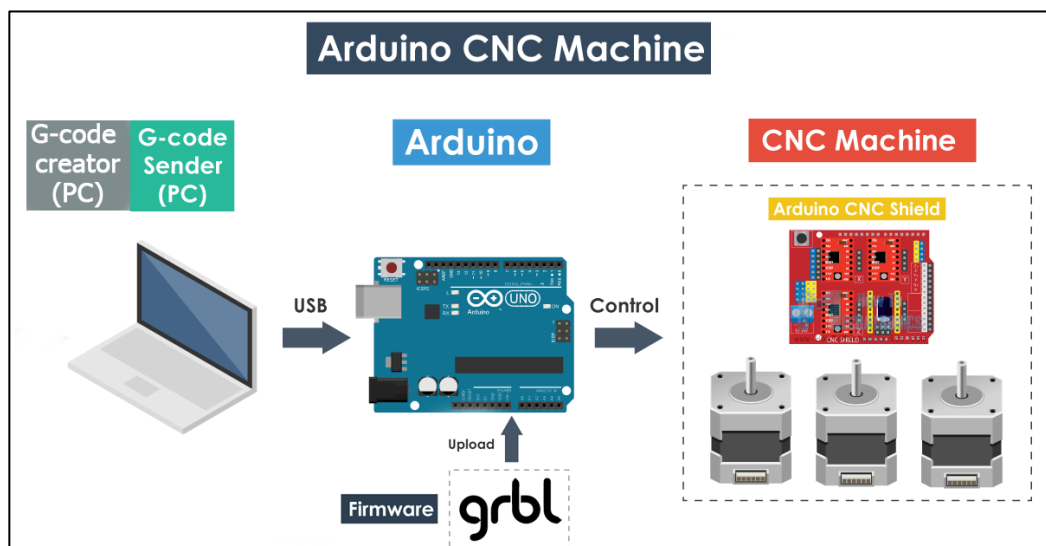


Figure 33. le flux d'informations entre les composants

2. Installation GRBL :

La première chose que nous faisons est d'installer le programme **GRBL** .

le GRBL C'est un logiciel open source utilisé pour contrôler le mouvement d'une machine CNC, où le logiciel GRBL peut être facilement injecté dans l'Arduino, puis nous obtenons un contrôleur avec un prix abordable et de hautes performances, et GRBL utilise le G-code comme son entrée de sorte que la sortie soit des commandes de contrôle de mouvement.

Le diagramme schématisé de la figure ci-dessus nous permet de savoir où le GRBL est placé dans le schéma de principe de fonctionnement de la machine CNC. C'est le programme d'installation que nous devons installer sur l'Arduino afin que nous puissions contrôler les moteurs pas à pas de la machine Dans un autre sens, le programme GRBL traduit le G code Et le convertit sous forme de mouvement des moteurs [16].

Tout d'abord, nous avons besoin d'Arduino IDE pour pouvoir installer GRBL sur Arduino, après cela, nous pouvons télécharger le programme d'installation GRBL à partir du micrologiciel de [firmware from github.com](https://github.com/gnea/grbl)

