

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

Thème

**Etude et réalisation d'une machine CNC à trois axes
(Gravure sur bois)**

Devant le jury composé de :

LARGOT Soulef

BACHIR Zine

GUERFI Youcef

Président

Examineur

Encadreur

Présenté par :

- FAR Ismail

- KIATI Ishak

- CHEKIMA Antar

2019-2020

Remerciement

Tout d'abord, je remercie "Allah" Tout-Puissant qui m'a donné le courage, la volonté et la force de faire ce modeste travail. Merci de m'avoir éclairé sur le chemin du succès.

Je tiens à remercier très chaleureusement et nos profondes gratitudes, d'avance aux membres du jury qui feront l'honneur d'évaluer ce travail de fin d'études.

*Ces remerciements vont tout d'abord au corps professoral et administratif du département « Génie mécanique », Nous remercions sincèrement mon cher professeur **Dr Guerfi Youcef**, maître de conférence à la faculté Technologie, qui, en tant que Directeur de mémoire, pour les conseils précieux durant étude et la réalisation de ce travail.*

Enfin, on exprime notre reconnaissance envers toute notre famille, tous nos amis, camarades et envers tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail, en particulier ceux que nous n'avons pas cités, ils resteront toujours dans notre cœur.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*A mes parents, à mes frères et sœurs pour votre soutien
absolument inconditionnel.*

A toute ma famille grande et petite.

A tous mes amis que j'aime et que je respecte beaucoup.

A toute la promotion 2020.

A tous ceux que j'aime.

ISMAIL

Tables de Matières

Remerciement	i
Dédicace.....	ii
Liste des figures	viii
Liste des tableaux	xii
Notations et Abréviations	xiii
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Etat de l'art des Systèmes.....	3
I.1. Introduction	4
I.2. Historique [1,2].	4
I.3. Généralités sur les machines CNC	7
I.3.1. Définition de la commande numérique	7
I.3.2. Origines de la commande numérique.	8
I.3.3. Principe de la commande numérique.....	8
I.3.4. Définition d'une machine CNC	9
I.3.5. Principe de fonctionnement d'une MOCN	9
I.3.5.1 Partie opérative	10
I.3.5.2 Partie commande.....	11
I.4. Les familles des machines à commande numérique	11
I.4.1. Les différents types de MOCN [4].	12
I.4.2 Classification des MOCN [9,10].	12
I.4.2.1 Classification selon la nature de déplacement	13
I.4.2.2 Classification des MOCN selon le mode de fonctionnement	13
A) Fonctionnement en boucle ouvert	13
B) Fonctionnement avec commande adaptative	14
C) Fonctionnement en boucle fermé	14
I.4.2.3 Classification des MOCN selon le nombre d'axe.....	15
I.4.2.4 Classification des MOCN selon le mode d'usinage [11].	16
A) Commande numérique point à point	17
B) Commande numérique par axiale	17
C) Commande numérique de contournage	17
I.5. Domaine d'utilisation de MOCN	17
I.6. Avantages et inconvénients liés aux MOCN.....	18
I.7. La machine à commande numérique a trois axes.....	19
I.7.1. La structure d'une machine CNC [4].	19
I.7.2. Le système électronique	20
I.7.3. Le système mécanique.....	20
I.7.4. Le système de programmation.....	21
I.8. La conception assistée par ordinateur (CAO)	21

I.8.1. Définition.....	21
I.8.2. Principe et utilisation de la CAO.....	21
I.8.3. Quelque Logiciels de CAO.....	22
I.9. Fabrication assistée par ordinateur (FAO)	22
I.9.1. Définition.....	22
I.9.2. Quelque Logiciels de FAO	22
I.10. Conclusion.....	23
Chapitre II : Étude de projet	24
II.1. Introduction.....	25
II.2. Présentation du système	25
II.2.1. machine CNC à trois axes (Gravure sur bois).....	25
II.2.2. La gravure	26
II.2.3. Les parties de la Machine CNC.....	26
II.3. Analyse fonctionnelle de la machines CNC	27
II.3.1. Diagramme Pieuvre.....	27
II.3.2. Diagramme FAST	29
II.4. Etudier le système de transmission	31
II.4.1. Définition [18].....	31
II.4.2. Système Vis Erou	31
II.4.2.1 Définition [19].	31
II.4.2.2 Fonction	32
II.4.2.3 Schématisation.....	33
II.4.2.4 Modélisation [19].	33
A) Torseur cinématique	33
B) Torseur statique	34
II.4.3. Etude d'une liaison hélicoïdale réelle	34
II.4.3.1 La vis progresse contre la charge axiale	34
A) Diagramme des efforts	34
B) Bilan des efforts.....	35
II.4.3.2 La vis progresse dans le sens de la charge axiale	35
II.4.3.3 Rendement du système vis écrou.....	36
II.4.4. Étude du Roulement [20].	36
II.5. Etude géométrique et modélisation.....	37
II.5.1. Étude initiale (préparatoire) du Système	37
II.5.2. Etude mécanisme le mouvement de l'axe X.....	39
II.5.2.1 Etude géométrique de mécanisme le mouvement de l'axe X	39
A) Sujet d'étude	39
B) Etude Cinématique	39
II.5.2.2 Modélisation de mécanisme le mouvement de l'axe X.....	41
A) Caractéristiques et données	41
B) équation déplacement	41
C) équation de la vitesse	41
D) équation de la force ($F_{t,x}, F_{a,x}, F_{f,x}, F_x$).....	42
E) équation de la puissance ($P_{m,x}, P_{u,x}$).....	42

F) équation de Rendement (η)	42
II.5.3. Etude mécanisme le mouvement de l'axe Y	43
II.5.3.1 Etude Géométrique de mécanisme le mouvement de l'axe Y	43
A) Sujet d'étude	43
B) Etude Cinématique	43
II.5.3.2 Modélisation de mécanisme le mouvement de l'axe Y.....	45
A) équation déplacement	45
B) équation de la vitesse	45
C) équation de la force ($F_{t,y}, F_{a,y}, F_{f,y}, F_y$).....	46
D) équation de la puissance ($P_{m,y}, P_{u,y}$)	46
E) équation de Rendement (η).....	46
II.5.4. Etude Mécanisme le mouvement de l'axe Z.....	47
II.5.4.1 Etude Géométrique de mécanisme le mouvement de l'axe Z.....	47
A) Sujet d'étude	47
B) Etude Cinématique	47
II.5.4.2 Modélisation de mécanisme le mouvement de l'axe Z.....	49
A) équation déplacement	49
B) équation de la vitesse	49
C) équation de la force ($F_{t,z}, F_{a,z}, F_p, F_z$).....	49
D) équation de la puissance ($P_{m,z}, P_{u,z}$).....	50
E) équation de Rendement (η).....	50
II.5.5 Schématisation	50
II.6. La méthodologie de programmation.....	51
II.6.1. Programmation	51
II.6.1.1 Définition.....	51
II.6.1.2 Les différents modes de programmation [24].....	52
A) Le langage ISO.....	52
B) Le langage conversationnel sur pupitre de la C.N.....	52
C) Les langages de haut niveau	53
D) Programmation automatique par une F.A.O.	53
II.6.1.3 Création d'un programme CN.....	53
A) Préparer le dessin de la pièce	53
B) Définir le déroulement des opérations d'usinage.....	53
C) Définir la gamme de fabrication.....	53
D) Traduire les opérations dans le langage de programmation	54
E) Regrouper toutes les opérations en un programme.....	54
II.6.1.4 Programmation en G-code.....	54
A) G-Code (Gcode), C'est quoi ? [25].	54
B) Pour quelle utilisation.....	55
C) Structure spécifique d'un programme CN [26].....	55
D) Structure générale d'un programme ISO	59
E) Exemple(1).....	60
F) Exemple(2) [26].	60
II.6.2. Configuration	61
II.6.2.1 Le fichier GRBL [4].	61
II.6.2.2 Schéma de pin pour grbl.....	62

II.6.2.3 Paramètres de grbl	62
II.7 Conclusion	63
Chapitre III : Simulation et Réalisation.....	64
III.1. Introduction	65
III.2. Informations et résumé du plan de projet	65
III.2.1. Étapes du développement d'un projet	65
III.2.2. Classification de la MOCN	66
III.2.3. Caractéristiques de la machine CNC à trois axes	66
III.2.4. Le programme utilisé pour Dessin et la planification	67
III.3. Conception et Réalisation la machine CNC à 3 axes	68
III.3.1. Conception et Réalisation la partie mécanique	68
III.3.1.1 La base de machines.....	69
A) Le premier groupe	70
B) Le deuxième groupe	70
III.3.1.2 Moteur et outils de gravure	70
III.3.1.3 liaison mécaniques	71
A) liaison Encastrement.....	71
B) liaison Pivot	71
C) liaison Glissière	72
III.3.1.4 Mécanisme de transmission.....	72
A) Les moteur pas à pas	73
B) Accouplement.....	73
C) Ecrou spécial.....	73
D) la Vis.....	74
III.3.1.5 Mécanisme Le mouvement de l'axe X	74
A) Structure générale de Mécanisme de l'axe X.....	75
B) Mécanisme de transmission de l'axe X.....	75
III.3.1.6 Mécanisme Le mouvement de l'axe Y	76
A) Structure générale de Mécanisme de l'axe Y.....	76
B) Mécanisme de transmission de l'axe Y	77
III.3.1.7 Mécanisme Le mouvement de l'axe Z.....	77
A) Structure générale de Mécanisme de l'axe Z	78
B) Mécanisme de transmission de l'axe Z	78
III.3.1.8 la Machine CNC à trois axes.....	79
III.3.1.9 Logiciel utilisé pour Conception 3D	80
III.3.2. Composants et Réalisation la partie électrique	80
III.3.2.1 La carte Arduino UNO	81
III.3.2.2 La porte série USB [32].	81
III.3.2.3 Circuit électrique (CNC shield V3).....	82
III.3.2.4 Driver de Moteurs pas à pas 'A4988'	82
III.3.2.5 Moteurs pas à pas	83
A) Moteur à aimant permanent unipolaire	83
B) fonctionnement d'un moteur pas à pas unipolaire.....	84
III.3.2.6 boîte d'alimentation variable	86
III.3.2.7 Transformateur 12 volt.....	86

III.3.2.8 Schéma électrique	87
III.3.3. La partie commande.....	88
III.3.3.1 Programmation de base	88
A) Logiciel arduino	88
B) Étapes pour télécharger le programme Grbl sur la carte Arduino	89
III.3.3.2 Configuration	90
A) Logiciel de contrôle de la machine.....	90
B) Configuration la Machine CNC à trois axes.....	91
III.3.3.3 Programmation de fichiers G-code [36].....	92
III.3.3.4 Chaîne de commande et programmation.....	94
III.4. Simulation de la Machine CNC à trois axes.....	95
III.4.1. Le logiciel PROTEUS.....	95
III.4.1.1 définition	95
III.4.1.2 PROTEUS ISIS	95
III.4.2. Étapes de simulation la commande numérique et électrique	96
III.4.2.1 La première étape	96
III.4.2.2 La deuxième étape.....	96
III.4.2.3 La troisième étape	98
III.5. Résultats de la simulation	98
III.5.1. Le but de la simulation.....	98
III.5.2. Le signal entre logiciel de contrôle et Microcontrôleur.....	99
III.5.3. Le signal entre Microcontrôleur et Driver de Moteurs	100
III.5.4. Le signal entre Driver de Moteurs et Moteurs pas à pas.....	100
III.6. Étapes pour expérimenter la réalisation du modèle.....	101
III.7. Conclusion	103
Conclusion Générale	104
Références Bibliographiques.....	105
Annexes A.....	108
Annexes B.....	114
B.1 Les paramètres de coupe	114
B.1.1. Principe.....	114
B.1.2. Analyse.....	114
B.1.3. Vitesse de coupe.....	115
B.1.4. Détermination de la fréquence de rotation	115
B.1.5. Avance.....	115
Annexes C.....	116
C.1 Les composants électroniques et électriques	116
C.1.1. Moteur pas à pas M49sp-2k	116
C.1.2. carte Arduino.....	116
C.1.3. Driver A4988.....	117
C.1.4. CNC shield	118
C.1.5. moteur DC 755.....	118
Résumé	120

Liste des figures

Figure I.1 : Le tour à pédale.....	5
Figure I.2 : Première MOCN en 1952 [3].....	6
Figure I.3 : architecture d'une MOCN [6].	10
Figure I.4 : Les éléments de la partie opérative [7].	11
Figure I.5 : Fonction originale d'une commande numérique.	11
Figure I.6 : Fonctionnement en boucle ouvert.	13
Figure I.7 : Commande adaptative.....	14
Figure I.8 : Commande en boucle fermée.....	15
Figure I.9 : Axes Primaires Et Axes Additionnels.....	16
Figure I.10 : Trajectoires en positionnement point à point.	17
Figure I.11 : Fraisage paraxiale.	17
Figure I.12 : Opération de contournage tournage.	17
Figure I.13 : Machine à commande numérique à trois axes [13].....	19
Figure I.14 : structure mécanique d'une machine CNC [4].....	20
Figure II.1 : Conception la machine CNC à trois axes (MOCN).	25
Figure II.2 : gravure de bois par une MOCN [16].....	26
Figure II.3 : Graphe de partie de la Machine CNC à trois axes.....	26
Figure II.4 : Diagramme de la pieuve.....	27
Figure II.5 : Diagramme FAST [17].....	29
Figure II.6 : Diagramme FAST de la fonction principale.	31
Figure II.7 : transmission avec transformation de mouvement.	31
Figure II.8 : Transmettre Une Puissance.	31
Figure II.9 : Dessin géométriques de la vis.	33
Figure II.10 : Diagramme des efforts [19].....	34
Figure II.11 : Diagramme des efforts de filetage triangulaire.	35
Figure II.12 : Diagramme des efforts de roulements [20].	36
Figure II.13 : Limites de mouvement de la machine CNC à 3 axes.	37
Figure II.14 : Les composants de base d'une machine CNC à 3 axes.	38
Figure II.15 : Mécanisme Le mouvement de l'axe X.....	39
Figure II.16 : Les composants de Mécanisme Le mouvement de l'axe X.	39
Figure II.17 : La chaine cinématique du mécanisme le mouvement de l'axe X.	40

Figure II.18 :	Graphe de liaison de ce mécanisme le mouvement de l'axe X.....	40
Figure II.19 :	Schéma cinématique de mécanisme le mouvement de l'axe X.	40
Figure II.20 :	Mécanisme Le mouvement de l'axe Y	43
Figure II.21 :	Les composants de Mécanisme Le mouvement de l'axe Y.	43
Figure II. 22 :	La chaine cinématique du mécanisme le mouvement de l'axe Y.	44
Figure II.23 :	Graphe de liaison de ce mécanisme le mouvement de l'axe Y.....	44
Figure II.24 :	Schéma cinématique de mécanisme le mouvement de l'axe Y.	44
Figure II.25 :	Le nombre de moteurs utilisés pour déplacer l'outil dans le sens de l'axe Y. ..	45
Figure II.26 :	Mécanisme Le mouvement de l'axe Z.	47
Figure II.27 :	Les composants de Mécanisme Le mouvement de l'axe Z.....	47
Figure II.28 :	La chaine cinématique du mécanisme le mouvement de l'axe Z.....	48
Figure II.29 :	Graphe de liaison de ce mécanisme le mouvement de l'axe Z.	48
Figure II.30 :	Schéma cinématique de mécanisme le mouvement de l'axe Z.....	48
Figure II.31 :	Schéma cinématique de la machine CNC.	50
Figure II.32 :	Méthodes comparées de programmation [24].	51
Figure II.33 :	Format d'un programme pour ligne [27].	55
Figure II.34 :	Structure d'un programme ISO [24].	59
Figure II.35 :	Exemple d'un programme simple [24].	60
Figure II.36 :	Exemple d'un programme simple de FRAISAGE CNC [26].	60
Figure II.37 :	Schéma de Pin pour Grbl [28].	62
Figure II.38 :	Paramètres defaults de Grbl [28].	63
Figure III.1 :	Le principe de base pour l'établissement du projet.	65
Figure III.2 :	Classement de la Machine CNC à trois axes.	66
Figure III.3 :	Logiciel CorelDRAW (2020).	67
Figure III.4 :	Parties principales et Sous-éléments de la machine CNC.	68
Figure III.5 :	l'arbre de construction en Fusion360.	69
Figure III.6 :	La base de machines.....	69
Figure III.7 :	Le rail de guidage linéaire.....	70
Figure III.8 :	Support de coupe.....	70
Figure III.9 :	Moteur et outils de gravure.	70
Figure III.10 :	Vis et Ecrou.....	71
Figure III.11 :	Roulements installée de bague extérieure.	71
Figure III.12 :	Roulements et Le rail de guidage linéaire.....	72

Figure III.13 : Mécanisme de transmission linéaire.	72
Figure III.14 : moteur pas à pas.	73
Figure III.15 : Accouplement semi-élastique.	73
Figure III.16 : Ecrou spécial.	73
Figure III.17 : la Vis.	74
Figure III.18 : Mécanisme Le mouvement de l'axe X.	74
Figure III. 19 : Structure générale de Mécanisme de l'axe X.	75
Figure III.20 : Mécanisme de transmission de l'axe X.	75
Figure III.21 : Mécanisme Le mouvement de l'axe Y.	76
Figure III.22 : Structure générale de Mécanisme de l'axe Y.	76
Figure III.23 : Mécanisme de transmission de l'axe Y.	77
Figure III.24 : Mécanisme Le mouvement de l'axe Z.	77
Figure III.25 : Structure générale de Mécanisme de l'axe Z.	78
Figure III.26 : Mécanisme de transmission de l'axe.	78
Figure III.27 : la Machine CNC à trois axes.	79
Figure III.28 : Autodesk Fusion 360.	80
Figure III.29 : Arduino UNO R3 MEGA328P.	81
Figure III.30 : Câble USB.	81
Figure III.31 : CNC shield V3.	82
Figure III. 32 : Driver A4988.	82
Figure III.33 : Schéma montage du Driver de Moteurs pas à pas [33].	83
Figure III.34 : Stepper Motors M49SP-2K.	83
Figure III.35 : schématique d'un moteur unipolaire [32].	83
Figure III.36 : position de moteur pas à pas [33].	84
Figure III.37 : Principe du moteur pas à pas [32].	84
Figure III.38 : Type d'étape du moteur pas à pas.	84
Figure III.39 : changement d'état du mode Biphase.	85
Figure III.40 : Le circuit de commande du moteur électrique.	86
Figure III.41 : Chargeur 12 volt.	86
Figure III.42 : Schéma électrique principale.	87
Figure III.43 : Schéma électrique générale.	87
Figure III.44 : Présentation du logiciel Arduino (IDE).	88
Figure III.45 : Étapes pour ouvrir la page du programme Grbl.	89

Figure III.46 : Étape de sélection des informations de la carte Arduino.	90
Figure III.47 : Étape pour élever un programme Grbl sur l'Arduino.	90
Figure III.48 : Explication de l'interface de l'Universal Gcode sender (V2).	91
Figure III.49 : Paramètres configuration de la Machine CNC à trois axes.	92
Figure III.50 : Interface logiciel ArtCAM 2018.	93
Figure III.51 : Schéma de Chaîne le commande de machine CNC à 3 axes.	94
Figure III.52 : Logiciel PROTEUS V8.9.	95
Figure III.53 : Nouvelle page de projet en PROTEUS ISIS.	95
Figure III.54 : simulation le circuit électrique en Proteus.	96
Figure III.55 : Paramètres Arduino UNO en Proteus.	96
Figure III.56 : Paramètres moteur pas à pas en Proteus.	97
Figure III.57 : Paramètres l'adaptateur d'information en Proteus.	97
Figure III.58 : Paramètres de Virtual Serial Port Emulateur.	97
Figure III.59 : Application de simulation et allumage le circuit électrique.	98
Figure III.60 : Diagramme partage et transfert d'informations.	98
Figure III.61 : Angle du moteur avant d'appliquer la commande.	99
Figure III.62 : L'angle du moteur change après l'application de la commande.	99
Figure III.63 : Lisez le signal entre Microcontrôleur et Driver de Moteurs.	100
Figure III.64 : Lisez le signal entre Driver de Moteurs et Moteurs pas à pas.	101
Figure III.65 : Caractéristiques de l'outil de coupe.	102
Figure III.66 : Étapes pour expérimenter la réalisation du modèle.	103
Figure B.1 : Les paramètres de coupe	114
Figure B.2 : Diagramme des définir les paramètres de la coupe	114
Figure C.1 : Dimensions de Moteur pas à pas (mm)	116
Figure C.2 : carte Arduino uno	116
Figure C.3 : Driver A4988	117
Figure C.4 : CNC shield V3.	118
Figure C.5 : moteur DC 755	118

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les différentes étapes de développement de la CN [2].	6
Tableau I.2 : Classification suivant le nombre d'axe [11].	15
Tableau I.3 : Avantages et inconvénients des MOCN [8].	18
Tableau II.1 : Cahier des charges fonctionnel machines CNC.	28
Tableau II.2 : La relation entre Rendement et le Puissance.	32
Tableau II.3 : Possibilité de mouvement Vis Ecou. .	32
Tableau II.4 : Schématisons Vis Ecou [19].	33
Tableau II.5 : Caractéristiques de Vis M6 [21].	41
Tableau II.6 : Common G Codes (avec certaines extensions non standardisées) [26].	57
Tableau III.1 : Caractéristiques de la machine CNC à 3 axes.	66
Tableau III.2 : Composants électrique de la machine CNC à trois axes.	80
Tableau III.3 : Ordre des différentes commandes pour moteur unipolaire.	85
Tableau III.4 : Paramètres de coupe en fonction du type de bois.	101
Tableau A.1 : Paramètres et configuration de grbl [38].	108
Tableau C.1 : Informations sur le moteur pas à pas	116
Tableau C.2 : Informations sur la carte Arduino uno	117
Tableau C.3 : Informations sur le Driver A4988	117
Tableau C.4 : Informations sur la CNC shield V3.	118
Tableau C.5 : Informations sur le moteur DC 755	119

Notations et Abréviations

P	puissance en watt (W)
C	couple (Nm)
ω	vitesse angulaire (rad/s)
F	force en Newtons (N)
V	vitesse linéaire (m/s)
α	Angle d'inclinaison de l'hélice.
R_{moy}	Rayon moyen de la vis
d_{moy}	Diamètre moyen de la vis.
P	Pas en mm/tr.
β	Demi-angle au sommet du filet trapézoïdal.
$\dot{x} = v_x$	vitesse linéaire de l'axe X
$\dot{\theta} = \omega_x$	vitesse angulaire de l'axe X
x	Déplacement de l'axe X
θ	Angle de moteur de l'axe X
P_i	La puissance interne
$\tau_{V/E}$	Couple (Nm)
$L_{E/V}$	Force en Newtons (N)
f	Coefficient de frottement.
F_a	Charge axiale.
F_t	Charge tangentielle
R	Action de contact avec l'écrou
N	Action normale de contact
T	Action tangentielle de contact
P_m	La puissance de moteur
C_m	Couple de moteur
ω_m	vitesse angulaire de moteur
P_u	La puissance de sortie (utile)
η	Rendement du système vis écrou
F	Le coefficient de résistance au roulement
n_x	Le nombre maximum de pas le long de l'axe X

$S_{max,x}$	Le nombre maximum Step de moteur le long de l'axe X
n	vitesse de rotation (tr/min)
ω_{mx}	vitesse angulaire de moteur de l'axe X
$F_{t,x}$	Charge tangentielle de l'axe X
$F_{a,x}$	Charge axiale de l'axe X
μ	Coefficient de frottement du roulement
$P_{m,x}$	La puissance de moteur de l'axe X
$P_{u,x}$	La puissance de sortie (utile) de l'axe X
η_x	Rendement du système vis écrou de l'axe X

Abréviation :

MOCN	Machine Outils à Commande Numérique.
CN	Commande Numérique.
CNC	Commande Numérique par calculateur.
CFAO	Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur.
CAO	Conception Assistée par Ordinateur.
FAO	Fabrication Assistée par Ordinateur.
ISO	Organisation Internationale de normalisation.
FAST	Analyse fonctionnelle de système technique
FT	fonction technique
FS	fonction de service
DC	Courant direct
AC	Courant alternatif
R.A.V.E	Real Animated Vector Effects
PCB	Printed Circuit Board
IDE	Espace de développement intégré
UGS	Universal Gcode sender
D.C.N	Commande Numérique direct
MIT	Massachusetts Institute of Technology
FCN	Fraisage à commande numérique
TCN	Tournage à commande numérique

Introduction générale

Les machines CNC (Computer Numerical Control) permettent d'effectuer automatiquement de nombreuses tâches dans divers domaines d'activité : la gravure et le perçage des circuits imprimés, la réalisation de petites pièces mécaniques, le traçage et la découpe des divers éléments constituant les modèles réduits, et bien d'autres choses encore.

Un nombre sans cesse croissant de modélistes, d'électroniciens et d'autres passionnés utilisent des machines-outils contrôlées numériquement. Ces petites machines, le plus souvent des fraiseuses, permettent d'obtenir un résultat de qualité quasi professionnelle. Mais ces machines étant d'un prix d'achat souvent très élevé, beaucoup d'utilisateurs les conçoivent et les réalisent eux-mêmes. La plupart des machines CNC possèdent trois axes, mais il existe des modèles à quatre, voire cinq axes. Les modèles à trois axes sont souvent suffisants dans la majorité des applications.

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

La révolution industrielle qui avait débuté par la création des outils de l'industrie traditionnelle et autres, et ensuite ces outils furent développés en machines semi-automatiques puis en machines automatiques qui fonctionnaient à l'aide de l'ordinateur et programmes spéciaux en transférant les instructions de la partie commande vers la partie opérationnelle de la machine.

L'existence des cartes électroniques programmables comme l'Arduino, le DSP, FPGA...etc permet de commander et contrôler n'importe quel système ou machine tel que les CNC.

Notre projet est basé sur l'étude et la réalisation d'une machine CNC à trois axes (Gravure sur bois). Pour atteindre les objectifs fixés nous avons structuré ce mémoire comme suit :

Dans le premier chapitre, nous allons présenter l'état de l'art de notre projet, on a commencé par les différentes étapes de développement de la CN comme une partie historique, et la généralité sur les machines CNC puis les classifications et les familles des machines à commande numérique et finalement nous proposons la machine à commande numérique à trois axes ainsi que la conception et la fabrication assistée par ordinateur (CAO).

Au second chapitre, nous présentons une étude générale de la fraiseuse «machines CNC à 3 axes» (composants de la machine, mécanisme de travail, modélisation géométrique et mécanique) et extrayons les propriétés mécaniques, en plus l'étudier la méthode de programmation de la machine.

À partir de ce moment, il est devenu possible de réaliser directement la machine.

Le troisième chapitre est consacré à la simulation et la réalisation de notre projet, pour se faire nous avons fourni de nombreuses informations détaillées et importantes sur une machine CNC à 3 axes.

Où nous avons réalisé la machine sur la base des résultats de l'étude du chapitre II, puis nous avons abordé sa simulation et la vérification des résultats. Enfin, nous avons présenté une application de test réelle de la machine et les résultats ont été très satisfaisants.

Finalement, une conclusion générale résumera tous les résultats obtenus dans ce présent mémoire.

Chapitre I : Etat de l'art des Systèmes

I.1. Introduction

Ces dernières années, le contrôle des machines électriques a connu de grands progrès, et cela est dû à la quantité de développements technologiques que les humains ont atteints dans l'industrie mécanique et ce a travers les différentes phases et époques a commencé par la révolution industrielle qui avait débuté par la création des outils de l'industrie traditionnelle et autres, et ensuite ces outils furent développés en machines semi-automatiques puis en machines automatiques qui fonctionnaient à l'aide de ordinateur et programmes spéciaux qui faisait fonctionner l'opération (d'industrialisation) transférant les instructions de la partie commande vers la partie opérationnelle de la machine par le biais de câbles spéciaux de connexion par ordinateur (CNC), qui intègrent un ou plusieurs ordinateurs spécifiques pour réaliser tout ou 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.

Aujourd'hui, de plus en plus étroitement associée aux progrès de la micro-électronique et de l'informatique, la CN voit ses performances et sa convenabilité augmenter régulièrement tandis que, en revanche, son prix et son encombrement ne cessent de diminuer.

Ce chapitre traite des connaissances fondamentales relatives à la commande Numérique et les machines-outils à commande numérique et Il donne un aperçu de la technologie MOCN, citant la classification, l'architecture et la programmation des MOCN pour différentes commandes.

I.2. Historique [1,2].

De simples boules d'argile sont transformées en vase par les tours des potiers 3500 ans avant Jésus-Christ, ce sont les premières machines-outils. Des rondins deviennent des quilles et des boules sur le tour à bois. Les objets uniques que les artisans fabriquent au tour à pédale ou à manivelle font place aux milliers de pièces identiques réalisées par des machines-outils de plus en plus perfectionnées.

Précises et rapides, les nouvelles machines numériques sont pilotées par ordinateur et remplacent le savoir-faire de l'ouvrier.

Les travaux menés par Falcon et Jacquard à la fin du XVIIIe siècle ont démontré qu'il était possible de commander les mouvements d'une machine à partir d'informations transmises par une carte perforée.

Cette technique fut étendue à leurs métiers à tisser de 1805 lequel équipement est considéré

comme l'ancêtre de la commande numérique après quoi l'exploitation industrielle de la CN devient rattachée au développement de l'électronique.

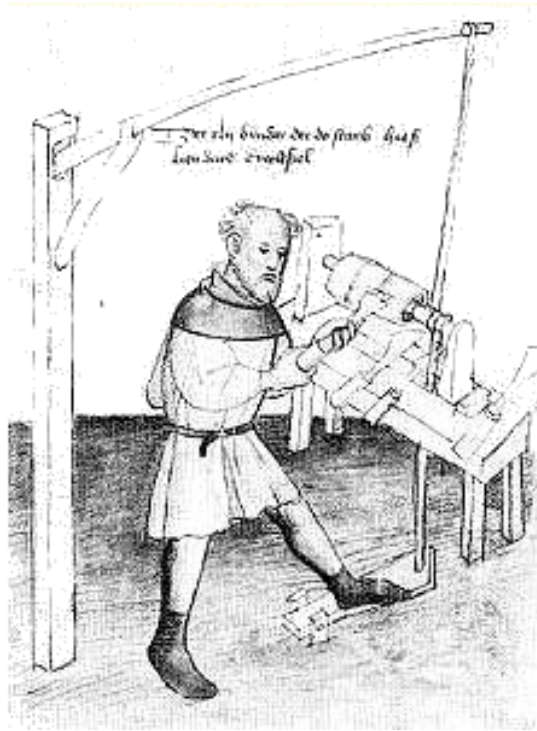


Figure I.1 : Le tour à pédale

En 1947, 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. 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 figure I.1, conçue pour exécuter des déplacements simultanés suivant 3 axes, est officiellement présentée en septembre 1952 figure I.1 dans le Servo mechanism 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 MOCN réellement opérationnelle. les différentes étapes de développement de la CN sont les suivantes.

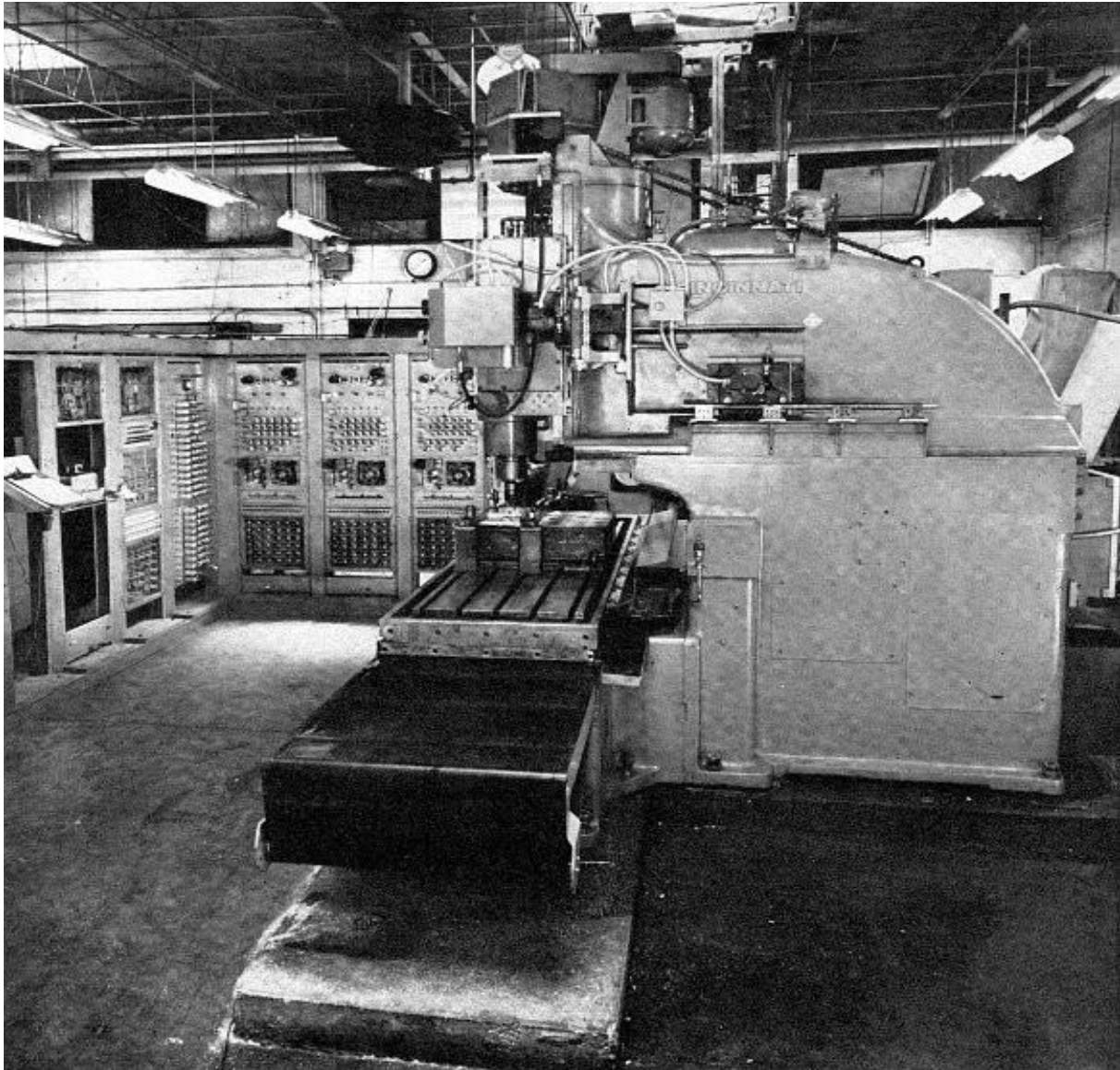


Figure I.2 : Première MOCN en 1952 [3].

Tableau I.1 : Les différentes étapes de développement de la CN [2].

Année	Les différentes étapes de développement de la CN.
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 Programed Tools).
1960	apparition du système DNC (Direct Numerical Control).

1964	en France, la Télémécanique Electrique lance la CN NUM 100 conçue à base de relais Téléstat.
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 logique câblées ; la CN devient CNC.
1976	développement des CN à microprocesseurs.
1984	apparition de fonctions graphiques évoluées et du mode de programmation conversationnel, début de l'ère de la fabrication assistée par ordinateur (FAO).
1986	les CN s'intègrent dans les réseaux de communication, début de l'ère de la fabrication flexible (CIM : computer integrated manufacturing).
1990	développement des CN à microprocesseurs 32 bits.

I.3. Généralités sur les machines CNC

I.3.1. Définition de la commande numérique

Apparue il y a seulement quelques dizaines d'année, la commande numérique CN impose actuellement sa technologie dans le monde de l'usinage. conçue pour piloter le fonctionnement d'une machine à partir des instructions d'un programme sans intervention direct de l'opérateur pendant son exécution, elle a dans un premier temps , permis de franchir un pas important dans l'automatisation des machines-outils traditionnelles comme les fraiseuses, perceuses, aléseuses...etc. et elles sont ainsi devenue capable d'assurer en qualité et en quantité une production à peine imaginable quelques année auparavant [4].

Aujourd'hui, de plus en plus étroitement associé aux progrès de la microélectronique et de l'informatique, la CN voit ses performances augmenter régulièrement tandis que, son prix et son encombrement ne cessent de diminuer.

Elle pénètre, de ce fait dans les petites entreprises et devient accessible à tous les secteurs industriels faisant appel aux procédés de positionnement ou de suivi de trajectoire. Les CN actuelles sont capables d'effectuer des mouvements en combinant simultanément les positions sur les axes X, Y et Z.

Elles s'appellent commande numérique par ordinateur. De plus, elles sont capables de gérer plusieurs axes simultanément. On parle alors d'interpolation.

I.3.2. Origines de la commande numérique.

La Seconde Guerre Mondiale est à peine terminée que les États-Unis en amorcent une autre, la « guerre froide ». L'effort de recherche/développement en matière d'armement est à nouveau relancé. Dans ce contexte, Parsons Works, se voit confier par l'US Air Force la mission d'améliorer la productivité des chaînes de fabrication et plus particulièrement du long, complexe et fastidieux processus de fabrication et de contrôle des surfaces gauches des pales d'hélicoptère. John T. Parsons, aidé de son ingénieur en chef Frank Stulen mènent les études. Ils imaginent différents concepts dont l'un consiste à motoriser les axes des machines concernées. Se pose alors le problème du pilotage de ces moteurs. Ce point les amène à faire appel aux moyens et compétences tout d'abord d'une de leurs filiales, La Parson Corp, spécialisée dans les solutions usant de calculateurs (on appelait ainsi l'ancêtre de l'ordinateur) alimentés en données par des bandes perforées et, d'autre part, à consulter le M.I.T (Massachusetts Institute of Technology). Finalité : commander par un ordinateur (IBM y participera) le déplacement d'une table sur glissières mue par une vis à billes couplée à un moteur électrique. En 1952, le Dr Richard KEGG (Milacron) et le MIT (concepteur des servocontrôleurs) présentent au gratin de l'aéronautique le résultat prometteur de leurs travaux sur une fraiseuse Cincinnati Milacron Hydrotel. Une demande de brevet est aussitôt déposée par précaution au bureau des brevets américain (USPTO) par Parson et Stulen, qui l'accepte sous le n° 2,820,187.

Sur la base des succès précédents et après avoir travaillé pendant cinq ans à industrialiser le concept (affinage des tout premiers concepts de programmation de trajectoires avec interpolation axiale), Parson et Stulen confirment le brevet le 14 janvier 1958 par un brevet intitulé « Motor Controlled Apparatus for Positioning Machine Tool » qui sonne la naissance commerciale de cette technologie. General Electric sera historiquement le premier fabricant industriel de commandes numériques, rejoint en 1962 par son voisin japonais, FANUC. En 1964, les États-Unis comptaient 35 000 machines à commande numérique [5].

I.3.3. Principe de la commande numérique.

La commande numérique a pour tâche de générer des mouvements d'axes. Ces instructions qui viennent du programme pièce ou de l'opérateur machine consisteront en une position et une vitesse de déplacement. Le processeur de la commande numérique va alors générer une consigne afin qu'on puisse commander les moteurs d'axes. Elle aura également pour tâche,

lors du déplacement des axes, de vérifier la position de ces derniers et dans certain cas, la vitesse de déplacement. Les commandes numériques actuelles sont capables d'effectuer des mouvements en combinant simultanément les positions sur les axes X, Y et Z.

Elles s'appellent commande numérique par calculateur. De plus, elles sont capables de gérer plusieurs axes simultanément. On parle alors d'interpolation. Cette dernière peut être linéaire ou circulaire selon la consigne générée par le microcontrôleur de la partie commande. Le rôle de ce processeur est d'interpréter un code machine que l'on appelle un code G, puis de générer les signaux de commande des axes et de la broche [6].

I.3.4. Définition d'une machine CNC

C'est une machine totalement ou partiellement automatique à laquelle les ordres sont communiqués grâce à des codes qui sont portés sur un support matériel (disquette, USB, ...). Lorsque la machine-outil est équipée d'une commande numérique capable de réaliser les calculs des coordonnées des points définissant une trajectoire (interpolation), on dit qu'elle est à calculateur. Elle est appelée CNC (Commande Numérique par Calculateur).

Le premier rôle d'une machine CNC (Computerized Numerical Control), est de générer des mouvements. Elle recevra des valeurs de positionnement, de vitesse et d'accélération et générera, suite à un traitement, des consignes numériques en sortie. Elle dispose d'une grande puissance de calcul et d'une plus grande souplesse d'utilisation qu'un automate programmable. Ce dernier est néanmoins qu'un complément de la commande CNC pour ce qui est de la gestion des entrées telles que : interrupteur, bouton d'arrêt d'urgence, ...etc.. En résumé, la commande CNC va générer des mouvements selon des consignes numériques [4].

I.3.5. Principe de fonctionnement d'une MOCN

La machine-outil est équipée d'une commande numérique capable de réaliser les calculs des coordonnées des points définissant une trajectoire (interpolation), on dit qu'elle est à calculateur. Elle est appelée CNC (Commande Numérique par Calculateur). La plupart des MOCN sont des CNC [4].

La machine-outil à commande numérique forme un ensemble comprenant : une partie commande et une partie opérative, tel qu'elle est représentée dans la figure I.3.

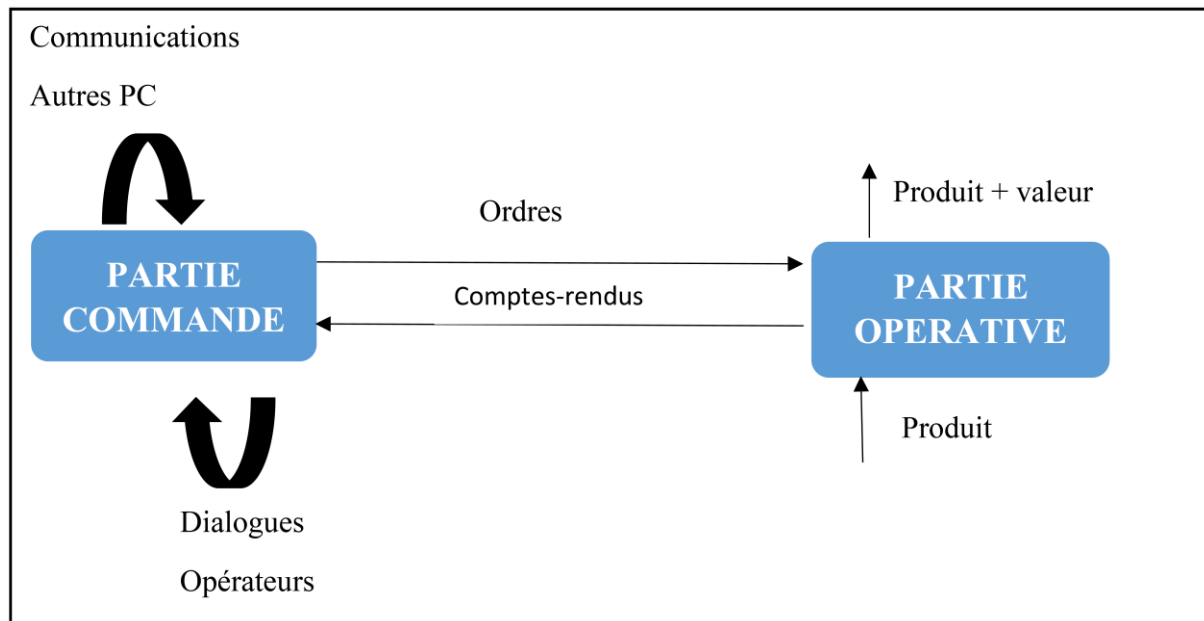


Figure I.3 : *architecture d'une MOCN [6].*

La machine-outil à commande numérique forme un ensemble comprenant :

I.3.5.1 Partie opérative

La partie opérative d'un automatisme est le sous-ensemble qui effectue les actions physiques (déplacement, usinage, lubrification...), mesure des grandeurs physiques (accélération, vitesse...) et rend compte à la partie commande, elle est généralement composée d'actionneurs, de capteurs, d'effecteurs et d'un bâti.

D'où la partie opérative reçoit les ordres de la partie commande et les exécute [7].

Les mouvements sont commandés par des moteurs presque comparables à une machine outil classique, et elle comprend :

- Une base, assurant l'indépendance de la machine au sol,
- Un bâti, dont les larges glissières sont en acier traité,
- Un support outil (broche, torche, laser, jet d'eau ...),
- Une table support pièce, mobile selon 2 ou 3 axes, équipée de système de commande à vis et écrou à bille.
- Des moteurs chargés de l'entraînement de la table,
- Un élément de mesure ou capteur de position renseignant à tout moment sur la position du mobile sur chaque axe,
- Une dynamo tachymétrique assurant la mesure de la vitesse de rotation [8].

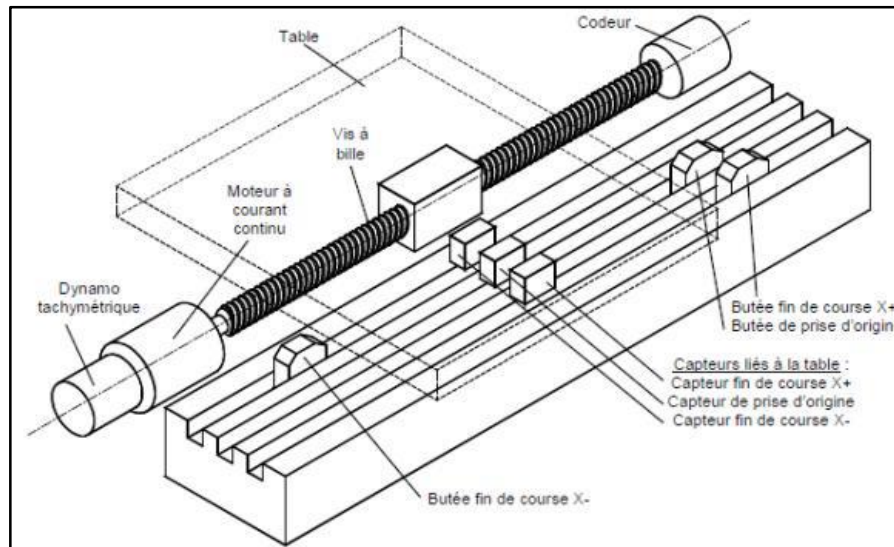


Figure I.4 : Les éléments de la partie opérative [7].

