REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE Dr : YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Département du **G**énie **E**lectrique

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Mécatronique

Thème : MACHINE CNC 4 AXE A LASER

Présenté par :

Metidji Abdelhak
Terkmane Mahmoud

Proposé et Dirigé par :

Dr. Bettache Farouk

Dr. Benyoucef Kaddour

Année universitaire 2021-2022

ملخص

تلعب ماكينات CNC دورًا رئيسيًا في الصناعات الحديثة، حيث يتم استخدامها في خطوط الإنتاج نظرًا للدقة والجودة العالية التي تتميز بها. في هذا المشروع، قمنا بصنع آلة CNC ذات أربعة محاور مهمتها القطع أو الرسم بالليزر، والتي تستخدم نظام نقش على البلاستيك والجلد والأقمشة والخشب ... إلخ، فكرة المحور الرابع اقترحها مخبر الميكانيك الفيزياء والنمذجة الرياضية. ومع ذلك، في هذا المشروع، فإن الراسمة تم اختياره بدلاً من الليزر بسبب ارتفاع تكلفة الأخير باستخدام بطاقة Mach3 كنظام تحكم.

أولاً، قدمنا بعض المفاهيم الأساسية حول آلات CNC وتحدثنا عن برنامج Mach3 ولغة برمجة G-CODE.

من الناحية العملية، قمنا بتصميم وتصنيع النموذج وتجربته على الجهاز، وكانت النتائج جيدة ومشجعة.

كلمات مفتاحية: ماكينةcnc، بطاقة التحكم mach3، لغة البرمجة g-code

Résumé

Les machines CNC jouent un rôle majeur dans les industries modernes, car elles sont utilisées dans les lignes de production en raison de la précision et de la haute qualité qui les caractérisent. Dans ce projet, nous avons fabriqué une machine CNC à quatre axes dont la mission est de couper ou de dessiner avec un laser, qui utilise un système de gravure sur le plastique, le cuir, les tissus et le bois...etc. Idée de quatrièmes axes est proposée par laboratoire mécanique physique et modélisation mathématique, cependant, dans ce projet on a choisi le traceur a la place du laser à cause du cout élevé de ce dernier, en utilisant Mach3 comme un système de commande.

Tout d'abord, nous avons donné quelques concepts clés sur les machines CNC et parlé du logiciel mach3 et du langage de programmation G-CODE.

En ce qui concerne l'aspect pratique, nous avons conçu et fabriqué le modèle et fait des expériences sur la machine, et les résultats ont été bons et encourageants.

Mots clés : machine CNC, la carte Mach3, langage G-code

Abstract

CNC machines play a major role in modern industries, as they are used in production lines due to the precision and high quality that characterizes them. In this project, we have made a four-axis CNC machine whose mission is to cut or draw with a laser, which uses an engraving system on plastic, leather, fabrics and wood...etc., the idea of the 4th axis suggested by laboratory

of mechanic physic and mathematic modeling. however, in this project the plotter was chosen instead of the laser because of the high cost of the latter, using the Mach3 card as a control system.

First, we gave some key concepts about CNC machines and talked about mach3 software and the G-CODE programming language.

As for practicality, we have designed and manufactured the model and experimented on the machine, and the results have been good and encouraging.
Keywords: CNC machine, G-code language, Mach3 card

Remerciements

En premier lieu nous tenons à remercier Allah tout- puissant de nous avoir donné patience, courage et volonté pour réussir notre mémoire.

Nous souhaitons également exprimer notre profonde gratitude à tous ceux qui de près ou de loin ont participé à la réalisation du présent travail.

Nous adressons à cet effet nos remerciements à :

- Notre encadrant pour l'orientation, la confiance, la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.
- Nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

Merci à toutes et à tous.

LISTE DES ABREVITION

CN : commande numérique

MOCN : machine-outil commande numérique

CNC : commande numérique par calculateur

MIT: Millvale Industrial Theatre

IBM: international business machines

3D : Trois dimensionnel

CAO (CAD en anglais) : conception assistée par ordinateur

FAO (CAM en anglais) : Fabrication assistée par ordinateur

PO : Partie opérative

MPAP : moteur pas à pas

MPG : générateur d'impulsion manuel

DIR : direction

COM : Common output mode

PAS : Palse (pas)

PID: proportional integral derivative

MDI: Manual Data Input

PCI: parallel card

DNC: Direct Numerical Control

PCB: Printed circuit board

TBT: Trés base tension

FPGA: Field-Programmable Gate Array

DSP : Digital Signal Processor

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Composants de la carte driver 61
Tableau 2 : Tableau des résolution (A4988) 63
Tableau 3 : Tableau des résolution (DRV8825).....63
Tableau4 : Dimension des tiges.....67
Tableau5 : caractéristique de la tige 73

Table de matière

Introduction Générale 1

Chapitre I Généralité sur les machines a commande numerique par calculateur..……...……2

I.1. Introduction ……..3

I.2. Historique de commande numérique ……....3

I.3. Définition d'une machine CNC ……4

I.4. Principe de fonctionnement d'une machine CNC ……4

I.5. Justification de la commande numérique ……5

I.5.1. Automaticité ……..5

I.5.2. Flexibilité ……...5

I.5.3. Sécurité ……..6

I.6. Usinage ……7

I.6.1. Définition ……...7

I.6.2. Types des machines d'usinage ……...7

I.7. Domaine d'utilisation technique : ……..12

I.8. Architecture et organisation générale d'une machine-outil à commande numérique ……13

I.9. Avantages et inconvénients ……15

I.9.1. Avantages ……15

I.9.2. Inconvénients ……...15

I.10. Conclusion ……..15

Chapitre II La commande de la machine ……16

II.1. Introduction ……17

II.2. Moteur pas à pas ……18

II.2.1. Introduction ……..18

II.2.2. Le rôle du moteur pas à pas : ……...18

II.2.3. Description de la constitution du moteur pas à pas : ……...18

II.2.4. Types et principe de fonctionnement des moteurs pas à pas : …….19

II.2.5. Mode de commande du MPAP : ……..23
II.2.6. Les applications Des moteur pas à pas : ……..23
II.2.7. Les avantages et inconvénients : ……..24
II.3. La carte mach3 ……25
II.3.1. Introduction ……..25
II.3.2. Fonctionnement de Mach3 ……..25
II.3.3. Logiciels de contrôle ……26
II.3.4. Logiciel de contrôle Mach3 ……27
II.3.5. Le rôle de mach3 ……28
II.3.6. Modes opératoires de Mach3 ……..28
II.3.7. Configuration de Mach3 ……30
II.4. G-code ……35
II.4.1. Introduction ……35
II.4.2. Structure d'un programme ……..35
II.4.3. Logiciel de dessin (Aspire Vetric) ……...39
II.4.4. Présentation de l'interface ……42
II.5. Conclusion ……..43
Chapitre III Conception et réalisation de la machine CNC ……...……..45
III.1. Introduction ……46
III.2. Les composants mécaniques et électriques essentiels utilisés ……46
III.2.1. Les composants mécaniques ……46
III.3. Eléments et caractéristiques de la partie commande ……..59
III.3.1. Circuit d'interface ……59
III.4. Eléments et caractéristiques de la partie opérative de la machine ……..64
III.4.1. Caractéristique de Laser ……..64
III.4.2. Caractéristiques des moteurs pas à pas ……64
III.4.3. Caractéristiques de l'espace de travail ……65
III.5. Simulation Mécanique sous SOLIDWORKS de la machine CNC à Laser……65
III.5.1. Introduction ……..65

III.5.2. Description du logiciel « SOLIDWORKS » ……...66
III.5.3. Partie pièce ……...66
III.5.4. Partie de l'assemblage ……77
III.6. La réalisation de la machine CNC ……..81
III.6.1. Axe d'une CNC ……...81
III.6.2. La réalisation de l'axe X, Z ……81
III.6.3. La réalisation de l'axe Y ……82
III.6.4. La réalisation de l'axe A ……82
III.7. Test d'un simple usinage ……83
III.7.1. Test en 3 axes ……..83
III.7.2. Test en 4 axes ……..84
III.8. Conclusion ……..85
Conclusion Générale ……87
ANNEXES ……90

LISTE DES FIGURES

Figure I. 1 : permet les premières machines CNC en 1949 (2) 4
Figure I. 2 : Décomposition d'une machine numérique (4) 5
Figure I. 3 : Type des machine CNC (6) 7
FigureI. 4 : Usinage 3 axes (6) 8
FigureI. 5 : Usinage 4 axes (6) 10
FigureI. 6 : CNC 5 axes (6) 11
FigureI. 7 : tournage (6).....12
Figure I. 8 : Architecture d'une MOCN (1) 13
FigureI. 9 : Element d'une CNC (1) 14

Figure II. 1 :schema de la structure de commande.....17
Figure II. 2 :composants d'un MPAP.....19
Figure II. 3 : Types des MPAP.....19
Figure II. 4 : Plan de la conversion d'un MPAP 20
Figure II. 5 : Fonctionnement d'un MPAP 21
Figure II. 6 :constitution d'un MPAP hybride 22
Figure II. 7 :carte mach3 25
Figure II. 8 :système de contrôle numérique.....26
Figure II. 9 : interface de logiciel mach3 27
Figure II. 10 : MPG MODE 29
Figure II.11 : MDI INTERFAS.....29
Figure II. 12 : Mode automatique.....30
Figure II. 13 : Configuration unités.....30
Figure II. 14 :configuration initial.....31
Figure II. 15 :configuration ports pins 31
Figure II. 16 : Sorties Moteurs 32
Figure II. 17 :les signales d'entrée 33
Figure II. 18 : les signales de sorties 33
Figure II. 19 :Réglage et configuration du moteur.....34
Figure II. 20 : configuration de la broche.....34
Figure II. 21 : Programme G-Code 36
Figure II. 22 : Bloc de mise en rotaion.....36
Figure II. 23 : Traduction G code.....37
Figure II. 24 : Structure d'un G code 39
Figure II. 25 : Interface de Aspire Vetric 42

Figure III. 1 :palier 46
Figure III. 2 :accouplement 47
Figure III. 3 : glissière 48
Figure III. 4 : Rail 48
Figure III. 5 : Rail de guidage 49
Figure III. 6 :tige filleté 50
Figure III. 7 : Installation Mach3 51
Figure III. 8 : la carte Mach3 52
Figure III. 9 :pilote a4988 53
Figure III. 10 : pilote DRV8825 53
Figure III. 11 : moteur pas a pas 54
Figure III. 12 :allimentation pc 54
Figure III. 13 : contact fin de course 55
Figure III. 14 :element de contact fin de course 55
Figure III. 15 :example d'utilisation 56
Figure III. 16 : arret d'urgance 57
Figure III. 17 :symbole AU 57
Figure III. 18 : Laser 58
Figure III. 19 : Led 58
Figure III. 20 : Schéma électrique globale 59
Figure III. 21 : schéma carte driver 60
Figure III. 22 : Schéma PCB sur EASYEDEA et schéma réel 62
Figure III. 23 : A4988 & DRV8825 62
Figure III. 24 : MODULE LASER 64
Figure III. 25 : INTERFACE DE SOLIDWORKS 66
Figure III. 26 : RAIL 67
Figure III. 27 : AXE DE GUIDAGE 68
Figure III. 28 : Support axe x cotée moteur 68
Figure III. 29 : Support axe x cotée palier 69
Figure III. 30 : Support y cotée moteur 69
Figure III. 31 : Support Y cotée palier 70
Figure III. 32 : Supoort axe Z 70
Figure III. 33 : Support axe A cotée moteur 71
Figure III. 34 : Support axe A cotée roulement 71
Figure III. 35 : Nema 17 72
Figure III. 36 : accouplement 72
Figure III. 37 : Tige filletée 73

Figure III. 38 : Dimension ecrou.....74
Figure III. 39 : Ecrou.....74
Figure III. 40 : support de vis axe x.....74
Figure III. 41 : support de vis axe Y.....74
Figure III. 42 : Support de vis axe Z.....75
Figure III. 43 : la table.....75
Figure III. 44 : support d'outil.....76
Figure III. 45 : rotateur d'axe.....76
Figure III. 46 : Cadre de la machine.....77
Figure III. 47 : Assemblage sur l'axe X.....78
Figure III. 48 : Assemblage sur l'axe Y.....79
Figure III. 49 : Assemblage sur l'axe Z.....79
Figure III. 50 : Assemblage sur l'axe A.....80
Figure III. 51 : L'assemblage finale.....80
Figure III. 52 : L'axe X et Z.....81
Figure III. 53 : L'axe Y.....82
Figure III. 54 : L'axe A.....82
Figure III. 55 : test usinage 3 axes.....83
Figure III. 56 : test usinage 3 axes.....84
Figure III. 57 : test usinage 4 axes.....85

Introduction Générale

Aujourd'hui, les machines à commande numérique par calculateur (CNC), permettent une grande flexibilité de la production industrielle, durant ces dernières années, la commande des machines électriques, a subi des progrès significatifs, grâce à la révolution technologique en électronique et en informatique industriel.

La révolution industrielle qui avait débuté par la création des outils de l'industrie traditionnelle et autres, et ensuite ces outils furent développés en machines semi-automatiques puis en machines automatiques qui fonctionnaient à l'aide d'ordinateur et programmes spéciaux en transférant les instructions de la partie commande vers la partie opérationnelle de la machine
L'existences des cartes électroniques programmables comme l'Arduino, le DSP, FPGA…etc. Permet de commander et contrôler n'importe quel système ou machine tel que les CNC.

Pour notre projet, cette machine CNC a 4 axes à laser sur des matériaux divers. Cette machine à une carte électronique programmable « mach3 » qui facilite la commande des axes par des contrôleurs de référence (A4988 et DRV8825).

Notre travail pour réaliser cette conception à demander de faire trois chapitres :

Le chapitre I est un aperçu général sur les machines-outils commande numérique, ou nous avons présenté leur structure générale, le chapitre II défini la partie commande et informatique de machine CNC, le dernier chapitre est composé de deux sous partie, le premier consacré à la conception d'une machine CNC et parle de logiciel SolidWorks et les composants mécaniques et électriques de la machine, le deuxième est dédié à la réalisation et un test d'un simple usinage de ce projet.

Chapitre I

Généralité sur les machines à commande numérique par calculateur

I.1. Introduction

La commande numérique désigne, dans le domaine de la fabrication mécanique, l'ensemble des matériels et logiciels ayant pour fonction de donner les instructions de mouvements à tous les éléments d'une machine-outil. La programmation de commande numérique (CN) permet de définir des séquences d'instructions permettant de piloter des machines-outils.

Une machine-outil à commande numérique (MOCN) est une machine-outil dotée d'une commande numérique, elle permet selon ses caractéristiques d'effectuer diverses opérations - percer, scier, rectifier, découper, fraiser, plier, graver, tarauder, souder, visser, déposer un matériau, etc. - nécessitant des gestes précis et/ou répétitifs, sur des matériaux divers. Lorsque la commande numérique est assurée par un ordinateur, on parle de machine CNC pour **computer numerical control**, francisé en « commande numérique par calculateur ». De nos jours, elle est très utilisée dans le domaine de la fabrication mécanique. (1)

I.2. Historique de commande numérique

L'usinage CNC utilise la technique de l'usinage qui a été développée dès le 18^{e} siècle. En effet, en 1751 le premier 'tour à charioter à bâti métallique' était inventé, premier d'une longue série de machines qui auront pour but de réaliser mécaniquement des opérations plus précises qu'au moyen des techniques artisanales. C'est le début de l'industrialisation.

Mais il a fallu attendre la Guerre Froide pour que l'on se penche sur le développement de l'automatisation. C'est à ce moment-là que la société Parsons Works est engagée par la Navy aux Etats-Unis pour augmenter la productivité de sa chaîne de production de pales d'hélicoptère. John T Parsons va alors motoriser les axes des machines chargées de fabriquer ces pales. En travaillant ensuite avec IBM, il va étudier les possibilités de commander par calculateur ces machines. Ce sont les prémisses de la méthode d'usinage CNC.

C'est en 1952 que Richard KEGG, travaillant conjointement avec le MIT, développe la première fraiseuse à commande numérique par calculateur : la Cincinnati Milacron Hydrotel. Cinq ans après, en 1958, il dépose le brevet pour les « Motors Controller Apparats for Positioning Machine Tool ». C'est la naissance commerciale de cette technologie. (2)

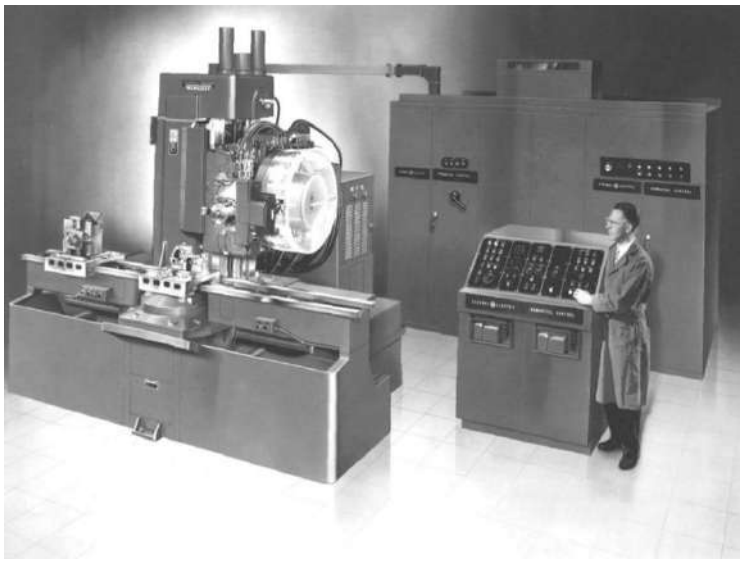


Figure I. 1 : permet les premières machines CNC en 1949 *(2)*

I.3. Définition d'une machine CNC

La machine-outil à commande numérique CNC (Computer Numerical Control en anglais) est une machine-outil dotée d'une commande numérique assurée par un ordinateur. C'est une machine totalement ou partiellement automatique à laquelle les ordres sont communiqués grâce à des codes qui sont porté sur un support matériel. Le premier rôle d'une machine CNC est de générer des mouvements, elle recevra des valeurs de positionnement de vitesse et d'accélération et générera suite à un traitement des consignes numériques en sortie (3)

I.4. Principe de fonctionnement d'une machine CNC

Les machines à commande numérique sont devenues des moyens de production incontournables dans l'industrie. Elles permettent des cadences de production importantes et facilitent l'obtention de surfaces complexes (formes arrondies …). Ce type de machine se compose ainsi de deux parties complémentaires (figure I.2) : (4)

- Partie opérative
- Partie commande

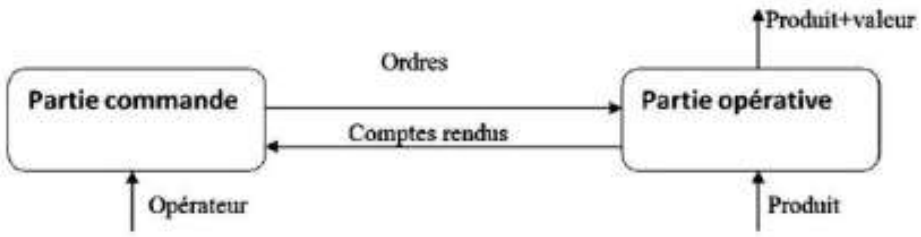


Figure I. 2 : Décomposition d'une machine numérique *(4)*

La partie commande est composée d'un calculateur ou d'un ordinateur et d'éléments électroniques capables de piloter les moteurs, cette partie permet de piloter la partie opérative.

La partie opérative comporte des axes de déplacement, la tête de l'outil et les actionneurs (les moteurs).

Des ordres vont être générés vers la commande par le biais d'un code machine ou par action manuelle de l'opérateur. La commande va traiter ces informations et générer des consignes afin d'obtenir les déplacements voulus par le biais des moteurs d'axes. Des contrôles de vitesse et de position seront alors effectués de manière continue par la machine.

I.5. Justification de la commande numérique

I.5.1. Automaticité

Le premier avantage d'une CN est d'offrir aux machines qui en sont équipées un très haut niveau d'automaticité. Sur de telles machines, l'intervention de l'opérateur nécessaire pour assurer la production de pièces peut être considérablement réduite voire supprimée.

De nombreuses MOCN peuvent ainsi fonctionner sans aucune assistance pendant toute la durée de leur cycle d'usinage, laissant l'opérateur libre d'accomplir d'autres tâches en dehors du poste de travail. Cette caractéristique présente un certain nombre d'avantages importants, tels que

- Une diminution notable de la fatigue de l'opérateur.
- Moins d'erreurs d'origine humaine.
- Un temps d'usinage constant et prévisible pour chaque pièce d'une même série.

I.5.2. Flexibilité

Puisqu'elles sont pilotées à partir d'un programme, les MOCN peuvent usiner des pièces différentes aussi facilement que l'on charge un nouveau programme. Une fois vérifié puis exécuté pour la première série, ce programme peut être facilement rappelé lorsque la même série se représente.

Une MOCN se caractérise en outre par des temps de réglage très courts qui répondent parfaitement aux impératifs de la production en flux tendus.

La grande souplesse d'utilisation de la CN entraîne une quantité non négligeable d'autres avantages :

- Changement aisé du programme d'usinage des pièces ;
- Réduction du temps de fabrication ;
- Réduction des outillages et suppression des gabarits ;
- Diminution du nombre des outils spéciaux et des outils de forme ;
- Réduction des temps de préparation et de réglage du poste de travail (la plupart des réglages, en particulier des outils, étant effectués hors machine) ;
- Prise en compte rapide des modifications d'usinage (il est plus facile de modifier une ligne de programme qu'un outillage spécial ou un gabarit) ;
- Définition plus rapide et plus fiable des conditions optimales d'usinage ;
- Réduction du nombre de prises de pièces du fait de l'universalité de la machine ;
- Diminution du temps d'attente entre les diverses machines d'usinage d'un atelier ;
- Gain sur les surfaces au sol occupées dans l'atelier ;
- Possibilité de réaliser des pièces complexes en gérant des déplacements simultanés sur plusieurs axes ;
- Définition plus rapide et plus fiable des conditions optimales d'usinage ;
- Contrôle automatique des outils et des dimensions de pièces avec prise en compte par la CN des corrections à effectuer.

I.5.3. Sécurité

La CN a beaucoup contribué à améliorer la sécurité des machines :

- En premier lieu, parce qu'elle connaît très précisément l'enveloppe de travail dans laquelle doivent évoluer les outils (possibilité de mémorisation des courses maximales des organes mobiles) ;
- Elle permet une simulation graphique hors usinage des programmes nouvellement créés pour vérification et détection des risques éventuels de collision ;

- En exerçant une surveillance permanente de l'usinage en cours, elle peut décider d'en interrompre le déroulement et d'alerter l'opérateur en cas d'incident.

Les constructeurs prévoient des dispositifs de protection très élaborés (contre les projections de copeaux ou de liquide d'arrosage, notamment) qui ne s'imposent pas nécessairement sur une MO conventionnelle. (1)

I.6. Usinage

I.6.1. Définition

L'usinage CNC (contrôle numérique par ordinateur) est une technologie de fabrication soustractive : les pièces sont créées en retirant de la matière d'un bloc solide (appelé ébauche ou pièce) à l'aide de nombreux outils de coupe.

Cette méthode de fabrication est fondamentalement différente de la technique additive (**impression 3D**) ou formative (**Moulage par injection**). Les mécanismes d'abrasion de matière ont des conséquences importantes sur les avantages, les limites et les restrictions de conception du CNC. (5)

I.6.2. Types des machines d'usinage

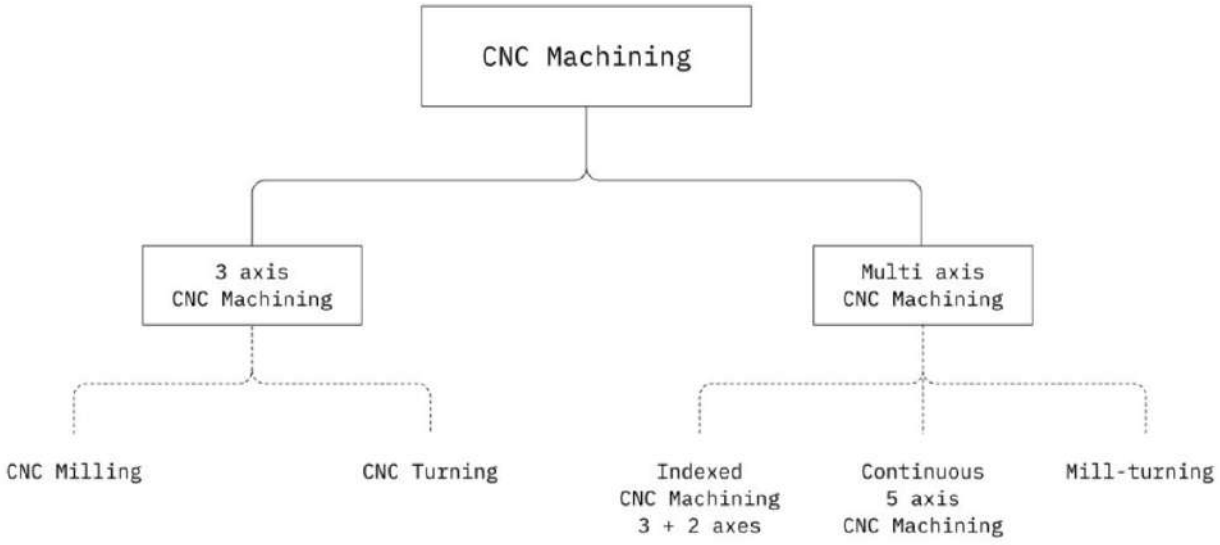


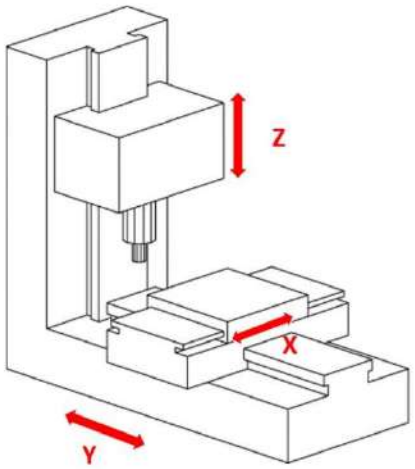
Figure I. 3 : Type des machine CNC *(6)*

I.6.2.1. Usinage CNC 3 axes

Les fraiseuses et les tours CNC sont des exemples de systèmes CNC à 3 axes. Ces machines « basiques » permettent le déplacement de l'outil de coupe selon trois axes linéaires par rapport à la pièce à usiner (gauche-droite, arrière-haut et haut-bas).

Les fraiseuses CNC à 3 axes sont très courantes car elles peuvent être utilisées pour produire les géométries les plus courantes. Ils sont relativement faciles à programmer et à utiliser. Les coûts d'usinage de départ sont donc relativement faibles.

L'accès aux outils peut être une restriction de conception dans l'usinage CNC. Comme il n'y a que trois axes avec lesquels travailler, il est possible que certains domaines soient impossibles à atteindre. Ce n'est pas un gros problème si la pièce à usiner doit être tournée une fois, mais si plusieurs tournages sont nécessaires, les coûts de main-d'œuvre et d'usinage augmentent rapidement.



FigureI. 4 : Usinage 3 axes *(6)*

Avantages

- Peut produire la plupart des pièces avec des géométries simples.
- Haute précision et tolérances serrées**.**

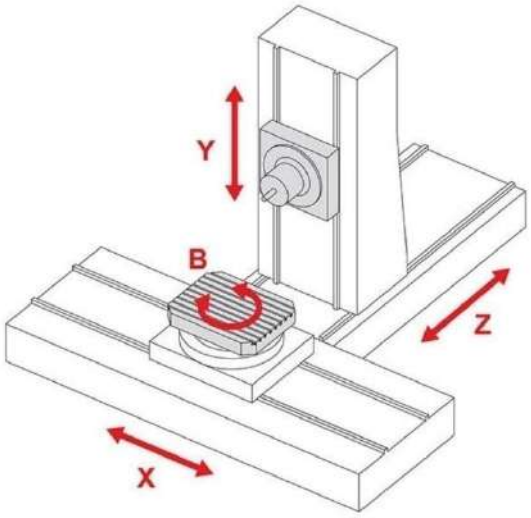
Inconvénient

- Le repositionnement manuel de la pièce diminue la précision réalisable
- Accès outil limité, et conception plus difficile des montages d'usinage

I.6.2.2. Usinage CNC 4 axes

Les fraiseuses 4 axes sont généralement des fraiseuses 3 axes à broche horizontale comportant un plateau tournant parallèle à l'axe X ou Y de la machine (parallèle à l'axe X dans le schéma).

- Un bloc de matière est positionné, fixé sur le plateau.
- Un opérateur réalise le programme de fabrication à l'aide d'un logiciel 3D, celui-ci défini le parcours de la fraise pour l'enlèvement de matière. Un changement d'outil est souvent nécessaire.
- L'enlèvement de matière se fait suivant les 4 directions correspondants aux axes nécessaires.
- Deux modes existent sur les machines 4 axes, le *mode indexation* et le *mode continu*.
- Quand la machine est en *mode indexation*, la broche avec la fraise est désactivée pendant la rotation du plateau. Le plateau va donc tourner puis une fois que la rotation est terminée l'usinage reprend.
- En *mode continu* l'outil de coupe continu de travailler pendant la rotation du plateau. Cela permet d'usiner des objets cylindriques, des torsades, etc.
- Cette configuration est très utilisée en production industrielle mécanique notamment dans l'automobile, l'aéronautique…



FigureI. 5 : Usinage 4 axes *(6)*

I.6.2.3. Usinage CNC 5 axes

Les centres d'usinage multiaxes à commande numérique se présentent en trois variantes : fraisage CNC à 5 axes indexés, tournage CNC à 5 axes continus et centres de fraisage avec tour.

Ces systèmes sont essentiellement des fraiseuses ou des tours améliorés avec d'avantage de liberté. Par exemple, les centres de fraisage CNC à 5 axes permettent la rotation du banc de la machine ou de la tête d'outil (ou des deux) en plus des trois axes linéaires de déplacement.

Les capacités avancées de ces machines ont un coût accru. Elles nécessitent à la fois des machineries spécialisées et des opérateurs expérimentés. Pour les pièces métalliques très complexes ou optimisées pour la topologie, l'impression 3D est généralement une option plus appropriée.

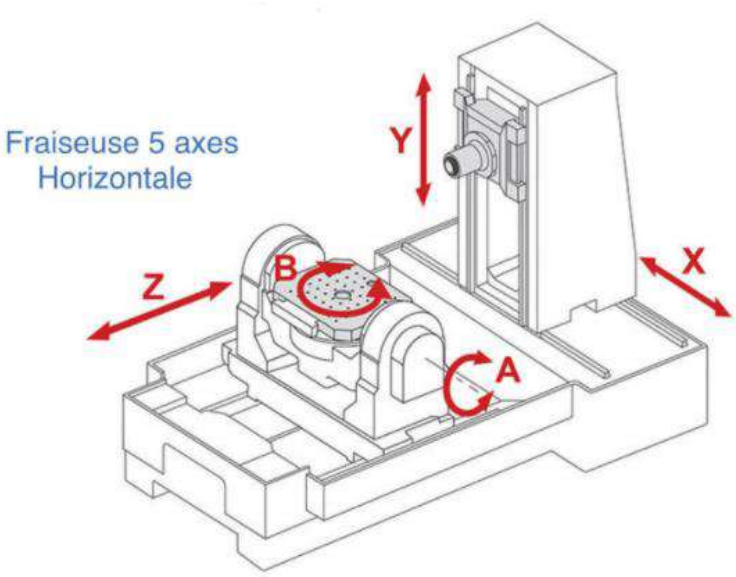
Avantages

- Fabrique des pièces complexes avec une précision qui n'est possible avec aucun autre procédé.
- Produit des surfaces "organiques" très lisses avec un minimum de marques d'usinage.