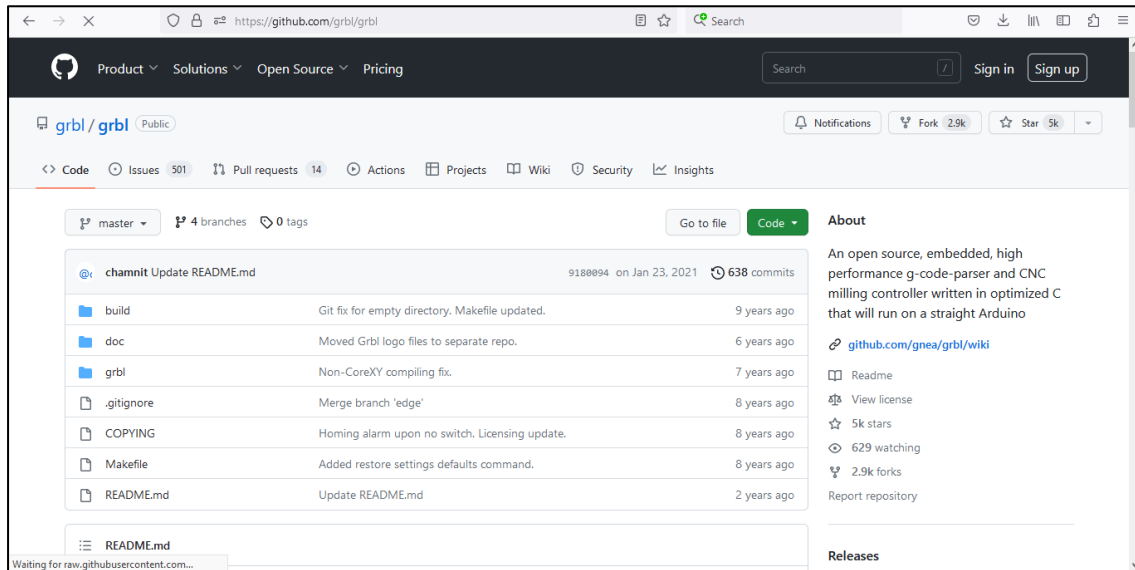


Figure 34. Le site web github.com

Téléchargez-le sous forme de fichier .ZIP, puis suivez ces étapes :

- Ouvrez grbl-master.zip et extrayez les fichiers.
- Ouvrez l'IDE Arduino et accédez au chemin suivant : *Sketch > Include Library > Add .ZIP*

Library

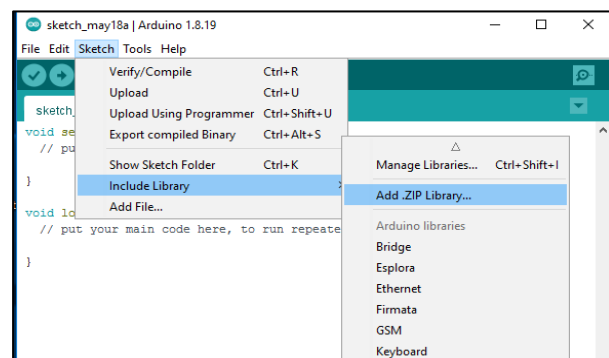


Figure 35. Ajout fichier zip au librerie

Allez dans le dossier décompressé grbl-master, sélectionnez le dossier grbl et cliquez dessus pour ouvrir le fichier. Ajout de GRBL comme l'une des bibliothèques Arduino.

Ensuite aller à:

Fichier > Exemples > grbl > grblUpload

Une nouvelle interface graphique s'ouvrira et vous devrez la télécharger sur votre Arduino. Ce n'est qu'une ligne de code, donc ça a l'air suspect, mais presque tout est fait dans la bibliothèque, donc tout ce que vous avez à faire est d'utiliser la carte Arduino et COM. - Sélectionnez un port et cliquez sur le bouton "Télécharger".

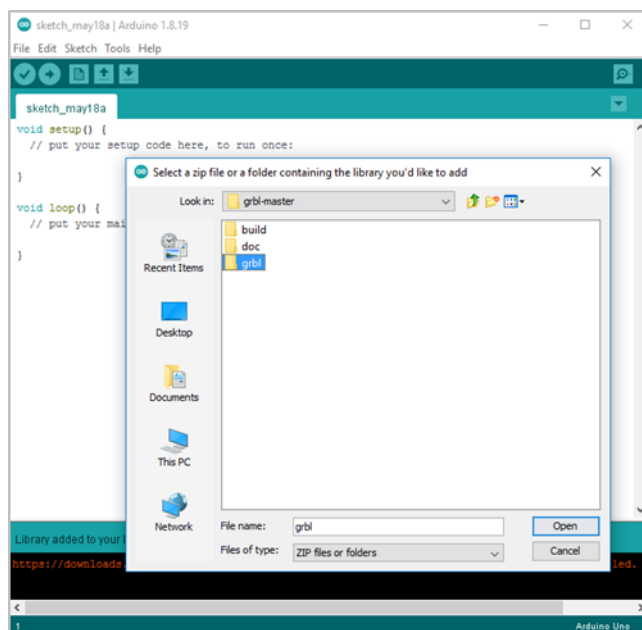


Figure 36. Selectionner le fichier

2.1. Paramétrage GRBL :

À ce stade, nous devons configurer le programme GRBL sur notre machine. La fenêtre série de l'IDE Arduino nous permet de le faire, sachant que lorsque nous ouvrirons la fenêtre, nous recevrons un message avec la phrase "Grbl 1.1h ['\$' for help]" Si vous ne recevez pas ce message, assurez-vous de changer le débit en bauds à 115200. Nous obtenons une liste des commandes ou des paramètres actuels si nous tapons "\$\$", et cela ressemble à ceci :