I.3.5.2 Partie commande

La fonction de la partie commande est de transformer les informations codées du programme en ordres aux servomécanismes de la partie opérative, afin d'obtenir les déplacements des organes mobiles, voir Figure I.5 [6].

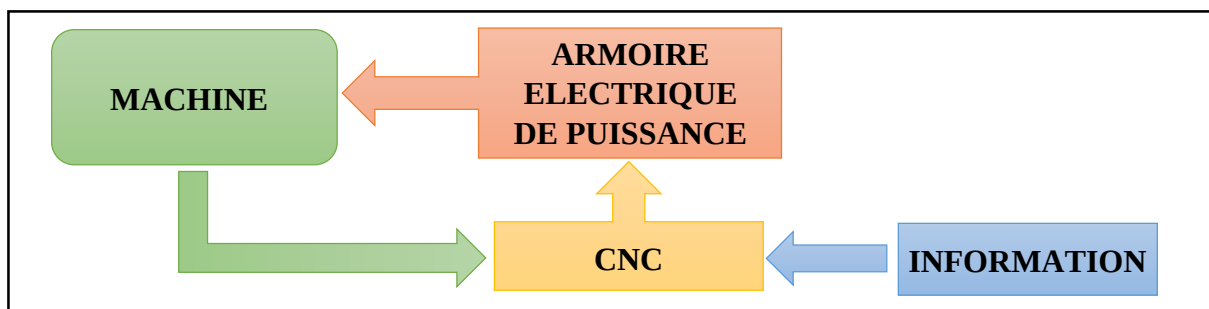


Figure I.5 : Fonction originale d'une commande numérique.

Différente d'une machine conventionnelle et constituée d'une armoire dans laquelle on trouve:

- Le pupitre permettant de rentrer les commandes à l'aide d'un clavier,
- Le lecteur de données (ce lecteur peut être une option lors de l'achat de la machine),
- La sortie RS 232 pour les liaisons avec les Périphériques externes,
- L'écran de visualisation de toutes les données enregistrées,
- Le calculateur,
- les cartes électroniques (commandes d'axes, mémoire ...) [6].

I.4. Les familles des machines à commande numérique

On peut découper la famille des commandes numériques en quatre sous familles de machines:

- Fraisage à commande numérique (FCN).

- Tournage à commande numérique (TCN).
- Rectification à commande numérique.
- électro-érosion à commande numérique.

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. À cela peuvent se rajouter des interfaces dites conversationnelles ou par apprentissage qui simplifient l'utilisation de la machine. La notion de commande numérique s'étend aussi au domaine de la chaudronnerie : découpage plasma, presse plieuse [6].

I.4.1. Les différents types de MOCN [4].

Les centres d'usinage sont des machines-outils qui travaillent par enlèvement de matière et permettent de réaliser automatiquement des opérations de fraisage, alésage, perçage, taraudage. Elles possèdent un magasin d'outils avec changeur automatique et peuvent être équipées d'un dispositif automatique de chargement des pièces.

L'ensemble de ces fonctions est géré par un ou plusieurs systèmes électroniques programmables (commande numérique (CN), ordinateur, automate programmable...).

On distingue plusieurs types de machines :

- les machines à enlèvement de copeaux : les perceuses, les tours, les centres de tournages, les fraiseuses, les centres d'usinage, les rectifieuses ...etc.
- les électroérosions : les machines à enfonçages, les machines à fil.
- les machines de découpes : oxycoupage, laser, jet d'eau...
- les presses : métal, injection plastique.
- les machines spéciales : à panneaux, à têtes multiples, de conditionnement (pour l'agroalimentaire)...

I.4.2 Classification des MOCN [9,10].

Les machines-outils à commande numérique (MOCN) sont classées selon :

- Mode de fonctionnement de la machine.
- Nombre d'axes de la machine.
- Mode d'usinage.
- Mode de fonctionnement du système de mesure.
- Mode d'entrée des informations.

Les machines-outils à commande numérique (MOCN) peuvent être assistées d'une programmation extérieure et de mécanismes tendant à les rendre encore plus performantes, tels que :

- Ordinateur et ses périphériques.
- Commande adaptative.
- Préréglage des outils.
- Codage des outils.
- Chargeur d'outils et magasin.
- Chargeur et convoyeur de pièces.
- Combinaison de type d'usinages (centre de tournage, centre d'usinage).
- Table de montage.
- Évacuateur de copeaux.
- Dispositifs de contrôle de pièces.

I.4.2.1 Classification selon la nature de déplacement

Le classement des machines est nécessaire car il aide au choix de machines, lors d'étude de gammes de fabrication. Traditionnellement, on a classé les machines en fonction des formes de surfaces à réaliser : cylindriques / parallélépipédiques, tournage / fraisage. Cette classification est remise en cause, car la commande numérique et l'adaptation des structures de machine cassent le lien entre les deux couples.

I.4.2.2 Classification des MOCN selon le mode de fonctionnement

A) Fonctionnement en boucle ouvert

En boucle ouverte, comme l'illustre la figure.1.4, le système assure le déplacement du chariot mais ne le contrôle pas.

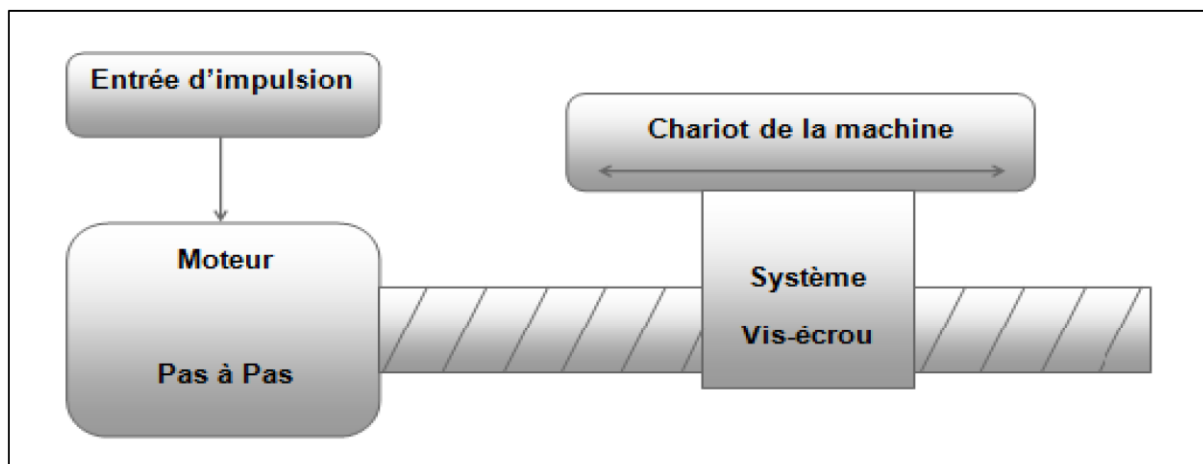


Figure I.6 : *Fonctionnement en boucle ouvert.*

B) Fonctionnement avec commande adaptative

La commande adaptative réalise d'une façon continue et automatique l'adaptation des conditions de coupe. Des capteurs relèvent les valeurs de couple de la broche, l'amplitude de vibration de la broche, la température au point de coupe. Ces informations sont transmises à une unité spéciale qui les envoie vers le directeur de commande numérique qui agit selon l'analyse des informations sur les conditions de coupe pour permettre une meilleure qualité de travail, une meilleure productivité et une plus grande sécurité.

La figure.1.7 illustre le fonctionnement de la commande adaptative

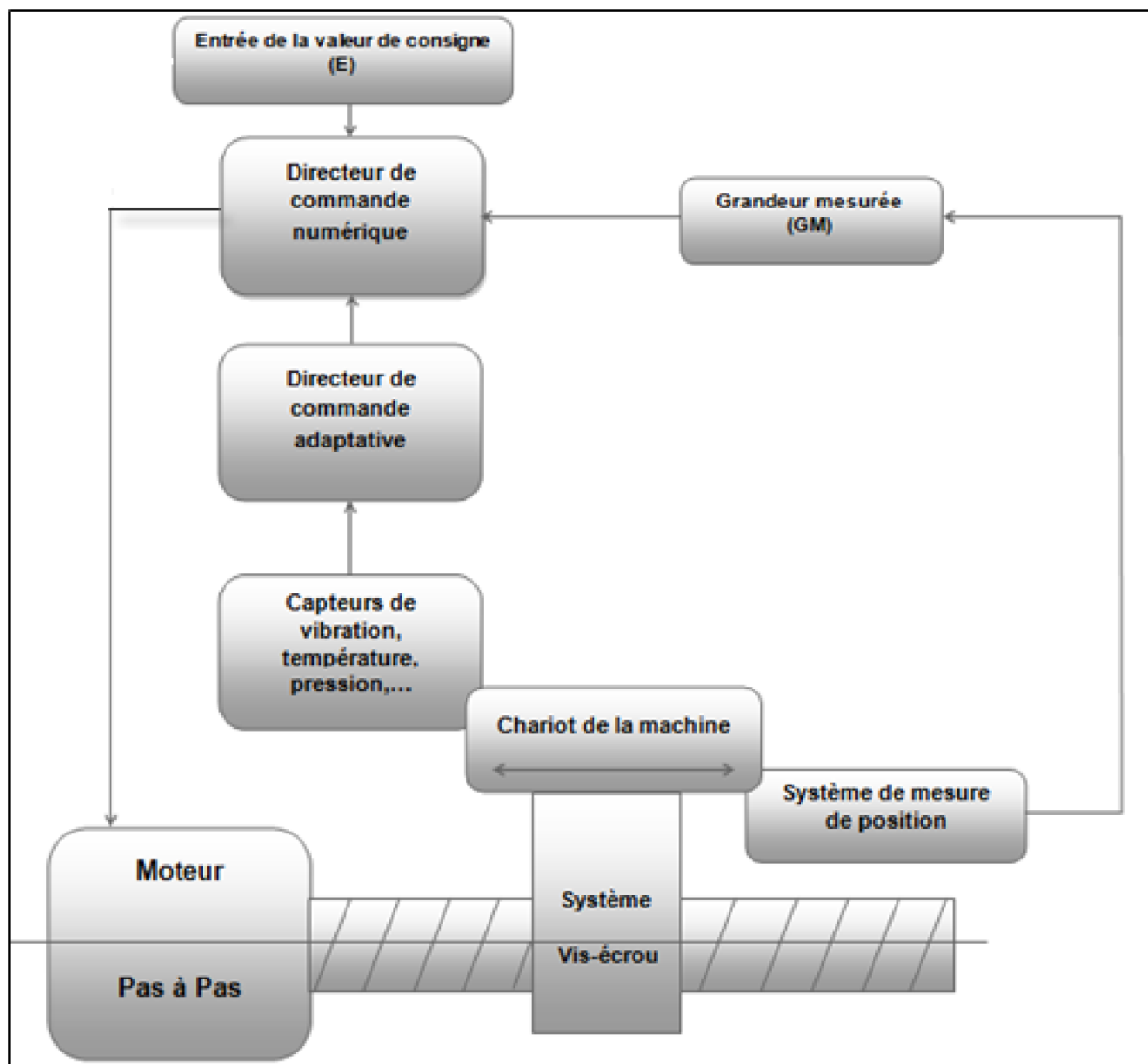


Figure I.7 : Commande adaptative.

C) Fonctionnement en boucle fermé

En boucle fermée le système contrôle le déplacement ou la position jusqu'à égalité des grandeurs entrée (E) dans le programme et celui mesuré (Gm). comme illustre la figure.1.8.

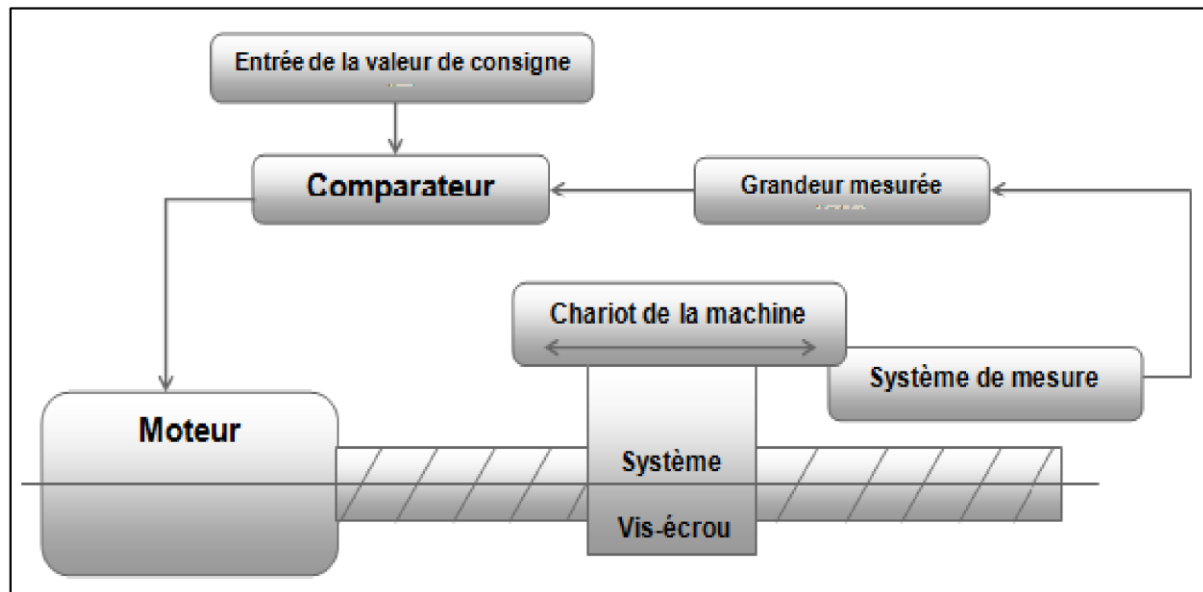


Figure I.8 : *Commande en boucle fermée.*

I.4.2.3 Classification des MOCN selon le nombre d'axe

On classe maintenant les machines-outils par le nombre de mouvements élémentaires qu'elles peuvent mettre en œuvre lors du déplacement de l'outil par rapport à la pièce tableau.I.2. Seuls les axes sont décomptés. La mise en œuvre simultanée de plusieurs outils entraîne l'augmentation du nombre d'axes. Cette classification ne permet pas d'associer directement un type de forme usinable à une classe de machine, car elle ne reflète pas la cinématique de l'outil. Par exemple un tour à cinq axes ne permet pas de faire des pièces différentes par rapport à un tour à trois axes [11].

Tableau I.2 : *Classification suivant le nombre d'axe [11].*

Nb d'axes	Mouvements	Désignation du type d'usinage et des opérations possibles
1	Z	Brochage, presse
2	X,Z	Tournage : toutes les formes obtenue sont le même axe des y métrie
3	X,Y,Z	Fraisage : surfacage, perçage, fraisage de poches, de rainures et de surfaces gauches. L'axe outil reste parallèle à une direction fixe par rapport à la pièce.
3	X, Z, C	Tournage, avec asservissement de la broche , permet le fraisage sur tour: tournage général, fraisage à l'outil tournant ,perçage hors axe. La broche est asservie en position.

4	X,Y, Z,B	Fraisage: surfacage, perçage, fraisage de poches, de rainures et de surfaces gauches. L'axe outil reste contenu dans un plan fixe par rapport à la pièce.
4	X,Y,Z,C	Fraisage (cf X, Y, Z, B)
4	X,Y,Z,C	tournage
4	2(X,Z)	Tournage à deux tourelles
5	2(X, Z), C	Tournage à deux tourelle set asservissement de la broche, (cf. X, Z, C)
5	X, Y, Z, A, C	Fraisage de formes gauches : fraisage avec le flanc de l'outil, fraisage avec dépinçage, perçage en toutes directions.
5	X, Y, Z, B, C	Fraisage de formes gauches (cf. X, Y, Z, A, C)
5	X, Y, Z, A, B	Fraisage de formes gauches (cf. X, Y, Z, A, C)

Chaque mouvement de translation ou de rotation est donc représenté par un axe défini une lettre affectée de signe + ou - .

La figure.I.9 montre l'ensemble des axes qu'un DCN peut contrôler.

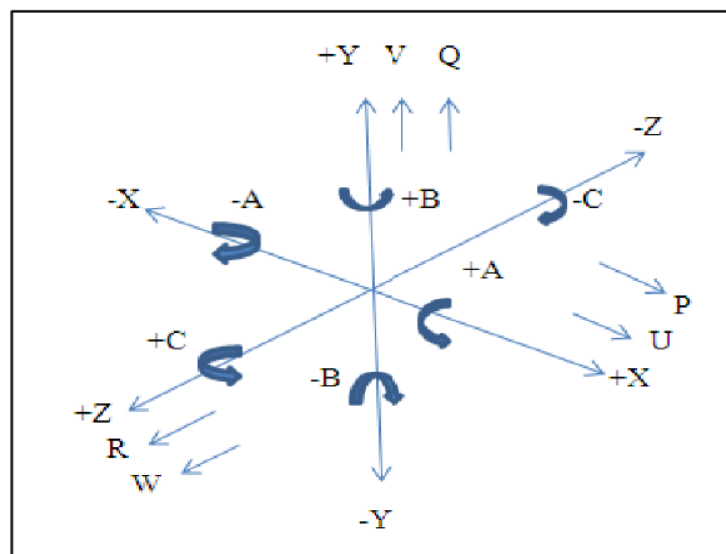


Figure I.9 : Axes Primaires Et Axes Additionnels.

I.4.2.4 Classification des MOCN selon le mode d'usinage [11].

Selon le mode d'usinage on peut classer les MOCN en trois catégories :

- Commande numérique point à point
- Commande numérique par axiale
- Commande numérique de contournage

A) Commande numérique point à point

Le passage d'un point à un autre s'effectue en programmant la position finale et le trajet parcouru pour atteindre cette position n'est pas contrôlé par le directeur de commande numérique.

Par exemple, les trajectoires planes d'un point A vers un point B peuvent s'exécuter de manières différentes schématisées fig.I.10.

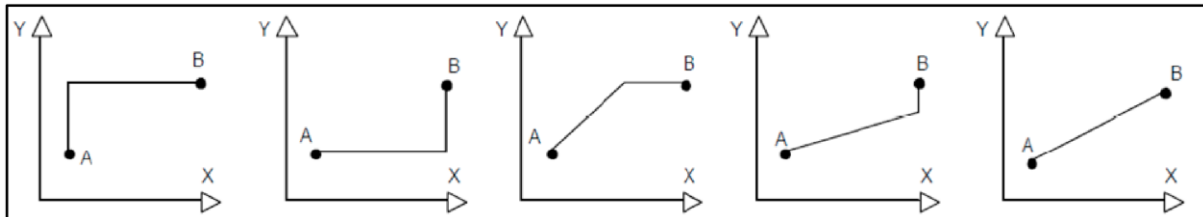


Figure I.10 : Trajectoires en positionnement point à point.

B) Commande numérique par axiale

Les trajectoires sont parallèles aux axes de déplacement et la vitesse de déplacement (programmable) est contrôlée. Ce type de déplacement permet par exemple des fraisages précis à vitesses imposées. (Figure 1.11)

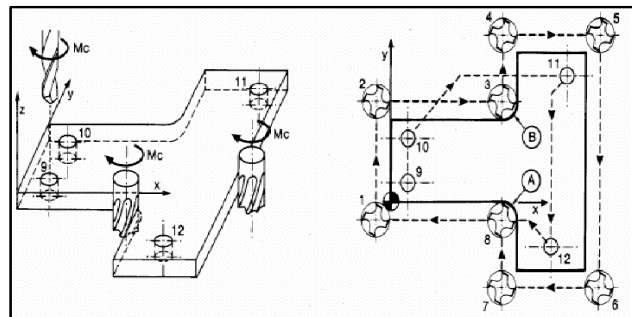


Figure I.11 : Fraisage paraxial.

C) Commande numérique de contournage

Des interpolateurs linéaires et circulaires permettent de réaliser des trajectoires linéaires et circulaires dans le plan ou dans l'espace (Certains D.C.N. n'autorisent pas l'interpolation circulaire dans l'espace) fig.I.12. Les différents axes exécutant la trajectoire sont contrôlés en vitesse et en position pour assurer une synchronisation permanente des mouvements.

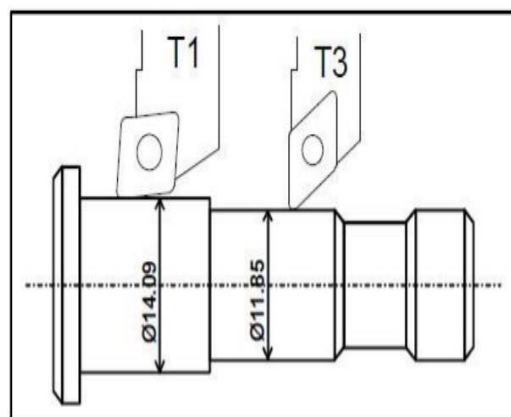


Figure I.12 : Opération de contournage tournage.

I.5. Domaine d'utilisation de MOCN

Les Machines CNC conviennent à la fabrication en petites et moyennes séries renouvelables. Elles permettent la réalisation, sans démontage, de pièces complexes comportant beaucoup

d'opérations d'usinage. Elles se situent entre les machines conventionnelles très "flexibles" réservées aux travaux unitaires (prototypes, maintenance) et les machines transferts, très productives, réservées aux grandes séries. Les MOCN sont employées dans de nombreux secteurs industriels (Métallurgie, Bois, Textile). Elle est aussi associée à de nouvelles technologies de façonnage (Laser, Électroérosion, Jet d'eau) [4].

Les principaux procédés de fabrication sont concernés :

- Perçage, taraudage ;
- Tournage, alésage ;
- Fraisage ;
- Rectification ;
- Oxycoupage, soudure en continu, par points
- Poinçonnage, cisailage [12].

Utilisations personnelles :

Il y a une large application de divers amateurs dans le monde entier intéressés au concept CNC. Roboticiens, artisans, bricoleurs, machinistes à la maison, petits entrepreneurs, et artistes, le CNC peut ouvrir des portes à des nouvelles conceptions et à créations plus détaillées. Un roboticien, par exemple, utilisera une CNC pour créer les composants structurels du robot avec une précision très haute. La fabrication de ces composants à la main serait difficile et très longue [1].

I.6. Avantages et inconvénients liés aux MOCN

Tableau I.3 : Avantages et inconvénients des MOCN [8].

Avantages	inconvénients
➤ Permet la réalisation d'usinages impossibles sur les machines conventionnelles : - o Surfaces complexes. - o Très grand nombre d'opération. ➤ Favorise les très petites séries et les pièces unitaires ; Prototypes : - o Pièces en cours de conception ou modifiées fréquemment. - o Production à la demande ou juste à temps (réduction de la taille des lots).	➤ Pour bénéficier de la majorité des avantages précédents, il faut que tout le parc machine de l'entreprise soit des MOCN: - o Investissement initial plus important. - o Rentabilité pas immédiate. ➤ Amortissement impose souvent un travail en 2 ou 3 équipes. Programmation et électronique ➤ demandant de la qualification. ➤ Fausse fragilité de l'électronique.

➤ Précision : - o Machines de meilleure qualité en général. - o Moins de montage, démontage de la pièce. ➤ Fidélité de reproduction : - Répétabilité (pas d'opérateur humain dans la chaîne de pilotage). - Répétabilité (pas d'opérateur humain dans la chaîne de pilotage).	➤ Equipement annexe: ordinateur, logiciel, banc de réglage des outils, changeur d'outil. ➤ Changement dans les méthodes de préparation et de fabrication. ➤ Réticence du personnel au changement.
--	---

I.7. La machine à commande numérique à trois axes

L'usinage trois (3) axes est l'une des techniques les plus employées dans la fabrication des pièces mécaniques. Tel que les machines-outils classiques comme la fraiseuse qui permet un travail de la matière sur trois (3) axes (X, Y et Z). La machine-outil procède alors à l'enlèvement des copeaux suivant trois directions de base correspondant aux axes d'une surface plane. Tout à fait adaptée aux pièces peu profondes. Cependant cette technique a de grosses limites quand il s'agit de traiter une pièce profonde avec des cavités étroites. Pour cela de nouvelles technologies d'usinage ont été développées tel que 4 axes puis axes [6].

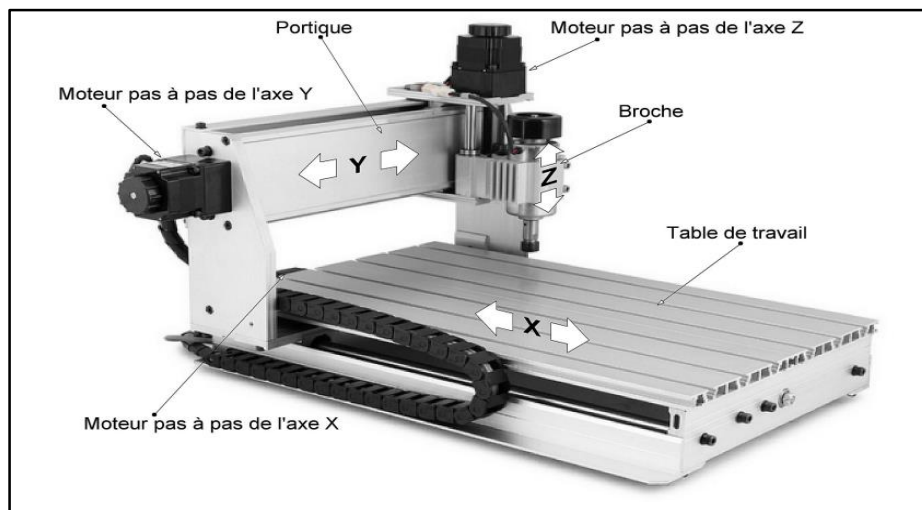


Figure I.13 : Machine à commande numérique à trois axes [13].

I.7.1. La structure d'une machine CNC [4].

Ce système peut être divisé en trois parties. Le système mécanique qui reçoit des signaux de commande nécessaires du système électronique qui aboutit finalement à l'actionnement souhaité des moteurs. Le système électronique obtient une commande ou un ensemble de commandes du système logiciel et génère des commandes pour le système mécanique.

I.7.2. Le système électronique

Le système électronique est responsable de la génération du signal de commande pour les moteurs qui guide le mouvement de la trajectoire de l'outil. Le système électronique est composé de :

- L'alimentation
- La carte microcontrôleur
- La carte de commande des moteurs pas à pas

I.7.3. Le système mécanique

Le système mécanique est assemblé de telle manière que le mouvement des 3 axes soit réalisé en utilisant des rails linéaires assemblés avec des roulements linéaires, les moteurs sont montés chacun à l'axe qui est source de mouvement agi en fonction du signal de commande généré à partir du circuit électronique.

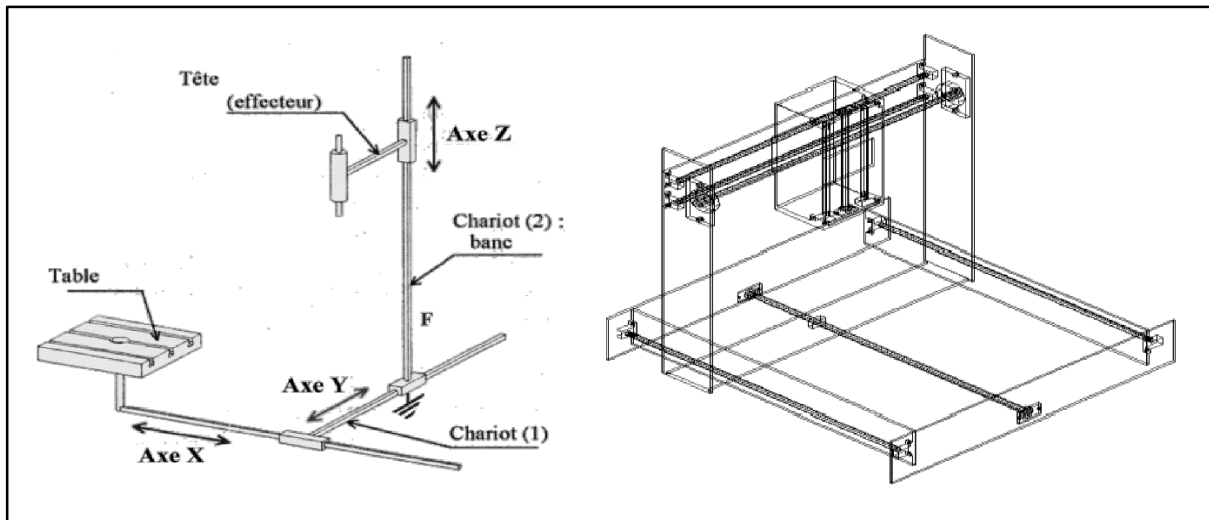


Figure I.14 : *structure mécanique d'une machine CNC* [4].

Chaque moteur est relié à une vis sans fin de chaque axe qui est chargé de transformer le mouvement du moteur de rotation en mouvement linéaire.

Le mouvement contrôlé de chaque axe est obtenu directement par la commande de la rotation du moteur. La vitesse du mouvement de chaque axe peut également être contrôlée par le contrôle direct de la vitesse du moteur, en donnant des signaux de commande nécessaires. Ainsi, la trajectoire de l'outil fixée à l'organe terminal est contrôlée dans chaque axe pour une action sur la pièce à usiner.

Pour éviter que les axes sortent de la plage de fonctionnement, on utilise des fins de course pour chaque axe. Une commande manuelle de bouton d'arrêt d'urgence peut également être utilisée pour la machine.

I.7.4. Le système de programmation

La pièce à usiner sera conçue dans une conception assistée par ordinateur (CAO), dont la sortie est un dessin dans un des nombreux formats acceptables, le format le plus préférable est le format .stl.

Ce dessin est ensuite introduit dans le logiciel de fabrication assistée par ordinateur (FAO), dont la sortie est le code lisible par une machine utilisée pour la commande numérique de la machine.

Depuis la mise en œuvre du G-code, il est nécessaire de tester de différents choix pour un interprète open source G-code pour l'Arduino, de sorte que les mouvements corrects seront obtenus par les axes de la machine par l'intermédiaire du pilote de moteur.

➤ Interprétation du G-code et transformation en mouvement sur la machine :

Après la génération d'un fichier G-code, il reste à l'interpréter de façon à pouvoir contrôler les moteurs avec un microcontrôleur plus précisément avec une carte Arduino. Pour cela il existe des logiciels et des micro-logiciels spécialement conçus pour cela, tel que le Grbl.

➤ Description du micro-logiciel Grbl :

Le Grbl est un micro-logiciel libre développé sur Arduino pour contrôler des graveuses CNC (Computer Numerical Control), des fraiseuses munies d'une tête mobile contrôlée en X, Y et Z par un ordinateur. Grbl interprète du G-code et déplace en conséquence un outil sur trois (3) axes (X, Y et Z).

Il comprend de multiples optimisations sur l'usage et le déplacement des moteurs afin de gérer correctement les accélérations, les trajectoires, ... etc [4].

I.8. La conception assistée par ordinateur (CAO)

I.8.1. Définition

La CAO (Conception Assistée par Ordinateur) est un ensemble d'outils et de programmes informatiques permettant d'assister l'ingénieur dans la conception et la mise au point d'un produit. Un système de CAO permet de représenter et d'étudier le fonctionnement d'un objet sans l'avoir fabriqué réellement, c'est-à-dire en virtuel [14].

I.8.2. Principe et utilisation de la CAO

La CAO offre une visibilité globale du comportement d'un objet avant qu'il n'existe, tant au niveau de son aspect que de sa structure et de son fonctionnement.

Les objets peuvent être représentés en deux ou en trois dimensions (2D ou 3D). Leur apparence peut être filaire, volumique, surfacique, elle peut aussi simuler la texture.

I.8.3. Quelque Logiciels de CAO

Un grand nombre de logiciels de CAO sont disponibles en open-source par exemple :

- Art of Illusion,
- Blender,
- FreeCAD,
- ImplicitCAD,
- QCAD,
- OpenCASCADE.
- Solidworks.
- Fusion360.

....

I.9. Fabrication assistée par ordinateur (FAO)

I.9.1. Définition

La fabrication assistée par ordinateur ou FAO est d'écrire le fichier contenant le programme de pilotage d'une machine-outil à commande numérique. Ce fichier va décrire précisément les mouvements que doit exécuter la machine-outil pour réaliser la pièce demandée. On appelle également ce type de fichiers : programme ISO ou blocs ISO.

Les logiciels de FAO utilisent les modèles et les ensembles créés dans les logiciels de CAO pour générer des trajectoires d'usinage sur lesquelles s'appuient les machines qui convertissent les conceptions en pièces physiques [15].

I.9.2. Quelque Logiciels de FAO

Les outils de la FAO sont des modeleurs, nous citons :

- Catia.
- RhinosCAM.
- SolidCAM.
- Power MILL.
- Hyper MILL.
- Camworks.
- Fusion360.
- ArtCAM.

....

I.10. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une vue générale de la commande numérique et de la machine à commande numérique et de son histoire, puis nous avons discuté en général la machine à commande numérique par ordinateur en termes de principe, d'utilisation et de structure, et nous avons parlé des classifications des machines CNC, et par conséquent après avoir acquis l'équilibre intellectuel nous traiterons une étude intensive sur la machine.

Chapitre II : Étude de projet

II.1. Introduction

La machine CNC à 3 axes «MOCN» est une machine de haute précision conçue pour graver une variété de matériaux métalliques et non métalliques, en particulier le bois. C'est une machine pilotée par des moteurs pas à pas. Ces derniers permettent de convertir directement un signal électrique numérique en un positionnement angulaire de caractère incrémental.

Dans ce chapitre, une étude complète sera faite sur une machine et en apprendre davantage sur son mécanisme de travail et ses propriétés mécaniques, et nous traiterons de la compréhension de la programmation de la machine et du contrôle numérique, et tout cela est basé sur l'analyse de l'idée du projet

II.2. Présentation du système

II.2.1. machine CNC à trois axes (Gravure sur bois)



Figure II.1 : Conception la machine CNC à trois axes (MOCN).

Le bois est souvent gravé avec des outils à main traditionnels, ce qui prend beaucoup de temps dans le processus de fabrication et nécessite une grande expérience de la part des opérateurs pour atteindre la qualité (précision).

Par contre, avec une machine-outil CNC, le traitement est très précis et ne demande pas beaucoup de temps et d'efforts.

II.2.2. La gravure

Un procédé d'usinage qui consiste à creuser la matière à l'aide de fraise dit (la fraise de gravure) de tailles et de formes variées, ce type d'usinage permet de créer une gravure de caractères, symboles ou formes sur des différents matériaux comme le bois, acier, plastique ...ect [2].



Figure II.2 : gravure de bois par une MOCN [16].

II.2.3. Les parties de la Machine CNC

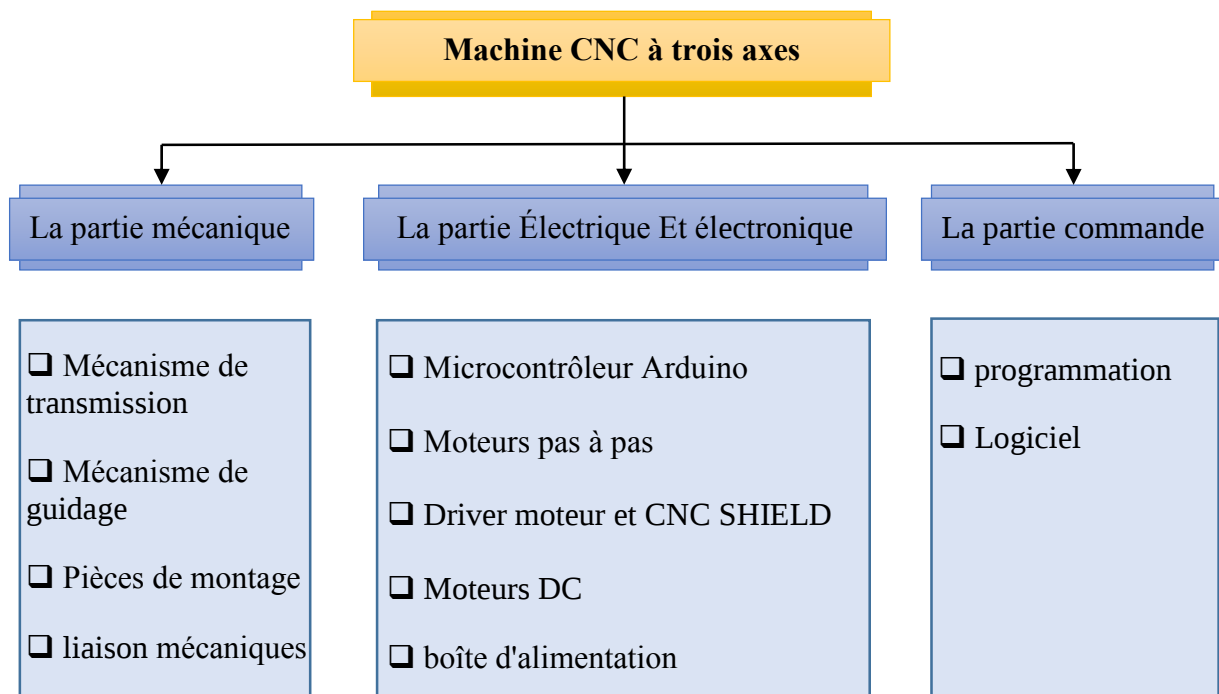


Figure II.3 : Graphe de partie de la Machine CNC à trois axes.

II.3. Analyse fonctionnelle de la machines CNC

II.3.1. Diagramme Pieuvre

Est une méthode universelle d'analyse fonctionnelle et d'analyse de la valeur pour la conduite de projets d'optimisation et d'innovation. L'objectif principal est d'améliorer la qualité d'un produit tout en réduisant les coûts de conception. C'est une méthode structurée, donc un outil de réflexion. Elle est simple, rapide, pragmatique et visuelle. Le premier outil utilisé dans cette méthode est le diagramme des prestations ou diagramme bête à cornes. Le but est de voir si l'objectif de l'étude, de la recherche, est valable et nécessaire.

Le deuxième outil est le cahier des charges fonctionnel. Il détermine l'utilité du produit/service pour ses utilisateurs. Pour cela il faut déterminer les différentes fonctions du produit et trouver comment elles réagissent avec leurs milieux environnants et quelles sont leurs contraintes. D'où l'utilité du diagramme pieuvre. Il met en relation les différentes fonctions avec le produit et le milieu extérieur. Deux fonctions sont nécessaires à la réalisation de ce diagramme : les fonctions principales et les fonctions contraintes [17].

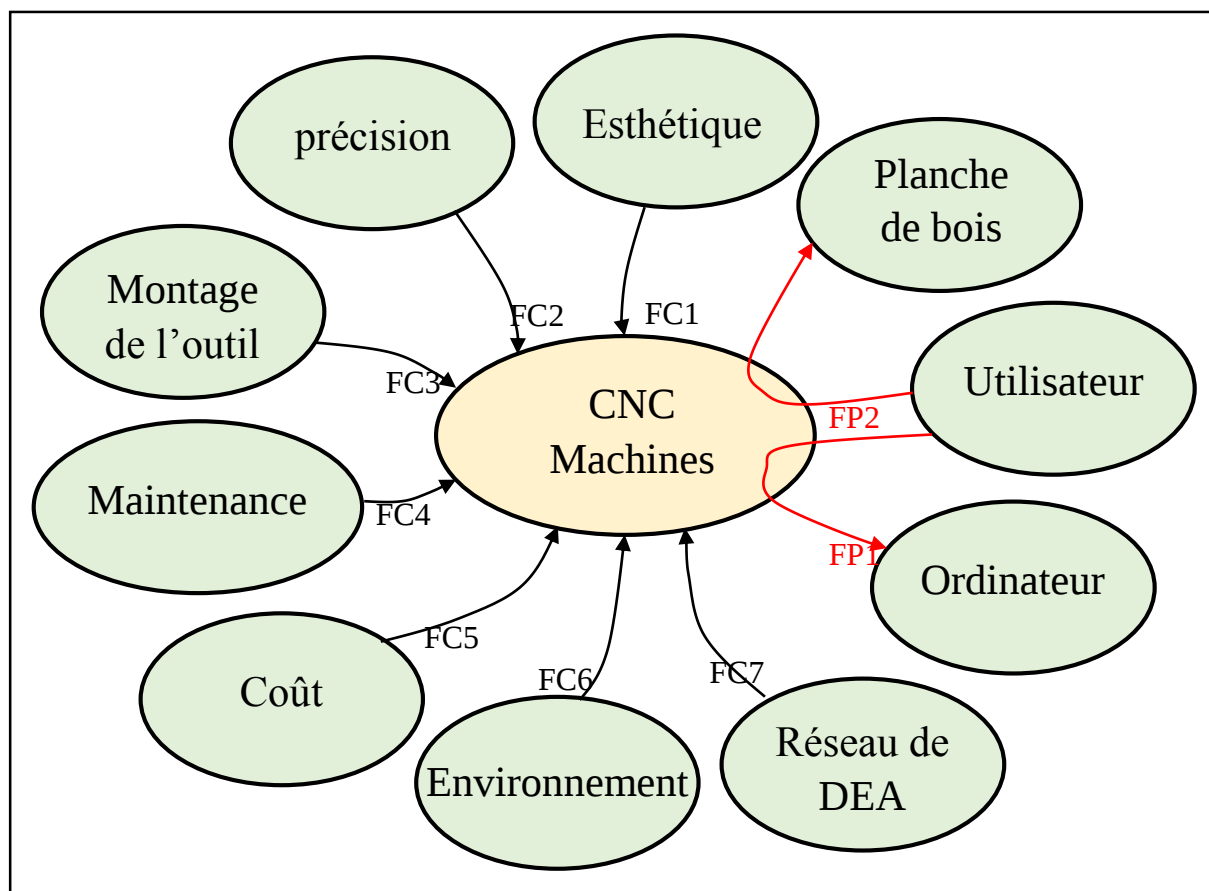


Figure II.4 : Diagramme de la pieuvre.

FP1 : faciliter la communication entre l'opérateur et l'ordinateur.

FP2 : Permettre à l'utilisateur de sculpter automatiquement des panneaux de bois.

FC1 : être esthétique

FC2 : permet de fabriquer des pièces avec une précision élevée.

FC3 : faciliter le montage et le démontage de l'outil.

FC4 : faciliter la maintenance.

FC5 : avoir un prix raisonnable.

FC6 : pour soutenir l'environnement affecté (chaleur, poussière, humidité ...).

FC7 : S'adapter au réseau de distribution d'électricité algérien (DEA).

Tableau II.1 : Cahier des charges fonctionnel machines CNC.

Type	Fonction	Critères d'appréciation	Valeur et méthode
FP1	la communication entre l'opérateur et l'ordinateur	Logiciels	Universal Gcode Sender ArtCAM 2018 Arduino IDE
		Pilotage de la Machine	Contrôle et installation de l'outil
FP2	Gravure des panneaux de bois	La vitesse rotation maximale	Plus de 12000 tr/ min
		Espace de travail	400mm*460mm*40mm
		L'outil de gravure utilisé	Outil de gravure sur bois
FC1	être esthétique	Couleur	blanche et métallique et brillant
		masse totale du La machine	Poids (kg) < 25
		forme	Forme moderne compatible
FC2	précision	Vis ecrou	Utiliser un filetage carré de (1 mm) de pas
		Système de guidage	System transition innovante, efficace, précise
		Les moteur pas a pas	Moteur M49SP-2K , Angle de pas (7.5°/ pas)
FC3	Montage de l'outil	Changement des outil	Utilizer un mandrin
FC4	Maintenance	Système fixe et détachable	Vis et ecrou
FC5	Coût	prix total de la fraiseuse cnc	prix total $\leq$ 25 000DA
FC6	Environnement	Alignement avec l'environnement	Utilisation de matériaux antirouille, Et un ventilateur de refroidissement
FC7	Réseau de DEA	transformateur électrique AC/DC	Transformateur 12 volts

II.3.2. Diagramme FAST

FAST (en anglais function analysis system technique) est un type de diagramme qui présente une manière de penser, d'agir, ou de parler. Le diagramme FAST se construit de gauche à droite, dans la logique suivante : du "pourquoi" au "comment". Grâce à sa culture technique et scientifique, l'ingénieur développe les fonctions de service du produit en fonctions techniques. Il choisit des solutions pour construire finalement le produit. Le diagramme FAST constitue alors un ensemble de données essentielles permettant d'avoir une bonne connaissance d'un produit complexe et ainsi de pouvoir améliorer la solution proposée. La norme NF EN 12973 (management par la valeur) décrit le diagramme FAST en tant qu'une des méthodes usuelles d'analyse fonctionnelle [17].

Dans cette étape, le concepteur cherche une ou plusieurs fonctions techniques (FT) (Ex. transmission, guidage, transfert,...) pour assurer une fonction de service FS.

Pour classer les FT, on utilise l'outil F.A.S.T. (Fonction Analyses System Technique) en répondant aux questions :

- Pourquoi ? : Cette question concerne la fonction précédente, la réponse commence par "pour".
- Quand ? : Cette question s'applique à une ou des fonctions situées au même niveau. La réponse commence par "si simultanément".
- Comment ? : Cette question s'adresse à la fonction suivante, la réponse commence par "en".

