

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Par:

Mr KHATIR Abdallah

Sujet

Rénovation et mise à niveau d'une micro-fraiseuse 2 C.E. à commande numérique type-Jeulin 181040-

Soutenu publiquement, le 24 / 06 / 2019, devant le jury composé de :

Mr HADJOUI A.	Professeur	Univ.A.B.B Tlemcen	Président
Mr CHORFI S. M.	MCB	Univ.A.B.B Tlemcen	Encadreur
Mr SERDOUN N.	MCA	Univ.A.B.B Tlemcen	Co- encadreur
Mr BOUKHALFA A.	Professeur	Univ.A.B.B Tlemcen	Examineur 1
Mr BELKAID M.	MAA	Univ.A.B.B Tlemcen	Examineur 2

Remerciement

Tout d'abord, je remercie Allah de m'avoir donné le courage et la volonté de terminer ce modeste travail.

Je tiens tout d'abord à exprimer mon profond respect et ma reconnaissance à monsieur Pr. Cheikh M.A. doyen de la faculté de technologie pour sa confiance, son soutien et le grand intérêt qu'il nous a manifesté ce projet à accomplir.

Je tiens à adresser mes remerciements à mon encadreur Mr Chorfi S.M. d'avoir accepté de diriger ce travail ainsi que pour son entière disponibilité et ses précieux conseils durant toute la période de l'élaboration de ce travail.

Mes vifs remerciements vont aussi à mes Co-encadreur Mr Serdoun N. pour son disponibilité et ses précieux conseils.

Mes plus vifs remerciements s'adressent à monsieur Hadjoui A. de m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury. Que monsieur Boukhalifa A. et monsieur Belkaid M. reçoivent l'expression de ma profonde reconnaissance d'avoir accepté d'être des examinateurs de ce mémoire

Mes remerciements vont aussi à tous mes amis de master.

Enfin, mes remerciements s'adressent à tous les professeurs de notre cursus universitaire.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

✚ Ma grand-mère et mon grand-père.

✚ Ma mère.

✚ Ma sœur.

✚ Mes amis, Yassine, Lakhdar, Reda, Noureddine, Kheireddine.

✚ À tous les étudiants de ma promotion.

Khatir Abdallah

Résumé

Le projet de fin d'étude avait pour but la rénovation et la mise en marche de la microfraiseuse 2 C.E. Jeulin 1801040. Pour atteindre cet objectif, plusieurs opérations ont été nécessaires. Nous ferons un diagnostic pour détecter les défaillances puis une analyse fonctionnelle a été réalisée pour rédiger un cahier des charges qui contient les contraintes pour faire la rénovation. Après la rénovation, la machine a bien fonctionné et nous avons conclu le projet par des exemples.

Abstract

The purpose of the end-of-study project was to renovate and start up the micro-milling machine 2 C.E. Jeulin 1801040. To achieve this objective, several operations were necessary. We will carry out a diagnosis to detect failures and then a functional analysis has been carried out to draw up specifications that contain the constraints to carry out the renovation. After the renovation, the machine worked well and we concluded the project with examples.

الملخص

كان الغرض من مشروع نهاية الدراسة هو تجديد و تشغيل microfraiseuse 2 C.E. Jeulin 1801040 لتحقيق هذا الهدف ، يجب المرور بعدة عمليات ضرورية. سنقوم بتشخيص للكشف عن الأعطال ثم إجراء تحليل وظيفي لكتابة كراس الشروط يحتوي على المواصفات المعتمدة لإجراء التجديد. اشتغلت الآلة بشكل جيد وقد ختمنا المشروع بعدة أمثلة.