\$100 = 250 000 (x, pas/mm)

\$101 = 250 000 (a, pas/mm)

\$102 = 3200.000 (z, pas/mm)

\$110 = 500.000 (x taux max, mm/min)

\$111 = 500 000 (taux max y, mm/min)

\$112 = 500.000 (taux max z, mm/min)

\$120 = 10 000 (x accél, mm/sec^2)

\$121 = 10.000 (y accel, mm/sec^2)

\$122 = 10 000 (accélération z, mm/sec^2)

Toutes ces commandes sont réglées en fonction de notre machine CNC, par exemple la première commande $G100 = 250\ 000$ (x, pas/mm) nous permet de régler le nombre de pas par mm de la machine ou nous pouvons spécifier le nombre de pas moteur sur le Axe X nécessaire pour se déplacer de 1 mm.

Cependant, il est suggéré de laisser ces paramètres tels quels et de prendre un moyen plus simple d'ajuster et de configurer en fonction de la machine en programmant le microcontrôleur qui sera expliqué dans la section suivante.

3. Création G code :

Dans le monde des logiciels, il existe un nombre important de programmes de conception technique 2D et 3D que nous appelons CAO.

Il existe également des programmes qui simulent les processus de fabrication : CFAO

Il ne suffit pas ici de mentionner tous les programmes existants, mais ils sont divisés en deux types, dont l'un est des programmes non libres tels qu'Aspire, Solidworks, Catia... etc

Et une autre source libre que nous pouvons utiliser comme : Inkscape, Freecad... etc

3.1. Inkscape:

Inkscape est un logiciel de dessin vectoriel open source qui vous permet de créer et de modifier des images vectorielles telles que des illustrations, des icônes, des logos et des diagrammes. De plus, des fichiers graphiques bidimensionnels (2D) peuvent être créés au format G-code. Inkscape est facile à utiliser et possède une grande puissance et flexibilité. Basé sur le format standard SVG (Scalable Vector Graphics) pour une meilleure compatibilité avec d'autres logiciels et plateformes. Cette approche garantit la durabilité et l'interopérabilité des fichiers créés avec Inkscape. Grâce à ce logiciel, vous pouvez créer un graphique, le convertir en fichier G-code et l'envoyer à une machine à redessiner avec des outils sur la pièce.

Inkscape offre une interface intuitive et personnalisable avec des démarrages rapides pour les débutants et une variété d'options pour les utilisateurs avancés. Le logiciel est régulièrement mis à jour par une communauté active de développeurs et de contributeurs pour assurer le développement continu des fonctionnalités et de la stabilité du programme [17].