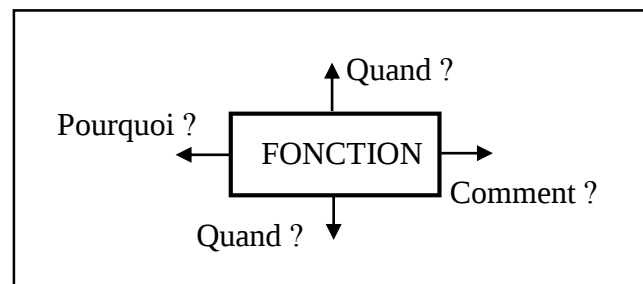
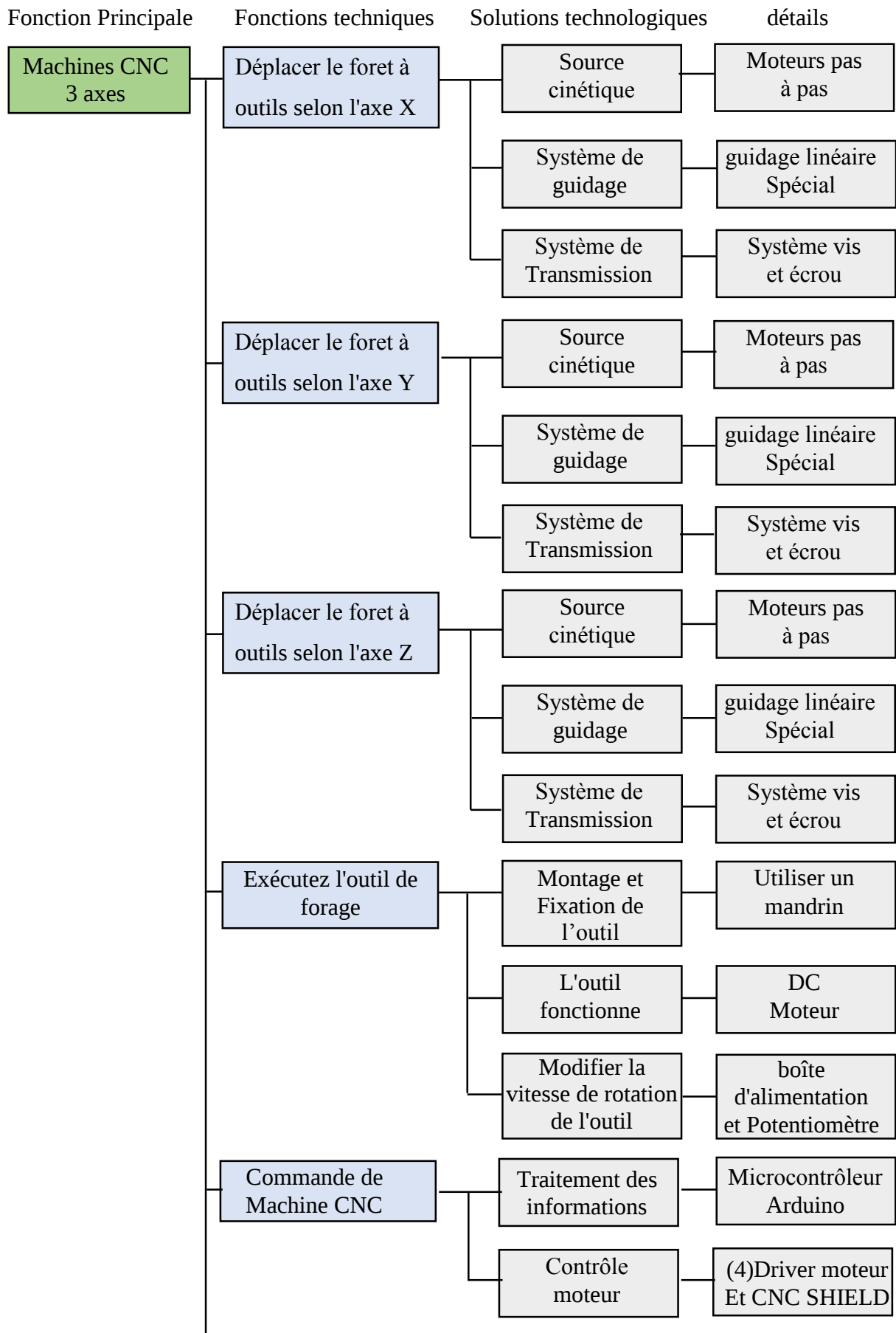


Figure II.5 : Diagramme FAST [17].

Lorsque les fonctions de services sont identifiées, cette méthode les ordonne et les décompose suivant une logique fonctionnelle pour aboutir (vers la droite) aux solutions technologiques de réalisation.

Nous présentons le diagramme FAST de la machine CNC.



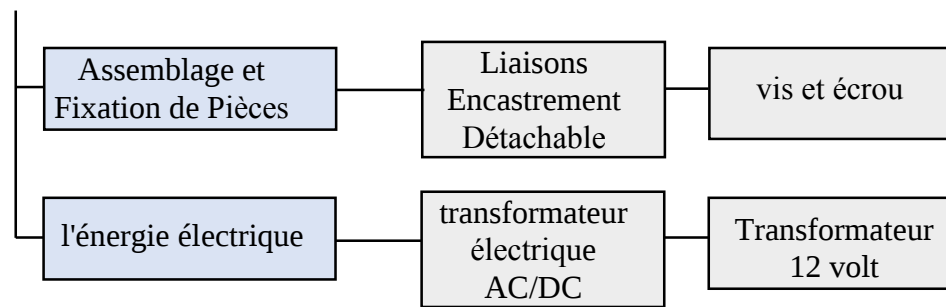


Figure II.6 : Diagramme FAST de la fonction principale.

II.4. Etudier le système de transmission

II.4.1. Définition [18].

On dit qu'il y a transformation de mouvement lorsque la transmission est réalisée avec modification de la nature du mouvement.

Dans le cas général, si une rotation se transforme en translation ou inversement.

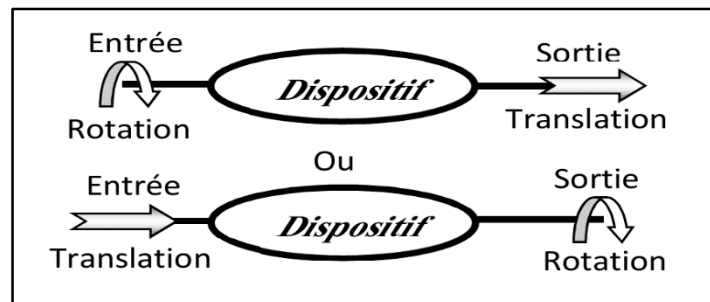


Figure II.7 : transmission avec transformation de mouvement.

■ Réversibilité : Un système de transformation de mouvement est dit réversible si la transmission dans le sens inverse est possible. Si non, il est irréversible.



II.4.2. Système Vis Ecrou

II.4.2.1 Définition [19].

La liaison hélicoïdale entre deux corps solides permet un mouvement relatif composé :

- D'une rotation autour d'axe fixe par rapport aux deux solides.
- D'une translation rectiligne parallèle à cet axe et proportionnelle à la rotation.

Les deux solides en liaison hélicoïdale doivent être guidés en translation et en rotation.

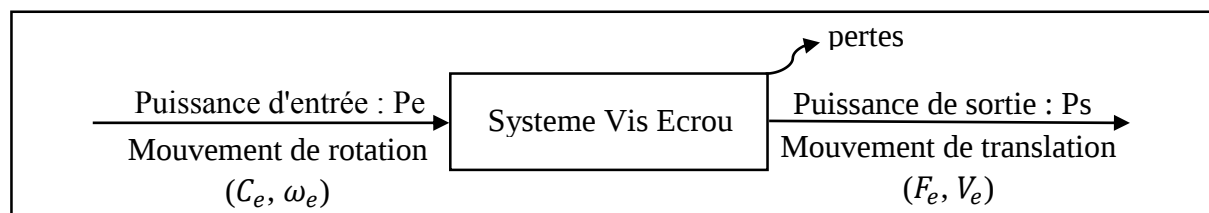


Figure II.8 : Transmettre Une Puissance.

Avec P = puissance en watt (W)

C = couple (Nm)

ω = vitesse angulaire (rad/s)

F = force en Newtons (N)

V = vitesse linéaire (m/s)

Tableau II.2 : La relation entre Rendement et le Puissance.

	Mouvement de rotation	Mouvement de translation
Puissance	puissance = couple $\times$ vitesse angulaire	puissance = force $\times$ vitesse linéaire
rendement	Rendement = puissance sortie / puissance entrée	

II.4.2.2 Fonction

La liaison hélicoïdale étant généralement associée à d'autres liaisons, les fonctions principales qui lui incombent sont la transformation du mouvement et la transmission des efforts.

Les transmissions par système vis-écrou utilisent une liaison hélicoïdale ayant pour base une vis et un écrou à un ou plusieurs filets, et ayant des pas identiques.

Cette liaison conduit à une transformation de mouvement de rotation en translation, ou de translation en rotation, avec un élément moteur qui peut être soit la vis soit l'écrou selon le cas et selon la réversibilité de la liaison.

L'analyse des mouvements possibles de la vis et de l'écrou conduit au tableau ci-dessous :

Tableau II.3 : Possibilité de mouvement Vis Ecrou.

Élément	La nature du mouvement			
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Mouvement de la vis	R et T	R et $\bar{T}$	$\bar{R}$ et T	$\bar{R}$ et $\bar{T}$
Mouvement de l'écrou	$\bar{R}$ et $\bar{T}$	$\bar{R}$ et T	R et $\bar{T}$	R et T

R : mouvement de rotation

T : mouvement de translation

$\bar{R}$: Pas de mouvement de rotation

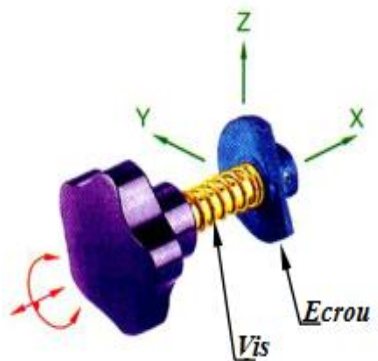
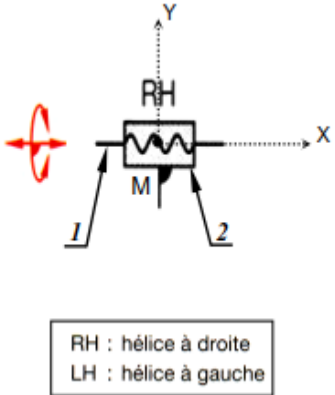
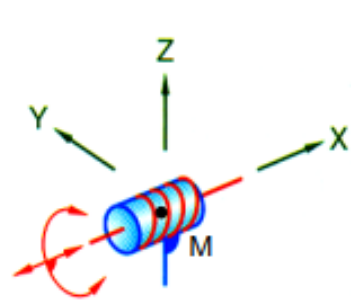
$\bar{T}$: Pas de mouvement de translation

Le type 1, qui correspond au visage d'une vis dans un taraudage, et le type 4 qui correspond par exemple à l'assemblage d'un écrou sur un goujon.

Les types 2 et 3 correspondent à des transformateurs de mouvement pour lesquels existent dissolutions industrielles.

II.4.2.3 Schématisation

Tableau II.4 : Schématisons Vis Ecrou [19].

Exemple	Représentation plane	Représentation plane
	 RH : hélice à droite LH : hélice à gauche	

II.4.2.4 Modélisation [19].

A) Torseur cinématique

Deux solides Vis (V) et écrou (E) sont en liaison hélicoïdale d'axe i si le torseur cinématique de V / E, s'écrit, en tout point M de l'axe $(O, \vec{i})$, $\forall M \in (O, \vec{i})$:

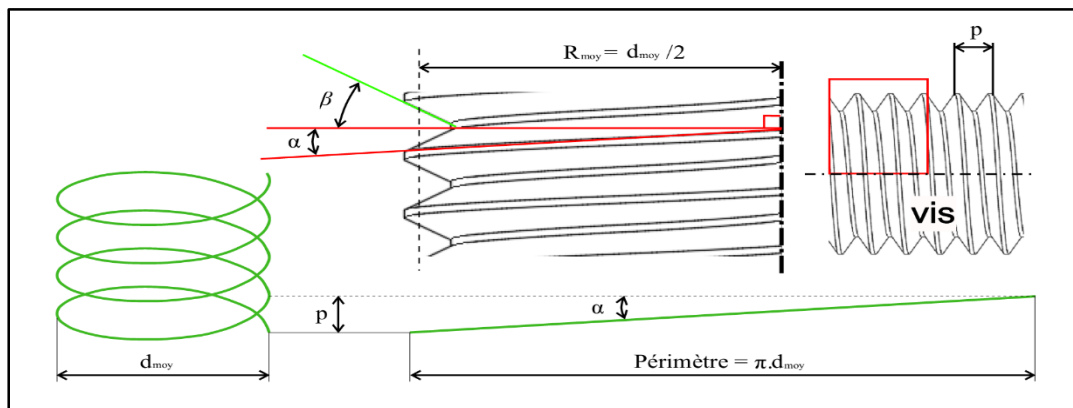


Figure II.9 : Dessin géométriques de la vis.

α : Angle d'inclinaison de l'hélice.

R_{moy} : Rayon moyen de la vis, $R_{moy} = \frac{d_{moy}}{2}$

d_{moy} : Diamètre moyen de la vis.

P : Pas en mm/tr.

β : Demi-angle au sommet du filet trapézoïdal.

Avec : $v_x = f(\omega_x)$

$$\text{D'après le dessin (Figure II.8) : } \tan \alpha = \frac{p}{2\pi R_{moy}} = \frac{p}{\pi d_{moy}} \quad (\text{II.1})$$

$$\begin{cases} 2.\pi \longrightarrow p \\ \theta \longrightarrow x \end{cases} \implies x = \frac{p}{2.\pi} \theta \quad (\text{II.2})$$

$$\text{Alors } x = \frac{p}{2.\pi} \theta \xrightarrow{\text{Dérivation}} \dot{x} = \frac{p}{2.\pi} \dot{\theta}$$

$$\text{Avec } \begin{cases} \dot{x} = v_x \\ \dot{\theta} = \omega_x \end{cases} \implies v_x = \frac{p}{2.\pi} \omega_x = p.n \quad (\text{II.3})$$

$$\text{Alors } \{V_{V/E}\}_o = \begin{Bmatrix} \omega_x & (p/2.\pi)\omega_x \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_o \quad (\text{II.4})$$

B) Torseur statique

$$\text{Avec : } L_{E/V} = f(X_{E/V}) \quad \{\tau_{V/E}\}_o = \begin{Bmatrix} L_{E/V} & M_{E/V} & N_{E/V} \\ X_{E/V} & Y_{E/V} & Z_{E/V} \end{Bmatrix}_o \quad (\text{II.5})$$

L'hypothèse de la liaison parfaite traduit que la puissance interne P_i dissipée dans la liaison est nulle. D'où : $P_i = 0$ Watt.

$$P_i = \{V_{V/E}\}_o \cdot \{\tau_{V/E}\}_o = 0 \quad (\text{II.6})$$

$$P_i = \begin{Bmatrix} \omega_x & (p/2.\pi)\omega_x \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_o \cdot \begin{Bmatrix} L_{E/V} & M_{E/V} & N_{E/V} \\ X_{E/V} & Y_{E/V} & Z_{E/V} \end{Bmatrix}_o = 0$$

$$\text{Alors } \omega_x \cdot L_{E/V} + \left(\frac{p}{2}.\pi\right) \omega_x \cdot X_{E/V} = 0 \implies L_{E/V} + \left(\frac{p}{2}.\pi\right) X_{E/V} = 0$$

$$L_{E/V} = -\left(\frac{p}{2}.\pi\right) X_{E/V} \quad (\text{II.7})$$

$$\implies \{\tau_{V/E}\}_o = \begin{Bmatrix} -\left(\frac{p}{2}.\pi\right) X_{E/V} & M_{E/V} & N_{E/V} \\ X_{E/V} & Y_{E/V} & Z_{E/V} \end{Bmatrix}_o \quad (\text{II.8})$$

II.4.3. Etude d'une liaison hélicoïdale réelle

II.4.3.1 La vis progresse contre la charge axiale

Le contact est avec frottement : $f = \tan \varphi$

A) Diagramme des efforts

A l'équilibre, les efforts appliqués sur une développée d'un tour de la vis (au niveau du cercle de diamètre moyen D_m) sont donnés par le diagramme ci-contre.

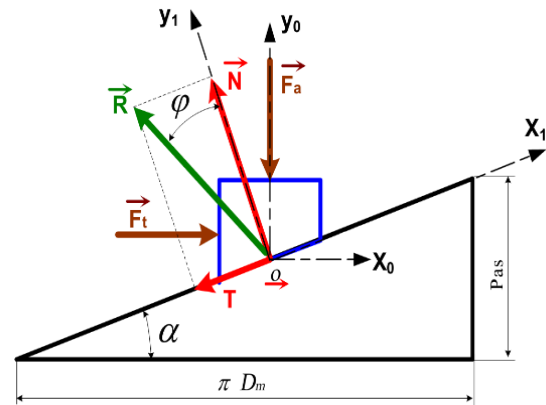


Figure II.10 : Diagramme des efforts [19].

B) Bilan des efforts

F_a : Charge axiale.

F_t : Charge tangentielle tel que $C = F_t \cdot R_{moy}$

R : Action de contact avec l'écrou ;

$$\vec{R} = \vec{N} + \vec{T} \text{ (à la limite d'adhérence on a } T = f \cdot N)$$

$\{N$: Action normale de contact.

$\{T$: Action tangentielle de contact.

f : Coefficient de frottement.

Appliquant le PFS (Principe fondamental de la statique) :

$$\vec{F}_t + \vec{F}_a + \vec{N} + \vec{T} = 0 \quad (\text{II.9})$$

$$\text{Projection sur } \begin{cases} \text{l'axe } (O, X_1) \longrightarrow F_t \cos \alpha - F_a \sin \alpha - f \cdot N = 0 & (1) \\ \text{l'axe } (O, Y_1) \longrightarrow -F_t \sin \alpha - F_a \cos \alpha + N = 0 & (2) \end{cases}$$

Avec $T = f \cdot N$

$$(1) + (2) \cdot f \longrightarrow F_t(\cos \alpha - f \cdot \sin \alpha) = F_a(\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha) \quad (3)$$

$$(3)/\cos \alpha \longrightarrow F_t(1 - f \cdot \tan \alpha) = F_a(\tan \alpha + f)$$

$$\implies F_t = F_a \frac{(\tan \alpha + f)}{(1 - f \cdot \tan \alpha)} \quad (\text{II.10})$$

Cas de filetage triangulaire : ($\beta \neq 0$ et $N' = N \cdot \cos \beta$ avec $T = f \cdot N$)

$$\tan \varphi = \frac{T}{N'} = \frac{T}{N \cdot \cos \beta} = \frac{f}{\cos \beta}$$

$$\implies \tan \varphi' = \frac{f}{\cos \beta} = \frac{\tan \varphi}{\cos \beta}$$

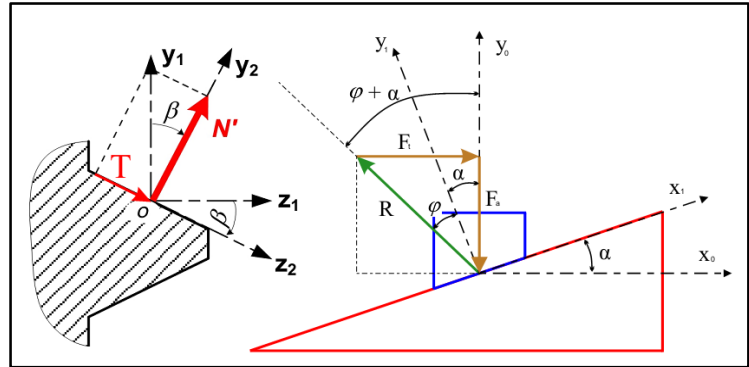


Figure II.11 : Diagramme des efforts de filetage triangulaire.

$$\text{D'après le dessin : } \tan(\alpha + \varphi') = \frac{F_t}{F_a} \implies F_t = F_a \cdot \tan(\alpha + \varphi') \quad (\text{II.11})$$

II.4.3.2 La vis progresse dans le sens de la charge axiale

Pour faire cette étude, il suffit de reprendre la (figure II.11) en changeant le sens de F_t et celui de T . On démontre dans ce cas que :

$$F_t = F_a \cdot \tan(\alpha - \varphi') \quad (\text{II.12})$$

Couple nécessaire pour déplacer la charge F_t :

$$C_m = F_t \cdot \frac{d_{moy}}{2} = F_a \cdot \frac{d_{moy}}{2} \cdot \tan(\alpha + \varphi') \quad (\text{II.13})$$

$$\text{Puissance motrice : } P_m = C_m \cdot \omega_m = F_a \cdot \frac{d_{moy}}{2} \cdot \omega_m \cdot \tan(\alpha + \varphi')$$

II.4.3 Rendement du système vis écrou

La puissance d'entrée (moteur) est : $P_m = C_m \cdot \omega_m$

La puissance de sortie (utile) est : $P_u = F_a \cdot v$

$$\eta = \frac{P_u}{P_m} = \frac{F_a \cdot v}{C_m \cdot \omega_m} = \frac{F_a \cdot \frac{p}{2 \cdot \pi} \omega_m}{F_a \cdot \frac{d_{moy}}{2} \cdot \tan(\alpha + \varphi') \cdot \omega_m} = \frac{\frac{p}{\pi \cdot d_{moy}}}{\tan(\alpha + \varphi')}$$

$$\text{Avec } \tan \alpha = \frac{p}{\pi \cdot d_{moy}} \implies \eta = \frac{P_u}{P_m} = \frac{\tan \alpha}{\tan(\alpha + \varphi')} \quad (\text{II.14})$$

On retrouve dans le cas où le frottement est négligé ($\varphi' = 0$) $\implies \eta = 1$

Pour $\alpha \leq \frac{\pi}{2} - \varphi$, ne peut plus avoir lieu, le système est bloqué.

II.4.4. Étude du Roulement [20].

Les roulements sont conçus de telle manière que sous leur chargement statique maximum (charge = C_o charge statique de base), la déformation permanente totale de l'élément roulant n'excède pas 0.01% du diamètre de l'élément roulant. Dans la pratique, les roulements sont utilisés sous des charges au moins 5 fois plus faibles que C_o .

Dans le cas limite précédent, on peut calculer le coefficient de résistance au roulement :

$$\delta = 0.01\% \cdot d \iff \delta = 0.0001 \cdot d = 0.0002 \cdot R \iff \frac{\delta}{R} = 0.0002$$

$$\cos \gamma = \frac{R - \delta}{R} = (1 - 0.0002)$$

$$\implies \gamma = \arccos(1 - 0.0002)$$

$$\sin \gamma = \frac{L}{R} \iff L = R \cdot \sin \gamma$$

$$\implies L = R \cdot \sin(\arccos(1 - 0.0002))$$

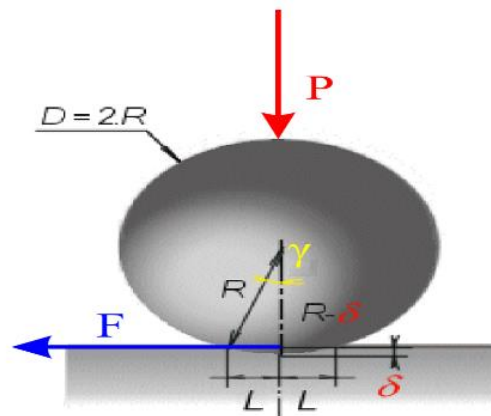


Figure II.12 : Diagramme des efforts de roulements [20].

$$P \cdot L - F \cdot (2R - \delta) = 0 \iff F = P \cdot \frac{L}{(2R - \delta)} \approx P \cdot \frac{L}{2R} \iff F = P \cdot \frac{\sin(\arccos(1 - 0.0002))}{2}$$

$$\implies \mu \approx 0.01 \quad \text{Avec } F = P \cdot \mu \quad (\text{II.15})$$

II.5. Etude géométrique et modélisation

II.5.1. Étude initiale (préparatoire) du Système

La fonction principale de notre machine est Gravure sur bois, nous avons donc fabriqué la machine en utilisant des matériaux comme l'aluminium et l'acier et avec un petit budget. Il est composé de trois axes et chacun des axes a un mécanisme de mouvement et la nature du mouvement est 'un mouvement de translation' afin de déplacer l'outil de forage dans une direction spécifique comme indiqué sur la figure.

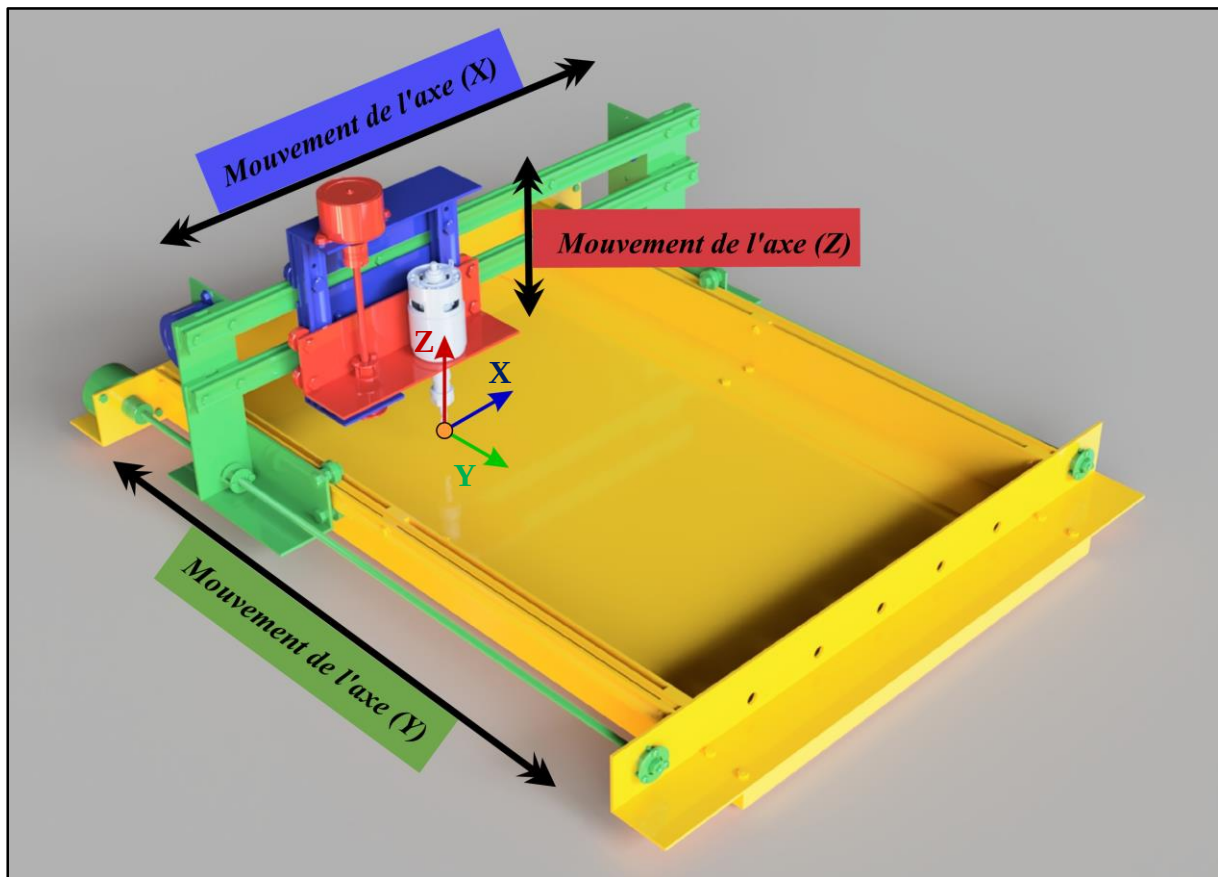


Figure II.13 : *Limites de mouvement de la machine CNC à 3 axes.*

L'usinage trois (3) axes est l'une des techniques les plus employées dans la fabrication de pièces mécaniques. Tel que les machines-outils classiques comme la fraiseuse qui permet un travail de la matière sur trois (3) axes (X, Y et Z) (figure II.13).

La machine-outil procède alors à l'enlèvement des copeaux suivant trois directions de base correspondant aux axes d'une surface plane. Tout à fait adaptée aux pièces peu profondes. Cependant cette technique a de grosses limites quand il s'agit de traiter une pièce profonde avec des cavités étroites. Pour cela de nouvelles technologies d'usinage ont été développées tel que 4 axes puis axes [16].

Où la machine se compose de cinq éléments de base comme indiqué sur la figure

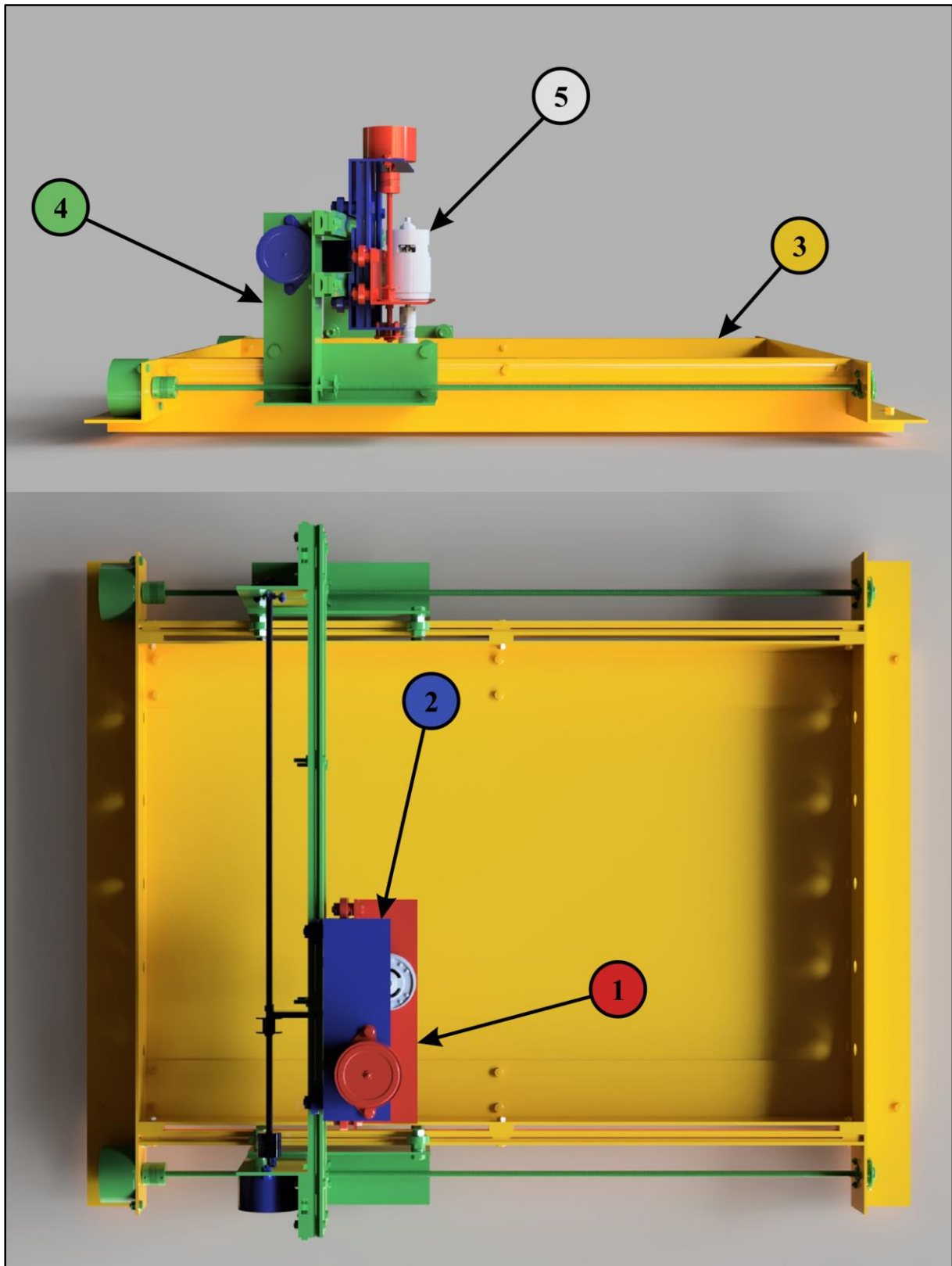


Figure II.14 : Les composants de base d'une machine CNC à 3 axes.

Explication des éléments montrés dans le dessin précédent :

- Le premier élément : Mécanisme Le mouvement de l'axe Z
- Le deuxième élément : Mécanisme Le mouvement de l'axe X
- Le troisième élément : Base de Machine (Table de montage de coupe)
- Le quatrième élément : Mécanisme Le mouvement de l'axe Y
- Le Cinquième élément : Moteur et outils de gravure

II.5.2. Etude mécanisme le mouvement de l'axe X

II.5.2.1 Etude géométrique de mécanisme le mouvement de l'axe X

A) Sujet d'étude

A ce stade, nous étudierons la nature de la relation entre les éléments (2 et 4),
Voir la figure (figure II.14).

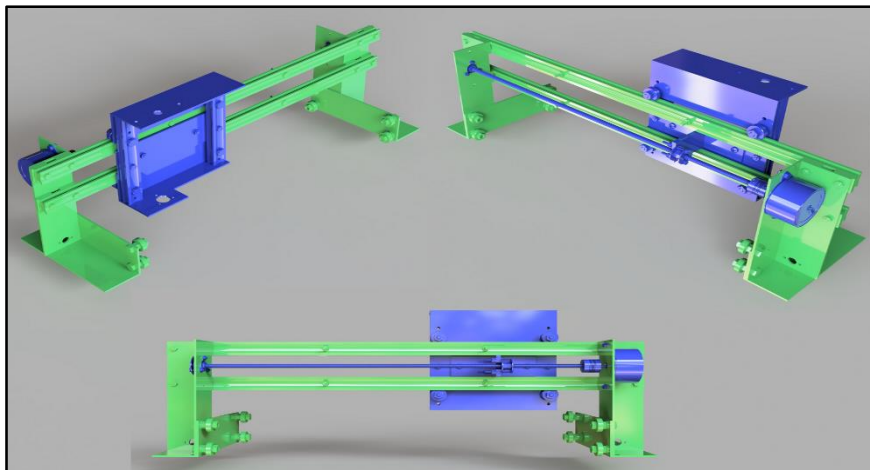


Figure II.15 : Mécanisme Le mouvement de l'axe X.

B) Etude Cinématique

⌘ Les composants :

Elément (1) : roulements

Elément (2) : Mécanisme
le mouvement de l'axe X

Elément (3) : moteur pas à pas

Elément (4) : Mécanisme
le mouvement de l'axe Y

Elément (5) : liaison Pivot (roulement
....)

Elément (6) : Ecou

Elément (7) : Vis

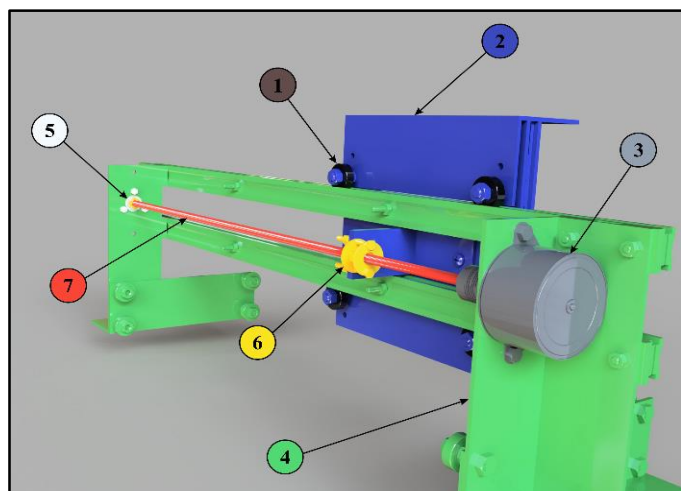


Figure II.16 : Les composants de Mécanisme Le mouvement de l'axe X.

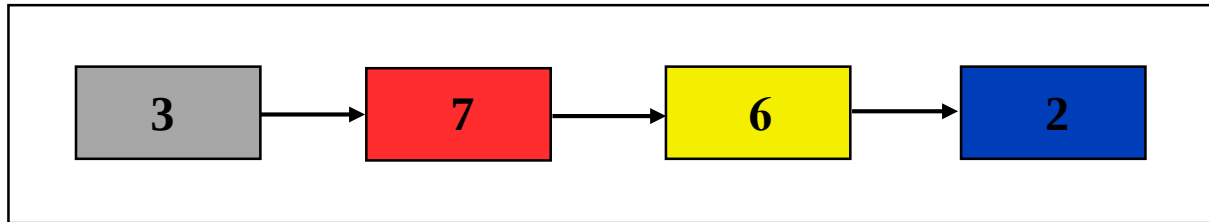


Figure II.17 : La chaîne cinématique du mécanisme le mouvement de l'axe X.

⌘ Établir le graphe de liaison de ce mécanisme :

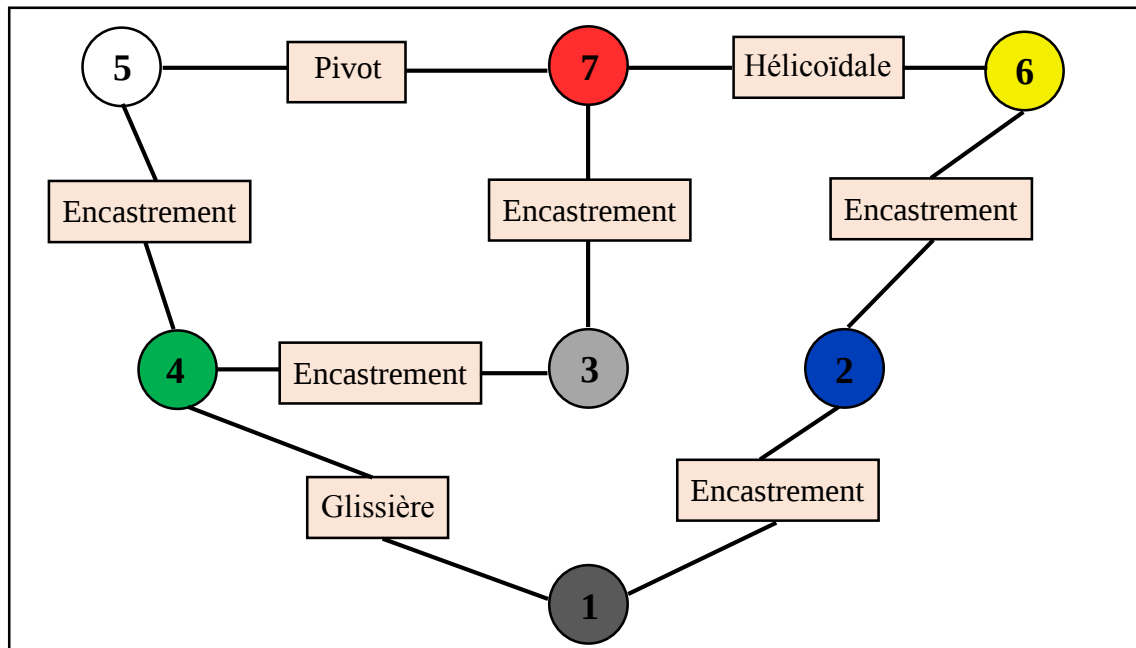


Figure II.18 : Graphe de liaison de ce mécanisme le mouvement de l'axe X.

⌘ Établir le schéma cinématique :

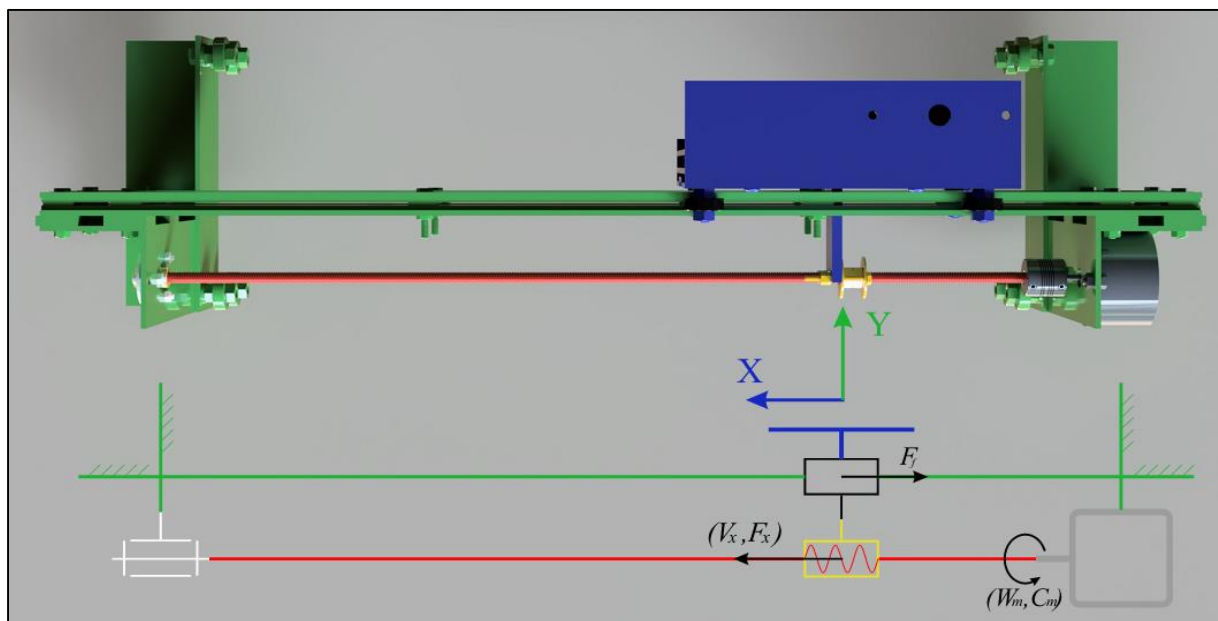


Figure II.19 : Schéma cinématique de mécanisme le mouvement de l'axe X.

II.5.2.2 Modélisation de mécanisme le mouvement de l'axe X

A) Caractéristiques et données

⌘ Filetage métrique ISO à filet triangulaire :

Tableau II.5 : Caractéristiques de Vis M6 [21].

Diamètre nominal	Pas p	diamètres moyen	β
6	1	5.350	30

⌘ Profil du système vis écrou : Profil ISO = $\tan \varphi = 1.155 * f$, [22].

la facteur de frottement (acier/acier), $f = 0.1$, [22].

Pull-out Torque = $116.6 \text{ mN.m}/1000 \text{pps}$, avec Step Angle = $7.5^\circ/\text{step}$, [23].

Nombre de "step angle" pour terminer un cours complet $P = \frac{360}{7.5} = 48 \text{ step}$

B) équation déplacement

À partir d'équation (II.2) Nous concluons ce qui suit :

$$\dot{x} = \frac{p}{2.\pi} \dot{\theta} \implies X_{(t)} = \frac{p}{2.\pi} . \theta_{(t)}$$

⌘ Calculez le nombre maximum de pas le long de l'axe X :

Avec $X_{max} = 400 \text{ mm}$, $p = 1 \text{ mm}$

$$\left\{ \begin{array}{l} p \longrightarrow 1 \text{ pas} \\ X_{max} \longrightarrow n_x \end{array} \right. \implies X_{max} = p . n_x \implies n_x = \frac{X_{max}}{p} = \frac{400}{1} = 400 \text{ pas}$$

⌘ Calculez le nombre maximum Step de moteur le long de l'axe X :

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ pas} \longrightarrow 48 \text{ step} \\ 400 \text{ pas} \longrightarrow S_{max,x} \end{array} \right. \implies S_{max,x} = \frac{400 * 48}{1} = 19200 \text{ step}$$

C) équation de la vitesse

À partir d'équation (II.3) Nous concluons ce qui suit :

$$V_{x(t)} = \frac{p}{2.\pi} \omega_{m(t)} = \frac{p.n}{60}$$

⌘ Calcul de la vitesse angulaire et du couple du moteur :

Nombre de "step angle" pour terminer un cours complet $P = \frac{360}{7.5} = 48 \text{ step}$

$$\implies \left\{ \begin{array}{l} \text{couple } (C_m) = 116.6 \text{ mN.m} = 0.1166 \text{ N.m} \\ \text{vitesse de rotation } (n) = \frac{1000}{48} = 20.833 \text{ tr/s} = 1249.98 \text{ tr/min} \\ \text{Vitesse angulaire } (\omega_{mx}) = \frac{n.\pi}{30} = \frac{1249.98.\pi}{30} = 130.89 \text{ rad/s} \end{array} \right.$$

⌘ Calculer la vitesse linéaire :

Pas de vis "Elément (7)", $p = 1\text{mm}$

$$V_{x(t)} = 1 * 1249.98 = 1249.98 \text{ mm/min} = 20.833 \text{ mm/s}$$

D) équation de la force ($F_{t,x}$, $F_{a,x}$, $F_{f,x}$, F_x)

⌘ Calculer la force tangentielle ($F_{t,x}$):

$$\text{Avec } C_m = F_{t,x} \cdot R_{moy} \implies F_{t,x} = \frac{C_m}{R_{moy}} = \frac{2 \cdot C_m}{d_{moy}} = \frac{2 \cdot 116.6}{5.350} = 43.59\text{N}$$

⌘ Calculer la force de Charge axiale ($F_{a,x}$):

Avec $\tan \varphi = 1.155 * f$

$$\tan \varphi' = \frac{\tan \varphi}{\cos \beta} = \frac{1.155 * f}{\cos \beta} = \frac{1.155 * 0.1}{\cos 30} \approx 0.749 \implies \varphi' = 36.833^\circ$$

$$\tan \alpha = \frac{p}{\pi \cdot d_{moy}} = \frac{1}{\pi * 5.350} \approx 0.0595 \implies \alpha = 3.405^\circ$$

À partir d'équation (II.11) Nous concluons ce qui suit :

$$F_{a,x} = \frac{F_{t,x}}{\tan(\alpha + \varphi')} = \frac{43.59}{\tan(3.405 + 36.833)} = 51.5\text{N}$$

⌘ Calculer la force de frottement par glissement du roulement

À partir d'équation (II.15) Nous concluons ce qui suit :

Avec Nombre du roulement= 2 et $\mu = 0.0015$ [20].

$$F_{f,x} = 2 \cdot P \cdot \mu = 2 * m \cdot g \cdot \mu = 2 * 2 * 9.81 * 0.0015 = 0.06\text{N}$$

⌘ Calculer la force de Charge axiale Le mouvement linéaire de l'axe X

$$F_x = F_{a,x} - F_{f,x} = 52.7 - 0.06 = 51.44\text{N}$$

E) équation de la puissance ($P_{m,x}$, $P_{u,x}$)

⌘ Calculer la puissance d'entrée (moteur)

$$P_{m,x} = C_m \cdot \omega_m = 0.1166 * 130.89 = 15.26\text{ W}$$

⌘ Calculer la puissance de sortie (utile) est :

$$P_{u,x} = F_x \cdot V_x = 51.44 * \frac{20.833}{1000} = 1.072\text{ W}$$

F) équation de Rendement (η)

⌘ Calculer la Rendement du système vis écrou

À partir d'équation (II.14) Nous concluons ce qui suit :

$$\eta_x = \frac{P_u}{P_m} \approx \frac{\tan \alpha}{\tan(\alpha + \varphi')} = \frac{\tan 3.405}{\tan(3.405 + 36.833)} = 0.0703 \approx 7 \%$$

II.5.3. Etude mécanisme le mouvement de l'axe Y

II.5.3.1 Etude Géométrique de mécanisme le mouvement de l'axe Y

A) Sujet d'étude

A ce stade, nous étudierons la nature de la relation entre les éléments (4 et 3),
Voir la figure (figure II.14).