Nomenclature

MOCN : Machine-Outil à Commande Numérique

ISO : Organisation Internationale de Normalisation

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

FAO : Fabrication Assistée par Ordinateur

CFAO: Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur

MIT: Institut de Technologie du Massachusetts

CIM: Fabrication intégrée par ordinateur

DNC : Commande Numérique Directe

CNC : Commande Numérique par Calculateur

PO : Partie Opérative

PC : Partie Commande

UGS : Emetteur Universel G-code

APTE : Application aux Techniques d'Entreprise

FP : Fonctions Principales

FC : Fonctions Contraintes

CDCF : Cahier Des Charges Fonctionnel

IDII : Interaction Design Institute

PMMA : Poly Méthacrylate de Méthyle

ABS : Acrylonitrile Butadiène Styène

La microfraiseuse 2 C.E. type Jeulin 181040



Table des matières

Chapitre I : les machines-outils à commande numérique

1	Introduction	2
2	Historique	2
3	Définition d'une MOCN.....	4
4	Impact industriel	5
5	Comparaison de la MOCN avec les machines classiques	5
6	La structure d'une MOCN.....	8
6.1	La partie opérative.....	9
6.2	La partie commande	10
6.3	Armoire électrique.....	11
7	Les familles des MOCN.....	11
7.1	Fraisage à commande numérique	11
7.2	Tour à commande numérique.....	12
8	Principe de fonctionnement	12
8.1	Système à boucle ouverte.....	12
8.2	Système à boucle fermé	13
8.3	Système avec commande adaptative	14
9	DÉFINITIONS ET IMPLANTATIONS DES AXES	15
10	Classification des MOCN selon le mode d'usinage	19
11	Positions relatives des origines	20
12	Programmation [1]	21
12.1	Comparaison de la programmation dans une machine CN de la première génération et d'autre moderne.....	22
12.2	Structure des programmes.....	23
12.3	Éléments de langage de programmation [1].....	25
13	Conclusion	27

Chapitre II : présentation de la microfraiseuse 2 C.E. Jeulin

1	Introduction	29
2	Description de la microfraiseuse 2 C.E.	29
3	Les caractéristiques de la microfraiseuse 2 C.E.....	30
4	Panneau de contrôle de la microfraiseuse 2 C.E. [13].....	31
5	Partie opérative de la microfraiseuse 2 C.E.	32
6	Partie électrique de la microfraiseuse 2 C.E.	39

7	Partie commande de la microfraiseuse 2 C.E. [13]	41
7.1	Carte d'interface	41
7.2	Montage de microfraiseuse 2 C.E. avec l'ordinateur.....	42
7.3	Logiciel 3AXESVGA [12].....	42
8	Diagnostic de la microfraiseuse 2 C.E. Jeulin	43
9	Conclusion.....	43

Chapitre III : analyse fonctionnelle de la microfraiseuse 2 C.E. Jeulin

1	Introduction	45
2	Définition d'analyse fonctionnelle [18].....	45
3	Méthode application aux techniques d'entreprise [18]	46
4	Bête a cône	46
5	Diagramme de pieuvre	47
6	Diagramme FAST	49
7	Cahier des charges fonctionnelles	51
8	Conclusion.....	52

Chapitre IV : réparation et rénovation

1	Introduction	54
2	Réparation et rénovation.....	54
2.1	Vérins :.....	54
2.2	Capteurs de fin de course :	54
2.3	La broche :	54
2.4	Système d'alimentation.....	58
2.5	Refroidissement du nouveau système de commande :	59
2.6	Système de commande	59
2.6.1	Partie électronique	59
2.6.1.1	Carte d'acquisition :	59
2.6.1.2	Carte de commande :	60
2.6.1.3	Carte ARDUINO UNO :	61
2.6.1.4	Drivers TB 6600 (Figure IV.13) :	62
2.6.1.5	Test de câblage de deux moteurs	66
2.6.1.6	Câblage des trois moteurs de la microfraiseuse	68
2.6.2	Partie logiciel de commande	70
2.6.2.1	Logiciel ARDUINO :	71
2.6.2.2	GRBL :	74

2.6.2.3	Universal Gcode sender	77
2.6.2.4	F-Engrave Generator	77
3	Test	78
3.1	Méthode de gravure manuelle	79
3.2	Méthode de gravure avec F-Engrave	80
4	Conclusion	82
	Conclusion générale	83
	Référence bibliographique	85

