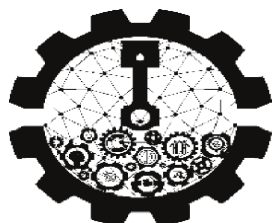


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche
Scientifique



UNIVERSITE DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de

Master en génie mécanique

Option : Fabrication Mécanique et Productique

Thème

***Éléments des Machines-Outils, Etude,
Conception et Réalisation***

Dirigé par : BENMISRA Abdelkader

Réalisé par :

Mr.BENILA Djillali

Mr.KOURIFA Zakaria

Promo.: 2023/2024

Remerciement

Tout d'abord nous remercierons avant tout Allah le tout puissant qui nous a donné le courage et la volonté pour atteindre notre objectif.

Nous remercierons vivement notre promoteur Monsieur BENMISRA Abdelkader, Enseignant à l'Université Université de Blida 1 de nous avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

Nos vifs remerciements aux Membres du Jury pour avoir accepté d'examiner ce modeste travail.

Nous adressons nos remerciements aux Enseignants de département qui ont contribué à notre formation durant les cycles de Licence et Master.

Un grand merci à toute personne qui a contribué au succès de notre travail et qui nous a aidé lors de la rédaction de ce mémoire.

Enfin, nous tenons à témoigner notre gratitude à notre famille pour leurs soutien.

Dédicaces

*Il nous est agréable de saisir cette occasion
pour dédier ce travail à tous :*

- ❖ *Nos parents.*
- ❖ *Nos frères et sœurs.*
- ❖ *Tous nos amis (es), camarades*
- ❖ *Et tous ceux qui nous ont aidés de
près ou de loin.*

Zakaria & Djillali

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE.....	1
.....Chapitre 1 :Généralités et définitions sur la MOCN.....	3
Introduction :	4
Définition de la commande numérique :	4
Historique de la commande numérique:	4
Impact industriel de la commande numérique, son environnement et ses développements.....	6
Domaine d'application de la CN.....	7
Définition d'une MOCN	8
Comparaison de la MO à commande numérique avec les machines classiques.	9
Par rapport aux caractéristiques principales	9
Par rapport à la commande	10
Schéma de la machine outil à commande numérique.....	10
La partie opérative :	10
La partie commande :.....	10
Principe de fonctionnement.	11
Particularités de fonctionnement.....	12
Éléments de la commande principale.....	12
Éléments du mécanisme d'avance.....	12
Technologie de la machine outil à commande numérique	13
Classification des machines-outils à commande numériqueL'asservissement d'un axe	14
Classification suivant le déplacement de la table.....	14
<i>Déplacement point par point.....</i>	<i>14</i>
<i>Déplacement par axial</i>	<i>15</i>
<i>Machines de contournage.....</i>	<i>15</i>
Classification suivant le nombre d'axes.....	16
Selon le mode de fonctionnement du système de mesure.....	17
Selon le mode d'entrée des informations.....	17
.....Chapitre 2 : Étude Technologique	18
Introduction:	19
Cahier des charges.....	19
Les objets de notre machine :	19
Fonction principale :	19
Etude des composants normalisés :	20

Solutions et options disponibles :	20
Système Guidage :	20
Glissières :	20
Douilles à billes :	21
système de transmission :	21
Vis trapézoïdal et écrou:	21
Système de fixation des pièces :	22
Fixation par des vis :	22
Clou :	22
Pâte à bois :	22
Système électronique	23
La carte Arduino UNO: :	23
Alimentation :	24
Les interrupteurs de fin de course	24
Les moteurs	24
<i>Définition de moteur pas à pas:</i>	24
<i>Fonctionnement des moteurs pas à pas</i>	24
<i>Rotor à aimant permanent</i>	25
<i>Rotor à réluctance variable</i>	26
<i>Rotor hybride</i>	26
Autres composants :	27
Les roulements :	27
Accouplements semi-élastiques :	27
.....Chapitre 3 Calcul et dimensionnement des éléments:	28
Calculs des éléments :	29
Calcul des masses :	29
Calcul du centre de gravité de la machine:	30
Calculs sur les vis trapézoïdales:	30
<i>Calcul de la pression superficiel de contact « Ps » :</i>	31
<i>Calcul de la vitesse de glissement « Vst » :</i>	31
<i>Le rendement :</i>	33
Choix de moteur :	34
<i>Le Couple :</i>	34
<i>La puissance :</i>	34
Calculs des composants selon l'axe Z:	35
<i>Forces, vitesse et pression exercés sur la tige de l'axe Z.....</i>	35
<i>Conclusion.....</i>	36
<i>Le couple.....</i>	37
<i>La puissance.....</i>	37
Calculs des composants selon l'axe X :	38

<i>Forces, vitesse et pression exercés sur la tige de l'axe X :</i>	38
<i>Conclusion</i>	39
<i>Le Couple :</i>	39
<i>La Puissance :</i>	39
Calculs des composants selon l'axe Y :	39
<i>Forces, vitesse et pression exercés sur la tige de l'axe Y :</i>	39
<i>Le Couple.</i>	40
<i>La Puissanc</i>	40
..... Chapitre 4 : Conception et réalisation de la machineCNC	41
INTRODUCTION :	42
Éléments de la partie réalisée sur SolidWorks :	42
Assemblage selon l'axe X	44
Châssis.....	45
Support de vis trapézoïdale de l'axe X	45
Support de l'axe X.....	46
Assemblage selon l'axe Z	47
Plaque de support de l'axe Z.....	48
Plaque support Le porte outil	48
Assemblage selon l'axe Y.	49
plaque de montage de glissière :	50
Assemblage du plateau :	51
La table	51
..... Chapitre 5 : Programmation	53
Introduction	54
Le G-code :	54
Histoire du G-code :	54
Blocs G-Code :	55
Programme G-Code :	55
Codes Modaux et Codes d'Adresse :	56
Explication des codes G et des codes M :	58
codes G :.....	58
<i>LES Code G :</i>	58
<i>M-Code :</i>	59
Quelles sont les différences :	60
Logiciel de pilotage	61
Conclusion générale	62

Conclusion générale	63
Bibliographie	63
Annexes :	65

LISTE DES FIGURES

Figure	Titre	Page
CHAPITRE 1		
Figure 1. 1	Structure d'une machine-outil à commande numérique	10
Figure 1. 2	Mécanisme d'avance	12
Figure 1. 3	Vis à billes	13
Figure 1.4	Commande numérique point à point	14
Figure 1. 5	Commande numérique par axiale	15
Figure 1. 6	Tournage par axial	15
Figure 1. 7	Fraiseuse composite mecanumeric 3 axes.	16
Figure 1. 8	Mini CNC ZD Q30 à 4 axes..3	16
Figure 1 .9	Centre d'usinage 12 axes Timto	17
CHAPITRE 2		
Figure 2. 1	•Glissières	20
Figure 2. 2	Douilles à billes	21
Figure 2. 3	Vis trapézoïdal et écrou	21
Figure 2. 4	vis	22
Figure 2. 5	clou	22
Figure 2. 6	pate a bois	22
Figure 2. 7	Carte ArduinoUNO	23
Figure 2. 8	Les interrupteurs de fin de course	24
Figure 2. 9	Coupe transversale d'un moteur pas à pas	24
Figure 2. 10	Étapes du moteur pas à pas	25
Figure 2. 11	Moteur pas à pas à aimant permanent	25
Figure 2. 12	Moteur pas à pas hybride	26
Figure 2. 13	roulements	27

Figure 2. 14	Accouplements semi-élastiques	27
CHAPITRE3		
Figure 3.1	Centre de gravité de la machine à l'extrémité avant et arrière	30
Figure 3.2	Condition de Glissement du bronze	32
Figure 3. 3	Diagramme d'une vistrapézoïdale	34
CHAPITRE 4		
Figure4.1	Assemblage selon l'axe X	44
Figure4.2	Rendu 3D du châssis	45
Figure4.3	le châssis	45
Figure4.4	Rendu 3D du Support de vis trapézoïdale de l'axe X	45
Figure4.5	Rendu 3D de support de l'axe X	46
Figure 4.6	Assemblage selon l'axe X	46
Figure4.7	Assemblage selon l'axe Z	47
Figure4.8	Plaque de support de l'axe	48
Figure4.9	Rendu 3D de plaque de support de l'axe Z	48
Figure4.10	Rendu 3D Plaque support Le porte outil	48
Figure4.11	Assemblage selon l'axe Y	49
Figure4.12	Support du portique	50

Figure	Titre	Page
Figure4.13	Rendu 3D de Support du portique	50
Figure4.14	Rendu 3D de la table ou surface de travail	51
Figure4.15	Emplacement de la table	51
Figure4.16	CNC 3 axe	52
CHAPITRE 5		
Figure5.1	Représentation de déplacementrapide	58
Figure5.2	Représentation d'un déplacement dans un arc	59
Figure5.3	Représentation des coordonnées et leur code G	59
Figure 5.4	Interface d'utilisateur de Candle	61

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3. 1 : Masses des composants de l'axe Z	29
Tableau 3. 2 : Masses des composants de l'axe X	29
Tableau 3. 3 : Masses des composants de l'axe Y.....	30
Tableau 3. 4 : Coefficients de sureté pour différents types de charges.....	33
Tableau 3. 5: Coefficients de friction (Fr) pour différents types décharges.....	34
Tableau 4.1. : Eléments conçus sur SolidWorks.....	43
Tableau 5. 1 : Les codes et leur définition	57
Tableau 5. 2 : Liste des codes M et leurs définitions	60

Symbole	Définition
P_s	<i>Pression superficielle</i>
F	<i>Force axiale</i>
A_t	<i>Surface d'appui</i>
V_{st}	<i>Vitesse de glissement</i>
n	<i>Nombre de tour par minute de la vis</i>
P	<i>Pas de filetage</i>
α	<i>Angle d'inclinaison de l'hélice de filetage</i>
V_{tr}	<i>Vitesse de transfert</i>
f_i	<i>Coefficients de sureté</i>
R_v	<i>Rapport de vitesse</i>
X_e	<i>Déplacement de l'effort</i>
X_c	<i>Déplacement de la charge</i>
D	<i>Diamètre de la vis trapézoïdale</i>
η	<i>Le rendement</i>
β	L'angle du coefficient de friction
Fr	Coefficient de friction
F₁	Charge axial de poids des composants
F₂	Forces d'inertie due aux accélérations et aux décélérations
F₃	Les efforts de coupes et de pénétration
γ	L'accélération
ΔV	Variation de vitesse linéaire
F_p	L'effort de pénétration
F_c	L'effort de coupe
K_c	Coefficient spécifique de coupe de la matière
a	Profondeur de passe
N	Vitesse de rotation de la broche
C	Le couple
C_z	Le couple dans l'axe Z
C_{nz}	Le couple dans l'axe Z avec le coefficient de sécurité
P_t	La puissance

Résumé

Ce mémoire de master porte sur la conception et la fabrication d'un prototype de fraiseuse CNC (Commande Numérique par Calculateur) à 3 axes. Dont la réalisation couvre les principaux étapes clés, de l'étude préliminaire à la mise en œuvre du prototype. On a commencé par une généralité sur les machines-outils à commande numérique afin de décrire les principes de base de fonctionnement de tel machines ainsi la technologie des différents éléments. En plus la modélisation 3D et le calcul ont été très bien établit, ainsi la programmation du contrôle numérique, et l'assemblage mécanique. Le but est d'utiliser notre prototype pour créer une machine capable de réaliser des opérations de fraisage précises sur divers matériaux. En fin on a validé nos résultats sur des modèles réelles pour officialisé notre approche .

Abstract

This master's thesis concerns the design and manufacture of a prototype of a 3-axis CNC (Computer Numerical Control) milling machine. The implementation of which covers the main key stages, from the preliminary study to the implementation of the prototype. We started with a general overview of numerically controlled machine tools in order to describe the basic operating principles of such machines as well as the technology of the different elements. In addition, the 3D modeling and calculation have been very well established, as well as the programming of the digital control, and the mechanical assembly. The goal is to use our prototype to create a machine capable of performing precise milling operations on various materials. Finally, we validated our results on real models to formalize our approach

مختصر

تتعلق أطروحة الماستر هذه بتصميم وتصنيع نموذج أولي لآلة تفريز CNC ثلاثية المحاور (التحكم العددي بالكمبيوتر). ويغطي تنفيذها المراحل الرئيسية ، من الدراسة الأولية إلى تنفيذ النموذج الأولي. لقد بدأنا بنظرة عامة على الأدوات الآلية التي يتم التحكم فيها رقميًا من أجل وصف مبادئ التشغيل الأساسية لهذه الآلات بالإضافة إلى تكنولوجيا العناصر المختلفة. بالإضافة إلى ذلك، تم وضع النماذج والحسابات ثلاثية الأبعاد بشكل جيد للغاية، بالإضافة إلى برمجة التحكم الرقمي والتجميع الميكانيكي. الهدف هو استخدام النموذج الأولي الخاص بنا لإنشاء آلة قادرة على إجراء عمليات تفريز دقيقة على مواد مختلفة. وأخيرا، قمنا بالتحقق من صحة نتائجنا على نماذج حقيقية لإضفاء الطابع الرسمي على نهجنا.

Introduction générale

Les machines-outils à commande numérique (MOCN) jouent un rôle crucial dans l'industrie manufacturière en permettant une production automatisée, précise et flexible. Parmi celles-ci, les fraiseuses à 3 axes sont particulièrement importantes pour les opérations d'usinage complexes. La mini fraiseuse que nous concevons est destinée -en étant adaptée- à des applications de laboratoire et de prototypage, afin comprendre les principes fondamentaux de la MOCN.

Le présent mémoire est structuré en Cinq chapitres, chacun couvrant des aspects essentiels de notre projet :

Chapitre 1 : Généralités et définitions sur la MOCN

Ce premier chapitre introduit les concepts de base des machines-outils à commande numérique, en détaillant leur fonctionnement, leurs avantages et les différents types existants. Nous y abordons également l'évolution historique de la MOCN et son impact sur l'industrie manufacturière.

Chapitre 2 : étude technologique

Le deuxième chapitre est consacré à la phase de conception de la mini fraiseuse. Nous y présentons le cahier des charges détaillé, les différentes solutions envisagées pour chaque composant et les critères de sélection utilisés pour choisir les meilleures options. Ce chapitre met en lumière le processus de prise de décision et l'optimisation des choix techniques.

Chapitre 3 : calcul et de dimensionnement des éléments

Dans ce chapitre, nous expliquons la méthodologie employée pour le calcul et le dimensionnement des composants clés de la mini fraiseuse. Cela inclut les calculs de résistance des matériaux, les analyses de contraintes et les simulations nécessaires pour garantir la fiabilité et la performance de la machine.

Chapitre 4 Conception et réalisation de la machine CNC

Dans ce chapitre est consacré à la phase de conception de la mini fraiseuse en CAO.

Chapitre 5 : Programmation de commande

Le cinquième chapitre explore les aspects liés à la programmation de commande de la mini fraiseuse. Nous y détaillons les langages de programmation utilisés, les algorithmes de contrôle.

Enfin, nous concluons notre mémoire par une conclusion générale qui récapitule les principaux résultats obtenus, les défis rencontrés et les perspectives d'amélioration future de notre prototype de mini fraiseuse à 3 axes.

En réalisant ce projet, nous visons à démontrer non seulement notre compréhension théorique des principes de fabrication mécanique et productique, mais aussi notre capacité à appliquer ces connaissances dans une réalisation pratique et innovante.



**Chapitre 1 :
Généralités et définitions
sur la MOCN**



1.1) Introduction :

La commande numérique (CN) représente une révolution majeure dans le domaine de la fabrication et de la production industrielle. Elle désigne l'utilisation de systèmes informatiques pour contrôler et automatiser les machines-outils, permettant une précision et une efficacité observée. L'intégration de la CN a transformé la manière dont les produits sont conçus, fabriqués et contrôlés, en facilitant des processus complexes qui seraient autrement impossibles à réaliser avec des méthodes manuelles. Ce premier chapitre explore les fondements de la commande numérique, son évolution historique, ses principales applications et son impact sur l'industrie moderne.

1.2) Définition de la commande numérique [1] :

La commande numérique (CN) est une technique utilisant des données composées de codes alphanumériques pour représenter les instructions géométriques et technologiques nécessaires à la conduite d'une machine ou d'un procédé.

C'est également une méthode d'automatisation des fonctions des machines ayant pour caractéristique principale une très grande facilité d'adaptation à des travaux différents. À ce titre, la commande numérique constitue l'un des meilleurs exemples de pénétration du traitement de l'information dans les activités de production.

Exploitant au maximum les possibilités de la micro-informatique, toutes les données sont traitées en temps réel, c'est-à-dire au moment où elles sont générées, de manière à ce que les résultats du traitement contribuent également à piloter le processus.

Après une première génération de commandes numériques à logique câblée, sont apparues les commandes numériques par ordinateur (CNC), ou par ordinateur, qui intègrent un ou plusieurs ordinateurs spécifiques pour réaliser tout ou en partie des fonctions de commande.

Tous les systèmes de commande numérique commercialisés actuellement contenant au moins un microprocesseur, les termes CN et CNC peuvent être considérés comme des synonymes.

1.3) Historique de la commande numérique [1] :

Les travaux menés par Falcon et Jacquard à la fin du XVIIIe siècle ont montré qu'il était possible de commander les mouvements d'une machine à partir d'informations transmises par un carton perforé. Leur métier à tisser de 1805 fut le premier équipement à

être doté de cette technique et, de ce point de vue, il peut être considéré comme l'ancêtre de la commande numérique.

Il faut cependant rattacher l'exploitation industrielle de la CN au développement de l'électronique.

En 1947, à Traverse City dans l'État du Michigan, John Parsons fabrique pour le compte de l'US Air Force des pales d'hélicoptère par reproduction. Pour façonner ses gabarits, il utilise une méthode consistant à percer plusieurs centaines de trous faiblement espacés de manière à approcher le profil théorique. L'emplacement et la profondeur de chaque trou sont calculés

avec précision par un ordinateur IBM à cartes perforées. La finition de la surface est obtenue par des opérations manuelles de polissage.

Mais, lorsque l'US Air Force confie à ce même Parsons la réalisation de pièces de formes encore plus complexes pour ses futurs avions supersoniques, celui-ci réalise que sa méthode est trop approximative et que seul un usinage continu en 3 dimensions sera en mesure de donner satisfaction.

Au printemps 1949, il confie alors au Massachusetts Institute of Technology (MIT) le soin de développer des asservissements capables de piloter une machine qui recevra des instructions intermittentes à partir d'un lecteur de cartes.

Cette machine, une fraiseuse prototype Cincinnati à broche verticale, conçue pour exécuter des déplacements simultanés suivant 3 axes, est officiellement présentée en septembre 1952 dans le Servomécanisme Laboratory du MIT. L'information mathématique étant la base du concept, on lui donne le nom de « *numerical control* ».

Il faut encore attendre quelques années de vastes fonds de l'US Air Force et l'appui des chercheurs du MIT pour rendre la première Machine-outil à commande numérique (MOCN) réellement opérationnelle.

Les différentes étapes de développement de la CN sont les suivantes:

- 1954 : Bendix acquiert le brevet de Parsons et fabrique la première CN industrielle.
- 1955 : à Font du Lac (Wisconsin), le constructeur américain Giddins & Lewis commercialise la première MOCN.