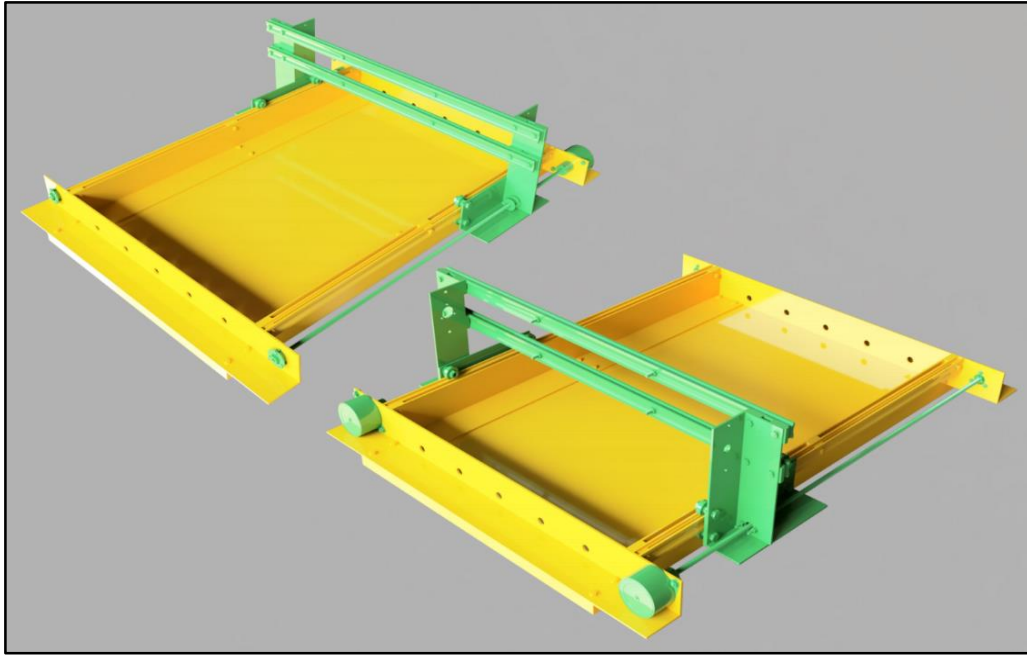


Figure II.20 : Mécanisme Le mouvement de l'axe Y .

B) Etude Cinématique

⌘ Les composants :

Elément (1) : roulements

Elément (2) : Ecrou

Elément (3) : Base de Machine
(Table de montage de coupe)

Elément (4) : Mécanisme
le mouvement de l'axe Y

Elément (5) : liaison Pivot
(roulement)

Elément (6) : moteur pas à pas

Elément (7) : Vis

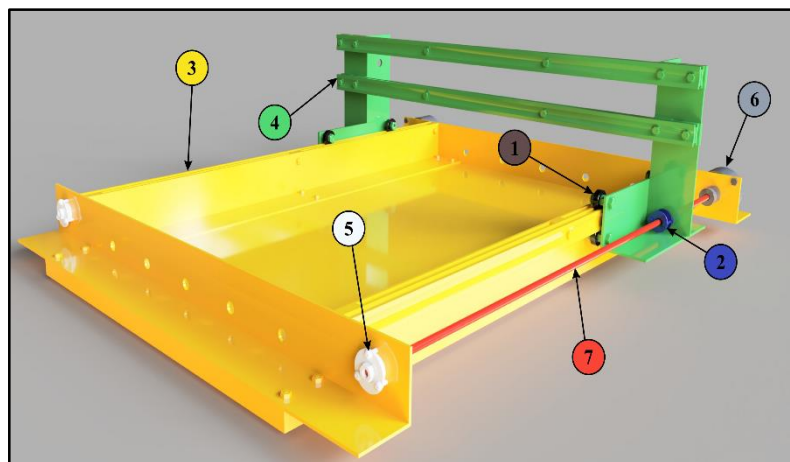


Figure II.21 : Les composants de Mécanisme Le mouvement de l'axe Y.

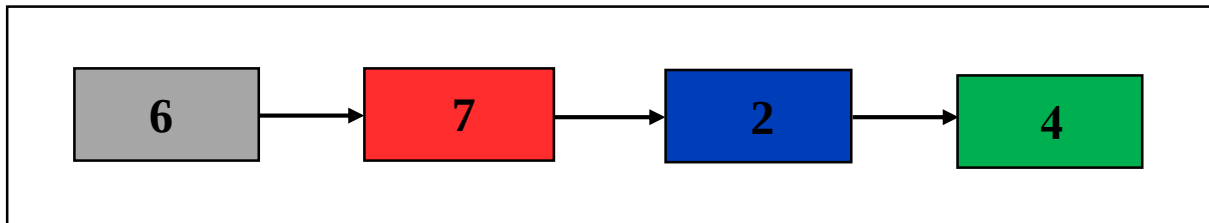


Figure II. 22 : La chaîne cinématique du mécanisme le mouvement de l'axe Y.

⌘ Établir le graphe de liaison de ce mécanisme :

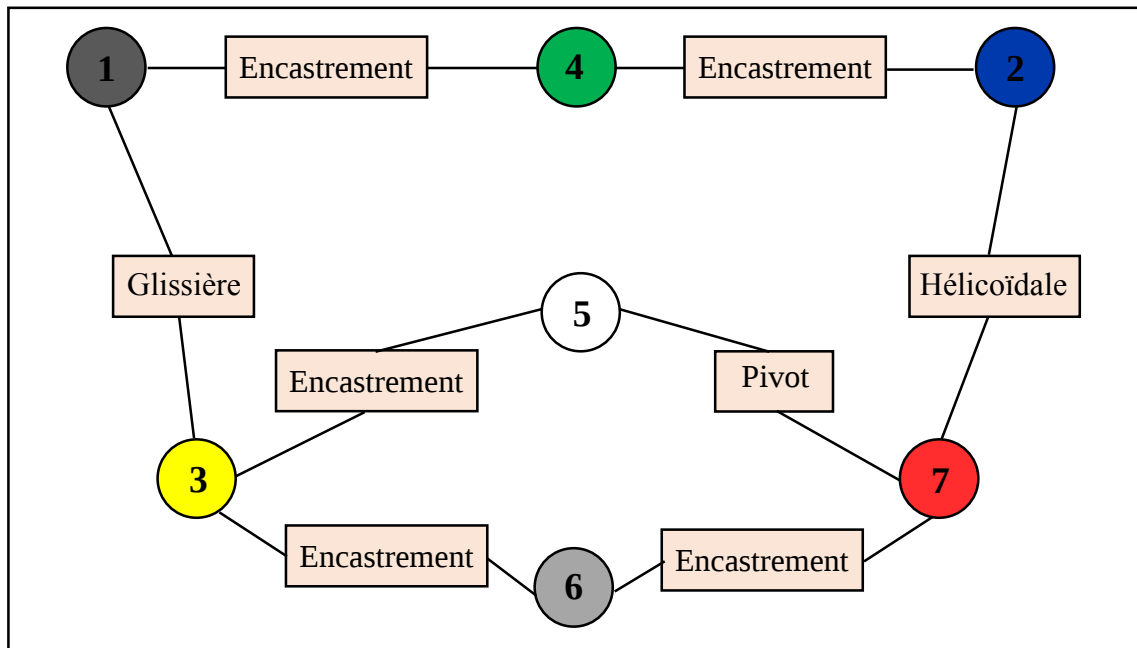


Figure II.23 : Graphe de liaison de ce mécanisme le mouvement de l'axe Y.

⌘ Établir le schéma cinématique :

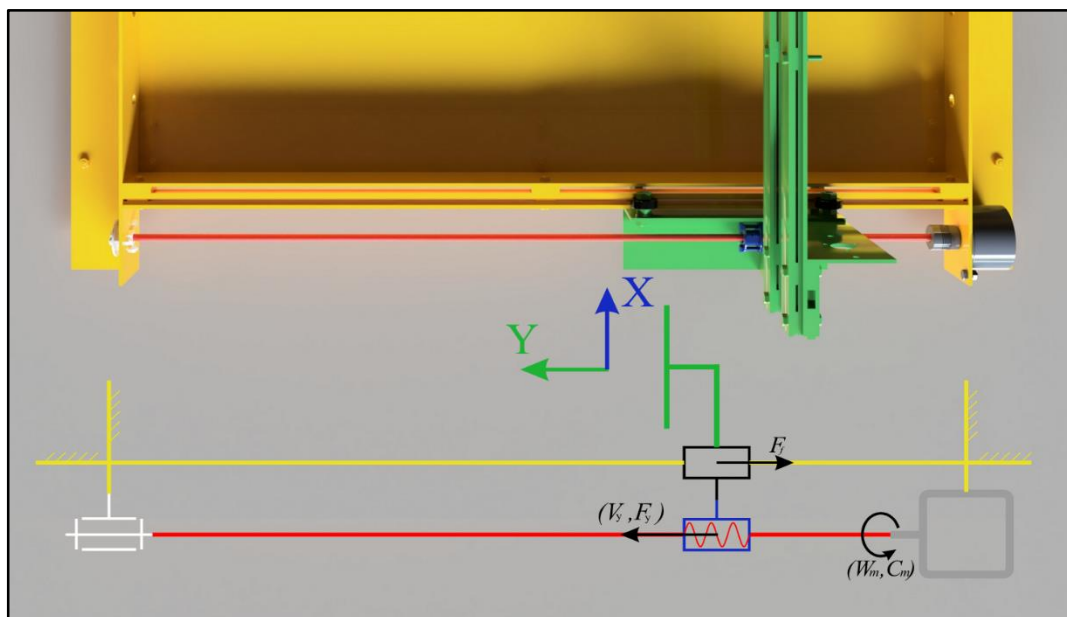


Figure II.24 : Schéma cinématique de mécanisme le mouvement de l'axe Y.

II.5.3.2 Modélisation de mécanisme le mouvement de l'axe Y

Observation : Veuillez noter que nous avons utilisé deux moteurs pour l'axe Y

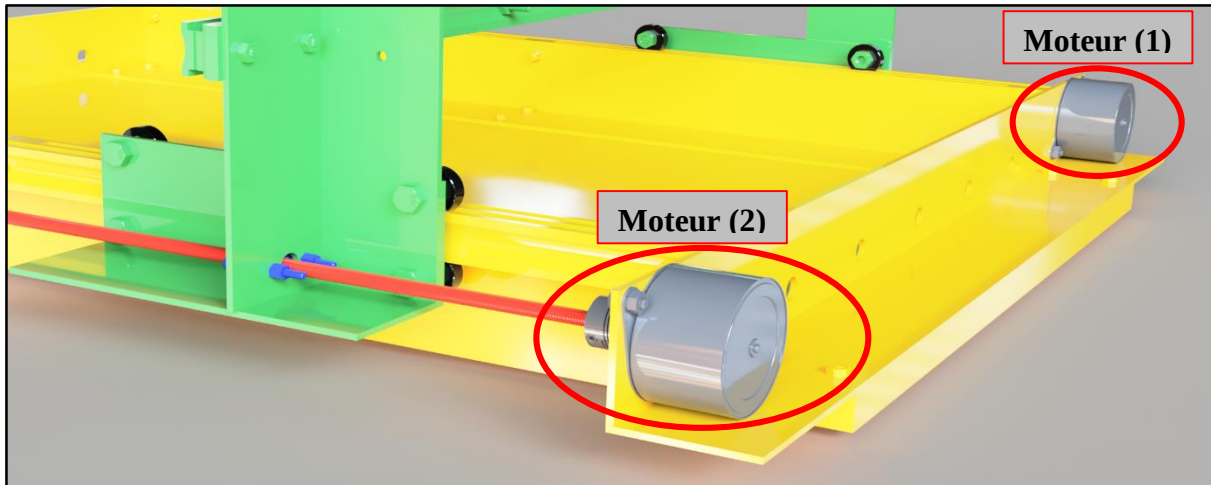


Figure II.25 : Le nombre de moteurs utilisés pour déplacer l'outil dans le sens de l'axe Y.

A) équation déplacement

À partir d'équation (II.2) Nous concluons ce qui suit :

$$\dot{y} = \frac{p}{2 \cdot \pi} \dot{\theta}_y \implies Y_{(t)} = \frac{p}{2 \cdot \pi} \cdot \theta_{y(t)}$$

⌘ Calculez le nombre maximum de pas le long de l'axe Y :

Avec $Y_{max} = 460 \text{ mm}$, $p = 1 \text{ mm}$

$$\left\{ \begin{array}{l} p \longrightarrow 1 \text{ pas} \\ Y_{max} \longrightarrow n_y \end{array} \right. \implies Y_{max} = p \cdot n_y \implies n_y = \frac{Y_{max}}{p} = \frac{460}{1} = 460 \text{ pas}$$

⌘ Calculez le nombre maximum Step de moteur le long de l'axe Y :

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ pas} \longrightarrow 48 \text{ step} \\ 460 \text{ pas} \longrightarrow S_{max,y} \end{array} \right. \implies S_{max,y} = \frac{460 * 48}{1} = 22080 \text{ step}$$

B) équation de la vitesse

À partir d'équation (II.3) Nous concluons ce qui suit :

$$V_{y(t)} = \frac{p}{2 \cdot \pi} \omega_{m(t)} = \frac{p \cdot n}{60}$$

⌘ Calcul de la vitesse angulaire et du couple du moteur :

Nombre de "step angle" pour terminer un cours complet $P = \frac{360}{7.5} = 48 \text{ step}$

$$\implies \left\{ \begin{array}{l} \text{couple } (C_m) = 116.6 \text{ mN.m} = 0.1166 \text{ N.m} \\ \text{vitesse de rotation } (n) = \frac{1000}{48} = 20.833 \text{ tr/s} = 1249.98 \text{ tr/min} \\ \text{Vitesse angulaire } (\omega_m) = \frac{n \cdot \pi}{30} = \frac{1249.98 \cdot \pi}{30} = 130.89 \text{ rad/s} \end{array} \right.$$

⌘ Calculer la vitesse linéaire :

Pas de vis "Elément (7)", $p = 1\text{mm}$

$$V_{y(t)} = 1 * 1249.98 = 1249.98 \text{ mm/min} = 20.833 \text{ mm/s}$$

C) équation de la force ($F_{t,y}$, $F_{a,y}$, $F_{f,y}$, F_y)

⌘ Calculer la force tangentielle ($F_{t,y}$):

$$\text{Avec } 2.C_m = F_{t,y} \cdot R_{moy} \iff F_{t,y} = \frac{2.C_m}{R_{moy}} = \frac{4.C_m}{d_{moy}} = \frac{4*116.6}{5.350} = 87.18 \text{ N}$$

⌘ Calculer la force de Charge axiale ($F_{a,y}$):

Avec $\tan \varphi = 1.155 * f$

$$\tan \varphi' = \frac{\tan \varphi}{\cos \beta} = \frac{1.155 * f}{\cos \beta} = \frac{1.155 * 0.1}{\cos 30} \approx 0.749 \implies \varphi' = 36.833^\circ$$

$$\tan \alpha = \frac{p}{\pi \cdot d_{moy}} = \frac{1}{\pi * 5.350} \approx 0.0595 \implies \alpha = 3.405^\circ$$

À partir d'équation (II.11) Nous concluons ce qui suit :

$$F_{a,y} = \frac{F_{t,y}}{\tan(\alpha + \varphi')} = \frac{87.18}{\tan(3.405 + 36.833)} = 103.02 \text{ N}$$

⌘ Calculer la force de frottement par glissement du roulement

À partir d'équation (II.15) Nous concluons ce qui suit :

Avec $\mu = 0.0015$ et Nombre du roulement = 4

$$F_{f,y} = 4 * P \cdot \mu = 4 * m \cdot g \cdot \mu = 4 * 3.5 * 9.81 * 0.0015 = 0.264 \text{ N}$$

⌘ Calculer la force de Charge axiale Le mouvement linéaire de l'axe Y

$$F_y = F_{a,y} - F_{f,y} = 103.02 - 0.264 = 102.76 \text{ N}$$

D) équation de la puissance ($P_{m,y}$, $P_{u,y}$)

⌘ Calculer la puissance d'entrée (moteur)

$$P_{m,y} = 2.C_m \cdot \omega_m = 2 * 0.1166 * 130.89 = 30.52 \text{ W}$$

⌘ Calculer la puissance de sortie (utile) est :

$$P_{u,y} = F_y \cdot V_y = 102.9 * \frac{20.833}{1000} = 2.14 \text{ W}$$

E) équation de Rendement (η)

⌘ Calculer la Rendement du système vis écrou

À partir d'équation (II.14) Nous concluons ce qui suit :

$$\eta_y = \frac{\tan \alpha}{\tan(\alpha + \varphi')} = \frac{P_{u,y}}{P_{m,y}} = \frac{2.14}{30.52} = 0.7 = 7 \%$$

II.5.4. Etude Mécanisme le mouvement de l'axe Z

II.5.4.1 Etude Géométrique de mécanisme le mouvement de l'axe Z

A) Sujet d'étude

A ce stade, nous étudierons la nature de la relation entre les éléments (1 et 2),
Voir la figure (figure II.14).

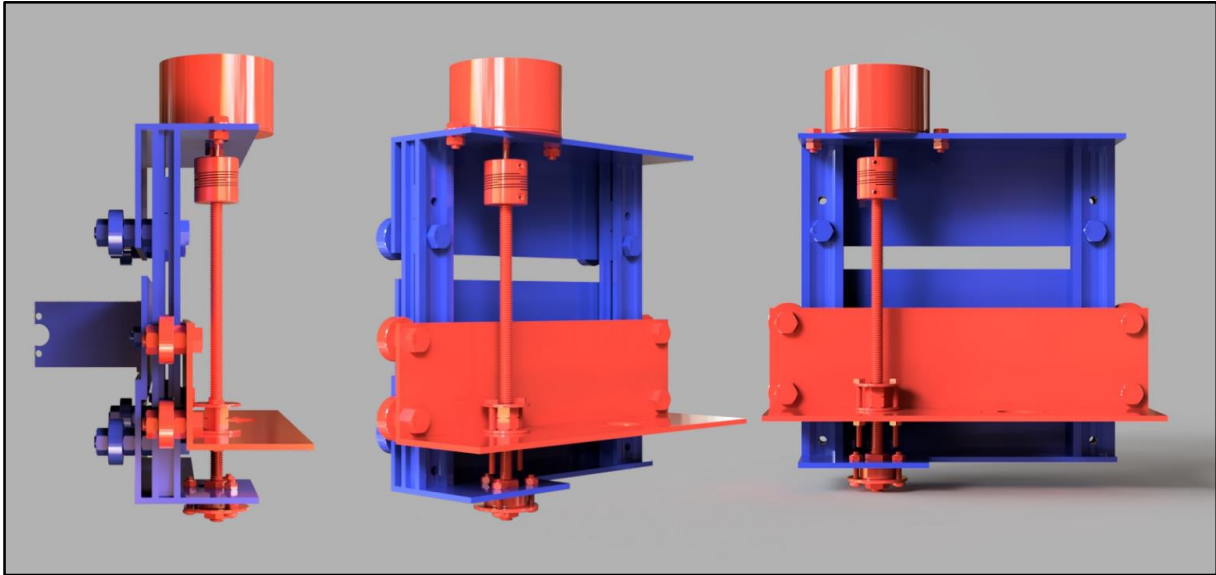


Figure II.26 : Mécanisme Le mouvement de l'axe Z.

B) Etude Cinématique

⌘ Les composants :

Elément (1) : Mécanisme le mouvement de l'axe Z

Elément (2) : Mécanisme le mouvement de l'axe X

Elément (3) : Vis

Elément (4) : Ecrou

Elément (5) : liaison Pivot (roulement ...)

Elément (6) : moteur pas à pas

Elément (7) : roulements

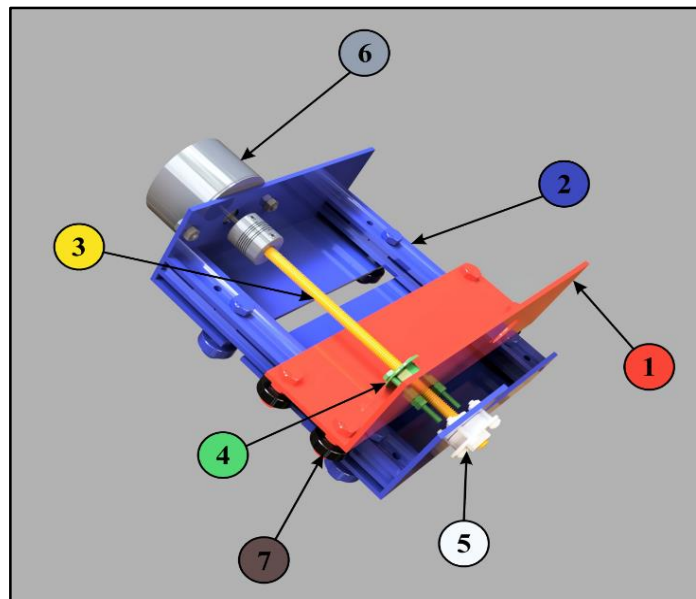


Figure II.27 : Les composants de Mécanisme Le mouvement de l'axe Z.

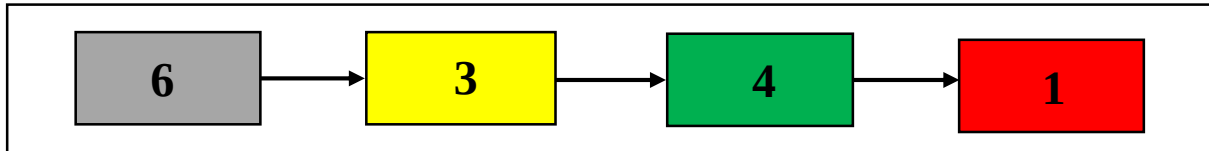


Figure II.28 : La chaîne cinématique du mécanisme le mouvement de l'axe Z.

⌘ Établir le graphe de liaison de ce mécanisme :

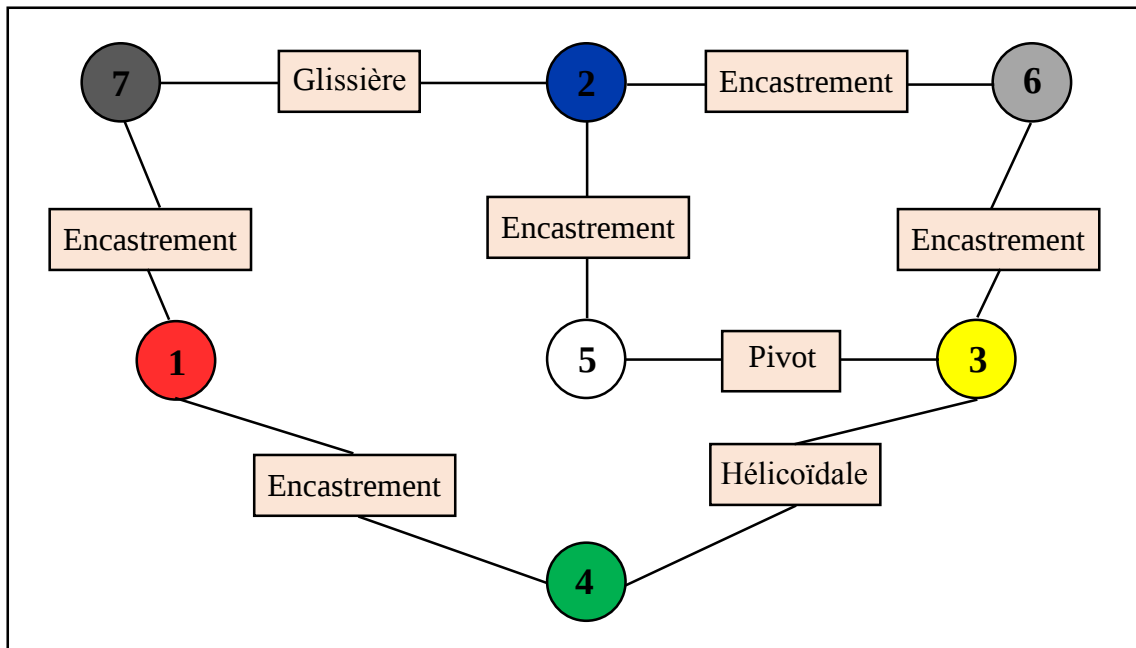


Figure II.29 : Graphe de liaison de ce mécanisme le mouvement de l'axe Z.

⌘ Établir le schéma cinématique :

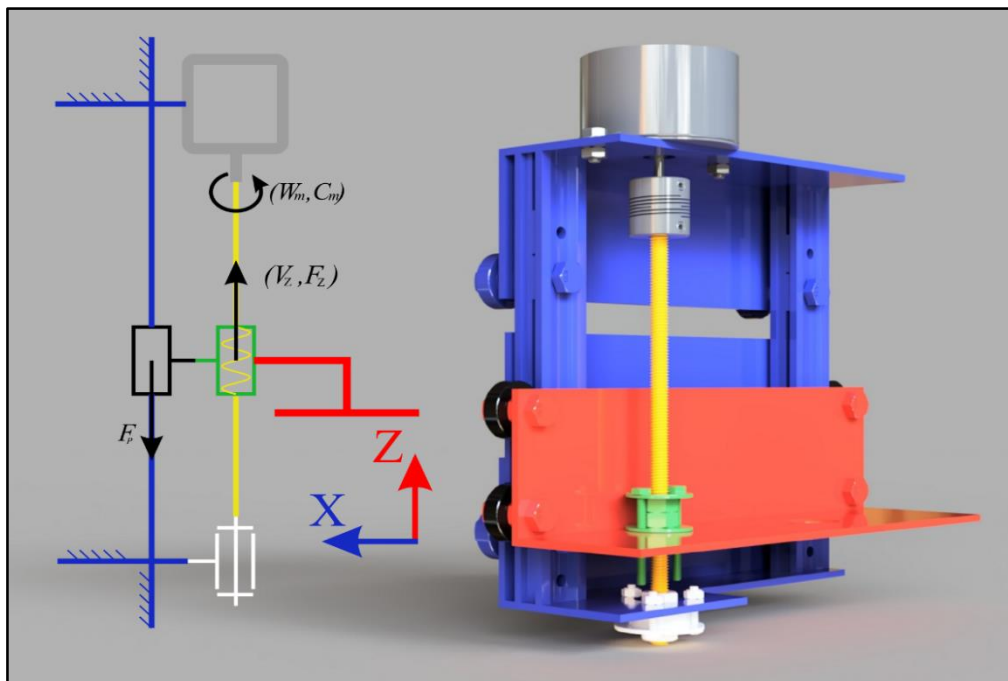


Figure II.30 : Schéma cinématique de mécanisme le mouvement de l'axe Z.

II.5.4.2 Modélisation de mécanisme le mouvement de l'axe Z

A) équation déplacement

À partir d'équation (II.2) Nous concluons ce qui suit :

$$\dot{z} = \frac{p}{2 \cdot \pi} \dot{\theta}_z \implies Z_{(t)} = \frac{p}{2 \cdot \pi} \cdot \theta_{z(t)}$$

⌘ Calculez le nombre maximum de pas le long de l'axe Z :

Avec $Z_{max} = 40 \text{ mm}$, $p = 1 \text{ mm}$

$$\begin{cases} p \longrightarrow 1 \text{ pas} \\ Z_{max} \longrightarrow n_z \end{cases} \implies Z_{max} = p \cdot n_z \implies n_z = \frac{Z_{max}}{p} = \frac{40}{1} = 40 \text{ pas}$$

⌘ Calculez le nombre maximum Step de moteur le long de l'axe Z :

$$\begin{cases} 1 \text{ pas} \longrightarrow 48 \text{ step} \\ 40 \text{ pas} \longrightarrow S_{max,z} \end{cases} \implies S_{max,z} = \frac{40 \cdot 48}{1} = 1920 \text{ step}$$

B) équation de la vitesse

À partir d'équation (II.3) Nous concluons ce qui suit :

$$V_{z(t)} = \frac{p}{2 \cdot \pi} \omega_{m(t)} = \frac{p \cdot n}{60}$$

⌘ Calcul de la vitesse angulaire et du couple du moteur :

Nombre de step angle pour terminer un cours complet $P = \frac{360}{7.5} = 48 \text{ step}$

$$\implies \begin{cases} \text{couple } (C_m) = 116.6 \text{ mN.m} = 0.1166 \text{ N.m} \\ \text{vitesse de rotation } (n) = \frac{1000}{48} = 20.833 \text{ tr/s} = 1249.98 \text{ tr/min} \\ \text{Vitesse angulaire } (\omega_m) = \frac{n \cdot \pi}{30} = \frac{1249.98 \cdot \pi}{30} = 130.89 \text{ rad/s} \end{cases}$$

⌘ Calculer la vitesse linéaire :

Pas de vis 'Elément (3)', $p = 1 \text{ mm}$

$$V_{z(t)} = 1 \cdot 1249.98 = 1249.98 \text{ mm/min} = 20.833 \text{ mm/s}$$

C) équation de la force ($F_{t,z}$, $F_{a,z}$, F_p , F_z)

⌘ Calculer la force tangentielle ($F_{t,z}$):

$$\text{Avec } C_m = F_{t,z} \cdot R_{moy} \iff F_{t,z} = \frac{C_m}{R_{moy}} = \frac{2 \cdot C_m}{d_{moy}} = \frac{2 \cdot 116.6}{5.350} = 43.59 \text{ N}$$

⌘ Calculer la force de Charge axiale ($F_{a,y}$):

Avec $\tan \varphi = 1.155 \cdot f$

$$\tan \varphi' = \frac{\tan \varphi}{\cos \beta} = \frac{1.155 \cdot f}{\cos \beta} = \frac{1.155 \cdot 0.1}{\cos 30} \approx 0.749 \implies \varphi' = 36.833^\circ$$

$$\tan \alpha = \frac{p}{\pi \cdot d_{moy}} = \frac{1}{\pi \cdot 5.350} \approx 0.0595 \implies \alpha = 3.405^\circ$$

À partir d'équation (II.11) Nous concluons ce qui suit :

$$F_{a,z} = \frac{F_{t,z}}{\tan(\alpha + \varphi')} = \frac{43.59}{\tan(3.405 + 36.833)} = 51.5 \text{ N}$$

⌘ Calculer la force de gravité (F_p)

$$F_p = m \cdot g = 0.8 \cdot 9.81 = 7.85 \text{ N}$$

⌘ Calculer la force de Charge axiale Le mouvement linéaire de l'axe Z

$$F_z = F_{a,z} - F_p = 51.5 - 7.85 = 43.65 \text{ N}$$

D) équation de la puissance ($P_{m,z}, P_{u,z}$)

⌘ Calculer la puissance d'entrée (moteur)

$$P_{m,z} = C_m \cdot \omega_m = 0.1166 \cdot 130.89 = 15.26 \text{ W}$$

⌘ Calculer la puissance de sortie (utile) est :

$$P_{u,z} = F_z \cdot V_z = 43.65 \cdot \frac{20.833}{1000} = 0.909 \text{ W}$$

E) équation de Rendement (η)

⌘ Calculer la Rendement du système vis écrou

À partir d'équation (II.14) Nous concluons ce qui suit :

$$\eta_z = \frac{P_{u,y}}{P_{m,y}} = \frac{0.909}{15.26} = 0.059 \approx 6 \%$$

II.5.5 Schématisation

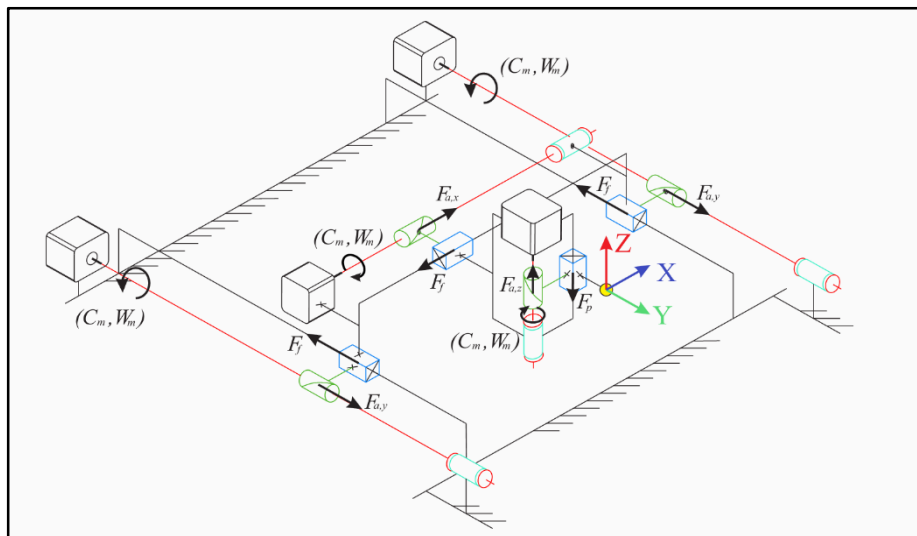


Figure II.31 : Schéma cinématique de la machine CNC.

II.6. La méthodologie de programmation

II.6.1. Programmation

La programmation de commande numérique (CN) permet de piloter des machines-outils à commande numérique.

C'est le directeur de commande numérique (DCN) qui interprète les instructions, reçoit les informations des capteurs et agit (par l'intermédiaire d'un variateur électronique) sur les moteurs.

II.6.1.1 Définition

La programmation est le travail de préparation qui consiste à transposer la gamme d'usinage de la pièce en un ensemble ordonné d'instructions comprises et exécutées par la CN en vue de réaliser son usinage. Ce travail peut être effectué manuellement ou avec l'assistance d'un ordinateur utilisant un langage de programmation évolué. À titre indicatif, la figure classe différentes méthodes de programmation en fonction des compétences du programmeur et de la complexité des machines à piloter.

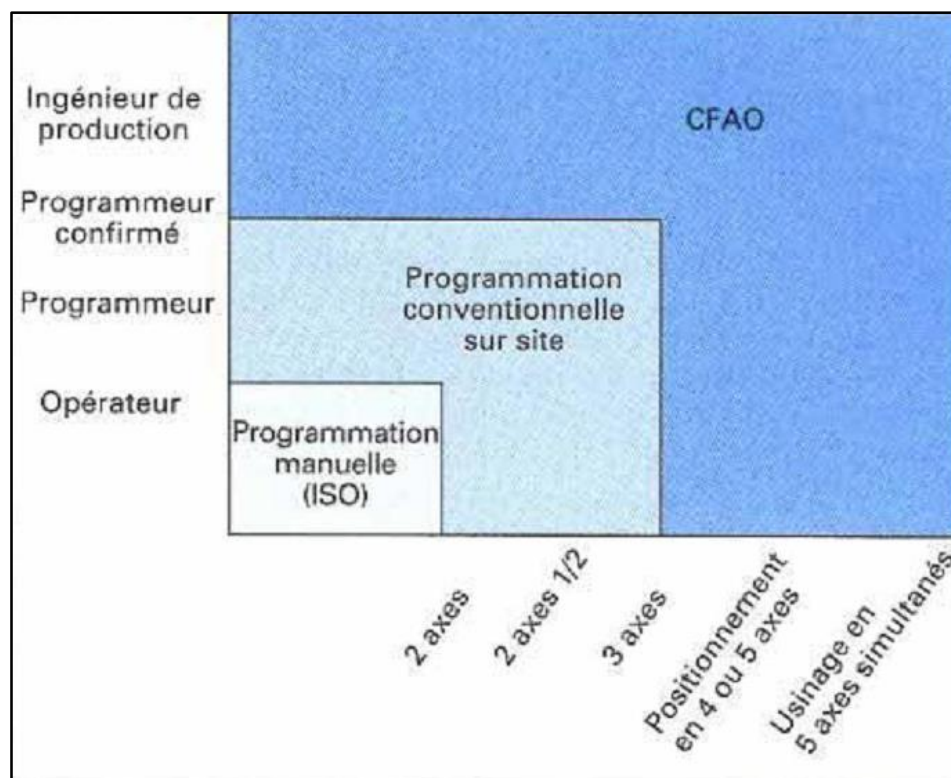


Figure II.32 : Méthodes comparées de programmation [24].

La création d'un programme est soumise à des règles de structure, syntaxe ou format.

Les instructions programmées doivent contenir toutes les données nécessaires à la commande et au séquençement des opérations à réaliser pour assurer l'usinage de la pièce sur la machine.

Elles regroupent :

- Les données géométriques, qui permettent à la CN de calculer les positions successives de l'outil par rapport à la pièce pendant les diverses phases de l'usinage. Les positions sont définies par rapport à une origine connue.
- Les instructions indiquant le mode d'interpolation, le choix du mode de cotation, absolue ou relative, le choix du cycle d'usinage, le choix de l'outil,... etc. ;
- Les données technologiques qui précisent les conditions de coupe optimales dans lesquelles pourra s'effectuer l'usinage. Elles concernent principalement la vitesse de rotation de la broche, les vitesses d'avance et la commande de l'arrosage [24].

II.6.1.2 Les différents modes de programmation [24].

Quel que soit le langage de programmation utilisé pour le développement des programmes pièces, le seul langage compréhensible par la machine est le langage ISO. Le passage d'un langage de haut niveau au langage ISO est possible en utilisant un logiciel de traduction.

A) Le langage ISO

⌘ Sur pupitre de la C.N :

Cette solution mobilise la machine, la majorité des systèmes offrent par ailleurs une interface peu conviviale.

⌘ Sur poste de programmation + téléchargement sur la C.N. :

Le poste de programmation peut être soit :

- Une console spécialisée reproduisant l'interface utilisateur de la C.N.
- Un ordinateur standard utilisant un logiciel spécialisé ou un éditeur de texte.

L'écriture du programme s'effectue en temps masqué, mais les tests syntaxiques et la simulation graphique doivent se faire sur la M.O.C.N. ou nécessite alors l'utilisation d'un logiciel de simulation.

B) Le langage conversationnel sur pupitre de la C.N.

Logiciel résident dans la CN qui permet la création, la modification, la visualisation, la simulation d'un ou plusieurs programmes pièces écrits en conversationnel pendant que la machine usine une pièce définie par un autre programme en mémoire.

Aide à la programmation (fichiers divers) - Programmation en temps masqué mais utilisation du pupitre de la machine (présence d'un programmeur sur le site en cours de production).

C) Les langages de haut niveau

Ces langages normalisés facilitent la programmation, il présente l'avantage d'être indépendants de la C.N qui sera utilisée pour l'usinage.

Un post-processeur (logiciel de traduction) spécifiquement développé pour chaque directeur de commande numérique permet la traduction en langage ISO.

Ces langages sont également utilisés comme interface entre les systèmes de F.A.O (voir point suivant) et le langage I.S.O utilisé par la C.N.

D) Programmation automatique par une F.A.O.

Les logiciels de F.A.O utilisent la géométrie de la pièce à usinée générée en C.A.O.

Sur ces logiciels une session d'usinage consiste pour l'essentiel en la sélection des surfaces à usiner, le choix des outils, la définition de la méthode d'usinage et des paramètres de coupe.

Les risques d'erreurs de report de données sont éliminés, le gain de temps est important particulièrement pour les pièces complexes

II.6.1.3 Création d'un programme CN

Avant toute programmation proprement dite, il est important de planifier et de préparer méticuleusement les opérations d'usinage. Plus votre préparation aura été précise quant à la structure de votre programme CN, plus la programmation proprement dite sera simple et rapide et moins vous aurez d'erreurs dans le programme terminé.

A) Préparer le dessin de la pièce

- Définir l'origine de la pièce
- Indiquer le système de coordonnées
- Éventuellement calculer les coordonnées manquantes.

B) Définir le déroulement des opérations d'usinage

- Quels sont les outils à mettre en œuvre, à quel moment et pour le traitement de quel contour ?
- Dans quel ordre les différents éléments de la pièce devront-ils être usinés ?
- Quels sont les éléments qui se répètent et qui devraient figurer dans un sous-programme ?
- Est-ce que d'autres programmes pièce ou sous-programmes contiennent des contours susceptibles d'être utilisés pour la pièce actuelle ?

C) Définir la gamme de fabrication

Définir pas à pas toutes les phases d'opération de la machine, par exemple :

- Déplacements à vitesse rapide pour le positionnement
- Changement d'outil
- Définition du plan d'usinage
- Dégagement pour les mesures
- Mise en marche / arrêt de la broche, de l'arrosage
- Appel des données d'outil
- Approche de l'outil
- Correction de trajectoire
- Accostage du contour
- Retrait de l'outil

D) Traduire les opérations dans le langage de programmation

Transcrire chaque opération sous la forme d'un bloc CN (ou de blocs CN).

E) Regrouper toutes les opérations en un programme

Le regroupement des opérations doit obéir aux règles de programmation

II.6.1.4 Programmation en G-code

A) G-Code (Gcode), C'est quoi ? [25].

Cette question va sans doute paraître iconoclaste à tous ceux (et celles) déjà familiers des machines à commande numérique, mais c'est pourtant une question légitime pour toute personne envisageant de se lancer dans le fraisage CNC, d'autant qu'aujourd'hui de nombreux logiciels permettent de ne pas trop avoir à se soucier de ce G-Code, puisqu'ils le génèrent pour nous. Pourtant, il est utile de connaître ce langage de programmation (puisque c'est ce dont il s'agit), d'une part pour comprendre ce qui se passe, d'autre part pour pouvoir lancer de courtes commandes manuelles à sa machine, pour la régler ou pour tester une opération spécifique.

⌘ Donc, le G-Code, c'est quoi ?

Comme indiqué précédemment, le G-Code est le langage utilisé pour contrôler une machine à commande numérique. Il s'agit bien d'un langage de programmation, qui nous sert donc à programmer les mouvements que la machine va effectuer, et le fichier contenant la suite d'instructions s'appelle, en toute logique, un programme. Il s'agit de simple fichier texte, humainement lisible, au même titre que du code en C, Pascal ou Basic. Il se compose d'un certain nombre de "commandes" spécifiques, indiquant à la machine quel type de mouvement

elle doit exécuter (droite, arc de cercle, etc.), et d'indications de coordonnées sur les axes X, Y et Z (Je n'envisage que les cas les plus classiques d'une fraiseuse sur 3 dimensions).

⌘ Il est à noter que G-Code n'est pas utilisé exclusivement pour des fraiseuse à commande numérique, mais aussi pour des tours, des imprimantes 3D et des lasers de découpe.

B) Pour quelle utilisation

Développé à l'origine pour des machines-outils agissant par enlèvement de matière, le code ISO est désormais utilisé dans un domaine très vaste de la fabrication, avec des adaptations :

Usinage par enlèvement de matière : tournage, fraisage, perçage, gravure, défonçage ;

Découpe avec : couteau, laser, jet d'eau, plasma, flamme ou oxydation

Poinçonnage :

Impression 3D : par dépôt de matière ("fabrication additive"), durcissement d'une résine.

C) Structure spécifique d'un programme CN [26].

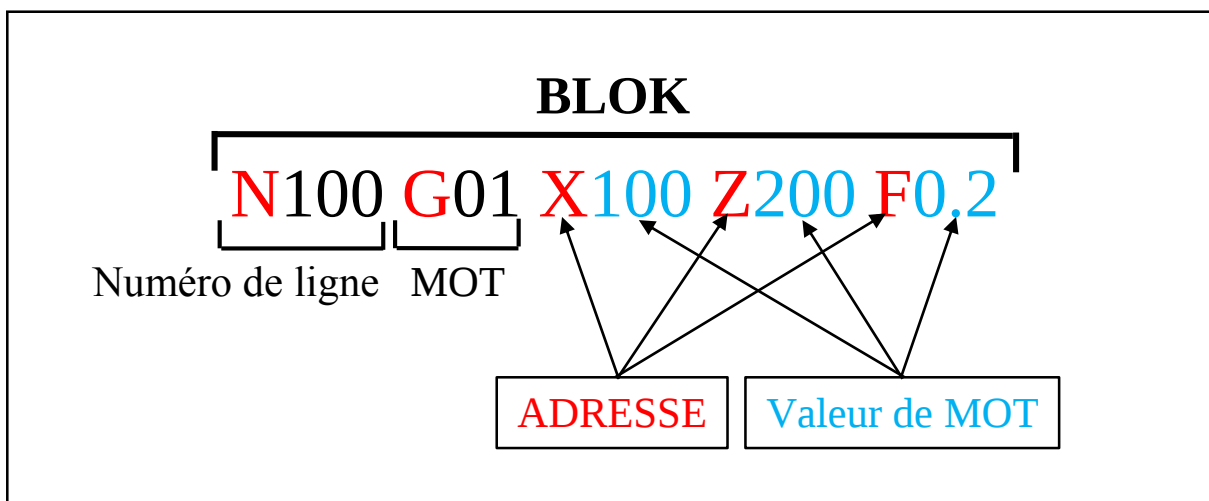


Figure II.33 : Format d'un programme pour ligne [27].

Adresse : lettre débutant un mot d'un langage machine, qui précise la fonction générale commander : G, X, Y, Z, F, S, T, M.

Mot : ensemble de caractères comportant une adresse suivie de chiffres

Constituant une information. Ex : X100

Bloc : groupe de mots correspondant aux instructions relatives à une séquence d'usinage

⌘ Les codes

- Fonctions préparatoires (G), fonctions d'appel de mode d'interpolation (G 0), cycles machine
- Coordonnées de points (X, Y, Z, I, J, K)
- Vitesses, avances... (S, F)

- Fonctions auxiliaires (M) qui permettent d'enclencher la lubrification, de changer d'outil, ou de déclencher des accessoires.

X : position absolue

Y : position absolue

Z : position absolue

A : position (rotation autour de l'axe X)

B : position (rotation autour de l'axe Y)

C : position (rotation autour de l'axe Z)

U : position Relative OU axe secondaire

V : position Relative OU axe secondaire

W : position Relative OU axe secondaire

M : code Fonction "Machine" ou "Modale"(un autre type d'action ou de code machine(*))
parfois référencé comme fonction 'diverse' ("Miscellaneous" en anglais)

Permet aussi de contrôler des entités externes à la machine proprement dit (magasin
auxiliaire, refroidisseur,...)