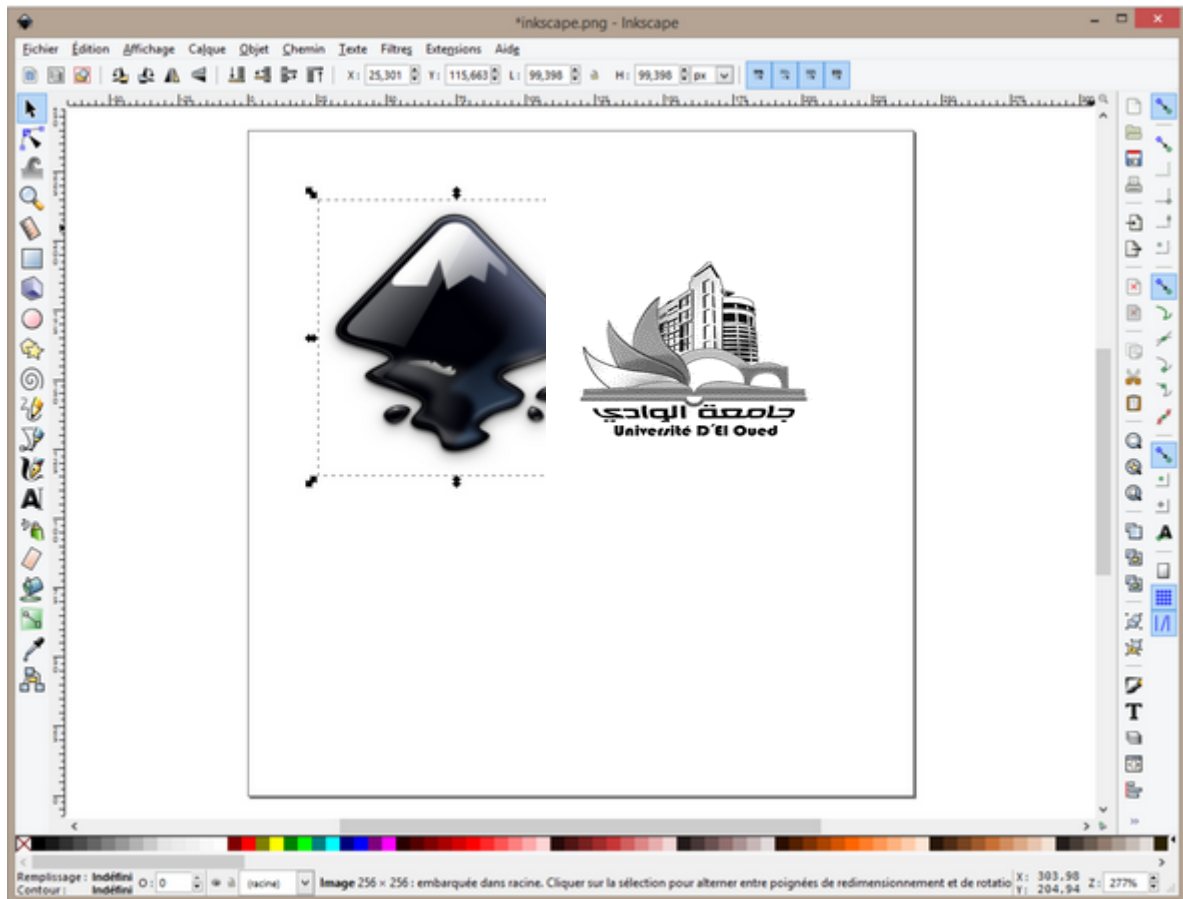


Figure 37. Sélectionner le fichier

4. G code :

G-code est un type de code informatique qui indique aux machines comment effectuer certaines tâches. Il est largement utilisé dans la fabrication et peut contrôler tout, de la vitesse d'une machine à la température de son réchauffeur.

Les machines CNC sont des outils d'usine pour fabriquer des objets physiques à partir d'un design numérique. Ces machines nécessitent un ensemble d'instructions pour créer ces objets, c'est là que le code G entre en jeu. Le G-code est un langage de programmation à commande numérique qui indique à la machine les mesures à prendre et dans quel ordre.

Chaque ligne de G-code est appelée un bloc, et chaque bloc a une fonction spécifique. Par exemple, un bloc pourrait dire à la machine de se déplacer vers une coordonnée spécifique, tandis qu'un autre pourrait demander à la machine de démarrer ou d'arrêter la coupe. Les blocs de code doivent être soigneusement ordonnés et exécutés pour créer un modèle fonctionnel. En conséquence, le code G joue un rôle vital dans la fabrication CNC et l'impression 3D [17].

```

(Start cutting path id: path243)
(Change tool to Default tool)

G00 Z[5.000000*#11+#8]
G00 X[136.196920*#10+#6] Y[178.245390*#10+#7]

G01 Z[-0.125000*#11+#8] F [#20] (Penetrate)
G01 X[136.076000*#10+#6] Y[178.020600*#10+#7] Z[-0.125000*#11+#8] F [#21]
G01 X[135.824850*#10+#6] Y[178.150820*#10+#7] Z[-0.125000*#11+#8]
G01 X[135.939570*#10+#6] Y[178.377170*#10+#7] Z[-0.125000*#11+#8]
G01 X[136.196920*#10+#6] Y[178.245390*#10+#7] Z[-0.125000*#11+#8]
G00 Z[5.000000*#11+#8]

(End cutting path id: path243)

(Start cutting path id: path243)
(Change tool to Default tool)

G00 Z[5.000000*#11+#8]
G00 X[136.928660*#10+#6] Y[177.346220*#10+#7]

G01 Z[-0.125000*#11+#8] F [#20] (Penetrate)

```

Figure 38.Exemple G code

4.1. Exemples G code:

L'une des commandes G-code les plus courantes est Move, représentée par G00, qui indique à la machine de se déplacer vers une coordonnée spécifique (sans couper) tel que : G00 X+05 (Déplacer cinq millimètres dans une direction positive de X).