- 1959 : apparition de la CN en Europe (foire de Hanovre). Le MIT annonce la création du langage de programmation APT (Automatic Programmed Tools).
- 1960 : apparition du système DNC (Direct Numerical Control).
- 1964 : en France, la Télémécanique Électrique lance la CN NUM 100 conçue à base de relais Téléstatic.
- 1968 : la CN adopte les circuits intégrés ; elle devient plus compacte et plus puissante. Le premier centre d'usinage est mis en vente par Kearney & Trecker (USA).
- 1972 : les mini calculateurs remplacent les logiques câblées ; la CN devient CNC.
- 1976 : développement des CN à microprocesseurs.
- 1984 : apparition de fonctions graphiques évoluées et du mode de programmation conversationnel, début de l'ère de la fabrication assistée par ordinateur (FAO).
- 1986 : les CN s'intègrent dans les réseaux de communication, début de l'ère de la fabrication flexible (CIM : computer integrated manufacturing).
- 1990 : développement des CN à microprocesseurs 32 bits.

1.4) Impact industriel de la commande numérique, son environnement et ses développements^[3].

Dans le domaine de l'usinage, le but de cette technique est de réaliser la préparation et l'exécution du travail par des procédés tels que l'intervention humaine est pratiquement supprimée.

Les avantages de cette technique sont de deux sortes : d'une part, les données relatives à un usinage déterminé sont enregistrées et peuvent être rappelées au moment désiré et d'autre part, des usinages extrêmement difficiles sont réalisables sur ce type de machines sans avoir recours à un travail manuel complémentaire grâce au guidage automatique de tous les déplacements relatifs des outils par rapport à la pièce.

L'emploi de la commande numérique représente une véritable escalade dans le domaine de l'usinage. Elle a conduit, d'une part, à une suppression presque totale des ouvriers qualifiés auprès

des machines et d'autre part, elle exige l'intervention d'un personnel dont la qualification est de plus en plus proche à celle des Ingénieurs pour préparer les programmes de fabrication

1.5) Domaine d'application de la CN [2]

La CN est appliquée dans diverses familles. Dans chaque famille, les méthodes de montage et de travail sont totalement différentes, mais elles se rejoignent sur le principe de programmation, la grande majorité des machines utilisant un langage ISO. La notion de commande numérique s'étend aussi au domaine de la chaudronnerie : découpage plasma, presse plieuse. **Organigramme** : Domaine d'application de la CN



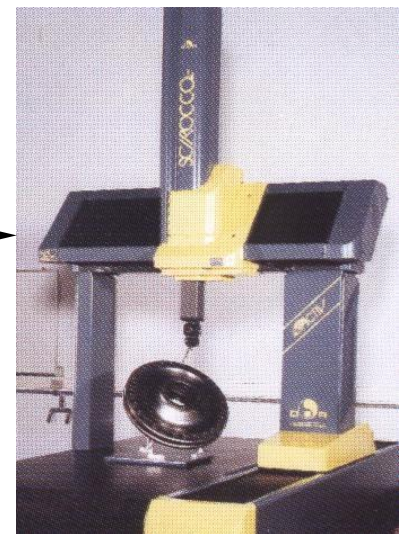
Machine travaillant par enlèvement de métal :

- Perceuse,
- Tour,
- Aléuseuse,
- Rectifieuse,
- Fraiseuse.



Control:

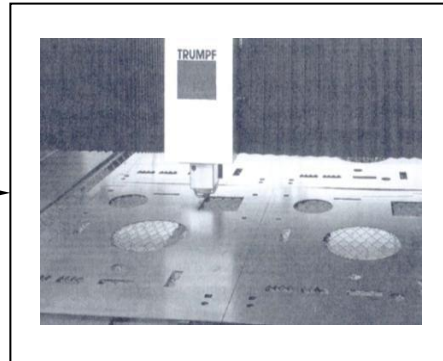
- Machine à mesurer tridimensionnel,
- Banc de pré réglage,
- Table traçante.



Suite : Organigramme : Domaine d'application de la CN

Machine à découper :

- Electroérosion,
- Oxy-découpage,
- Découpage laser.



Machines travaillant par déformation :

- Poinçonneuse,
- Plieuse,
- Cintreuse.



1.6) Définition d'une M.O.C.N.[2]

Une machine-outil à commande numérique (MOCN, ou simplement CN) est une machine-outil dotée d'une commande numérique. Lorsque la commande numérique est assurée par un ordinateur, on parle parfois de machine CNC pour **C**omputer **N**umerical **C**ommand, francisé en «commande numérique par ordinateur»

- ◆ Les machines à commande numérique (MOCN) sont des machines partiellement ou totalement automatisées.
- ◆ Les ordres de mouvement des différents organes sont donnés par programmation.
- ◆ En particulier, les positions successives de l'outil par rapport à la pièce sont exprimées sous forme numérique.

1.7) Comparaison de la MO à commande numérique avec les machines classiques [3].

Afin de comparer les MO à commande numérique avec celles classiques, on doit fixer des critères :

1.7.1) Par rapport à la structure et les caractéristiques :

- Les fonctions remplies sont les mêmes qu'une MO conventionnelle ;
- Positionner et maintenir la pièce ;
- Positionner et maintenir l'outil ;
- Assurer les mouvements relatifs entre l'outil et la pièce.
- La qualité mécanique générale de ces machines est de beaucoup supérieure aux MO conventionnelles
- Motorisation plus puissante ;
- Chaîne cinématique plus simple et plus robuste à variation continue, capable d'encaisser des accélérations et des décélérations importantes ;
- Commande des chariots par vis à billes avec rattrapage automatique du jeu ;
- Glissières sans frottements utilisant des galets, des billes, lubrification hydrostatique et des garnitures rapportées ;
- Bâtis largement dimensionnées, très rigides avec un excellent amortissement.

1.7.2) Par rapport aux caractéristiques principales

- Puissance et vitesse élevées ;
- Robuste et bonne résistance à l'usure ;
- Déplacement rapide, précis, accélérations et décélérations très élevées ;
- Spécifications métrologiques très serrées ;
- Frottements et jeux très faibles ;
- Peu de vibrations ;
- Faible échauffement.

1.7.3) Par rapport à la commande

- Commande souple : le DCN a la possibilité de mémoriser les instructions de commande et les informations relatives à la pièce et de les utiliser autant de fois. Par contre, la commande des machines conventionnelles est rigide assurée par des mécanismes mécanique tels que les baladeurs, les cames, les embrayages, etc.

1.8) Schéma de la machine outil à commande numérique[3].

Ce type de machines se compose de deux parties : (figure 1.1)

1.8.1)La partie opérative :

représente la machine elle-même. Elle est identique aux machines conventionnelles dans la fonction "usinage" mais elle possède des performances supérieures. Elle peut posséder plusieurs têtes d'usinage motorisées selon un ou plusieurs systèmes d'axes indépendants et elle comporte également des éléments annexes pour commander les dispositifs de serrage et de lubrification.

1.8.2)La partie commande :

c'est le cerveau de la machine, appelé directeur de commande numérique (DCN). Ce dernier envoie des ordres de commande de rotation et de déplacement aux organes mobiles de la machine à partir des valeurs de consignes décrites dans le programme de la pièce à réaliser.

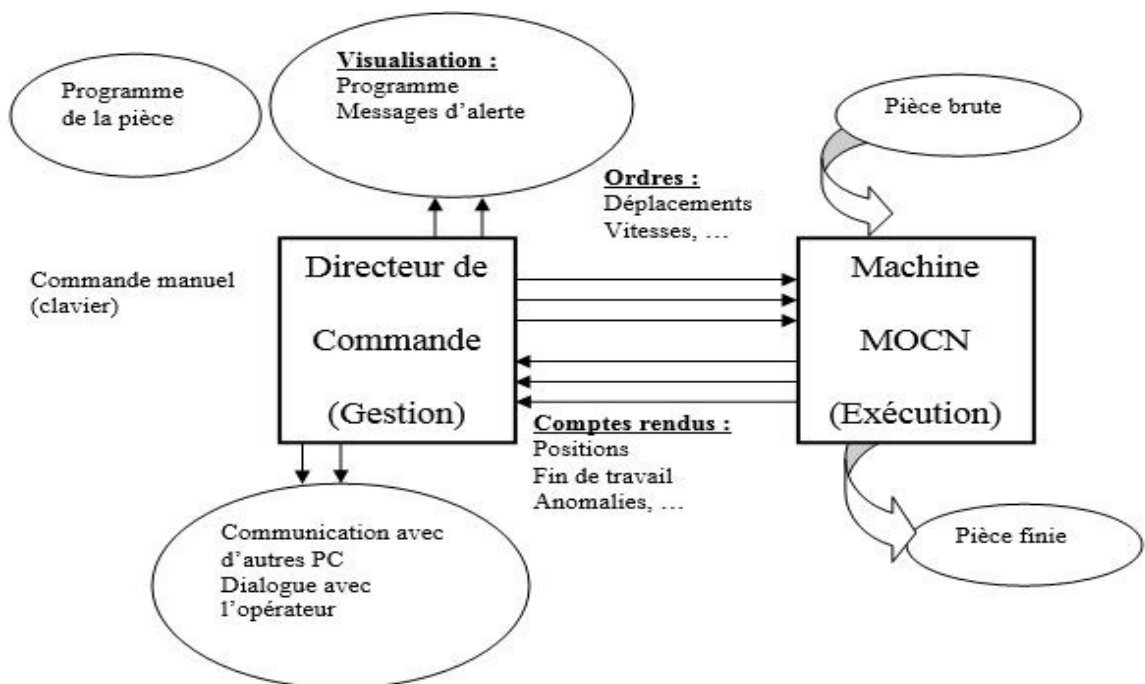


Figure 1.1 : Structure d'une machine-outil à commande numérique

La commande numérique assure l'asservissement en position et en vitesse des déplacements des mobiles. C'est purement de la commande d'axe, avec un traitement numérique pour élaborer les consignes de commande en temps réel en fonction des paramètres de la trajectoire et de l'état de la chaîne d'action. On peut citer les fonctions suivantes :

- Interprétation du programme d'application,
- Détermination des phases de travail (blocs exécutables),
- Calcul des consignes successives sur la trajectoire,
- Élaboration de l'écart de poursuite et des corrections nécessaires,
- Gestion des données et des mesures,
- Surveillance des erreurs.

De plus, elle gère l'ensemble des fonctions séquentielles associées à la machine, soit directement, soit à travers un automate programmable. Citons les actions suivantes :

- Commande des actionneurs auxiliaires,
- Modes de marche et d'arrêt,
- Commande de distribution d'énergie,
- Traitement des informations de sécurité.

Enfin, elle assure une fonction dialogue avec l'opérateur

1.9) Principe de fonctionnement [3].

Le fonctionnement d'une machine commandée numériquement revient presque toujours à obtenir un signal déclenché par les consignes contenues dans une bande perforée ou par l'introduction du programme à travers le clavier. Ce signal, suffisamment amplifié, agit sur le moteur intéressé dans le sens et la vitesse désirés.

1.10) Particularités de fonctionnement [3]

1.10.1) Éléments de la commande principale.

La commande des broches de machines est essentiellement confiée à des moteurs asynchrones. Conçus pour être utilisés à puissance constante sur la plus large plage de vitesses possible, ces moteurs peuvent délivrer des puissances de plus de 100 kW et peuvent tourner à des vitesses de rotation allant jusqu'à 12000 tr/min. Des vitesses nominales plus faibles (en général, 750 tr/min) sont également proposées pour des applications demandant un couple élevé à basse vitesse. Les moteurs synchrones autopilotés à courant alternatif sont aujourd'hui les plus fréquemment utilisés. Plus connus sous le nom de moteurs sans balais (brushless), ils se caractérisent par une grande robustesse, une très bonne dissipation thermique, des vitesses élevées (entre 4000 et 10000 tr/min), un entretien pratiquement nul, une puissance massique élevée (moteur plus compact pour un même couple) et un moment d'inertie du rotor très faible. Le principe de commande le plus couramment retenu pour ces moteurs est de type sinusoïdal, en raison de la bonne stabilité qu'il procure à basse vitesse.

1.10.2) Éléments du mécanisme d'avance.

La chaîne cinématique assurant les déplacements dans une machine-outil à commande numérique est très simple, mais elle garantit une bonne précision. Elle doit assurer le déplacement de l'organe mobile

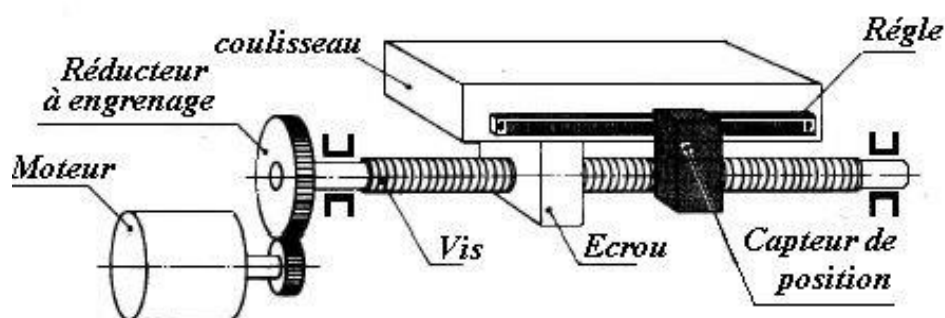


Figure 1.2 : Mécanisme d'avance

et doit être la plus courte et la plus directe possible. Pour faire déplacer un chariot, si les caractéristiques et l'encombrement du moteur le permettent, on entraîne directement la vis. Dans le cas contraire, on réalise un étage de réduction sans jeu avec une paire de roues dentées ou avec une transmission par courroie crantée (figure 1.2)

Les moteurs pas à pas sont conçus de manière à tourner d'une valeur angulaire fixe donnée à chaque impulsion transmise par leur électronique de commande. Le contrôle du nombre d'impulsions permet

la réalisation d'un déplacement très précis. Ces moteurs peuvent fournir des couples importants à des vitesses moyennes. En contre partie, ils ont tendance à chauffer rapidement et perdent leur capacité d'accélération à haute vitesse.

Des variateurs électroniques de vitesse peuvent être installés pour que la vitesse de déplacement d'un mobile reste constante quelle que soit la variation de charge qui lui est appliquée. Les plus répandus se raccordent directement sur le réseau triphasé 380V. Ils bénéficient de la technique de contrôle vectoriel de flux qui leur permet de maîtriser parfaitement la vitesse et le couple du moteur et offrent la capacité de freiner celui-ci jusqu'à l'arrêt complet, même en cas de disparition intempestive du réseau d'alimentation.

Au niveau même de l'organe du mobile, le dispositif le plus couramment utilisé est du type vis-écrou à billes (figure 1.3). Il se compose d'un filet de précision, d'un jeu de billes recirculâtes et de deux écrous précontraints en traction pour compenser les dilatations thermiques. Cette solution se traduit par un frottement minimum et une absence de jeu lorsque la précharge est correctement choisie.

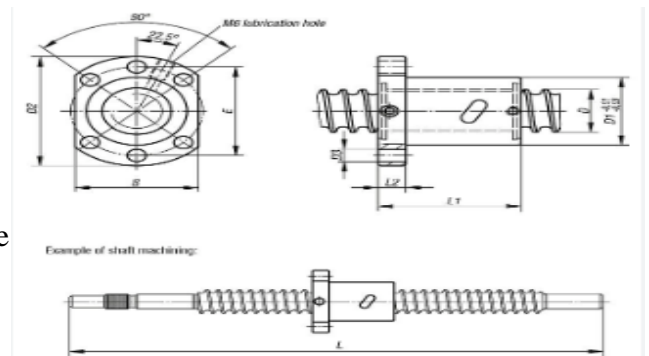


Figure 1.3 : Vis à billes

1.11) Technologie de la machine-outil à commande numérique [3]

Le développement de Ce type de MO est lié à l'évolution des Technologies nouvelles. En effet, le contrôle et la commande d'une MO par une armoire électronique programmée (le CNC Commande Numérique par Calculateur) n'ont été possibles qu'avec l'apparition de composants électronique à hautes fiabilités et largement miniaturisés. Parallèlement, la découverte de nouveaux matériaux et l'application de nouveaux concepts en matière de liaisons mécanique, ont permis l'élaboration des MOCN. Ces apports technologiques, par rapport aux MO traditionnelles, portent Ces apports technologiques, par rapport aux MO traditionnelles, portent notamment sur :

- actionneurs (moteurs)
- Les glissières.
- Les axes.
- Les capteurs de position
- La liaison actionner / table.

1.12) Classification des machines-outils à commande numérique L'asservissement d'un axe[3]

1.12.1) Classification suivant le déplacement de la table.

En fonction du mode de fonctionnement qui définit les positions successives de l'outil par rapport à la pièce et qui sont toujours schématisées par un déplacement de l'outil et ce quel que soit le type de machine, on rencontre trois cas :

1.12.1.1) Déplacement point par point.

Ce type de machine est caractérisée par l'absence d'usinage au cours des déplacements suivant les axes X et Y. On trouve des applications sur les perceuses, poinçonneuses, aléseuses figure3.1

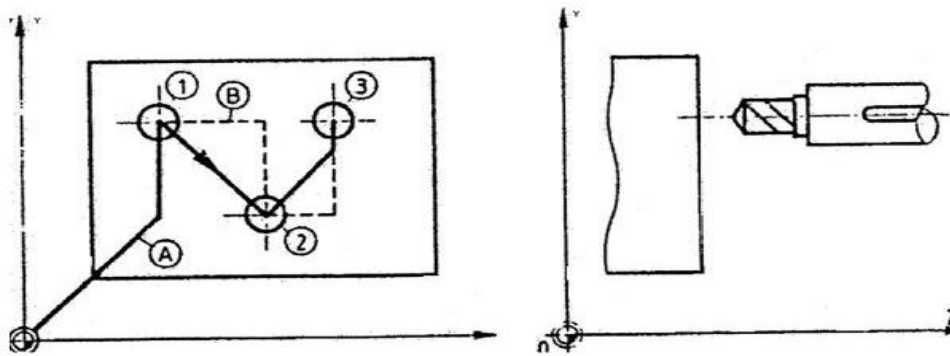


Figure1.4 : Commande numérique point à point

Plusieurs possibilités de déplacement s'offrent à l'opérateur pour positionner les perçages 1 2 3. Seule importe la position de l'outil par rapport à la pièce fin de déplacement.

A) Déplacement suivant : A

Dans ce cas, un ordre de déplacement simultané sur les deux axes X et Y est donné, mais il n'y a aucune synchronisation entre les systèmes de commande de chacun d'eux ; la trajectoire suivie par l'outil se rapproche d'une droite de pente à 45.

B) Déplacement suivant :B

Dans ce cas, les déplacements se font successivement suivant des directions parallèles aux axes X et Y

1.12.1.2) Déplacement par axial

Outre le positionnement précis point par point, la commande numérique par axiale (figure 1.5) permet de contrôler la vitesse des déplacements s'effectuant parallèlement aux axes de coordonnées (x, y, et z) pour des travaux de tournage, fraisage, rectification, etc. La vitesse d'avance est programmée et un usinage peut être fait pendant le déplacement. Ce genre de CN équipe certaines fraiseuses simples, quelques aléseuses fraiseuses et des perceuses pouvant exécuter de petits fraisages.