Liste des figures

Chapitre I : les machines-outils à commande numérique

Figure I. 1 : Première MOCN au MIT 1952.....	4	
Figure I. 2 : Fraiseuse à commande numérique A3 (ICP4030) [3].....	4	
Figure I. 3 : Architecture d'une machine à commande numérique [2].	5	
Figure I. 4 : Comparaison de la productivité de différentes machines en fonction de leur niveau d'automatisation [2].....	8	
Figure I. 5 : Structure d'une MOCN [4].....	8	
Figure I. 6 : Les éléments de la partie opérative [5].	9	
Figure I. 7 : Chargement d'un programme [6].	10	
Figure I. 8 : Fraiseuse à commande numérique [7].....	11	
Figure I. 9 : Tour à commande numérique [8].....	12	
Figure I. 10 : Système à boucle ouverte [9].....	13	
Figure I. 11 : Système à boucle fermée [9].	13	
Figure I. 12 : Commande adaptative [10].....	15	
Figure I. 13 : Règle de la main droite [10].	16	
Figure I. 14 : Axes primaires et axes additionnels [10].	17	
Figure I. 15 : Axes en centre d'usinage vertical [9].	Figure I. 16 : Axes en Tour CN [9].....	17
Figure I. 17 : Axes en centre d'usinage horizontal [9].....	18	
Figure I. 18 : Vecteurs [9].	20	
Figure I. 19 : Différent types d'origines [9].	21	
Figure I. 20 : Etapes de programmé une MOCN de la première génération.	22	
Figure I. 21 : Etapes de fabrication d'une pièce par une MOCN moderne.	22	
Figure I. 22 : Exemple de programme [1].	25	

Chapitre II : présentation de la microfraiseuse 2 C.E. Jeulin

Figure II. 1 : MICROFRAISEUSE 2 C.E.	30
Figure II. 2 : Dimensions de la machine.	30
Figure II. 3 : L'interface de la MICROFRAISEUSE 2 C.E.	31
Figure II. 4 : Organes de la partie Opérative.	32
Figure II. 5 Vérin à gaz.	33
Figure II. 6 : Botton moleté de verrouillage.	33
Figure II. 7 : Capteur de sécurité.	33
Figure II. 8 : La table.	34
Figure II. 9 : Etau à serrage.	35
Figure II. 10 : Barre de guidage.....	35
Figure II. 11 : Tige fileté.	36
Figure II. 12 : Molette de déplacement manuelle.	36
Figure II. 13 : Moteur pas à pas.	36
Figure II. 14 : Principe de commande d'un moteur pas à pas [14].	37
Figure II. 15 : Fin de course.	37
Figure II. 16 : Broche professionnelle de mark PROXXON.....	38
Figure II. 17 : Mandrin.....	39
Figure II. 18 : Partie électrique de la machine.	40
Figure II. 19 : Carte PC-Technologie.....	41

Figure II. 20 : Montage de la machine avec l'ordinateur [13].	42
---	----

Chapitre III : analyse fonctionnelle de la microfraiseuse 2 C.E. Jeulin

Figure III. 1 : Diagramme de bête a cône de la MICROFRAISEUSE 2 C.E.	47
Figure III. 2 : Diagramme de pieuvre pour la MICROFRAISEUSE.	48
Figure III. 3 : Diagramme FAST de la MICROFRAISEUSE 2 C.E.	50

Chapitre IV : réparation et rénovation

Figure IV. 1 : Capteur de fin de course.	54
Figure IV. 2 : Schéma de variateur de vitesse.	55
Figure IV. 3 : Transistor IRF 540.	55
Figure IV. 4 : comparaison d'évolution de la température sans et avec refroidisseur.	56
Figure IV. 5 : Ailette est placé avec transistor.	57
Figure IV. 6 : Potentiomètre de 10 K Ω .	57
Figure IV. 7 : Transformateur.	58
Figure IV. 8 : Adaptateur.	58
Figure IV. 9 : Ventilateur.	59
Figure IV. 10 : Port ISA.	60
Figure IV. 11 : Carte de commande.	60
Figure IV. 12 : Carte ARDUINO UNO [20].	62
Figure IV. 13 : Driver TB6600.	63
Figure IV. 14 : Modification de moteur pas à pas.	63
Figure IV. 15 : Interrupteurs de choix.	65
Figure IV. 16 : Schéma de câblage.	65
Figure IV. 17 : Câblage de driver de moteurs pas à pas de l'axe.	66
Figure IV. 18 : Schéma de câblage d'essai.	67
Figure IV. 19 : L'essai de câblage.	68
Figure IV. 20 : Schéma de câblage final.	69
Figure IV. 21 : Réalisation finale.	69
Figure IV. 22 : Chemin de la programmation.	71
Figure IV. 23 : Exécutable du logiciel.	72
Figure IV. 24 : Interface de logiciel ARDUINO.	72
Figure IV. 25 : Composants de logiciel.	73
Figure IV. 26 : Les boutons de logiciel.	73
Figure IV. 27 : Sélection de la carte ARDUINO UNO.	74
Figure IV. 28 : Sélection du port.	75
Figure IV. 29 : Sélection de GRBL programme.	75
Figure IV. 30 : Sélection de GRBL programme.	75
Figure IV. 31 : fenêtre de configuration.	77
Figure IV. 32 : Case de commande.	78
Figure IV. 33 : Exemple d'usinage.	79
Figure IV. 34 : Interface de F-Engrave.	80
Figure IV. 35 : Simulation.	80
Figure IV. 36 : Exemple de gravure.	81