Inconvénient

- Coût par pièce le plus élevé de tous les usinages CNC.

- Les restrictions d'accès aux outils s'appliquent toujours. (6)



FigureI. 6 : CNC 5 axes *(6)*

I.6.2.4. Tournage CNC (tours)

- **La pièce est maintenue sur la broche tout en tournant à grande vitesse.**
- **Un outil de coupe ou une perceuse centrale trace le périmètre extérieur ou intérieur de la pièce, en formant la géométrie.**
- **L'outil ne tourne pas et se déplace dans le sens polaire (radialement et longitudinalement).** Les tours à commande numérique sont largement utilisés car ils permettent de produire des pièces à un taux beaucoup plus élevé et à un coût unitaire inférieur à celui des fraises à commande numérique. Ceci est particulièrement vrai pour les gros volumes.

La principale limite de conception des tours à commande numérique est qu'ils ne peuvent produire que des pièces de profil cylindrique (par exemple vis ou rondelles). Pour surmonter cette limitation, les caractéristiques de la pièce sont souvent usinées par commande numérique au

cours d'une étape d'usinage séparée. Vous pouvez également utiliser des centres de fraisage CNC à 5 axes pour produire la même géométrie en une seule étape.



FigureI. 7 : tournage *(6)*

Avantages

Le coût par pièce est plus faible que toutes les autres opérations d'usinage CNC

- Très grandes capacités de production

Inconvénient

- Ne peut produire que des pièces à symétrie de rotation et des géométries simples.

I.7. Domaine d'utilisation technique :

Les MOCN sont employées dans de nombreux secteurs industriels (Métallurgie, Bois, Textile).

Elle est aussi associée à de nouvelles technologies de façonnage (Laser, Électroérosion, Jet d'eau).

Les principaux procédés de fabrication sont concernés :

- Perçage, taraudage ;
- Tournage, alésage ;
- Fraisage ;
- Rectification ;
- Oxycoupage, soudure en continu, par points ;
- Poinçonnage, cisaillage. (7)

I.8. Architecture et organisation générale d'une machine-outil à commande numérique

Comme pour tout système automatisé, nous pouvons décomposer la structure d'une MOCN en deux parties principales :

- Partie opérative : agit directement sur le produit, c'est la machine-outil.
- Partie commande : élabore des ordres en fonction des consignes.

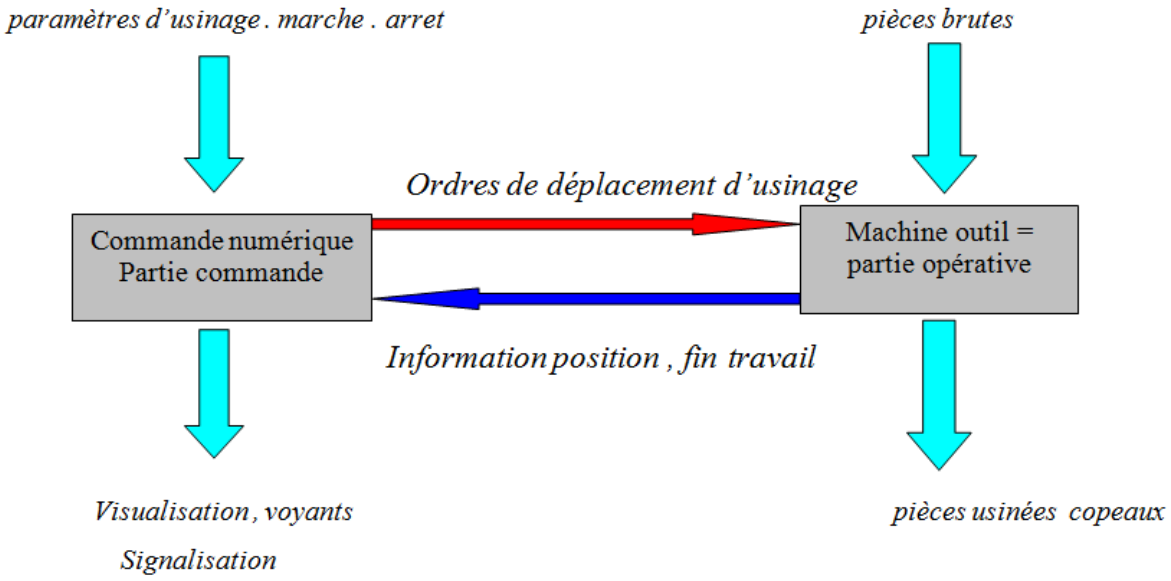
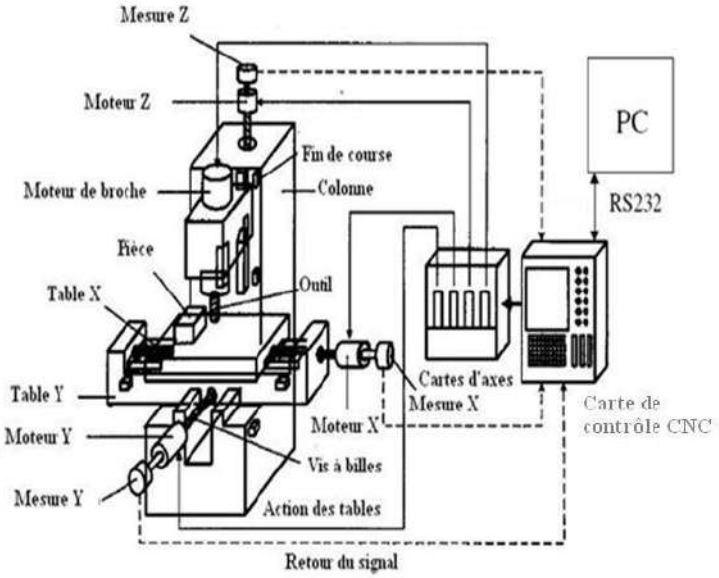


Figure I. 8 : Architecture d'une MOCN *(1)*

Eléments constitutifs d'une CNC :



FigureI. 9 : Element d'une CNC *(1)*

Une CNC est composée principalement de :

- **Ordinateur :** contenant les logiciels nécessaires pour la conception de la pièce (CAO : Conception Assistée par Ordinateur), le calcul des parcours d'outil, sous forme d'un code (exemple : G-code), pour usiner cette pièce (FAO : Fabrication Assisté par Ordinateur).
- **Carte de Contrôle CNC :** sa fonction principale est d'interpréter le code généré par le FAO et d'envoyer les signaux nécessaires aux cartes d'axes pour commander les moteurs et la broche.
- **Les moteurs :** Les déplacements peuvent être assurés par plusieurs types de moteurs
  - Moteurs pas à pas.
  - Moteurs à courant continu.
  - Moteur à courant alternatif.

- • **Les axes :** permettant le mouvement dans les trois directions X, Y, Z (pour une CNC 3 axes). Le mouvement est assuré par des glissières posées sur des rails et une vise-écrou (ou vise-écrou à billes, poulie courroie) accouplée à un moteur.
- **La Broche :** l'ensemble formé par le système de fixation de l'outil et le moteur permettant la rotation de cet outil.
- **Les capteurs :**

- Des capteurs de fin de course : pour ne pas dépasser certaines limites.
- Des capteurs de position et/ou vitesse. (1)

I.9. Avantages et inconvénients

I.9.1. Avantages

- Réduction du temps improductif
- Accroissement du degré de précision et de répétabilité
- Réduction des taux de rebuts
- Réduction de la nécessité de contrôle
- Possibilité de traiter des géométries complexes
- Facilité d'adapter les changements techniques
- Réduction des temps de mise en production
- Réduction des stocks
- Réduction des espaces requis
- Réduction du niveau de qualification des opérateurs

I.9.2. Inconvénients

- Coûts d'investissement élevés
- Plus d'effort doit être fourni pour la maintenance
- Nécessité de programmation des équipements de CN
- Pour bénéficier de la majorité des avantages précédents, il faut que tout le parc machine de l'entreprise soit des MOCN (1)

I.10. Conclusion

On a présenté dans ce chapitre un aperçu général sur la technologie des machines –outils à commande numérique (MOCN), en citant les différentes techniques d'usinage, le principe de fonctionnement, les avantages et leurs intérêts ce qui donne une bonne motivation pour se lancer dans ce projet de réalisation.

Chapitre II

La commande de la machine CNC

II.1. Introduction

Le développement majeur dans la technologie informatique nous permis la fabrication d'une machine CNC à faible cout et sa grâce à la disponibilité du matériels source, tels que les microcontrôleurs Arduino et les cartes de puissance. Donc le temps de prototypage et de développement est considérablement réduit. Du point de vue l'utilisant d'un système de commande base sur Mach3 facilite le développement d'un prototype CNC a 4 axes

Le travail est reparti en trois parties comme suit :

La partie électronique, la partie mécanique et la partie logiciel et programmation (8)

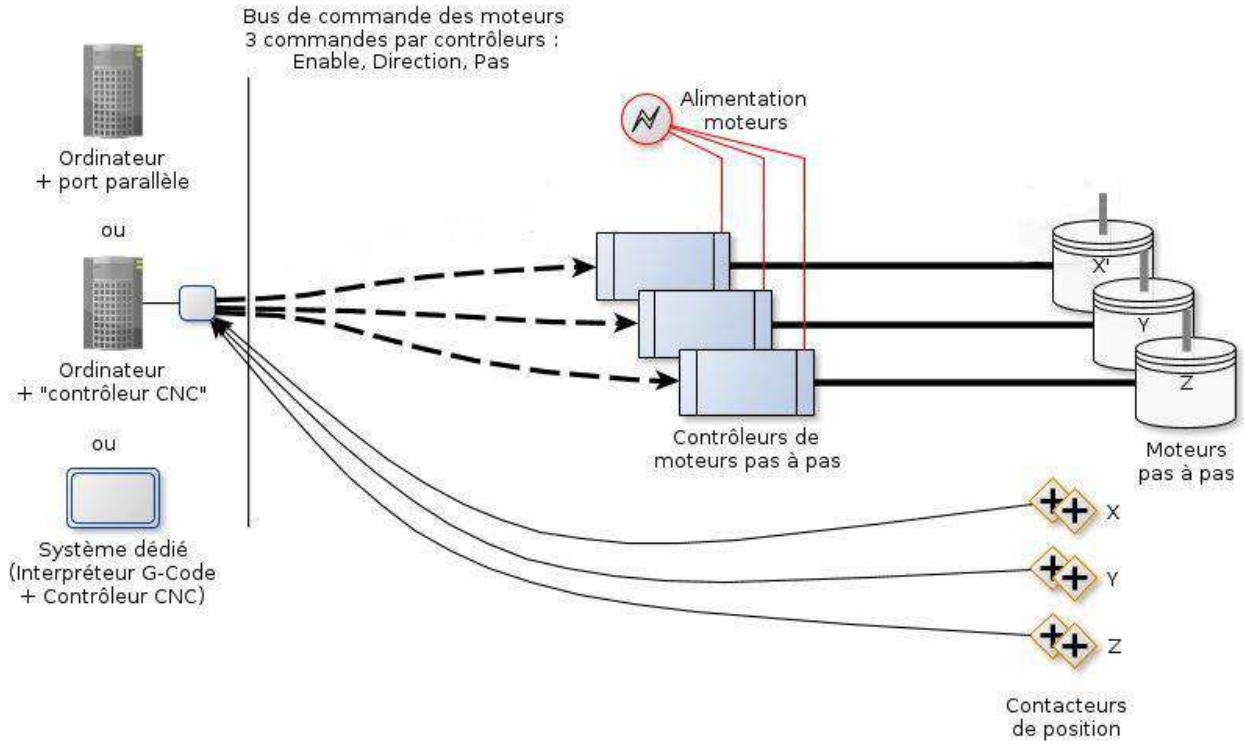


Figure II. 1 :schema de la structure de commande *(8)*

II.2. Moteur pas à pas

II.2.1. Introduction

De nombreuses applications de la commande numérique ont remis en faveur le moteur pas à pas, appelé aussi moteur à impulsions qui était utilisé depuis déjà longtemps. Les moteurs pas à pas ont été créés en 1930. Leurs développements ont commencé au début des années soixante grâce à l'apparition des microprocesseurs, microcontrôleurs et aux énormes progrès de l'électronique de puissances à transistor. Et encore, pendant des années, l'apparition essentielle fût celle de la commande numérique des machines outil ayant besoin d'un tel type de moteur. Puis avec le développement de la recherche spatiale, de nouveaux moteurs pas à pas firent leur apparition (dimensions réduites et pas angulaires plus grand) et furent largement utilisé grâce à leurs avantages important de fiabilité et de simplicité de commande qu'ils offraient sur les autres moteurs. (9)

II.2.2. Le rôle du moteur pas à pas :

Son rôle est de convertir l'énergie électrique en énergie mécanique. Ces particularités sont : -La caractéristique de l'énergie électrique est un train d'impulsion (et non pas une sinusoïdale comme pour un moteur à courant continu) -Le moment mécanique est un déplacement angulaire ➥Très faible vitesse de rotation.

II.2.3. Description de la constitution du moteur pas à pas :

Comme tous les moteurs, il est constitué par :

Une partie fixe : C'est le stator, à p paires de pôles bobinés formé d'un circuit magnétique et des bobines (phases) dont le rôle est de créer un flux magnétique à directions multiples·

Une partie mobile : C'est le rotor, placé dans le flux du stator il se positionne suivant le flux maximum.

Et selon la constitution du rotor on distingue 3 types du MPAP :

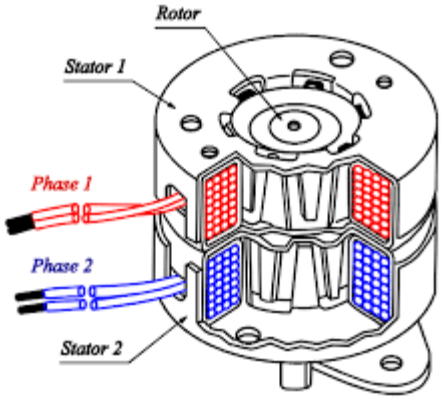


Figure II. 2 :composants d'un MPAP *(9)*

- Moteurs à aimant permanent, ils se subdivisent en deux :

•Moteurs unipolaires

•Moteurs bipolaires

- Moteurs à réluctance variable
- Moteurs hybrides.

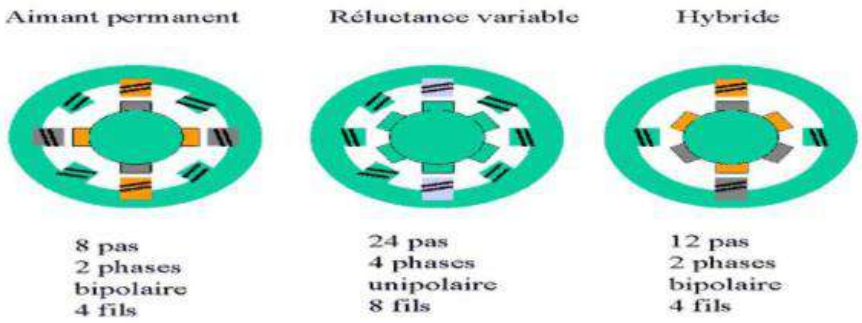


Figure II. 3 : Types des MPAP *(9)*

II.2.4. Types et principe de fonctionnement des moteurs pas à pas :

Le fonctionnement d'un moteur pas à pas nécessite la présence des éléments suivants :

• Une unité de commande (microprocesseur par exemple) qui fournit des impulsions dont la fréquence est proportionnelle à la vitesse de rotation du moteur, elle imposera également le sens de rotation.

- Un séquenceur qui aiguillera les impulsions sur les différentes bobines du moteur.
- Une alimentation de puissance.

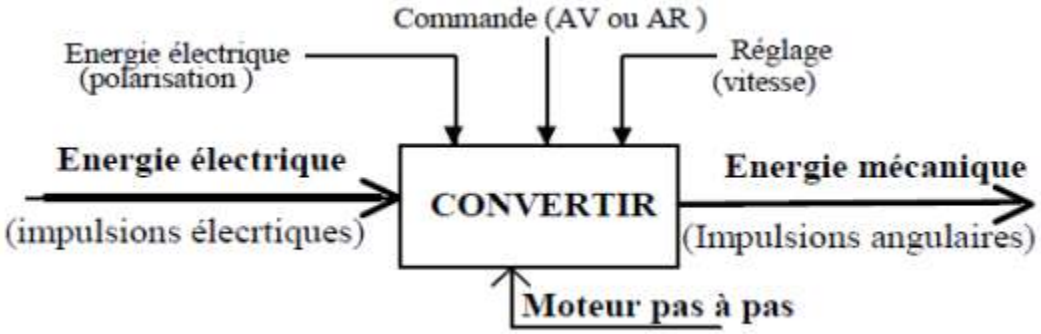


Figure II. 4 : Plan de la conversion d'un MPAP *(9)*

II.2.4.1. Moteur pas à pas à réluctance variable :

II.2.4.1.1. Constitution :

Ce moteur comporte :

- Un Rotor de forme cylindrique en fer doux dans lequel sont taillées des dents (pôles du rotor)
- Une denture dont le pas n'est pas le même au stator et au rotor.
- Le rotor n'est pas aimanté.
- Un Stator constitue d'empilage de tôles découpées, encochées.
- Les enroulements en série sont diamétralement opposés afin que les attractions simultanées s'engendrent pas une usure prématurée des paliers du rotor**.**

II.2.4.1.2. Fonctionnement :

- Quand on alimente les bobines AA', puis BB' et enfin CC', le rotor se place de telle façon que le flux qui le traverse soit maximal ; la réluctance est donc minimale.
- On constate que les pôles les plus proches des bobines alimentées se positionnent en face de ces dernières.

- Pour rendre la réluctance variable, le rotor et le stator auront des encoches disposées de telle façon qu'il n'existe qu'une seule possibilité pour diminuer la réluctance compte-tenu de la bobine alimentée.

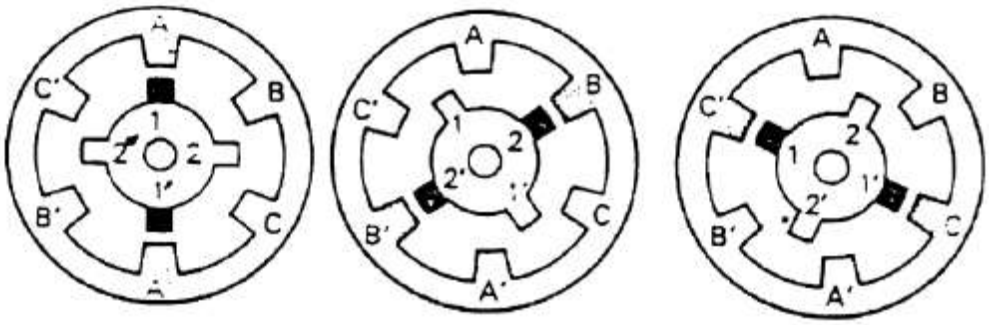


Figure II. 5 : Fonctionnement d'un MPAP *(9)*

Np = 360/ar-as = m.p. K1. K2

Ar : Pas dentaire rotorique (en degrés).

As : Pas dentaire statorique (en degrés).

M : Nombre de phases au stator

P : Nombre de paires de pôles au rotor

K1 : Type d'alimentation.

K2 : Type de commande.

II.2.4.1.3. Caractéristiques :

- Nombre de pas par tour important (bonne résolution) Construction assez facile.
- Couple moteur (proportionnel au carré du courant dans les bobines) assez faible
- Sens de rotation liée à l'ordre d'alimentation des bobines.

II.2.4.2. Moteur à aiment permanent :

II.2.4.2.1. Constitution :

Un moteur à aimant permanent comprend :

- Un stator bobiné (électro-aimant) dont la polarité dépend du sens du courant alimentant la bobine ou la phase.
- Le rotor est un aimant qui s'aligner avec les pôles du stator qui sont alimentés.

II.2.4.2.2. Fonctionnement :

- Les bobines diamétralement opposées constituent les phases.
- Elles sont connectées de façon à créer un pôle Sud et un pôle Nord.
- En inversant les sens des courants dans une phase, on permute les pôles engendrés par une bobine.
- Le rotor se déplace alors et prend une nouvelle position d'équilibre stable.

II.2.4.3. Moteur pas à pas hybride :

II.2.4.3.1. Constitution :

- C'est un moteur reluctance polarise.
- Il superpose le principe de fonctionnement des moteurs a aiment permanent et a reluctance variable et combine leurs avantages.
- Le rotor est constitué de 2disques dentes décalés mécaniquement.
- Entre ces 2 disques est inséré l'aiment permanent**.**

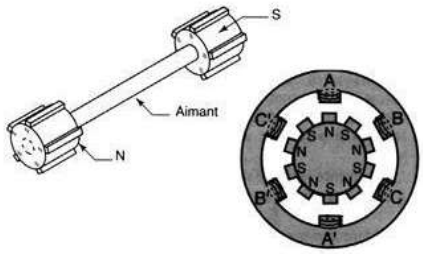


Figure II. 6 :constitution d'un MPAP hybride *(9)*

II.2.4.3.2. Fonctionnement :

- Il utilise simultanément les principes des moteurs à aimants permanents et à réluctance variable, afin d'obtenir un couple moteur plus grand.
- Le nombre de dents au rotor est différent de celui du stator.
- Quand on alimente une paire de bobines, le rotor place les dents nord et sud de telle façon que le flux traversant le rotor soit maximum.

II.2.4.3.3. Caractéristiques :

- Très bonne résolution.
- Couple moteur élevé dû à l'aimantation du rotor (proportionnel accourant).
- Sens de rotation liée à l'ordre d'alimentation des bobines et au sens du courant**.**

II.2.5. Mode de commande du MPAP :

Commande en mode 1 :

Commandes par pas entier ou plein pas : excitation une phase à la fois (one phase on)

Commande en mode2 :

Excitation deux phases à la fois (two phase on) le flux résultant est suivant la bissectrice.

Commande en mode 1-2 : Ce mode est obtenu en faisant alterner les deux modes précédents.

II.2.6. Les applications Des moteur pas à pas :

- Les moteurs pas à pas sont très utilisés dans toutes les applications mécaniques ou l'on doit contrôler simplement la position ou la vitesse d'un système en boucle ouverte, typiquement dans les systèmes de positionnement et d'indexation.
- Ils sont par exemple utilisés en robotique (positionnement des axes, vitesse variable du robot), les imprimantes classiques et imprimantes 3D, les scanner, les photocopieurs et les platines vinyle de DJ.
- En informatique (déplacement d'une tête de lecture d'une lecture, déplacement de la tête d'impression, avance du papier pour les imprimantes)
- En astronomie (positionnement du télescope pour suivre un astre) et dans la réception TV par satellites (positionnement d'une parabole).
- Ils sont présents aussi dans les pompes à perfusion, pousse seringues, système de positionnement sur machine industrielle et machine-outil.

II.2.7. Les avantages et inconvénients :

II.2.7.1. Moteur a aimant permanant

Avantage :

- Couple de maintien résiduel
- Bon amortissement

Inconvénients :

- Inertie élevée au rotor
- Vieillissement des aimants
- Variation des performances avec le temps

II.2.7.2. Moteur a réluctance variable

Avantage :

- Rapport couple/inertie intéressant
- Possibilité de fonctionnement à haute fréquence

Inconvénients :

- Pas de couple résiduel
- Affecté par les phénomènes de résonnances

II.2.7.3. Moteur hybride

Avantage :

- Couple résiduel disponible
- Grande résolution
- Possibilité de fonctionnement a haute fréquence

Inconvénients :

- Inertie élevée au rotor
- Résonnance à certaines vitesses

II.3. La carte mach3

II.3.1. Introduction

Bien que la fraiseuse soit illustrée, la machine peut être un routeur, un plasma ou un laser. Un manuel séparé décrit Mach3 contrôlant un tour, une vrille verticale etc. Fréquemment le système de Contrôle peut vérifier le démarrage et l'arrêt de la rotation des moteurs (ou même contrôlez sa vitesse), peut allumer ou éteindre le liquide de refroidissement et vérifier que le programme ou qu'un opérateur n'essaie pas de déplacer un axe au-delà de ses limites. Le système de Contrôle possède aussi des commandes comme des boutons, un clavier, un potentiomètre, un générateur d'impulsions manuel (MPG), ou une manette pour que l'Opérateur puisse contrôler la machine manuellement et démarrer ou arrêtez le programme. Le système de contrôle possède également un écran pour que l'Opérateur sache ce qui se passe. Parce que les commandes d'un programme G-code peuvent demander des mouvements de coordonnées compliqués, le système de contrôle de la machine doit être capable d'exécuter beaucoup de calculs "en temps réel" (par exemple le fraisage d'une hélice exige beaucoup de calcul trigonométrique). Historiquement cela en faisait une pièce couteuse de l'équipement. (5)



Figure II. 7 : carte mach3 *(5)*

II.3.2. Fonctionnement de Mach3

Mach3 est un assortiment de logiciels qui fonctionne sur un ordinateur et transforme celui –ci en un très puissant et économique système de contrôle pour remplacer (3) dans la figure II.8. Pour faire fonctionner Mach3, vous avez besoin de Windows XP (ou Windows 2000) idéalement avec un processeur de 1GHz et un écran avec une résolution de 1024 x 768. Un ordinateur de bureau donnera de meilleures performances que la plupart des portables et sera considérablement moins cher. Vous pouvez, évidemment utiliser cet ordinateur pour d'autres fonctions à l'atelier (tel que (1) dans la figure II.8 – faire fonctionner un programme (CAD/CAM) quand il ne contrôle pas la machine. Mach3 communique principalement via un (ou optionnellement deux) ports parallèle (imprimante) et, si vous le désiré, un port série (COM). Les contrôleurs des moteurs d'axe de votre machine doivent accepter les signaux PAS (pulse) et DIRECTION (dir).

Pratiquement tous les contrôleurs de moteur pas à pas fonctionnent comme cela, aussi bien avec le courant continu moderne que le courant alternatif. (5)

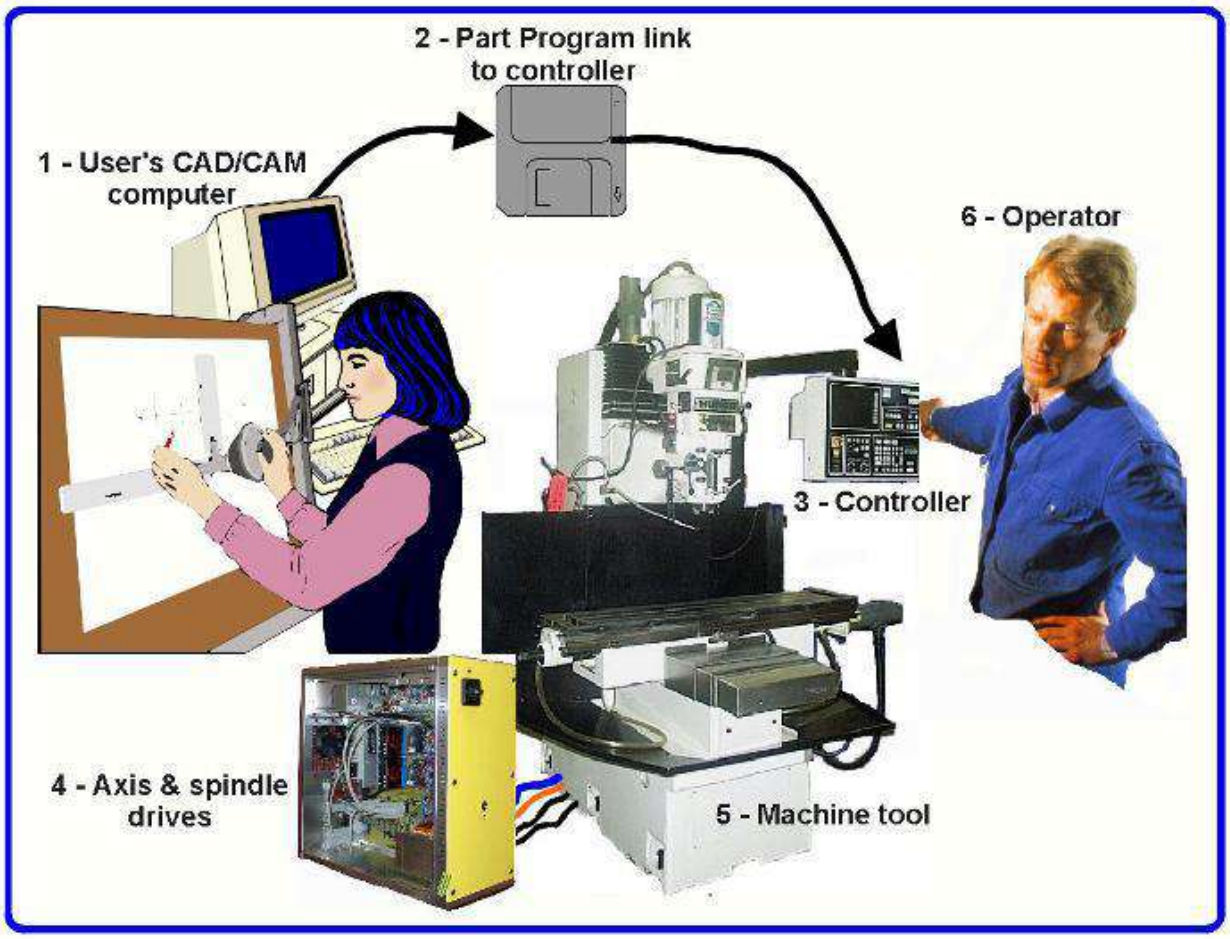


Figure II. 8 : Système de contrôle numérique *(5)*

II.3.3. Logiciels de contrôle

Il y a trois types de logiciels qu'on doit utiliser pour arriver faire fonctionner la machine CNC. Le premier est un logiciel spécial qui permet de concevoir des objets en deux et en trois dimensions, qu'on appelle CAD (computer aided design). Le second est le CAM (computer-aided manufacturing). Ce Logiciel prend la conception crée par le premier logiciel et la convertit en un langage de G-Code. Ce G-Code est ensuite utilisé par un troisième logiciel « Mach3 », Ce Logiciel génère des commandes (signaux appropries électriques) via les ports de

communications comme le port parallèle ou le port série du PC qui vont servir de consignes aux cartes de commandes associées aux axes d'avances de la machine CNC.

II.3.4. Logiciel de contrôle Mach3

II.3.4.1. Description

Mach 3 d'ArtSoft USA est disponible dans une version gratuite et une version commerciale. Les deux versions sont identiques, mais la version gratuite limite le script qu'elle exécute à 500 lignes contrairement à la version commerciale qui laisse le programme dépassant les 10.000.000 lignes.