Une autre commande G-code commune est Cut, représentée par G01, qui indique à la machine de démarrer ou d'arrêter la coupe. Le code suivant indiquerait à la machine de commencer à couper à une profondeur de deux millimètres : G01 Z02.

Enfin, la commande Fin (M30) dit à la machine d'arrêter d'exécuter le code. Cette commande est généralement utilisée à la fin d'un programme de G-code. Ce ne sont là que quelques-unes des commandes G-code les plus utilisées dans l'usinage CNC.

4.2. G code émetteur:

La mission de ces programmes est d'envoyer les instructions de G code vers la machine. Il y a beaucoup de programmes qui répondent à cet objectif, Le plus célèbre d'entre eux est peut-être le programme MACH3, qui n'est pas gratuit [18].

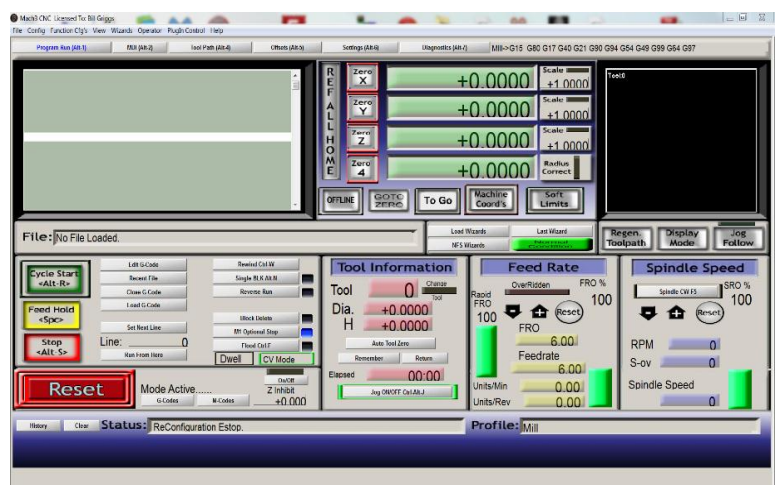


Figure 39. Interface Mach3

Il y a aussi beaucoup des programmes gratuits, ce qui nous permet d'utiliser l'un d'entre eux dans ce projet, et nous avons choisi le logiciel **GrblGru**. <https://www.grblgru.com/>

GrblGru est un logiciel libre dédié au contrôle de la machine CNC à deux et trois axes sur le type d'outil différent, que ce soit pour la découpe, le faisceau laser, le plasma, etc. L'interface semble professionnelle à une longue portée avec de nombreuses fonctionnalités, peut retourner à la page du logiciel pour en savoir plus de détails.

Si le logiciel n'est pas connecté à un panneau de commande qui peut être utilisé dans le mode de simulation du processus de fonctionnement, il y a également une gamme d'articles de machine qui peuvent être affichés en cas de fonctionnement ou de simulation [18].