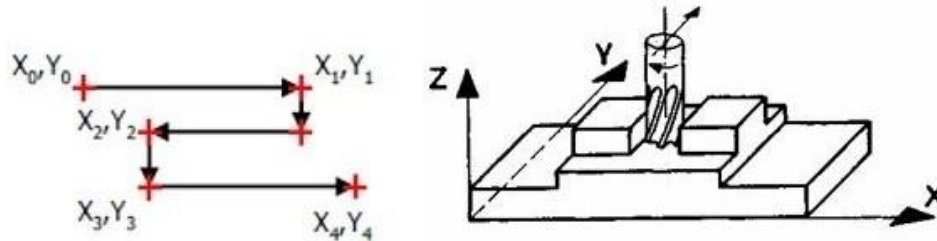


Figure 1.5 : Commande numérique par axiale

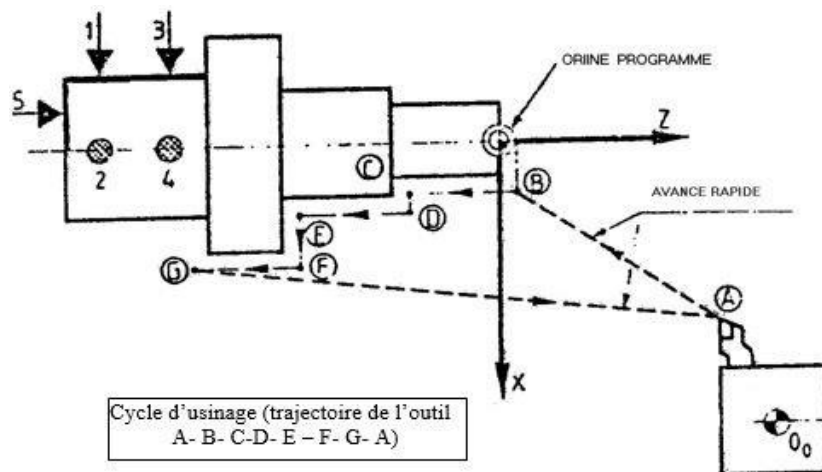


Figure 1.6 : Tournage par axial

Pour réaliser cette pièce, l'outil se déplacera suivant des trajectoires linéaires selon les coordonnées X- Y.

1.12.1.3) Machines de contournage.

La commande numérique de contournage est la plus courante des CN. Elle est nécessaire sur tous les tours pour l'usinage des cônes et des arrondis, les fraiseuses et les centres d'usinages. Le calculateur intégré dans le directeur de CN permet l'interpolation linéaire et circulaire.

Dans le cas de l'interpolation linéaire, les coordonnées des points A et B sont données à la CN lors de la programmation. Lors de l'usinage, le calculateur calculera les coordonnées d'un certain nombre de points de la droite AB et permettra ainsi de conduire l'outil de A à B suivant cette trajectoire oblique.

Dans le cas de l'interpolation circulaire, les coordonnées des points A et B ainsi que celui du centre C sont données à la CN lors de la programmation. Au cours de l'usinage, le calculateur fournit les coordonnées de points rapprochés de l'arc de cercle AB et permet ainsi de conduire l'outil le long de cet arc.

Les CN de contournage permettent donc d'usiner tous les contours formés de droites et d'arcs de cercle. Certaines CN offrent la possibilité d'une interpolation parabolique ou selon d'autres courbes définies mathématiquement.

1.12.2) Classification suivant le nombre d'axes

On compte un axe par degré de liberté des éléments de la machine si le mouvement est commandé numériquement et d'une manière continue. Le nombre d'axes varie généralement entre 2 et 7 axes.



Figure 1.7 : Fraiseuse composite mecanumeric 3 axes.



Figure I. 8 : Mini CNC ZD Q30 à 4 axes.



Figure I. 9: Centre d'usinage 12 axes Timto

1.12.3) Selon le mode de fonctionnement du système de mesure

D'après ce critère, on trouve les systèmes en boucle ouverte et en boucle fermée.

1.12.4) Selon le mode d'entrée des informations.

D'après ce critère, les informations peuvent être introduites manuellement par clavier, par ruban perforée ou magnétique, par ordinateur principal (DCN) ou en clair (par conversation).



Chapitre 2 :

Etude technologique



2.1) Introduction:

Notre mémoire se divise en deux parties principales : la conception des éléments composant notre MOCN, suivie de leur réalisation.

Dans ce chapitre, nous aborderons la conception de la mini-fraiseuse à commande numérique, en nous concentrant sur les parties les plus essentielles. Nous décrirons ainsi en détail le processus de conception.

2.2) Cahier des charges :

Le projet porte sur la création prototype d'une mini fraiseuse à commande numérique à trois axes. Ce travail est réalisé dans le cadre d'un mémoire de fin d'études. Les conditions détaillent les spécifications techniques, économiques et opérationnelles, et précise les exigences du produit

2.3) Les objectif de notre machine :

Objectif mécanique	Objectif économique	Objectif opérationnelle
<ul style="list-style-type: none">- Déplacement selon les axes X, Y et Z- Dimensions de la machine par rapport à la surface de travail désiré.	<ul style="list-style-type: none">- Cout : Minimiser lenombre depièces Normalisées et préfabriquées.- Choix de matériaux pour les pièces usinées tout en étant économiques et fonctionnels.- Respect de la date de livraison.	<ul style="list-style-type: none">- Assemblag et désassemblage facile de la machine.- Facilité d'utilisation et démarrage de la machine.

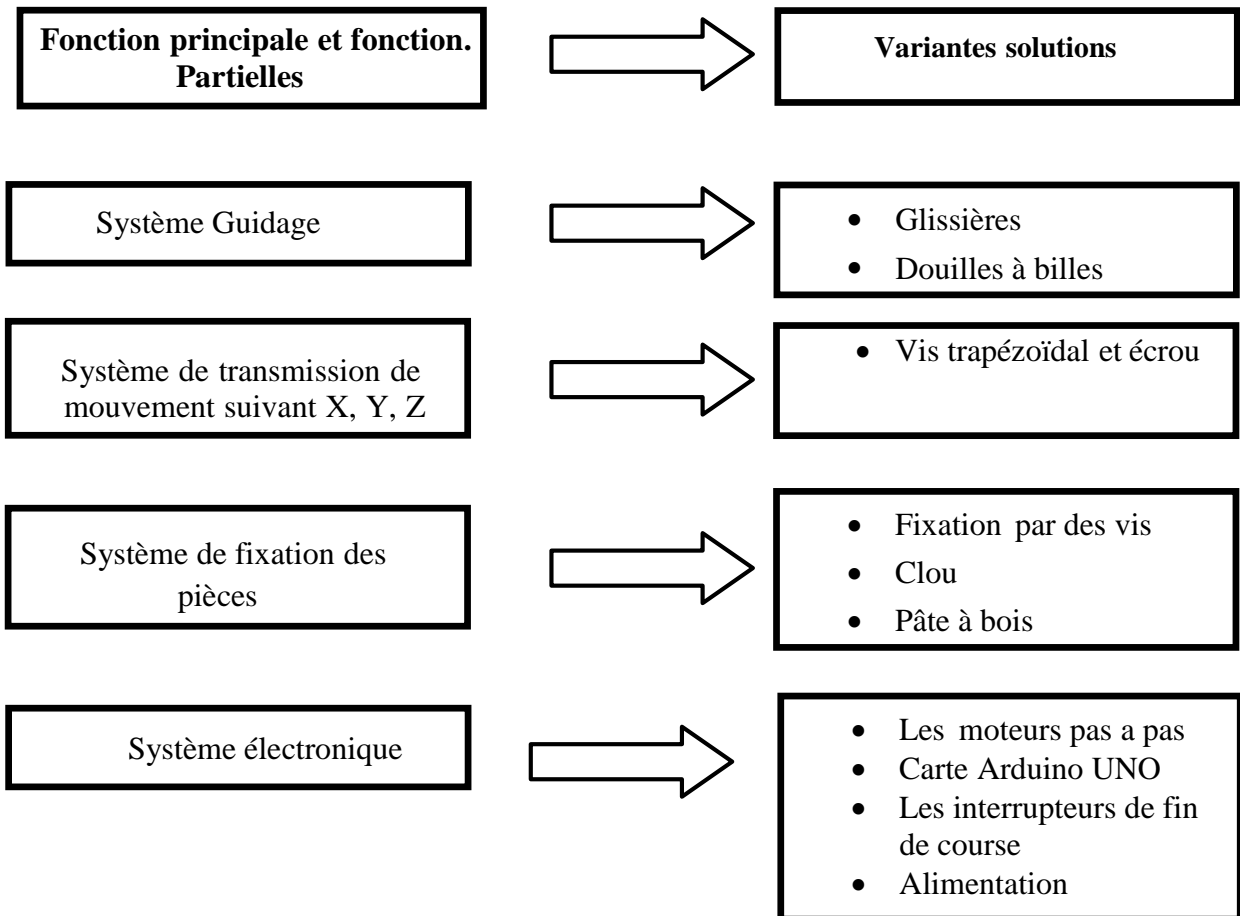
2.4) Fonction principale :

Notre machine-outil a une vocation essentiellement pédagogique., elle servira de banc d'initiation aux machines-outils à commande numérique (MOCN). Elle est conçue pour usiner des matériaux tendres et peu durs, tels que le bois, le plastique et l'aluminium.

2.5) Etude des composants normalisés :

- Solutions et options disponibles :

Dans cette section, nous présentons diverses solutions technologiques qui nous permettront de concevoir notre système de manière économique, tout en répondant aux exigences spécifiées dans le cahier des charges.



2.6) Système Guidage :

- 2.6.1) Glissières [4]:

En mécanique, le guidage est une fonction réalisée par un joint cinématique au sein d'un mécanisme. Par exemple, une glissière permet un guidage en translation. Les glissières de guidage sont parmi les composants les plus essentiels des machines-outils. Elles constituent une partie fondamentale de la structure mécanique de la machine, contribuant de manière significative à sa précision, ses performances et sa durabilité



Figure 2.1: Glissières.

2.6.2) Douilles à billes[4] :

Ces roulements à billes sont conçus pour se déplacer le long d'une tige lisse de manière linéaire, plutôt que de tourner. Ce guidage en translation permet un fonctionnement sans jeu, ce qui améliore la précision et les performances. Leur coefficient de frottement varie de 0,001 à 0,005. Ils sont couramment utilisés dans les machines-outils, les robots et les systèmes automatisés.

Ces roulements peuvent atteindre une vitesse de déplacement de 5 m/s. Ils sont économiques lorsqu'ils sont utilisés avec des arbres lisses, mais ne peuvent supporter que des charges radiales.

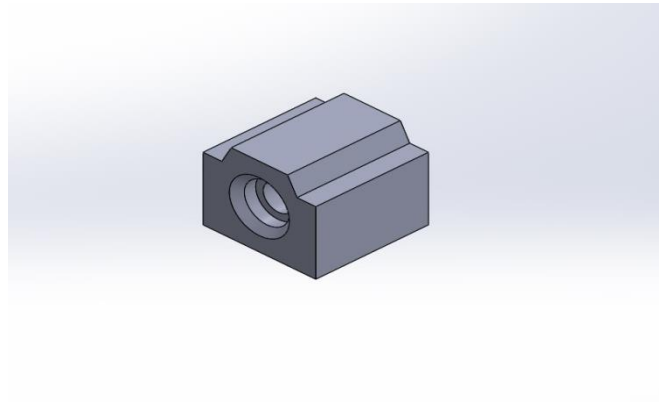


Figure 2.2 : Douilles à billes

2.7) Système de transmission :

2.7.1) Vis trapézoïdal et écrou[5]:

Les vis trapézoïdales, aussi appelées vis de puissance, servent à convertir des mouvements de rotation en mouvements linéaires dans le contrôle de mouvement. Elles se présentent sous la forme de barres métalliques filetées, similaires aux vis traditionnelles. Lorsque les vis trapézoïdales tournent, l'écrou se déplace le long de la vis, créant ainsi un mouvement linéaire.



Figure 2.3 : Vis trapézoïdal et écrou

2.8) Système de fixation des pièces :

2.8.1) Fixation par des vis :

Le montage par vis est une méthode très pratique pour assembler des composants entre eux tout en maintenant une structure solide, fonctionnelle, simple à monter et démonter. Ce système se compose d'une tige filetée et d'un écrou correspondant au type de filetage. Il permet également de fixer des composants fabriqués à partir de matériaux différents, tels que l'aluminium et l'acier, qui ne peuvent pas être soudés ensemble.



Figur2.4: vis

2.8.2) Clou :

Une petite tige métallique avec une tête plate à une extrémité et une pointe à l'autre, utilisée pour fixer ou assembler des matériaux en la frappant avec un marteau.



Figure 2.5 : clou

2.8.3) Pâte à bois :

La pate a bois est un adhésif spécialement conçu pour assembler et fixer des pièces de bois entre elles. Elle est largement utilisée dans la menuiserie, l'ébénisterie, et divers projets de bricolage



Figure 2.6 : pate a bois

2.9) Système électronique

2.9.1) La carte Arduino UNO [6]: :

Une carte Arduino, compacte (5,33 x 6,85 cm), intègre un microcontrôleur, offrant ainsi la possibilité de programmer et de contrôler des actionneurs en réaction à des signaux captés par divers capteurs.

C'est essentiellement une interface programmable qui facilite la création de diverses applications électroniques. **Plan Arduino [6]:**



La carte Arduino la plus répandue est l'Arduino Uno. Ses schémas électroniques et ses typons sont disponibles sous licence Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5. Quant au code source de son environnement de programmation et des bibliothèques embarquées, ils sont accessibles sous licence LGPL. Une vaste communauté d'enthousiastes et de passionnés collabore au développement et au partage d'applications.

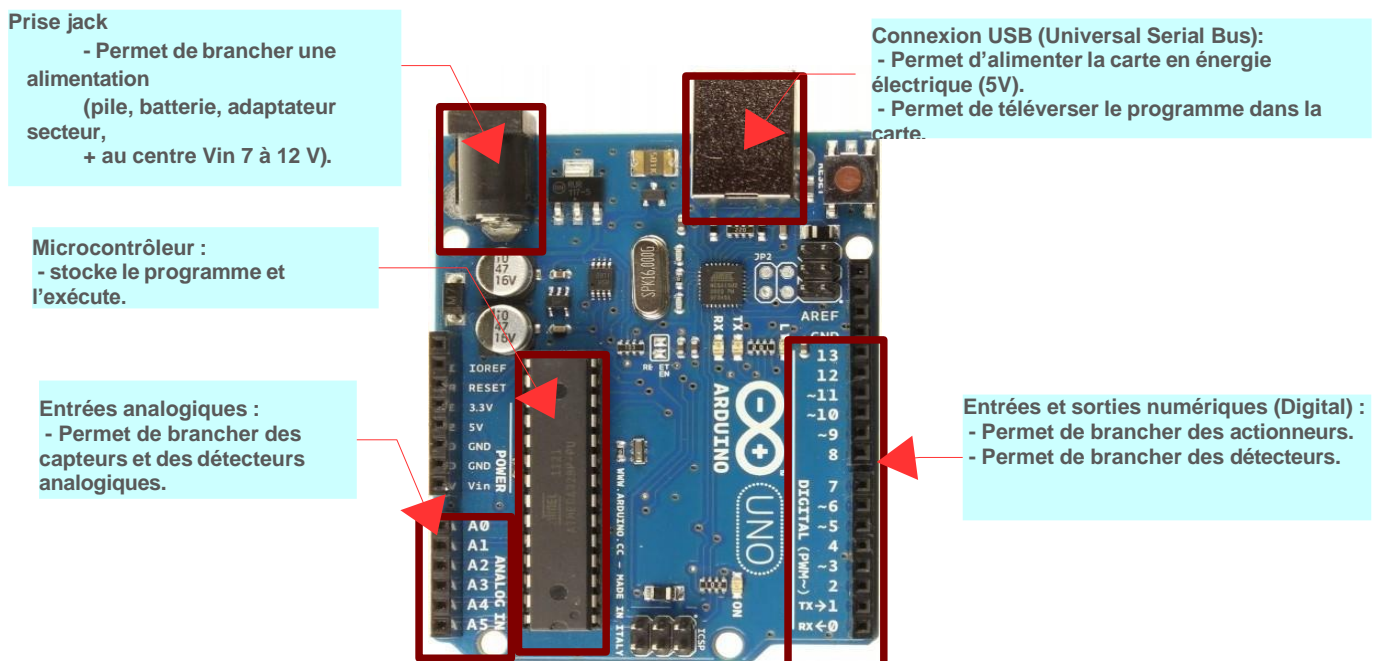


Figure 2.7 : Carte ArduinoUNO [6]

2.9.2) Alimentation :

Pour notre alimentation, nous en choisissons avec 12 volts et 2 ampères, ce qui est plus que suffisant pour notre configuration actuelle et nous donne une certaine liberté pour améliorer nos composants électriques à l'avenir. Par contre pour mini meuleuse porte-outil 220 volts

2.9.3) Les interrupteurs de fin de course :

Les interrupteurs de fin de course sont utilisés pour détecter automatiquement la présence d'un objet ou pour surveiller et indiquer si les limites de mouvement de cet objet ont été dépassées.

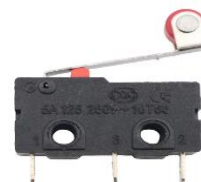


Figure 2.8 : Interrupteurs de fin de course

2.9.4) Les moteurs :

2.9.4.1) Définition de moteur pas à pas[7]:

Le moteur pas à pas est un type de moteur électrique caractérisé par une rotation de son arbre par incréments fixes, ou "pas", ce qui signifie qu'il se déplace d'un nombre déterminé de degrés à chaque étape. Cette particularité est due à la conception interne du moteur, permettant ainsi de déterminer la position angulaire précise de l'arbre simplement en comptant les pas réalisés, sans nécessité de capteur. Cette propriété en fait un choix idéal pour de nombreuses applications variées.

2.9.4.2) Fonctionnement des moteurs pas à pas

Les moteurs pas à pas, comme tous les moteurs électriques, sont constitués de deux parties principales : une partie fixe appelée le stator et une partie mobile appelée le rotor. Le stator est équipé de dents sur lesquelles sont enroulées des bobines. Quant au rotor, il peut être soit un aimant permanent, soit un noyau de fer à réluctance variable. Nous examinerons plus en détail les différentes structures du rotor ultérieurement. **La figure 2.9** illustre une coupe transversale du moteur, montrant un rotor constitué d'un noyau de fer à réluctance variable.

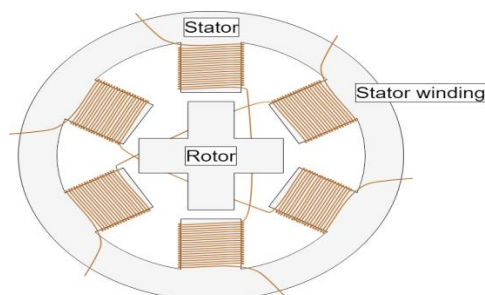


Figure 2.9 : Coupe transversale d'un moteur pas à pas[7]

-Le fonctionnement fondamental du moteur pas à pas est le suivant : en alimentant une ou plusieurs phases du stator, un champ magnétique est créé par le courant circulant dans la bobine, ce qui fait que le rotor s'aligne avec ce champ. En activant différentes phases successivement, le rotor peut être déplacé d'un angle précis pour atteindre la position désirée. **La figure 2.10** illustre ce principe de fonctionnement. Initialement, la bobine A est activée, alignant le rotor avec le champ magnétique qu'elle génère. Ensuite, lorsque la bobine B est alimentée, le rotor tourne de 60° dans le sens horaire pour s'aligner avec le nouveau champ magnétique. Le même processus se répète avec la bobine C. Sur les images, les couleurs des dents du stator montrent la direction du champ magnétique créé par l'enroulement du stator.

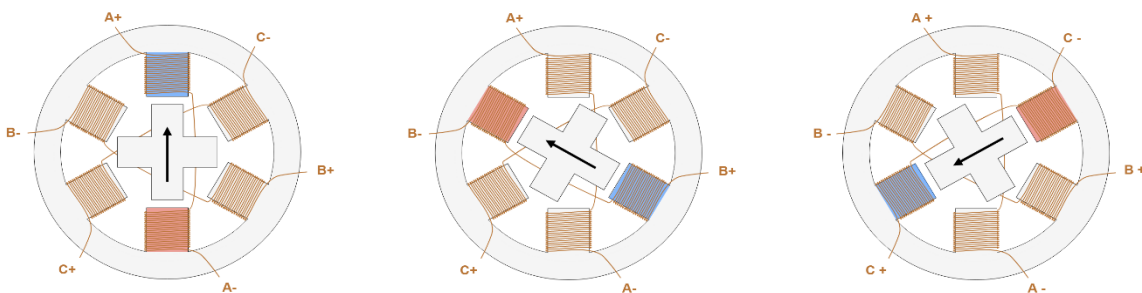


Figure 2.10 : Étapes du moteur pas à pas[7]

On peut classer les moteurs pas à pas en 3 catégories :

2.9.4.3) Rotor à aimant permanent :

Le rotor est composé d'un aimant permanent qui s'aligne avec le champ magnétique produit par le circuit du stator. Cette configuration assure un bon couple moteur ainsi qu'un couple de rétention. En d'autres termes, le moteur opposera une résistance à un changement de position, même si ce n'est pas de manière très prononcée, qu'une bobine soit alimentée ou non. Les inconvénients de cette approche sont une vitesse et une résolution inférieures comparées à d'autres types de moteurs. **La figure 2.11** illustre une coupe transversale d'un moteur pas à pas à aimant permanent.