Liste des tableaux

Chapitre I : les machines-outils à commande numérique

Tableau I. 1 : Comparaison d'usinage entre MOCN et la machine classique [2].	6
Tableau I. 2 : Les différentes espèces de MOCN [11].	19
Tableau I. 3 : Différent types d'origines [9].	20
Tableau I. 4 : Définition des adresses.	26
Tableau I. 5 : Exemples de fonctions préparatoires (G).	26
Tableau I. 6 : Exemples des fonctions auxiliaires (M).	27

Chapitre II : présentation de la microfraiseuse 2 C.E. Jeulin

Tableau II. 1 : Outils de MICROFRAISEUSE.	39
---	----

Chapitre III : analyse fonctionnelle de la microfraiseuse 2 C.E. Jeulin

Tableau III. 1 : Cahier des charges.	52
--------------------------------------	----

Chapitre IV : réparation et rénovation

Tableau IV. 1 : Les choix de micro-pas.	64
Tableau IV. 2 : Les choix de courant à la sortie.	64

Conclusion générale

Tableau 1 : Etat de la machine avant la rénovation et après la rénovation.	83
--	----

Introduction générale

La machine-outil à commande numérique MONC est une machine automatique dotée d'une commande numérique pilotée par ordinateur qui est largement utilisée dans le domaine de la fabrication mécanique à cause de la grande précision, facilité et rapidité d'usinage des pièces complexes.

L'université de Tlemcen, et précisément notre faculté dispose de quelques machines qui dotent de cette technologie. La microfraiseuse 2 C.E. Jeulin est une machine MOCN de type 3 axes pilotée par un programme informatique en langage ISO. Elle est équipée d'un micro-ordinateur type AT de microprocesseur intel 80286 de l'an 1982 et d'une carte d'interface avec un port ISA.

Cette microfraiseuse didactique permet aux étudiants la découverte d'un système automatisé avec des initiations à la programmation d'une machine robotisée et à la fabrication assistée par ordinateur. Elle donne aussi la possibilité d'application lors de la réalisation de projet technologique, dans les phases de perçage, de gravure et de fraisage. La machine est en panne depuis 1996.

Dans ce projet, l'objectif principal est de remettre la microfraiseuse en état de marche. Le second objectif est de voir la possibilité de rénover la machine afin de la rendre compatible avec le développement actuel dans la conception assistée par ordinateur et dans le matériel informatique. Pour atteindre cet objectif, nous avons procédé comme suit :

Le premier chapitre donne un aperçu de la technologie des machines-outils à commande numérique (MOCN), en citant la classification, l'architecture et la programmation du MOCN pour différentes commandes.

Le deuxième chapitre, présente la microfraiseuse 2 C.E. Jeulin. A la fin de ce chapitre, nous résumons l'état de la machine avant de commencer les travaux de réparation et de rénovation.

Dans le troisième chapitre, nous effectuons une analyse fonctionnelle pour trouver les fonctions fournies par la microfraiseuse afin de répondre aux besoins et à la caractérisation des

utilisateurs tout en respectant l'évolution technologique actuelle du matériel informatique et des logiciels de commande numérique.

Le quatrième chapitre, nous présentons les réparations et les étapes de rénovation de la microfraiseuse. Ce chapitre se termine par des exemples d'usinage.