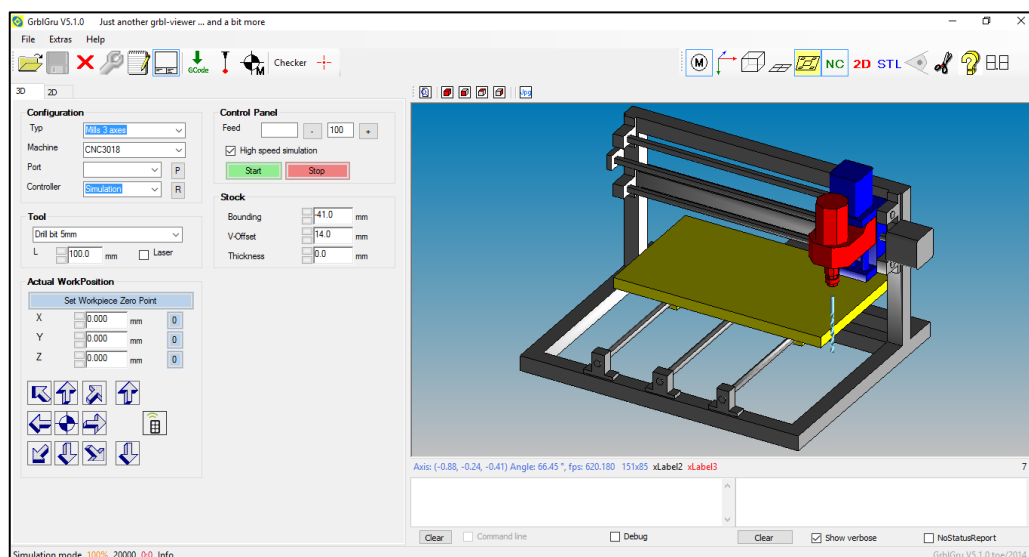


Figure 40. Interface GrblGru

Après avoir connecté le microcontrôleur à l'ordinateur, nous pouvons déterminer le port dans lequel cette carte est située, dans ce cas, il est sur le port com3.

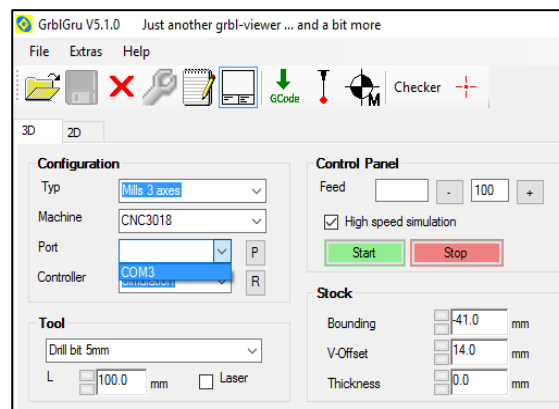


Figure 41. Selection du port com

Ensuite, nous déterminons quel type de Framework est sur le microcontrôleur, Maintenant la machine est prête à effectuer son premier travail.

Il suffit de choisir le fichier de travail à partir de l'ordinateur et de modifier le point de référence de la machine et de passer en opération.

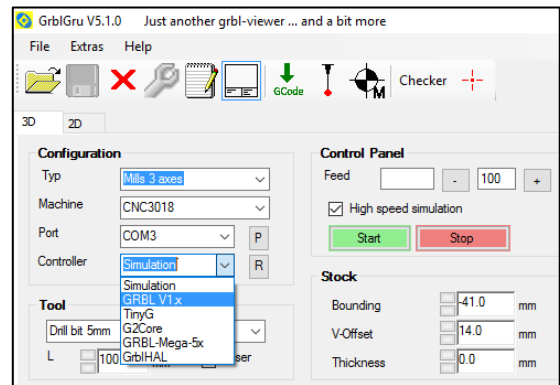
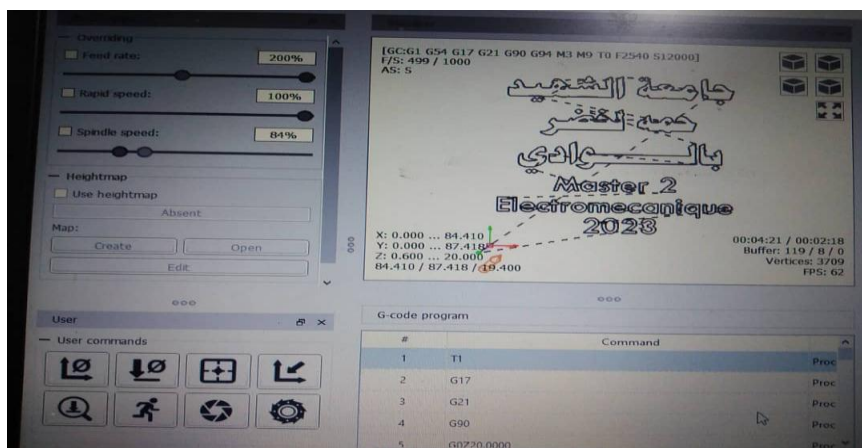
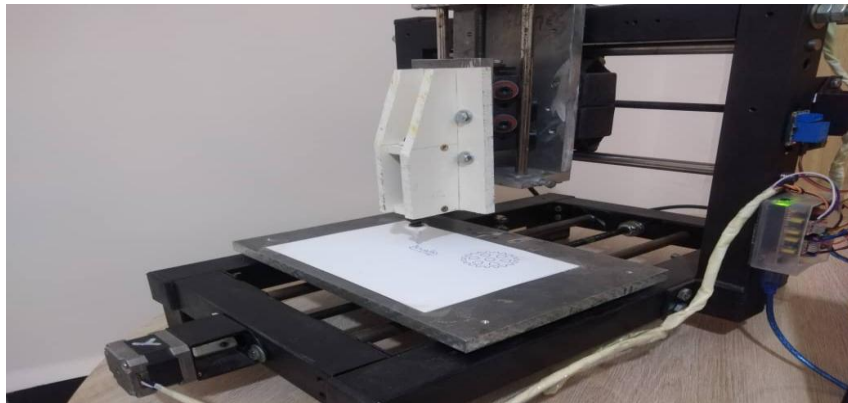