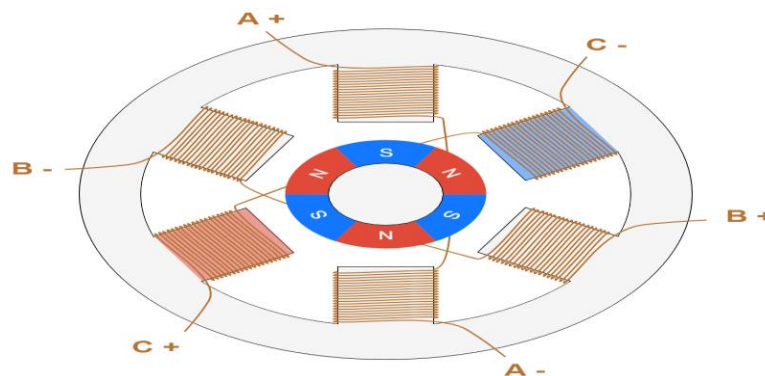


Figure 2.11 : Moteur pas à pas à aimant permanent[7]

2.9.4.4) Rotor à réluctance variable :

Le rotor, constitué d'un noyau de fer, présente une forme spécifique lui permettant de s'aligner avec le champ magnétique (voir **Figure 2.9** et **Figure 2.10**). Cette configuration facilite l'obtention de vitesses et de résolutions plus élevées, bien que le couple généré soit souvent plus faible et qu'il n'y ait pas de couple de détente.

2.9.4.5) Rotor hybride

Ce type de rotor combine les caractéristiques des versions à aimant permanent et à réluctance variable. Le rotor est équipé de deux calottes à dents alternées et aimanté axialement. Cette structure hybride permet au moteur de profiter des avantages des rotors à aimant permanent et à réluctance variable, notamment en termes de résolution, de vitesse et de couple élevés. Cependant, ces performances améliorées impliquent une construction plus complexe et, par conséquent, un coût plus élevé. **La Figure 9.11** illustre un exemple simplifié de la structure de ce moteur. Lorsque la bobine A est alimentée, une dent du capuchon magnétisé N s'aligne avec une dent magnétisée S du stator, et simultanément, une dent magnétisée S du rotor s'aligne avec une dent magnétisée N du stator. Les moteurs réels possèdent une structure plus complexe avec un nombre de dents plus élevé que sur l'image, ce qui permet d'atteindre des pas très fins, jusqu'à $0,9^\circ$.

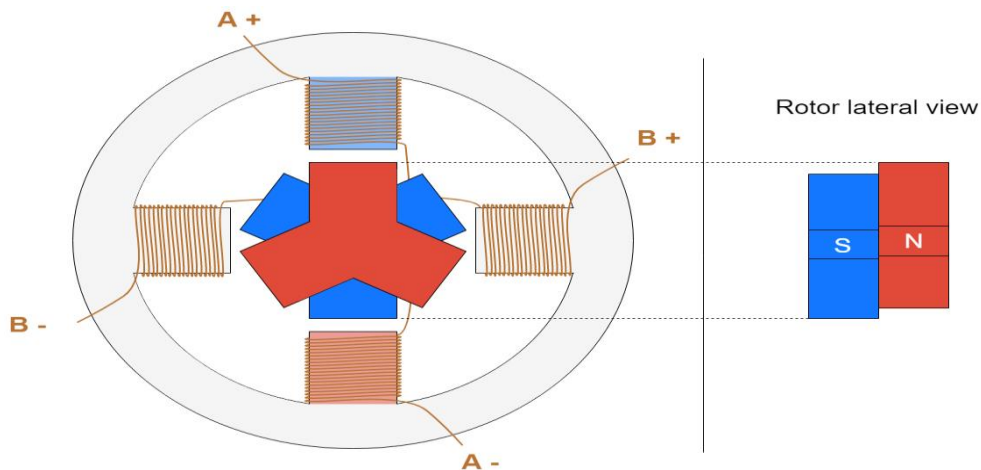


Figure 2.12 : Moteur pas à pas hybride

2.10) Autres composants :

2.10.1) Les roulements[8] :

Un roulement est un dispositif qui permet un mouvement de rotation entre deux objets. On les trouve généralement dans les machines où deux éléments tournent l'un par rapport à l'autre selon un axe de rotation défini.

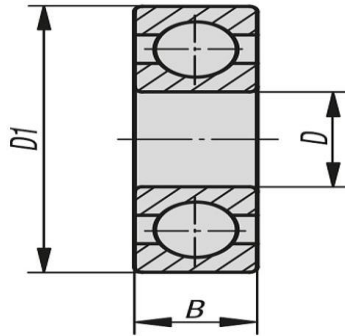


Figure 2.13 : roulements

2.10.3) Accouplements semi-élastiques [4] :

Pour la connexion rotative entre les arbres moteurs et les vis trapézoïdales, des accouplements semi-élastiques ont été employés. Ces accouplements corrigent de légères erreurs d'alignement, telles que les imperfections d'usinage. Ils se composent habituellement de deux segments rigides fixés aux arbres et d'un élément légèrement flexible qui compense les défauts d'alignement.

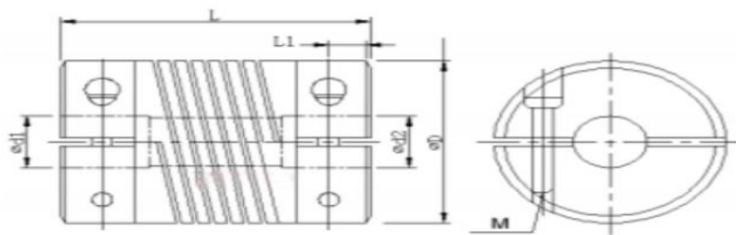


Figure 2.14 : Accouplements semi-élastique



**Chapitre 3 :
Calcul et
Dimensionnement
des Eléments**



3.1) Calculs des éléments :

3.1.1) Calcul des masses :

Pour effectuer un bon calcul, on doit d'abord calculer la masse totale supporté par chaque axe de la machine :

Tableau 3. 1 : Masses des composants de l'axe Z

Axe Z		
m_i	Nom de pièce	Mass (Kg)
m₁	Vis trapézoïdale Z+ accouplement + Moteur pas à pas	0.410
m₂	(2x)glissière	0.200
m₃	Support de vis trapézoïdale+ roulement	0.070
m₄	Plaque de montage d'outil	0.040
M₅	Support de montage d'outil	0.040
m₆	mini meuleuse	0.630
	Totale	1.390

Tableau 3. 2 : Masses des composants de l'axe Y

Axe Y		
m_i	Nom de pièce	Mass (Kg)
m₁	Vis trapézoïdale Y+ accouplement+ Moteur pas à pas	0.590
m₂	Glissière (x2)	0.600
m₃	Support de vis trapézoïdale + roulement	0.070
m₄	Plaque de support de l'axe Y	0.120
m₅	Les composants de l'axe Z	1.390
	Totale	2.770

Tableau 3. 3 : Masses des composants de l'axe X		
m_i	Nom de pièce	Mass (Kg)
m_1	Vis trapézoïdale X + accouplements + Moteurs pas à pas	0.470
m_2	Support de vis trapézoïdale	0.070
m_3	Glissière (x2)	0.400
m_4	Support de l'axe Y	0.250
m_5	Plaques de support de portique	0.590
m_6	Les composants de l'axe Y	2.770
Totale		4.550

3.1.2) Calcul du centre de gravité de la machine :

Nous devons calculer le centre de gravité de la machine dans l'extrémité le long de l'axe Y pour s'assurer qu'elle ne bascule pas lorsqu'elle atteint la fin de sa course.

Pour faciliter le calcul nous pouvons utiliser la fonction de calcul des masses appelé « Propriété des masses » du logiciel SolidWorks 2020.

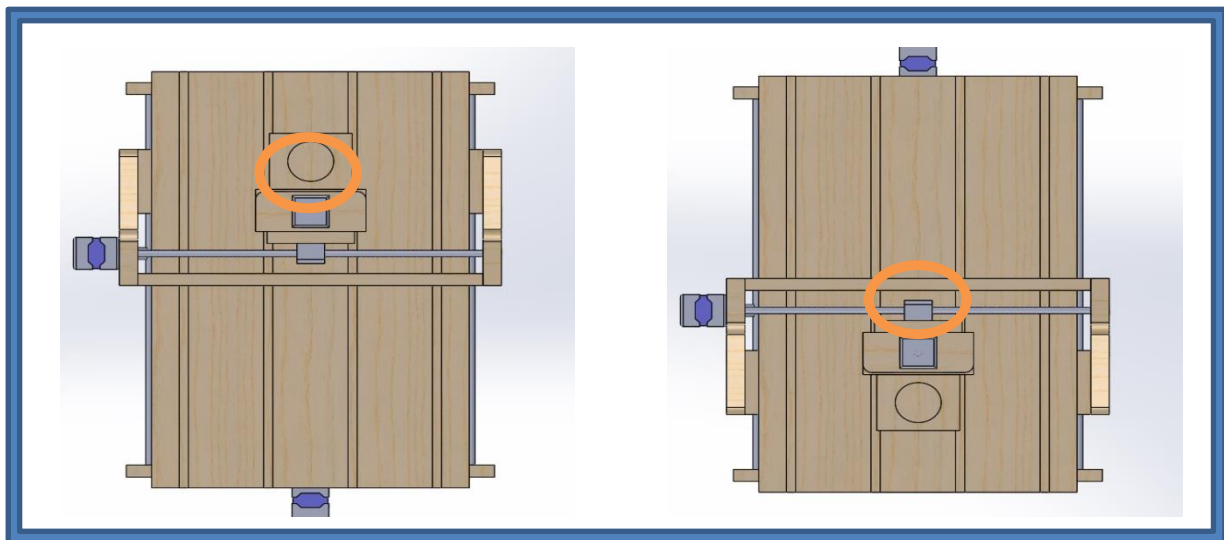


Figure 3. 1 : Centre de gravité de la machine à l'extrémité avant et arrière

D'après les calculs précédents, nous pouvons déterminer que la machine sera stable et ne bascule pas lors de fonctionnement aux extrémités de son fonctionnement. $Y=26.2X=20.75 Z=13.5$

3.1.3) Calculs sur les vis trapézoïdales: ^[9]

- *Dimensionnement à l'usure* : La puissance totale transmise à la vis (P_t) est rendue comme puissance utilisable (P_u) sur l'écrou. Le rapport $P_u/P_t = \eta$ définit l'efficacité du système qui dépend du coefficient de frottement entre les surfaces en contact de la vis et de l'écrou et l'angle d'hélice du filetage.

A cause du frottement de glissement, une portion de la puissance utilisable (P_u) est convertie en chaleur chaque fois que nous effectuons un mouvement. Et par l'étude de ce frottement, on peut donner des paramètres pour évaluer le bon fonctionnement du couplement, Le critère suivi est celui de limiter la pression superficielle de contact sur le côté du filetage.

On limite aussi le produit ($\mathbf{P} \bullet \mathbf{Vst}$) (P = pression superficielle de contact et Vst = vitesse de frottement sur le diamètre moyen du filetage) pour limiter la quantité d'énergie convertie en chaleur.

3.1.3.1) Calcul de la pression superficielle de contact « $\mathbf{P_s}$ » [9] :

On utilise la formule suivante pour calculer la pression superficielle de contact ($\mathbf{P_s}$) :

$$P_s = \frac{F}{A_t} \quad (1)$$

- \mathbf{F} = Force axiale [N]

- $\mathbf{A_t}$ = Surface d'appui totale entre les dents de la vis et les dents de l'écrou sur le plan perpendiculaire à l'axe. [mm²]

3.1.3.2) Calcul de la vitesse de glissement « \mathbf{Vst} » [9] :

La vitesse de glissement peut être calculée avec une des formules suivantes :

- si nous avons déjà défini le nombre de tours par minute de la vis :

- n = nombre de tours par minute de la vis (tour/min).

- P = pas du filetage (mm).

- α = angle d'hélice du filetage.

$$Vst = \frac{n \times P}{1000 \times \tan \alpha} \quad (2)$$

- si nous avons déjà défini à quelle vitesse de transfert l'écrou se doit déplacer :

- Vst = vitesse de glissement sur le diamètre moyen [m/min].

- Vtr = vitesse de transfert [m/min].

- α = angle d'inclinaison de l'hélice du filetage.

$$Vst = \frac{Vtr}{\tan \alpha} \quad (3)$$

Nous vous rappelons que le nombre de tours par minute de la vis et la vitesse de transfert sont liées par la formule suivante :

- n = nombre de tours par minute.

- Vtr = vitesse de transfert [m/min].

- P = pas du filetage [mm].

$$n = \frac{1000 \times Vtr}{P} \quad (4)$$

Pour notre cas, en fixe le nombre de tours par minute de la vis en 1000 tr/min Donc en utilise l'équation (2).

Le critère nous permet de tracer le graphe de glissement des écrous de bronze sur les vis en acier.

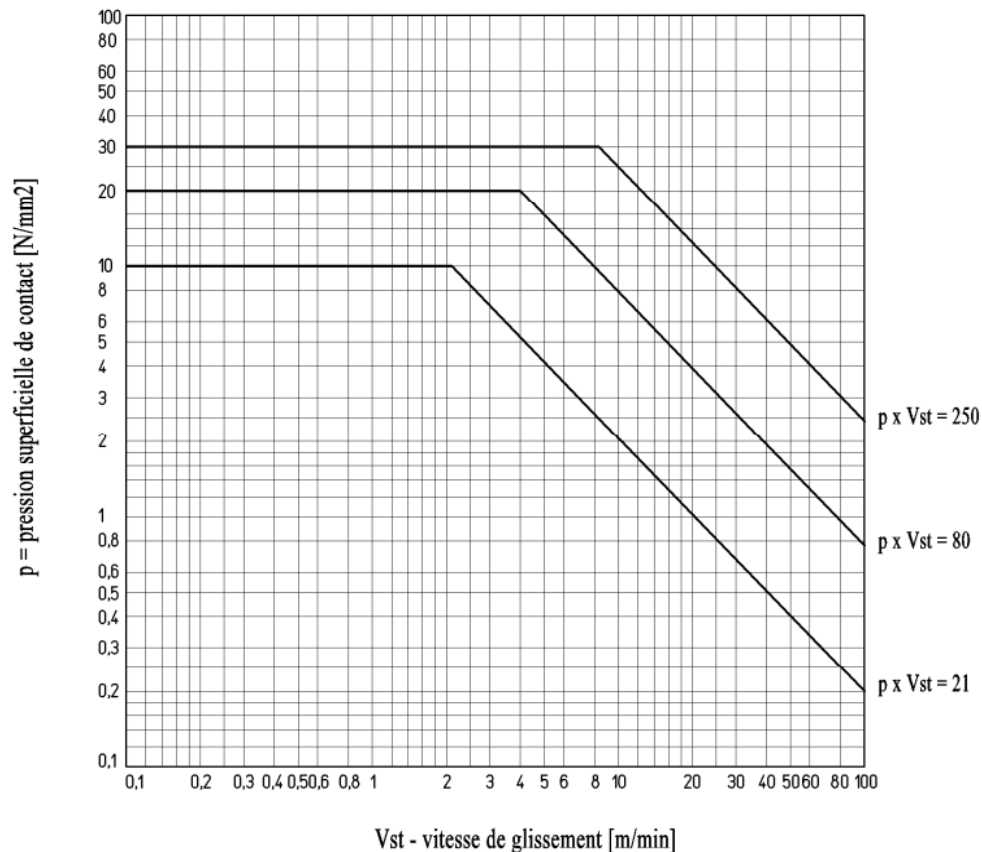


Figure 3. 2 : Condition de Glissement du bronze ^[9]

Zone A : la zone A est dans la limite de $P_s \cdot V_{st} = 21$ [N/mm² • m/min]

Dans cette zone le fonctionnement est dans les meilleures conditions. Le « service continu » est possible parce que la quantité de chaleur produite entre ces limites de $P_s \cdot V_{st}$ est plutôt limitée. La durée de vie de l'écrou est très bonne.

Zone B : la zone B est dans la limite de $P_s \cdot V_{st} = 80$ [N/mm² • m/min].

Dans cette zone-ci le fonctionnement est dans des conditions plus sévères. Les conditions de glissement sont telles qu'une constante lubrification est nécessaire pour contenir l'usure du bronze à la fin d'avoir des bonnes valeurs de durée de vie de l'écrou. Le fonctionnement « continu » est possible seulement pour périodes limitées parce que la quantité de chaleur produite est telle qu'elle provoque un chauffage très marqué de l'écrou, en fonction aussi de la quantité d'huile utilisée, parce qu'au-delà de l'action lubrifiante elle contribue à la

dissipation de la chaleur. Nous sommes dans des conditions où la durée de vie de l'écrou est limitée.

Zone C : la zone C dans la limite $P_s \cdot V_{st} = 250$ [N/mm² • m/min].

En cette zone ci le fonctionnement est dans conditions très dures. Avec ces valeurs de $P \cdot V_{st}$ travailler en « service continu » n'est pas surement possible. Même en présence d'une bonne lubrification on a un chauffage et une usure de l'écrou assez rapide parce que le glissement entre les surfaces de contact est tels qui provoque une érosion rapide de l'écrou.

- Il faut aussi introduire un coefficient de sécurité pour assurer que le système fonction dans ses limites admissibles, notre critère devient :

$$P_s \cdot V_{st} \cdot f_i \quad (5)$$

Type de charge	f_i
Charges constants avec rampes d'acc. /déc. contrôlées	de 1 à 0,5
Charges constants avec démarrages et arrêts à déchirure	de 0,5 à 0,33
Charges très variables et vitesse très variables	de 0,33 à 0,25
Charges à la présence de chocs et vibrations	de 0,25 à 0,17

Tableau 3. 4 : Coefficients de sureté pour différents types de charges ^[9]

Type de charge de notre système est une charge constante avec rampes d'acc/déc contrôlées donc

$0.5 < f_i < 1$, on prendra $f_i = 0.76$.

- 3.1.3.3) Le rendement :

Le rendement de couple vis/écrou dépend de plusieurs facteurs, Le coefficient de friction entre la vis en acier et l'écrou en bronze, le pas de vis trapézoïdale, l'angle de l'hélice de vis.

R_v: Rapport de vitesse.

- **XE** : déplacement de l'effort.
- **XC** : déplacement de la charge (équivalent à le pas du vis trapézoïdale).
- **D** : Diamètre de la vis trapézoïdale.
- **P** : le pas de vis

$$R_v = \frac{XE}{XC} = \frac{\pi D}{P} = \frac{8\pi}{2} = 12.56$$

$$\eta = \frac{\tan(\alpha)}{\tan(\alpha+\beta)} = \frac{\tan(4.549)}{\tan(4.549+10.757)} = 0.2537 = 25.37\%$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{p}{\pi D}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{2}{8\pi}\right) = 4.549$$

$$\beta = \tan^{-1}(F) = \tan^{-1}(0.23) = 12.952^\circ$$

- η : le rendement de couplage vis écrou.