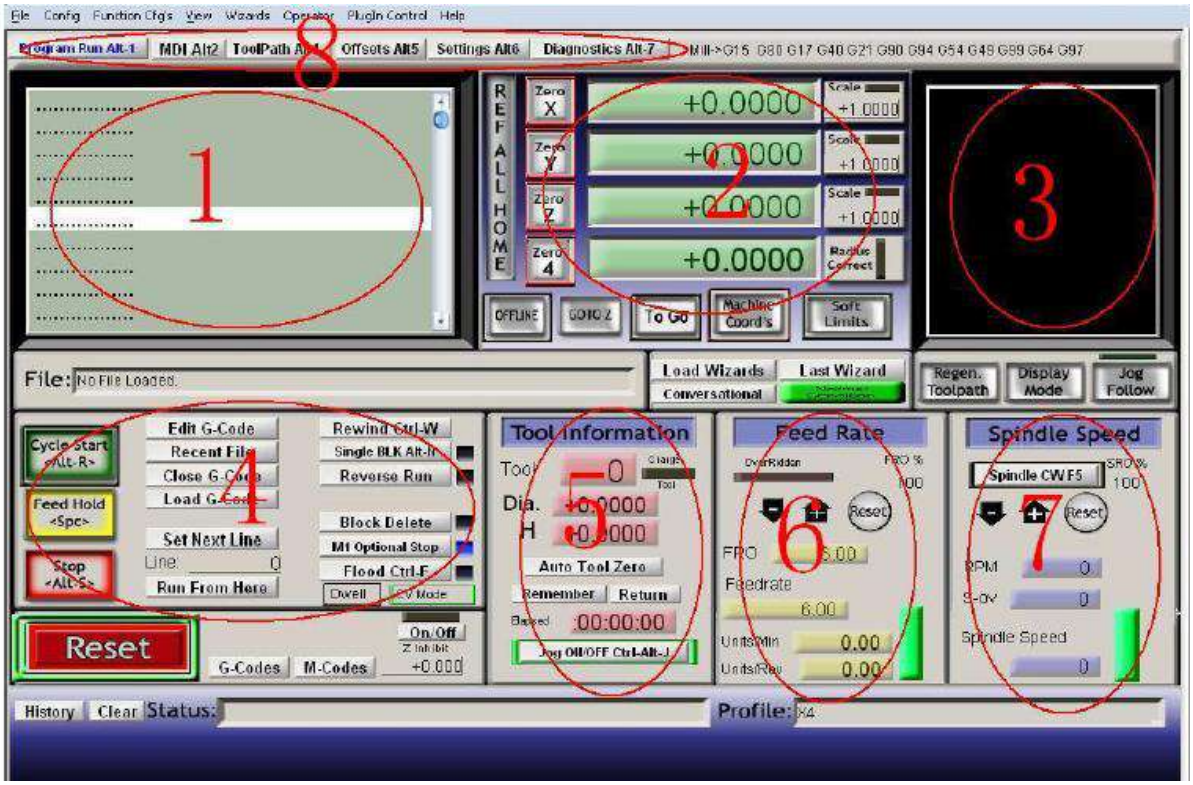


Figure II. 9 : interface de logiciel mach3 *(10)*

Au lancement du logiciel Mach3, on remarque qu'il y a beaucoup de boutons, afficheurs, et d'autres éléments qui encombrent l'écran. Mais en réalité il y a peu de choses à configurer dans le logiciel pour faire fonctionner la machine.(10)

1 : fenêtre de g-code qui affichera le g code

2 : DRO (digital Read out) indiquer l'emplacement actuel de chaque axe, soit les coordonnées de la pièce soit les coordonnées de la machine

3 : affichera le chemin d'outil de coupe

4 : fenêtre des procédures

5 : information sur l'outils

6 : interface de flux

7 : interface de control de la vitesse de la broche

8 : onglets mach 3

II.3.5. Le rôle de mach3

Mach3 est un programme très flexible et paramétrable à n'importe quelle machine CNC. Il demande au préalable qu'on lui définit toutes les caractéristiques de la machine afin qu'il puisse l'actionner. Voici quelques paramètres à définir sur Mach3 :

- Un arrêt d'urgence (Estop), un bouton qui doit être prévu sur chaque machine.
- Type de la consigne à générer, STEP/DIR ou bien Quad A/B.
- Les limites de l'espace de travail.
- Brochage des fins de course avec le PC.
- Paramètres du contrôleur PID de l'outil".
- La vitesse Max pour chaque axe. (11)

II.3.6. Modes opératoires de Mach3

II.3.6.1. Mode manuel (Jogging)

Une fois le Mach3 lancé, Ce mode s'affiche en appuyant sur la touche TAB du clavier. Dans ce mode Nous pouvons commander manuellement la position de l'outil. La figure (II.10) montre l'interface de commande manuelle de Mach3. (11)



Figure II. 10 : MPG MODE

II.3.6.2. Mode MDI

Le mode MDI permet d'introduire manuellement le script G-code.

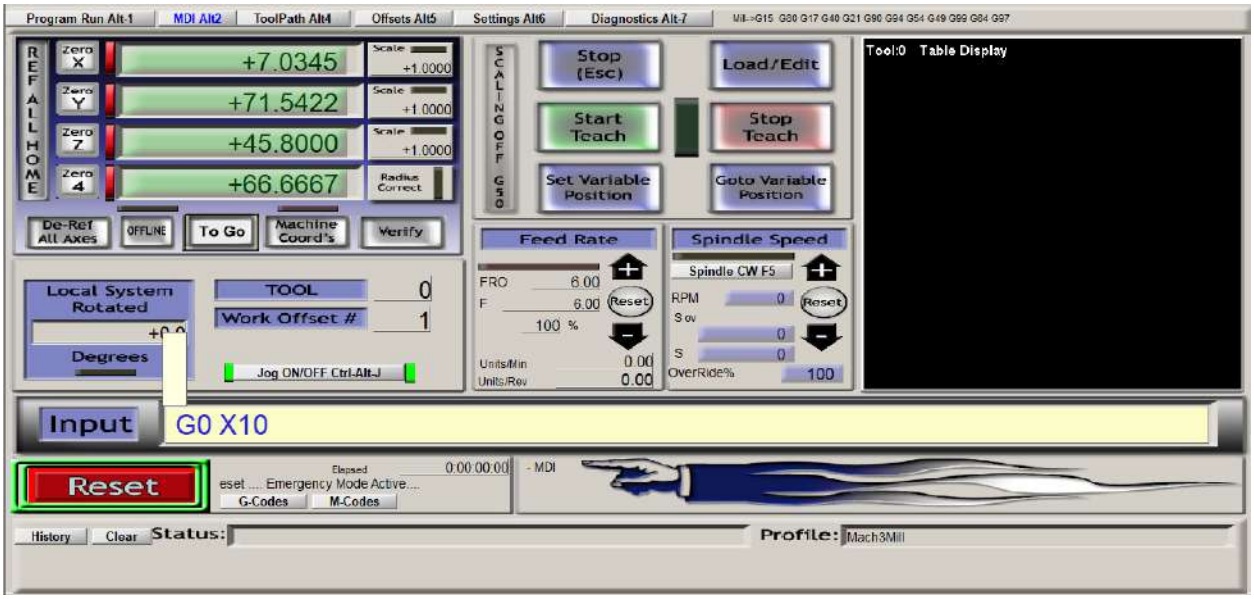


Figure II.11 : MDI INTERFAS

II.3.6.3. Mode automatique

Chargeons directement le fichier G-code comportant le programme à exécuter.

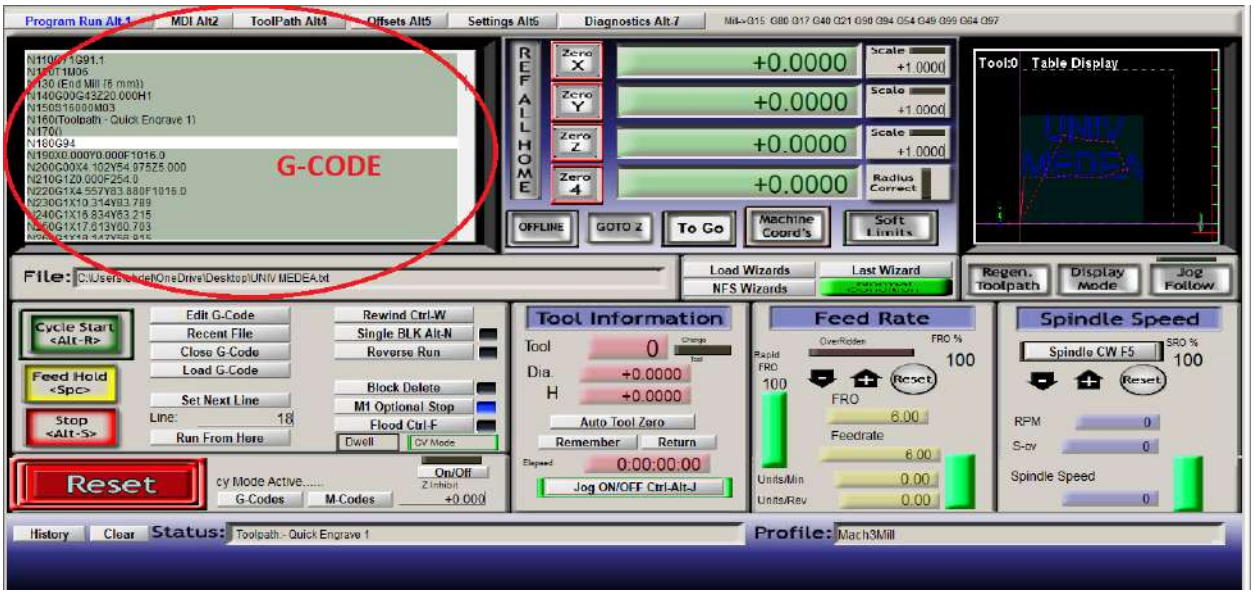


Figure II. 12 : Mode automatique

II.3.7. Configuration de Mach3

II.3.7.1. Configuration l'unité

Sélectionner le (mm)

Sur onglet mach3➔config➔select native units

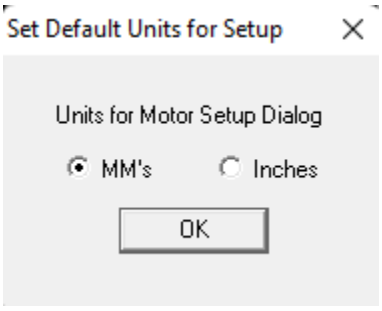


Figure II. 13 : Configuration unités

II.3.7.2. Configuration initiale

La configuration des ports et des pins se fait de la manière suivante :(Config>Ports and Pins)

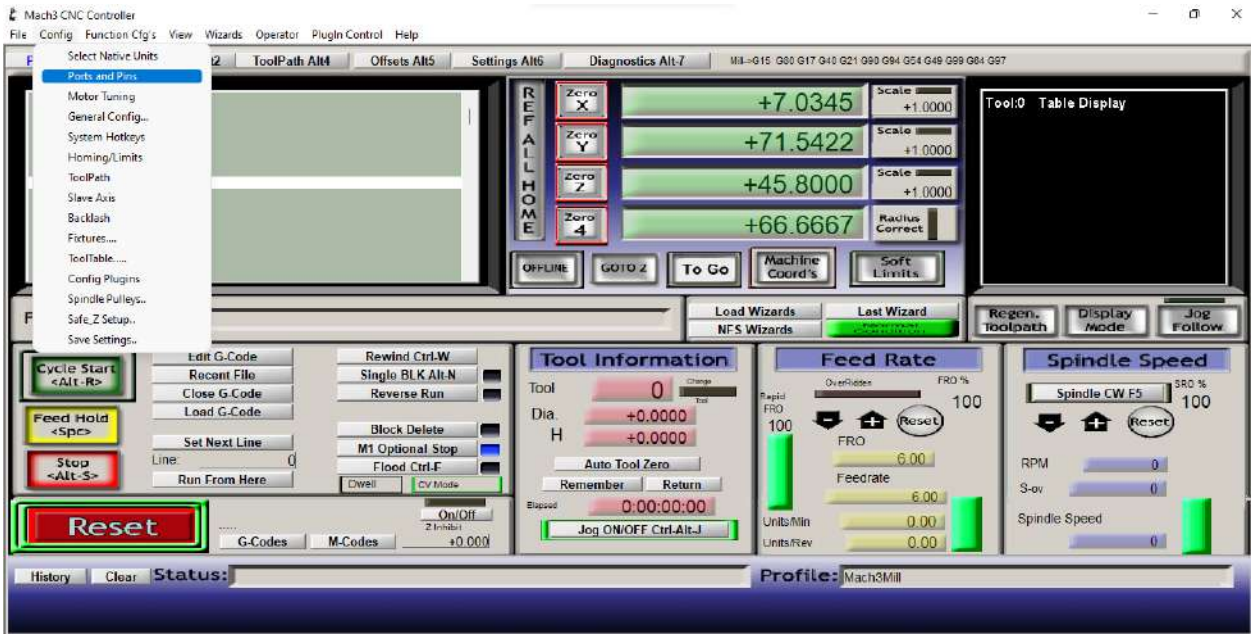


Figure II. 14 :configuration initial

II.3.7.2.1. Définition des adresses du Port (s)

Sélectionner *Port Setup and Axis Selection* dans *Ports and Pins*.

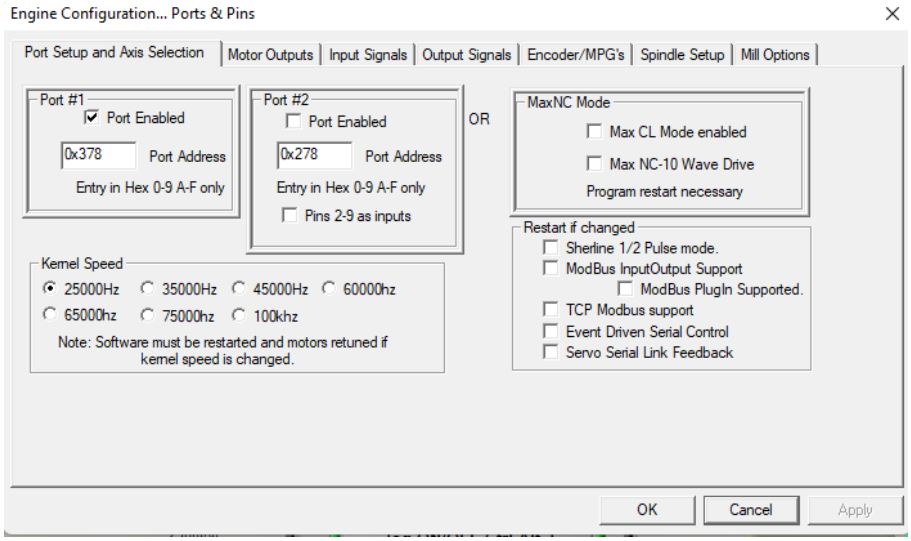


Figure II. 15 :configuration ports pins

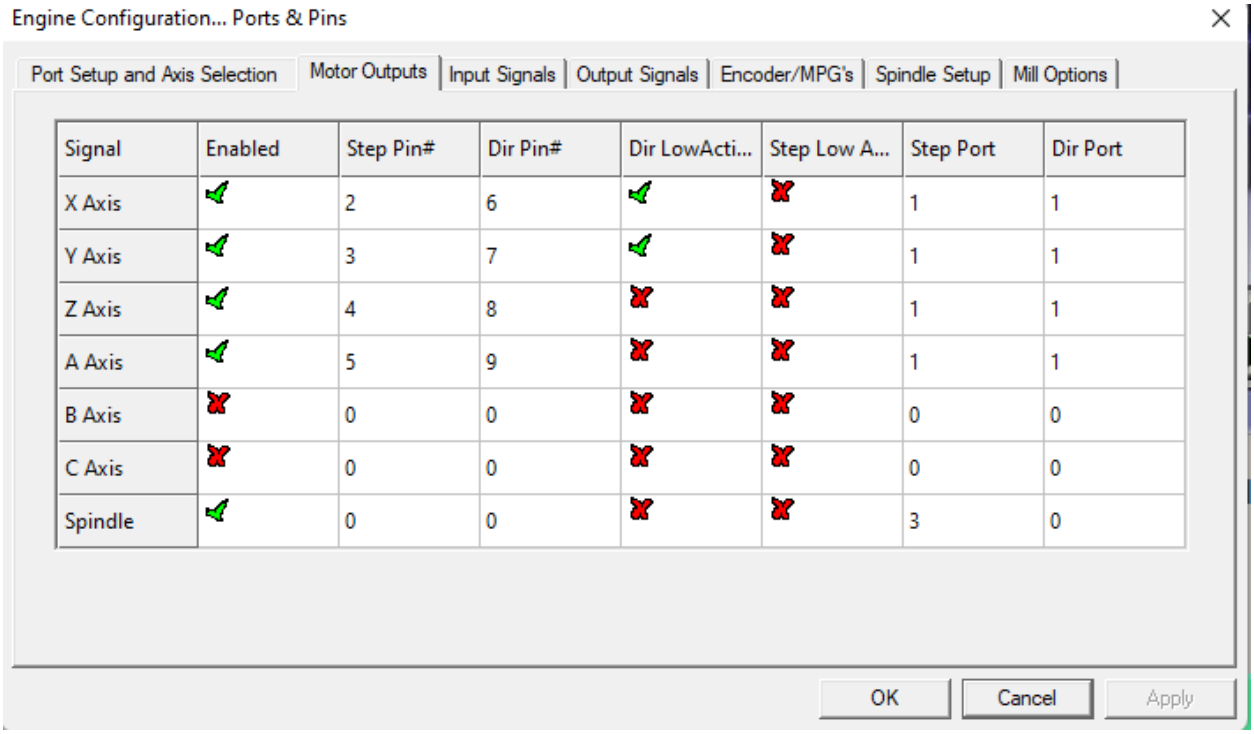
L'adresse par défaut du Port 1 du PC est 0x378. Si nous utilisons un ou plusieurs *add-*PCI sur les cartes de port parallèle, alors nous aurons besoin de déterminer l'adresse relative à chacun des ports.

Choisir la vitesse du noyau

Sur le même onglet on peut sélectionner des fréquences de 25000 Hz à 100000 Hz. Ça dépend de la vitesse du processeur et autres charges lors de l'exécution Mach3. 25.000Hz sera souvent adapté.

II.3.7.2.2. Signaux de sorties des axes

Dans l'onglet Motors *Outputs* du dialogue *Ports and Pins***,** nous sélectionnons le brochage qui correspond à la machine.



Signal	Enabled	Step Pin#	Dir Pin#	Dir LowActi...	Step Low A...	Step Port	Dir Port
X Axis	✓	2	6	✓	✗	1	1
Y Axis	✓	3	7	✓	✗	1	1
Z Axis	✓	4	8	✗	✗	1	1
A Axis	✓	5	9	✗	✗	1	1
B Axis	✗	0	0	✗	✗	0	0
C Axis	✗	0	0	✗	✗	0	0
Spindle	✓	0	0	✗	✗	3	0

Figure II. 16 : Sorties Moteurs

II.3.7.2.3. Signaux d'entrées

De la même manière, nous sélectionnons l'onglet Input Signal pour configurer les signaux d'entrées et Output signal pour configurer les signaux de sorties de notre machine comme il est montré sur les Figure II.15 et Figure II.16

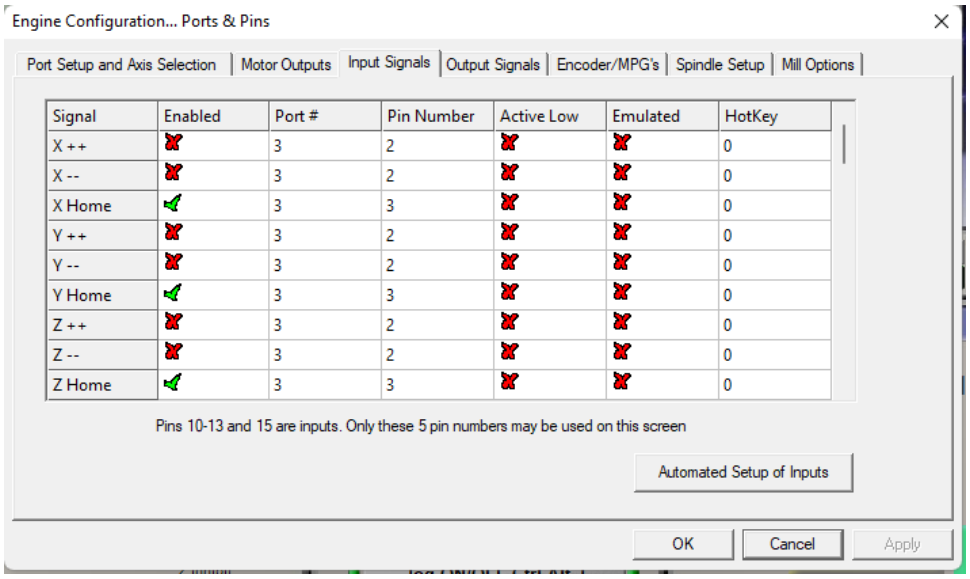


Figure II. 17 :les signales d'entrée

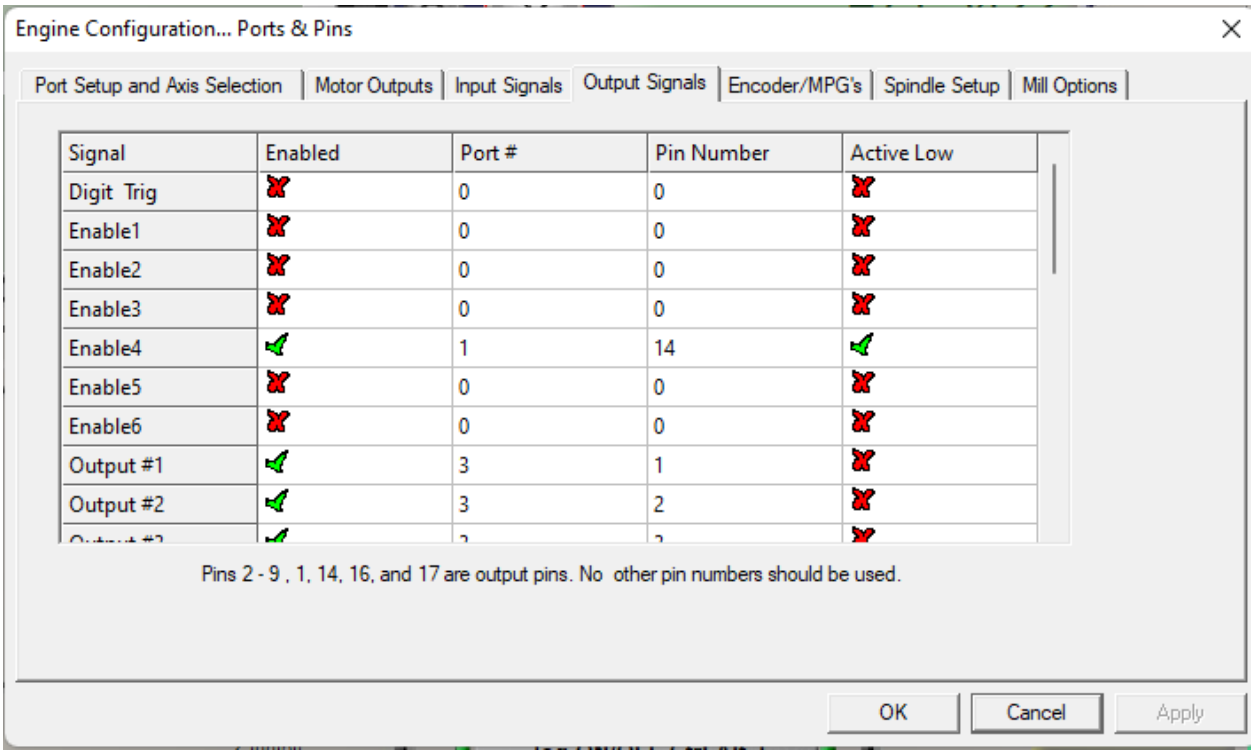


Figure II. 18 : les signales de sorties

II.3.7.3. Réglage et configuration des moteurs :

Dans cette fenêtre, nous indiquons la vitesse, l'accélération et la largeur des impulsions de chaque axe.

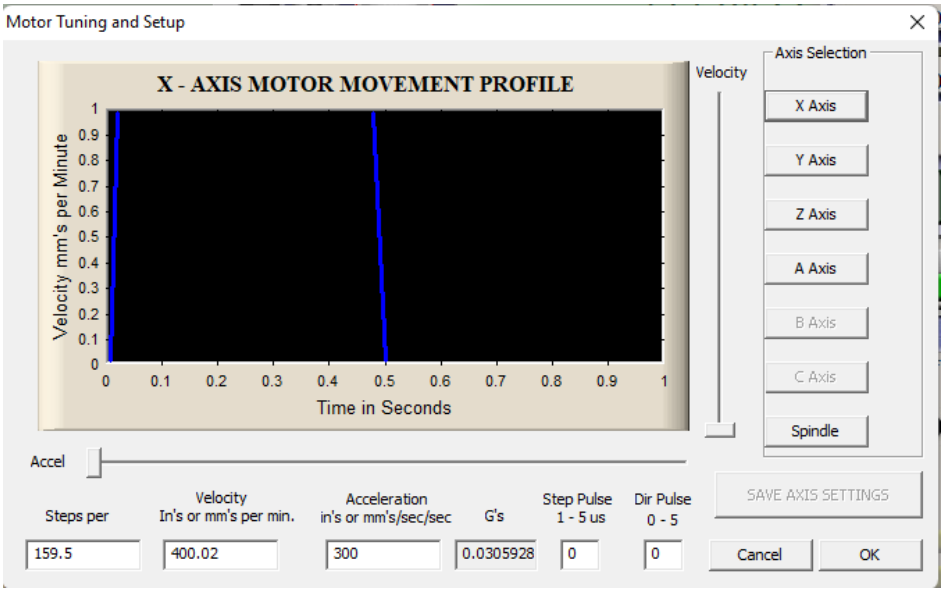


Figure II. 19 :Réglage et configuration du moteur

Cliquer sur **setting** et on cliquer sur **axe calibration (set steps per unit)** et choisi l'axe pour calibrer

Pour la vitesse et l'accélération sont paramètres obtenue par des essais sur chaque axe.

II.3.7.4. Configuration de la broche

L'onglet *Config>Ports & Pins* est Spindle *Setup* est utilisé pour définir la façon dont la broche et le liquide de refroidissement doivent être contrôlé. Il est montré dans la figure II.20 :

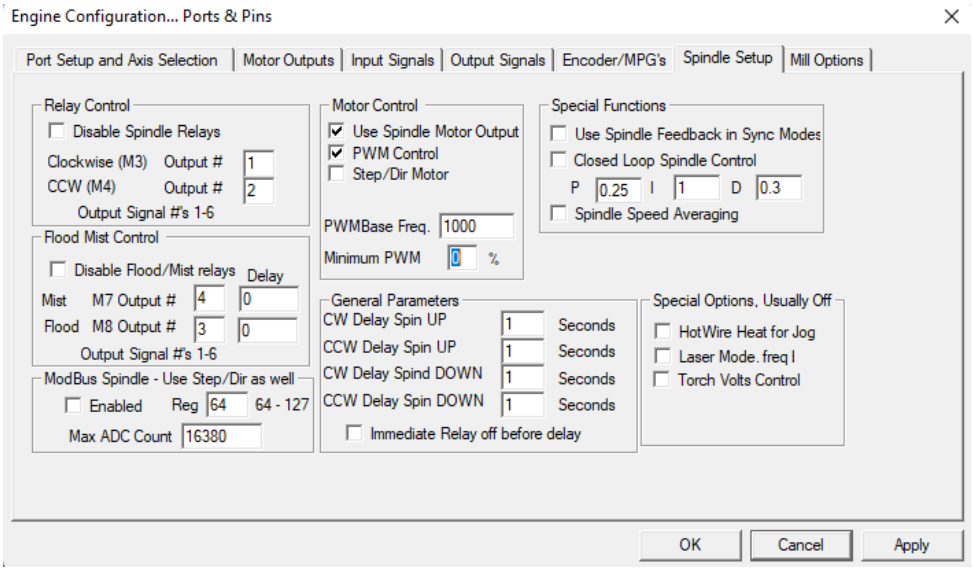


Figure II. 20 : configuration de la broche

II.4. G-code

II.4.1. Introduction

La programmation consiste à décrire les opérations d'usinage dans un langage codé (appelé code G) assimilable par le calculateur de la machine. C'est le langage de programmation des MOCN. Ce langage est normalisé (norme ISO 1056) où certains codes utilisés ont les mêmes fonctionnalités pour différents contrôleurs de machines-outils (NUM, FANUC, SIEMENS,). Les autres codes peuvent avoir une interprétation différente d'un contrôleur à un autre. Le langage de programmation des MOCN possède les caractéristiques suivantes : (12)

- La chronologie des actions,

- L'appel des outils,

- La sélection des vitesses de coupe et d'avance,

- La formulation des trajectoires,

- La définition des coordonnées de fin de trajectoire,

- Les mises en ou hors fonction d'organes de la machine.

II.4.2. Structure d'un programme

La programmation s'effectue suivant le code ISO. Un programme est constitué de lignes appelées "blocs". Un bloc correspond aux instructions relatives à une séquence d'usinage. Chaque bloc est constitué d'un groupe de mots. Un mot est un ensemble de caractères composé d'une adresse suivie de chiffre constituant une information.

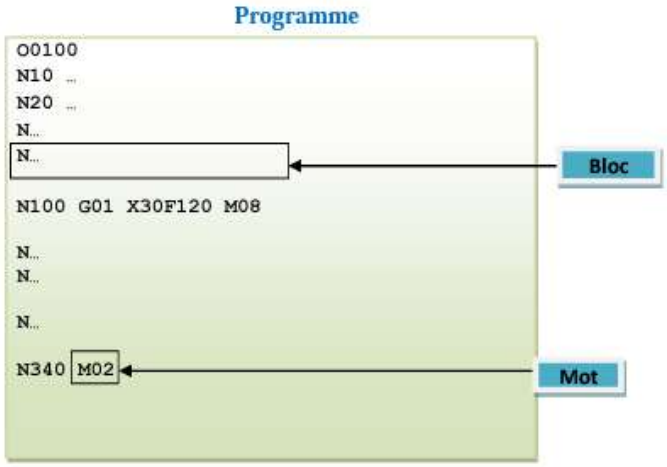


Figure II. 21 : Programme G-Code *(12)*

Bloc : groupe de mots correspondant aux instructions relatives à une séquence d'usinage. La numérotation des blocs s'effectue de 5 en 5 ou de 10 en 10 pour permettre une insertion éventuelle de blocs.

Exemples de blocs : Ecriture d'un bloc définissant la mise en rotation de broche.

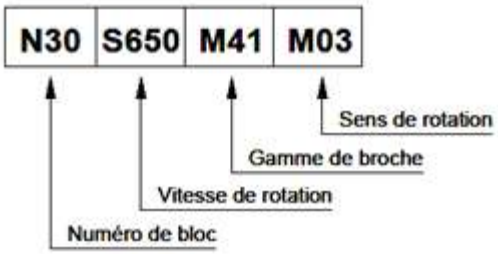


Figure II. 22 : Bloc de mise en rotaion *(12)*

Ecriture d'un bloc définissant une trajectoire.

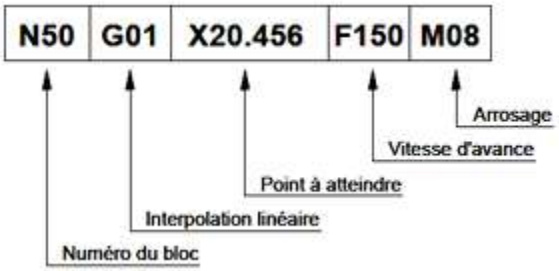


Figure II. 23 : Traduction G code *(12)*

Mot : ensemble de caractères comportant une adresse suivie de chiffres constituant une information. Exemple : X 10.850

Adresse : lettre débutant un mot d'un langage machine, qui précise la fonction générale commandée.

Principale adresse :

N… : numéro de ligne : repérage chronologique en début de ligne.

G.… : fonctions préparatoires définissant la forme et les conditions de déplacement.