Chapitre I : les machines-outils à commande numérique

1 Introduction

Ce chapitre donne un aperçu général de la technologie machine-outil à commande numérique (MOCN), en citant la classification, l'architecture et la programmation des MOCN pour différentes commandes.

2 Historique

Les travaux menés par Falcon et Jacquard à la fin du XVIIIe [1] siècle ont montré qu'il était possible de commander les mouvements d'une machine à partir d'informations transmises par un carton perforé. Leur métier à tisser de 1805 fut le premier équipement à être doté de cette technique et, de ce point de vue, il peut être considéré comme l'ancêtre de la commande numérique.

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

En 1947, à Traverse City dans l'État du Michigan, John Parsons fabrique pour le compte de l'US Air Force des pales d'hélicoptère par reproduction. Pour façonner ses gabarits, il utilise une méthode consistant à percer plusieurs centaines de trous faiblement espacés de manière à approcher le profil théorique. L'emplacement et la profondeur de chaque trou sont calculés avec précision par un ordinateur IBM à cartes perforées. La finition de la surface est obtenue par des opérations manuelles de polissage.

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

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

Cette machine, une fraiseuse prototype Cincinnati à broche verticale, conçue pour exécuter des déplacements simultanés suivant 3 axes, est officiellement présentée en septembre 1952

dans le Servomécanismes Laboratoire du MIT. L'information mathématique étant la base du concept, on lui donne le nom de control numérique. Il faut encore attendre quelques années de vastes fonds de l'US Air Force et l'appui des chercheurs du MIT pour rendre la première Machine-outil à commande numérique (MOCN) réellement opérationnelle (Figure I.1).

La commande numérique est développée dans des différentes étapes sont les suivantes :

- 1954 : Bendix acquiert le brevet de Parsons et fabrique la première commande numérique (CN) industrielle.
- 1955 : à Font du Lac (Wisconsin), le constructeur américain Giddins et Lewis commercialise la première MOCN.
- 1959 : apparition de la CN en Europe.
- 1960 : apparition du système DNC (Commande Numérique Directe)
- 1964 : en France, la télémécanique électrique lance la commande numérique 100 conçue à base de relais Téléstatic.
- 1968 : la CN adopte les circuits intégrés ; elle devient plus compacte et plus puissante. Le premier centre d'usinage est mis en vente par Kearney & Trecker (USA).
- 1972 : Les logiques câblées est remplacé par les mini-calculateurs et la CN devient Commande Numérique par Calculateur (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).
- 1990 : développement des CN à microprocesseurs 32 bits [2].

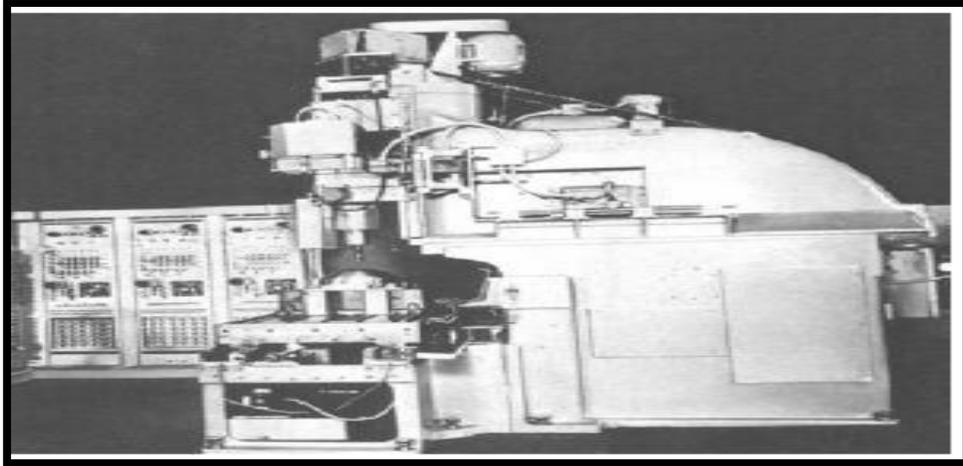


Figure I. 1 : Première MOCN au MIT 1952 [2].