α : l'angle de l'hélice

- β : l'angle du coefficient de friction.

- F : le coefficient de friction, pour notre cas, la vis est en acier et l'écrou est en bronze sans lubrification.

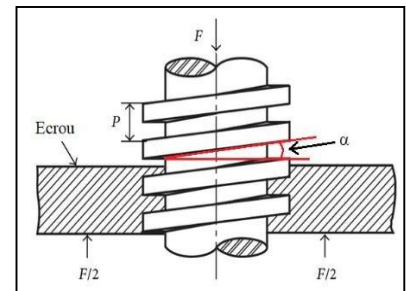


Figure 3.3 : Diagramme d'une vis Trapézoïdale [9]

Tableau 3.5: Coefficients de friction (Fr) pour différents types de charges

Coefficient de friction (F) pour vis et écrou				
Matière de vis	Matière de l'écrou			
	Acier	Bronze	Laiton	Fonte
Acier, sec	0.15-0.25	0.15-0.23	0.15-0.19	0.15-0.25
Acier, lubrifié	0.11-0.17	0.10-0.16	0.10-0.15	0.11-0.17
Bronze	0.08-0.12	0.04-0.06	-	0.06-0.09

-3.1.4) Choix de moteur :

Pour choisir le moteur pas à pas, nous devons d'abord calculer le couple et la puissance nécessaire pour faire un déplacement selon l'axe Z.

- 3.1.4.1) Le Couple^[9] :

Le couple nécessaire pour le mouvement d'un système vis / écrou est calculée par la équation suivante :

$$C = \frac{F \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot \eta \cdot 1000} \quad (10)$$

- C = couple (input) [N•m].
- F = force axiale sur l'écrou [N].
- P = pas de vis effectif [mm].

η = efficacité (il faut considérer l'efficacité avec le coefficient de frottement de premier détachement $f = 0,22$)

-3.1.4.2) La puissance^[9]:

La puissance nécessaire pour le déplacement d'un système vis/ écrou trapézoïdales est calculée par l'équation suivante:

$$P_t = \frac{C \cdot n}{9550} \quad (11)$$

3.1.5) Calculs des composants selon l'axe Z:

- 3.1.5.1) Forces, vitesse et pression exercés sur la tige de l'axe Z :

La charge F suivant Z est purement axiale et comporte en plus du poids des composants (F_1), les forces d'inerties dues aux accélérations et aux décélérations (F_2) ainsi que les efforts de coupes et de pénétration (F_3). On aura donc :

Avec :

$$\mathbf{F} = F_1 + F_2 + F_3 \quad (12)$$

$$F_1 = \Sigma m_i \times g = 1.390 \times 9.81 = 13.635 \text{ N} \quad (13)$$

$$F_2 = \Sigma m_i \cdot \gamma \quad (14)$$

γ : L'accélération, elle est donnée par

$$\gamma = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (15)$$

ΔV : La variation de la vitesse linéaire, on aura donc :

$$\Delta V = P \cdot n = \frac{2 \times 1000}{60} = 33,33 \text{ mm/s ou } 0.033 \text{ m/s} \quad (16)$$

On prend $\Delta t = 0.1 \text{ s}$ qui est un temps de réponse assez court, on aura ainsi :

$$\gamma = \frac{33,33}{0.1} = 333,3 \text{ mm/s}^2 \text{ ou } 0,33 \text{ m/s}^2 \quad (17)$$

Donc :

$$F_2 = 1.390 \times 0.3 = 0.417 \text{ N} \quad (18)$$

F_3 représente l'effort de pénétration F_p

$$F_3 = F_p \quad (19)$$

$$F_p = \frac{1}{3} F_c \quad (20)$$

$$F_c = K_C \cdot a \cdot f \quad (21)$$

Avec :

- F_c l'effort de coupe.
- f : Avance de l'outil par rotation de la broche en [mm/tr].

- K_c : Coefficient spécifique de coupe dépend de la matière qu'on veut usiner et c'est en $[N/mm^2]$.

On prend $K_c = 80 \text{ dan}/mm^2$. (Aluminium)

- a : Profondeur de passe en $[mm]$ dans notre cas $a = 1$.
- N : Vitesse de rotation de la broche en $[tr/min]$. On prend $N = 11000 \text{ tr}/min$.

$$f = \frac{p \times n}{N} = \frac{1000 \times 2}{11000} = 0.18 \text{ mm/tr}$$

$$F_c = 80 \times 10 \times 1 \times 0.18 = 144 \text{ N}$$

$$F_p = \frac{1}{3} F_c = \frac{144}{3} = 48 \text{ N}$$

$$F_3 = 48 \text{ N}$$

(22)

La force axiale totale F est : $F = F_1 + F_2 + F_3 = 13.635 + 0.417 + 48 = 62.052 \text{ N}$

Pression superficielle de contact P_s

$$P_s = \frac{F}{A_t} = \frac{62.052}{235} = 0.264 \text{ Mpa}$$

La vitesse de glissement V_{ST} :

$$V_{ST} = \frac{n \times P}{1000 \times \tan \alpha} = \frac{1000 \times 2}{1000 \times \tan 4.549^\circ} = 25.13 \text{ m/min}$$

Le produit (4) nous donne :

$$P_s \cdot V_{ST} \cdot f = 0.264 \times 25.13 \times 0.76 = 5.04 \text{ Mpa.m/min}$$

3.1.5.2) Conclusion

D'après le graphique, la vis travaille dans la zone A.

Choix de moteur pas à pas :

3.1.5.3)Le couple

$$\mathbf{Cz = \frac{62.052 \cdot 2}{2 \cdot \pi \cdot 0.22 \cdot 1000} = 0.089 \text{ N}\cdot\mathbf{m}}$$

Cette valeur de couple ne tient pas en considération du rendement des pièces mobiles avec la vis, soit roulements, courroies ou autres. Pendant la projection il faut considérer une hausse de 20 / 30 % par rapport à la valeur technique. Si on utilise des moteurs électriques de faible couple de démarrage, il faut considérer une autre hausse de 50% pour obtenir le couple nominal

3.1.5.4)La puissance

$$\mathbf{C_{nz} = 0.089 \cdot 1.3 \cdot 1.5 = 0.1540 \text{ N}\cdot\mathbf{m} \quad (23)}$$

La puissance nécessaire de moteur pas à pas doit être :

$$\mathbf{Pt = \frac{C \cdot n}{9550} = \frac{0.1540 \cdot 1000}{9550} = 0.016 \text{ kW} = 16 \text{ Watt} \quad (24)}$$

3.1.6) Calculs des composants selon l'axe Y :

3.1.6.1) Forces, vitesse et pression exercés sur la tige de l'axe Y :

Nous utilisons la même méthode utilisé pour le calcul de l'axe Z, mais cette fois nous l'appliquons pour la tige de l'axe Y, avec la condition que la somme des forces sera divisée sur trois car celle-ci est supportée par les deux rails linéaires et la vis trapézoïdale

$$F = \frac{1}{3} (F_1 + F_2 + F_3)$$

On Remarque également une différence de masse des parties en mouvement :

Avec :

$$F_1 = \Sigma m_i \times g = 2.770 \times 9.81 = 27.173 \text{ N}$$

La masse de F_2 change aussi donc la force F_2 change aussi :

$$F_2 = \Sigma m_i \times \gamma = 2.770 \times 0.3 = 0.831 \text{ N}$$

F_3 dans ce cas représente l'effort de coupe au lieu de l'effort de pénétration

$$F_3 = F_c = kc.a. f = 80 \times 10 \times 1 \times 0.18 = 144 \text{ N}$$

:

Donc, la force totale F égale à :

$$F = \frac{1}{3} (27.173 + 0.831 + 144) = 57.334 \text{ N}$$

Pression superficielle de contact P :

$$P_s = \frac{F}{A_t} = \frac{57.33}{235} = 0.243 \text{ Mpa}$$

La vitesse de glissement V_{ST} :

$$V_{ST} = \frac{n \times P}{1000 \times \tan \alpha} = \frac{1000 \times 2}{1000 \times \tan 4.549^\circ} = 25.13 \text{ m/min}$$

Le produit (4) nous donne :

$$P_s \cdot V_{ST} \cdot f = 0.243 \times 25.13 \times 0.76 = 4.64 \text{ Mpa.m/min}$$

3.1.6.2) Conclusion

D'après le graphique, la vis travail dans la zone A.

- 3.1.6.3) Le Couple :

$$C_x = \frac{F \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot \eta \cdot 1000} = \frac{57.334 \cdot 2}{2 \cdot \pi \cdot 0.22 \cdot 1000} = 0.082 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$C_{nx} = 0.082 \cdot 1.3 \cdot 1.5 = 0.161 \text{ N}\cdot\text{m}$$

-3.1.6.4) La Puissance :

$$P_t = \frac{C_{nx} \cdot n}{9550} = \frac{0.161 \cdot 1000}{9550} = 0.016 \text{ kW} = 16 \text{ Watt}$$

- 3.1.7) Calculs des composants selon l'axe X :

- 3.1.7.1) Forces, vitesse et pression exercés sur la tige de l'axe X :

Même méthode comme pour l'axe Y, mais cette fois on divise sur 3, car on a tiges trapézoïdales aussi bien que deux rails linéaires.

$$F = \frac{1}{3} (F_1 + F_2 + F_3) \quad (26)$$

On Remarque encore une différence de la masse des parties en mouvement avec :

$$F_1 = \Sigma m_i \times g = 4.550 \times 9.81 = 41.769 \text{ N}$$

La masse de F_2 change une autre fois aussi donc la force F_2 change aussi :

$$F_2 = \Sigma m_i \times \gamma = 4.550 \times 0.3 = 1.365 \text{ N}$$

F_3 dans ce cas représente l'effort de coupe au lieu de l'effort de pénétration une autrefois donc aucun changement:

$$F_3 = F_c = a \cdot f = 80 \times 10 \times 1 \times 0.18 = 144 \text{ N}$$

Donc, la force totale F égale à :

$$F = \frac{1}{3} (41.769 + 1.365 + 144) = 62.378 \text{ N}$$

- Pression superficielle de contact P :

$$P_s = \frac{F}{A_t} = \frac{62.378}{235} = 0.265 \text{ MPa}$$

- La vitesse de glissement V_{ST} :

$$V_{ST} = \frac{n \times P}{1000 \times \tan \alpha} = \frac{1000 \times 2}{1000 \times \tan 4.549^\circ} = 25.13 \text{ m/min}$$

Le produit (4) nous donne :

$$P_s \cdot V_{ST} \cdot f = 0.265 \times 25.13 \times 0.76 = 5.06 \text{ Mpa.m/min}$$

- **3.1.7.2) Conclusion:**

D'après le graphique, la vis travaille dans la zone A encore.

3.1.7.3) Le Couple.

$$C_y = \frac{F \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot \eta \cdot 1000} = \frac{62.378 \cdot 2}{2 \cdot \pi \cdot 0.22 \cdot 1000} = 0.090 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$C_{ny} = 0.090 \cdot 1.3 \cdot 1.5 = 0.175 \text{ N}\cdot\text{m}$$

3.1.7.4) La Puissance

$$P_t = \frac{C \cdot n}{9550} = \frac{0.175 \cdot 1000}{9550} = 0.018 \text{ kW} = 18 \text{ Watt}$$

Selon les calcul notre choix est penché vers le moteur NEMA 17' alimenté par câble USB pour assurer la puissance.



Chapitre 4 :
Conception et réalisation de la
machine CNC






4.1) INTRODUCTION :

Ce chapitre se concentre sur la phase cruciale de conception et de réalisation de notre machine CNC à trois axes. Nous abordons ici les détails de l'assemblage selon les axes Y, X et Z, en mettant en lumière les processus et les considérations clés qui ont guidé nos choix de notre travail. En décomposant les différents aspects de cette étape, nous mettons en évidence les décisions techniques et les méthodes d'assemblage qui ont été essentielles pour transformer notre vision en réalité fonctionnelle.

4.2) Eléments de la partie réalisée sur SolidWorks :

les différents éléments conçus sur SolidWorks sont reportés dans le tableau qui suit :

Organe	Caractéristiques techniques	Rôle de l'organe
1	2	3
<p>Plaques pour l'axe X</p> <p>1^{ère} plaque :</p>  <p>2^{ème} plaque :</p>  <p>3^{ème} plaque :</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Hauteur 65 mm - Largeur 400 mm - Epaisseur 15 mm <hr/> <ul style="list-style-type: none"> - Longueur 400 mm - Largeur 65 mm - Epaisseur 15 mm <hr/> <ul style="list-style-type: none"> - Hauteur 80 mm - Largeur 375 mm - Epaisseur 15 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - 1^{ère} plaque : elle sert de support au moteur de l'axe X. - 2^{ème} plaque : elle sert de support au roulement de portant la vis de l'axe X. - Ces deux plaques : servent aussi de support pour les glissière utilisé pour le guidage de l'axe X. - 3^{ème} plaque : elle sert de support pour le bloc convertisseur carré tout en assurant la translation selon l'axe X.

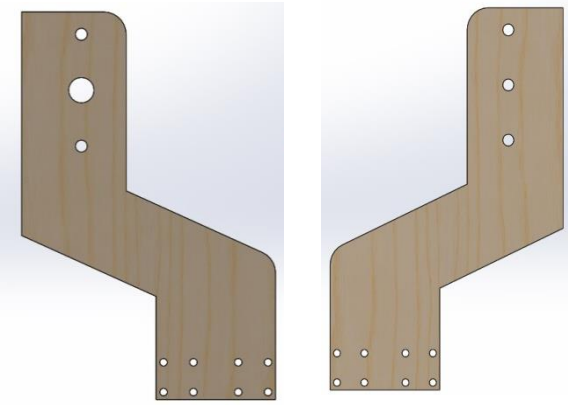
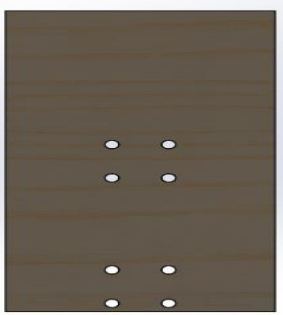
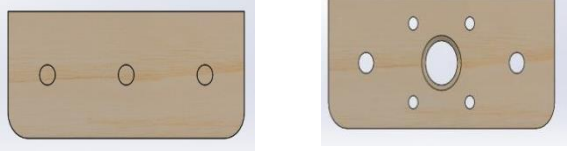
1	2	3
<p>Plaques pour l'axe X</p>  <p>2^{ème} plaque 1^{ème} plaque</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Hauteur 260 mm - Largeur 170 mm - Epaisseur 20 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - 1^{ère} plaque : supporte le roulement portant la vis de l'axe X. - 2^{ème} plaque : elle sert de support au moteur de l'axe X. - Les deux plaques : servent de support pour les glissière utilisé pour l'axe X et pour l'axe Y.
<p>Plaque X-Z :</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Longueur 180 mm - Largeur 95 mm - Epaisseur 15 mm 	<p>Plaque X-Z se situe entre des axes X et Z. Elle sert de support pour fixer les blocs de glissière pour les axes X et Z, et pour le bloc convertisseur de translation sur l'axe Z.</p>
<p>Plaques pour l'axe Z :</p>  <p>1^{ère} plaque 2^{ème} plaque</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Longueur 120 mm - Largeur 50 mm - Epaisseur 15 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - 1^{ère} plaque : elle sert de support au roulement portant la vis-mère de l'axe Z. - 2^{ème} plaque : elle sert de support au moteur de l'axe Z.

Tableau 4.1. : Eléments conçus sur SolidWork

4.3) Assemblage selon l'axe Y :

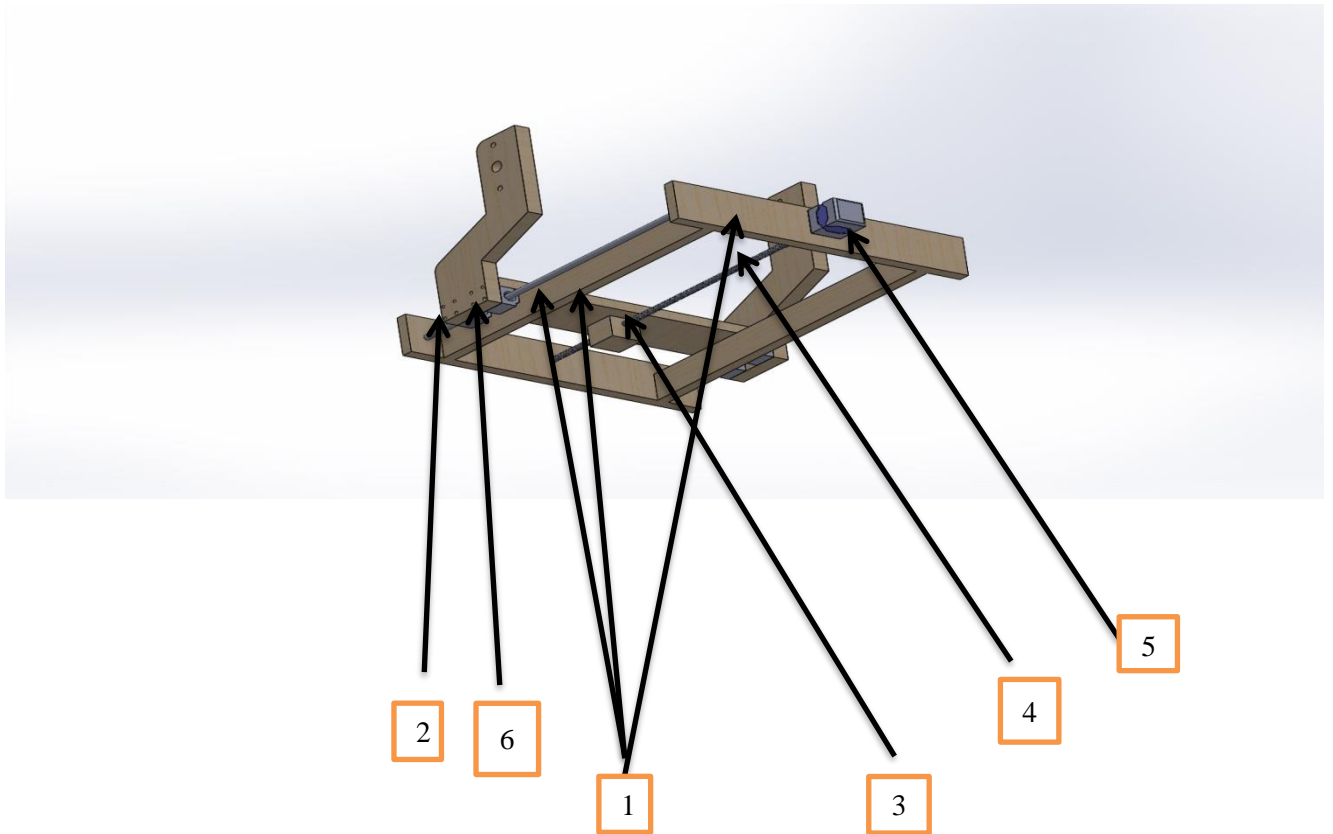


Figure 4.1 : Assemblage selon l'axe Y

-Les différents éléments pour l'assemblage selon l'axe X sont les suivants :

- 1 05 plaques pour l'axe Y
- 2 2 glissières
- 3 1 Bloc convertisseur carré avec écrou
- 4 01 Arbre fileté trapézoïdale
- 5 moteur pas a pas Nema 17
- 6 4 Douilles à billes

4.3.1) Châssis :

Le châssis constitue la base de notre machine et doit être conçu solide et rigide pour résister aux forces de coupe, de torsion et de flexion générées par la machine.