M.… : fonctions auxiliaires donnant les changements d'état de la machine.

X…, Y…, Z… : axes principaux désignant les coordonnées des points d'arrivée.

I…, J…, K… : paramètres définissant les trajectoires circulaires (rayons).

R… : paramètres définissant les trajectoires circulaires.

F.… : précise l'avance ou la vitesse d'avance.

S.… : précise la vitesse de coupe ou la vitesse de rotation de la broche.

T.… : symbole du numéro d'outil.

Structure d'un programme :

Un programme est la transaction, dans un langage compréhensible par le directeur de commande numérique d'une machine. Des opérations d'usinage à effectuer sur une pièce. Les différentes manières de programmer sont :

- La programmation manuelle,

- La programmation assistée : soit conventionnelle par le DNC, soit avec un logiciel de FAO. Les documents suivants sont nécessaires :

- Le dessin de définition,

- Le contrat de phase avec l'isostatisme et les paramètres de coupe,

- Le dossier de la machine.

Pour réaliser les différentes opérations nécessaires à l'usinage d'une pièce, un programme CN peut être écrit de différentes manières.

Selon la nature de la pièce à usiner et sa complexité, les différentes structures de programme CN peuvent être proposées :

- Un programme principal,

- Un programme principal contenant des appels de séquences internes,

- Un programme principal et des sous programmes.

Pour l'usinage d'une pièce simple ne nécessite pas de cycles d'ébauche, un programme CN peut être structuré de la manière suivante :

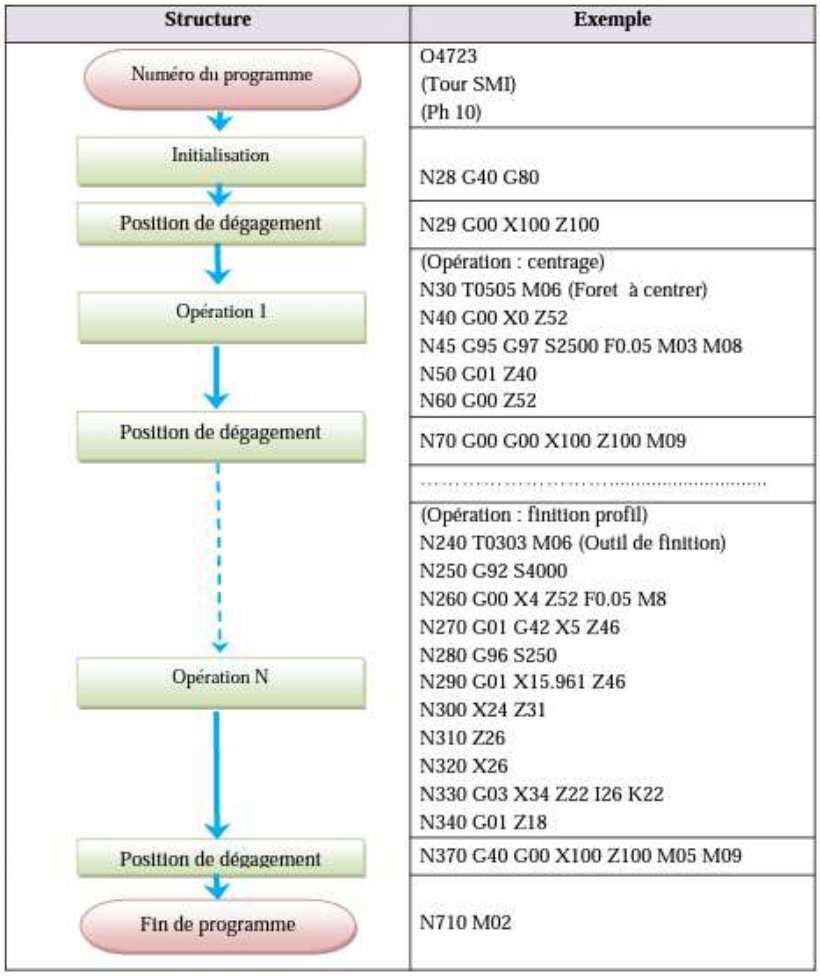


Figure II. 24 : Structure d'un G code *(12)*

II.4.3. Logiciel de dessin (Aspire Vetric)

Aspire a été développé pour permettre la production de pièces sculptées dimensionnelles décoratives et artistiques. En plus des outils de dessin et de modélisation, il comprend à la fois l'usinage 2D et 3D, ainsi que la gravure en V 3D / gravure 3D pour permettre de produire une grande variété de travaux aussi rapidement et facilement que possible. La logique générale de flux de travail à appliquer à la plupart des travaux est expliquée dans le schéma ci-dessous : (13)

Conception de mise en page 2D

Importer des vecteurs

Dessiner des vecteurs

Importer des bitmaps

Créer des composants 3D

Créez des formes à partir de vecteurs de conception 2D

Créez des formes (de texture) directement à partir de bitmaps

Importez des cliparts 3D et des modèles à partir d'autres systèmes de CAO

Faire une boucle processus

Jusqu'à le modèle est fini

Manipuler des composants 3D pour créer le composite 3D

Modèle utilisant l'arbre des composants

Modifier l'emplacement, la profondeur, la taille, l'angle, etc.

Regrouper et modifier la relation avec d'autres composants

Créer des parcours d'outil 2D, 2.5D et 3D
Créer ou modifier des limites vectorielles pour les trajectoires d'outils
Spécifiez les détails de l'outil pour chaque stratégie



Aperçu de la partie finale
Visualisez la pièce telle qu'elle apparaîtra réellement
Créer des images de preuve pour le client
Vérifier l'estimation du temps de coupe



Enregistrer le code CNC
Enregistrez le fichier auto final à envoyer à
La machine CNC

II.4.4. Présentation de l'interface

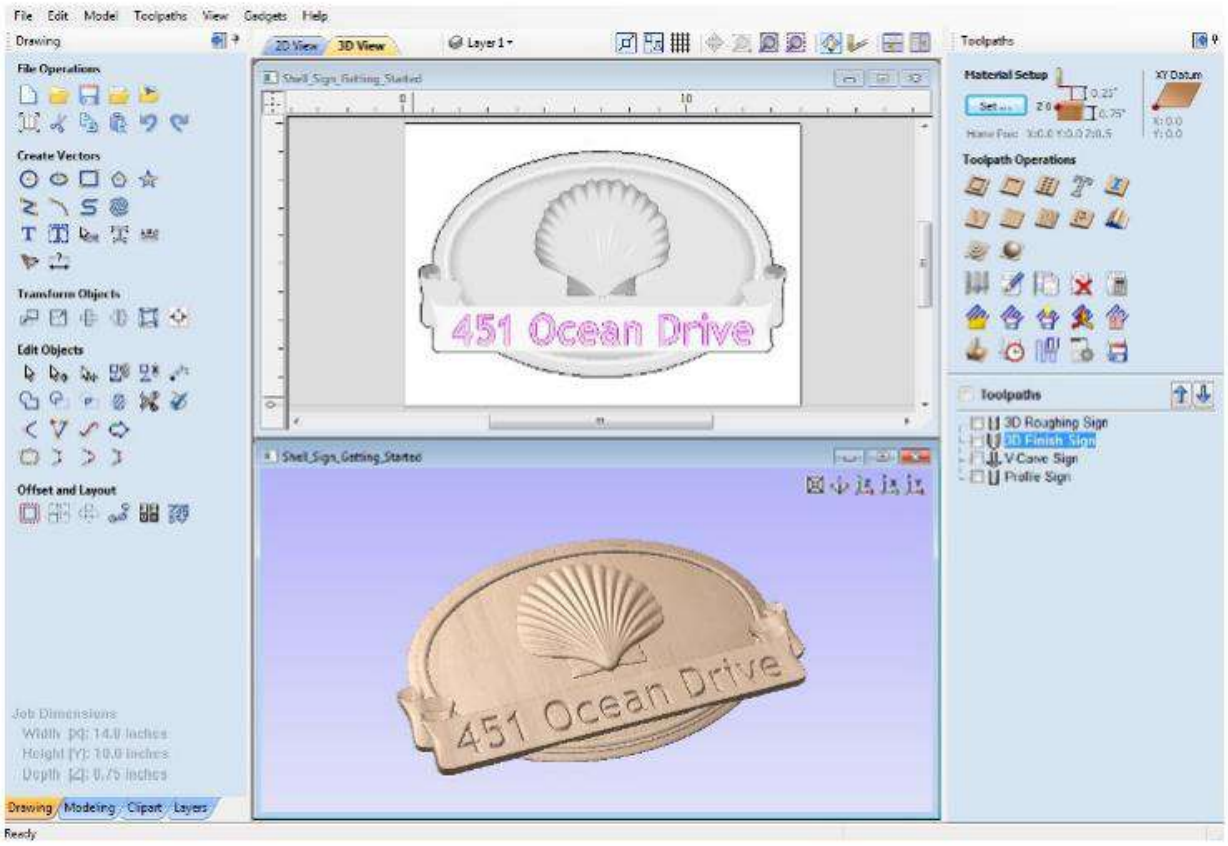


Figure II. 25 : Interface de Aspire Vetric *(13)*

1. La barre de menus principale (les menus déroulants) située en haut de l'écran (Fichier, Édition, Modèle, Parcours d'outil, Affichage, Gadgets, Aide) permet d'accéder à la plupart des commandes disponibles dans le logiciel, regroupées par fonction. Cliquez sur l'un des choix pour afficher une liste déroulante des commandes disponibles.
2. Le panneau de conception se trouve sur le côté gauche de l'écran. C'est là que l'on peut accéder aux onglets Dessin, Modélisation, Clipart et Calques et aux icônes dans les onglets pour créer un dessin. Dans l'onglet Dessin, vous trouverez les outils de création, d'édition, de dimensionnement et d'alignement des vecteurs. Sur l'onglet modélisation se trouvent tous les outils liés à la gestion et à la manipulation des composants 3D, ainsi que l'arborescence des composants, qui vous montre les composants 3D et vous permet de définir comment ils sont combinés pour former le modèle 3D composite final. Le Clipart 3D permet un

accès graphique simple à tous les modèles 3D installés sur votre ordinateur et l'onglet Couches permet une gestion facile des couches dans le travail.

3. L'onglet Trajectoire d'outil se trouve sur le côté droit de l'écran. La section supérieure de l'onglet parcours d'outils contient toutes les icônes pour créer, modifier et prévisualiser les parcours d'outils. La moitié inférieure vous montre les parcours d'outils que vous avez déjà créés.
4. La fenêtre de conception 2D est l'endroit où la conception est dessinée, modifiée et sélectionnée prête pour l'usinage. Les conceptions peuvent être importées ou créées directement dans Aspire. Cela occupe la même zone que la vue 3D et l'affichage peut être basculé entre les deux en utilisant F2 et F3 ou les onglets en haut de la fenêtre.
5. La vue 3D est l'endroit où le modèle composite, les trajectoires d'outil et l'aperçu de la trajectoire d'outil sont affichés.
6. Si vous souhaitez voir les vues 2D et 3D simultanément, ou si vous souhaitez vous concentrer sur l'onglet Trajectoires d'outils à une étape ultérieure de votre processus de conception, vous pouvez utiliser les boutons de disposition de l'interface (accessibles dans la section Contrôle de la vue 2D sur l'onglet Dessin) pour basculer entre les différentes dispositions d'interface prédéfinies.

II.5. Conclusion

On a présenté dans ce chapitre des notions sur les moteurs pas à pas en citant leurs types et le principe de fonctionnement et en parlant sur la carte Mach3 et son logiciel, sa configuration et le langage de programmation (code G), enfin nous avons cité quelque notion sur le logiciel de dessin (ASPIRE VETRIC).

Chapitre III

Conception et réalisation de la machine CNC

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous détaillerons les composants de notre machine CNC, faire des schémas électriques globales de cette machine et en présentant des modèles de pièces et d'assemblages réalisé par le logiciel SolidWorks. L'assemblage virtuel nous permet de détecter des éventuels défauts dans la structure de la machine.

III.2. Les composants mécaniques et électriques essentiels utilisés

III.2.1. Les composants mécaniques

III.2.1.1. Les paliers

Les paliers sont des organes utilisés en construction mécanique pour supporter et guider, en rotation, des arbres de transmission.

Suivant l'usage désiré, ces paliers peuvent être :

- Lisses où les arbres qui reposent sur des coussinets sont soumis au frottement de glissement entre les surfaces en contact.
- À roulement où le contact s'effectue par l'intermédiaire de billes ou de rouleaux contenus dans des cages. On a là un phénomène de résistance au roulement (parfois appelé improprement « frottement de roulement ») qui permet une plus grande charge sur les paliers et une plus grande vitesse de rotation.



Figure III. 1 :palier a roulement

III.2.1.2. Accouplement

En mécanique, un accouplement ou joint de transmission est un dispositif de liaison entre deux arbres en rotation, permettant la transmission du couple.

Un accouplement mécanique peut être un accouplement élastique, un accouplement à membranes, un accouplement à denture métallique ou encore un accouplement à soufflet.

On a utilisé des accouplements articulés pour accoupler les moteurs pas à pas et la vis à billes dans notre système. Ils permettent de corriger des défauts d'alignement très importants et les décalages angulaires. Il est constitué de deux bagues solidaires et un patin lié aux bagues par deux liaisons prismatiques



Figure III. 2 :accouplement

III.2.1.3. Glissière

Pièce destinée à guider le mouvement glissant d'une pièce mobile.

Notre système est constitué de quatre glissières dans chaque axe, ces chariots supporte la charge exercée sur la table.



Figure III. 3 : glissière

III.2.1.4. Rail

Profilé de métal servant de guide à un mouvement de translation.



Figure III. 4 : Rail

III.2.1.5. Rail de guidage

C'est un profil de rail linéaire de haute qualité en aluminium avec une rainure en V. extrêmement lisse sur les 4 côtés. Il est précis, facile à travailler avec et permet un contrôle illimité de la conception par sa nature modulaire. Elle permet de guider le mouvement de translation des roulements selon les trois axes de la machine. (3)

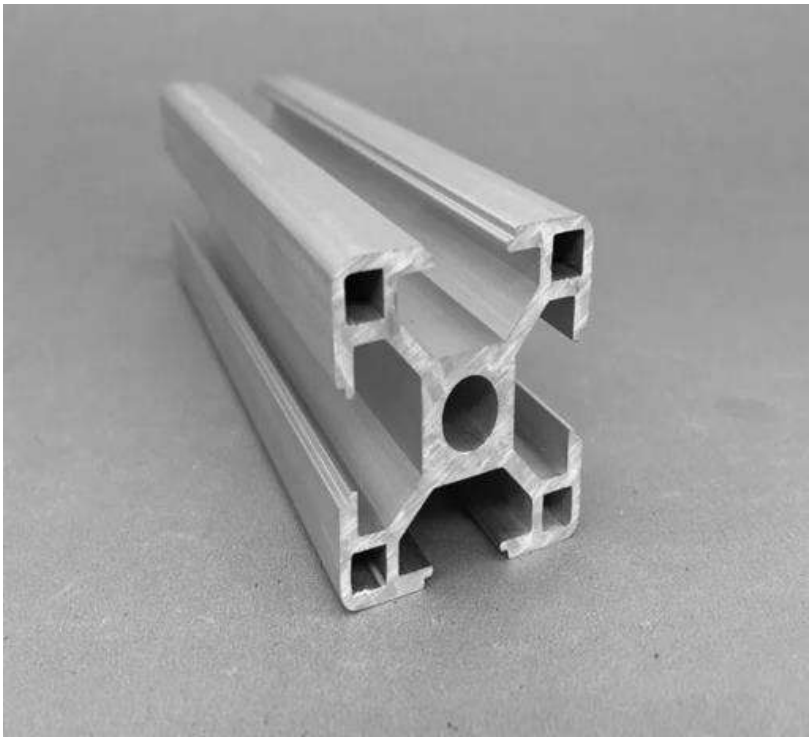


Figure III. 5 : Rail de guidage

III.2.1.6. Tige filetée

Une 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. L'ensemble du système vis/écrou constitue un boulon.

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). (14)



Figure III. 6 :tige filleté

III.2.1.7. Les composants électriques

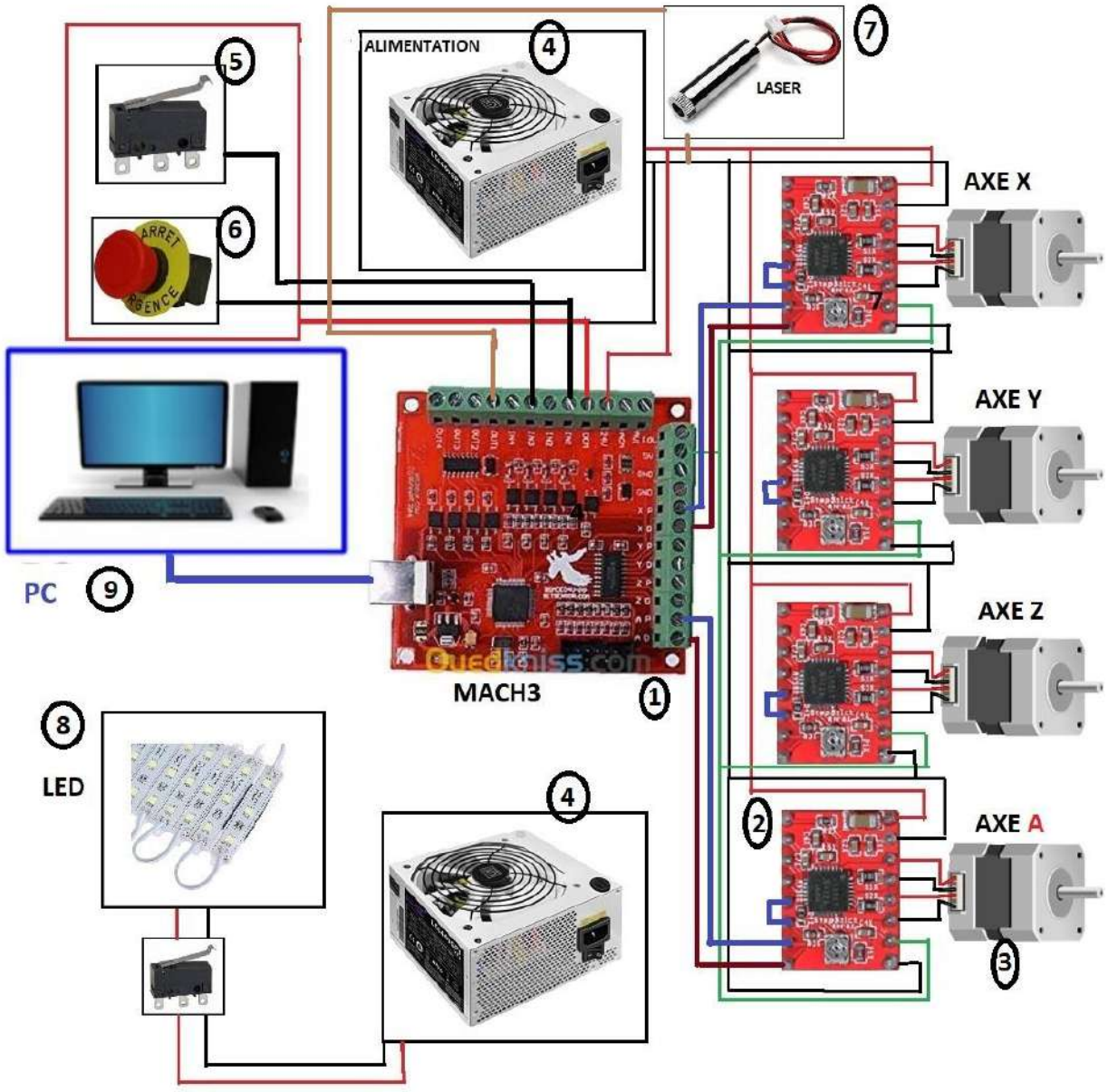


Figure III. 7 : Schéma de cablage Mach3

Le circuit se composée de :

1 : la carte mach 3

2 : les pilotes

3 : les moteurs pas à pas

4 : alimentation

5 : contact fin de course

6 : Arrêt d'urgence

7 : laser

8 : LED

9 : pc

III.2.1.8. La carte mach3

Spécification :

1. Support pour la liaison à 4 axes, vous pouvez connecter quatre moteurs pas à pas ou des servomoteurs ;

2. la fréquence maximale d'impulsion d'étape est 100 KHz, qui convient au servo ou au moteur pas à pas ;

3. Outil de sonde automatique de soutien ;

4. Soutenir l'entrée d'urgence ;



Figure III. 8 : la carte Mach3

5. Prise en charge du commutateur de fin de course ;

6. Support pour connecter le volant électronique ;

7. besoin d'utiliser une alimentation externe 24 V DC pour isoler USB et port externe, et pour rendre le système plus stable ;

8. avoir 0-10 V port de sortie, vous pouvez utiliser le logiciel mach3 pour contrôler la vitesse du moteur de broche ;

9. 4 entrées à usage général, vous pouvez connecter l'interrupteur de fin de course, le commutateur Estop, le commutateur de sonde, retour à zéro et autre appareil ;

10. 4 interfaces de sortie d'entraînement de relais isolée à usage général, peut conduire quatre relais pour contrôler les démarrages de broche, rotation vers l'avant et rotation inverse, pompes et autres dispositifs

11. 1 LED d'état, indiquer l'état de connexion sur la carte ;

III.2.1.9. Les pilotes

Spécification de pilotes A4988 :

- Tension de fonctionnement de 8 à 35 volts
- Courant maximum par bobine : 2 Ampères
- Capacité de micro-pas
- Interface simple à 2 broches avec le microcontrôleur : broches STEP et DIRECTION
- 5 résolutions différentes : pas complet, 1/2 pas, 1/4 pas, 1/8 pas et 1/16 pas.
- Contrôle du courant réglable via un potentiomètre sur le module
- Protection contre la surchauffe, la sous-tension, les courts-circuits et autres conditions d'erreur courantes

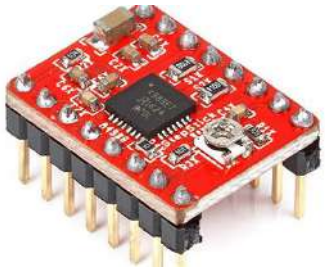


Figure III. 9 : pilote a4988

Spécification de pilotes DRV8825 :

- Tension d'entrée / puissance : 8-35V (12V conseillé)
- Tension d'entrée / logique : 3-5.5V
- Courant en continu par phase : 1.2A
- Courant maximum théorique par phase : 2.2A (avec dissipateur et ventilation)
- Résolution en micro-pas (micro stepping) : 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32
- Protection : surchauffe

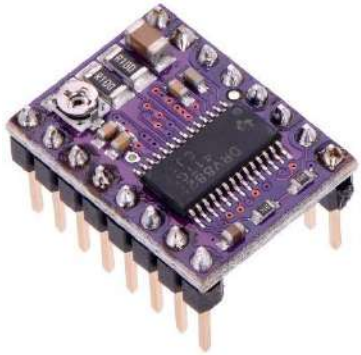


Figure III. 10 : pilote DRV8825

III.2.1.10. Les moteurs pas à pas

Les moteurs pas-à-pas diffèrent, par leur mode de commande, des moteurs classiques. Les moteurs pas à pas permettent de transformer un signal électrique numérique en un mouvement angulaire. Chaque impulsion envoyée par le système de commande au module de puissance se traduit par la rotation d'un pas du moteur. La résolution angulaire d'un moteur pas à pas va de 4 à 400 pas. (1)

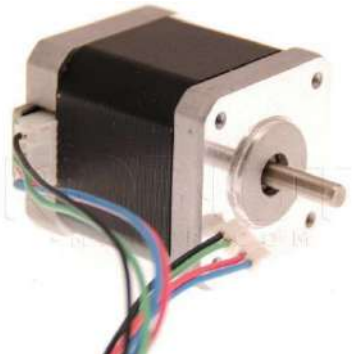


Figure III. 11 : moteur pas a pas

III.2.1.11. L'alimentation

Le bloc d'alimentation, ou simplement l'alimentation, d'un PC est le matériel informatique l'alimentant. L'alimentation est chargée de convertir la tension électrique du secteur en différentes tensions continues TBT, compatibles avec les circuits électroniques de l'ordinateur.

L'alimentation fournit du courant électrique à l'ensemble des composants de l'ordinateur. Le bloc d'alimentation doit posséder une puissance suffisante pour alimenter les différents périphériques de ce dernier.

Elle convertit la tension alternative de 230 V en diverses tensions continues utilisées par la carte mère et les périphériques (disque dur, lecteur CD, …).

Aux États-Unis les blocs d'alimentation reçoivent une tension à 110 V et à 60 Hz, tandis qu'en Europe la norme est de 230 V à une fréquence de 50 Hz ; c'est la raison pour laquelle les blocs d'alimentation possèdent la plupart du temps un commutateur permettant de choisir le type de tension reçue.

En général, le bloc alimentation est un convertisseur de type alimentation à découpage, alliant légèreté, rendement important et compacité. Par contre ce type d'alimentation génère beaucoup de parasites haute fréquence, plus ou moins bien filtrés par les boitiers métalliques ou métallisés formant une cage de Faraday et les filtres d'entrée et de sortie.



Figure III. 12 :allimentation pc

III.2.1.12. Les fins de course

C'est un capteur de contact (ouvert ou fermé) identique à un interrupteur. Il est souvent utilisé pour connaitre une position :

• la position d'un vérin (début et fin),

• la position d'une porte (ouverte ou fermée),

• La position d'un ascenseur (étage),

• La position d'une barrière automatique (ouverte ou fermée),



Figure III. 13 : contact fin de course

• La position d'une manette de jeu (bouton appuyé, direction souhaitée,...).

Un capteur de fin de course est un bouton poussoir actionné par un mouvement mécanique.

La détection s'effectue par contact d'un objet extérieur sur le levier ou un galet. Ce capteur peut prendre alors deux états (aussi appelés états logiques) :

• Enfoncé (en logique positive l'interrupteur est fermé).

• Relâché (en logique positive l'interrupteur est ouvert).

Les interrupteurs de position sont constitués de trois éléments de base :

• Une tête de commande avec son dispositif d'attaque (1) ;

• Un corps (2) ;

• Un contact électrique (3).

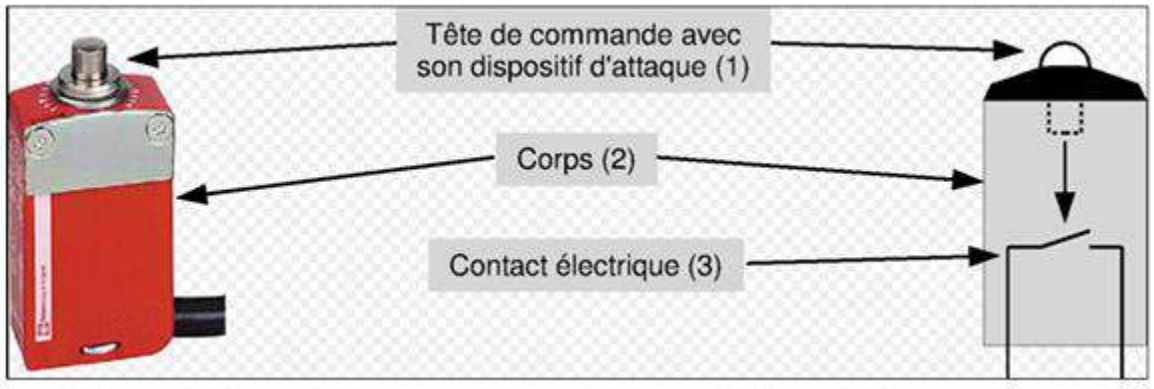


Figure III. 14 :element de contact fin de course

L'interrupteur de fin de course a pour objectif principal d'arrêter un mouvement automatique actionné par un moteur électrique.

Quand le contact est établi, une pression sur le bouton poussoir va arrêter le mouvement. Plusieurs applications possibles peuvent faire appel à ce dispositif.

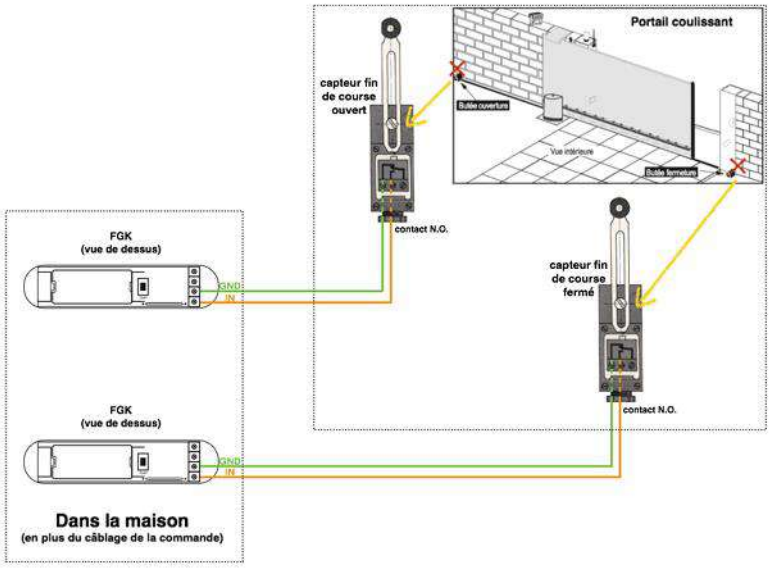


Figure III. 15 :example d'utilisation

Le signal délivré ne peut présenter que deux niveaux, ou deux états numériques (0 ou 1) :

• 0 : Pas activé

• 1 : Activé

Les capteurs logiques de positions, désignés par détecteurs de position « tout ou rien » ne se rencontrent sur de nombreuses machines :

• robots,

• machines-outils,

• machines d'assemblage, ... (15)

III.2.1.13. Bouton arrêt d'urgence

En automatique, l'arrêt d'urgence provoque une mise hors énergie des actionneurs, l'arrêt immédiat de tout processus en cours et informe l'automate de cette situation. L'automate est programmé par une séquence spéciale qui permet au retour du courant (lorsque le bouton d'arrêt d'urgence est désenclenché et les actionneurs réenclenchés) de se trouver en mode non critique et sécurisé pour les opérateurs.



Figure III. 16 : arret d'urgance

Du fait de son action immédiate, l'arrêt d'urgence permet de protéger ou d'empêcher l'aggravation de l'intégrité de l'automate et/ou de son/ses opérateur(s), en cas d'incident grave non détecté par les systèmes de sécurité de l'automate.

Le bouton d'arrêt d'urgence est un bouton rouge et rond, souvent sur un fond jaune, facilement discernable sur le tableau de commande ; il doit être facilement accessible par la personne. Il est appelé aussi bouton « coup de poing » car il faut une certaine force pour l'actionner mais aussi parce qu'enfoncer brutalement le bouton est un geste simple et à la portée d'une personne qui n'est pas formée à l'utilisation de la machine (dans le cas où l'opérateur ne serait pas en mesure d'effectuer le geste). En anglais, il est appelé *emergency stop* (ou son abréviation *e-stop*), *kil switch* ou *panic Button*.

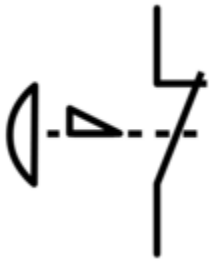


Figure III. 17 :symbole AU

Le symbole électrique de l'arrêt d'urgence est un champignon (arc de cercle sur ligne droite) sur une tige. La droite de la tige est dans sa partie inférieure le support d'un côté d'un triangle rectangle, dont la pointe est dirigée à l'opposé du champignon et termine la tige. En prolongement de la tige, les pointillés de commande de l'interrupteur. Dans les documentations techniques, il est généralement désigné par la dénomination ARU (pour arrêt d'urgence) ou BAU (bouton d'arrêt d'urgence). (16)

III.2.1.14. La broche (Laser)

La broche de la machine est fixée sur le troisième axe, donc elle possède un mouvement vertical.