Figure 42. Selection du FrameWare

5. Une partie du travail effectué par la machine CNC:



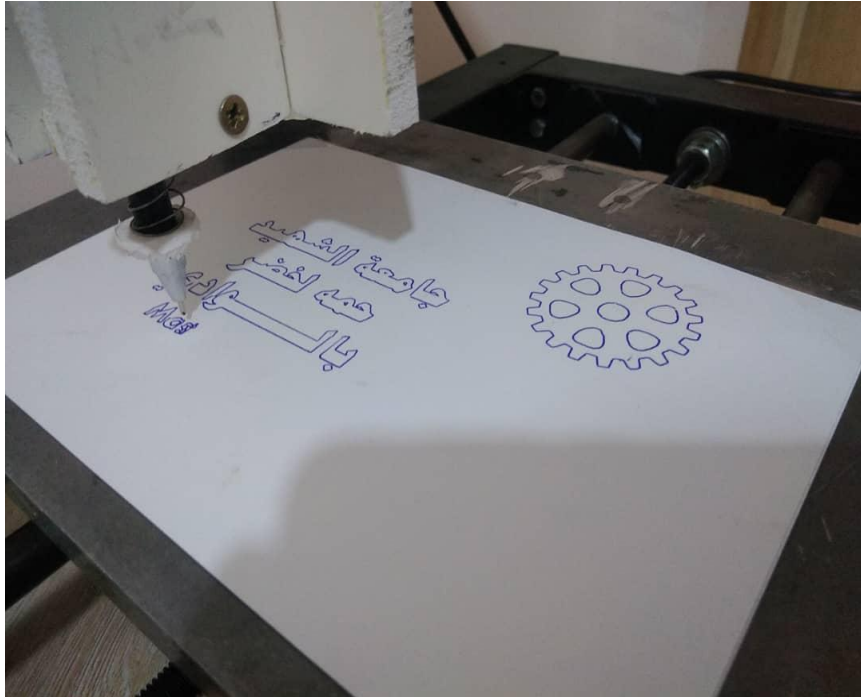


Figure 43. travail effectué par la machine CNC

6. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à la programmation machine.

Commande numérique par langage de programmation G-CODE. nous l'avons expliqué

La structure du programme et les fonctions des mots communs.

Conclusion Générale

7. Conclusion Générale

Les machines CNC jouent un rôle important dans divers domaines de l'industrie moderne. En raison de leur précision et de leur haute qualité, ils sont souvent utilisés dans la fabrication, c'est pourquoi nous avons choisi cette conception.

Dans ce projet, nous avons abordé des calculs nécessaires pour concevoir et construire une machine CNC à 3 axes.

Nous avons commencé par définir le cahier des charges avec les objectifs et les jalons que nous voulions atteindre pour ce projet.

L'objectif est de planifier et de réaliser les étapes nécessaires pour arriver au produit fini le plus facilement possible.

En effet, ce projet a été à l'origine de la découverte de plusieurs domaines scientifiques, tels que l'informatique pour la programmation embarquée et la conception de schémas électroniques, sans oublier le savoir-faire dans le domaine de l'électronique, qui consiste dans la mise en œuvre pratique de circuits.

En perspectives :- Nous pouvons mettre à niveau la broche vers une broche refroidie à l'eau plus puissante, ce qui nous permet d'usiner des matériaux plus longs et plus durs comme l'acier.

Nous espérons que ce modeste ouvrage servira de référence plane futurs et encouragement à se concentrer davantage sur le côté pratique automatique.