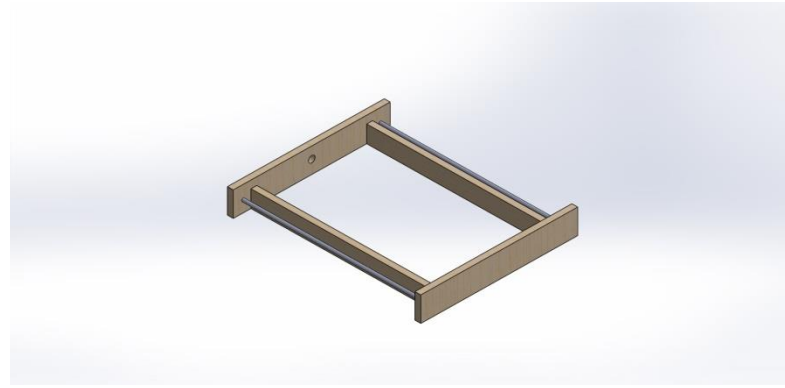


Figure 4.2 : Rendu 3D du châssis

Nous avons utilisé des morceaux de bois rectangles de taille 50cm x40cm x 2cm rassemblés entre eux avec de la colle et des clous. ce qui permet d'assurer la rigidité de la base



Figure 4.3 : le châssis

4.3.2) Support de vis trapézoïdale de l'axe Y :

Cette pièce, fabriquée en bois carré de 40 x35 mm, a été percée. Elle sert de moyen principal permettant au moteur de déplacer l'assemblage de l'axe Y.



Figure 4.4 : Rendu 3D du Support de vis trapézoïdale de l'axe Y

4.3.3) Support de l'axe Y :

Pour réduire le poids de la machine, les supports portique sont probablement les pièces les plus cruciales, car ils déterminent les dimensions finales de la machine. Ce modèle a été spécifiquement choisi pour maximiser le rapport entre la surface de travail et la taille physique de la machine. Il permet de conserver

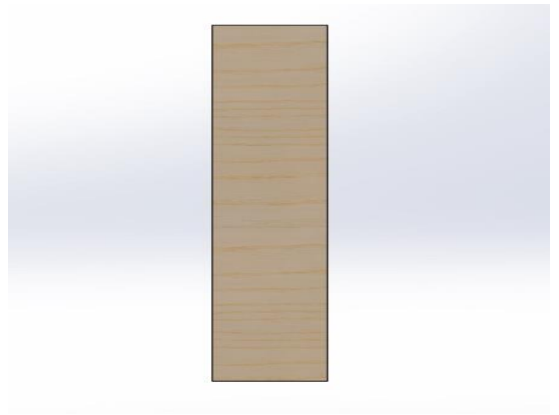


Figure 4.5 : Rendu 3D de support de l'axe Y

Une surface de travail relativement grande par rapport aux dimensions globales de la machine et par rapport à d'autres machines de taille similaire sur le marché, tout en respectant les contraintes liées à l'achat de certaines pièces, comme la vis trapézoïdale.



Figure 4.6 : support de l'axe Y

4.4) Assemblage selon l'axe Z :

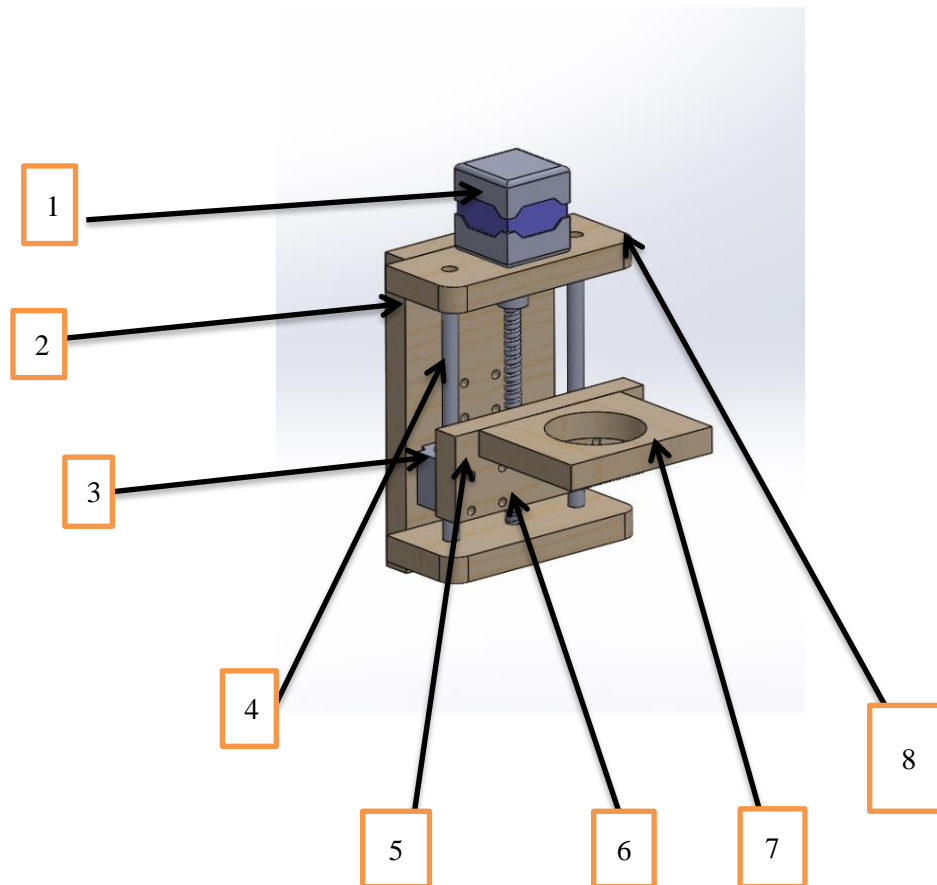


Figure 4.7: Assemblage selon l'axe Z

Les différentes pièces pour l'assemblage selon l'axe Z sont les suivantes :

- 1 01 Moteur d'avance pas-à-pas NEMA 17
- 2 plaques pour l'axe Z-X
- 3 2 Douilles à billes
- 4 2 glissière
- 5 supporter la bride de l'outil
- 6 01 Arbre fileté trapézoïdale avec écrou
- 7 porte outil
- 8 02 plaques pour l'axe Z

4.4.1) Plaque de support de l'axe Z

Sans doute l'une des pièces les plus cruciales est celle qui relie l'axe Z et l'assemblage de la broche à l'axe X. Cette pièce sert de surface de montage pour de nombreux composants. Elle est fabriquée à partir d'une plaque de bois de 180x95x 15 mm d'épaisseur.



Figure 4.8 : Plaque de support de l'axe z

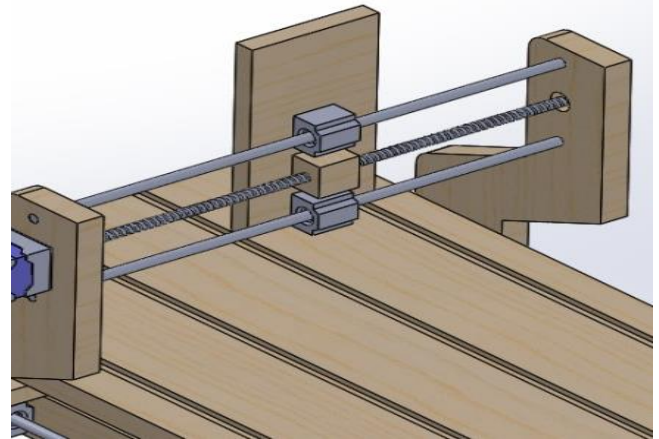


Figure 4.9 : Rendu 3D de plaque de support de l'axe Z

4.4.2) Plaque support Le porte outil

La plaque support du porte-outil en bois, mesurant 120 x 50 x 15 mm, est un composant essentiel pour maintenir les outils en place de manière stable et sécurisée. Fabriquée en bois de haute qualité, cette plaque offre une combinaison idéale de robustesse et de légèreté, ce qui la rend facile à manipuler tout en assurant une bonne durabilité

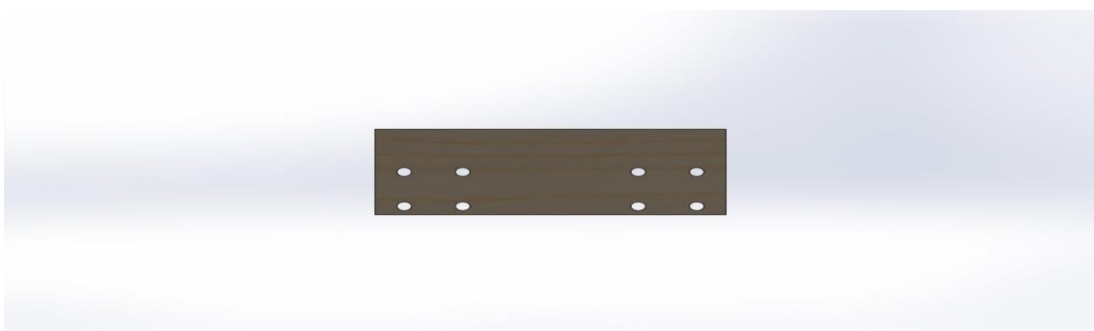


Figure 4.10 : Rendu 3D Plaque support Le porte outil

4.5) Assemblage selon l'axe X.

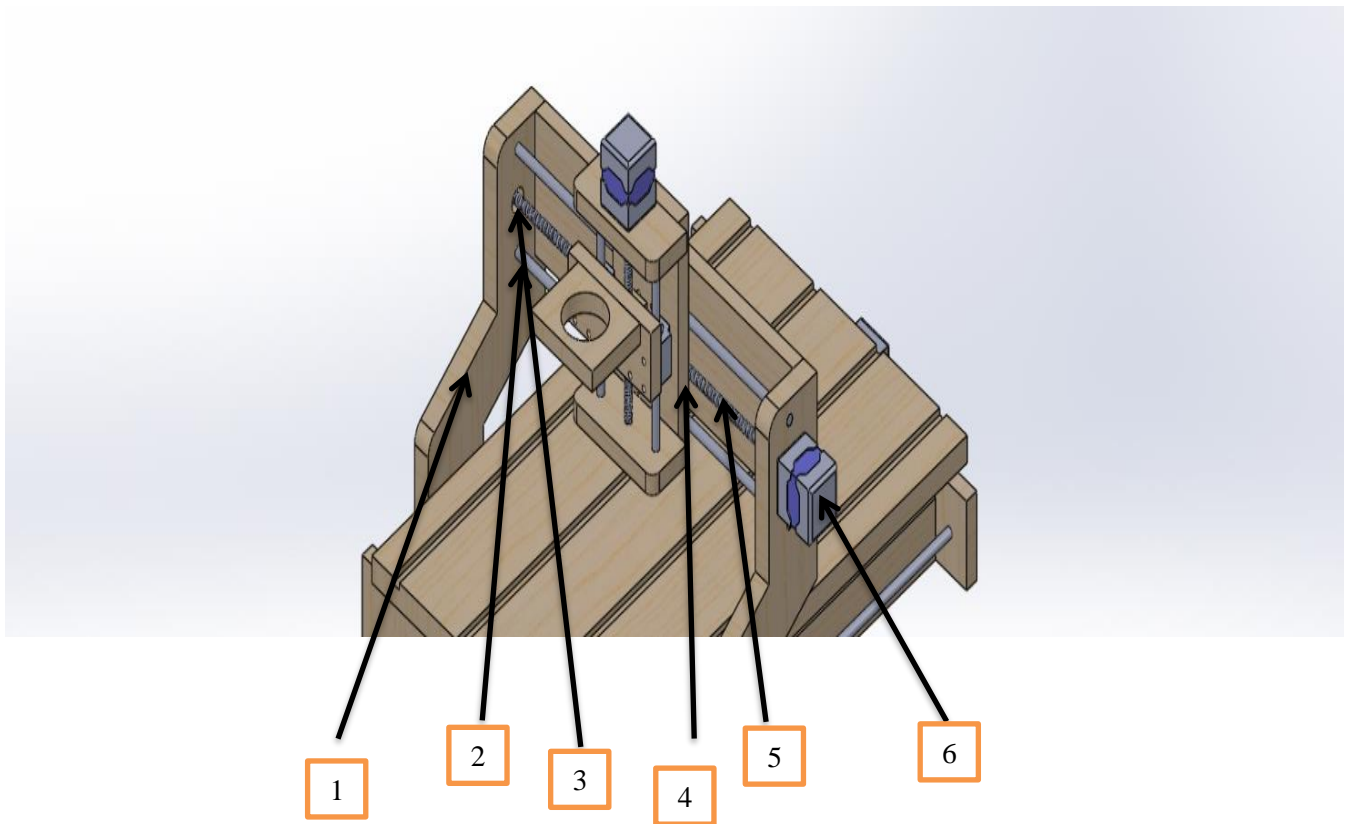


Figure 4.11 : Assemblage selon l'axe X

Les différentes pièces pour l'assemblage selon l'axe Y sont les suivantes

- 1 02 plaques pour l'axe X
- 2 2 glissières
- 3 roulement
- 4 01 plaque X-Z
- 5 1 Arbre fileté trapézoïdale avec écrou,
- 6 01 Moteur d'avance pas-à-pas NEMA 17

4.5.1) plaque de montage de glissière :

Les plaques utilisées dans notre machine CNC en bois jouent un rôle crucial dans le support et le montage des composants.

1ère plaque : Cette plaque a pour fonction de supporter le roulement de bride qui maintient la vis-mère de l'axe X. Elle assure la stabilité et le bon alignement de la vis-mère, essentielle pour des déplacements précis sur l'axe X.

2ème plaque : Cette plaque sert de support au moteur de l'axe X. Elle fixe solidement le moteur en place, garantissant une transmission efficace du mouvement.



Figure 4.12 : Support du portique

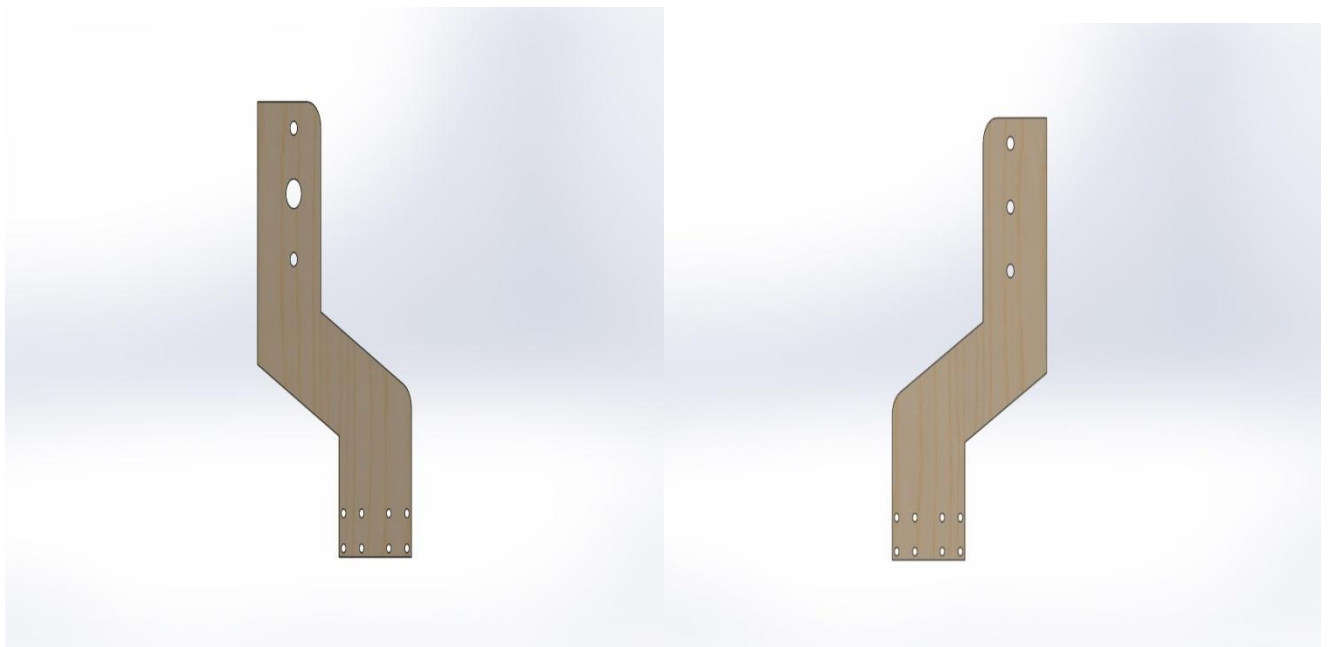


Figure 4.13: Rendu 3D de Support du portique

4.6) Assemblage du plateau :

Les différents éléments pour l'assemblage du plateau sont les suivants (figure 4.14) :

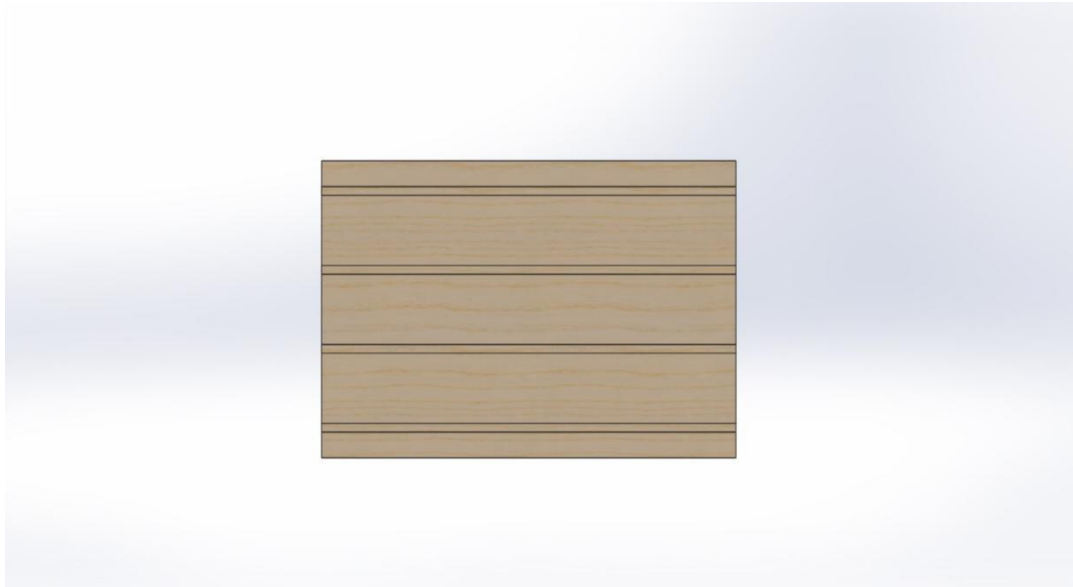


Figure 4.14 : Rendu 3D de la table ou surface de travail

01 Plaque

Cornières, vis et écrous.

4.6.1) La table :

La table de découpe, constituée d'un panneau de 15 mm d'épaisseur, sert de surface de travail. Sa fonction principale est de fournir une surface plane pour monter les pièces souhaitées et d'absorber les incidents éventuels lors de l'utilisation de la machine. Elle est conçue pour être jetable et facilement remplaçable.