D : association d'un correcteur de jauge outil

F : vitesse de déplacement

S : vitesse de rotation

C : s'il est intégré dans un bloc de cycle fixe ébauche ou finition, C désigne un chanfrein

N : numéro de ligne

Le numéro de bloc n'est pas obligatoire à chaque ligne avec les commandes ISO Fanuc, il désigne juste un endroit du programme où l'on peut ordonner un saut d'opération ou un départ d'opération, le plus souvent avant un changement d'outil

V : permet de contrôler une vitesse de rotation dans une machine avec diverses configurations

R : Rayon d'arc ou option passée à un sous-programme

P : Temps de pause ou option passée à un sous-programme ou appel de sous-programme
(Précédé de M98 par ex)

T : Sélection d'outil

I : Axe X des données d'un arc

J : Axe Y des données d'un arc

K : Axe Z des données d'un arc

D : diamètre de coupe/décalage pour l'épaisseur d'outil

H : décalage pour la hauteur de l'outil

(*) Les codes M contrôlent l'ensemble de la machine, permettant son démarrage, son arrêt, la mise en route de l'arrosage, etc. Alors que les autres codes concernent le cheminement de l'outil.

Des machines différentes peuvent utiliser le même code pour effectuer des fonctions différentes : même les machines qui utilisent le même contrôleur CNC. Certains ont déclaré que le G-code "Fanuc" est standard, ce qui est faux. C'est simplement l'un des plus simples et des plus répandus.

Une version standardisée du G-code connue sous la dénomination BCL est utilisée, mais sur très peu de machines.

Le G-code est interprété par les traceurs photographique Gerber, les contrôleurs de machine-outil et certains de leurs opérateurs.

Les fichiers G-code sont produits par des programmes de CFAO tels que :

GOelan, SmartCAM, Gibbscam, SolidCAM, Featurecam, Artcam, Edgecam, Surfcam, Mastercam, OneCNC, Router-CIM, Alphacam, TopSolid'Cam, e-NC, CATIA V5, GPSoftware ...etc.

Ces applications utilisent en général des convertisseurs appelés post-processeurs pour optimiser le code en vue de son utilisation sur une machine particulière. Les post-processeurs sont généralement modifiables par l'utilisateur afin d'optimiser leur usage. Le G-code est aussi produit par certains programmes de CAO spécialisés dans la conception de circuit imprimé.

De tels programmes doivent être adaptés pour chaque type de machine-outil.

Quelques machines CNC utilisent des programmes "Interactifs", qui permettent de programmer avec des Agents en cachant partiellement ou totalement le G-code. Quelques exemples populaires sont Mazak Mazatrol, Hurco Ultimax et le langage interactif Mori Seiki's CAPS.

⌘ Common Fanuc G Codes

Tableau II.6 : *Common G Codes (avec certaines extensions non standardisées)* [26].

G code	Description
G00	Déplacement rapide
G01	Interpolation linéaire
G02	Interpolation circulaire (sens horaire)
G03	Interpolation circulaire (sens anti-horaire)

G04	Arrêt programme et ouverture carter (pour nettoyer) (temporisation - suivi de l'argument F ou X en secondes)
G10/G11	Écriture de données/Effacement de données
G17	Sélection du plan X-Y
G18	Sélection du plan X-Z
G19	Sélection du plan Y-Z
G20	Programmation en pouces
G21	Programmation en mm
G28	Retour à la position d'origine
G31	Saute la fonction (utilisé pour les capteurs et les mesures de longueur d'outil)
G33	Filetage à pas constant
G34	Filetage à pas variable
G40	Pas de compensation de rayon d'outil
G41	Compensation de rayon d'outil à gauche
G42	Compensation de rayon d'outil à droite
G90	Déplacements en coordonnées absolues
G94/G95	Déplacements en coordonnées relatives
G96/G97	Vitesse de coupe constante (vitesse de surface constante)/Vitesse de rotation constante ou annulation de G96

⌘ Codes spéciaux

G43 : Prise en compte de la longueur (fraisage)

M98 : appel de sous programmes

EB : Rayon à l'intersection de deux lignes

G77 : Appel de blocs

G79 : Saut de bloc

⌘ Codes CNC ISO de base

Les 0 ne sont pas obligatoires (DEVANT un autre chiffre : M02 peut s'écrire M2. Par contre M30 reste M30 sinon ça deviendrait M3....)

M00, M01 : arrêt du programme, arrêt optionnel ou avec condition

M02 : arrêt du programme

M03, M04, M05 : broche sens horaire, sens antihoraire, arrêt de broche

M06 : changement d'outil

M07, M08, M09 : mise en route arrosage, arrêt arrosage

M21 : activation pression broche ; M21 à M27 : palier pression selon outils

M30 : fin du programme, réinitialisation, rembobinage

M99 : fin du sous-programme

G96, G97 : vitesse de coupe constante, vitesse de rotation constante

G92 / G50 : vitesse de broche maximum

G95, G94 : déplacement mm/tr, déplacement mm/min

G00, G01 : mouvement rapide, interpolation linéaire (coupe suivant une ligne droite)

F : vitesse de déplacement

S : vitesse de broche

Coordonnées d'axes X, Y, Z, A, B, C

D) Structure générale d'un programme ISO

Un programme est exécuté dans l'ordre d'écriture des blocs situés entre les caractères de début et de fin de programme.

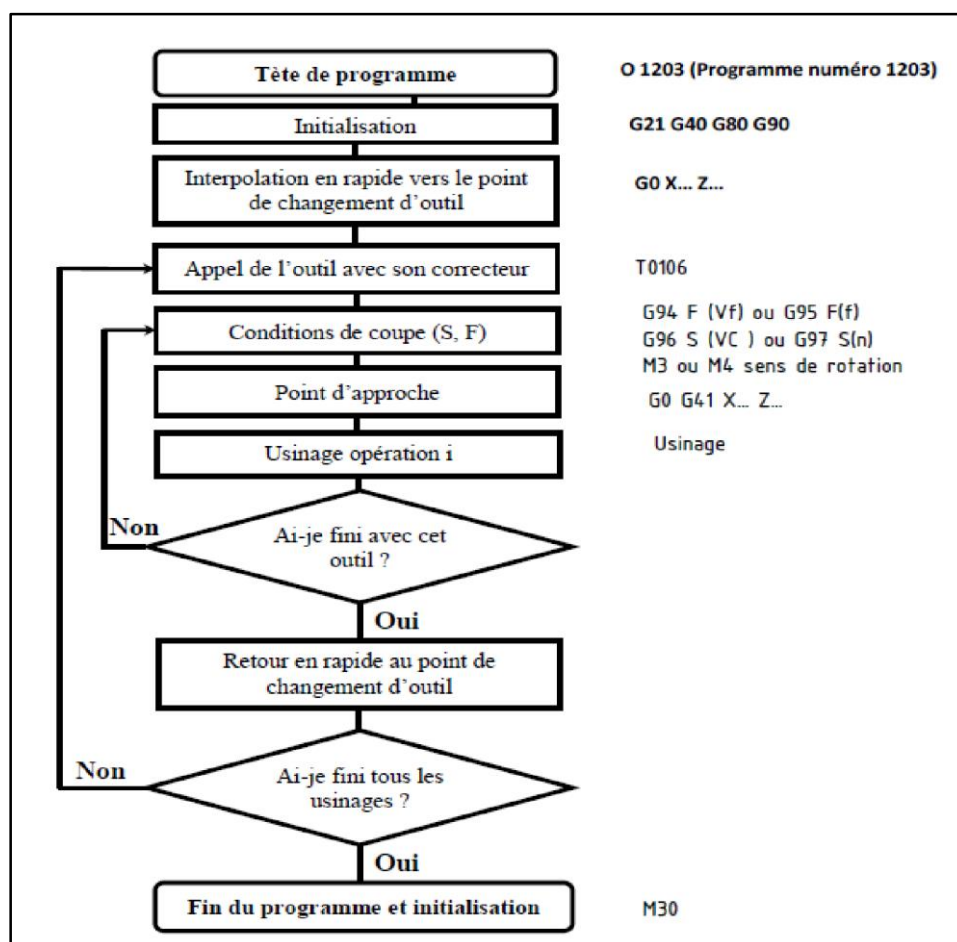


Figure II.34 : Structure d'un programme ISO [24].

La programmation structurée permet d'analyser et de concevoir plus rapidement un programme de commande numérique. En effet, toutes les opérations d'usinage font appel à un certain nombre de fonctions identiques (appel d'outil, rotation de broche, mise en route et arrêt de la lubrification, conditions de coupe, dégagement d'outil, etc.) [6].

E) Exemple(1)

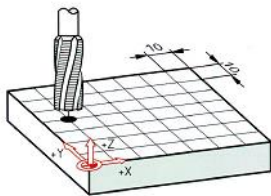
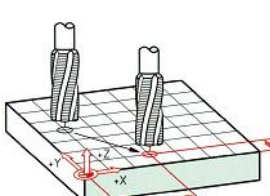
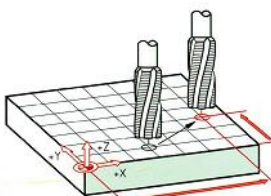
			
En G90	Position actuelle: X10 Y30	Position X30 Y10	Position X60 Y30
En G91		X20 mm sens (+) Y30 mm sens (-) X20 Y-30	X30 mm sens (+) Y20 mm sens (+) X30 Y20

Figure II.35 : Exemple d'un programme simple [24].

F) Exemple(2) [26].

```

O100;
M6 T1;
GO G90 G40 G54 X0 Y-5;
M13 S2500;
G0 G43 H1 Z-4;
G1 F150 Y20;
X40;
Y0;
X-5;
M9;
M5;
G0 G53 Z0;
G0 G53 Y0;
M30;
%
```

Figure II.36 : Exemple d'un programme simple de FRAISAGE CNC [26].

Ligne 1 numéro de programme.

Ligne 2 appels en broche de l'outil n°1 (qui est en réalité un appel du sous-programme pilotant le changeur d'outil(M6) avec le paramètre T1.

Ligne 3 déplacements rapides (G0) à un point (X0 Y-5) donné en absolu (G90) depuis l'origine programme numéro 1(G54) G40 pour annuler tout correcteur en mémoire dans la machine.

Ligne 4 mise en rotation de l'outil à 2500 tr/min (S2500) et mise en fonction de l'arrosage (M13) (M13 remplace les codes M3, sélectionne le sens de rotation, et M8, marche arrosage).

Ligne 5 déplacements rapides à Z-4 (profondeur de coupe) en prenant en compte la longueur d'outil (G43) du correcteur n°1 (H1).

Ligne 6 à 9 déplacements en vitesse de travail (G1), G1 est une fonction modale et est donc valable pour tous les points suivants.

Ligne 10 arrêt de l'arrosage (M9).

Ligne 11 arrêt de la broche (M5) (nota : sur fanuc seul un code M est permis par ligne de programme).

Ligne 12 à 13 Déplacement rapide (G0) avec le système de coordonnées de la machine (G53) à Z0 Y0 (outil en haut, table au plus près de l'opérateur).

Ligne 14 M30 fin de programme (M30 inclus M5 et M9 ceux-ci ne sont donc pas obligatoires ils sont placés en ligne 10 et 11 pour laisser quelques secondes d'égouttage au système d'arrosage, avant les manipulations de l'opérateur.

Notez que le programme ne prévoit rien pour le cheminement de l'outil. Si la machine est une fraiseuse et utilise une fraise de rayon 6 mm, la pièce sera en pratique 12 mm plus petite que définie (6 mm par côté). Une commande G-code doit être utilisée pour corriger le cheminement de l'outil.

II.6.2. Configuration

II.6.2.1 Le fichier GRBL [4].

Grbl : est un firmware de haute performance conçue pour contrôler le mouvement des machines praticable sur un Arduino. Il a été adapté pour être utilisé dans certaines projets comme les machines CNC et les imprimantes 3D, Le programme est écrit en C hautement optimisé utilisant chaque fonctionnalité intelligente de l'AVR-puces pour atteindre un timing précis et le fonctionnement asynchrone. Il est capable de maintenir plus de 30 kHz de la stabilité, la rapidité des impulsions de commande libres.

En 2009, Simen Svale Skogsrud a honoré la communauté open source en écrivant et en libérant les premières versions de Grbl à tout le monde. Depuis 2011, Grbl va de l'avant comme un projet open-source mené par la communauté sous la direction pragmatique de Sonny Jeon Ph.D. (chamnit).

Le projet a d'abord été inspiré par l'interprète Arduino Gcode par Mike Ellery

II.6.2.2 Schéma de pin pour grbl

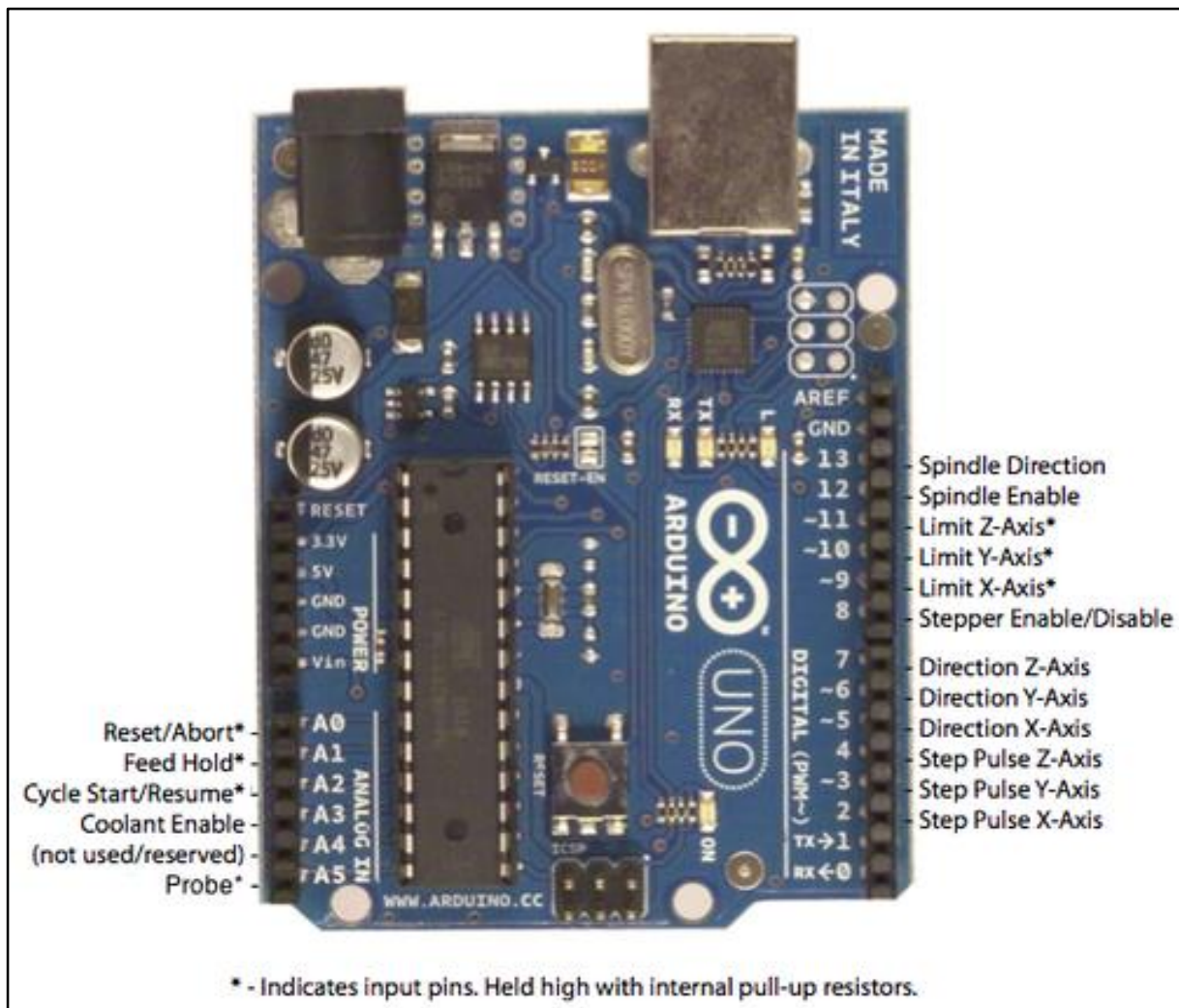


Figure II.37 : Schéma de Pin pour Grbl [28].

II.6.2.3 Paramètres de grbl

Les paramètres de Grbl varient d'une machine à une autre en fonction du type, le but et la structure ..., Mais la nature des paramètres reste le même, mais les valeurs associées diffèrent, comme suit : (Figure II.38), Affiche tous les réglages possibles pour la machine en mode «defaults», Pour une compréhension de chaque instruction de ces paramètres, voir le tableau dans (Annexes A).

```
[HLP:$ $ $G $I $N $x=val $Nx=line $J=line $SLP $C $X $H ~ ! ? ctrl-x]
```

\$0=12 (step pulse, usec) (augmenter encore si besoin)

\$2=7 (step port invert mask:00000111)

\$3=1 (dir port invert mask:00000000) (directions à préciser devant la machine)

\$5=0 (limit pins invert, bool) (à 0 avec le shield patché par Marc)

\$12=0.010 (arc tolerance, mm) (résolution minimale 0.010 sur Z)

\$20=1 (soft limits, bool) (mettre à 0 pendant les tests si ça pose problème)

\$21=1 (hard limits, bool) (mettre à 0 pendant les tests si ça pose problème)

\$22=1 (homing cycle, bool) (mettre à 0 pendant les tests si ça pose problème)

\$23=0 (homing dir invert mask:00000000) (directions à préciser devant la machine)

\$100=10.000 (x, step/mm) (résolution X : 0.2mm, à ajuster finement si besoin)

\$101=10.000 (y, step/mm) (résolution Y : 0.2mm, à ajuster finement si besoin)

\$102=100.000 (z, step/mm) (résolution Z : 0.01mm, à ajuster finement si besoin)

\$110=10000.000 (x max rate, mm/min)

\$111=10000.000 (y max rate, mm/min)

\$112=10000.000 (z max rate, mm/min)

\$120=250.000 (x accel, mm/sec²)

\$121=250.000 (y accel, mm/sec²)

\$122=100.000 (z accel, mm/sec²)

\$130=495.000 (x max travel, mm) (course utile X, à ajuster finement si besoin)

\$131=397.000 (y max travel, mm) (course utile Y, à ajuster finement si besoin)

\$132=46.000 (z max travel, mm) (course utile Z, à ajuster finement si besoin)

Figure II.38 : Paramètres defaults de Grbl [28].

II.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous présentons une étude générale de la fraiseuse «machines CNC à 3 axes» (composants de la machine, mécanisme de travail, modélisation Géométrique et mécanique) et extrayons les propriétés mécaniques, en plus l'étudier la méthode de programmation de la machine.

À partir de ce moment, il est devenu possible de réaliser directement la machine.

Chapitre III : Simulation et Réalisation

III.1. Introduction

Le développement logiciel en informatique nous a permis de fabriquer une machine CNC sans problème et en douceur et à faible coût, grâce à notre bonne analyse de l'idée de projet évoquée dans le chapitre précédent, et en suivant un ensemble de méthodes et d'étapes que nous mentionnerons dans ce chapitre. Pour simplifier la compréhension et conclure magnifiquement le projet, nous suivrons cette division.

Tout d'abord, nous mentionnons le business plan et Classement de la Machine que nous allons fabriquer, en mentionnant ses caractéristiques les plus importantes.

Deuxièmement, la réalisation de la machine en termes de (mécanique, électricité et commande numérique).

Troisièmement, nous présentons des simulations de la machine, extrayons les résultats, puis les interprétons.

Quatrièmement, nous fournissons une expérience réelle de la machine avec la documentation des résultats.

III.2. Informations et résumé du plan de projet

III.2.1. Étapes du développement d'un projet

Les principales étapes de la construction de la machine



Figure III.1 : Le principe de base pour l'établissement du projet.

III.2.2. Classification de la MOCN

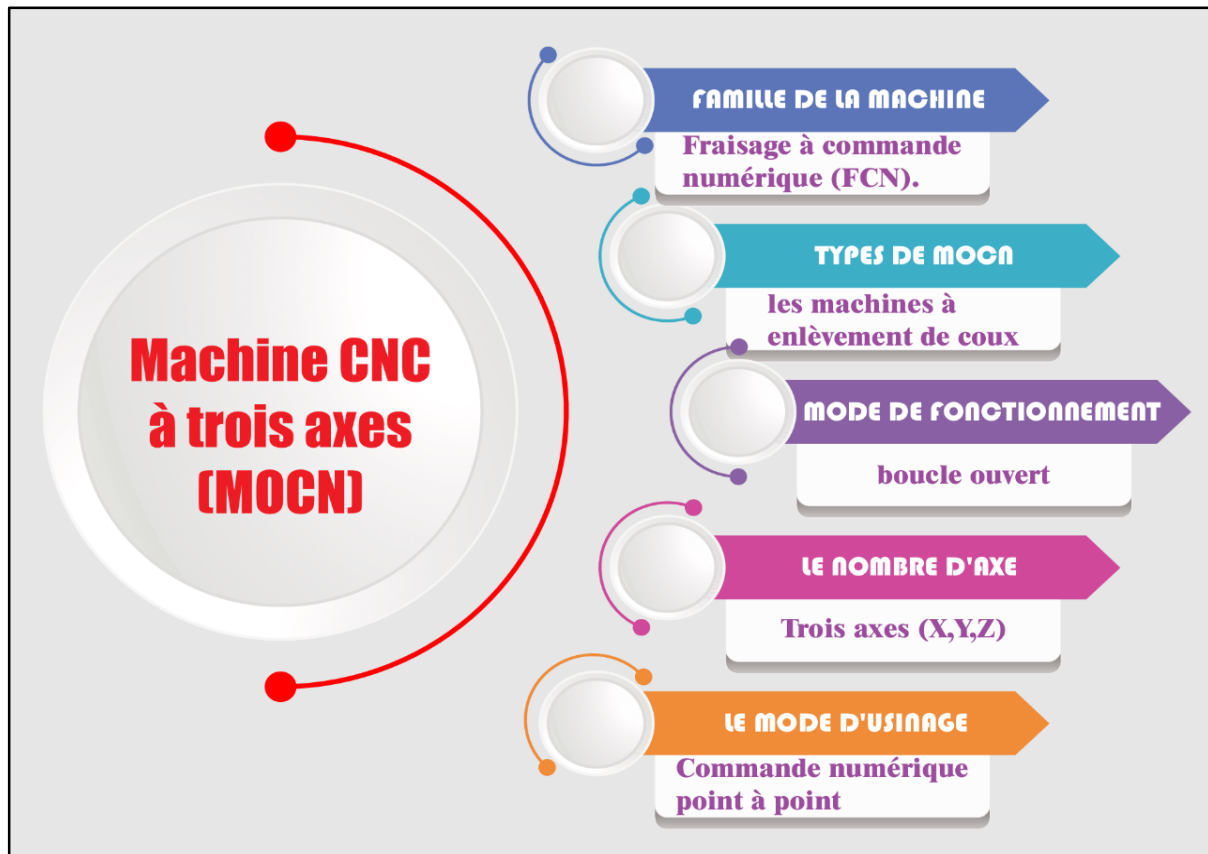


Figure III.2 : Classement de la Machine CNC à trois axes.

III.2.3. Caractéristiques de la machine CNC à trois axes

Tableau III.1 : Caractéristiques de la machine CNC à 3 axes.

AXES	PROPRIETES CINETIQUES	PROPRIETES DYNAMIQUES	PROPRIETES PHYSIQUES	PROPRIETES ELECTRIQUES
X	<u>Déplacement :</u> Longueur (cm)= 40 max de pas = 400 max Step =19200 <u>la vitesse :</u> vitesse de rotation =1249.98 tr/min la vitesse linéaire = 20.833mm/s	Couple = 0.1166Nm <u>la force :</u> tangentielle=43.59N Charge axiale = 51.5N frottement =0.06 N Charge axiale max=51.44N Puissance (utile) = 1.072 W	Longueur (cm) =15 Largeur (cm) =8 Hauteur (cm) =19.5 Poids (kg) =1.2	Quantité de moteur pas à pas =1 Tension nominale =24V Courant nominal = 1 A Puissance = 15.26 W

Y	<u>Déplacement :</u> Longueur (cm)= 46 max de pas = 460 max Step =22080 <u>la vitesse :</u> vitesse de rotation =1249.98 tr/min la vitesse linéaire = 20.833mm/s	Couple = 0.1166Nm <u>la force :</u> tangentielle=43.59N Charge axiale = 51.5N frottement =0.06 N Charge axiale max=51.44N Puissance (utile) = 2.14 W	Longueur (cm) =56.5 Largeur (cm) =15 Hauteur (cm) =18 Poids (kg) =2	Quantité de <u>moteur pas à pas</u> =2 Tension nominale =24V Courant nominal = 1 A Puissance = 30.52 W
Z	<u>Déplacement :</u> Longueur (cm)= 4 max de pas = 40 max Step =1920 <u>la vitesse :</u> vitesse de rotation =1249.98 tr/min la vitesse linéaire = 20.833mm/s	Couple = 0.1166Nm <u>la force :</u> tangentielle=43.59N Charge axiale = 51.5N de gravité =7.85 N Charge axiale max=51.44N Puissance (utile) = 0.909 W	Longueur (cm) =18 Largeur (cm) =8 Hauteur (cm) =12 Poids (kg) = 0.8	Quantité de <u>moteur pas à pas</u> =1 Tension nominale =24V Courant nominal = 1 A Puissance = 15.26 W <u>DC moteur :</u> Tension =12V Courant =1.79A

III.2.4. Le programme utilisé pour Dessin et la planification

CorelDRAW est une suite graphique développée par l'éditeur de logiciels Corel depuis 1989. À l'origine, il s'agissait du logiciel de dessin vectoriel Corel DRAW. Au fil du temps, d'autres logiciels tels que Corel PhotoPaint et Corel R.A.V.E ont été ajoutés et le logiciel est devenue une suite graphique [29].

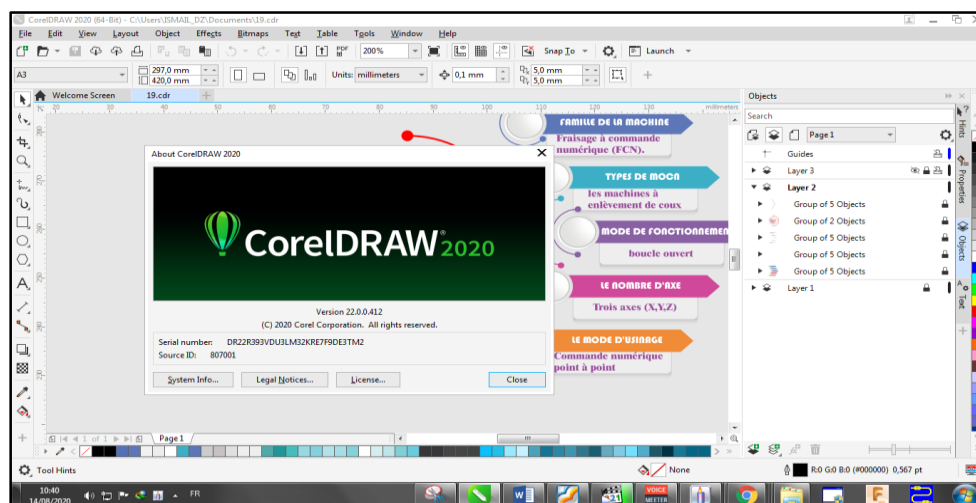


Figure III.3 : Logiciel CorelDRAW (2020).

C'est un bon programme spécialisé dans le dessin et la conception bidimensionnelle, et c'est le favori des architectes car il les aide à incarner clairement leurs idées et projets ..., La bonne fonctionnalité de ce programme est que vous pouvez travailler sur votre projet sur une page avec plus d'un (Layer) et en détail qui peut être modifié librement n'importe quelle partie de celui-ci Achevée.

Dans le point, je voudrais souligner que Schémas et des images ont été créés avec ce merveilleux programme.

III.3. Conception et Réalisation la machine CNC à 3 axes

À ce stade, nous présenterons les travaux de conception et de construction et résumerons ce que nous allons faire à partir de ce point. Nous suivrons la figure suivante, qui montre les principales parties de la machine ainsi que les sous-éléments importants dans chaque section. Voir la figure (III.4).

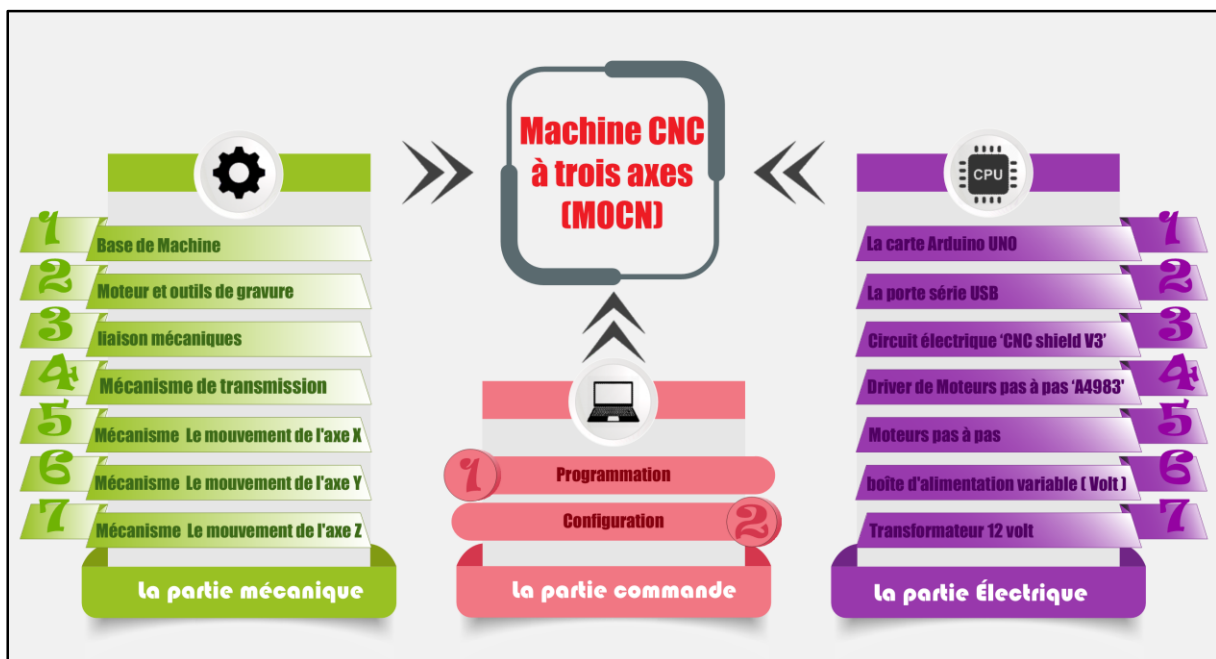


Figure III.4 : Parties principales et Sous-éléments de la machine CNC.

III.3.1. Conception et Réalisation la partie mécanique

Dans ces paragraphes, nous parlons de la conception et de la mise en œuvre pratique des différentes parties d'une machine CNC à 3 axes

À partir de l'arbre de construction dans le programme de conception 3D :

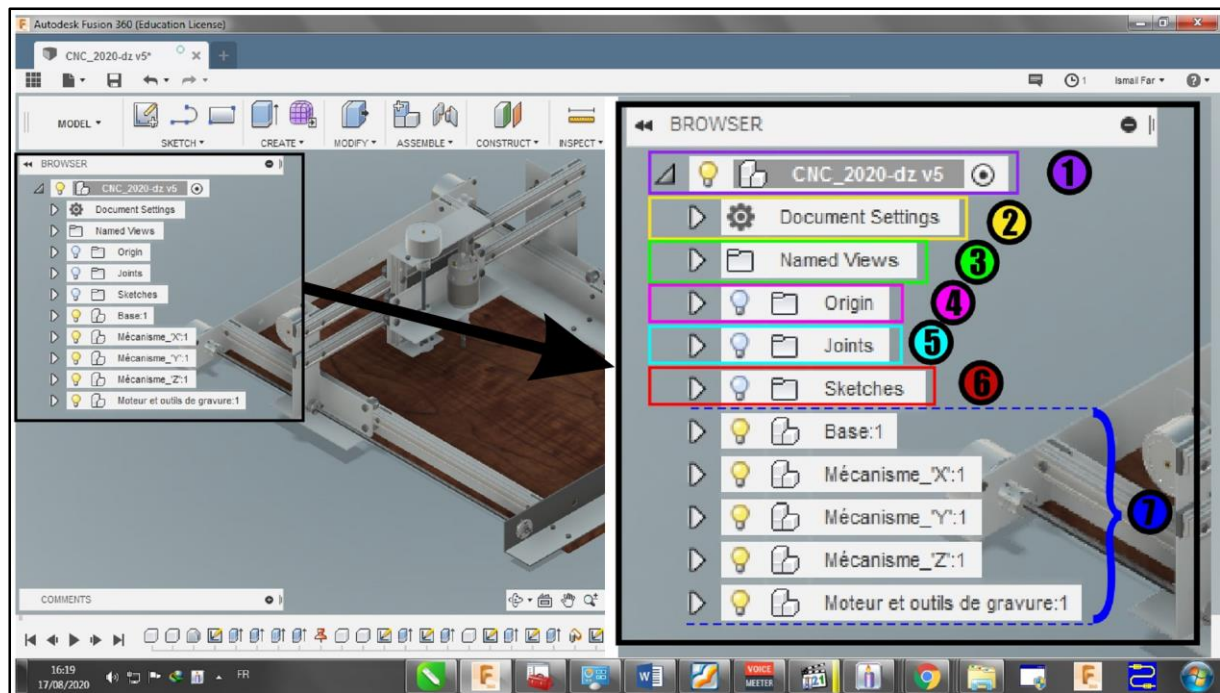


Figure III.5 : l'arbre de construction en Fusion360.

Explication des éléments de l'arbre de construction

- ① Nom du fichier de projet
- ② Paramètres de l'espace de travail du programme
- ③ Interfaces visuelles de base
- ④ Axes et élévations
- ⑤ Connexions mécaniques entre les pièces
- ⑥ Fichier de dessin et de conception 2D
- ⑦ Fichier de pièces

III.3.1.1 La base de machines

C'est la partie inférieure de la machine et son rôle de support est de soulever et de sécuriser les charges de construction.



(a) Modèle CAO.



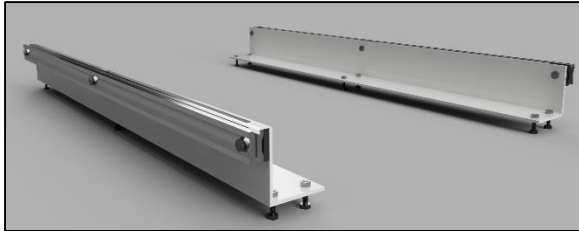
(b) Après la réalisation.

Figure III.6 : La base de machines.

Cette base se compose de deux groupes :

A) Le premier groupe

Est composé de pièces ensemble Guide de trajectoire de l'axe Y



(a) Modèle CAO.



(b) Après la réalisation.

Figure III.7 : Le rail de guidage linéaire.

Et son rôle est de diriger le mouvement de transition dans l'axe

B) Le deuxième groupe

Se compose de pièces formées ensemble Stabilisateur de pièces en bois, support moteur et système de transmission.



(a) Modèle CAO.



(b) Après la réalisation.

Figure III.8 : Support de coupe.

Le rôle de fixation des pièces en bois à graver et agit comme support pour le reste des autres pièces.

III.3.1.2 Moteur et outils de gravure



(a) Modèle CAO.



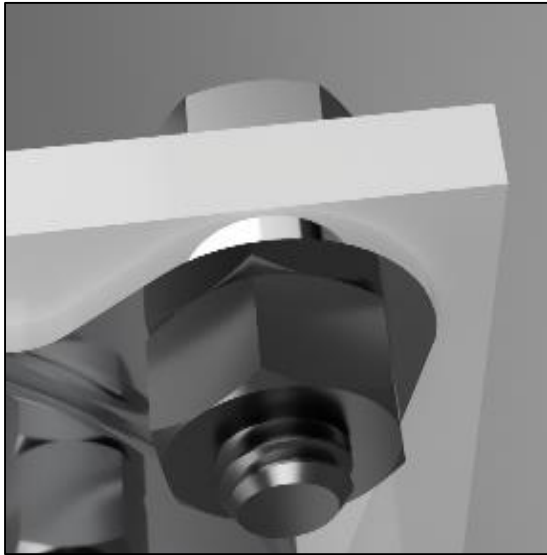
(b) Après la réalisation.

Figure III.9 : Moteur et outils de gravure.

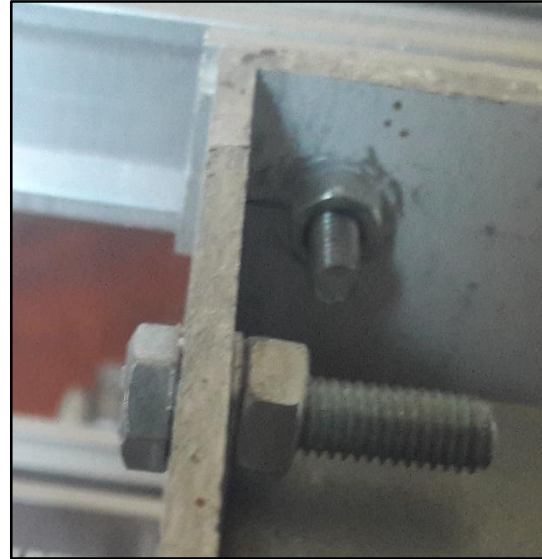
Le rôle du moteur est de faire fonctionner les outils à graver

III.3.1.3 liaison mécaniques

A) liaison Encastrement



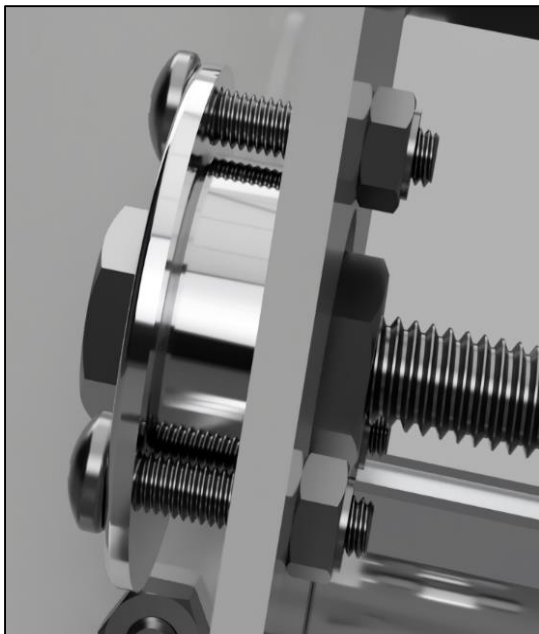
(a) Modèle CAO.



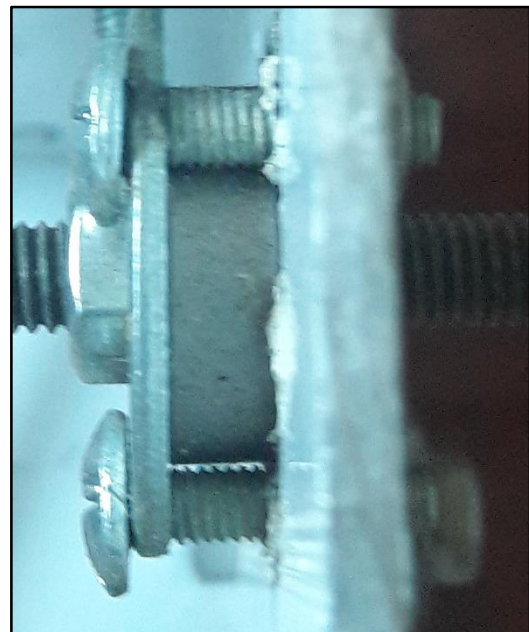
(b) Après la réalisation.

Figure III.10 : Vis et Ecrou.

B) liaison Pivot



(a) Modèle CAO.



(b) Après la réalisation.

Figure III.11 : Roulements installée de bague extérieure.

Le but est d'assurer la direction et le pivotement dans la rotation

C) liaison Glissière



(a) Modèle CAO.

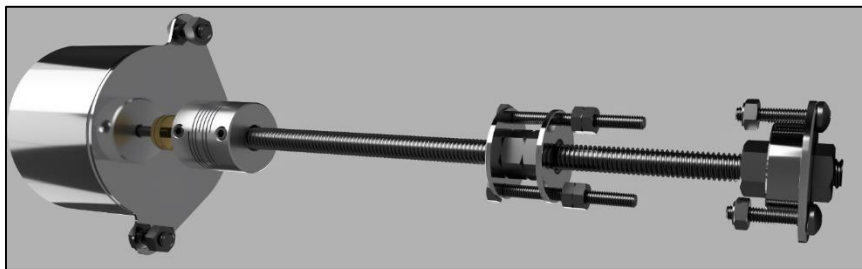


(b) Après la réalisation.

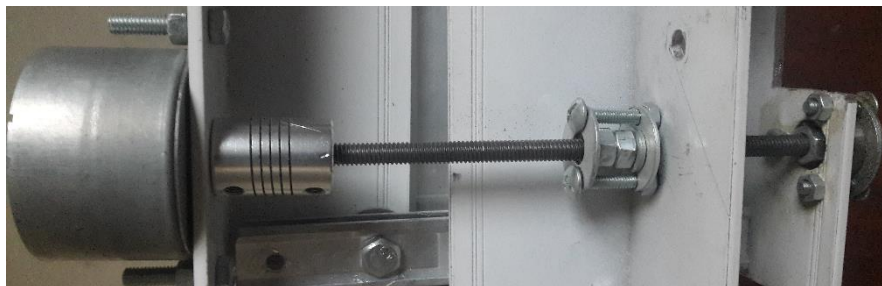
Figure III.12 : Roulements et Le rail de guidage linéaire.

Le but est de diriger le mouvement droit tout en se déplaçant

III.3.1.4 Mécanisme de transmission



(a) Modèle CAO.

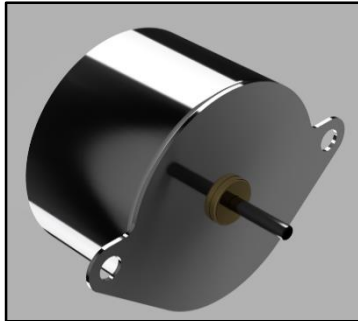


(b) Après la réalisation.

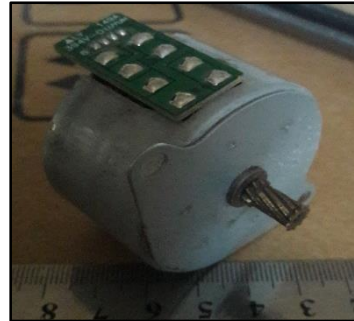
Figure III.13 : Mécanisme de transmission linéaire.

Le rôle de transformer le mouvement d'un mouvement de rotation en un mouvement de transport droit

A) Les moteur pas à pas



(a) Modèle CAO.

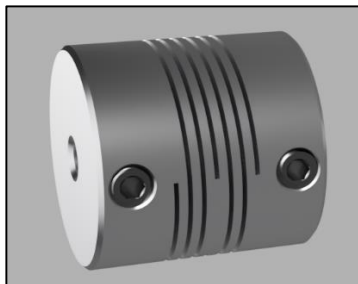


(b) Après la réalisation.

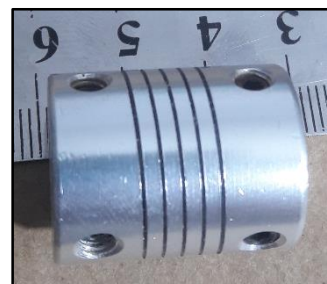
Figure III.14 : *moteur pas à pas.*

B) Accouplement

L'accouplement est un dispositif de liaison entre deux arbres rotatifs, permettant la transmission du couple.



(a) Modèle CAO.

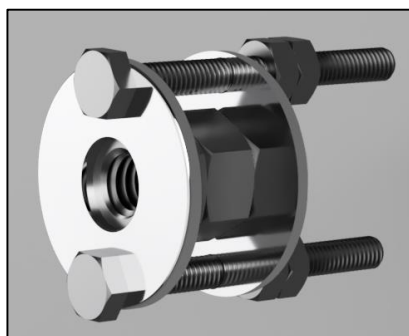


(b) Après la réalisation.

Figure III.15 : *Accouplement semi-élastique.*

Le rôle de transmet le mouvement de rotation et réduit considérablement les oscillations et les vibrations.

C) Erou spécial



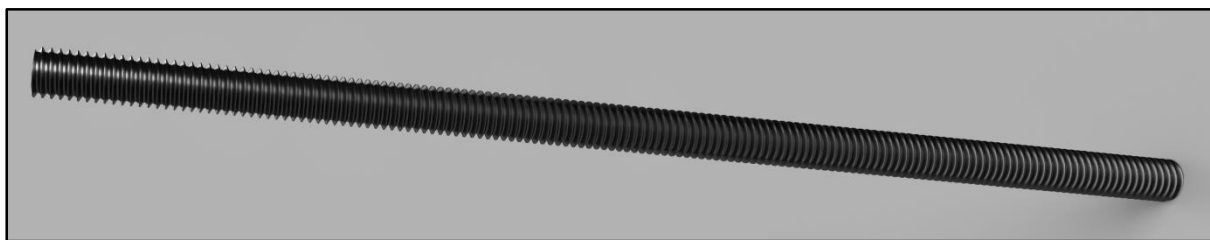
(a) Modèle CAO.



(b) Après la réalisation.