Figure III. 18 : Module Laser

.1.1.1.1. LED

Dispositif pour augmenter la lumière de l'armoire



Figure III. 19 : Led

III.3. Eléments et caractéristiques de la partie commande

III.3.1. Circuit d'interface

III.3.1.1. Schéma globale de la partie électrique

Ce diagramme est composé de plusieurs éléments de l'essentiel qui est la carte mach3, les drivers (A4988 et DRV8825), moteurs pas à pas (Nema 17) ces composants alimentés par une alimentation du pc et pour une sécurité élevée on a utilisé un bouton d'arrêt d'urgence, les contacts d'origine et une Led pour une luminosité élevée.

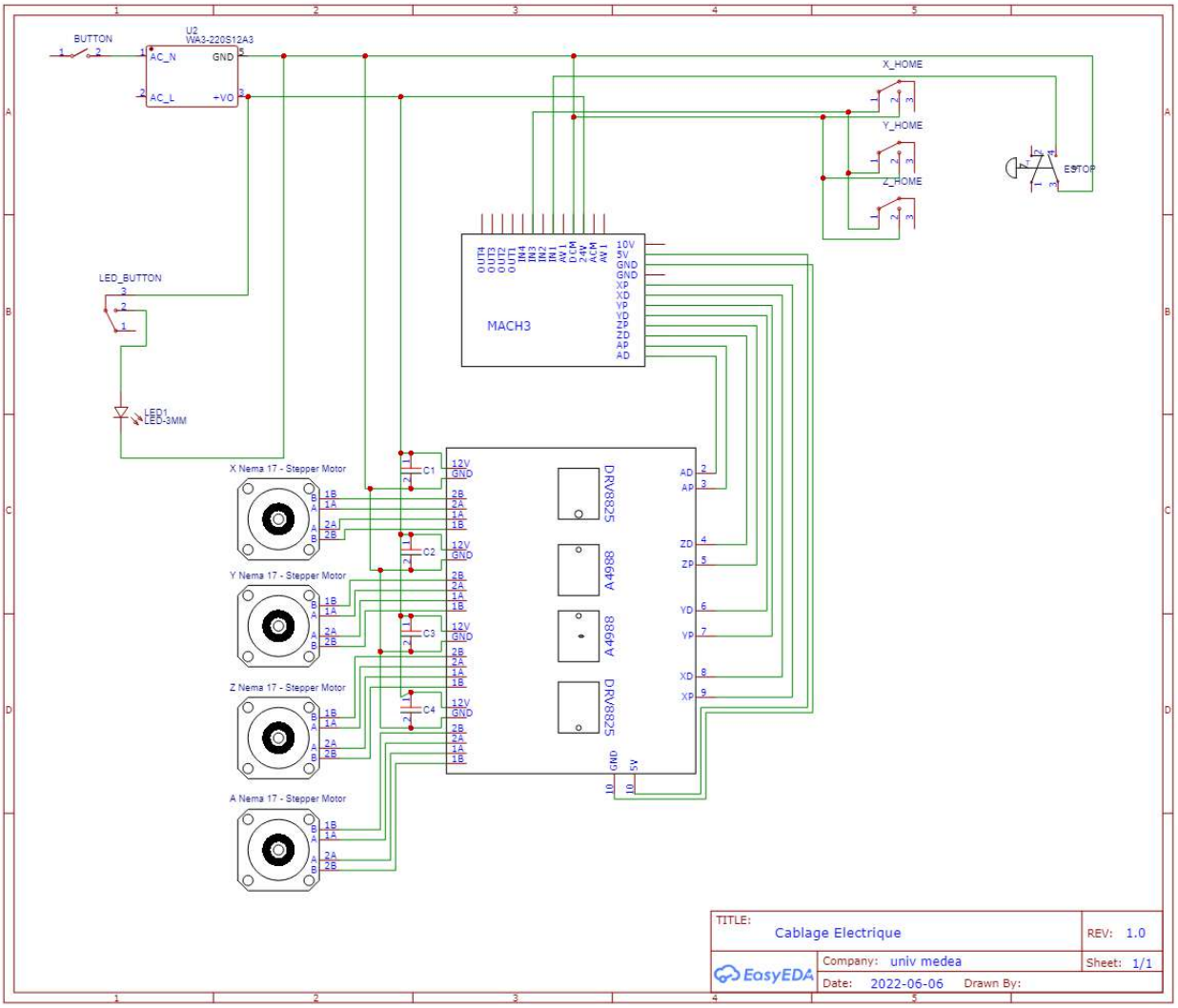


Figure III. 20 : schéma synoptique électrique

III.3.1.2. Schéma électrique de la carte de drivers

Avant de passer à la réalisation pratique, nous avons utilisé un CAO : il s'agit de « EASYEDEA », c'est un CAO électronique qui permet de dessiner des schémas électroniques, de réaliser le circuit imprimé correspondant. Il comporte de nombreux outils regroupés en modules au sein d'une interface unique.

L'image ci-dessous montre le circuit réalisé sous EASYEDEA :

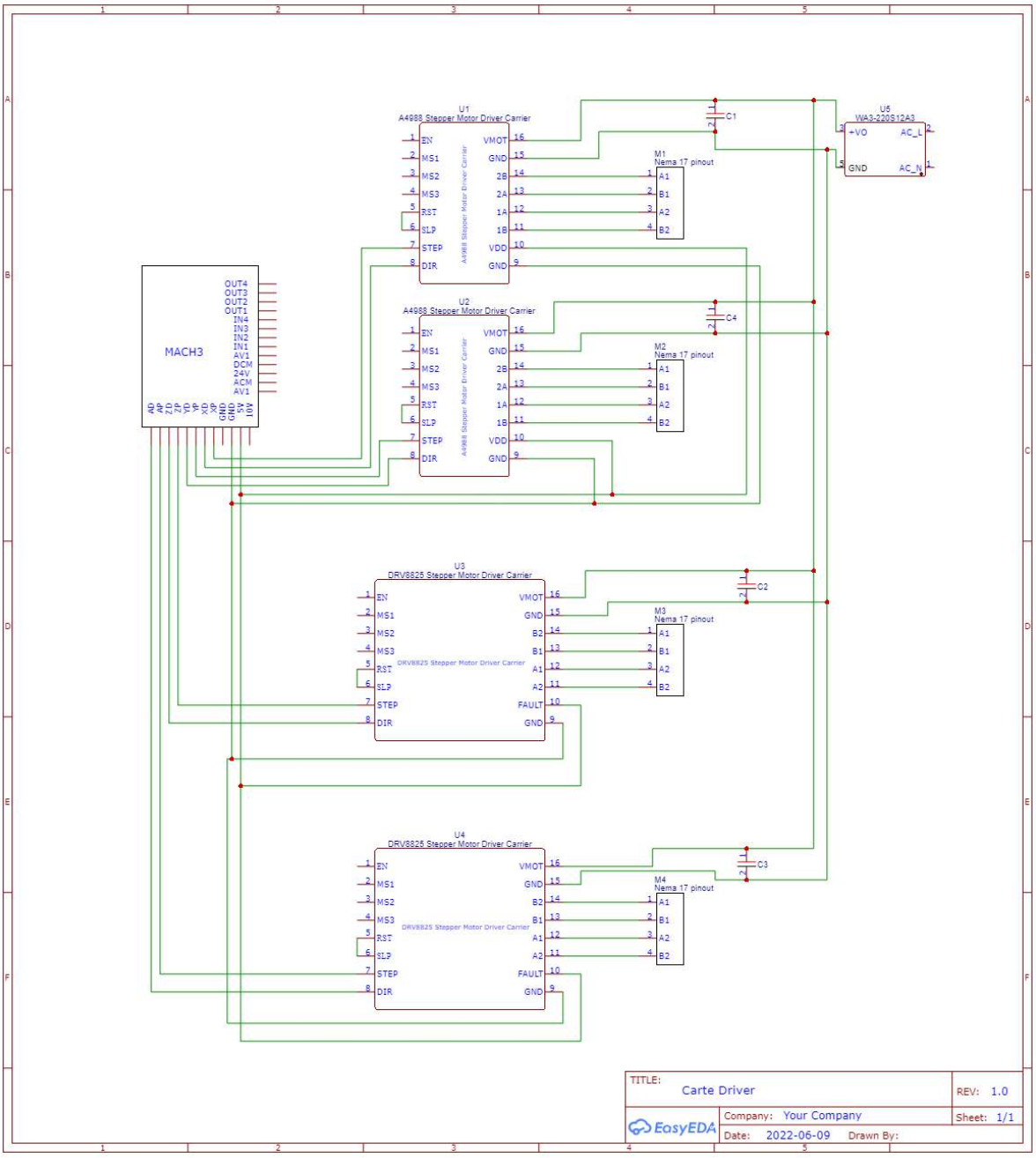


Figure III. 21 : schéma carte driver

Le tableau suivant regroupe les composants utilisés dans ce circuit.

Composants	Symbol	Valeur	Quantité
Mach3	/	/	1
A4988	Driver-x, Driver-y, Driver-z	/	3
Drv8825	Driver-a	/	1
Condensateur	C1, c2, c3, c4	100uF	4
Connecteur (2 pins)	Source1, Source2, Source3, Source4, Source5	/	5
Connecteur (4 pins)	J1, J2, J3, J4	/	4
Contacte	/	/	3

Tableau 1 : Composants de la carte driver

L'étape suivante consiste à créer et réaliser le circuit imprimé « PCB » avec « EASY EDEA ». Ce circuit sera utilisé pour la réalisation pratique de la carte. Les schémas obtenus sont présentés sur la figure suivante :

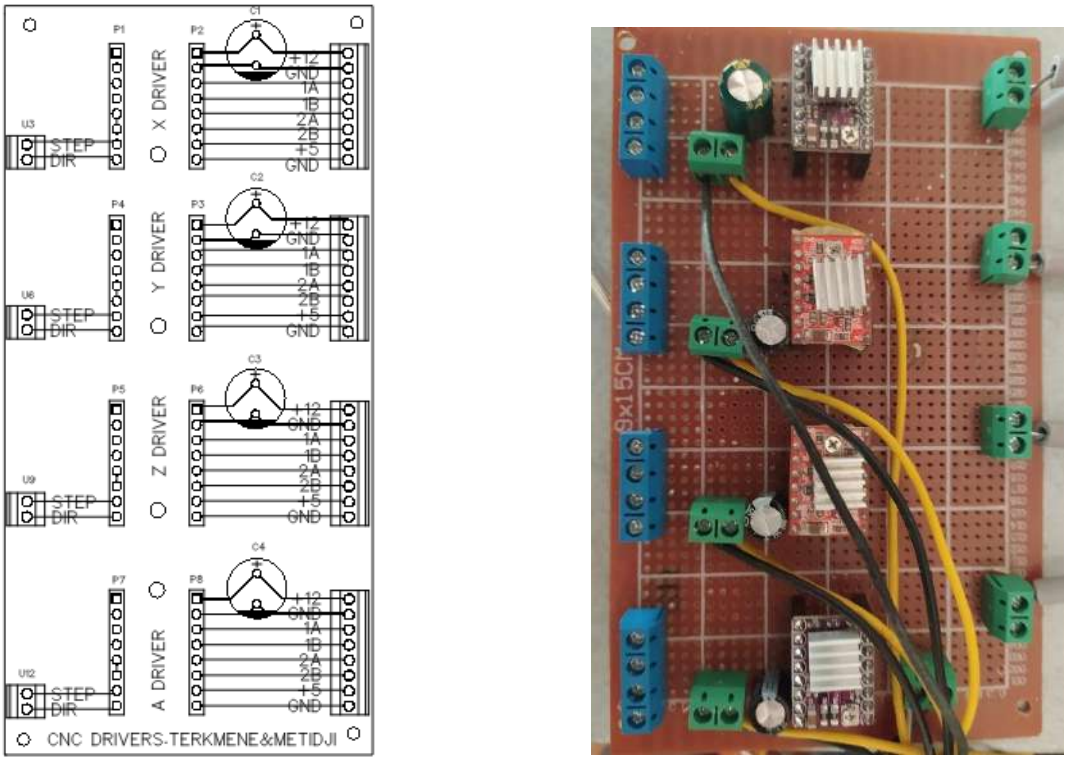


Figure III. 22 : Schéma PCB sur EASYEDEA et schéma réel

Le contrôleur est un circuit spécialisé nécessaires pour transmettre de la puissance au moteur pas à pas. En utilisant deux contrôleurs (A4988 et DRV8825), présenté sur la figure III.17. Le pilote**A4988** dispose de limitation de courant réglable, protection contre les surintensités et cinq résolutions de micro pas différentes. Il fonctionne de 8V à 35V et peut fournir 1A par bobine sans ventilation forcée ni dissipateur thermique. Le **DRV8825** caractérise par une Interface de contrôle de pas et de direction simple, Six résolutions de pas différentes : pas complet, demi-pas, 1/4 de pas, 1/8 de pas, 1/16 de pas et 1/32 de pas, Le contrôle de courant réglable, Tension d'alimentation maximale de 45 V. (17)



Figure III. 23 : A4988 & DRV8825

Les entrées de sélection (MS1, MS2, MS3) permettent la sélection des cinq étapes de résolutions selon le tableau ci-dessous. MS2 et MS3 ont 100kΩ de résistance interne, mais MS1 n'a pas, donc il doit être connecte à l'extérieur. Pour que les modes de micro pas fonctionnent correctement, la limite de courant doit être réglée assez bas de sorte que la limitation de courant se fiance. Sinon, les niveaux actuels intermédiaires ne seront pas correctement entretenus, et les moteurs fonctionneront effectivement dans un mode pas entier.

MS1	MS2	MS3	Résolution de pas
0	0	0	PAS COMPLET
1	0	0	½ pas
0	1	0	¼ pas
1	1	0	1/8 pas
1	1	1	1/16 pas

Tableau 2 : Tableau des résolution (A4988)

MS_0	MS_1	MS_2	RESOLUTION DE PAS
0	0	0	Pas complet
1	0	0	1/2 pas
0	1	0	¼ pas
1	1	0	1/8 pas
0	0	1	1/16 pas
1	0	1	1/32 pas

Tableau 3 : Tableau des résolution (DRV8825)

Remarque :

1 : haut (5v)

0 :bas (0v)

III.3.1.3. Les entrées de commande

Chaque impulsion à l'entrée d'étape correspond à un micro-pas du moteur pas à pas dans la direction sélectionnée par l'axe DIR. Notons que les STEP et DIR broches ne sont pas tires à toute tension particulière en interne, de sorte qu'on ne peut pas laisser une de ces broches flottantes

III.4. Eléments et caractéristiques de la partie opérative de la machine

III.4.1. Caractéristique de Laser

Puissance : 1000mW

Tension d'entrée : 4.5-5v

La température de travail : 500º C

Poids : 18g



Figure III. 24 : MODULE LASER

III.4.2. Caractéristiques des moteurs pas à pas

- EM-483 :

Type : bipolaire

Courant maximale : 1.4 A

Vitesse max : 150tr/min

Pas angulaire : 1.8º

- EM-321
  - Voltage :12v
- EM-336
  - Voltage :12v
  - Ampérage 0.7A

- Diamètre : 42.5 mm

III.4.3. Caractéristiques de l'espace de travail

- Axe longitudinal : X 155 mm Maxi
- Axe transversal : Y 180 mm Maxi
- Axe vertical : Z 80 mm Maxi

III.5. Simulation Mécanique sous SOLIDWORKS de la machine CNC à Laser

III.5.1. Introduction

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

Un logiciel de CAO se compose généralement de quatre parties majeures qui peuvent être organisées comme suit :

- **Le modeleur géométrique :** il représente "la planche à dessin". Nous trouvons dans cette partie les composants géométriques essentiels : points, droites, cercles, ellipses, plans, sphères, cylindres, cônes, surfaces de révolution, surfaces de balayage, etc. Il intègre également les composants topologiques : sommets, faces, arêtes, orientations, coïncidences, adjacences, intersections, soustractions, unions, etc.
- **L'outil de visualisation**.
- **Un certain nombre d'applications :** nous retrouvons le calcul des grandeurs géométriques (distances, inerties, volumes, masses, etc.), les fonctions métiers : assemblage de pièces, production de plans, simulation d'usinage, moulage, fraisage, etc.
- **Un contrôleur :** il gère et manipule les intersections entre les trois outils cités précédemment.

III.5.2. Description du logiciel « SOLIDWORKS »

Est un logiciel propriétaire de conception assistée par ordinateur 3D fonctionnant sous Windows.

SOLIDWORKS est un modeleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés.

Un dossier complet contenant l'ensemble des relatifs à un même système constitue une maquette numérique. De nombreux logiciels viennent compléter l'éditeur SOLIDWORKS. Des utilitaires orientés métiers (tôlerie, bois, BTP...), mais aussi des applications de simulation mécanique ou d'image de synthèse travaillent à partir des éléments de la maquette virtuelle.

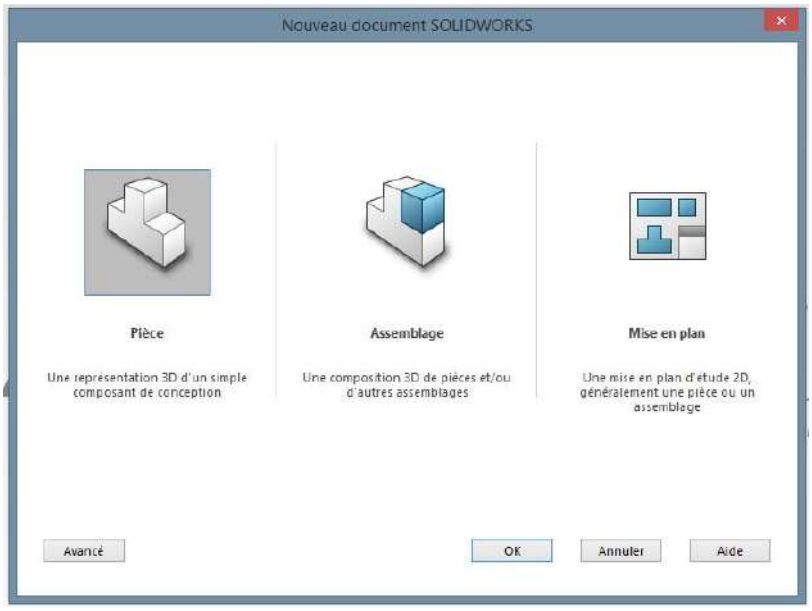


Figure III. 25 : INTERFACE DE SOLIDWORKS

III.5.3. Partie pièce

La conception des pièces de la machine, avec SolidWorks, se déroule en 3 étapes :

- Sélection du plan de face,
- Conception de la forme en 3D en utilisant l'option « bossage extrudé »
- Création des différents détails qui caractérisent chacune de pièces.

III.5.3.1. Rail de guidage

Nous avons défini la même base pour tous les rails mais avec des longueurs différentes.

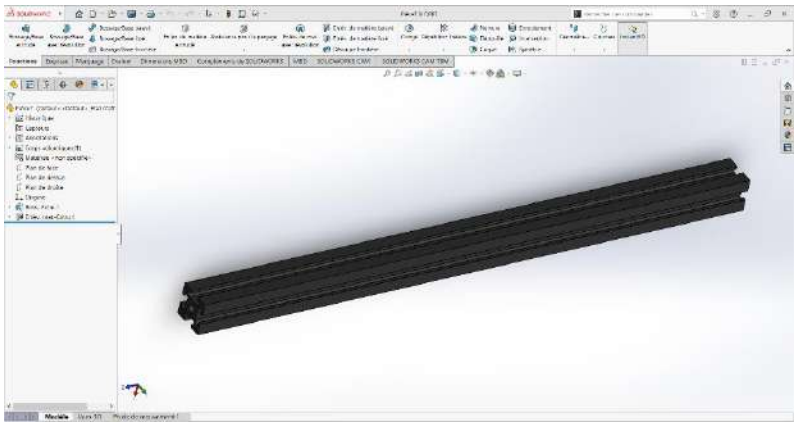


Figure III. 26 : RAIL

Trois pièces de rail de type V 2020 sont conçus. Les dimensions de base de chacune d'elles étant 20 x 20, et les longueurs sont les suivantes :

DIMENSION (mm)	NEMBRE
20*20*350	4
20*20*300	2

Tableau4 : Dimension des tiges

III.5.3.2. Les axes du guidage

Nous avons dessiné un cercle de 8mm de diamètre, après avoir défini la longueur de l'axe, nous avons obtenu la forme finale en 3D. Pour faciliter l'assemblage de la pièce avec le support, nous avons minimisé les extrémités de l'axe.

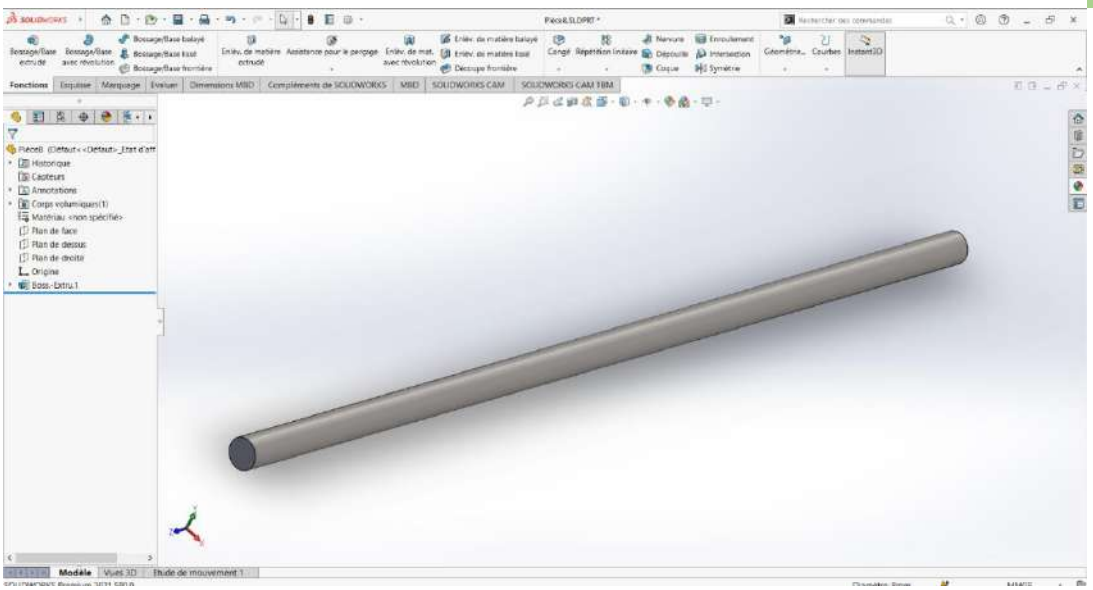


Figure III. 27 : AXE DE GUIDAGE

III.5.3.3. Les supports

Le support contient une entrée pour l'axe, des trous pour fixer sur le rail et le moteur et un canal pour limiter le mouvement des axes.