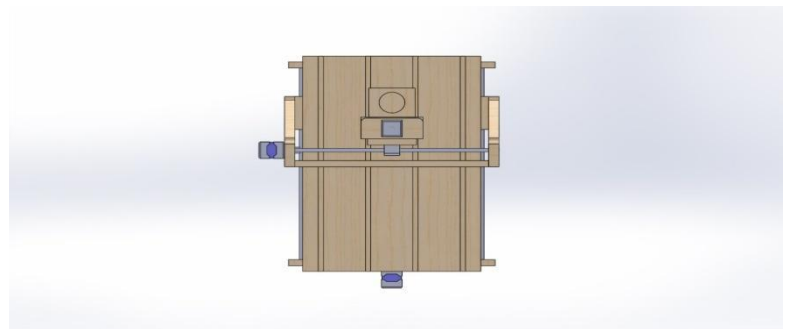


Figure 4.15 : Emplacement de la table

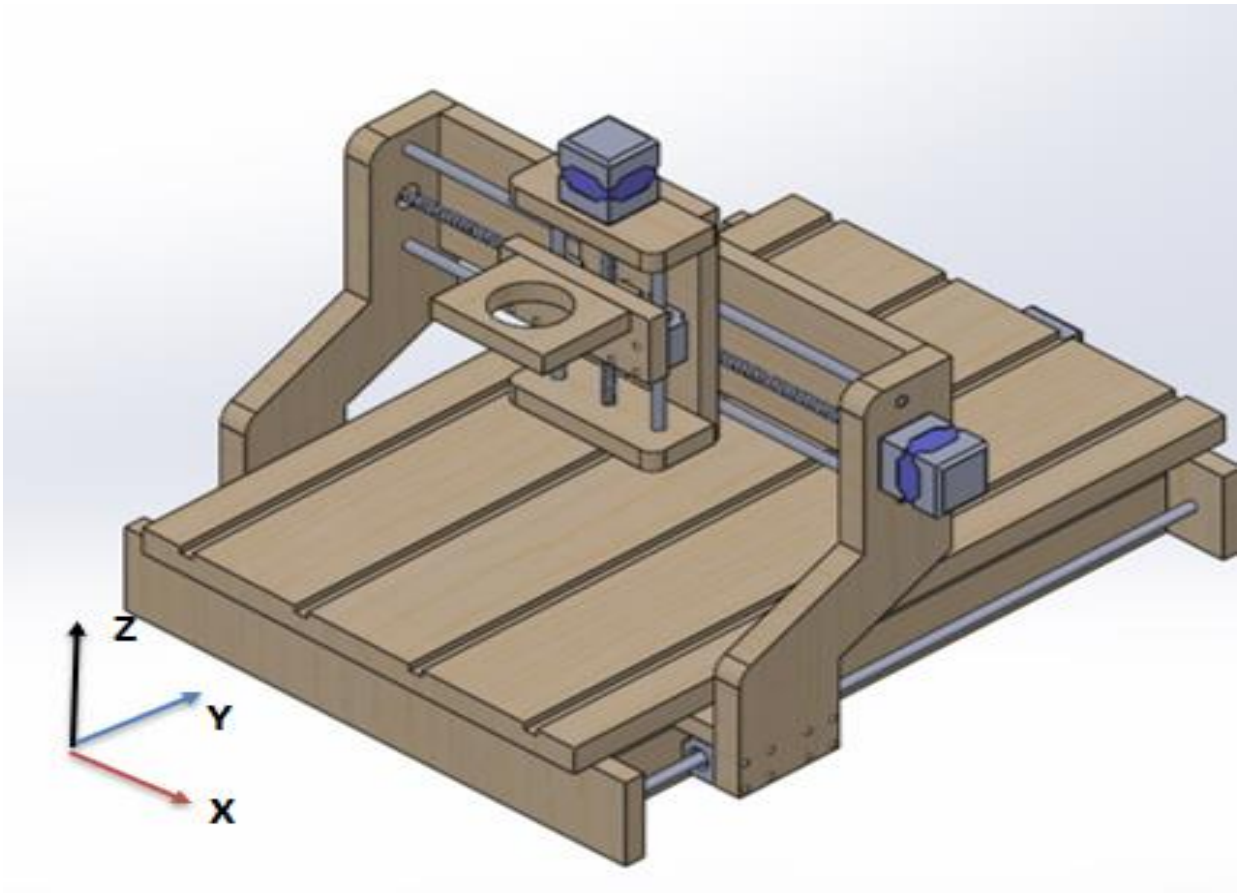


Figure 4.16 : CNC 3 axe



Chapitre 5 : Programmation



5.1) Introduction :

La programmation d'une Machine-Outil à Commande Numérique (M.O.C.N) joue un rôle crucial dans la qualité et la précision du produit final. En effet, la M.O.C.N est un dispositif automatisé utilisé dans l'industrie manufacturière pour effectuer des opérations de fabrication complexes avec une grande précision. Ces machines sont contrôlées par des programmes informatiques qui dictent leurs mouvements et opérations, tels que le fraisage, le tournage, le perçage et le meulage.

5.2) Le G-code [10] :

Le G-code est un langage de programmation spécialisé utilisé pour contrôler les machines CNC et les imprimantes 3D. Il est créé à l'aide d'un logiciel de fabrication assistée par ordinateur (FAO) pour automatiser les opérations des machines-outils.

Signifiant « code géométrique », le code G est souvent appelé codes préparatoires dans le contexte des machines CNC.

Ces codes guident les machines-outils sur la façon de naviguer dans le système de coordonnées cartésiennes (X, Y, Z).

Au-delà du positionnement, les commandes G-code spécifient également divers paramètres, notamment la vitesse et l'angle de l'axe de rotation, les décalages de longueur d'outil, les points de départ et d'arrêt, les vitesses d'avance et les temps d'attente.

5.3) Histoire du G-code :

Son histoire commence dans les années 1950 au MIT, financée par l'US Air Force pour améliorer la précision et l'efficacité de la fabrication dans l'industrie aéronautique. En 1952, le premier prototype de machine CNC est créé, et en 1958, la première machine-outil commerciale utilisant le G-code est lancée par Bendix.

Au cours des années 1960 et 1970, le G-code devient progressivement un standard industriel, et en 1982, l'ISO publie la norme ISO 6983 pour standardiser ses commandes. Le développement des logiciels de CAO et de FAO permet de générer automatiquement des programmes en G-code, simplifiant la programmation.

Aujourd'hui, le G-code est largement utilisé dans diverses machines CNC, y compris les imprimantes 3D, et continue d'évoluer avec les avancées technologiques comme l'intelligence artificielle et l'Internet des objets (IoT). Le G-code a révolutionné la

fabrication, offrant une production plus précise, rapide et flexible, et reste essentiel pour l'innovation industrielle future.

5.4) Blocs G-Code [11]:

Prenons, par exemple, cette ligne de code:

```
G01 X1 Y1 F20 T01 M03 S500
```

Dans cette seule ligne, nous donnons à la machine une série d'instructions:

- G01 - Effectuer un mouvement d'avance linéaire.
- X1 / Y1 - Déplacer vers ces coordonnées X et Y.
- F20 - Déplacement à une vitesse d'avance de 20.
- T01 - Utiliser l'outil 1 pour faire le travail.
- M03 - Allumer la broche.
- S500 - Régler une vitesse de broche de 500.

Plusieurs lignes de code G comme celles-ci se combinent pour former un programme CNC complet.

5.5) Programme G-Code : [11]

L'objectif principal de tout programme G-code est de fabriquer des pièces de manière sécurisée et efficace. Pour y parvenir, les blocs de code G sont généralement organisés dans un ordre spécifique comme suit :

- 1-Lancement du programme CNC.
- 2-Chargement de l'outil nécessaire.
- 3-Mise en marche de la broche.
- 4-Activation du liquide de refroidissement.
- 5-Déplacement vers une position au-dessus de la pièce.

6-Début du processus d'usinage.

7-Arrêt du liquide de refroidissement.

8-Extinction de la broche.

9-Retrait de la pièce vers une position sûre.

10-Fin du programme CNC

5.6) Codes Modaux et Codes d'Adresse : [11]

Comme dans d'autres langages de programmation, le G-code peut répéter une action indéfiniment jusqu'à ce qu'il soit arrêté. Ce processus de boucle utilise des codes modaux, qui agissent jusqu'à ce que vous les désactiviez ou les modifiiez avec un autre code modal. Par exemple, M03 est un code modal qui fera tourner une broche indéfiniment jusqu'à ce que vous lui disiez de s'arrêter avec M05. Attendez une seconde. Ce mot (rappelez-vous : un mot est un petit morceau de code) ne commence pas par un G, mais il s'agit toujours de G-code. Les mots qui commencent par un M sont des codes machine et ils activent ou désactivent des fonctions de la machine telles que le refroidissement, la broche et les pinces. Je listerai quelques-uns des plus courants dans la section suivante, mais vous pouvez trouver une liste des codes M de votre machine dans sa documentation.

Le G-code inclut également une liste complète de codes d'adresse. Vous pouvez considérer ceux-ci comme le dictionnaire du G-code qui définit des comportements particuliers. Les codes d'adresse commencent par une lettre, comme G, suivie d'un ensemble de chiffres. Par exemple, X2 définit un code d'adresse pour la coordonnée X, où 2 est la valeur sur l'axe X vers laquelle déplacer la machine. La liste complète des codes d'adresse inclut :

Tableau 5. 1 : Les codes et leur définition

Code	Définition
A	Rotation autour de l'axe X
B	Rotation autour de l'axe Y
C	Rotation autour de l'axe Z
D	Compensation de diamètre de l'outil (CDC)
F	L'avance
G	Code-G (Code préparatoire)
H	Décalage de la longueur de l'outil
I	Arc center X-vector, également utilisé dans les cycles de forage
J	Arc center Y-vector, également utilisé dans les cycles de forage
K	Arc center Z-vector, également utilisé dans les cycles de forage
M	Code-M (Code divers)
N	Nombre de bloc
O	Nombre de programmes
P	Temps de séjour
Q	Utilisé dans les cycles de forage
R	Rayon d'arc, également utilisé dans les cycles de forage
S	Vitesse de broche dans tr/m
T	Nombre d'outils
X	Coordonnée X
Y	Coordonnée Y
Z	Coordonnée Z

Un programme G-Code peut inclure divers codes de caractères spéciaux. Ceux-ci servent couramment à démarrer un programme, insérer des commentaires ou ignorer certains caractères, et comprennent :

- % Utilisé pour commencer ou terminer un programme CNC
- () Permet d'insérer un commentaire rédigé par un opérateur CNC; parfois, ces commentaires doivent être écrits en majuscules
- / Ignore tous les caractères qui suivent cette barre oblique
- ; Signale la fin d'un bloc de code, sans apparaître dans un éditeur de texte

5.7) Explication des codes G et des codes M :

5.7.1) Codes G :[11]

Le langage le plus largement utilisé pour contrôler les machines CNC est le code G (également connu sous le nom de RS-274D). Puisque G désigne la géométrie dans le code G, la plupart des instructions commencent par cette lettre. Lors de la production d'un composant, les machines CNC sont dirigées par G-code, qui spécifie leurs points de départ et d'arrêt ainsi que leur trajectoire de mouvement.

Cependant, les machinistes peuvent trouver la programmation de code G difficile en raison du fait que diverses machines ont des exigences variées quant à la façon dont les codes G doivent être formatés. La majorité des machines ne varient que par le nombre d'espaces utilisés entre les commandes et le nombre de zéros placés entre les lettres et les chiffres. Une machine peut utiliser G3, tandis qu'une autre peut choisir G03. Les machinistes doivent constamment bien connaître la technologie qu'ils utilisent. Si la commande est erronée, la fabrication du composant risque d'être fortement perturbée.

Alors que G est la lettre la plus courante dans la programmation CNC des codes G, d'autres lettres signifient également différentes commandes en fonction des capacités de la machine.

Les codes G les plus courants que vous rencontrerez plusieurs fois dans chaque programme CNC incluent :

5.7.1.1) LES Code G : [11]

G00 - Positionnement rapide : Déplace l'outil rapidement à une coordonnée spécifiée.

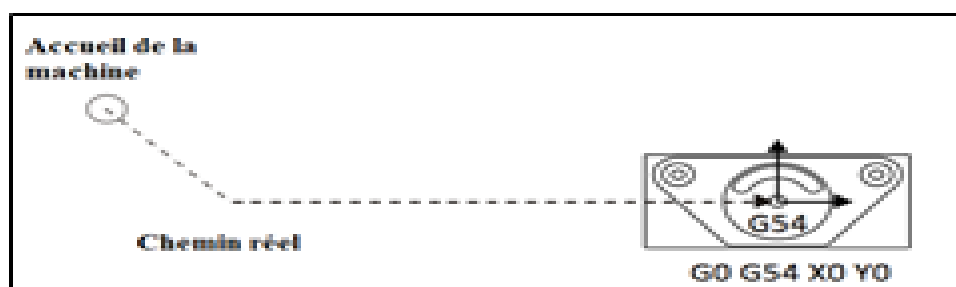


Figure 5. 1 : Représentation de déplacement rapide

G01 - Interpolation linéaire : Déplace l'outil à une vitesse d'avance spécifiée.

-G02 - Interpolation circulaire (sens horaire) : Déplace l'outil en un arc dans le sens horaire.

-G03 - Interpolation circulaire (sens antihoraire) : Déplace l'outil en un arc dans le sens antihoraire.

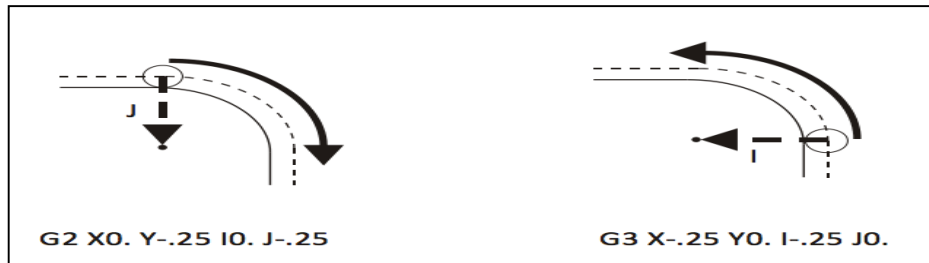


Figure 5. 2 : Représentation d'un déplacement dans un arc

-G17, G18, G19 - Désignations des avions

Ces codes définissent le plan sur lequel un arc sera usiné. Par défaut, votre machine CNC utilisera G17, qui est le plan XY. Les deux autres plans sont illustrés dans l'image à côté

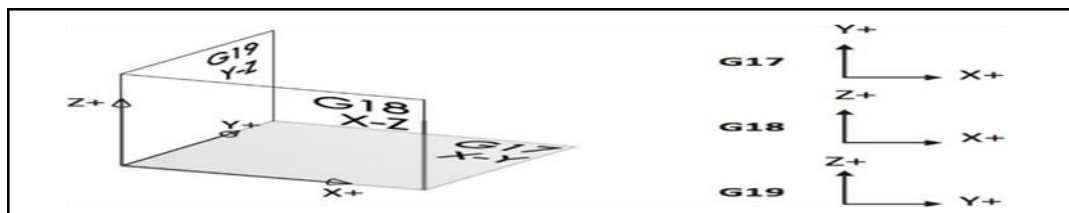


Figure 5. 3 : Représentation des coordonnées et leur code G [11]

5.7.1.2) M-Code : [12]

Le code régit de nombreuses opérations non géométriques de la machine, comme l'activation ou la désactivation de la rotation de la broche, l'activation ou la désactivation du liquide de refroidissement, le changement de palette, et d'autres. Il est important de noter que ces fonctions peuvent varier légèrement selon la machine spécifique. Lors de la configuration du programme de lettrage CNC avec les codes G et M, rappelez-vous qu'un seul ordre doit être inclus par bloc de code M. La raison en est que leur fonction principale consiste à activer ou désactiver des dispositifs. Par conséquent, utiliser plusieurs commandes M dans le même bloc peut provoquer des comportements imprévus dans le code.

Bien que chaque machine possède son propre ensemble unique de codes G, les codes M sont également spécifiques à chaque machine. Le zéro situé entre la lettre et le chiffre peut être omis sur certaines machines, mais pas sur d'autres

Tableau 5. 2 : Liste des codes M et leurs définitions

Code	Définition
M0	Arrêt de programme
M1	Arrêt facultatif
M2	Fin de programme
M3	Broche dans le sens des aiguilles d'une montre
M4	Broche dans le sens antihoraire
M5	Arrêt de la broche
M6	Changer d'outil
M8	Liquide de refroidissement activé
M9	Liquide de refroidissement désactivé
M30	En programme et appuyer sur cycle start pour l'exécuter à nouveau

5.8) Quelles sont les différences : [12]

Les machinistes utilisent à la fois les codes G et M dans chaque processus d'usinage CNC, bien qu'ils servent à des fins différentes. Certaines manières dont ils diffèrent sont mises en évidence ci-dessous :

-La majorité des machines CNC ont tendance à utiliser des instructions de code G différentes les unes des autres, alors que les codes M sont plus susceptibles d'être identiques.

-Afin de contrôler le mouvement et le fonctionnement de la machine, les codes G sont utilisés, tandis que les codes M sont utilisés pour contrôler les mouvements externes de l'opération.

-Alors que le code G démarre la machine à commande numérique par ordinateur, le code M démarre l'automate (automate programmable).

5.9) Logiciel de pilotage :

Pour le pilotage de la machine, nous utilisons le logiciel appelé Candle. Ses avantages Candle est un logiciel de contrôle pour CNC basé sur GRBL. Il fonctionne avec toutes les CNC 3 axes qui intègrent un Arduino. C'est un logiciel simple à prendre en main, idéal pour débiter dans le monde de la CNC.

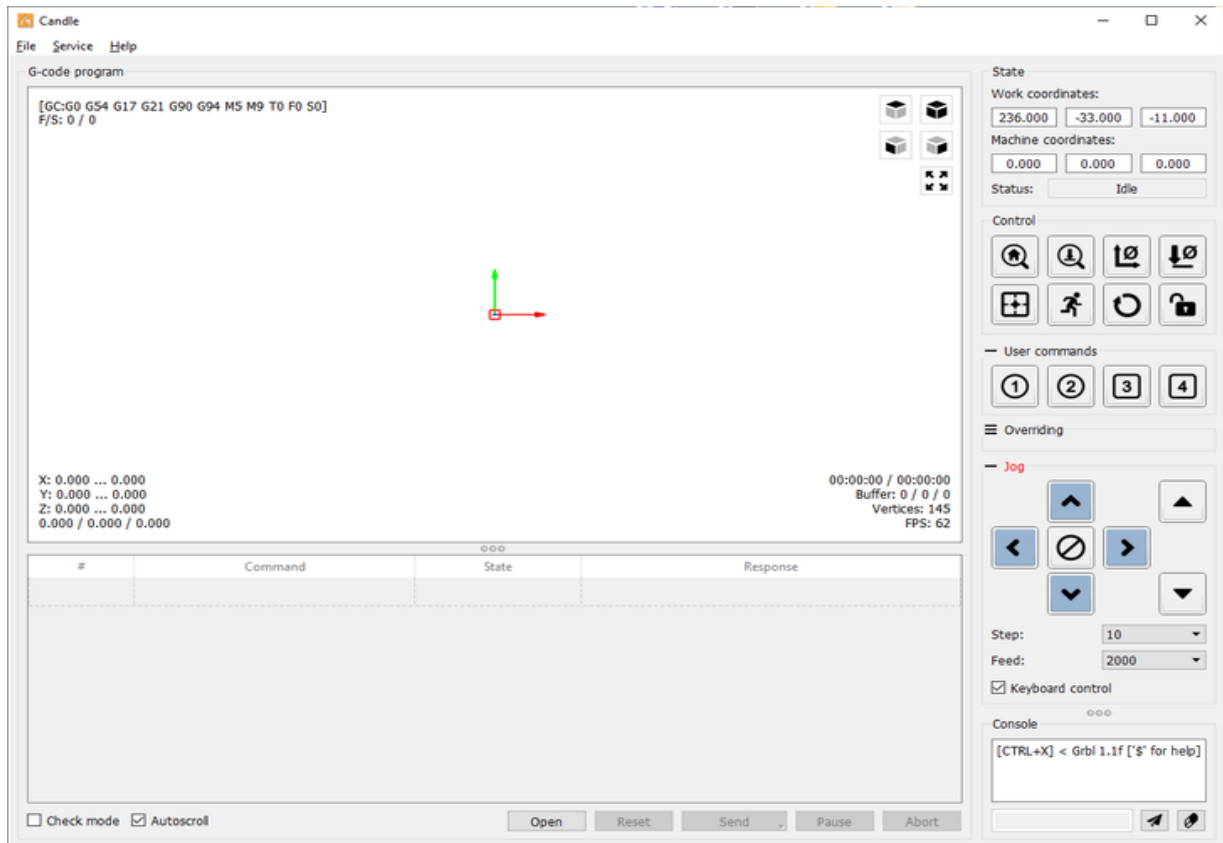


Figure 5. 4 : Interface d'utilisateur de Candle



Conclusion générale



Conclusion générale

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons traité les calculs nécessaires à la conception et à la réalisation d'une machine CNC à trois axes. Nous avons d'abord établi un cahier des charges incluant les objectifs et les étapes clés que nous souhaitons atteindre. L'objectif principal était de planifier et d'exécuter les différentes phases de réalisation afin de parvenir au produit final en constatant les contraintes.