Figure III.16 : *Erou spécial.*

D) la Vis



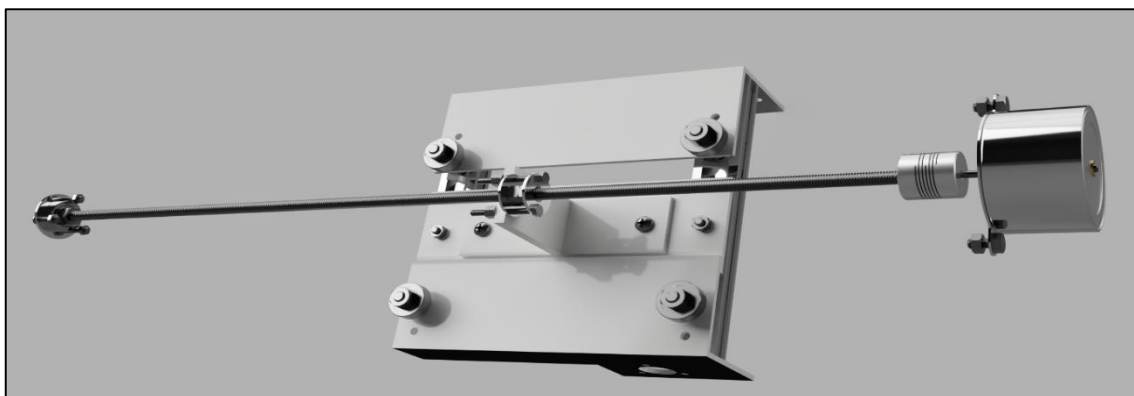
(a) Modèle CAO.



(b) Après la réalisation.

Figure III.17 : la Vis.

III.3.1.5 Mécanisme Le mouvement de l'axe X



(a) Modèle CAO.



(b) Après la réalisation.

Figure III.18 : Mécanisme Le mouvement de l'axe X.

A) Structure générale de Mécanisme de l'axe X



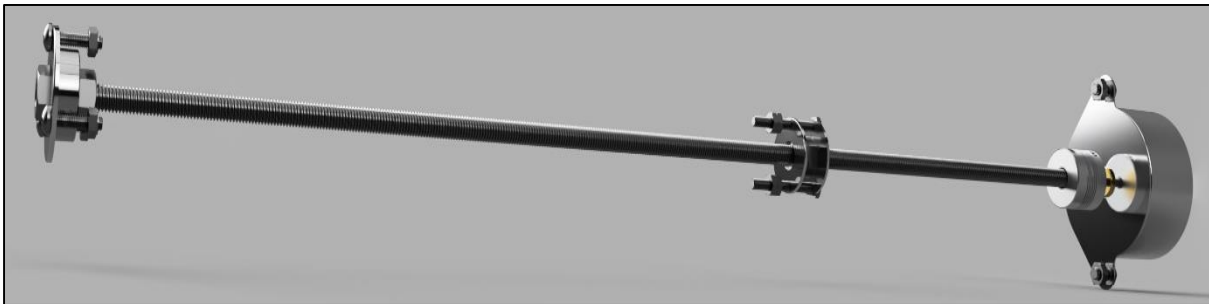
(a) Modèle CAO.



(b) Après la réalisation.

Figure III. 19 : Structure générale de Mécanisme de l'axe X.

B) Mécanisme de transmission de l'axe X



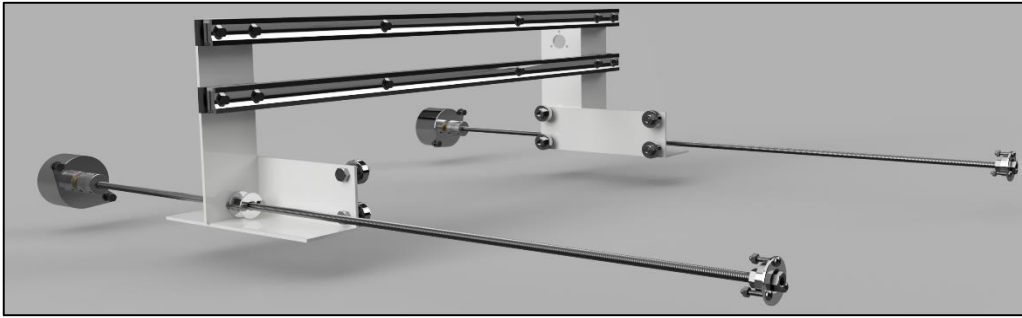
(a) Modèle CAO.



(b) Après la réalisation.

Figure III.20 : Mécanisme de transmission de l'axe X.

III.3.1.6 Mécanisme Le mouvement de l'axe Y



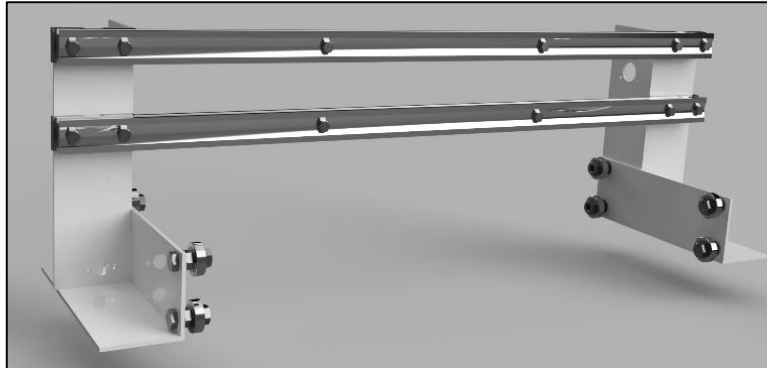
(a) Modèle CAO.



(b) Après la réalisation.

Figure III.21 : Mécanisme Le mouvement de l'axe Y.

A) Structure générale de Mécanisme de l'axe Y



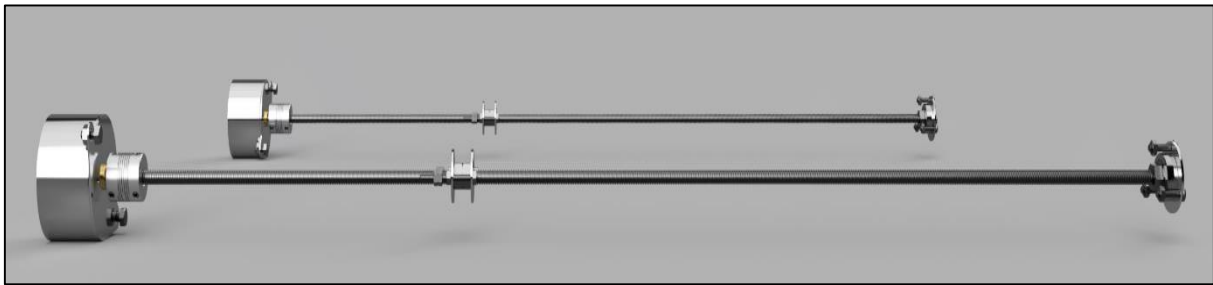
(a) Modèle CAO.



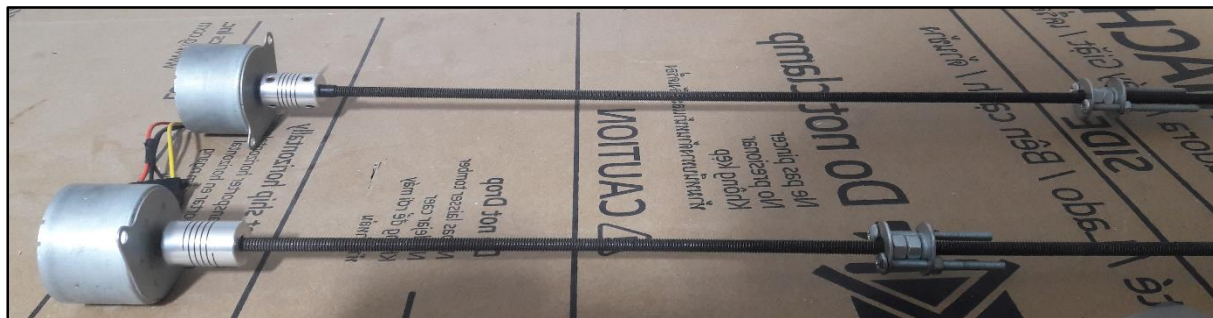
(b) Après la réalisation.

Figure III.22 : Structure générale de Mécanisme de l'axe Y.

B) Mécanisme de transmission de l'axe Y



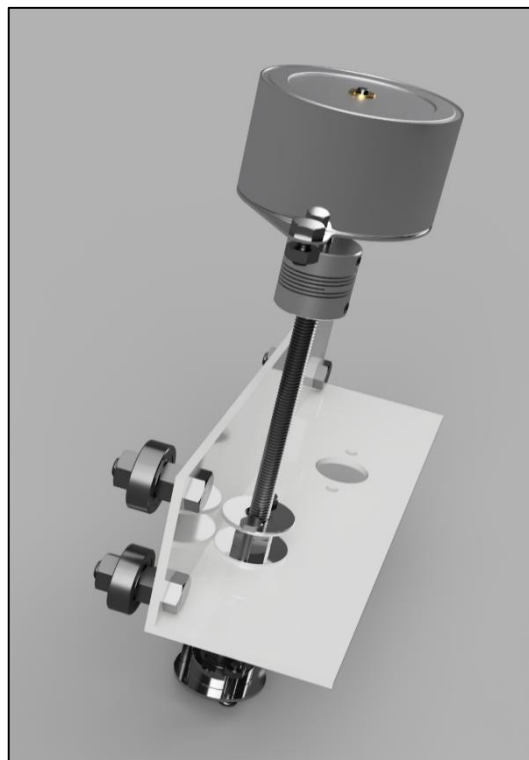
(a) Modèle CAO.



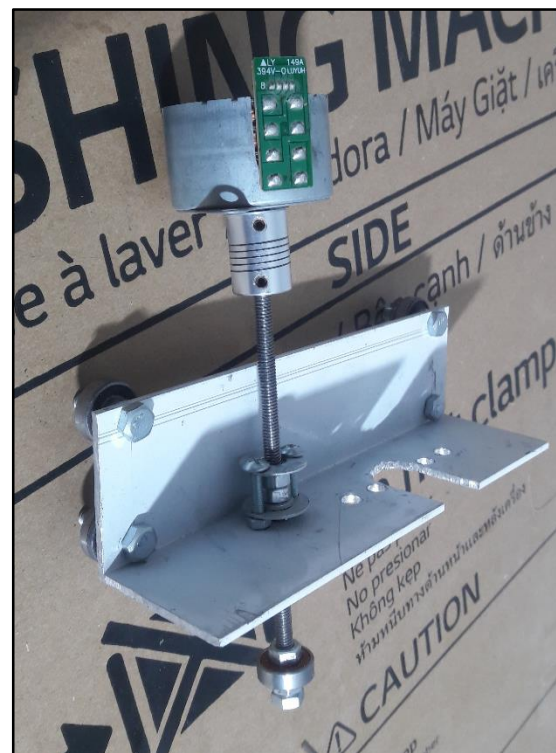
(b) Après la réalisation.

Figure III.23 : Mécanisme de transmission de l'axe Y.

III.3.1.7 Mécanisme Le mouvement de l'axe Z



(a) Modèle CAO.



(b) Après la réalisation.

Figure III.24 : Mécanisme Le mouvement de l'axe Z.

A) Structure générale de Mécanisme de l'axe Z



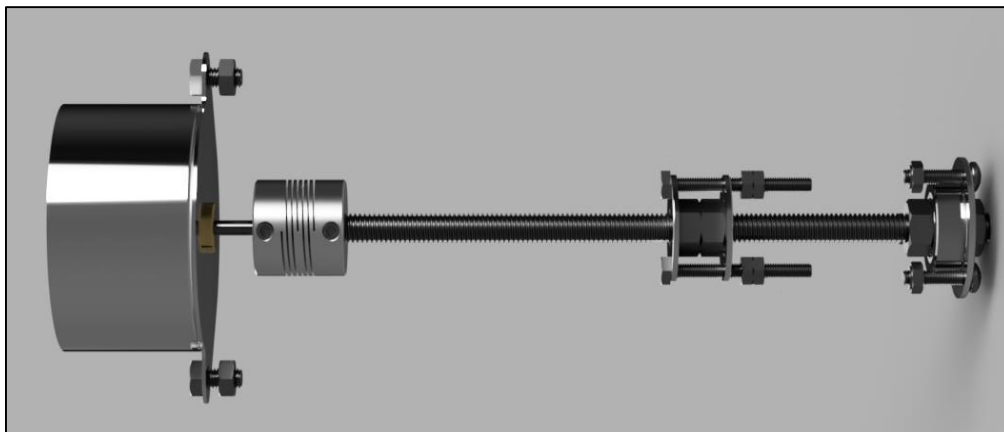
(a) Modèle CAO.



(b) Après la réalisation.

Figure III.25 : Structure générale de Mécanisme de l'axe Z.

B) Mécanisme de transmission de l'axe Z



(a) Modèle CAO.



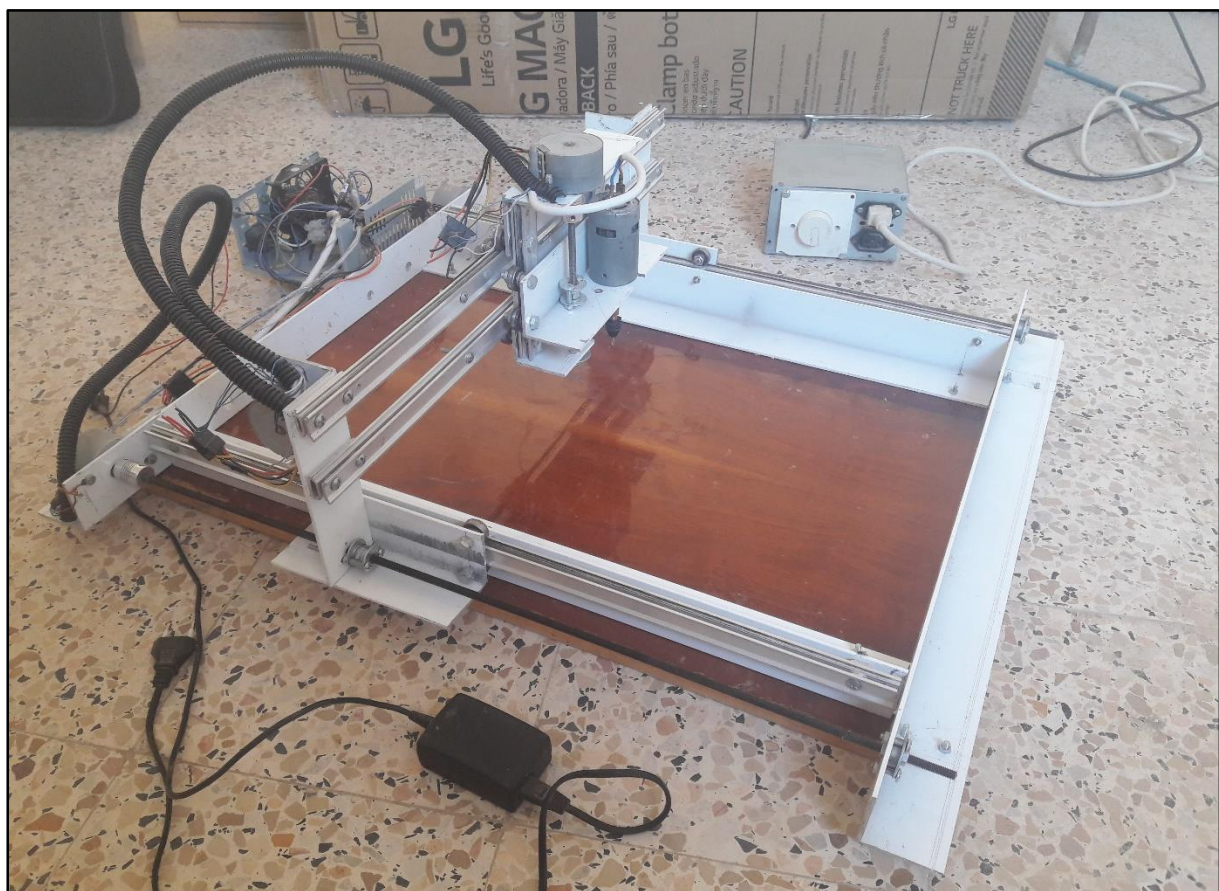
(b) Après la réalisation.

Figure III.26 : Mécanisme de transmission de l'axe.

III.3.1.8 la Machine CNC à trois axes



(a) Modèle CAO.



(b) Après la réalisation.

Figure III.27 : la Machine CNC à trois axes.

III.3.1.9 Logiciel utilisé pour Conception 3D

Autodesk propose plusieurs solutions logicielles de modélisation 3D, que Fusion 360 ou Tinkercad. Comme son nom l'indique, Fusion 360 se veut une solution complète, offrant des outils de CAO mais aussi FAO. Pour les applications de fabrication additive, il s'agit d'un logiciel plus facile à utiliser qu'AutoCAD, car il vise à faciliter le développement de produits.



Figure III.28 : Autodesk Fusion 360.

Comme nous le savons, un format spécifique est nécessaire pour pouvoir envoyer un modèle à une imprimante 3D, et Fusion 360 est parfait pour cela. Vous pouvez enregistrer votre modèle 3D dans une variété de formats, y compris .STL et .OBJ. En termes de modélisation 3D, Fusion 360 propose des solutions d'esquisse, de modélisation paramétrique, de modélisation directe, de modélisation de forme libre, de modélisation de surface, de tôlerie, de modélisation de maillage, d'assemblages et d'intégrations de conception de PCB. Par conséquent, il couvre tous les besoins que peuvent avoir les designers industriels lors du développement d'un produit [30].

III.3.2. Composants et Réalisation la partie électrique

Dans ces paragraphes on parle des composants électriques et électroniques pratique de différentes parties de Machine CNC à trois axes

Tableau III.2 : Composants électrique de la machine CNC à trois axes.

Composants	Quantité
La carte Arduino UNO	1
La porte série USB	1
CNC shield V3	1
Driver 'A4988'	4
Moteurs pas à pas	4
boîte d'alimentation variable	1
Transformateur 12 volt	1

III.3.2.1 La carte Arduino UNO

La carte Arduino est une carte électronique basée autour d'un microcontrôleur et de composants minimum pour réaliser des fonctions plus ou moins évoluées à bas coût. Elle possède une interface USB pour la programmer.

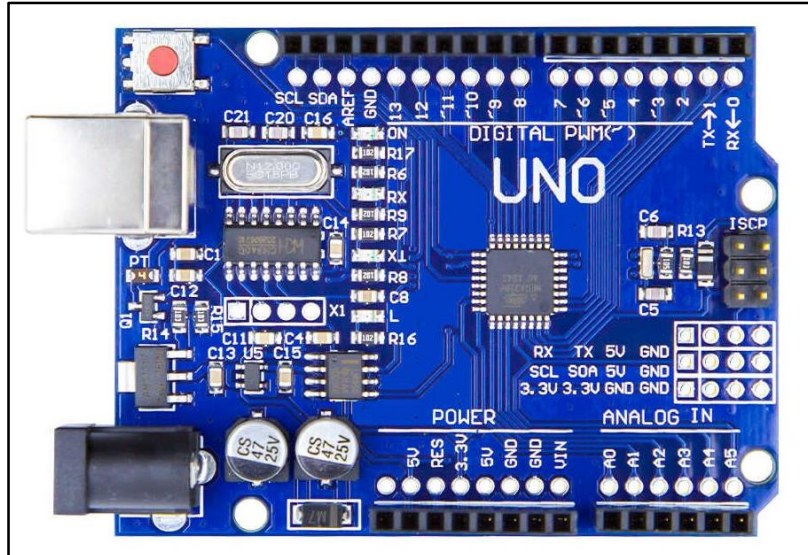


Figure III.29 : *Arduino UNO R3 MEGA328P.*

Arduino est peut-être utilisé pour développer des applications matérielles industrielles légères ou des objets interactifs, et il peut recevoir en entrées une très grande variété de capteurs. Les projets Arduino peuvent être autonomes, ou communiquer avec des logiciels sur un ordinateur (Flash, Processing ou MaxMSP, Labview) [31].

III.3.2.2 La porte série USB [32].

Le Universel Serial Bus (USB), en français Bus universel en série, dont le sigle, inusité, BUS est une norme relative à un bus informatique en transmission série qui sert à connecter des périphériques informatiques à un ordinateur. Le bus USB permet de connecter des périphériques (quand l'ordinateur est en marche) et en bénéficiant du Plug and Play (le système reconnaît automatiquement le périphérique).



Figure III.30 : *Câble USB.*

III.3.2.3 Circuit électrique (CNC shield V3)

Le Shield CNC Arduino est une petite carte qui vous permet de contrôler facilement jusqu'à 4 moteurs pas à pas avec votre Arduino grâce à son format de blindage. Il prend en charge 4 contrôleurs de puissance Pololu A4988 ou Pololu DRV8825 (non inclus) et dispose de toutes les connexions nécessaires pour connecter des interrupteurs de fin de course, des sorties de relais et divers capteurs. Il est entièrement compatible avec le firmware de contrôle GRBL et peut être utilisé avec n'importe quel modèle Arduino, bien qu'il soit recommandé d'utiliser un modèle tel que Arduino UNO ou Arduino Leonardo.

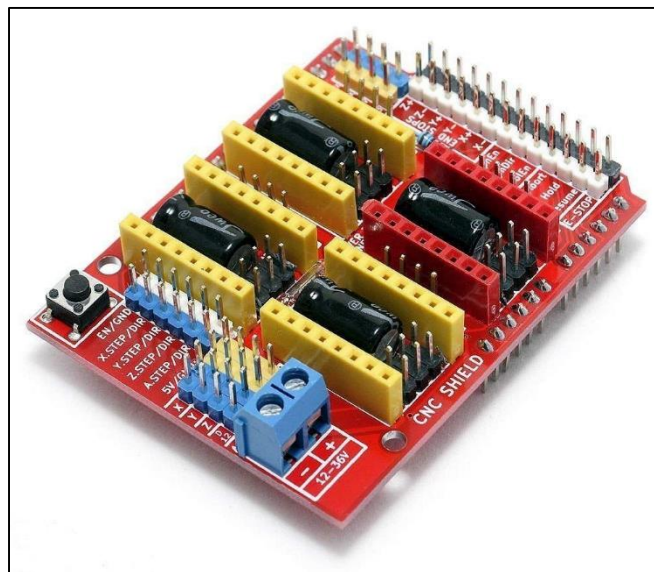


Figure III.31 : CNC shield V3.

III.3.2.4 Driver de Moteurs pas à pas 'A4988'

Le A4988 Contrôleur de Moteur Pas à Pas de Pololu est une carte de dérivation pour Allegro est facile à utiliser A4988 micropas bipolaires pilote de moteur pas à pas. Le conducteur dispose de courant réglable limitant et cinq résolutions micropas différents.

Ce pilote de moteur pas vous permet de contrôler un moteur pas à pas bipolaire jusqu'à un maximum de sortie 2A de courant par la bobine, Il fonctionne de 8 à 35 V et peut fournir jusqu'à 2 A bobine par. Les moteurs pas à offrir un contrôle précis et une précision et sont souvent utilisés dans des projets de prototypage rapide, tels que les imprimantes 3D.

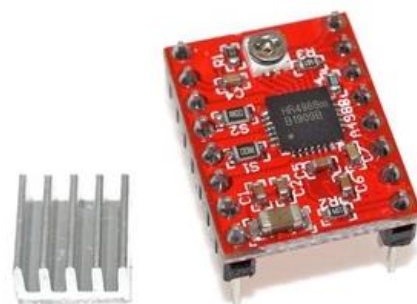


Figure III. 32 : Driver A4988.

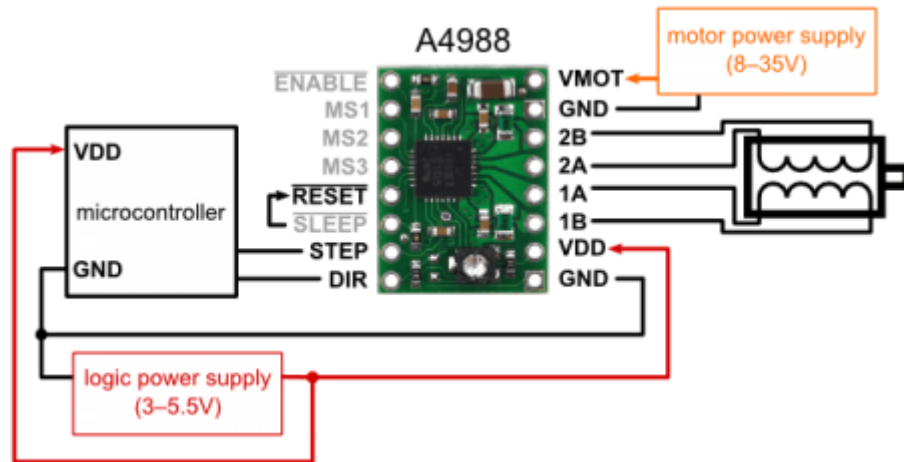


Figure III.33 : Schéma montage du Driver de Moteurs pas à pas [33].

III.3.2.5 Moteurs pas à pas

Les moteurs à aimant permanent sont constitués d'un rotor magnétique (aimant bipolaire). Cette catégorie de moteurs se subdivise en deux types :

Le moteur unipolaire et le moteur bipolaire.



Figure III.34 : Stepper Motors M49SP-2K.

A) Moteur à aimant permanent unipolaire

La circulation d'un courant électrique dans un bobinage entraîne l'apparition d'un champ magnétique, donc la présence de pôles Nord et Sud (deux pôles de même nature se repoussent, deux pôles Nord et Sud s'attirent), c'est sur ce principe de base que repose le fonctionnement de tout moteur électrique [34].

Les moteurs unipolaires se différencient par le fait qu'ils sont à double bobinage. Le double bobinage est utilisé pour l'inversion du flux statorique et le moteur se commande de la même manière qu'un bipolaire excepté qu'un seul transistor pour chaque enroulement sur l'étage de puissance (soit quatre Darlington pour un moteur ou un réseau de 4 transistors).

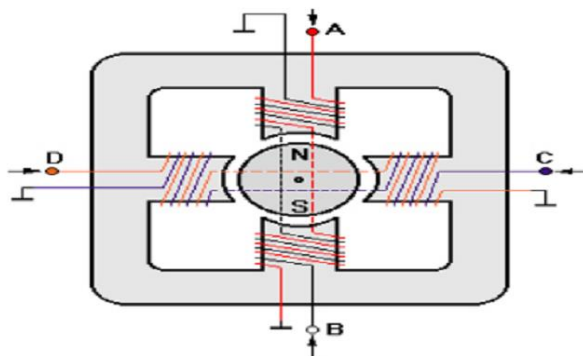


Figure III.35 : schématique d'un moteur unipolaire [32].

B) fonctionnement d'un moteur pas à pas unipolaire

On partira du principe que la rotation d'un moteur pas à pas s'effectue en 4 étapes, dans la réalité, le moteur est constitué d'une succession d'alternance de pôles : ainsi, l'axe du modèle dont nous disposons dans notre réalisation fait un tour complet en 48 pas (un pas correspond donc à $360^\circ/48 = 7,5^\circ$).

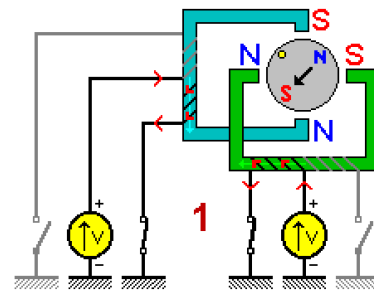


Figure III.36 : position de moteur pas à pas [33].

Dans les schémas voire (Figure III.36), la flèche noire représente l'aiguille d'une boussole qui serait disposé en place et lieu du rotor ; elle indique l'orientation du champ magnétique (elle pointe vers le nord, qui attire donc le pôle Sud du rotor) et se décale alors d'un quart de tour à chaque étape. [32]

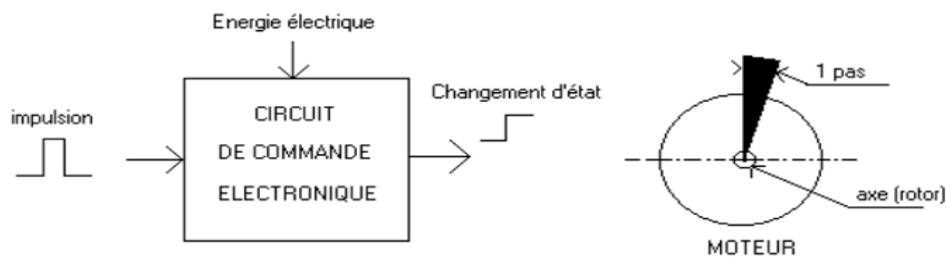


Figure III.37 : Principe du moteur pas à pas [32].

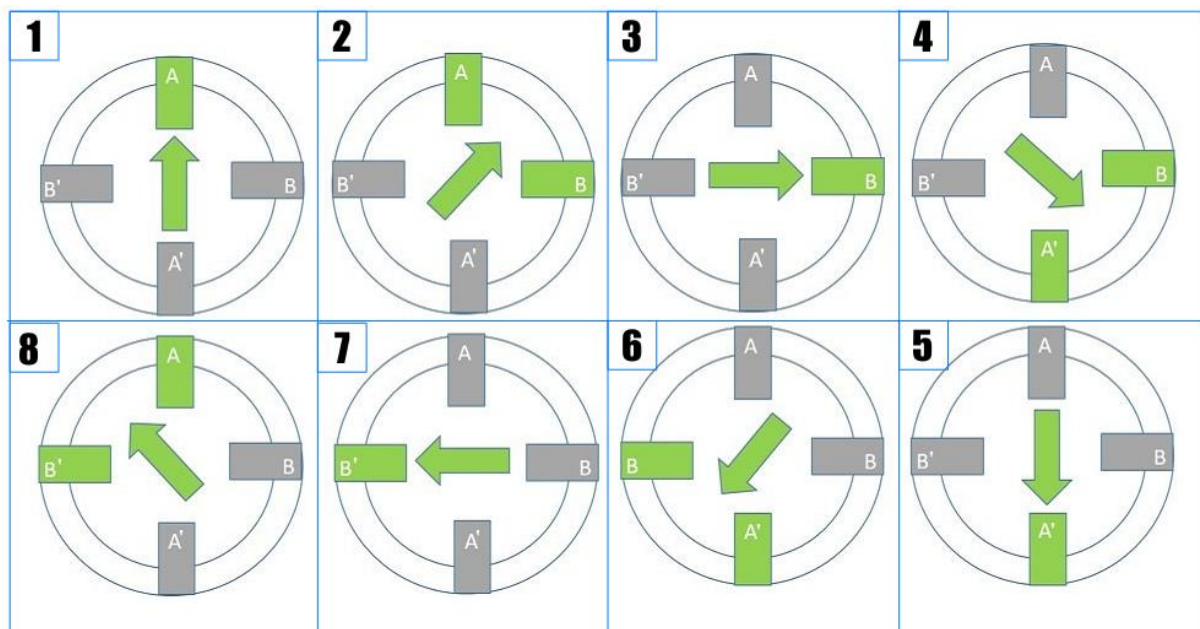


Figure III.38 : Type d'étape du moteur pas à pas.

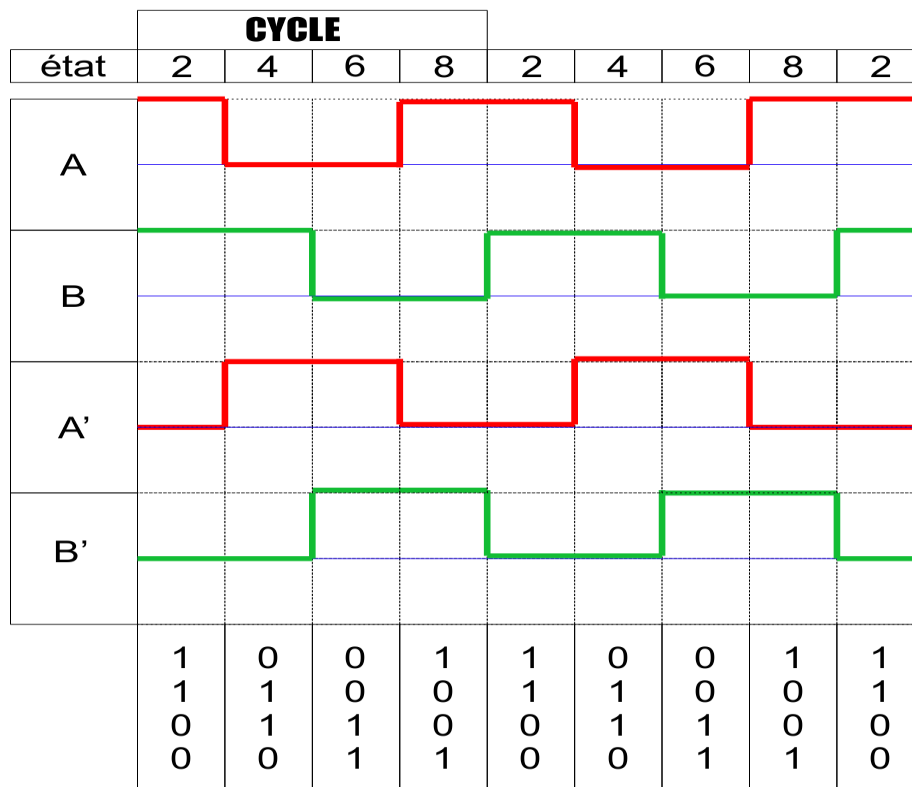


Figure III.39 : *changement d'état du mode Biphase.*

Comme pour chaque type de moteur, le modèle unipolaire peut être commandé en mode monophasé, biphasé ou demi-pas. Le (Tableau III.3) donne l'ordre des différentes commandes.

Signalons que le moteur unipolaire présentera, à volume égal, un couple moins important que le moteur bipolaire.

Tableau III.3 : *Ordre des différentes commandes pour moteur unipolaire.*

Mode	Monophasé	Biphase	Demi-pas
état	1, 3, 5, 7	2, 4, 6, 8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
changement d'état	1000	1100	1000
A, B, A', B'	0100	0110	1100
	0010	0011	0100
	0001	1001	0110
			0010
			0011
			0001
			1001

III.3.2.6 boîte d'alimentation variable

Surtout, la boîte d'alimentation a été fabriquée manuellement afin de contrôler la tension d'un moteur et de modifier sa vitesse au besoin.

Où nous avons installé un ensemble de composants électriques déjà disponibles dans la maison (Transformateur 220/12, variateur de tension 220volt, convertisseur AC/DC 12v), Dans ce qui suit, le circuit électrique obtenu.

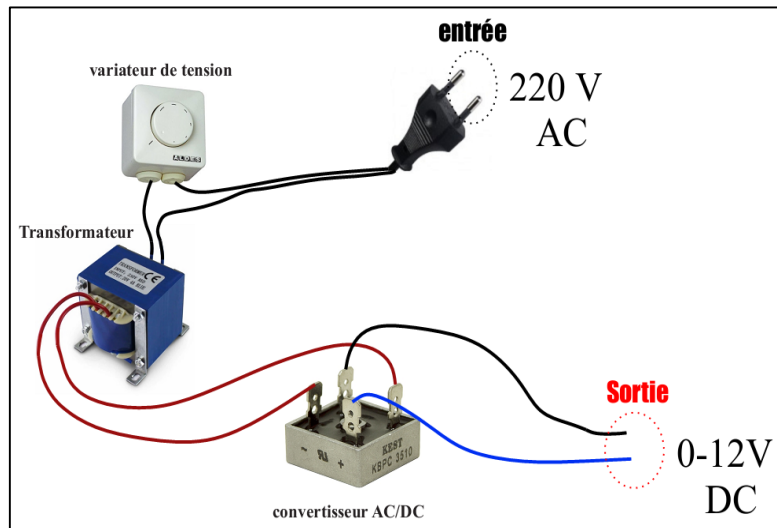


Figure III.40 : Le circuit de commande du moteur électrique.

III.3.2.7 Transformateur 12 volt

Le convertisseur 12 volts Afin de faire fonctionner la CNC shield et d'alimenter les moteurs via le Drivers A4988



Figure III.41 : Chargeur 12 volt.

III.3.2.8 Schéma électrique

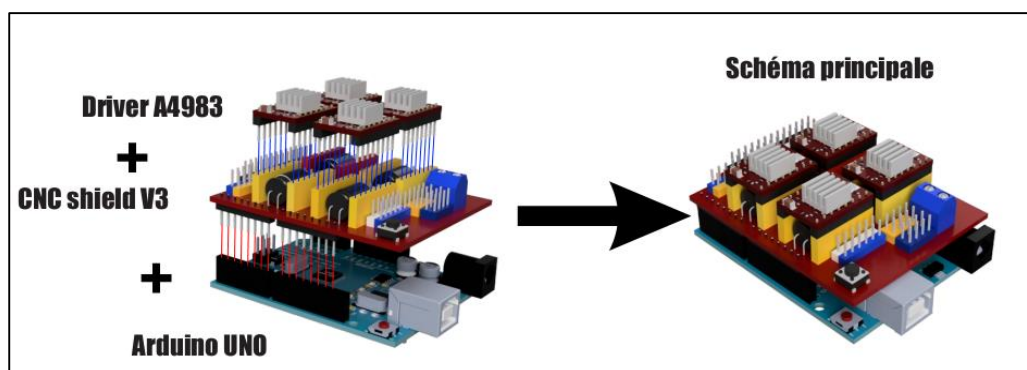


Figure III.42 : Schéma électrique principale.

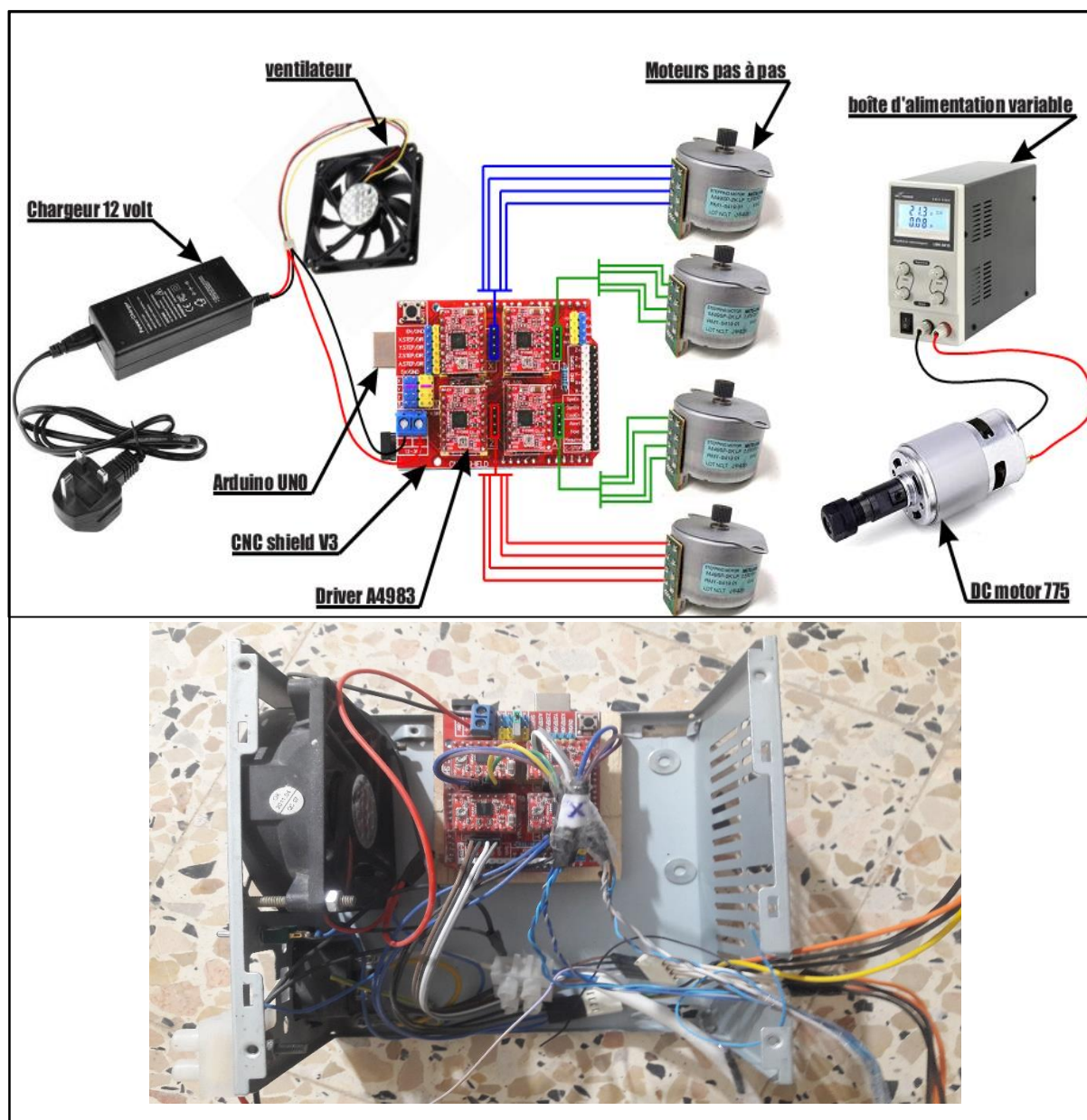


Figure III.43 : Schéma électrique générale.

III.3.3. La partie commande

III.3.3.1 Programmation de base

A) Logiciel arduino

Arduino est un espace de développement intégré (IDE) qui permet de d'écrire, de compiler et d'envoyer du code sur le circuit imprimé du même nom. Pour rappel, la carte Arduino contient un microcontrôleur que l'on peut programmer dans le but d'effectuer des tâches variées.

Grâce à arduino on est en mesure de communiquer et transférer des données facilement à l'Arduino. Après l'installation du programme, il est noté que l'interface du logiciel se présente de manière simple et structurée. Outre les traditionnelles barres d'outils et de boutons, on retrouve une fenêtre d'édition depuis laquelle on rédige le code des programmes [35]. Supportant plusieurs onglets, l'éditeur d'Arduino permet de travailler sur plusieurs programmations à la fois. Sous la fenêtre d'édition, une zone de message indique les actions en cours. Enfin, une console de texte affiche les informations concernant les résultats de compilation du programme.

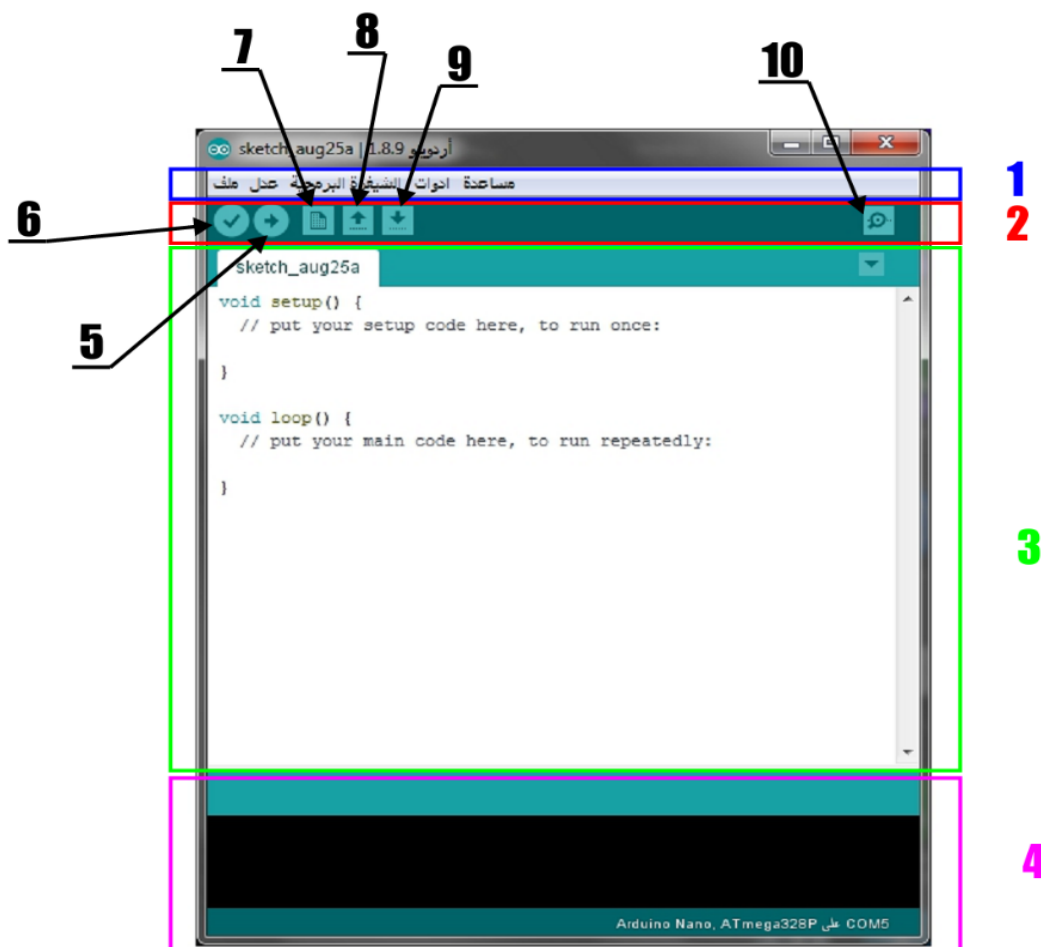


Figure III.44 : Présentation du logiciel Arduino (IDE).

Sur la base de la figure (Figure III.44), nous expliquons ce qui suit :

- 1 : ce sont les options de configuration du logiciel.
- 2 : il contient les boutons qui vont nous servir lorsque l'on va programmer la carte Arduino.
- 3 : ce bloc va contenir le programme que nous allons écrire.
- 4 : celui-ci est important, car il va nous aider à corriger les fautes dans notre programme.
- 5 : Charge le programme dans la carte Arduino.
- 6 : Ce bouton permet de vérifier le programme, il actionne un merreurs dans le programme.
- 7 : Crée un nouveau fichier.
- 8 : Ouvre un fichier.
- 9 : Enregistre le fichier.
- 10 : Ouvre le moniteur série.

B) Étapes pour télécharger le programme Grbl sur la carte Arduino

Ci-dessous, nous montrerons comment élever le programme de démarrage Grbl à travers lequel nous pouvons faire fonctionner la machine.