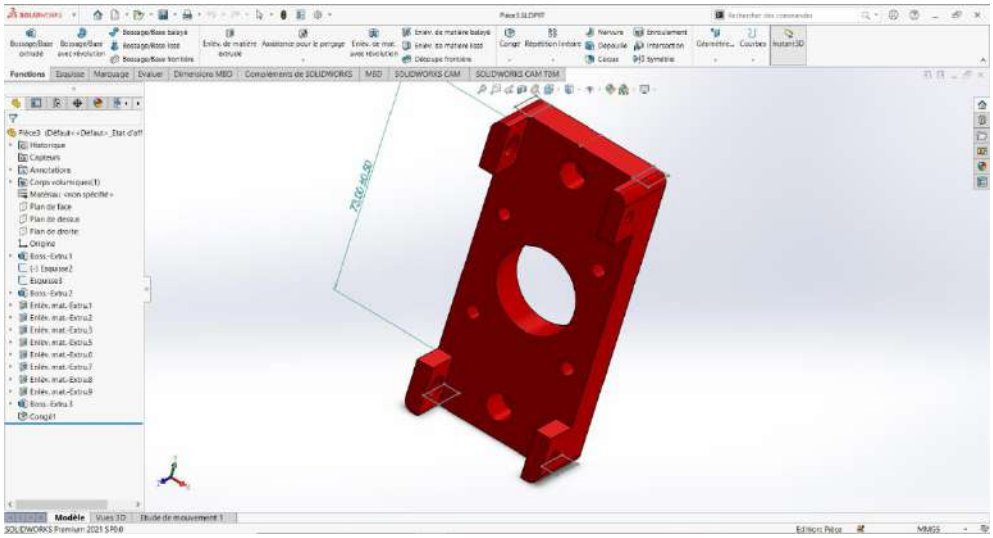


Figure III. 28 : Support axe x cotée moteur

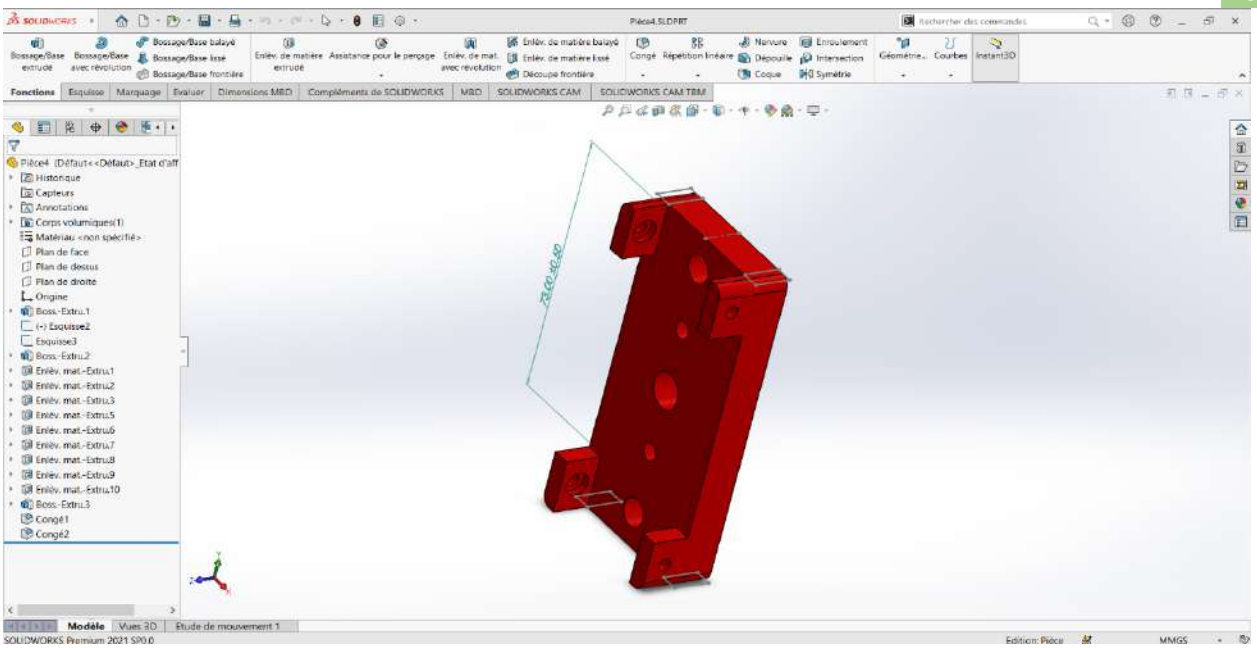


Figure III. 29 : Support axe x cotée palier

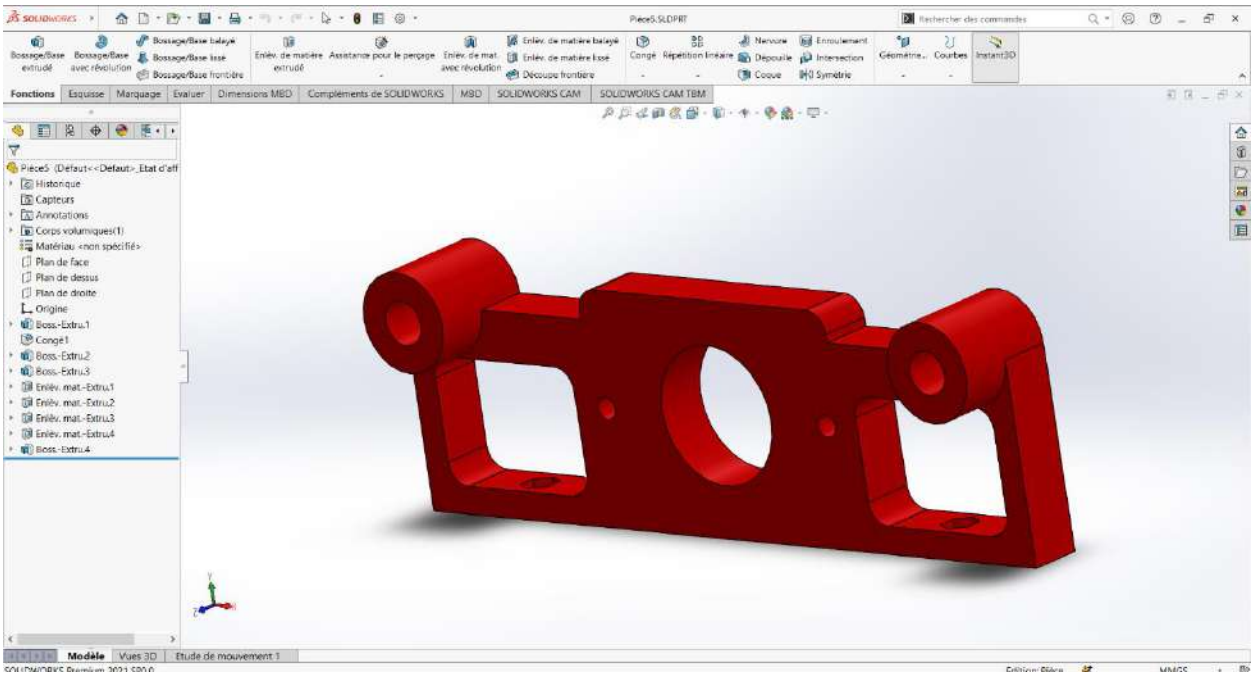


Figure III. 30 : Support y cotée moteur

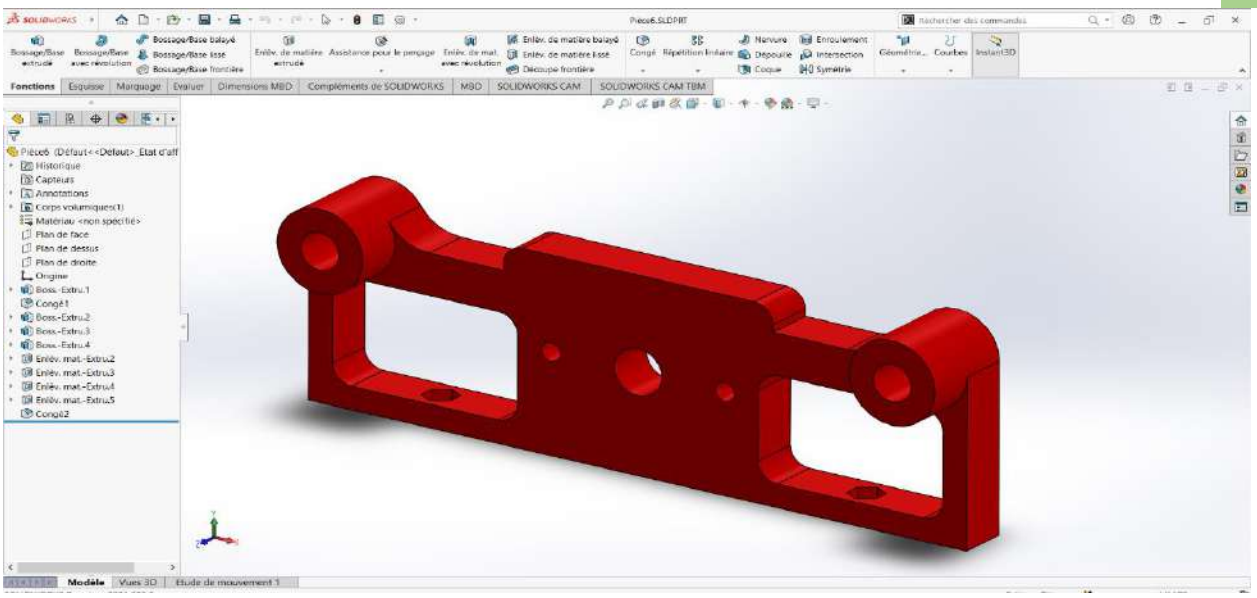


Figure III. 31 : Support Y cotée palier

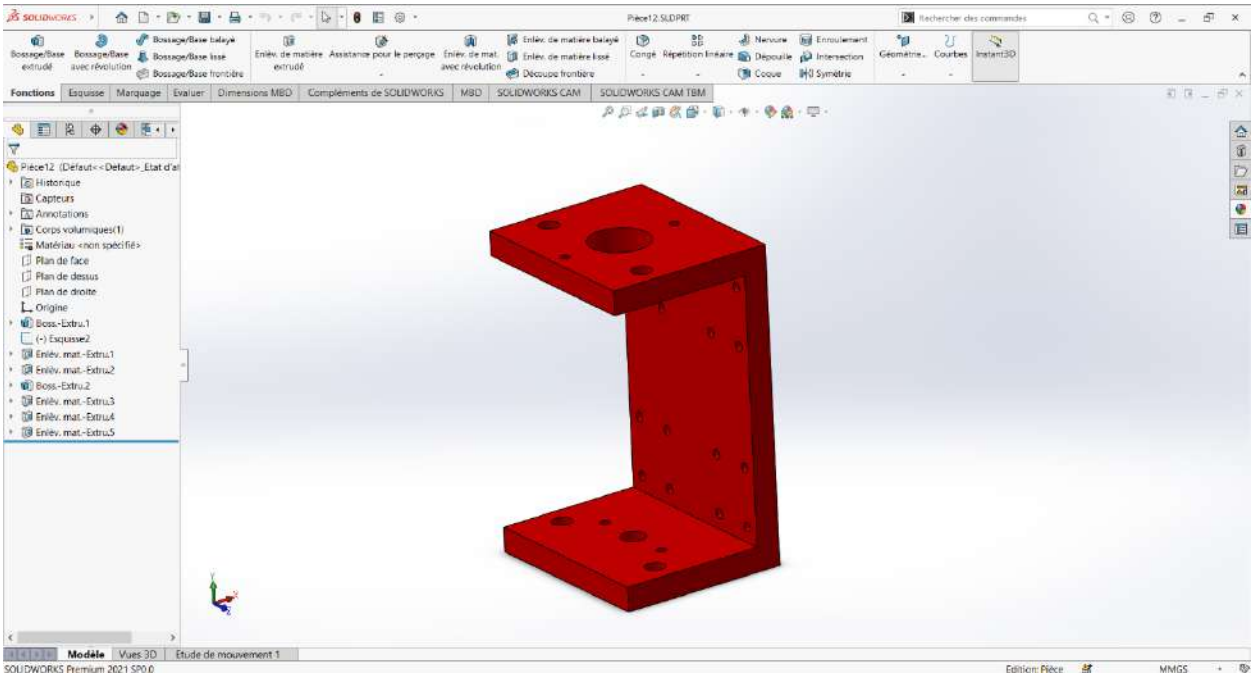


Figure III. 32 : Supoort axe Z

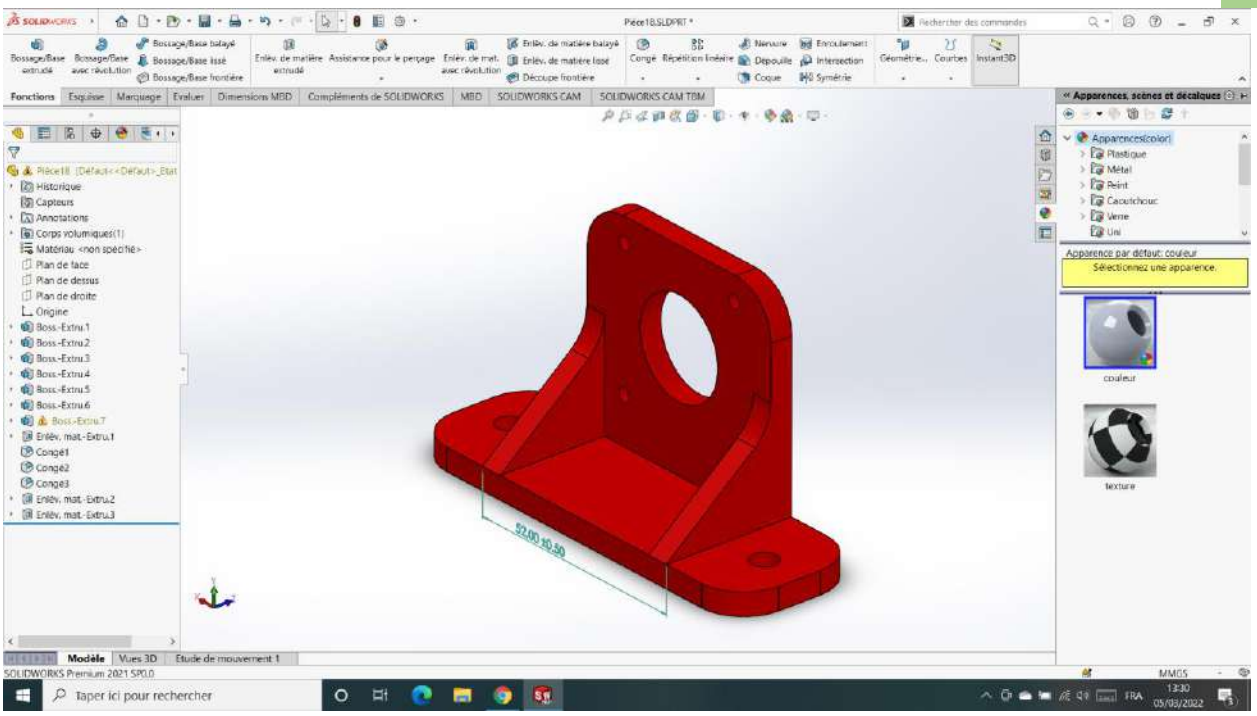


Figure III. 33 : Support axe A cotée moteur

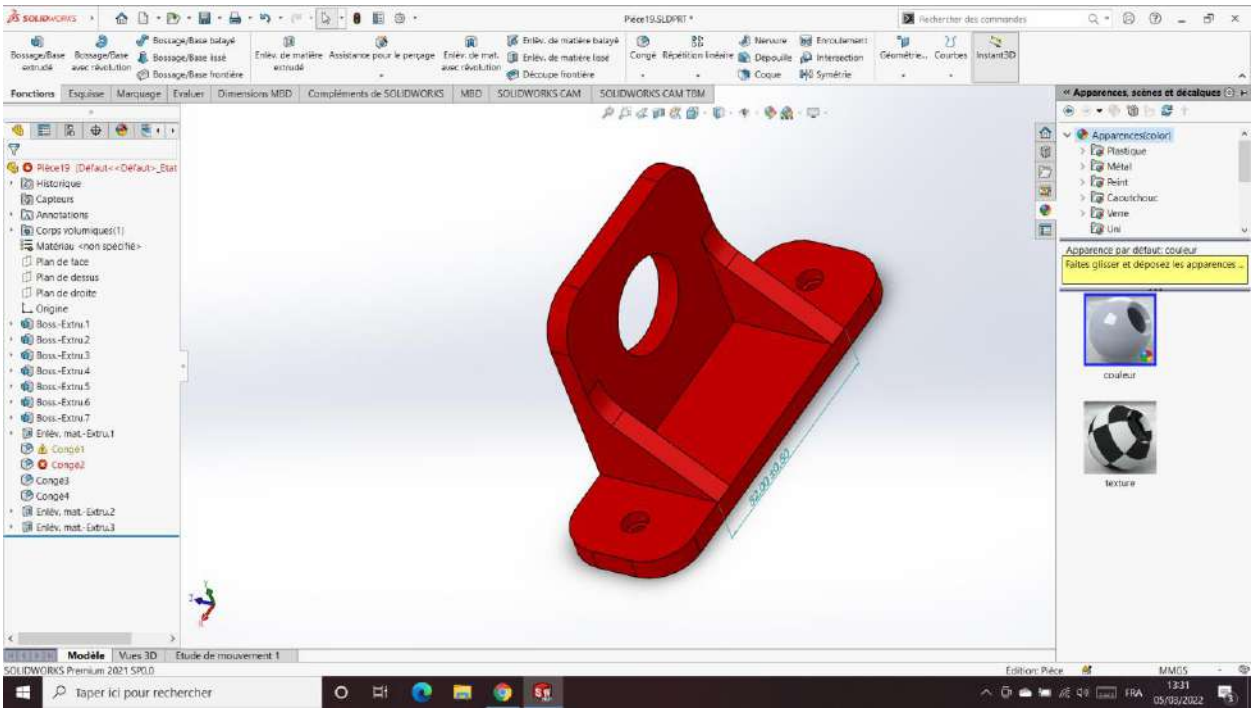


Figure III. 34 : Support axe A cotée roulement

III.5.3.4. Moteur pas à pas (Nema 17)

En utilisant trois type de moteur pas à pas EM-336, EM-321 et EM-483

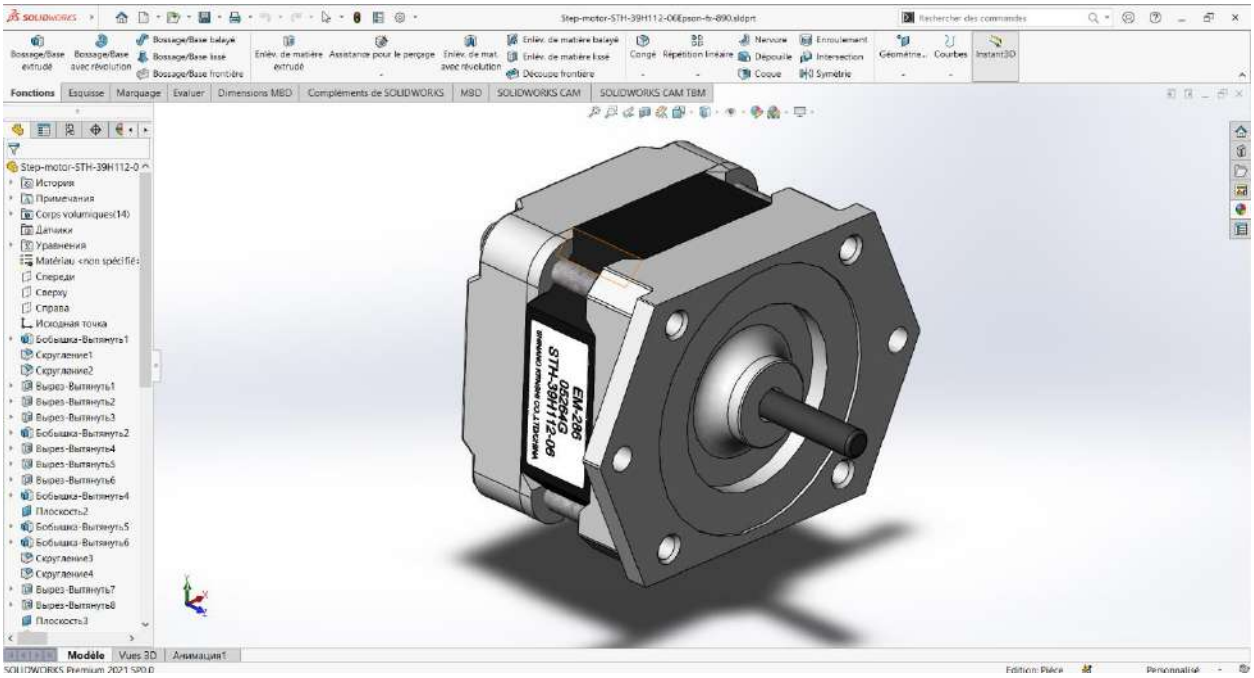


Figure III. 35 : Nema 17

III.5.3.5. Accouplement

Cette pièce cylindrique assure une liaison entre le moteur et la vis sans fin-écrou, ceci permet la transmission de rotation.

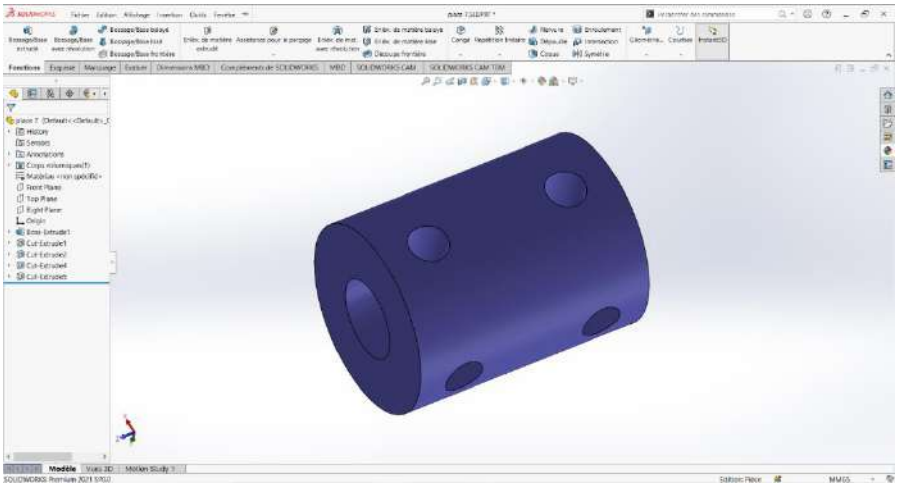


Figure III. 36 : accouplement

III.5.3.6. Vis sans fin (tige) :

Cette vis est dessinée selon les caractéristiques présentées dans le tableau suivant :

Type	Trapézoïdal (mm)
Nbre de filet	4
Diamètre de vis	8
Pas	2
Longueur	300,280,130

Tableau5 : caractéristique de la tige

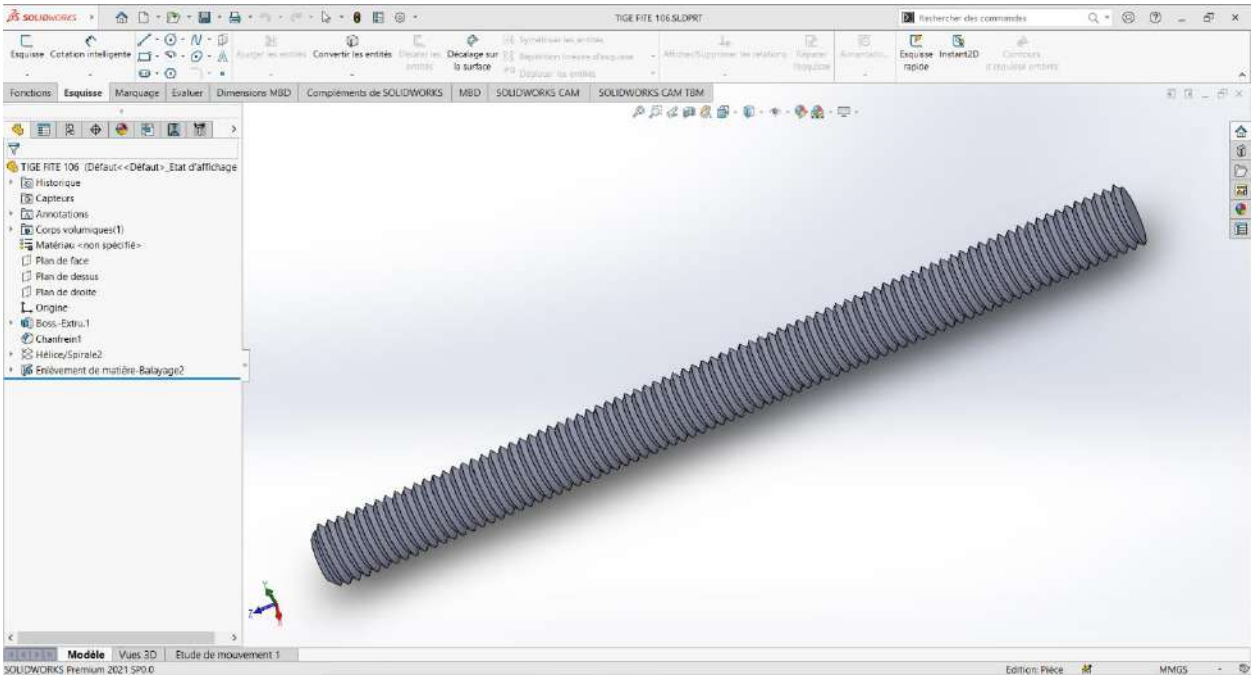


Figure III. 37 : Tige filletée

III.5.3.7. Écrou

Conception de l'écrou a placé sur la vis sans fin. Deux écrous conçus un pour l'axe X et l'autre pour l'axe Y, Z.

Pour l'objectif de transfomée la rotation de tige en mouvement

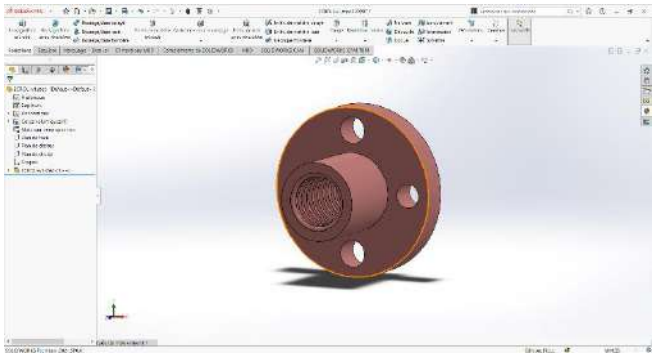


Figure III. 38 : Ecrou



Figure III. 39 : Dimension ecrou

III.5.3.8. Support de vis sur l'axe X

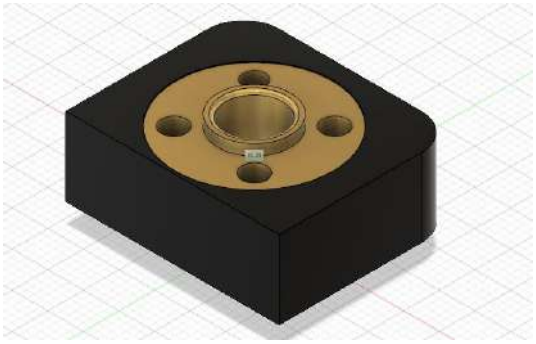


Figure III. 40 : support de vis axe x

III.5.3.9. Support de vis sur l'axe Y

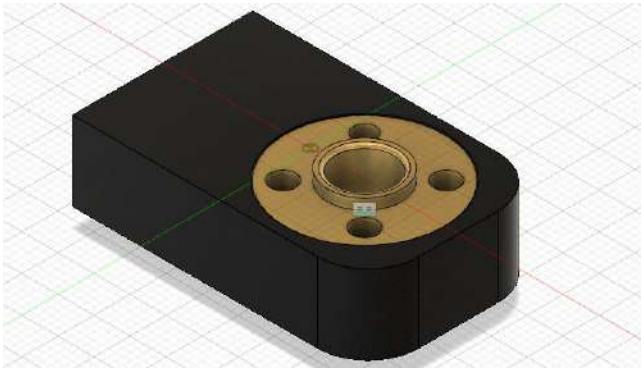


Figure III. 41 : support de vis axe Y

III.5.3.10. Support de vis sur l'axe Z



Figure III. 42 : Support de vis axe Z

III.5.3.11. La table

Pour qu'elle assure un mouvement sur l'axe Y, elle est conçue de façon à se fixer sur les quatre routeurs motion et les nuts.

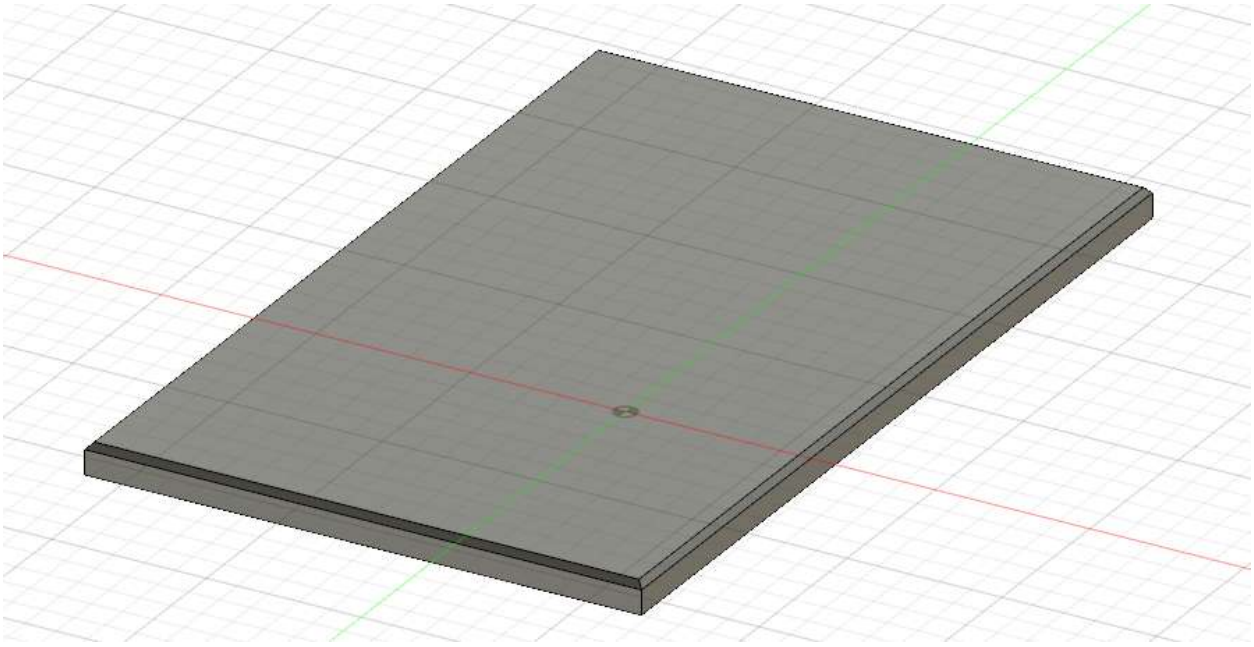


Figure III. 43 : la table

III.5.3.12. Support outil

Composé de deux pièces les deux sont fixées sur les glissières

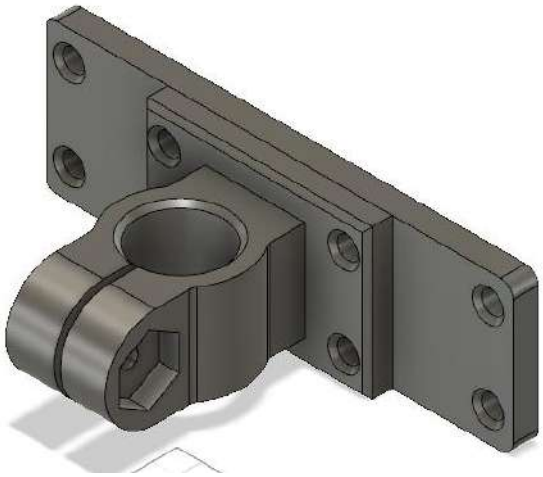


Figure III. 44 : support d'outil

III.5.3.13. Rotateur d'axe

Cette pièce assure la rotation des axes manuellement

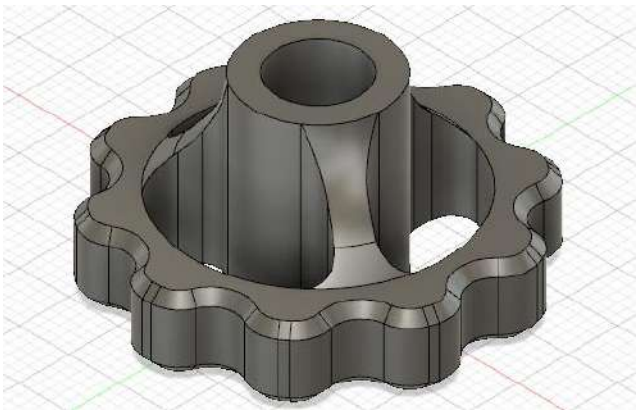


Figure III. 45 : rotateur d'axe

III.5.4. Partie de l’assemblage

III.5.4.1. Le cadre de CNC

L’assemblage du cadre est constitué de cinq rails, tous reliés entre eux.

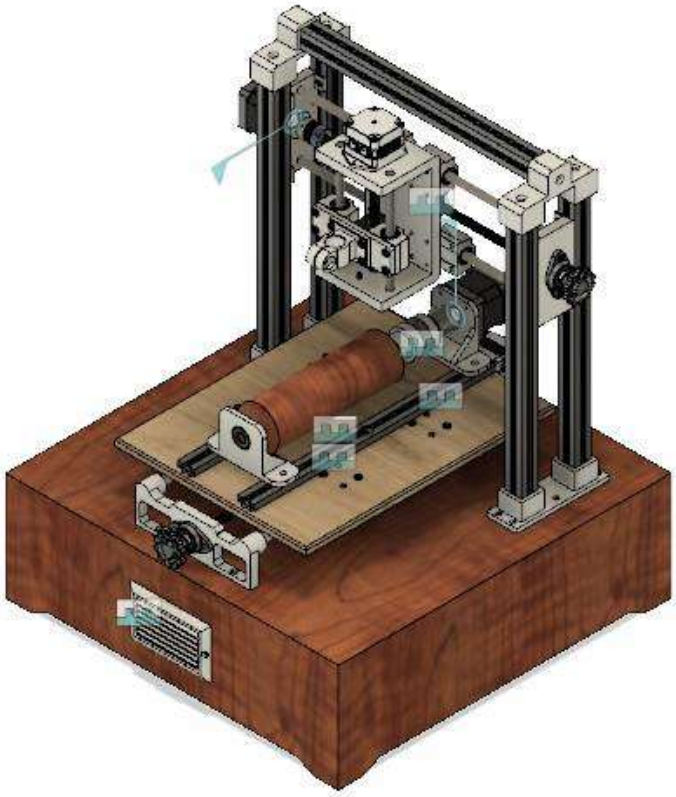


Figure III. 46 : Cadre de la machine

III.5.4.2. L’assemblage sur l’axe X

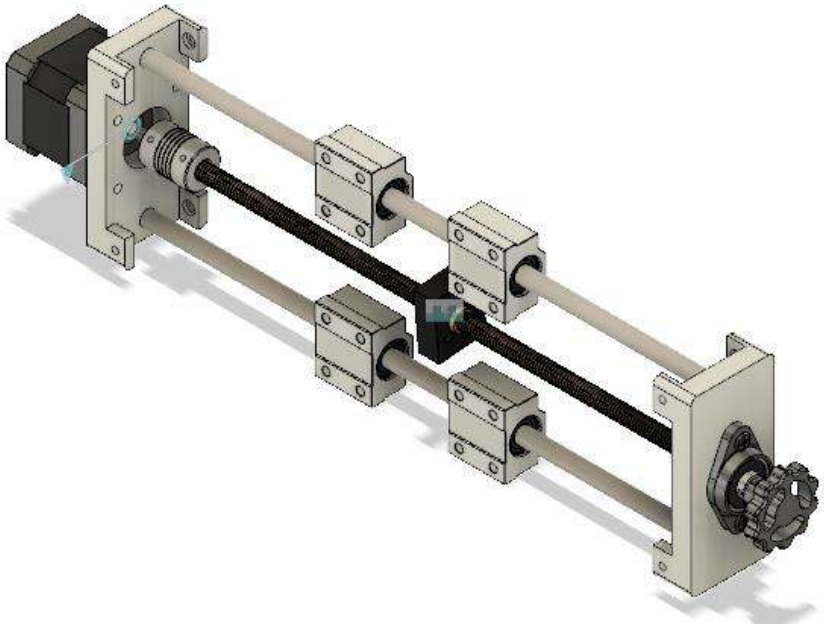


Figure III. 47 : Assemblage sur l’axe X

III.5.4.3. L’assemblage sur l’axe Y

Nous procédons comme suit :

- Les supports de l’axe y
- Les tiges
- Les glissières
- Le moteur et la tige fileté
- Un roulement

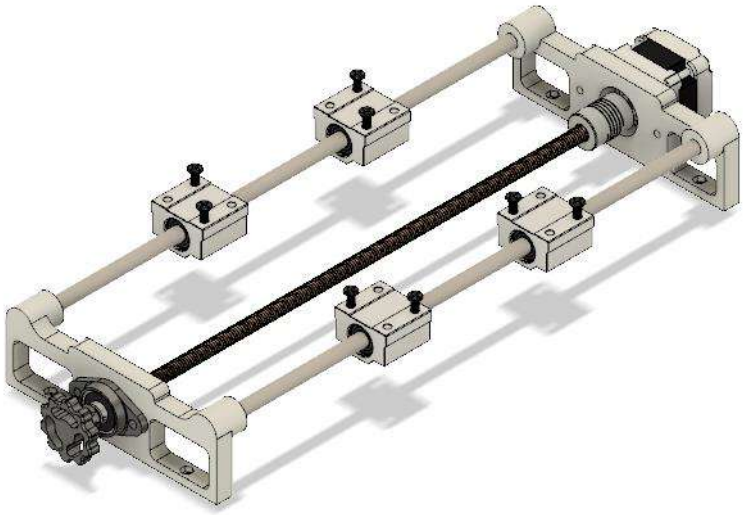


Figure III. 48 : Assemblage sur l'axe Y

III.5.4.4. L'assemblage sur l'axe Z

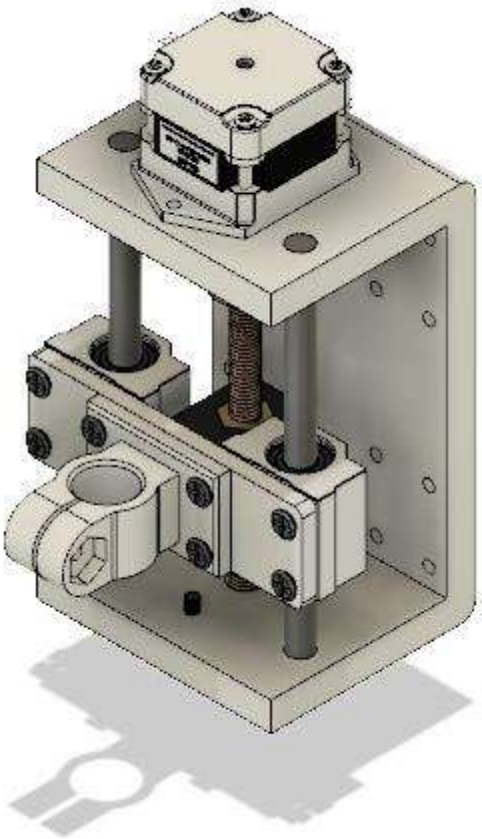


Figure III. 49 : Assemblage sur l'axe Z

III.5.4.5. L’assemblage sur l’axe A

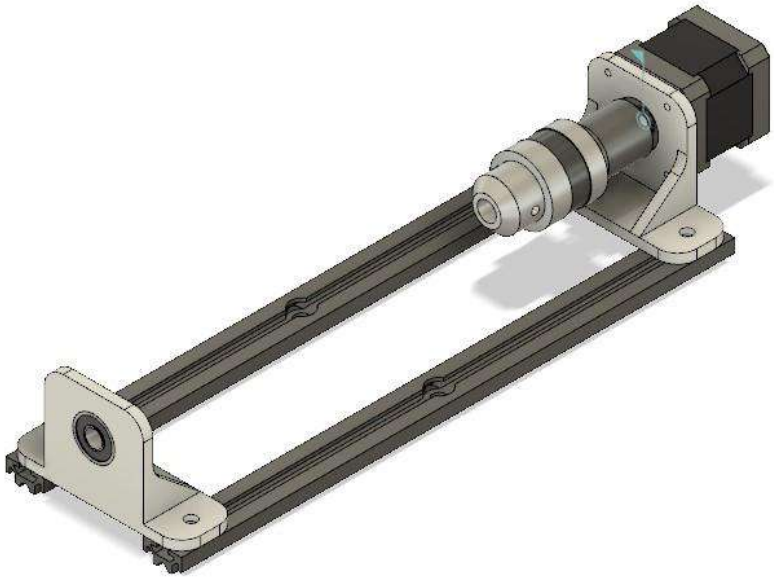


Figure III. 50 : Assemblage sur l’axe A

III.5.4.6. L’assemblage final du CNC

Dans cette étape, nous plaçons la table du CNC sur l’axe Y

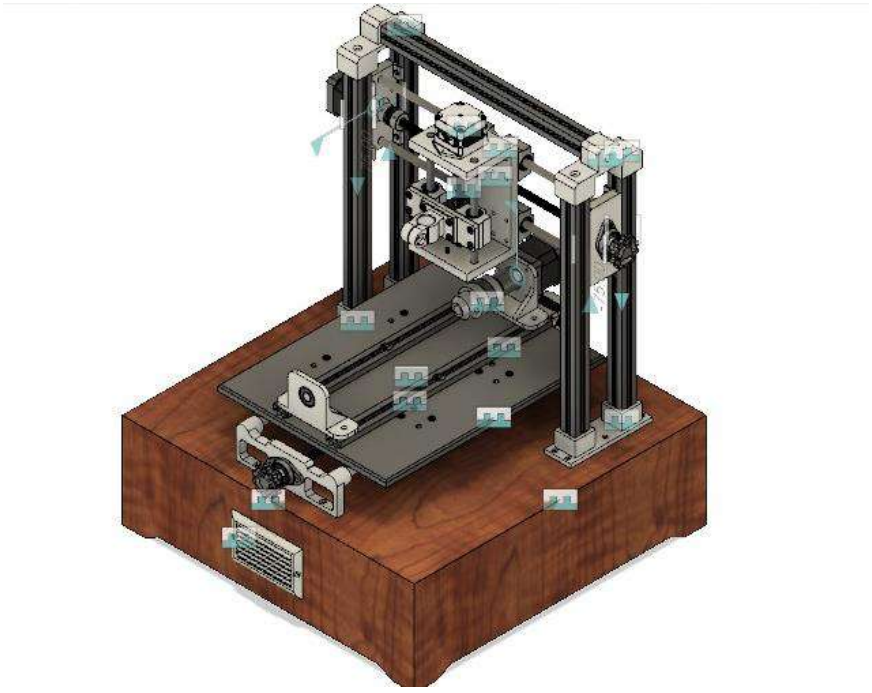


Figure III. 51 : L’assemblage finale

III.6. La réalisation de la machine CNC

III.6.1. Axe d'une CNC

Un degré de liberté d'un organe de machine est appelé AXE si l'actionneur du mouvement est asservi en vitesse et position, et s'il peut être synchronisé avec un autre degré de liberté pour obtenir un déplacement qui n'est pas parallèle à une direction principale du système de coordonnées.