Nos choix ont été validés par divers critères : techniques, tels que les courants d'alimentation et les dimensions de l'appareil ; économiques, comme le coût de réalisation ; et opérationnels, incluant le montage et la manipulation de la machine. Au final, nous avons opté pour un système à axes cylindriques doté de douilles à billes pour le guidage en translation des chariots, entraînés par des moteurs pas à pas. Le choix des éléments de fixation est compatible par les normes en cours. On a vérifié de la rigidité des éléments de la structure conçue pour la mini-machine CNC via le logiciel SolidWorks.

Les contraintes réalisation sont le manque des machines de la menuiserie au niveau de l'atelier mécanique de département chose qui nous a poussés à nous tourner vers le secteur privé. Notre prototype est achevé dans un court délai de réalisation a temps record. le rendement final est très bien accepté et de bonne qualité.

Enfin, à travers cette étude, nous avons pu réaliser une mini-machine CNC à trois axes ayant une structure rigide, et commandée par un ordinateur.

Les perspectives de développements sont multiples telles que :

- La machine peut être beaucoup plus grande si nous le voulions, mais elle nécessite des moteurs pas à pas avec un couple plus élevé.
- L'ajout d'un système de lubrification ;
- L'ajout d'un Bouton d'urgence...

Bibliographie

[1] Farid ASMA .Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 2007/2008,
Le Chapitre 1 : Introduction à la commande numérique.

https://www.academia.edu/25070656/Chapitre_1_Introduction_à_la_commande_numérique

[2] DAHMANI L. & HADJ BRAHIM B. ISET SILIANA / Département GM .
Chapitre 1 : Les machines outils à commande numérique : définitions, structure et caractéristiques

<https://fr.scribd.com/document/432271833/Chapitre-1-Machines-Outils-Commande-Numerique>

[3] Zahia HESSAINIA .Docteur en Génie Mécanique .Université des Frères Mentouri - Constantine 1
Faculté des Sciences de la Technologie. Département de "Génie Mécanique"

<https://telum.umc.edu.dz/course/view.php?id=274&lang=en>

[4] Oulmi Tassdit et Merzouki Zina, Université de Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie,
2014/2015: Conception et étude d'une fraiseuse à commande numérique MOCN.

[5] ZAMMOUCHI OUALID BENYOUCEF et BOUGAILA ALI ,UNIVERSITE DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE DEPARTEMENT DE MECANIQUE ,2020/2021 : Conception et
réalisation d'une machine CNC à 3 axes.

[6] C. Fréou et A. Grimault .Decouverte_arduino.odt www.Techmania.fr.

http://www.techmania.fr/arduino/Decouverte_arduino.pdf

[7] MonolithicPower.com MPS Proprietary Information. Patent Protected. Unauthorized Photocopy
and Duplication Prohibited. © 2023 MPS. All Rights Reserved 6/22/2023 .Article #A-0040 Rev. 1.0

<https://www.monolithicpower.com/en/learning/resources/stepper-motors-basics-types-uses>

[8] 123roulement © 2008-2024 Tous les droits réservés

<https://www.123roulement.com/roulement>

[9] Catalogue de Vis trapézoïdales CONTI, Milano, Italie.

<http://www.contigroup.it/Catalogo/Catalogo-FR.pdf>

[10] RonanYe in CNC machining, Jul 25, 2023,
<https://www.3erp.com/blog/g-code/>

[11] Marti Deans, USA Mai 24, 2018. Autodesk : G-Code for CNC programming,
édition2020.

<https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/cnc-programming-fundamentals-g-code/>

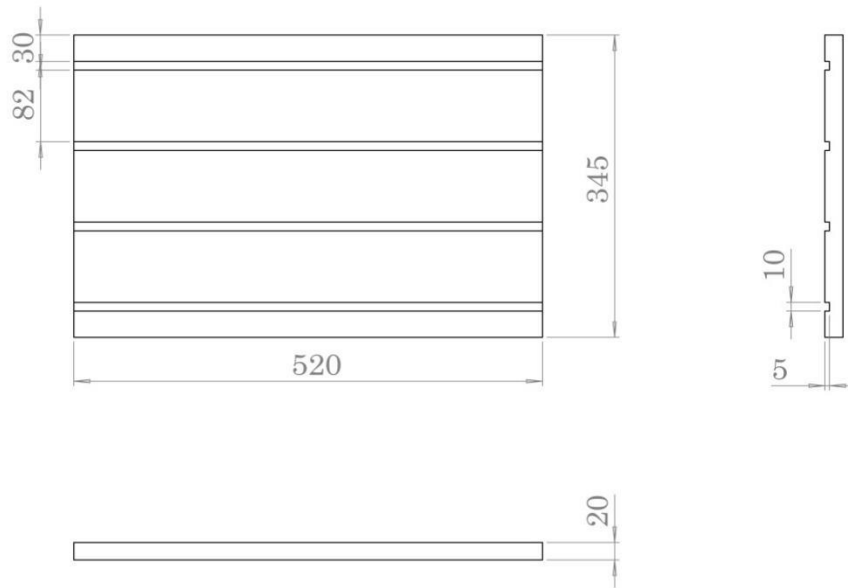
[12] : Jack Lie ,[runsom.com](http://www.runsom.com) ,Un aperçu du G-Code et du M-Code utilisés dans l'usinage CNC

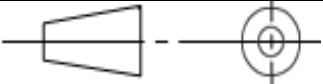
<https://www.runsom.com/fr/blog/g-code-and-m-code-in-cnc>

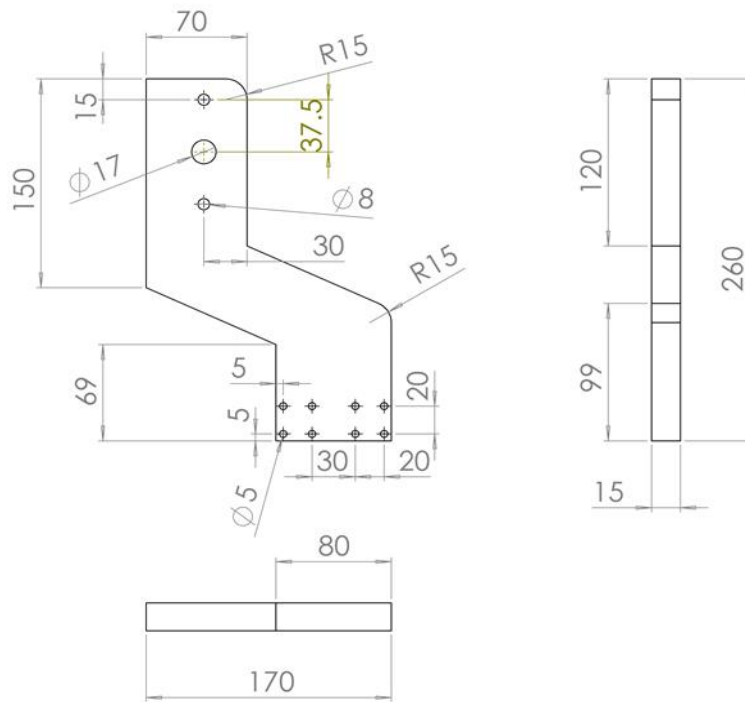


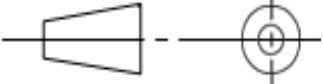
Annexes :

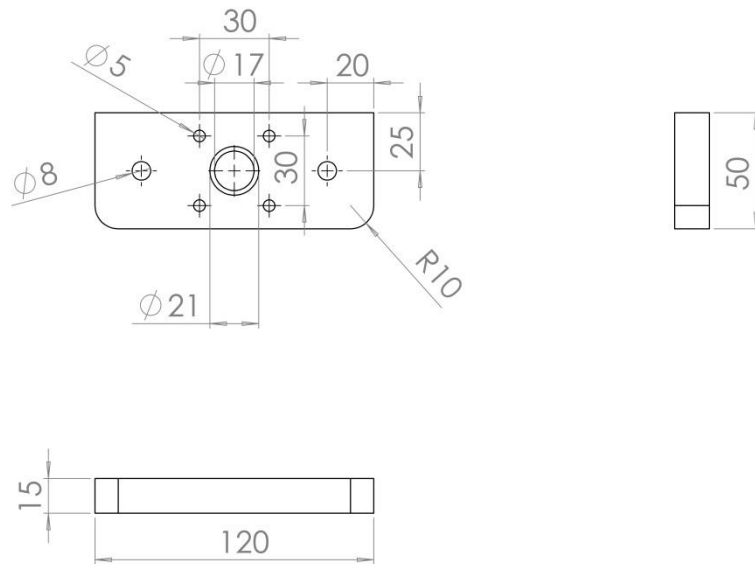


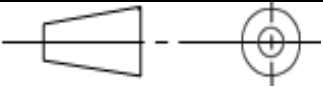


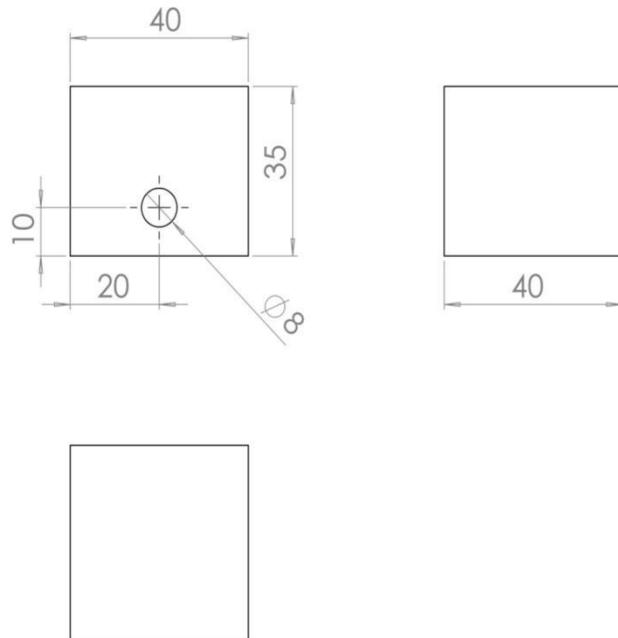
A4	Université BLIDA 1	FMP_Master 2
Echelle: 1:5	TABLE	Réalisé par: DJILLALI BENILA ZAKARIA KOURIFA
		Projet de fin d'études 2023/2024



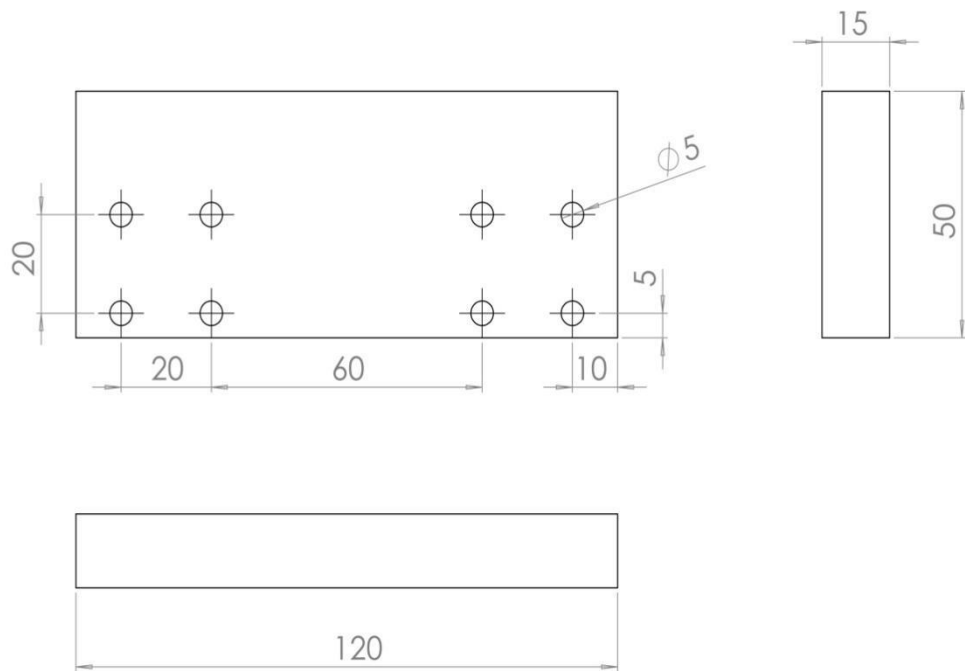
A4	Université BLIDA 1	FMP_Master 2
Echelle: 1:5	SUPPORT DU PROTIQUE ET PLAQUE DE MONTAGE DE GLISSIERE ET MOTEUR	Réalisé par: DJILLALI BENILA ZAKARIA KOURIFA
		Projet de fin d'études 2023/2024

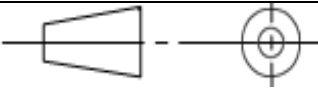


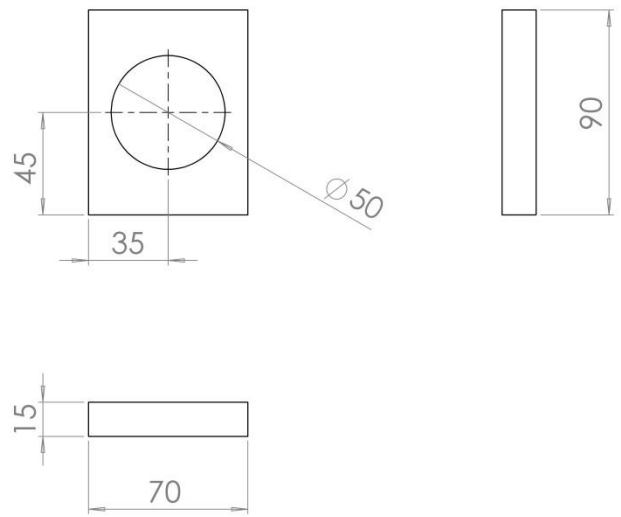
A4	Université BLIDA 1	FMP_Master 2
Echelle: 1:5	PLAQUE DE SUPPORT SUR L'AXE Z DE MOTEUR ET GLISSIERE	Réalisé par: DJILLALI BENILA ZAKARIA KOURIFA
		Projet de fin d'études 2023/2024



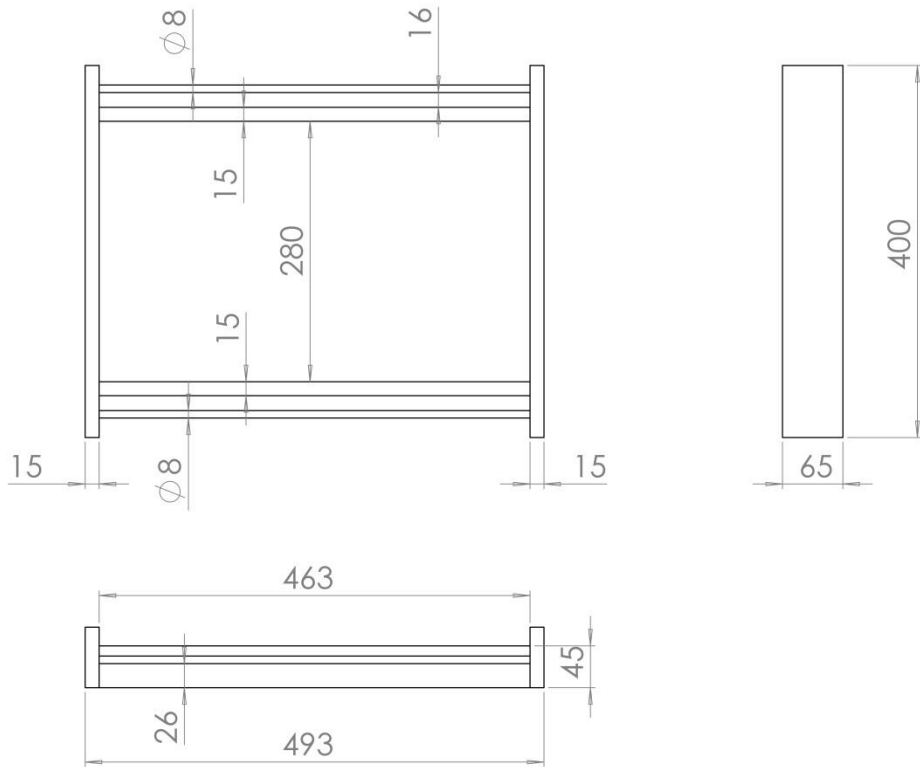
A4	Université BLIDA 1	FMP_Master 2
Echelle: 1:5	Support de vis trapézoïdale de l'axe X	Réalisé par: DJILLALI BENILA ZAKARIA KOURIFA
		Projet de fin d'études 2023/2024

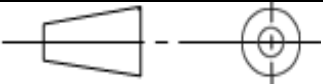


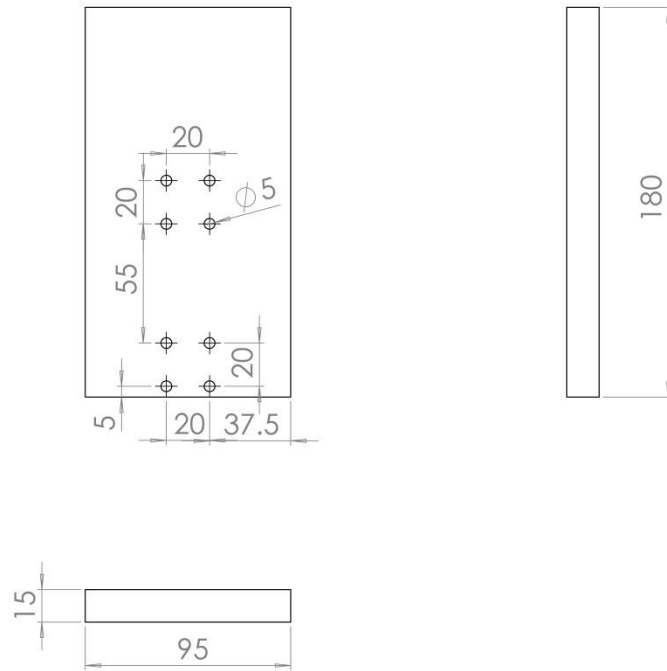
A4	Université BLIDA 1	FMP_Master 2
Echelle: 1:5	support Le porte outil	
		



A4	Université BLIDA 1	FMP_Master 2
Echelle: 1:5		Réalisé par: DJILLALI BENILA ZAKARIA KOURIFA
		<p style="text-align: center;">Porte outil</p> <p>Projet de fin d'études 2023/2024</p>



A4	Université BLIDA 1	FMP_Master 2
Echelle: 1:5	<h1>Châssis</h1>	Réalisé par: DJILLALI BENILA ZAKARIA KOURIFA
		Projet de fin d'études 2023/2024



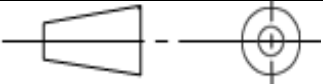
A4	Université BLIDA 1	FMP_Master 2
Echelle: 1:5	PLAQUE DE SUPPORT DE L'AXE Z	Réalisé par: DJILLALI BENILA ZAKARIA KOURIFA
		Projet de fin d'études 2023/2024



Photo A. 1: Assemblage semi final de la machine



Photo A. 2: final de la machine