♦ Observation :

Vous avez déjà ajouté un programme GRBL Vers la bibliothèque Arduino IDE

♦ La première étape :

Nous connectons la carte Arduino à l'ordinateur via câble USB

♦ La deuxième étape :

Nous ouvrons la page de code Grbl, Comme indiqué dans l'étape suivante :

Fichier > Ouvert récemment > grblUpload

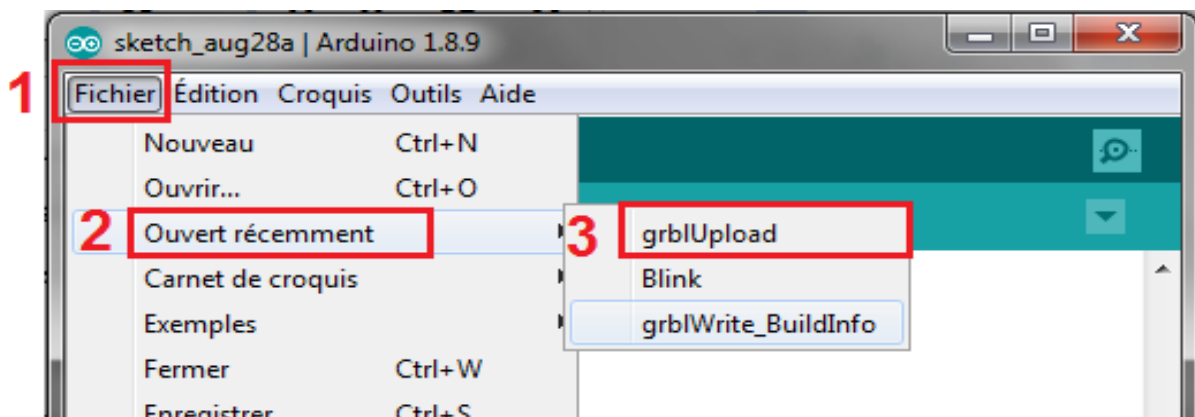


Figure III.45 : Étapes pour ouvrir la page du programme Grbl.

♦ La troisième étape :

À ce stade, nous devons faire attention.

Nous choisirons le type de carte Arduino et Port, son numéro d'entrée "COM"

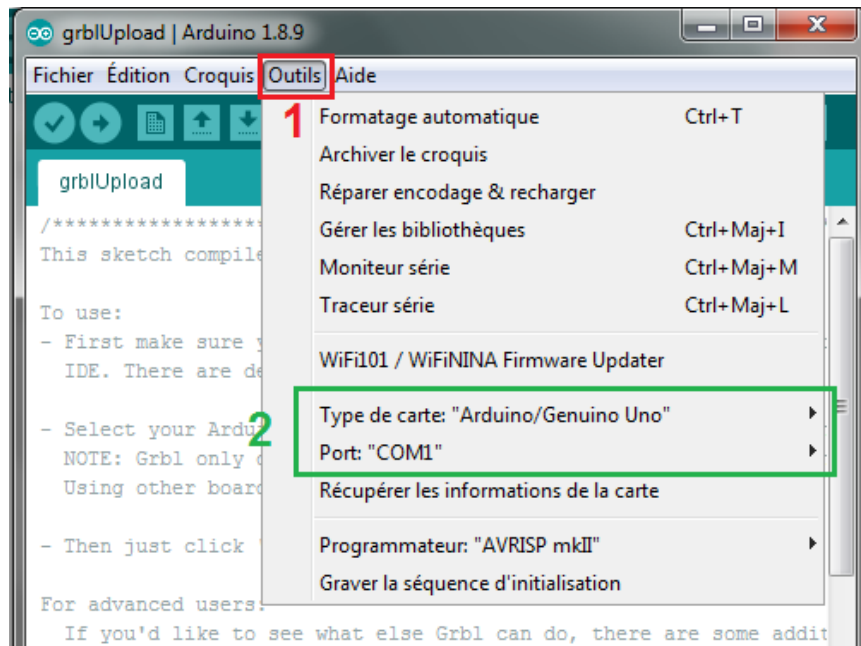


Figure III.46 : Étape de sélection des informations de la carte Arduino.

♦ La quatrième étape

Enfin, dans cette étape, nous téléchargeons le script du programme Grbl sur la carte Arduino

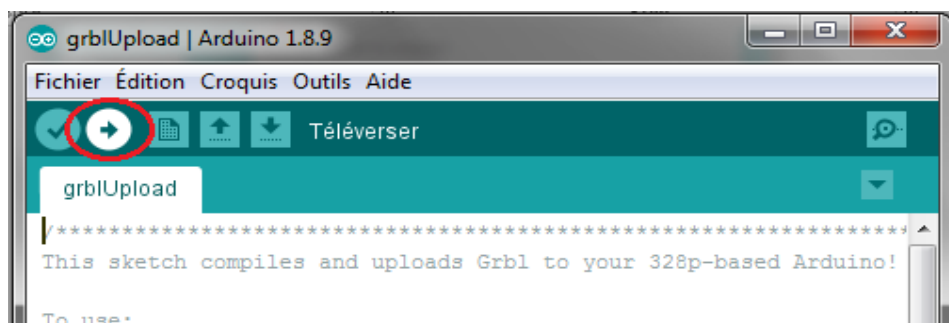


Figure III.47 : Étape pour élever un programme Grbl sur l'Arduino.

III.3.3.2 Configuration

A) Logiciel de contrôle de la machine

Universal Gcode sender (UGS) C'est un Logiciel de pilotage de machine de gravure à trois axes, et grâce à lui, nous pouvons contrôler la machine via l'ordinateur où nous transmettons les commandes et les codes de programmation à la machine.

Le programme "Universal Gcode sender" est écrit en JAVA (fichier .JAR) : il est donc compatible avec tous les ordinateurs (pc, unix, mac) : vous devrez peut-être installer JAVA sur votre ordinateur.

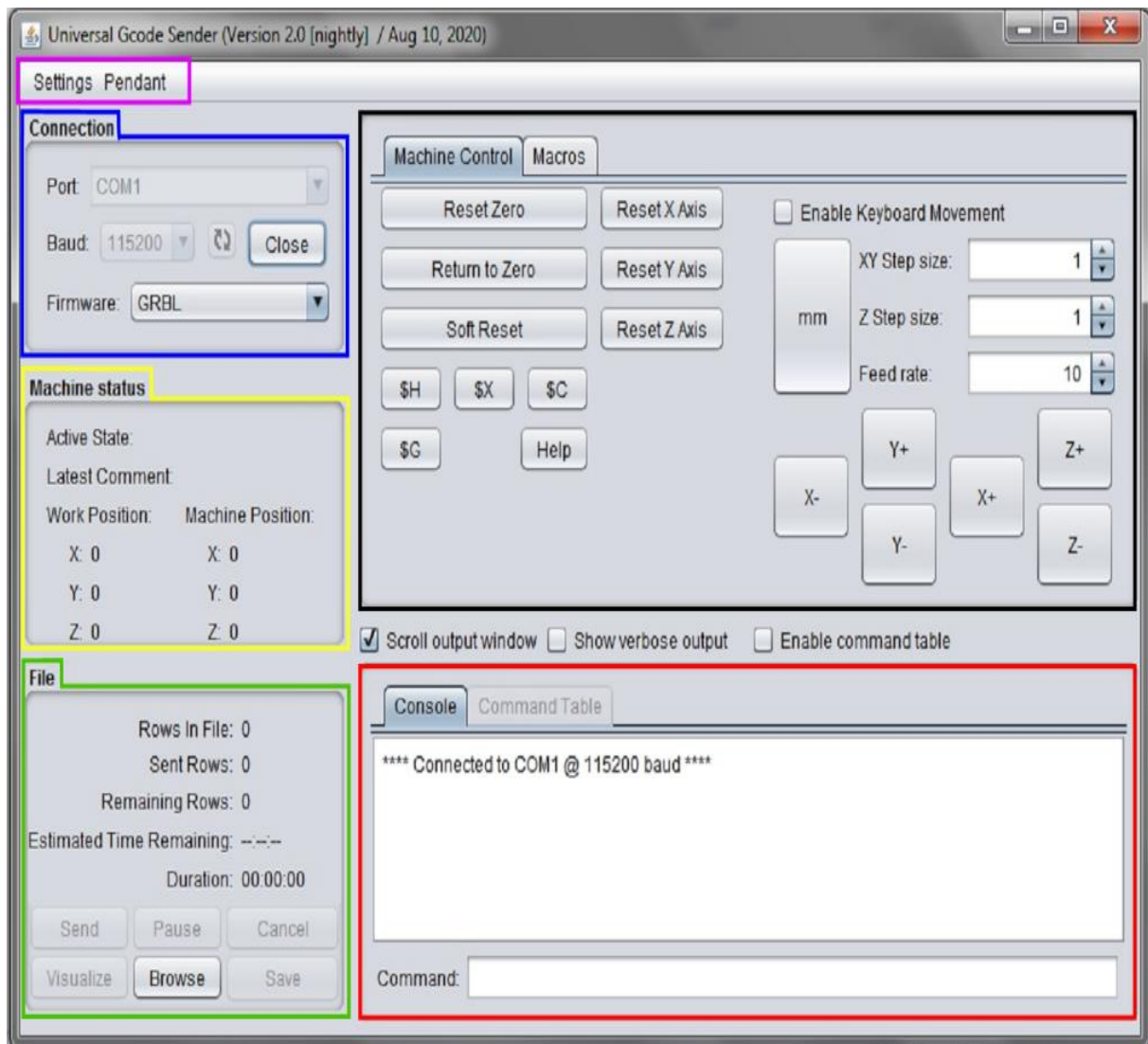


Figure III.48 : Explication de l'interface de l'Universal Gcode sender (V2).

Expliquez l'interface du programme en fonction de la couleur du cadre comme sur la figure III.48.

- Cadre violet : Barre de menus des paramètres du programme
- Cadre bleu : Les paramètres de connexion des appareils
- Cadre jaune : Afficher les informations d'état
- Cadre vert : Paramètres d'entrée pour les fichiers
- Cadre noir : Panneau de configuration et contrôle manuel
- Cadre rouge : Affichage à l'écran et espace pour saisir les codes

B) Configuration la Machine CNC à trois axes

Ces paramètres spéciaux ont été déterminés et ajustés sur la base de calculs antérieurs et sur la base de la nature de la machine à utiliser.

```

[HLP:$ $ # $G $I $N $x=val $Nx=line $J=line $SLP $C $X $H ~ ! ? ctrl-x]
ok
$0=10 (step pulse, usec)          ==> ok
$1=25 (step idle delay, msec)     ==> ok
$2=0 (step port invert mask:00000000) ==> Inverser les steps
$3=1 (dir port invert mask:00000001) ==> definit la direction des axes
$4=0 (step enable invert, bool)    ==> active les moteur (enable step)
$5=1 (limit pins invert, bool)     ==> Inverse la logique de detection des endstop
$6=0 (probe pin invert, bool)
$10=19 (status report mask:00010011) ==> permet de definir le niveau de debug
$11=0.010 (junction deviation, mm)
$12=0.002 (arc tolerance, mm)
$13=0 (report inches, bool)
$20=0 (soft limits, bool)
$21=0 (hard limits, bool)
$22=1 (homing cycle, bool)
$23=7 (homing dir invert mask:00000111)
$24=25.000 (homing feed, mm/min)
$25=500.000 (homing seek, mm/min)  ==> definit la vitesse de deplacement pour
                                     trouver le homing
$26=250 (homing debounce, msec)
$27=50.000 (homing pull-off, mm)   ==> definit la distance de retour du chariot après
detection end_stop
$100=48.600 (x, step/mm)           ==> Nb de pas /mm axe x
$101=48.600 (y, step/mm)           ==> Nb de pas /mm axe y
$102=48.600 (z, step/mm)           ==> Nb de pas /mm axe z
$110=1000.000 (x max rate, mm/min) ==> Vitesse max axe x
$111=1000.000 (y max rate, mm/min) ==> Vitesse max axe y
$112=1000.000 (z max rate, mm/min) ==> Vitesse max axe z
$120=10.000 (x accel, mm/sec^2)    ==> Acceleration max axe x
$121=10.000 (y accel, mm/sec^2)    ==> Acceleration max axe y
$122=10.000 (z accel, mm/sec^2)    ==> Acceleration max axe z
$130=400.000 (x max travel, mm)     ==> deplacement max x
$131=460.000 (y max travel, mm)     ==> deplacement max y
$132=40.000 (z max travel, mm)      ==> deplacement max z

```

Figure III.49 : Paramètres configuration de la Machine CNC à trois axes.

III.3.3.3 Programmation de fichiers G-code [36].

Programmer manuellement un fichier fichiers G-code n'est pas une tâche facile car cela prend beaucoup de temps et d'efforts et personne n'en est capable. Par conséquent, les développeurs et programmeurs dans le domaine de la mécanique et du contrôle automatique ont développé un environnement capable de créer et de convertir des modèles en coordonnées puis en

instructions sous la forme de lignes composées de codes (G-code) et de ces derniers. La méthode définit la conception et la fabrication assistées par ordinateur.

Logiciel CFAO utilisé pour créer le fichier G-code

ArtCAM est un logiciel CFAO complet pour concevoir des produits artistiques et les fabriquer en utilisant des machines-outils CNC ou des machines de gravure au laser.

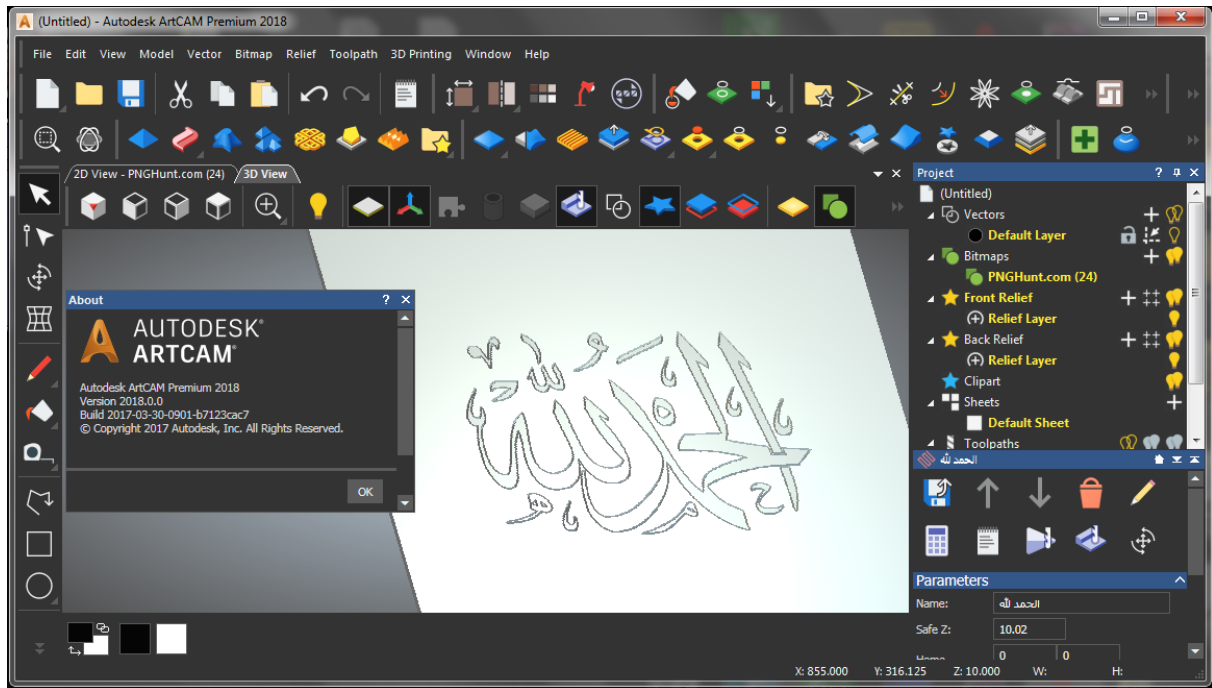


Figure III.50 : Interface logiciel ArtCAM 2018.

Vous pouvez créer des conceptions 2D en important des images en utilisant des vecteurs et des bitmaps. Vous pouvez également créer des conceptions 3D en important des reliefs ou en créant des reliefs depuis des vecteurs et des bitmaps.

Lorsque vous avez terminé de créer une conception 2D ou 3D, vous pouvez choisir un parcours d'outil pour fabriquer la conception en un produit. Après qu'ArtCAM ait calculé et généré le parcours d'outil, vous pouvez simuler le parcours d'outil avant de l'enregistrer et d'exporter les données dans la machine.

ArtCAM vous permet également de créer des maillages triangles depuis les reliefs et d'exporter ces conceptions pour l'impression 3D afin de pouvoir fabriquer des produits sans avoir besoin de générer les parcours d'outils.

III.3.3.4 Chaîne de commande et programmation

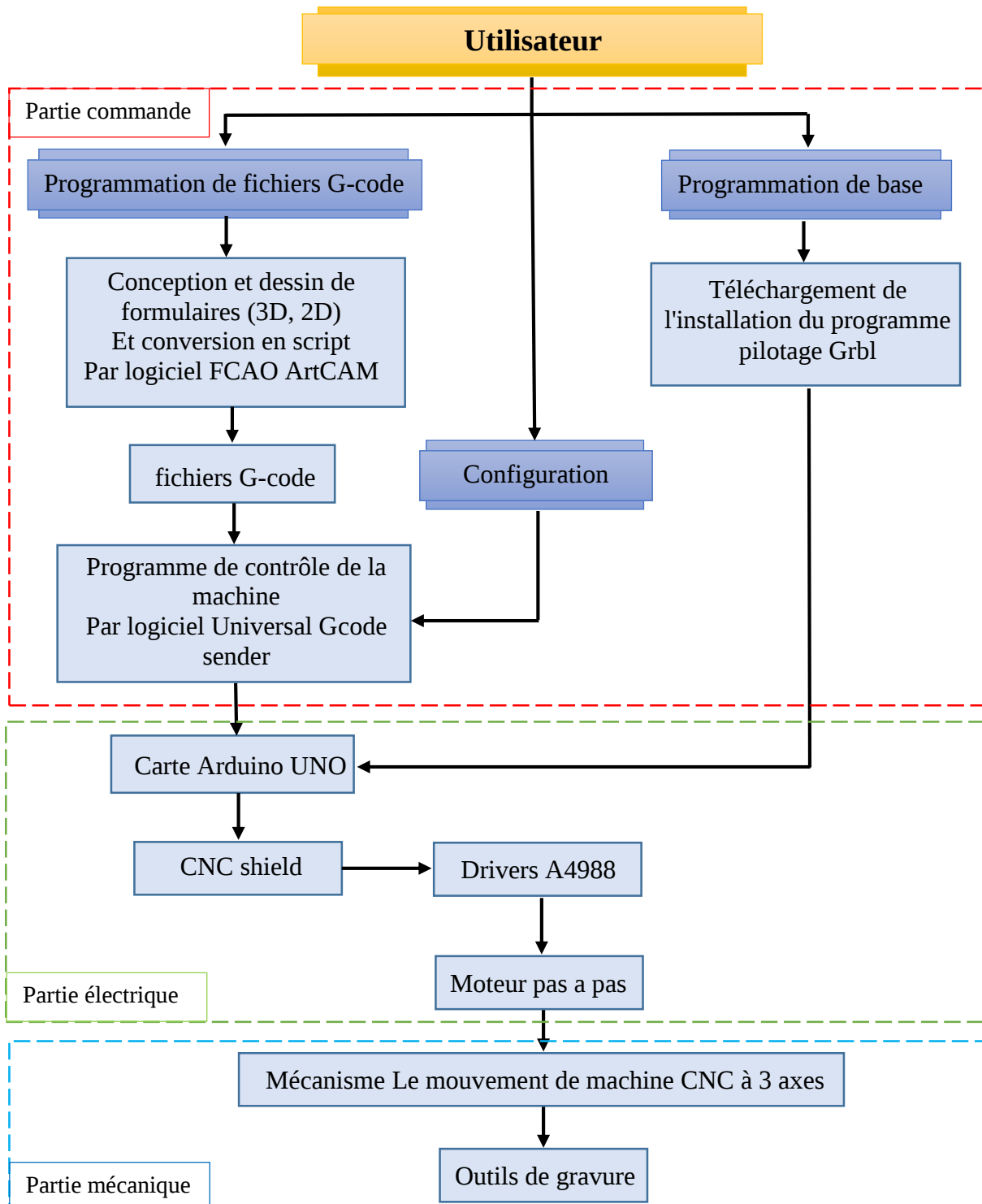


Figure III.51 : Schéma de Chaîne le commande de machine CNC à 3 axes.

III.4. Simulation de la Machine CNC à trois axes

III.4.1. Le logiciel PROTEUS

III.4.1.1 définition

Proteus est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société Labcenter Electronics, les logiciels incluent dans Proteus permettent la CAO dans le domaine électronique. Deux logiciels principaux composent cette suite logicielle : ISIS, ARES, PROSPICE et VSM ...

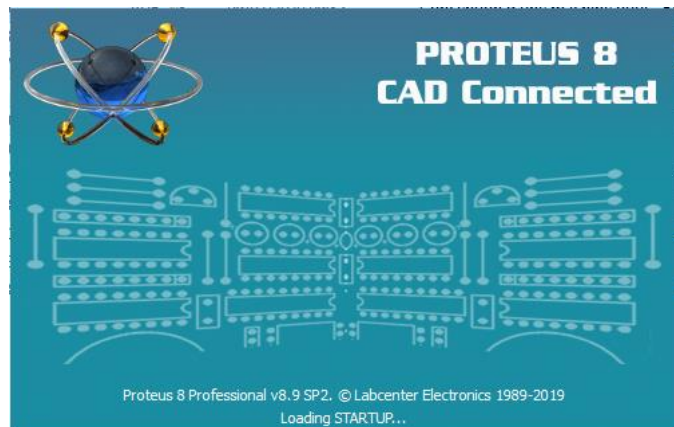


Figure III.52 : Logiciel PROTEUS V8.9.

Pour la simulation de la commande numérique sur les moteurs responsables des mouvements axiaux de la machine DENZER-CNC, nous allons utiliser le logiciel ISIS de PROTEUS [37].

III.4.1.2 PROTEUS ISIS

Le logiciel ISIS de Proteus est principalement connu pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits [37].

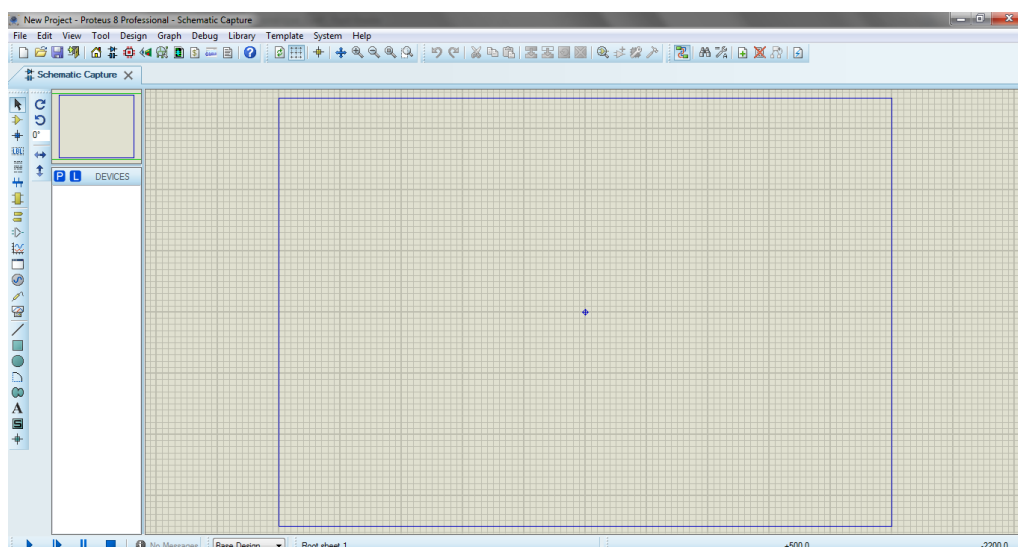


Figure III.53 : Nouvelle page de projet en PROTEUS ISIS.

III.4.2. Étapes de simulation la commande numérique et électrique

III.4.2.1 La première étape

Préparer les véhicules électroniques et électriques nécessaires, puis installer le circuit électrique comme indiqué sur la figure (III.54)

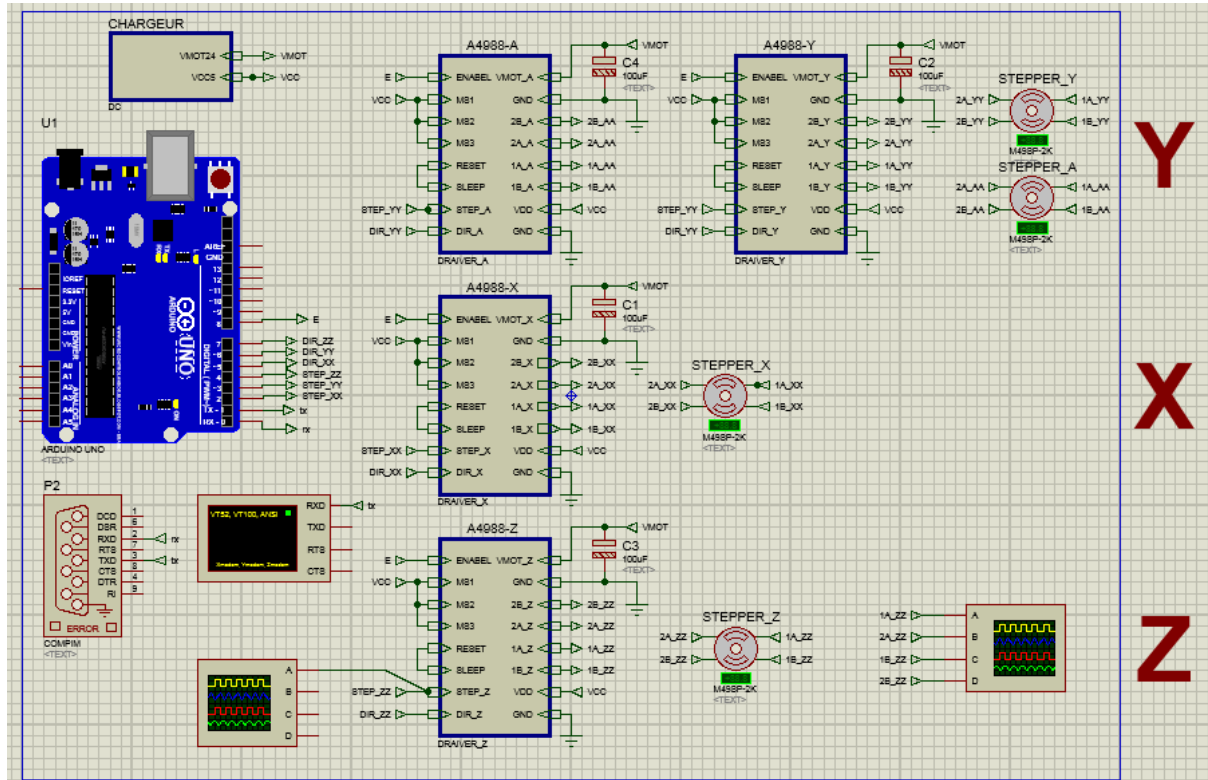


Figure III.54 : simulation le circuit électrique en Proteus.

III.4.2.2 La deuxième étape

Ajuster les paramètres et saisir les données des appareils

◆ Arduino UNO

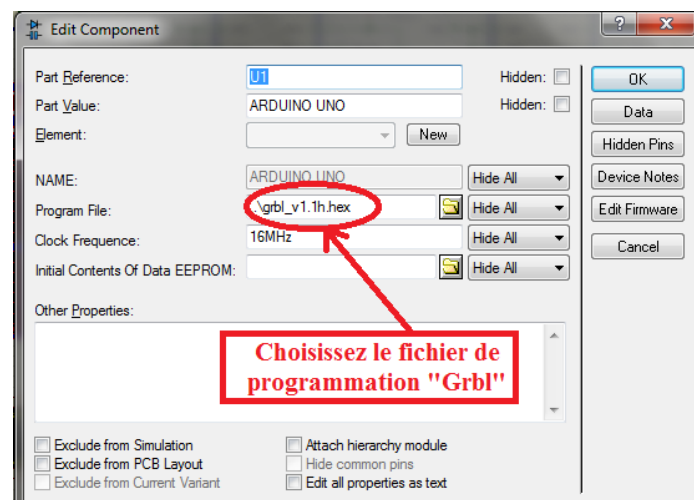


Figure III.55 : Paramètres Arduino UNO en Proteus.

◆ Moteur pas à pas

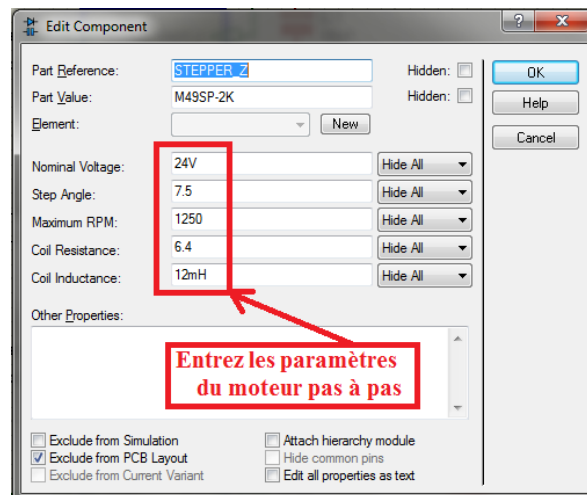


Figure III.56 : Paramètres moteur pas à pas en Proteus.

◆ Entrée de l'adaptateur d'information

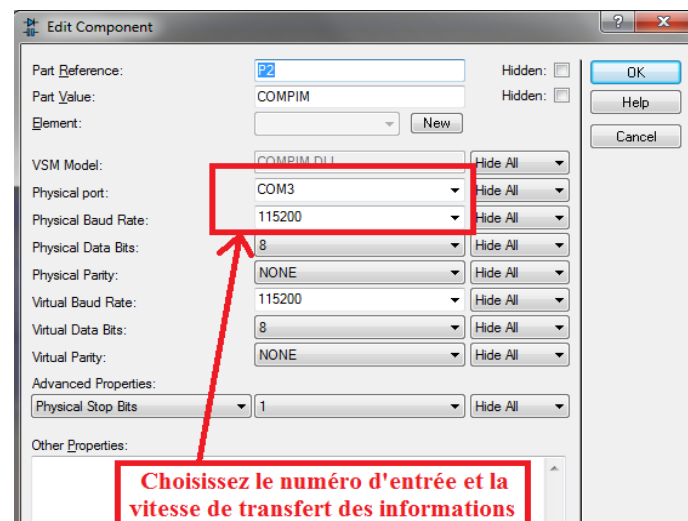


Figure III.57 : Paramètres l'adaptateur d'information en Proteus.

◆ Virtual Serial Port Emulateur

VSPE est un émulateur de port série virtuel. Le port série virtuel COM3 a été créé pour connecter la carte ARDUINO UNO avec le programme de contrôle Universal Gcode sender

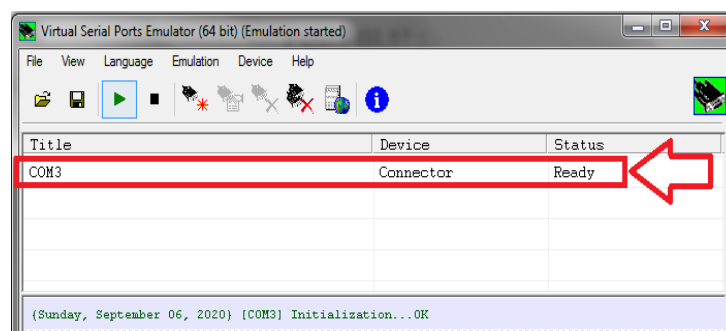


Figure III.58 : Paramètres de Virtual Serial Port Emulateur.

III.4.2.3 La troisième étape

Exécutez le programme UGS (Universal Gcode sender) et lancez la simulation et nous ferons le test.

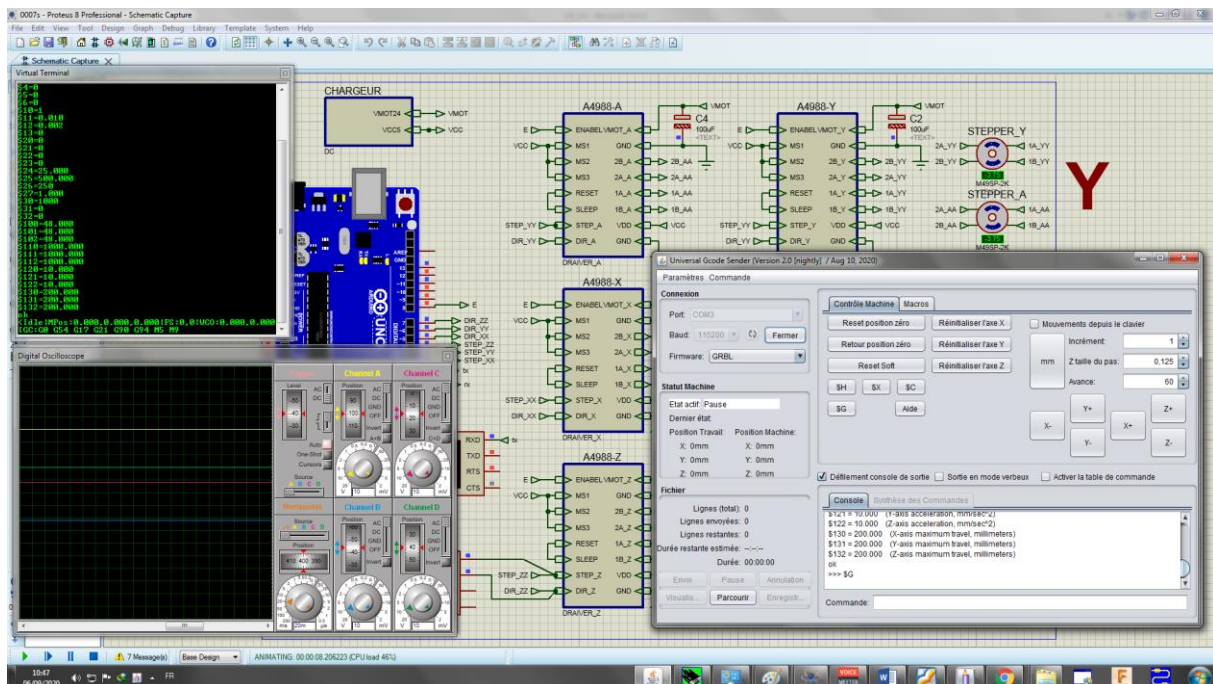


Figure III.59 : Application de simulation et allumage le circuit électrique.

III.5. Résultats de la simulation

Cette simulation est basée sur l'étude de la nature du signal entre un groupe de véhicules à circuit électrique, comme résumé dans le schéma suivant :

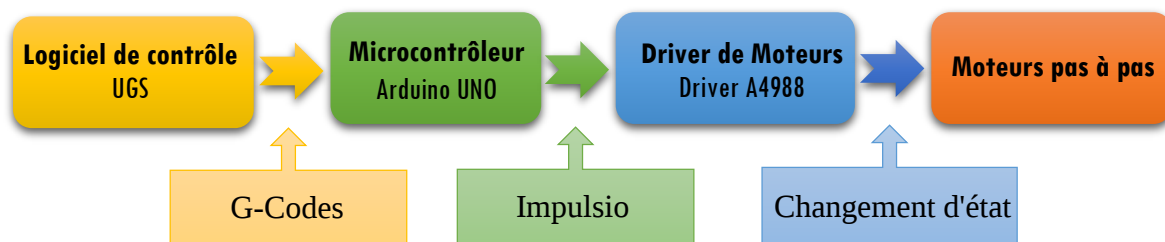


Figure III.60 : Diagramme partage et transfert d'informations.

Afin d'obtenir de bons résultats et une compréhension générale de la commande numérique, nous avons divisé le test en deux étapes.

III.5.1. Le but de la simulation

Vérifier l'intégrité du circuit et la reconnaissance de la commande numérique.

Dans cette expérience, nous enverrons une commande d'un Logiciel de contrôle UGS à la carte Arduino UNO pour déplacer l'axe Z de 0,125 mm dans le sens positif et puis on extrait

les résultats et on les explique.

III.5.2. Le signal entre logiciel de contrôle et Microcontrôleur

Au départ, on remarque la machine au démarrage initial en position zéro, quant à l'angle initial du moteur par rapport à l'axe Z Égal (-3.75), Voir la figure (III.61) suivante :

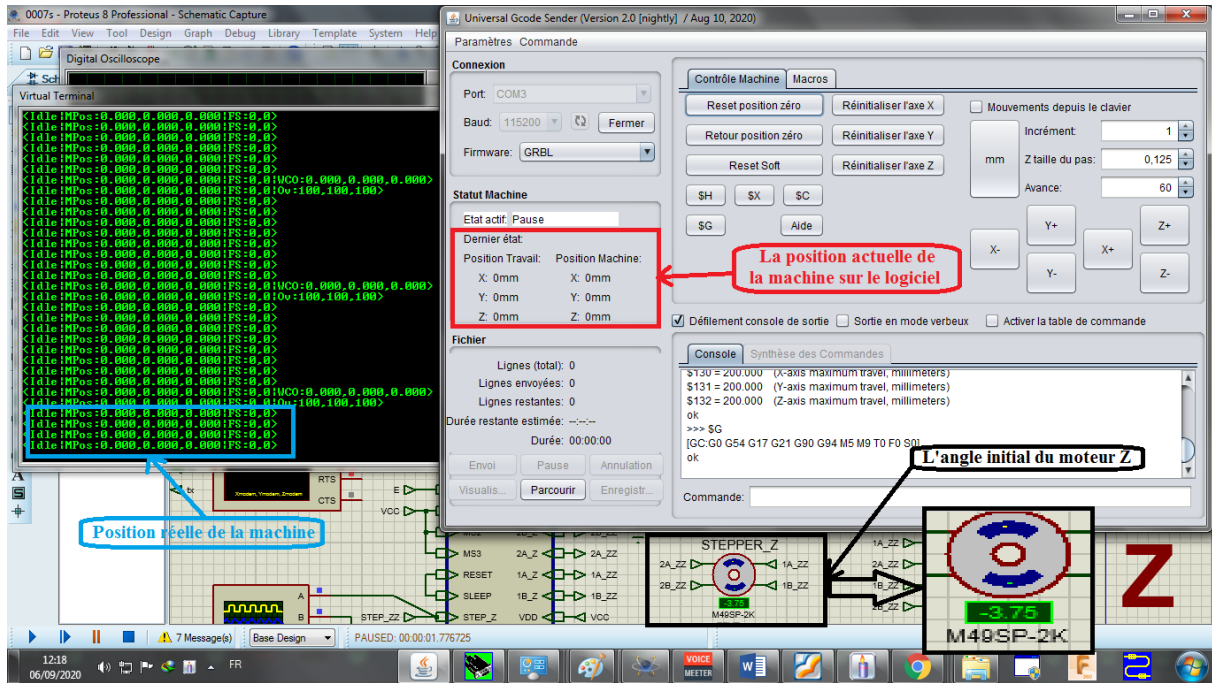


Figure III.61 : Angle du moteur avant d'appliquer la commande.

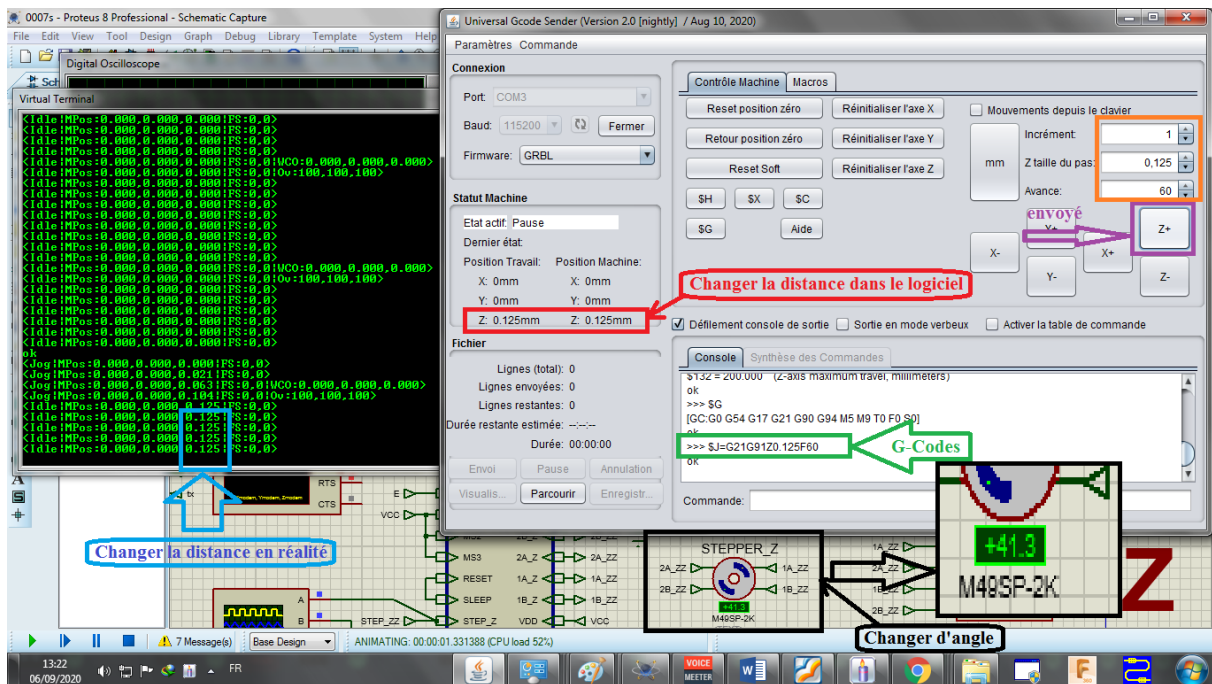


Figure III.62 : L'angle du moteur change après l'application de la commande.

Envoyer l'ordre de transfert depuis le programme contrôle avec les propriétés suivant :

Vitesse d'alimentation : 60 tr/min et distance parcourue : 0.125 mm Voir la figure (III.62).

Dans cette expérience, nous avons envoyé la commande de déplacement 0.125 dans la direction positive, à partir de laquelle le moteur s'est déplacé à un angle (41.3°) sachant que l'angle initial est (-3.75°), puisque l'angle auquel le moteur se déplaçait est (45.05°) Voir la figure (III.61, III.62).

Maintenant, nous allons calculer l'angle et comparer

Un tour équivaut 360° et 360° = 1mm, $360 \times 0.125 / 1 = 45$

Donc 0.125mm=45°

III.5.3. Le signal entre Microcontrôleur et Driver de Moteurs

Après avoir reçu la carte Arduino, le code de commande pour se déplacer (0.125mm) par rapport à l'axe (Z), l'Arduino convertit le code en impulsion.

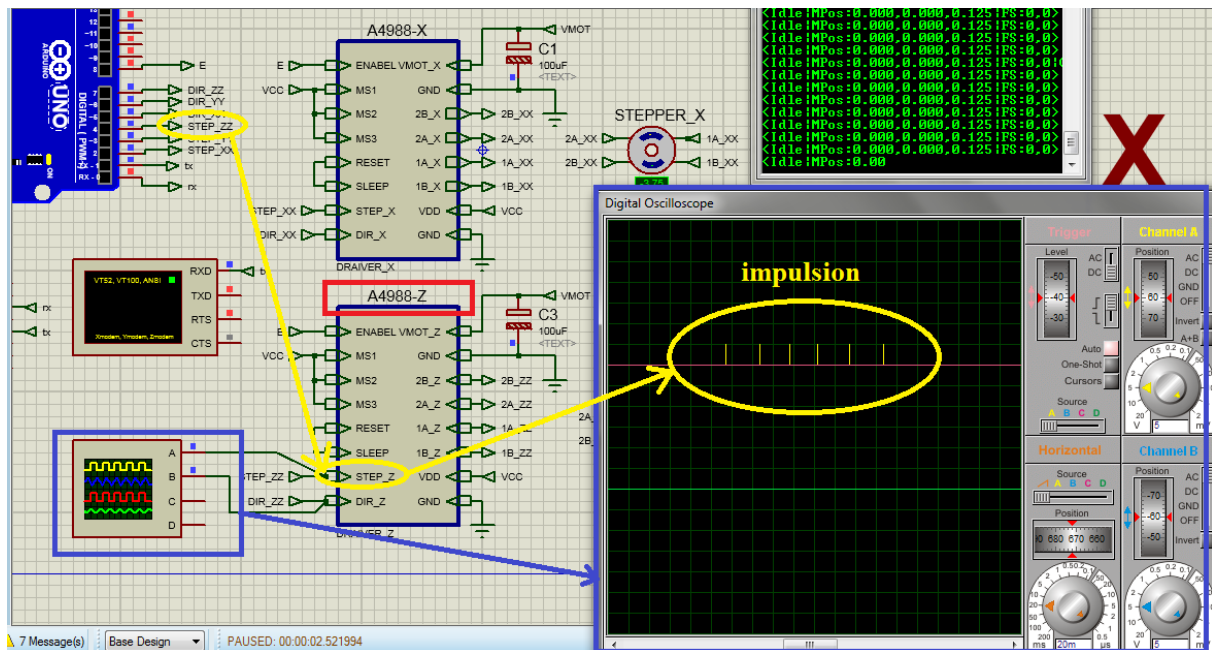


Figure III.63 : Lisez le signal entre Microcontrôleur et Driver de Moteurs.