3 Définition d'une MOCN

La machine-outil à commande numérique MONC (Figure I.2) est une machine automatique dotée d'une commande numérique pilotée par ordinateur qui est largement utilisée dans le domaine de la fabrication mécanique aujourd'hui à cause de la grande précision, facilité et rapidité d'usinage des pièce complexe.

Elle est composée d'une partie commande : le DCN est une partie commande comprenant la structure de la machine-outil, le porte-outil, l'outil et le porte-pièce ; le matériau de travail est la partie. Quand elle est équipée d'une commande numérique capable de calculer les coordonnées des points définissant une trajectoire (interpolation), elle est dite contrôlée par ordinateur. Elle s'appelle CNC [3].



Figure I. 2 : Fraiseuse à commande numérique A3 (ICP4030) [3].

Schématiquement on représente la machine comme la figure I.3 :

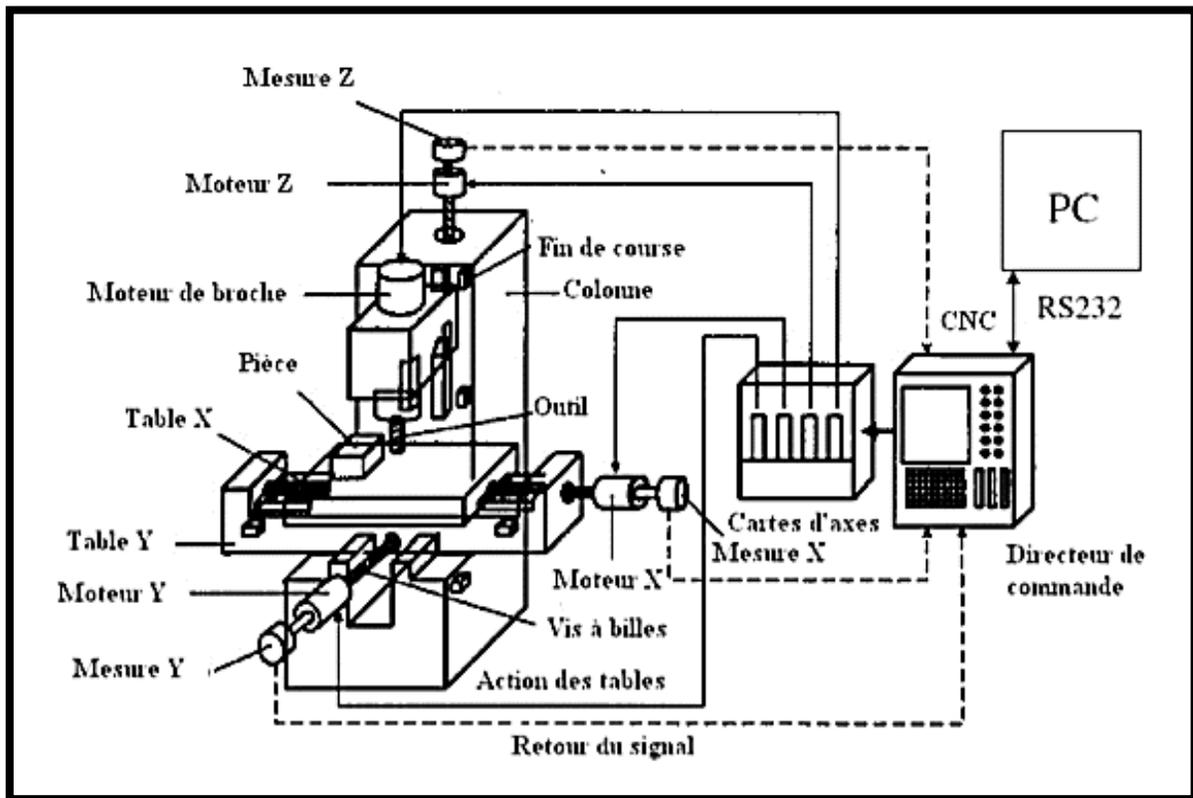


Figure I. 3 : Architecture d'une machine à commande numérique [2].

4 Impact industriel

L'utilisation de la commande numérique ne se limite pas aux machines-outils travaillant par enlèvement de matière avec des outils coupants. Elle est présente sur des installations de découpe par faisceau laser, en électroérosion que ce soit en défonçage ou en découpe par fil, en poinçonnage ou pliage de produits en feuille, pour la mise en place de composants, lors des opérations d'assemblage,

Elle sert aussi à piloter des tables traçantes, les machines à mesurer tridimensionnelles, les robots [2].