Il permet d'obtenir une position, par une instruction numérique, à la résolution du moyen de mesure près.

Un axe est constitué de la façon suivante :

- Un chariot mobile sur glissières.
- Un système de transmission vis-écrou (vis à billes).
- Un moteur pas à pas.

III.6.2. La réalisation de l'axe X, Z

Fixation des différentes pièces de la partie fonctionnant (les moteurs, coupleurs, tige filetée, écrou, paliers, axe de guidage et les supports) sur l'axe X et fixation de l'axe Z et ses composants.

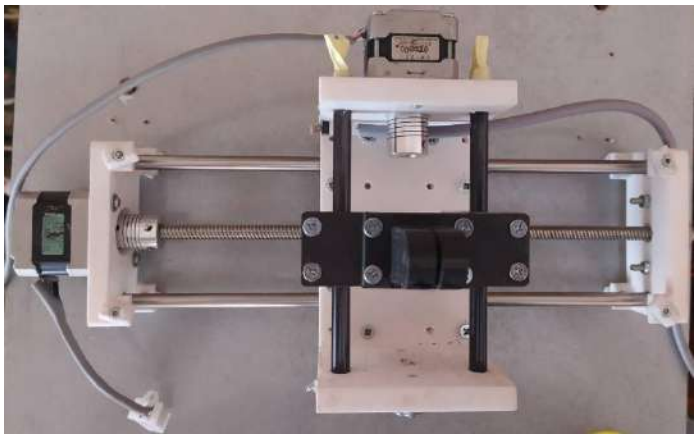


Figure III. 52 : L'axe X et Z

III.6.3. La réalisation de l'axe Y

Fixation des différentes pièces de la partie fonctionnant sur l'axe Y

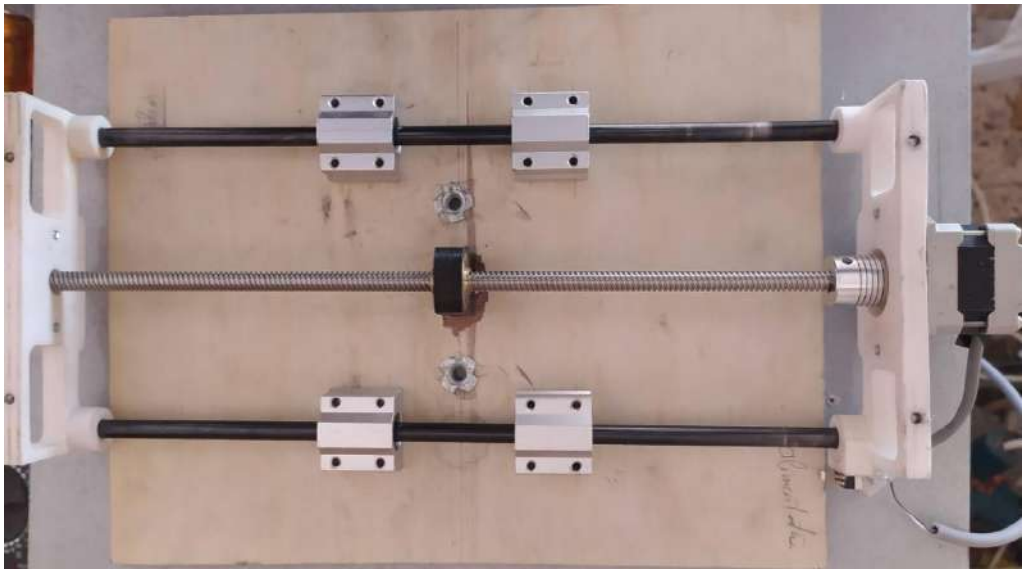


Figure III. 53 : L'axe Y

III.6.4. La réalisation de l'axe A

Fixation des différentes pièces de la partie fonctionnant sur l'axe A



Figure III. 54 : L'axe A

III.7. Test d'un simple usinage

III.7.1. Test en 3 axes

Pour tester notre machine on 3 axes, on a usiné une forme simple générée par le logiciel Aspire Vectric, sur une plaque en verre par des étapes suivants :

- Ouvrir « aspire vetric » et créer un nouveau projet
- Sélectionner simple face
- Ajouter la hauteur, langueur et l'épaisseur de la plaque en verre
- Fixé l'origine sur la plaque et cliquer OK
- Ecrire le Texte « UNIV MEDEA »
- Aller au « toolpathe » et choisie le parcours d'outil pour les textes
- Sélectionner « périmètre » ou « remplissage »
- Sélectionner le post processeur « mach 2/3 arcs (mm) »
- Sauvegarder le g-code

La deuxième étape on ouvre le logicielle « mach3 » et suivre les étapes suivantes :

- Mettre les axes de la machine on origines par cliquer sur « REF ALL HOME »
- Montée le g-code par « Load g-code »
- Lancé le programme par « cycle start »

Le résultat d'usinage réel est donné par la figure suivante :



Figure III. 55 : test usinage 3 axes

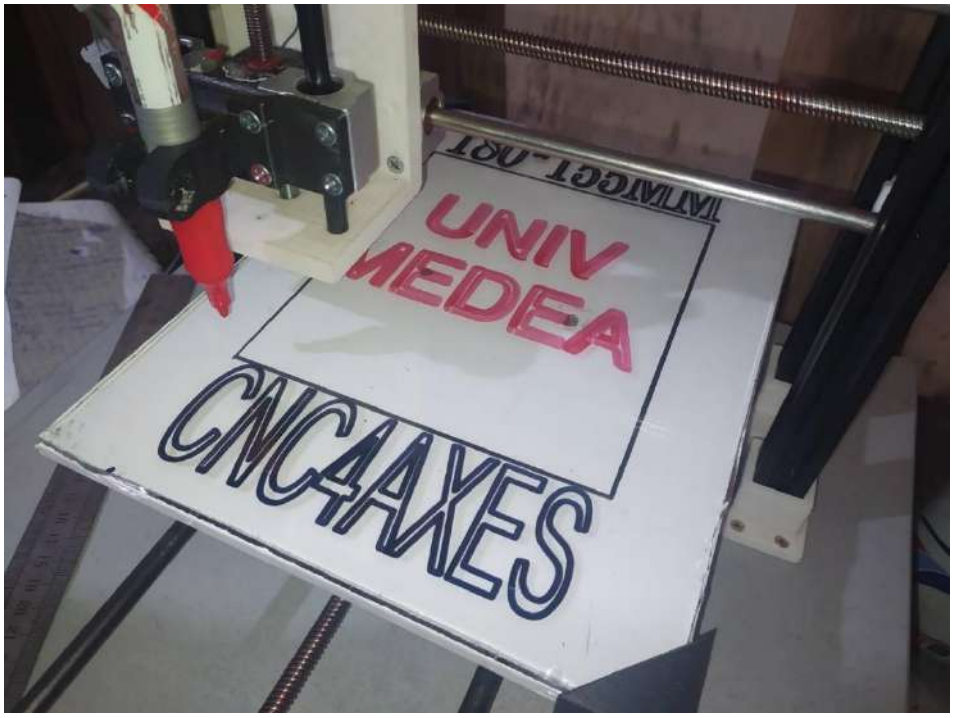


Figure III. 56 : test usinage 3 axes

III.7.2. Test en 4 axes

Pour tester notre machine on 4 axes, on a usiné une forme simple générée par le logiciel Aspire Vectric, sur un cylindre en bois par des étapes suivants :

- Ouvrir « aspire vetric » et créer un nouveau projet
- Sélectionner le mode cylindre
- Ajouter la langueur et le diamètre de la cylindre en bois
- Fixé l'origine sur la surface de cylindre et cliquer OK
- Ecrire le Texte « CNC »
- Aller au « toolpathe » et choisie le parcours d'outil pour les textes
- Sélectionner « périmètre » ou « remplissage »
- Sélectionner le post processeur « mach 2/3 X2A ATC (mm) »
- Sauvegarder le g-code

La deuxième étape on ouvre le logicielle « mach3 » et suivre les étapes suivantes :

- Mettre les axes de la machine on origines par cliquer sur « REF ALL HOME »
- Mettre l'outil aux références de cylindre

- Mettre sa coordonnée a zéro
- Montée le g-code par « Load g-code »
- Lancé le programme par « cycle start »

Le résultat d'usinage réel est donné par la figure suivante :



Figure III. 57 : test usinage 4 axes

III.8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons décrit les composants mécaniques et électriques de la machine et les caractéristiques de la partie commandes de circuit d'interface et les pilotes, comme nous présentons les caractéristiques de la partie opérative et faire une simulation mécanique sous SOLIDWORKS pour réaliser la machine en réalité. A la fin on teste la machine en 3 et puis en 4 axes par des simples usinages.

Conclusion Générale

Notre projet de fin d'études a porté sur la conception et la réalisation d'un modèle de machine à commande numérique (CNC) quatre axes à Laser en utilisant le langage de programmation numérique G-Code et la carte Mach3. Cette machine est capable de réaliser un calcul des coordonnées des points définissant une trajectoire.

En concluant, les étapes suivies lors de sa réalisation sont énumérées comme suit :

- Aperçu général ainsi le principe de fonctionnement et une structure de la machine CNC
- Une partie commande et informatique on parle des notions sur le moteur pas à pas, la carte Mach3 et sa configuration, le langage de programmation G-code et le logiciel CAM « ASPIRE VETRIC »
- Les composants mécaniques et électrique essentiels utilisés pour réaliser cette machine
- La conception des pièces sous SOLIDWORK puis la fabrication par la technologie d'impression 3D.
- La réalisation de la machine
- Un test d'un simple usinage (en 3 axes et on 4 axes).

Référence bibliographique

1. **Hamid, Mr CHATBI.** Réalisation d'une commande pour une machine CNC. Bouira, Bouira, Algerie : Université de bouira, 2017.

2. **prototech asia.** ***prototech asia.*** **[En ligne] 2022. [Citation : 26 Février 2022.] https://prototechasia.com/usinage-plastique-cnc/histoire-usinage-cnc?fbclid=IwAR1nj9oh05SB_K7rO8R_A5iz7kuJ9GTc-f6lOWbQvKEVgs1mXEjL-sMl2sg.**

3. Benabied, Djamal et Abdelmeziane, Mohammed Raid. Conception et réalisation d'une machine CNC. ***Conception et réalisation d'une machine CNC.*** **Mila : s.n., 2019/2020. Vol. 1.**

4. ABDEMEZIANE, Mohammed Raïd et BENABIED, Djamal. Conception et réalisation d'une machine CNC. 2019/2020.

5. Le guide technique complet. ***hubs.*** **[En ligne] hubs. [Citation : 25 Février 2022.] https://www.hubs.com/fr/guides/usinage-cnc/?fbclid=IwAR1hPO-pMYiEG3jnuTmEo9MDCj7SowV8XYBrt-smWlk8FXUCEIaqzF8EH1Y#basics.**

6. Computer Numerical Control (CNC) Machine. ***Innowiki.*** **[En ligne] 24 juillet 2019. [Citation : 26 Février 2022.] https://innowiki.org/computer-numerical-control-cnc-machine/.**

7. Guerrouabi, Chanez et Ait Rahmane, Roza. Etude et conception d'une machine CNC (Découpeuse laser). ***Etude et conception d'une machine CNC (Découpeuse laser).*** **Tizi-Ouzou : Guerrouabi, Chanez; Ait Rahmane, Roza;, 2017/2018.**

8. SMAINI, Djamel et BEN KADI, Rafik. Conception et réalisation d'une machine. ***Conception et réalisation d'une machine.*** **TIZI-OUZOU : s.n., 2015.**

9. MENNAI, Noussaiba, LOUNIS, Chahrazed et REHAB, Aya BEKOUCHE. Moteur_pas_a_pas.

10. ***Un guide utilisateur pour l'installation, la configuration et les opérations.*** **usa : Mach3, /.**

11. NEZZARI, IDHIR, CHEMALI, RIAD et FAYCAL, LAAMECHE. IMPLEMENTATION D'UN CONTROLEUR PID POUR LA COMMANDE DES MACHINES DC SUR UN DSPIC . ***IMPLEMENTATION D'UN CONTROLEUR PID POUR LA COMMANDE DES MACHINES DC SUR UN DSPIC*** **. M'sila : s.n., 2010/2011.**

12. .B, DAHMANI .L & HADJ BRAHIM. Programmation des Machines N…N340 M02 Outils à Commande Numérique. ***Programmation des Machines N…N340 M02 Outils à Commande Numérique.***

13. Aspire vetric. ***Aspire vetric.*** **[En ligne] [Citation : 2 JUIN 2022.] chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://docs.vectric.com/docs/V9.0/Aspire/ENU/Help/Aspire.pdf.**

14. Tige filetée. ***wikipedia.*** **[En ligne] 14 Avril 2020. [Citation : 25 Février 2022.] https://fr.wikipedia.org/wiki/Tige_filet%C3%A9e.**

15. FICHE RESSOURCE . ***CAPTEUR DE FIN DE COURSE*** **. [En ligne] [Citation : 15 AVRIL 2022.] chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Ftechnomoussi.free.fr%2FIMG%2Fpdf%2FSEQ25-S2-Ressource_Capteurs_Fin_de_course.pdf&clen=467771&chunk=true.**

16. wikipedia. ***Arrêt d'urgence (automatique).*** **[En ligne] 23 OCTOBRE 2020. [Citation : 22 AVRIL 2022.] https://fr.wikipedia.org/wiki/Arr%C3%AAt_d%27urgence_(automatique).**

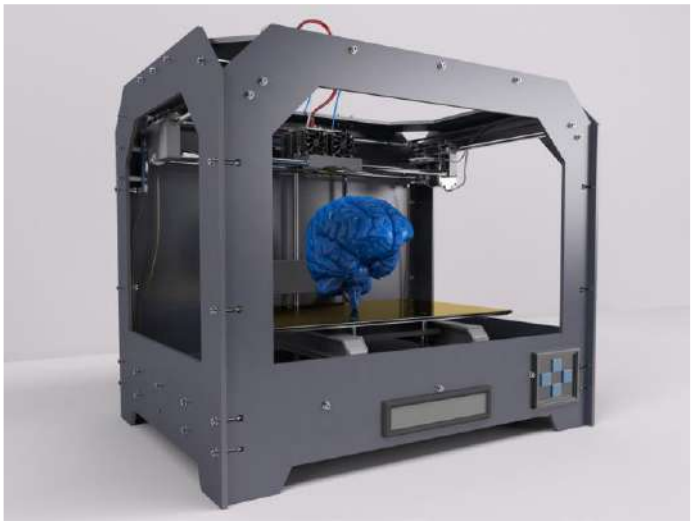
17. electronicaembajadores. ***electronicaembajadores.*** **[En ligne] [Citation : 22 mars 2022.] https://www.electronicaembajadores.com/fr/Productos/Detalle/LCMM024/modules-electroniques/driver-de-moteurs/pololu-drv8825-controleur-moteur-pas-a-pas-1-5-a.**

18. hubs. ***hubs.*** **[Online] hubs a protolabs company . [Cited: Février 24, 2022.] https://www.hubs.com/knowledge-base/cnc-machining-manufacturing-technology-explained/#characteristics.**

ANNEXES

Annexe1 L'impression 3D

Introduction



La technologie de l’impression en 3D ou la fabrication additive remonte à l’année 1988. Perçue dans ses débuts comme une innovation visionnaire, cette technologie s’est imposée depuis l’année 2010 comme un outil de production avec des avantages indéniables dans les processus de fabrication de pièces très variées : comme les objets d’art, les prototypes ou les pièces pour des secteurs aussi pointus tels que l’automobile ou l’aéronautique. Elle est apparue, au moins dans la perspective dominante, pour être plus une nouveauté qu’un outil pratique pour faire progresser la fabrication

Définition

L’impression 3D ou la fabrication additive est un processus de fabrication d’objets solides tridimensionnels à partir d’un fichier numérique.

L’objet imprimé en 3D est créé en superposant des couches de matériaux. Chacune de ces couches peut être considérée comme une coupe transversale horizontale mince de l’objet temporaire. Ce procédé s’appelle aussi processus additif.

L’impression 3D est l’opposé de la fabrication soustractive qui coupe ou creuse un morceau de métal ou de plastique avec des machines conventionnelles. Elle permet de créer des formes complexes (fonctionnelles) en utilisant moins de matériaux que les procédés de fabrication traditionnelles.

Fonctionnement de l'impression 3D

En premier lieu, il convient de dessiner la forme souhaitée sur un logiciel de CAO (Conception Assistée par Ordinateur). Il existe un nombre important de logiciels sur le marché qui permettent de créer ses modèles 3D (certains sont gratuits et/ ou open source d'autres sont propriétaires). Les plans sont ensuite transmis à l'imprimante.

En deuxième étape, l'imprimante traite cette modélisation 3D conformément à la logique de fabrication additive : c'est-à-dire découper la modélisation 3D en couches 2D grâce à un logiciel approprié.

Autour de ces deux grandes fonctions, d'autres logiciels sont intégrés notamment pour assurer la communication entre l'imprimante et les ordinateurs.

L'imprimante 3D reçoit donc une série d'instructions qu'elle va restituer en objets 3D. Plusieurs technologies existent pour passer de couches 2D à un objet 3D.

Deux grands types de procédés sont en fait utilisés pour former les objets :

- Soit la matière travaillée peut entrer en fusion et en quel cas, elle peut être fondue peu à peu pour obtenir la forme souhaitée. (Exemple : Plastique)

- Soit la matière peut être solidifiée sous l'action de la chaleur ou de la lumière (laser). (Exemples : Résine ou alliage de titane)

Mais dans les deux cas, l'imprimante 3D « pense » couche par couche pour obtenir la forme 3D. Chacun des méthodes implique des qualités propres qui jouent sur la durée nécessaire à l'obtention de l'objet mais aussi la taille limite des objets.

Après une étape de fabrication additive, le produit n'est ni terminé ni prêt à l'emploi. Il nécessite :

- Un nettoyage, un enlèvement des supports, un polissage, un sablage, un grenaillage ;

- Un usinage ;

- Un traitement thermique ;

- Etc.

Ces opérations de finition et parachèvement concernent surtout les pièces métalliques.

Technologie et matériau de l'impression 3D

De nombreuses technologies d'impression 3D sont déjà disponibles sur le marché, et un certain nombre sont en cours de développement. Chacune de ces technologies requiert un type de matériau d'impression 3D différent : filaments plastique en bobines (PLA, ABS…), résines liquides photosensibles, poudres (métal, plastiques…) etc.

Chaque technologie d'impression 3D présente des avantages spécifiques et est adaptée pour des applications particulières.

Les avantages de l'impression 3D

En plus de l'avantage de cette technologie dans le prototypage 3D, elle est de plus en plus utilisée pour créer des produits finis. Les raisons d'utilisations sont multiples, à savoir :

- La rapidité
- La maitrise des couts
- La personnalisation

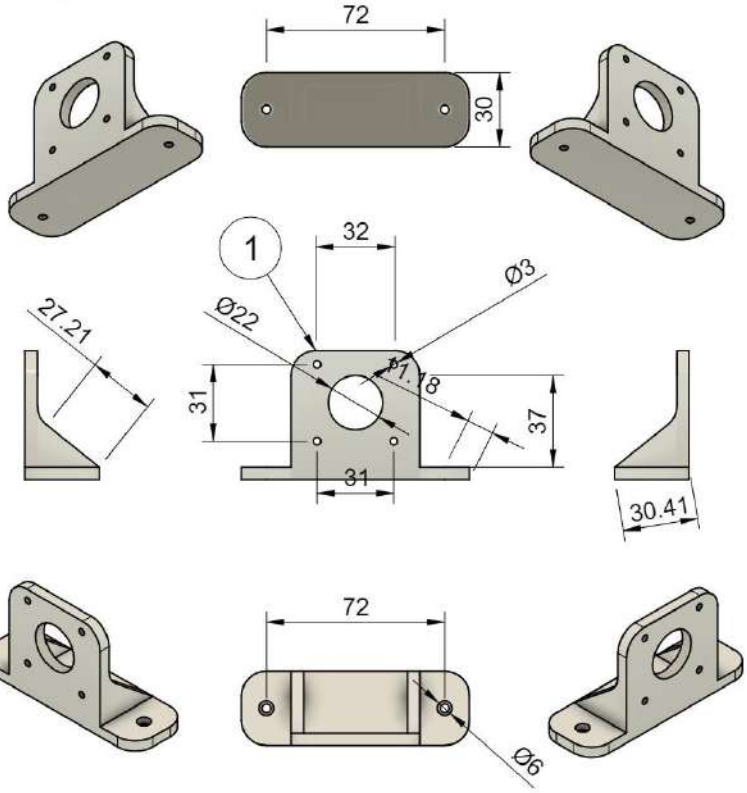
Les champs d'application de l'impression 3D

- L'aéronautique et aérospatiale
- L'automobile
- Le médicale
- Les accessoires
- Moules

Annexe2 Dessins techniques des supports

Parts List

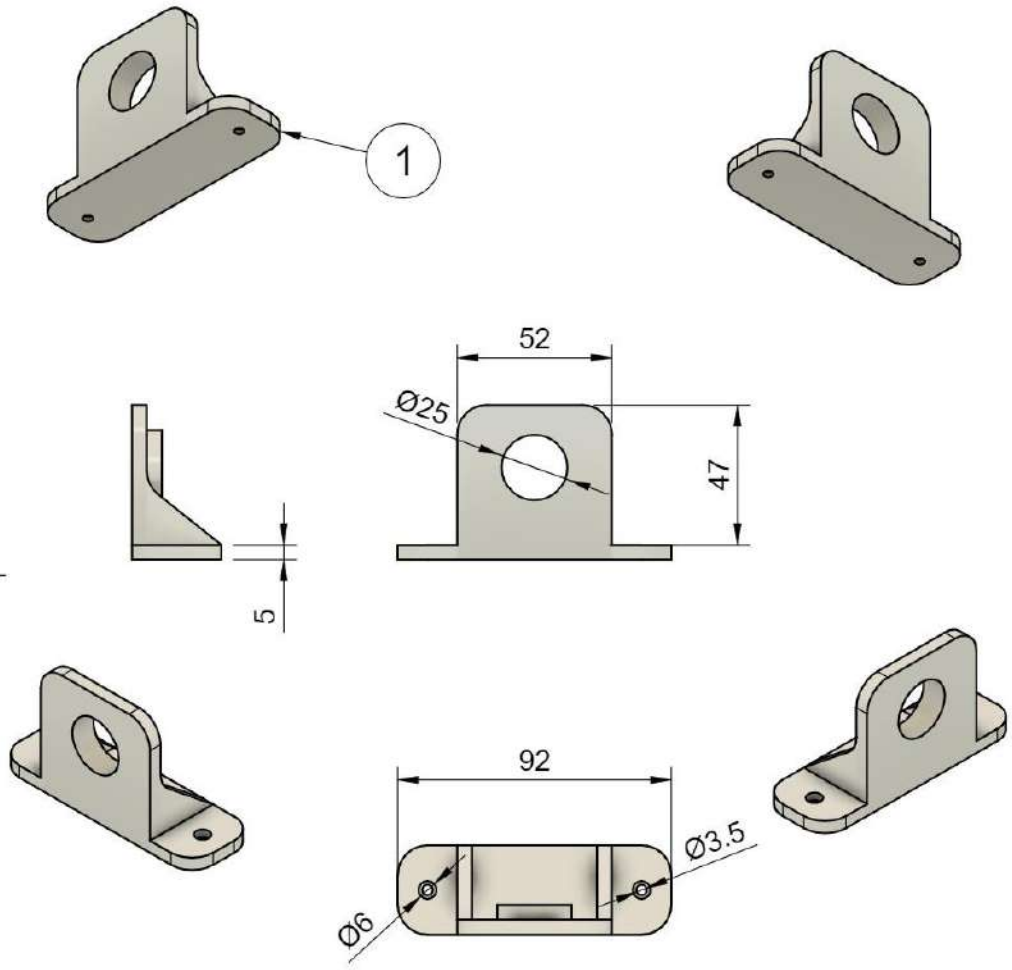
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	A axis motor side		ABS Plastic



Dept.	Technical reference	Created by	Approved by
		Metidji & Terkmene 5/25/2022	
		Document type	Document status
		Title: support axe A coté moteur	DWG No.
			Rev. / Date of issue / Sheet: 1/1

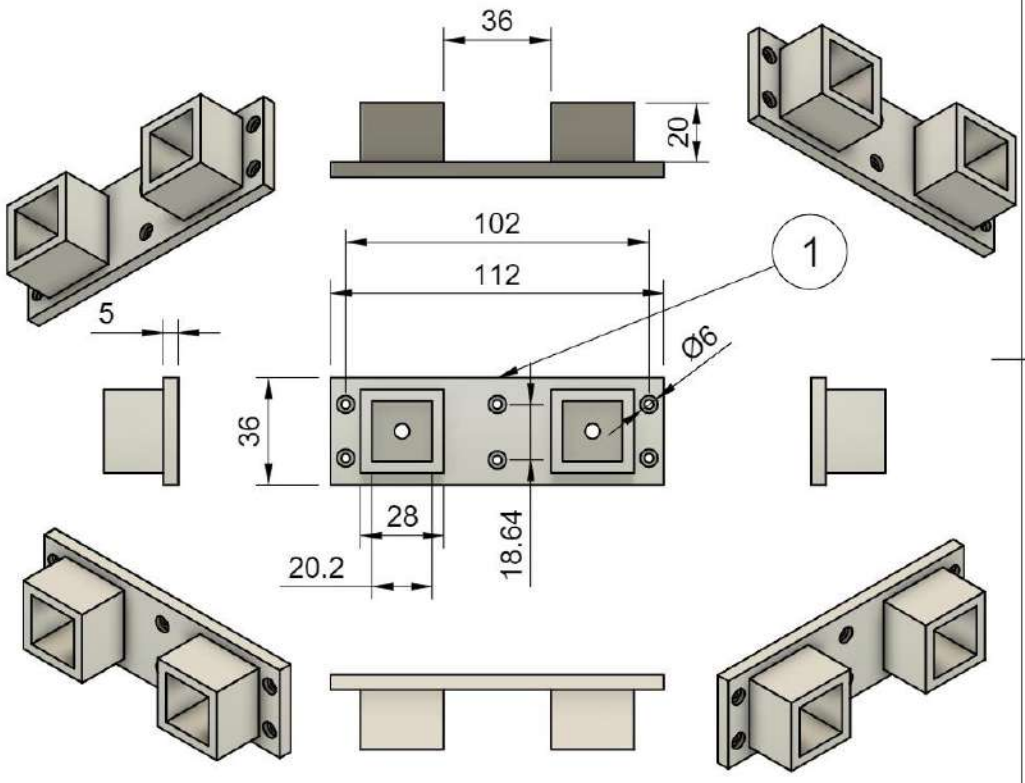
Parts List

Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	A axis bearing side		ABS Plastic