Sur la base de la figure (III.63) et de la précédente, nous l'interprétons

Notez que nous pourrions obtenir six impulsions

Où $48\text{step (impulsion)} = 1\text{mm} \implies 0.125 \times 48 / 1 = 6$

III.5.4. Le signal entre Driver de Moteurs et Moteurs pas à pas

Le principe () est basé sur la traduction des impulsions entrantes de la carte Arduino en vitesse, sens de rotation et couple via le contrôle changement d'état

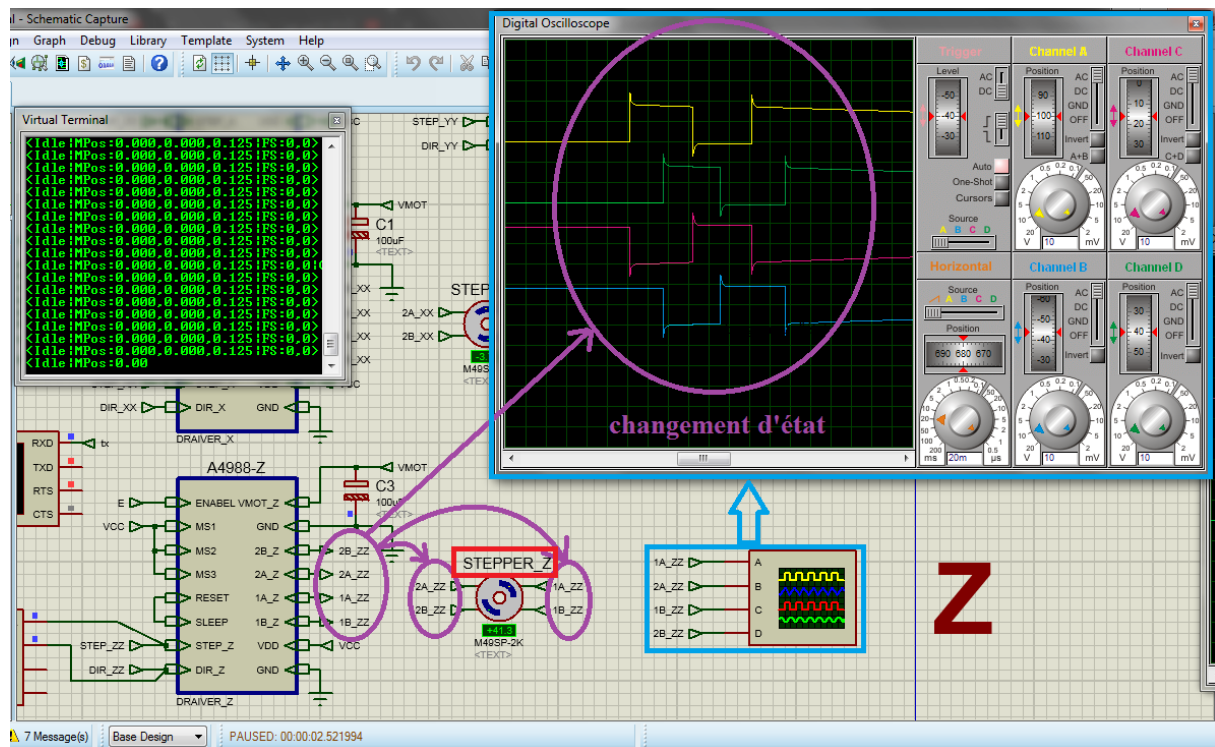


Figure III.64 : Lisez le signal entre Driver de Moteurs et Moteurs pas à pas.

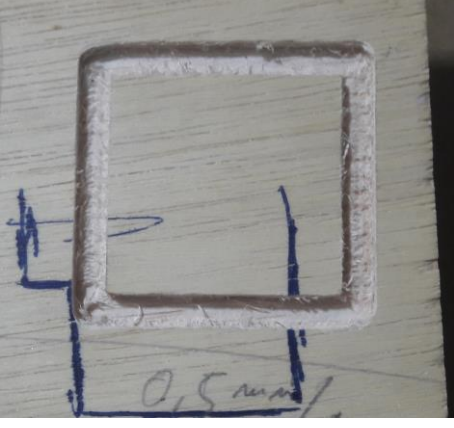
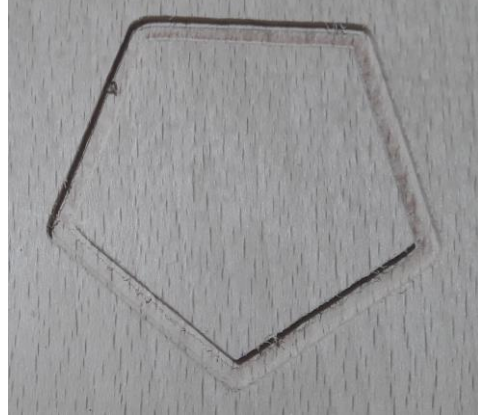
À travers la figure (III.64), nous remarquons que nous pouvons obtenir quatre signal, et c'est parce que le moteur a quatre pôles. Chaque signal constitue (1.5) une impulsion car une impulsion constitue un état et puisque le nombre total du changement d'état est de $4 * 1,5 = 6$. Et cela suffit pour déplacer le moteur de six étapes.

III.6. Étapes pour expérimenter la réalisation du modèle

Dans l'expérience suivante, des gravures ont été réalisées sur différents panneaux de bois, et nous avons obtenu les résultats suivants.

Tableau III.4 : Paramètres de coupe en fonction du type de bois.

Type de bois	Les paramètres de coupe	Le résultat de la gravure
MDF	La fréquence de rotation $n=6500 \text{ tr/min}$ La vitesse d'avance $F=0.15 \text{ mm/s}$ La vitesse de coupe $V_c= 30.6 \text{ m/min}$ Profondeur de passe $a=0.2 \text{ mm}$	

Bois rouge	La fréquence de rotation $n=6500 \text{ tr/min}$ La vitesse d'avance $F=0.2 \text{ mm/s}$ La vitesse de coupe $V_c= 30.6 \text{ m/min}$ Profondeur de passe $a=0.2 \text{ mm}$	
Bois Multicouche	La fréquence de rotation $n=6500 \text{ tr/min}$ La vitesse d'avance $F=0.4 \text{ mm/s}$ La vitesse de coupe $V_c= 30.6 \text{ m/min}$ Profondeur de passe $a=0.3 \text{ mm}$	
BOIS DE HÊTRE	La fréquence de rotation $n=6500 \text{ tr/min}$ La vitesse d'avance $F=0.1 \text{ mm/s}$ La vitesse de coupe $V_c= 30.6 \text{ m/min}$ Profondeur de passe $a=0.15 \text{ mm}$	

L'outil utilisé dans l'expérience est un poinçon en métal d'un diamètre de trois mm que nous avons modifié pour sculpter sur différents types de bois

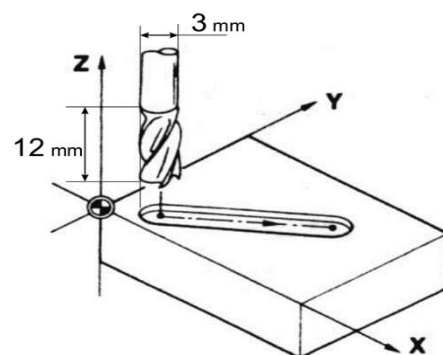


Figure III.65 : Caractéristiques de l'outil de coupe.

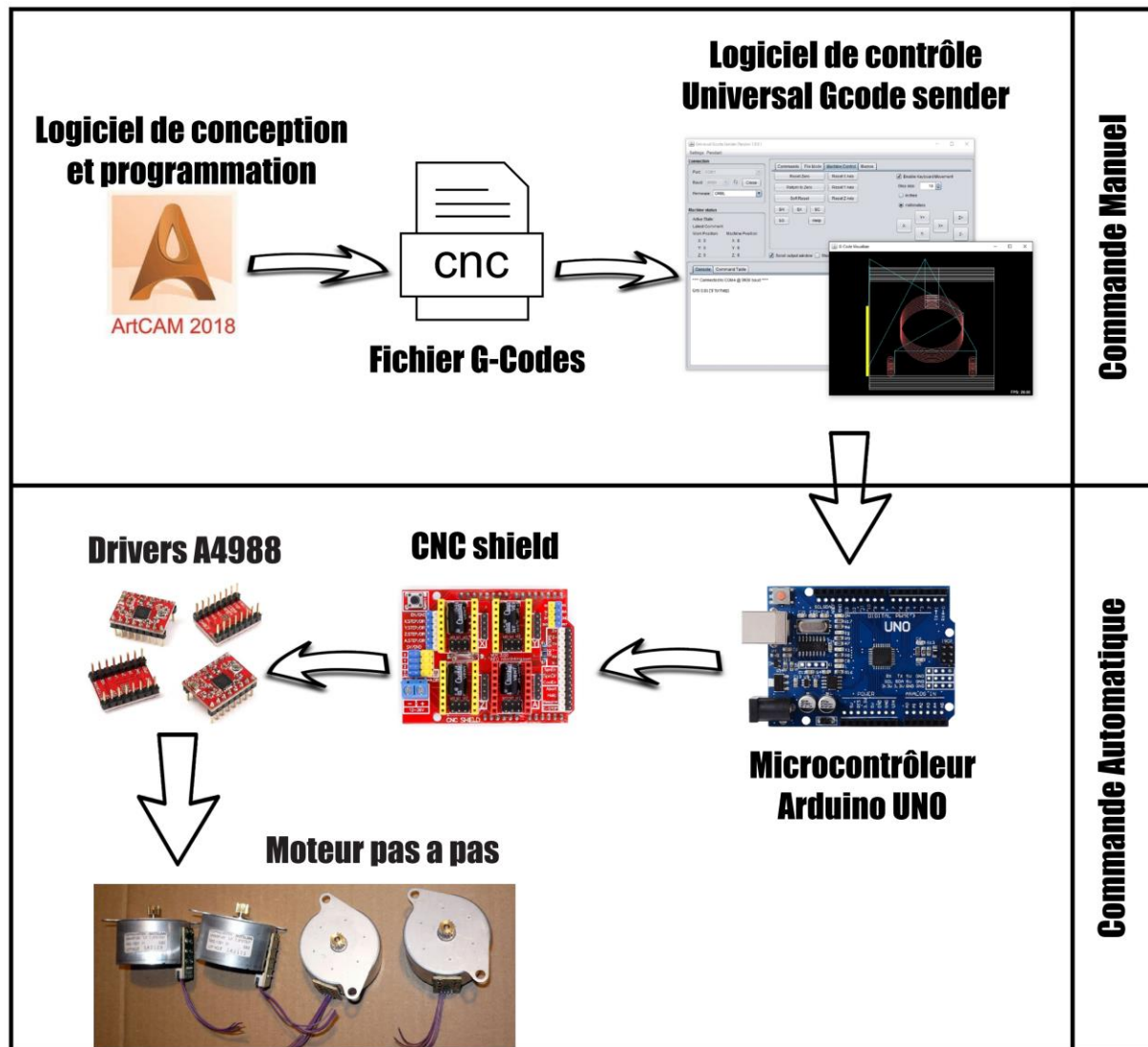


Figure III.66 : Étapes pour expérimenter la réalisation du modèle.

III.7. Conclusion

Nous avons fourni dans ce chapitre de nombreuses informations détaillées et importantes sur une machine CNC à 3 axes.

Où nous avons réalisé la machine sur la base des résultats de l'étude du chapitre II, puis nous avons abordé sa simulation et la vérification des résultats.

Enfin, nous avons présenté une application de test réelle de la machine et les résultats ont été très satisfaisants.

Conclusion Générale

Notre projet de fin d'étude consiste à la réalisation pratique d'une machine CNC à base de la carte Arduino et l'emploi de l'expérience académique et professionnelle le savoir-faire dans le domaine électromécanique.

Dans un premier temps, et avant d'aborder cette étude, On a commencé par la présentation de l'état de l'art de notre projet, telle que la commande numérique de la machine CNC, le fonctionnement d'une MOCN, puis cité les différentes familles et classifications des machines à commande numérique ainsi que leur domaine d'utilisation, par la suite en passant en revue ses avantages et ses inconvénients. A la fin de cette partie nous avons proposé la machine à commande numérique à trois axes comme choix de notre projet avec la conception et la fabrication assistée par ordinateur (CAO)

Puis, et avant de réaliser directement la machine nous avons présenté une étude générale de la fraiseuse «machines CNC à 3 axes», en premier lieu cité tous les composants de la machine puis le mécanisme de travail ainsi que la modélisation géométrique et mécanique et finalement les propriétés mécaniques, et l'étudier la méthode de programmation de la machine.

La dernière partie est consacrée à la simulation et la réalisation de notre projet, d'abord nous avons cité de nombreuses notifications détaillées et importantes sur une machine CNC à 3 axes. ensuite nous avons réalisé la machine sur la base des résultats de l'étude du chapitre II, puis nous avons abordé sa simulation et la vérification des résultats. En fin, nous avons validé la simulation numérique de système par une application de test réelle de la machine et les résultats ont été très satisfaisants. C'est-à-dire d'après les analyses des résultats de simulation obtenue et la réalisation pratique de notre projet on constate qu'on a atteint les objectifs fixés.

Nous avons rencontré plusieurs problèmes durant la conception de la commande et la réalisation pratique, problèmes d'ordre mécanique, électrique et informatique. mais grâce à Tawfiq Allah et ce que nous avons appris durant nos études académiques et l'assistance de nos encadrants nous avons pu associer les différents éléments dont la partie la plus essentielle qui est la commande des trois moteurs pas à pas logiciel, interface, programmes...etc.

En conclusion, nous espérons que ce modeste travail pourrait servir de référence aux Projets futurs des prochaines promotions et les inciter à s'intéresser davantage au côté pratique de l'automatique.

Références Bibliographiques

- [1] KHELIFI Fateh. «Conception et réalisation d'une machine à commande numérique (fraiseuse)». Université SAAD DAHLAB de BLIDA, Algérie, 2017-2018.
- [2] BOUYAHIA YESSINE. «Réalisation d'un prototype d'une machine CNC 3 axes». Université Aboubakr Belkaïd Tlemcen, Algérie, 2018-2019.
- [3] Bantam Tools. «History of CNC Machining, Part 1». Apr 12, 2019.
<https://medium.com/cnc-life/history-of-cnc-machining-part-1-2a4b290d994d>.
- [4] Djamel SMAINI, Rafik BEN KADI. «Conception et réalisation d'une machine CNC». UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, Algérie, 2015.
- [5] Gilles Patri. «Aérospatiale: une nouvelle ère industrielle. Des outils classiques à la commande numérique ». dans Revue aérospatiale, N° hors-série 20 ans d'Aérospatiale, janvier 1990.
- [6] Benabderazag khalil. «CONTRIBUTION A LA REALISATION D'UNE MOCN». Université Mohamed Boudiaf - M'sila, Algérie, 2018-2019.
- [7] Gilles prud'homme, « commande numérique des machines-outils » Technique de l'ingénieur, génie mécanique, usinage, B7130, D. Duret, « simulation de gamme d'usinage », revue de l'ingénieur et du Technicien de l'enseignement technique, n°229,1981, pp. 34-37, 1995.
- [8] Jean-Pierre Urso. «Mérotech : commande numérique». Educavivre, pp 334, 1999.
- [9] A. Cheikh, N. Cheikh, «cours de CFAO1», Université de Tlemcen, Algérie, 2011
- [10] BOUANIK FOUAD. «Simulation de l'usinage d'un guidage longitudinal sous le logiciel SINUTRAIN 828D ShopMill». UNIVERSITE BADJI-MOKHTAR-ANNABA, Algérie, 2016-2017.
- [11] BELLOUFI Abderrahim. «Machines outils à commande numérique». Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie, 2010.
- [12] Claude Barlier, Lionel Girardin. «Mérotech productique : matériaux et usinage». Ed. Casteilla, pp 406,1992.
- [13] ELBARNAS. «Structure physique d'une machine CNC Router». 10 avril 2019.
<https://elbarnas.wordpress.com/author/elbarnas/>.
- [14] Patrick BLAIN, technique de l'ingénieur «CAO et méthodologie de conception». Document B 2 810
- [15] MOUZAOUI Melissa, TAZAMOUCHE Yanis. «Réalisation et automatisation d'une machine à commande numérique». Université A.MIRA-BEJAIA, Algérie, 2018-2019.
- [16] Jimmy. «SAFETY OPERATION TIPS FOR WOODWORKING CNC ROUTER». From: STYLECNC, May 12 2016. <https://www.stylecnc.com/user manual /Woodworking-cnc-router-safety-operation.html>.
- [17] SALHI Mohamed Zouhaïer, SLITI Ridha, NAÏFAR Noureddine, BEN ACHOUR

- Nabil, BAKINI Noomen, «Manuel de cours 4eme GM Sciences Techniques». MINISTERE DE L'EDUCATION TUNISIENNE.
- [18] MOHAMED MTAALLAH, «GENIE MECANIQUE 4eme Sciences Techniques». LGM-Labo Génie Mécanique Kelibia. 2016, <http://www.lgmk.tn>.
- [19] Kamel Bousnina. «Système Vis écrou». January 2020. <https://pdfcookie.com/documents/pdfcookie-dvm1mnj0qqvy>.
- [20] Matthieu Barreau. «Guidages en rotation par roulements». janvier 2001. <http://barreau.matthieu.free.fr/cours/Liaison-pivot/pages/roulements-1.html>.
- [21] GAMMOUDI Khaled, HIDOURI Abdelmoumen. «cours de conception ii». L'ISSET (Institut Supérieur des Etudes Technologiques) de Gafsa. 2008-2009.
- [22] Tarek Ben Moncef Adouani. «Système Vis Écrou». Oct 02, 2019. <https://www.scribd.com/document/428423543/Systeme-Vis-Ecrou>.
- [23] Marcos George Duarte. «M49sp-2k Datasheet». Décembre 2019. <https://idoc.pub/documents/m49sp-2k-datasheet-klzzj92297lg>.
- [24] Mr Hechmi CHERMITI, «Chapitre 3 : Programmation ISO». 11/08/2015. <https://www.technologuepro.com/cours-genie-mecanique/cours-21-production-commande-numerique-1-2/>.
- [25] Le Bear. «G-Code (Gcode). C'est quoi?». 5 octobre 2016. <https://lebearcnc.com/g-code-c-est-quoi/>
- [26] go2cam. de commande numérique». 19 février 2018. https://fr.wikipedia.org/wiki/Programmation_de_commande_num%C3%A9rique
- [27] LITIM Nabil, «MACHINES-OUTILS A COMMANDE NUMERIQUE». 2010-2011. <https://pdfslide.fr/documents/cours-de-mocn.html>.
- [28] «Table XYZ carte interface grbl». https://wiki.logre.eu/index.php/Table_XYZ_carte_interface_grbl#:~:text=Le%20raccordement%20d%27un%20Arduino%20flash%C3%A9%20avec%20GRBL%20est%20d%C3%A9crit%20ici
- [29] coreldraw.com. «CorelDRAW». 6 janvier 2013. <https://fr.wikipedia.org/wiki/CorelDRAW>
- [30] Mélanie R. «Fusion 360, une solution de modélisation complète pour l'impression 3D». 29 avril 2020. <https://www.3dnatives.com/fusion-360-logiciel-impression-3d-29042020/>
- [31] Christian Tavernier, «Arduino Maîtriser sa programmation et ses cartes d'interface (shields)». Paris, 2011, DUNOD. <https://www.electronique-mixte.fr/formation-pdf/formation-pdf-microcontrôleurs-microprocesseurs/cours-2-la-carte-arduino-uno/>
- [32] Ouchefoun Djamel Eddine, Talhi Mohamed «Contribution à la conception et à la réalisation d'un système à base d'une commande numérique pour la fabrication des canaux micro fluidiques». Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira, Algérie, 2016-2017

- [33] Denis Alaime. «COMPRENDRE ET BIEN UTILISER LE DRIVER A4988 POUR MOTEURS PAS À PAS». 26 décembre 2018. <https://devenez-pro-en-electronique.com/comprendre-et-bien-utiliser-le-driver-a4988-pour-moteurs-pas-a-pas/>
- [34] Djedouani.Belal, «Développement d'un Banc d'essai por l'étude est le diagnostic des moteurs à pas Hybrides». Université de Tébessa, Algérie, 2015-2016
- [35] Arduino. «Arduino». 23/08/2018.
<https://www.01net.com/telecharger/windows/Programmation/creation/fiches/131502.html>
- [36] Autodesk, «Guide de démarrage ArtCAM». Autodesk. 2018, <https://www.autodesk.fr/>.
- [37] Labcenter Electronics, «Proteus (ISIS et ARES)». 1988,
<http://www.elektronique.fr/logiciels/proteus.php>.
- [38] BullzLabz, «<http://configuring-grbl-v0.9-fr.md>)». 21 Dec 2015,
<https://github.com/BullzLabz/GRBL-French-wiki/blob/master/content/Configuring-Grbl-v0.9-fr.md#autres-ressources>.

Annexes A

Tableau A.1 : Paramètres et configuration de grbl [38].

REMARQUE : La numérotation des réglages a changé depuis																																														
\$0	Step Pulse Length (µsec) : Ceci définit la longueur de l'impulsion de pas délivrée aux moteurs pas à pas. Ceci définit la longueur de l'impulsion de pas délivrée aux moteurs pas à pas. L'objectif est d'avoir l'impulsion de pas la plus courte que vos moteurs puissent reconnaître de manière fiable. Les données sont disponibles sur certaines fiches techniques des moteurs pas à pas, sinon 10 est un bon défaut.																																													
\$1	Step Idle Delay (msec) : Définit le délai en millisecondes pendant lequel GRBL alimentera les moteurs pas à pas une fois qu'une commande de mouvement est terminée. Un réglage de 255 indique aux moteurs de rester sous tension pour maintenir la position.																																													
\$2	Step port invert mask: (binary) Ce paramètre inverse le signal d'impulsions de pas. Par défaut, un signal de pas commence à normalement BAS et va vers le niveau HAUT lors d'un événement d'impulsions de pas. Après un temps d'impulsions de pas fixé par \$0, la broche se remet à un niveau BAS, jusqu'à l'impulsion du pas suivant. Quand inversé, le comportement de l'impulsion de pas passe de normalement HAUT à BAS et le retour à HAUT. La plupart des utilisateurs n'auront pas besoin de ce paramètre mais cela peut être utile pour certains pilotes de CNC à moteurs pas à pas qui ont des exigences particulières. Par exemple, un retard artificiel entre la broche de direction et l'impulsion de pas peut être créé en inversant la pin de pas. Ce paramètre de masque est une valeur qui stocke les axes à inverser avec des données binaires. Vous n'avez vraiment pas besoin de comprendre complètement comment cela fonctionne. Il vous suffit de saisir la valeur des paramètres pour les axes que vous souhaitez inverser. <table><tr><th>Setting Value</th><th>Mask</th><th>Invert X</th><th>Invert Y</th><th>Invert Z</th></tr><tr><td>0</td><td>00000000</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td></tr><tr><td>1</td><td>00000001</td><td>Y</td><td>N</td><td>N</td></tr><tr><td>2</td><td>00000010</td><td>N</td><td>Y</td><td>N</td></tr><tr><td>3</td><td>00000011</td><td>Y</td><td>Y</td><td>N</td></tr><tr><td>4</td><td>00000100</td><td>N</td><td>N</td><td>Y</td></tr><tr><td>5</td><td>00000101</td><td>Y</td><td>N</td><td>Y</td></tr><tr><td>6</td><td>00000110</td><td>N</td><td>Y</td><td>Y</td></tr><tr><td>7</td><td>00000111</td><td>Y</td><td>Y</td><td>Y</td></tr></table>	Setting Value	Mask	Invert X	Invert Y	Invert Z	0	00000000	N	N	N	1	00000001	Y	N	N	2	00000010	N	Y	N	3	00000011	Y	Y	N	4	00000100	N	N	Y	5	00000101	Y	N	Y	6	00000110	N	Y	Y	7	00000111	Y	Y	Y
Setting Value	Mask	Invert X	Invert Y	Invert Z																																										
0	00000000	N	N	N																																										
1	00000001	Y	N	N																																										
2	00000010	N	Y	N																																										
3	00000011	Y	Y	N																																										
4	00000100	N	N	Y																																										
5	00000101	Y	N	Y																																										
6	00000110	N	Y	Y																																										
7	00000111	Y	Y	Y																																										

Axis Config

	Par exemple, si vous voulez inverser les axes X et Z, vous enverriez \$ = 5 à Grbl et maintenant devriez lire \$ = 5 (valeur masque step : 00000101).
\$3	Direction port invert mask: (binary) Change la direction du mouvement de l'axe sans changer le câblage (Figure)
\$4	Step enable invert: (bool) Par défaut, la broche d'activation est HAUT pour désactiver et BAS pour valider. Si votre installation a besoin du contraire, inverser simplement la broche d'activation en tapant \$4 = 1. Désactiver avec \$4 = 0. (Peut nécessiter redémarrage pour charger le changement).
\$5	Limit pins invert: (bool) Par défaut, les repères de la course sont normalement HAUT avec la résistance de pull-up interne de l'Arduino. Quand une limite est atteinte le niveau de la broche est BAS, Grbl interprète cela comme déclenchée. Pour le comportement opposé, juste inverser les repères de la limite en tapant \$5 = 1. Désactiver avec \$5 = 0. Vous aurez peut-être besoin d'un redémarrage pour charger la modification. NOTE : Si vous inversez les détections de vos limites, vous aurez besoin d'une résistance pull-down externe pour tous les repères de la course pour éviter de surcharger les broches avec le courant et les détruire.
\$6	Probe pin invert: (bool) Par défaut, la pin probe est maintenue normalement HAUT par la résistance de pull-up interne de l' Arduino. Lorsque le capteur fourni le niveau BAS à la broche, Grbl interprète cela comme déclenchée. Pour le comportement opposé, juste inverser la broche de la sonde en tapant \$6 = 1. Désactiver avec \$6 = 0. Vous aurez peut-être besoin d'un redémarrage pour valider le changement. NOTE : Si vous inversez le signal de votre tige de palpation, vous aurez besoin d'une résistance pull-down externe câblée sur la broche de la sonde pour éviter la surcharge et éviter des dommages.
\$10	Status report mask: (binary) Définit les données en temps réel envoyées à l'utilisateur. Par défaut, GRBL signale l'état de fonctionnement qui ne peut pas être désactivé, la position de la machine et la position de travail. Le tableau de droite détaille les paramètres. Remarque pour envoyer une combinaison de rapports d'état, il suffit d'ajouter les valeurs des types

	de rapports souhaités et d'envoyer cette valeur à GRBL. Par exemple, disons que je veux un poste de travail (2) et des limites (16), j'enverrais 10 \$ = 18. <table border="1"> <thead> <tr> <th>Report Type</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Machine Position</td><td>1</td></tr> <tr> <td>Work Position</td><td>2</td></tr> <tr> <td>Planner Buffer</td><td>4</td></tr> <tr> <td>RX Buffer</td><td>8</td></tr> <tr> <td>Limit Pins</td><td>16</td></tr> </tbody> </table> <i>Status Report</i>	Report Type	Value	Machine Position	1	Work Position	2	Planner Buffer	4	RX Buffer	8	Limit Pins	16
Report Type	Value												
Machine Position	1												
Work Position	2												
Planner Buffer	4												
RX Buffer	8												
Limit Pins	16												
\$11	Junction Deviation: (mm) Considérez cela comme une vitesse de virage. Une valeur élevée permet un mouvement rapide dans les virages, mais augmente le risque de pas manqués entraînant une diminution de la précision. À l'inverse, des valeurs plus faibles réduisent la vitesse dans un virage, ce qui diminue le risque de manquer des étapes tout en améliorant potentiellement la précision.												
\$12	Arc Tolerance: (mm) GRBL traite les courbes comme une collection de petites lignes droites. Ce paramètre définit la douceur des courbes. La valeur par défaut est 0,002 mm et n'aura probablement pas besoin d'être modifiée car cette valeur est inférieure à la précision de la plupart des machines.												
\$13	Feedback Unitsbool Définit les unités de retour de position de mm à pouces. 13 \$ = 1 pour les pouces ou 13 \$ = 0 pour mm.												
\$20	Soft Limits (Enable/Disable) Nécessite que "Homing" soit activé et vérifie si les commandes gCode dépasseront les limites de déplacement de la machine. 20 \$ = 1 Activer 20 \$ = 0 Désactiver												
\$21	Hard Limits (Enable/Disable) Nécessite l'installation d'interrupteurs de fin de course et recherche l'un des interrupteurs de fin de course à activer qui déclenche le mode «Alarme». Dans ce mode, tous les mouvements de la machine, la broche et le liquide de refroidissement sont arrêtés.												
\$22	Homing Cycle (Enable/Disable) Nécessite l'installation d'interrupteurs de fin de course. L'activation de cette option verrouille toutes les commandes gCode jusqu'à ce qu'un cycle "Homing" soit exécuté.												

\$23	Homing Cycle Direction Permet à l'utilisateur de changer la direction du cycle de référencement en utilisant les valeurs de la configuration de l'axe (Figure)
\$24	Homing Feed (mm/min) Vitesse d'avance utilisée dans le cycle "Homing" une fois que les fins de course sont localisés. Plus la valeur est basse, plus la position zéro est répétable.
\$25	Homing Seek (mm/min) Vitesse d'avance utilisée dans le cycle "Homing" pour localiser les fins de course. Réglez-le sur la valeur la plus élevée qui n'entraîne pas le crash de la machine dans les interrupteurs de fin de course.
\$26	Homing Debounce (msec) Durée du retard logiciel en millisecondes qui minimise le bruit du commutateur. Une valeur entre 5 et 25 est typique.
\$27	Homing Pull-off (mm) Indique à la machine à quelle distance s'éloigner des interrupteurs de fin de course après avoir trouvé la position «Home» pour ne pas déclencher les limites strictes.
\$100	[X,Y,Z] (steps/mm)
\$101	Indique à GRBL le nombre de pas nécessaires pour déplacer la machine sur une
\$102	distance donnée. $\text{Pas / mm} = (\text{Pas par révolution}) * (\text{Micros pas}) / (\text{mm par révolution})$ 1) Pas par révolution = 200 typique : C'est le nombre de pas requis pour que votre moteur pas à pas fasse 1 tour complet. 2) Microsteps -1,2,4,8,16 : Est un paramètre sur votre pilote de moteur pas à pas. Une valeur plus élevée signifie un couple plus faible mais une précision plus élevée. 3) mm par révolution : Déterminé par la configuration de votre machine. (pas de la vis mère)
\$110	[X,Y,Z] Max rate (mm/min)
\$111	Définit la vitesse maximale pour un axe donné. Cela se trouve expérimentalement
\$112	pour chaque axe en augmentant progressivement la valeur, puis en envoyant une commande de test gCode pour déplacer l'axe. Assurez-vous que la commande permet à l'axe de se déplacer suffisamment pour atteindre la vitesse maximale.

	Vous connaîtrez la vitesse maximale lorsque les moteurs pas à pas caleront. Réduisez la valeur de 10 à 20%. Ces valeurs peuvent être différentes pour chaque axe.
\$120	[X,Y,Z] Accélération (mm/sec²)
\$121	Définit l'accélération maximale pour un axe donné. Cela se trouve
\$122	expérimentalement pour chaque axe en augmentant progressivement la valeur, puis en envoyant une commande de test gCode pour déplacer l'axe. Assurez-vous que la commande permet à l'axe de bouger suffisamment pour atteindre la constante mouvement. Si vous décidez d'utiliser une commande jog, assurez-vous que l'incrément jog est de plusieurs pouces. Vous connaîtrez la valeur maximale lorsque les moteurs pas à pas caleront. Réduisez la valeur de 10 à 20%. Ces valeurs peuvent être différentes pour chaque axe.
\$130	[X,Y,Z] Max Travel (mm)
\$131	Utilisé lorsque les limites souples sont activées pour indiquer à GRBL la course
\$132	maximale pour chaque axe. Cela nécessite également l'utilisation d'un homing cycle.
GRBL Commands	
\$\$	View Settings Affiche les paramètres GRBL actuels stockés dans l'EEPROM (mémoire) de l'Arduino
\$#	View gCode Parameter Répertorie les décalages de coordonnées de travail (G54-G59), les positions prédéfinies (G28 et G30), le décalage de coordonnées (G92), le décalage de longueur d'outil (TLO) et le cycle de palpé (PRB).
\$G	View Parser State Affiche les modes gCode actifs dans l'analyseur GRBL. Exemple - [G0 G54 G17 G21 G90 G94 M0 M5 M9 T0 S0.0 F500.0]
\$I	View Build Info Affiche la version GRBL et la date de création du code source.
\$N	View Startup Blocks Affiche les blocs de démarrage exécutés à chaque fois que GRBL est mis sous tension ou réinitialisé.
\$N0	Save Startup Block
\$N1	Commande utilisée pour enregistrer les blocs de démarrage. Remplacez la partie

	«ligne» par des commandes gCode valides et elles seront exécutées à chaque fois que GRBL est mis sous tension ou réinitialisé.
\$x	Save GRBL Setting Commande utilisée pour enregistrer un paramètre GRBL. Remplacez le «X» par un nombre de la liste ci-dessus et la «valeur» par le paramètre correspondant.
\$C	Check gCode Mode Traite toutes les commandes gCode entrantes mais ne déplace pas l'axe, la broche ou le liquide de refroidissement afin que l'utilisateur puisse vérifier un programme gCode.
\$X	Kill Alarm Lock Remplace le verrouillage d'alarme pour permettre le mouvement de l'axe.
\$H	Run Homing Cycle Exécute le cycle de référencement.
Real Time GRBL Commands	
~	Cycle Start Démarré les commandes gCode en mémoire tampon. Utilisé pour reprendre la coupe après un "Feed Hold".
!	Feed Hold Arrête le cycle actif par une décélération contrôlée empêchant la perte de position en cas de pas manqués
?	Current Status Renvoie l'état GRBL actif, la machine actuelle et les positions de travail.
ctrl-x	Reset GRBL Soft reset command retains machine position without powering down the Arduino.

Annexes B

B.1 Les paramètres de coupe

B.1.1. Principe

Une lame d'outil pénètre dans la matière et enlève un copeau.

L'outil suit une trajectoire par rapport à la pièce à usiner. Ces mouvements sont assurés par les éléments constitutifs de la machine-outil.

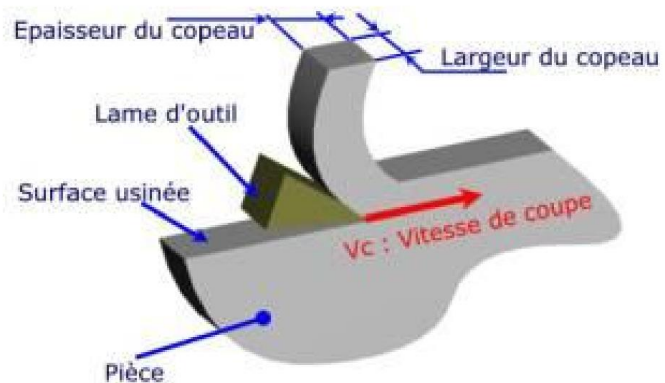
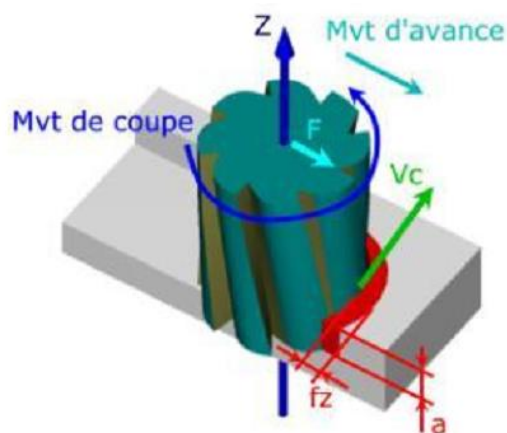


Figure B.1 : Les paramètres de coupe

Pour obtenir un travail satisfaisant (bon état de la surface usinée, rapidité de l'usinage, usure modérée de l'outil, ...) on doit régler les paramètres de la coupe.

B.1.2. Analyse



Il y a plusieurs critères qui permettent de définir les paramètres de la coupe, notamment :

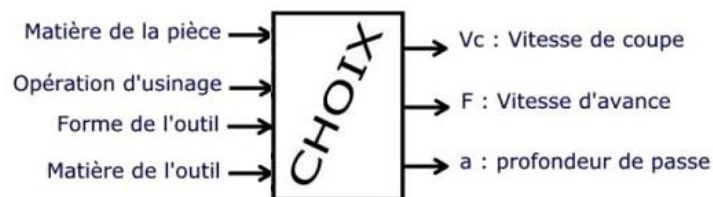


Figure B.2 : Diagramme des définir les paramètres de la coupe

B.1.3. Vitesse de coupe

C'est l'espace parcouru en mètres par l'extrémité d'une dent de la fraise en une minute. Si d est le diamètre de la fraise et n le nombre de tours par minute, on a :

$$V_c = \pi \times d \times n \quad (\text{B.1})$$

$\pi \times d$: espace parcouru en mètres pour un tour, n : fréquence de rotation en tours par minutes

B.1.4. Détermination de la fréquence de rotation

La vitesse de coupe V_c étant donnée par des tableaux, il convient de déterminer la fréquence de rotation N

$$N = \frac{1000 V_c}{\pi \times d} \quad (\text{B.2})$$

V_c : vitesse de coupe en mètres par minute, d : diamètre de la pièce en millimètres.

B.1.5. Avance

L'avance s'exprime par le déplacement de la pièce en millimètres pour :

- ☐ Une dent, c'est l'avance par dent f_z .
- ☐ Un tour, c'est l'avance par tour
- ☐ Une minute, c'est l'avance par, minute V_f .

$$V_f = f_z \cdot Z \cdot n \quad (\text{B.3})$$

Z = nombre de dents de la fraise

Lorsque l'on a calculé l'avance qui est exprimé en mm/mn, il est facile de déterminer le temps d'usinage.

Annexes C

C.1 Les composants électroniques et électriques

C.1.1. Moteur pas à pas M49sp-2k

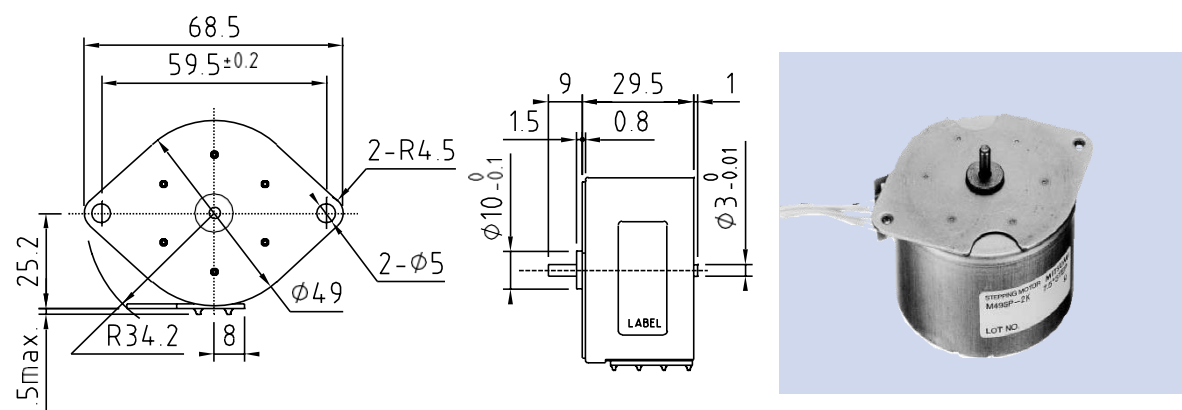


Figure C.1 : Dimensions de Moteur pas à pas (mm)

Tableau C.1 : Informations sur le moteur pas à pas

Items	M49SP-2K	
Rated Voltage	DC 24V	
Working Voltage	DC 21.6~26.4V	
Rated Current/Phase	0.8A(PEAK)	1A(PEAK)
No. of Phase	2 Phase	2 Phase
Coil DC Resistance	3.2Ω	6.4Ω
Step Angle	7.5°/step	7.5°/step
Excitation Method	2-2 Phase excitation (Unipolar driving)	
Insulation Class	Class E insulation	Class E insulation
Holding Torque	87.2mN·m	171.5mN·m
Pull-out Torque	43.1mN·m/2000pps	116.6mN·m/1000pps
Pull-in Torque	67.6mN·m/200pps	147.2mN·m/200pps
Max. Pull-out Pulse Rate	3650pps	1650pps
Max. Pull-in Pulse Rate	400pps	480pps

C.1.2. carte Arduino

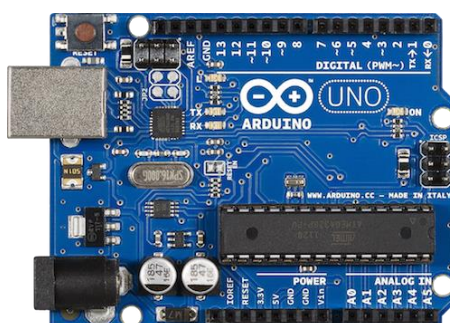


Figure C.2 : carte Arduino uno

Tableau C.2 : Informations sur la carte Arduino uno

Modèle	Arduino UNO R3 ATmega16U2 AVR
Type alimentation	port USB
Tension d'alimentation	5V
microprocesseur	ATMega328
RAM statique (SRAM)	2 kB
mémoire flash	32 kB
EEPROM	1 kB
Vitesse d'horloge	16 MHz
Dimensions	D=53 mm
	L=68 mm
	H=10mm

C.1.3. Driver A4988

**Figure C.3 : Driver A4988****Tableau C.3 : Informations sur le Driver A4988**

Modèle	Driver A4988
Tension de fonctionnement minimum	8 V
Tension maximale de fonctionnement	35 V
Courant par phase (en continu)	1,2 A
Courant maximum par phase	2.3 A
Logique de contrôle	Tension minimale : 3 V
	Tension Maximale : 5.5 V
Résolution Microstep	Pas complet, 1/2, 1/4, 1/8 et 1/16 de pas
Dimensions	L=5 mm
	L=5 mm
	H=0.9 mm

C.1.4. CNC shield

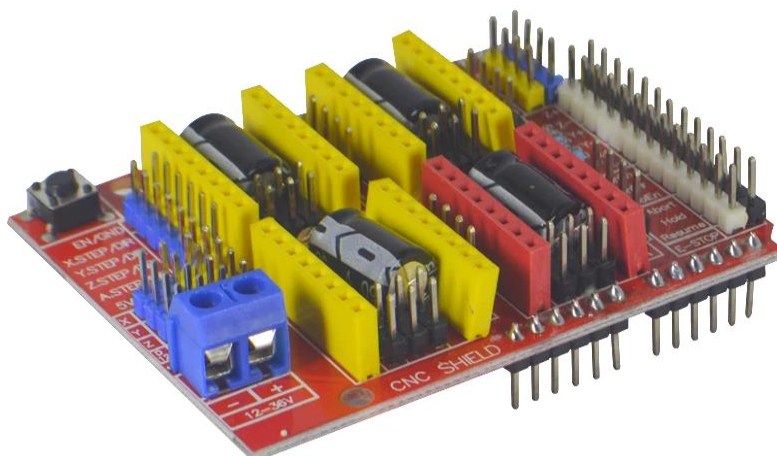


Figure C.4 : CNC shield V3

Tableau C.4 : Informations sur la CNC shield V3

Modèle	CNC shield V3
Puissance	12-36V
Tension de fonctionnement	8 à 35 volts
Courant maximum par bobine	2A
Intensité	2 A
Support pour 4 axes	(X, Y, Z, A)
Fonction micro-step	jusqu'à 1/16 de pas
Dimensions	D=53 mm
	L=68 mm
	H=18 mm

C.1.5. moteur DC 755



Figure C.5 : moteur DC 755

Tableau C.5 : Informations sur le moteur DC 755

Modèle	775
Tension nominale	12V DC (12-24V)
Vitesse de charge	65000 rpm
Puissance	100W
Diamètre de l'arbre	5 mm
Longueur de l'arbre	17mm
La longueur du corps	67mm
Avant les étapes de diamètre	17,5 mm
Ancien haut niveau	4,5 mm
Diamètre du corps	42 mm
Longueur moteur	98 mm
pas d'installation en diagonale	29mm
Taille du trou de montage	M4
Trou de montage	2

Titre du mémoire : Etude et réalisation d'une machine CNC à trois axes (Gravure sur bois).

Master : Electromécanique

Mots clés : MOCN, Commande numérique, Moteur pas à pas, Grbl, G-code

Résumé :

La technologie de commande numérique par ordinateur est devenue une exigence nécessaire dans le monde de l'industrie, et d'un autre côté, nous assistons à une augmentation du niveau des exigences marketing en termes de qualité, de prix et de quantité, de sorte que la machine à commande numérique par ordinateur est en mesure de répondre à ces exigences et plus encore, elle a acquis une position de premier plan car elle entraîne la roue de la récolte et de la production à le plus éloigné. Où nous nous sommes concentrés dans cette mémoire sur l'étude et la modélisation de la machine à commande numérique à trois axes, qui est l'une des machines les plus importantes utilisées aux niveaux public et privé dans l'industrie.

Ainsi, dans notre travail, nous avons présenté quelques concepts de base et une structure générale sur les machines CNC, et dans la deuxième partie nous avons présenté la modélisation puis une étude géométrique et cinétique de la machine, Enfin, nous avons conception la machine à partir de zéro par logiciel Fusion 360, puis Réalisation et implémenté des simulations avec le Logiciel PROTEUS, et nous avons conclu le projet avec le test de l'appareil.

Report title: TUTORIAL FOR WRITING REPORT.

Keywords: Machine CNC, Numerical control, Stepper Motor, Grbl, G-code

Abstract:

CNC technology has become a necessary requirement in the industrial world, and on the other hand, we are witnessing an increase in the level of marketing requirements in terms of quality, price and quantity. So the CNC machine is able to meet these demands and more than that, it has gained a prominent position as it drives the economy and production further. As we focused in this note on studying and modeling a three-axis CNC machine, which is one of the most important machines used on the public and private levels in the industry. Thus, we presented in our work some basic concepts and general structure about a CNC machine, and in the second part we presented modeling, then an engineering and kinematic study of the machine, and finally we designed the machine. Starting from scratch with Fusion 360, then we realization, and simulations using PROTEUS and we concluded the project with device testing.

عنوان المذكرة: دراسة وتحقيق آلة مكنة التحكم العددي بالحاسوب ذات ثلاثة محاور (النقش على الخشب)
الكلمات المفتاحية: مكنة ت ع ح، التحكم العددي، محرك خطوة بخطوة، ج ر ب ل، ج-كود
الملخص:

أصبحت تقنية CNC من المتطلبات الضرورية في العالم الصناعي، ومن ناحية أخرى، نشهد زيادة في مستوى متطلبات التسويق من حيث الجودة والسعر والكمية، وبالتالي فإن آلة CNC قادرة على تلبية هذه المطالب وأكثر من ذلك، فقد اكتسبت مكانة بارزة لأنها تقود عجلة الاقتصاد والإنتاج إلى أبعد حد، حيث ركزنا في هذه المذكرة على دراسة ونمذجة آلة CNC ذات ثلاثة محاور والتي تعد من أهم الآلات المستخدمة على المستويين العام والخاص في الصناعة. وهكذا قدمنا في عملنا بعض المفاهيم الأساسية والهيكل عام حول ماكينة CNC وفي الجزء الثاني قدمنا نمذجة ثم دراسة هندسية وحركية للآلة، وأخيراً قمنا بتصميم الآلة. ابتداء من الصفر باستخدام برنامج Fusion 360 ثم تحقيق المكنة، وتنفيذ عمليات المحاكاة باستخدام برنامج PROTEUS واختتمنا المشروع باختبار الجهاز