5 Comparaison de la MOCN avec les machines classiques

Un exemple pratique des temps de réalisation d'une pièce sur machine à commande numérique a abouti aux résultats suivants :

	Usinage sur machine classique	Usinage sur MOCN
Usinage de la première pièce	<p>mise en train; 01h10 usinage; 05h45</p>	<p>gain; 01h15 mise en train; 01h10 usinage; 01h30 Programme; 03h00</p>
Usinage de la deuxième pièce	<p>usinage; 05h45</p>	<p>gain; 04h15 usinage; 01h30</p>
Usinage d'une série de 10 pièces	<p>Usinage 1^{ère} pièce : 6h55 Usinage 2^{ème} à 10^{ème} pièces 9 fois 5h45</p>	<p>gain; 39h30 Usinage 1^{ère} pièce : 5h40 Usinage 2^{ème} à 10^{ème} pièces 9 fois 1h30</p>
Temps Total	58h40	19h10

Tableau I. 1 : Comparaison d'usinage entre MOCN et la machine classique [2].

Ces avantages sont dus aux apports techniques de la commande numérique, et sont d'autant plus perceptibles que la programmation assistée a réduit les contraintes de temps et de coût de programmation. Elle permet :

- De reporter à l'extérieur du poste de travail, donc de les effectuer en temps masqués, des tâches qui étaient faites sur site telle que la prise en compte de la géométrie des outils par approche tangentielle ;
- De réduire les temps morts par enchaînement automatique des séquences d'usinage : par les mises en position des outils à vitesse d'avance rapide, par la possibilité de procéder à des changements automatiques d'outils, par l'emploi de la variation continue de vitesses ;
- De supprimer des opérations qui étaient nécessaires pour effectuer un travail précis : traçage, utilisation de lunettes à pointer ;
- De n'avoir plus besoin de certains types d'outillages : gabarits de pointage, masters ou modèles pour les opérations de copiage ;
- De réaliser des surfaces complexes en gérant des déplacements sur plusieurs axes simultanément et ainsi de pouvoir concevoir des pièces avec des géométries plus proches des nécessités fonctionnelles ;
- De définir aisément des conditions opératoires optimales puisqu'elle offre la possibilité de faire varier en continu les vitesses et ainsi d'accroître la durée de vie des outils ;
- D'atténuer le facteur humain et d'apporter ainsi la répétitivité et une plus grande précision d'exécution, ce qui entraîne une diminution des tâches de contrôle ;
- De parvenir à la flexibilité du fait des facilités offertes par l'évolution technique en matière de modes de chargement des programmes et de stockage des données : tous les directeurs de commande offrent la possibilité de se connecter directement à un ordinateur et ainsi de parvenir à une continuité de traitement des données (systèmes de CFAO : conception et fabrication assistées par ordinateur) ;
- D'intégrer des équipements périphériques (banc de mesure des outils, manipulateurs ou robots, ...) ou d'intégrer ce type de machines-outils dans des ensembles automatisés plus vastes (cellules ou îlots flexibles).

Une autre façon de percevoir l'intérêt économique de la commande numérique est d'évaluer le temps où une machine-outil effectue le travail pour lequel a été conçue à savoir enlever de la matière, c'est-à-dire faire des copeaux [2].

Analyse sur les temps de production effective représentés par la figure I.4 :