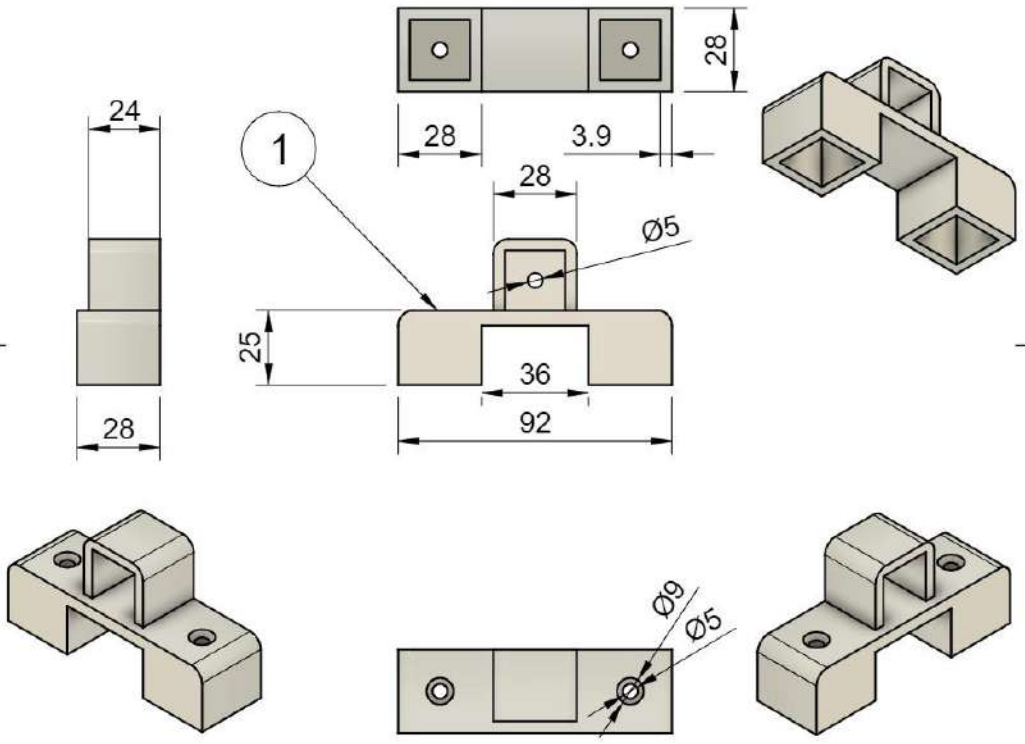
Dept.	Technical reference	Created by	Approved by
		abdelhak metidji 5/25/2022	
		Document type	Document status
		Title: support axe A coté roulment	DWG No.
			Rev. / Date of issue / Sheet: 1/1

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	Support bas		ABS Plastic



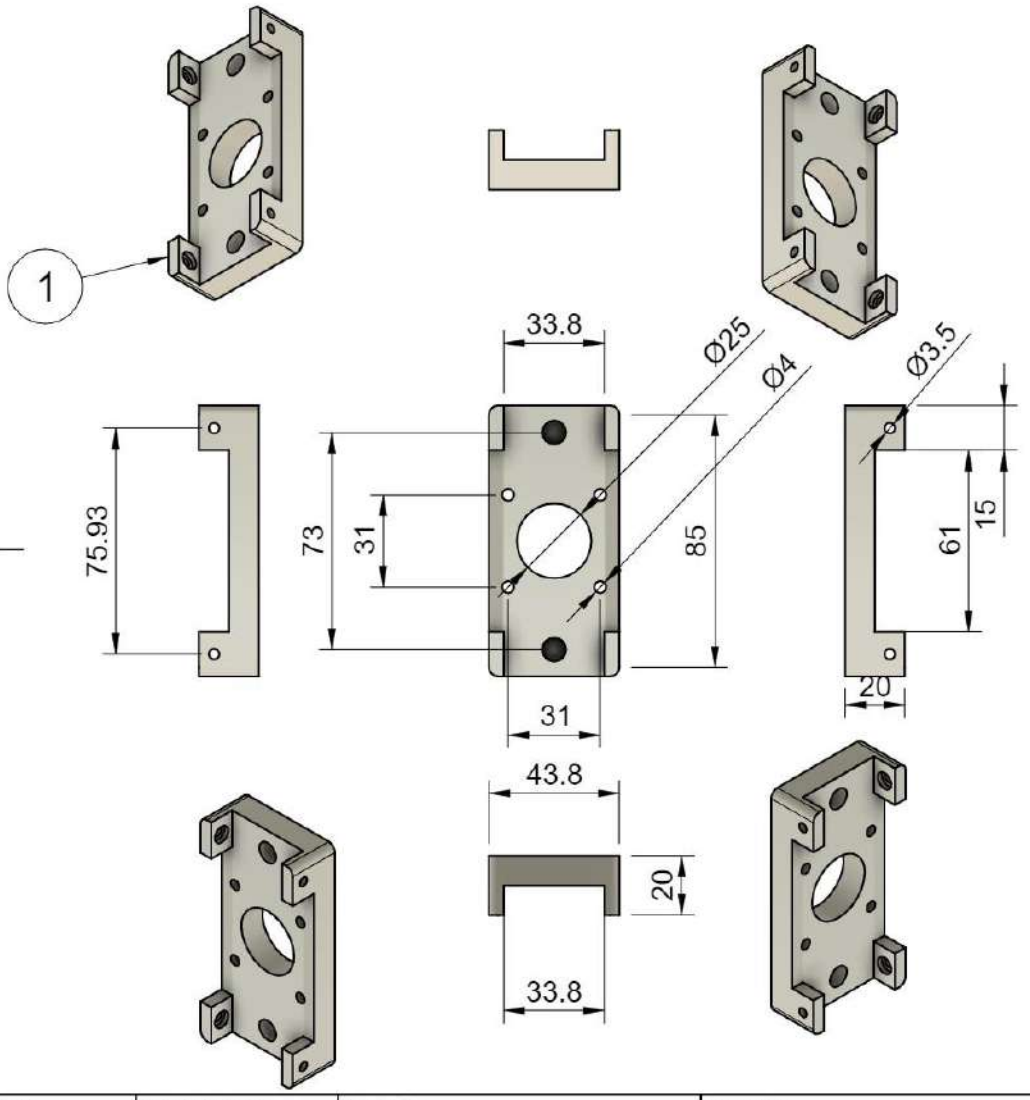
Dept.	Technical reference	Created by Metidji Terkmene 5/25/2022	Approved by
		Document type	Document status
		Title support bas	DWG No.
			Rev. / Date of issue / Sheet: 1/1

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	Piéce2		ABS Plastic



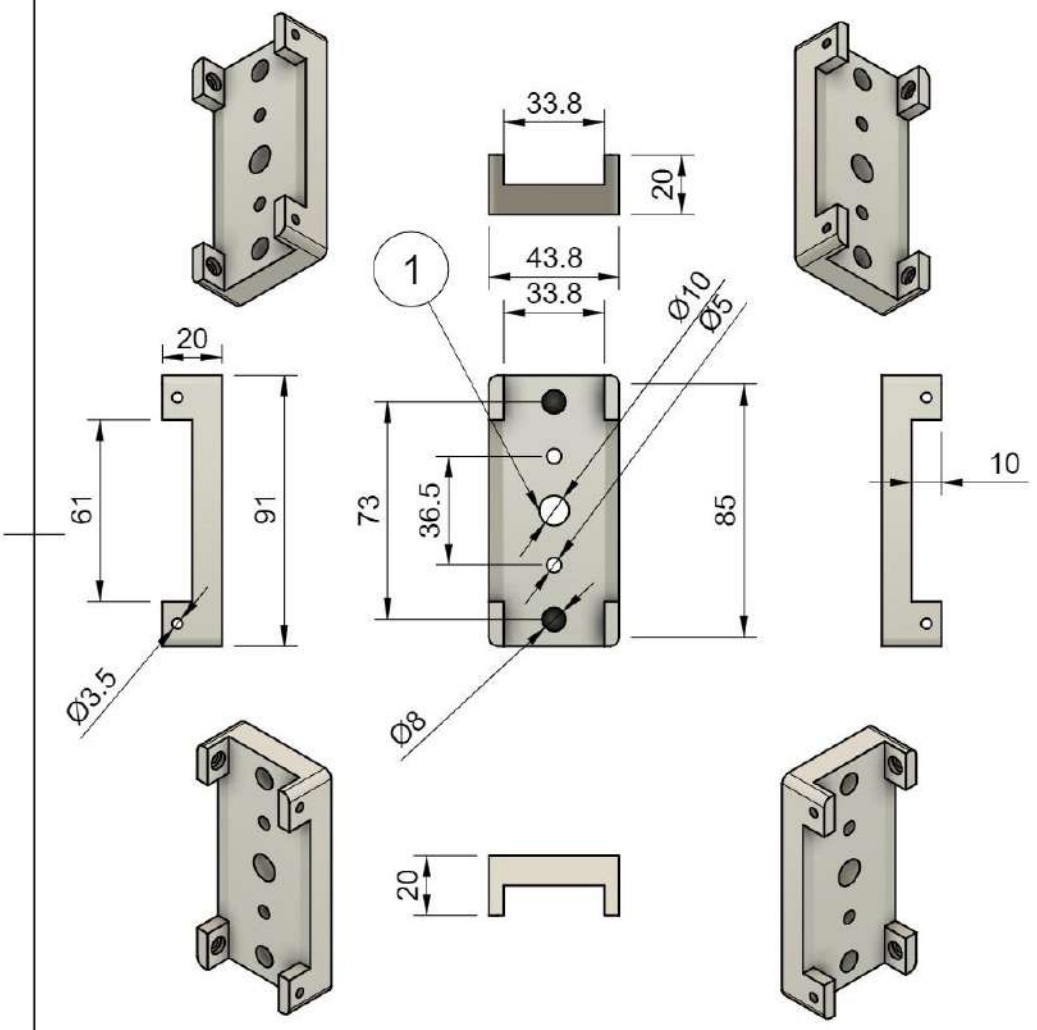
Dept.	Technical reference	Created by	Approved by
		Metidji & Terkmene 5/26/2022	
		Document type	Document status
		Title: support haut	DWG No.
			Rev. / Date of issue / Sheet: 1/1

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	Support x cotée moteur		ABS Plastic



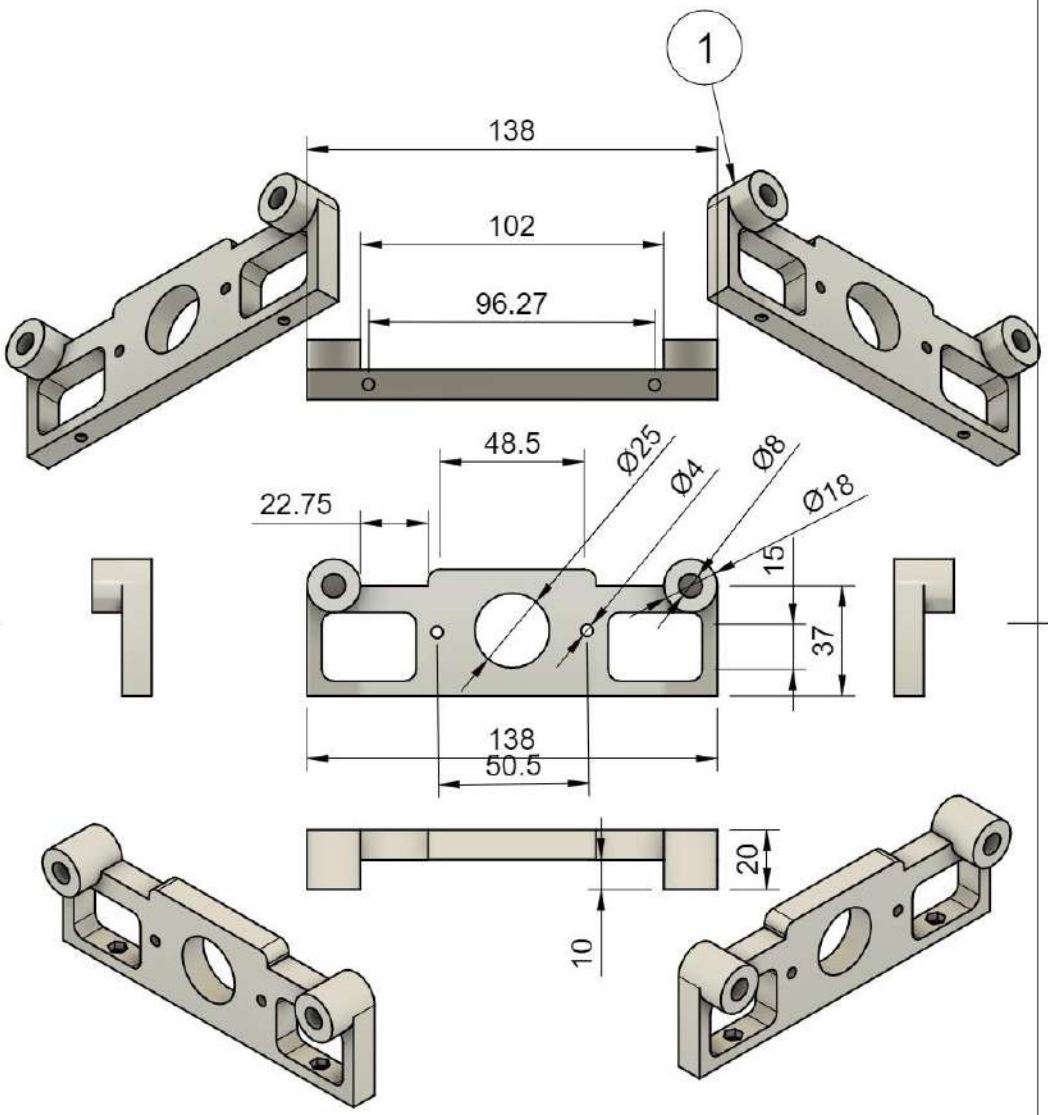
Dept.	Technical reference	Created by	Approved by
		Metidji & Terkmane 5/26/2022	
		Document type	Document status
		Title: support x cotée moteur	DWG No.
			Rev. / Date of issue / Sheet: 1/1

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	Support X coteé palier		ABS Plastic



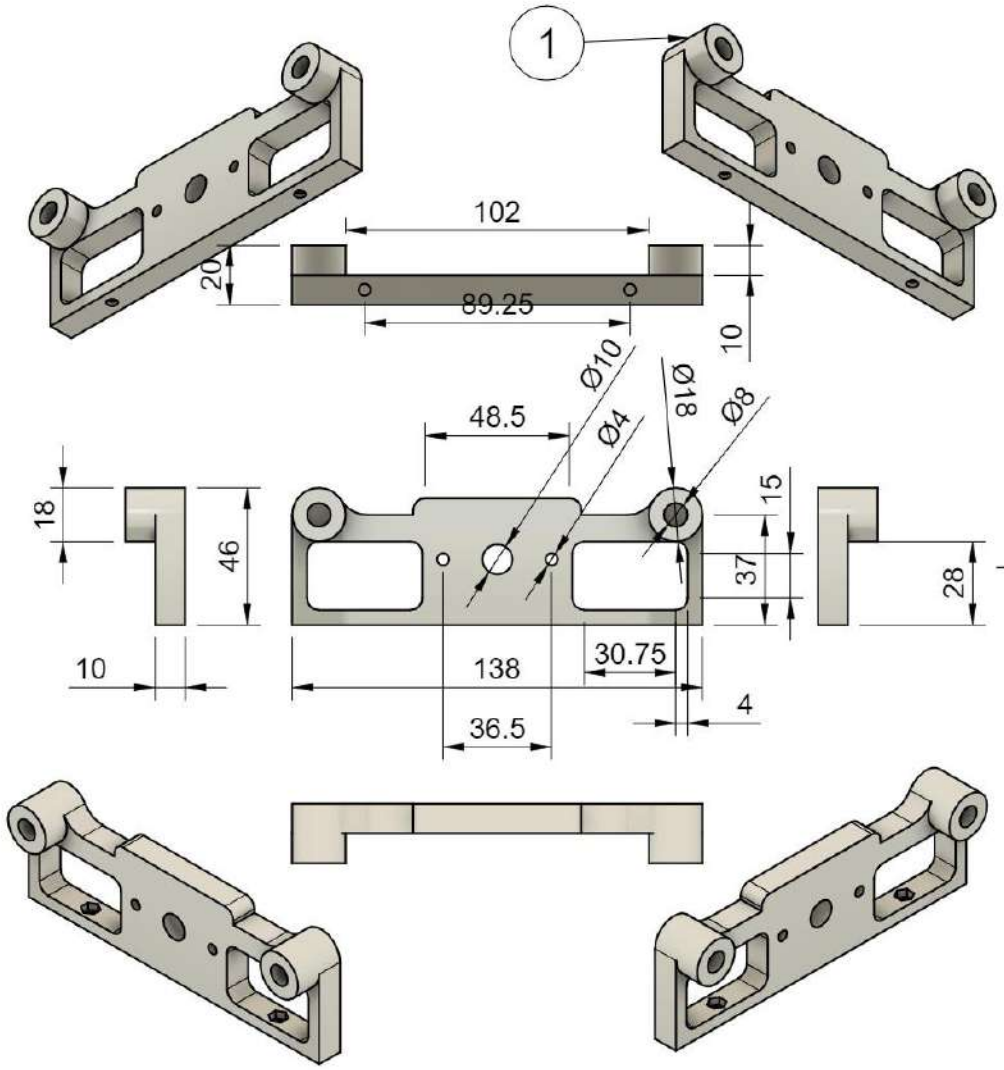
Dept.	Technical reference	Created by: abdelhak metidji 5/26/2022	Approved by
		Document type	Document status
		Title: Support X coteé palier	DWG No.
			Rev. / Date of issue / Sheet: 1/1

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	Support y cotée moteur		ABS Plastic



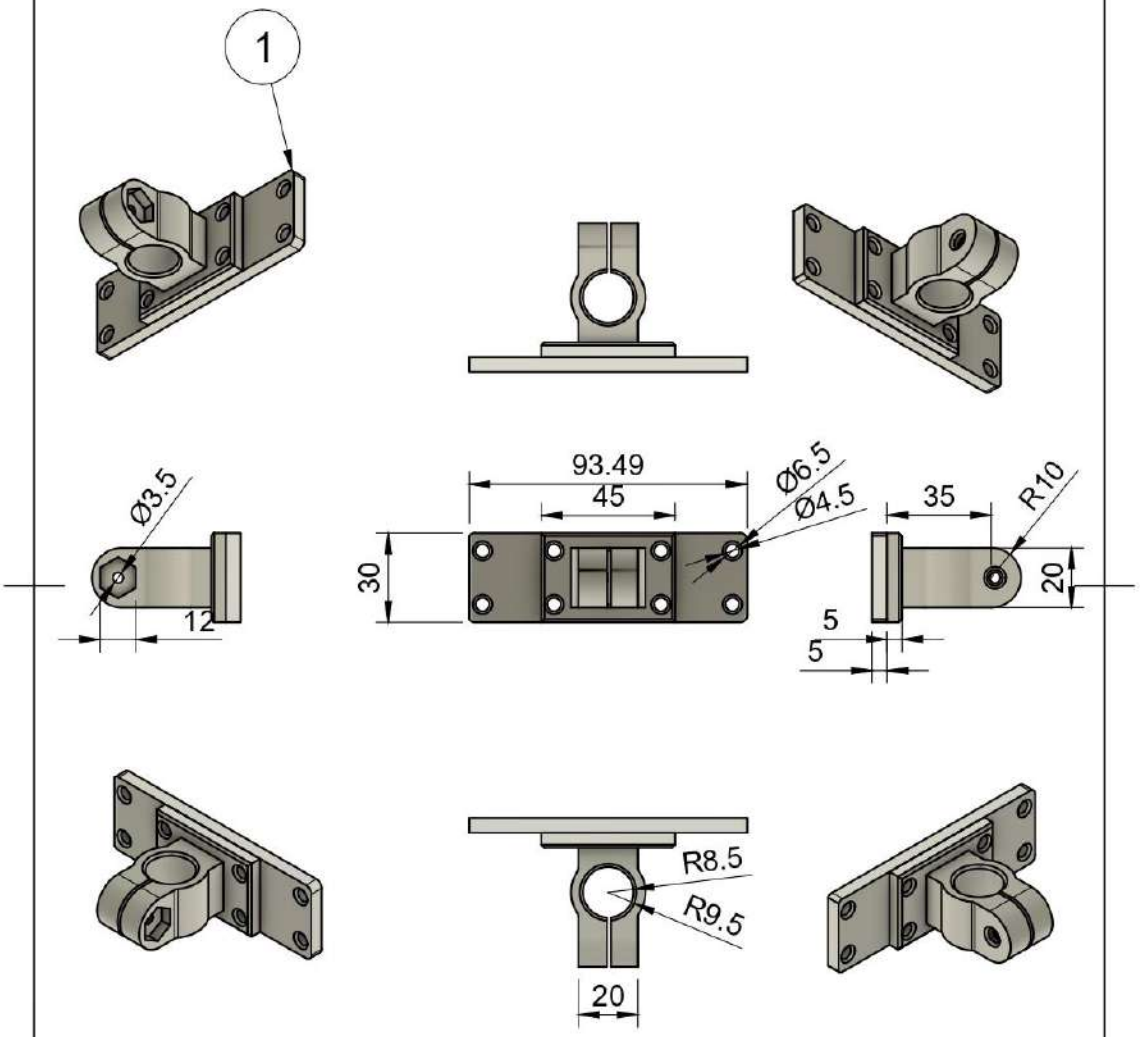
Dept.	Technical reference	Created by	Approved by
		Metidji & Terkmane 5/26/2022	
		Document type	Document status
		Title: support y cotée moteur	DWG No.
			Rev. / Date of issue / Sheet: 1/1

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	Support y cotée palier		ABS Plastic



Dept.	Technical reference	Created by	Approved by
		Metidji & Terkmane 5/26/2022	
		Document type	Document status
		Title: support y cotée palier	DWG No.
			Rev. / Date of issue / Sheet: 1/1

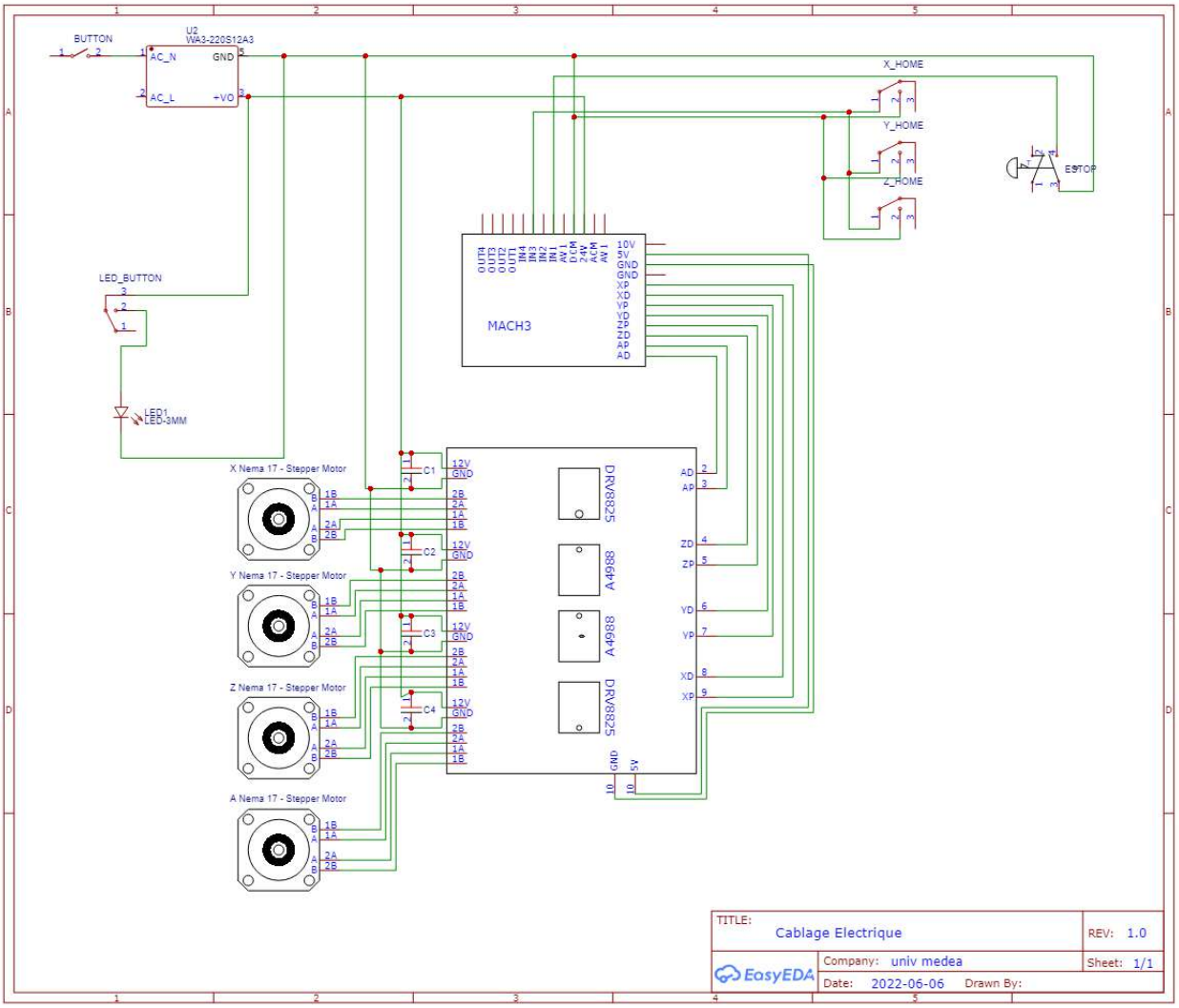
Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	Support outil		ABS Plastic

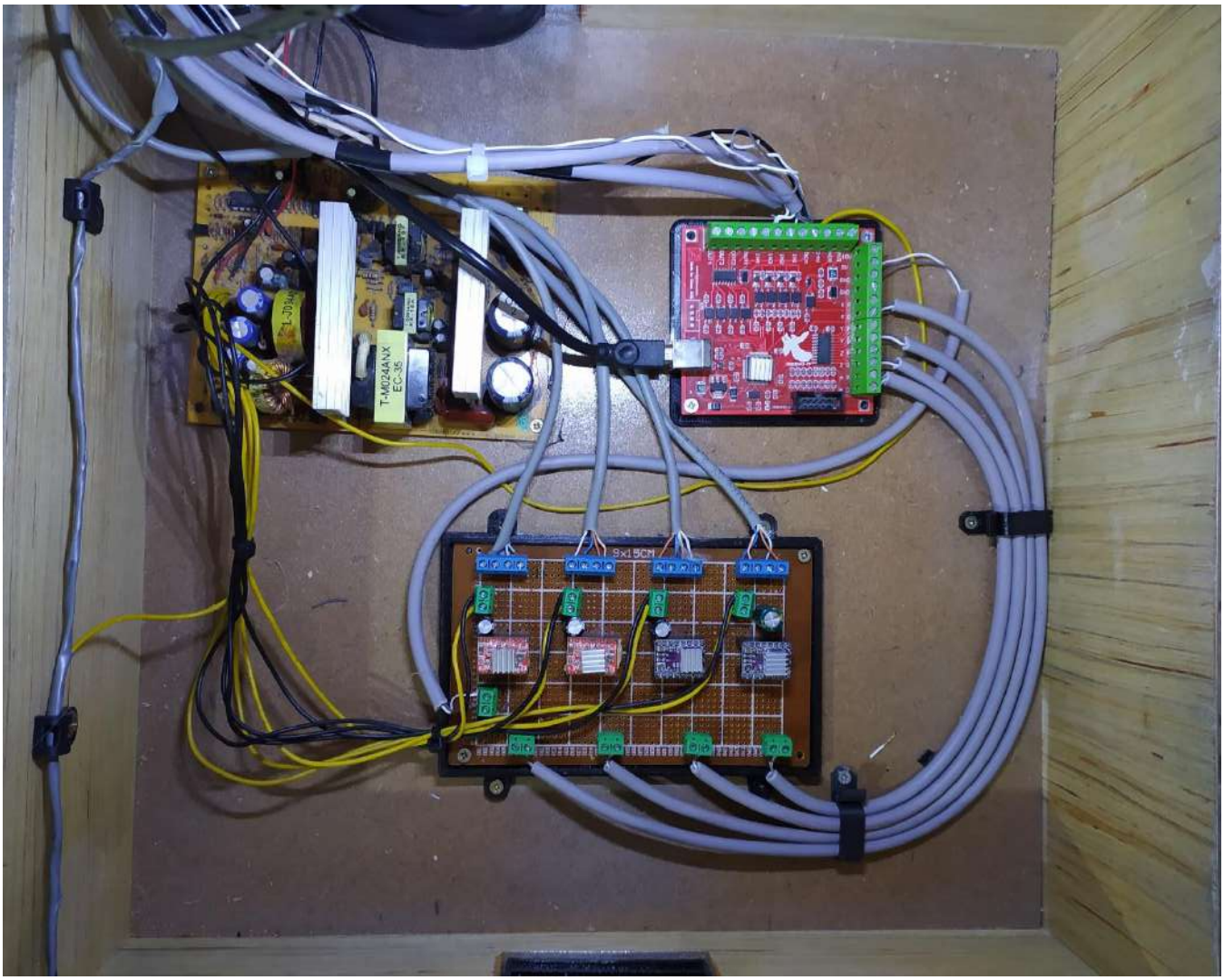


Dept.	Technical reference	Created by Metidji & Terkmene 6/2/2022	Approved by
		Document type	Document status
		Title Support outil	DWG No.
			Rev. / Date of issue / Sheet 1/1

Annexe 3 Armoire

L’armoire de commande rassemble tous les éléments électriques de la machine. Elle est représentée par la figure suivante :





Annexe4 Liste d'achat

Nom de pièce	Magasin	Le prix
Carte mach3	**Aliexpress**	**16.16 €**
Driver	**GHZ Lab**	**1500DA**
Alimentation	**Casse électronique**	**/**
Condensateur	**Magasin d'électronique**	**800DA**
Connecteur de bornier PCB (4Pièces)	**Aliexpress**	**1.82€**
Connecteur de bornier PCB (2Pièces)	**Aliexpress**	**1.82€**
Fiche femelle (10 pièces)	**Aliexpress**	**1.34 €**
Carte PCB (5 pièces)	**Aliexpress**	**2.76 €**
Led	**Pièces détaché auto**	**150DA**
Arrêt d'urgence	**Aliexpress**	**1.95 €**
Moteur pas à pas	**Casse électronique**	**2000 DA**
Coupleur	**Aliexpress**	**3.06 €**
Tige fileté	**Websoog**	**4000 DA**

Paliers	**Aliexpress**	**2.96€**
Rail	**Digikom**	**1300 DA**
Glissières	**Aliexpress**	**13.7€**
Barre aluminium 20*20(mm)	**Digikom**	**2000 DA/2m**
Connecteur de fil électrique	**Aliexpress**	**2.4€**
Fin de cours	**Aliexpress**	**2.24€**
Mandrin	**Magasin matériel industriel**	**850 DA**
Kits plastiques	**/**	**9000 DA**
Armoire en bois (40*40*15<cm>)	**Menuiserie**	**500 DA**
Totale :		**34000 DA**

Annexe5 Tableau G-code

Sections	Description
G0	Déplacement rapide
G1	Interpolation linéaire
G2/G3	Interpolation circulaire
G4	Arrêt programme et ouverture carter (pour nettoyer) (temporisation - suivi de l'argument F ou X en secondes)
G10	Écriture de données / Effacement de données (suivi de l'argument L suivant le type de données à écrire)
G18	Sélection du plan X-Z
G20	Programmation en pouces
G28	Retour à la position d'origine
G33	Filetage à pas constant
G40	Pas de compensation de rayon d'outil
G41/G42	Compensation de rayon d'outil
G54 a G59	Activation du décalage d'origine pièce (*Offset*)
G68 / G68.1	Activation du mode "Plan incliné" (*Tilted plane working*) pour les centres d'usinage 5 axes
G70	Cycle de finition
G71 / G71.7	Cycle d'ébauche suivant l'axe Z (appel de profil balisé entre les arguments P et Q)
G75	Cycle de gorge
G69	Annulation du mode *Tilted plane working* (Plan incliné)
G83	Cycle de perçage débourrage
G84	Cycle de taraudage rigide
G90	Déplacements en coordonnées absolues