Bibliographies

- [1] Gilles Prod'Homme, « *Commande numérique des machines-outils* » 1989
- [2] Prof. Marcel Jufer, « *traite d'électricité électromécanique* » Volume IX ISBN 2-88074- 285-4
- [3] J.R. Hendershot Jr and Tje Miller, « *magna physics publications – magnet motors* » ISBN 1-881855-03-1
- [4] Takashi Kenjo and Akira Sugawara « *stepping motors and their microprocessor controls* » ISBN 0-19-859385-6
- [5] Dr Nicolas Wavre ECOLE « *technique de l'ingénieur, traité génie mécanique* », B7130, pp.3, 1997
- [6] Patrice Oguic , « *Moteurs pas-à-pas et PC* » 2004 - 2ème édition ISBN 2-10-007174-2.
- [7] BENBEKHTI Ahmed, Etude de réalisation d'un support pour affutage des forets sur une machine `a commandé numerique, en octobre 2013(ESI OUED SMAR)
- [8] David Maitre, M. Etienne, Introduction `a la commande num´erique, 17 mars 2000 (UNIV PARIS SUDE)
- [9] AFNOR - Cones d'emmanchement, - norme AFNOR NF E 60-023 - Mai 1985 (UNIV PARIS SUDE)
- [10] Philippe DEPEYRE, Fabrication mecanique, Ann´ee 2004-2005 (Universit´e de la R´eunion)
- [11] Prise en main de SolidWorks PDF (Acad´emie d'Orl´eans-Tours)
- [12] solidworks.fr Profil de la soci´et´e Purdue 1997 (Universit´e Purdue Research and Education Centre for Information Systems)
- [13] tutorial solidworks 2007
- [14] National Instruments, NI, ni.com
- [15] A. Cheikh, N. Cheikh, 2011, cours de CFAO1, Universit´e de Tlemcen, Alg´erie.
- [16] Dr. Zahira HESSAINIA, cours machines-outils à commande numérique, TELUM.UMC.ed.dz/course
- [17] Mike LYNCH, six keys to master your CNC machine, CNC concepts Inc.
- [18] norme NF Z68-020,
- [19] norme NF ISO 841 (septembre 2004)
- [20] denford computerised machines and systems, G and M programming for CNC milling machines

- [21] Steve KRAR and Arthur GILL, computer numerical control programming basics, Industrial press Inc.
- [22] SMILI Khaoula « Simulation de l'usinage d'un arbre sous les logiciels SINUTRAIN 828D ShopTurn et CAMWorks », UNIVERSITE BADJI MOKHTAR –ANNABA- 2017/2018
- [23] Abdelouahab Abderrahmen Rezzag Redouane., « L'effet de la connexion RS232 de la fraiseuse EMCO F1 CNC et le tour EMCO COMPACT 5 CNC»,avec le PC sur la productivité de ces machines 2020
- [24] AEIOU, Adelagnes, Alan ffm ., « Machine-outil à commande numérique»,
- [25] DAHMANI L. & HADJ BRAHIM B. ., « ISET Chapitre 1:Les machines-outils à commande numérique : définitions, structure et caractéristiques»,
- [26] Bentaleb mokhtar et gasmi elhadi Réalisation et commande d'une machine cnc à base des moteurs pas à pas», Université kasdi merbah ouargla 31/05/2016
- [27] Mohammed Raïd ABDEMEZIANE et- Djamal BENABIED., « Conception et réalisation d'une machine CNC», Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf – Mila 2019/2020
- [28] Djamel SMAINI et Rafik BEnKADI., « Conception et réalisation d'une machine CNC», Université mouloud mammeri de tizi-ouzou 17/09/ 2015
- [29] CHATBI Hamid ., «Réalisation d'une commande pour une machine (SNC, 3D », Université Akli Mohand oulhadj Bouira 2017
- [30] FARID BETTINE ., « ETUDE DU PROCESSUS D'USINAGE DES PIECES MECANIQUES SUR LES MACHINES CNC A 5 AXES»,UNIVERSITE MOHAMED KHIDER- BISKRA
- [31] DIKECHE ALA EDDINE et CHALI ABDE RAOUF., « Conception, analyse statique et dynamique D'une machine de fraisage à 4 axes », Université Dr Yahia Fares de Médéa 2018/2019