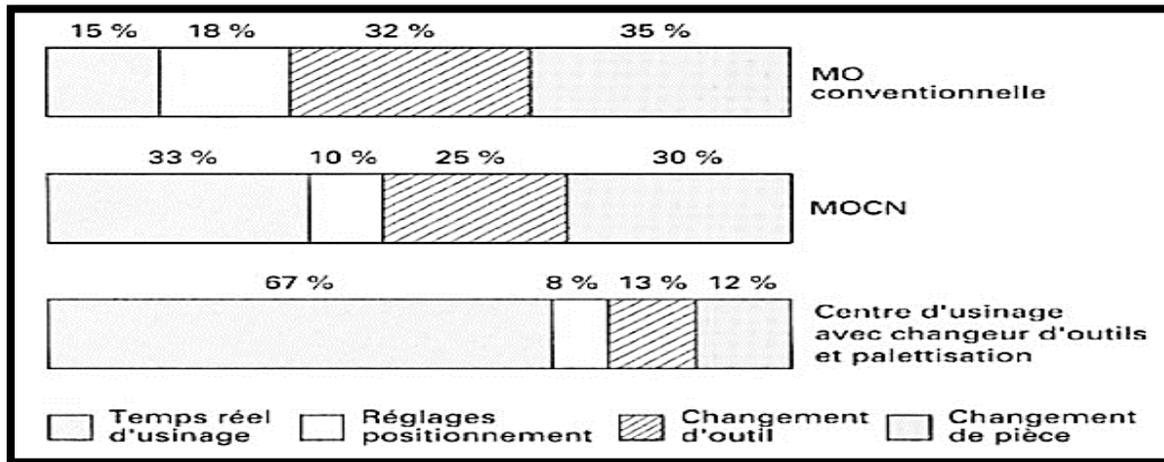


Figure I. 4 : Comparaison de la productivité de différentes machines en fonction de leur niveau d'automatisation [2].

6 La structure d'une MOCN

Comme tous les systèmes automatisés, nous pouvons décomposer la structure d'un MOCN en deux parties principales : la partie opérative et la partie commande.

La figure I.5 représente la structure d'une MOCN :

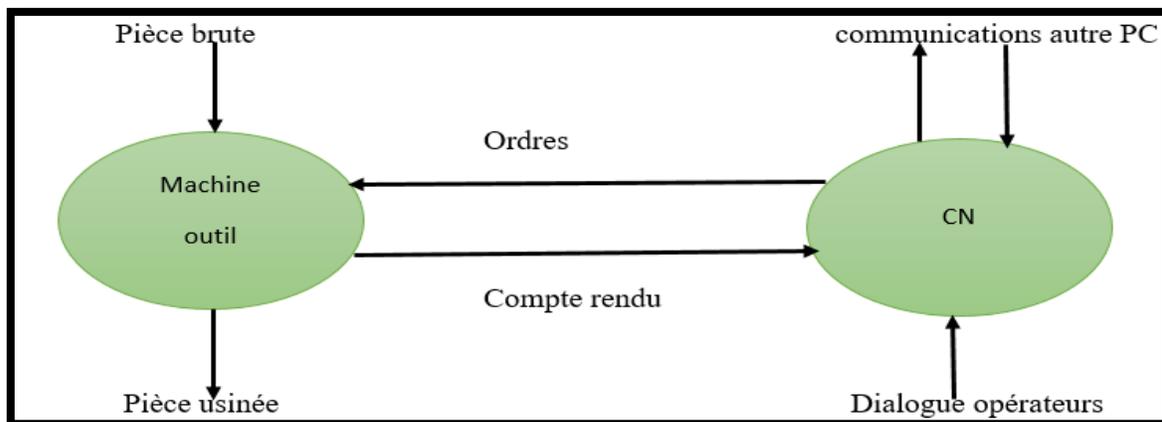


Figure I. 5 : Structure d'une MOCN [4].

6.1 La partie opérative

La partie opérative (PO) se compose principalement d'une ou plusieurs éléments mobiles commandés par des moteurs, ce qui est presque comparable à une machine-outil classique, et elle inclut :

- Un support outil d'une broche ;
- Un bâti avec des larges glissières ;
- Le plus souvent un socle en béton hydraulique vibré garantissant l'indépendance de la machine au sol ;
- Une table qui supporte la pièce, avec un système de contrôle à vis et écrou à bille, permet une mobilité sur 2 ou 3 axes. Le granit, est utilisé pour la fabrication des bâtis et tables des machines à mesurer tridimensionnelles des rectifieuses et tours ;
- L'entraînement de la table équipé par des moteurs pas à pas ;
- Une dynamo tachymétrique garantissant la mesure de la vitesse de rotation ;
- Un capteur de position fournissant à tout moment des informations sur la localisation du mobile sur chaque axe ;
- Des capteurs de fin de course [5].

Les éléments de PO sont représentés dans la figure suivant :

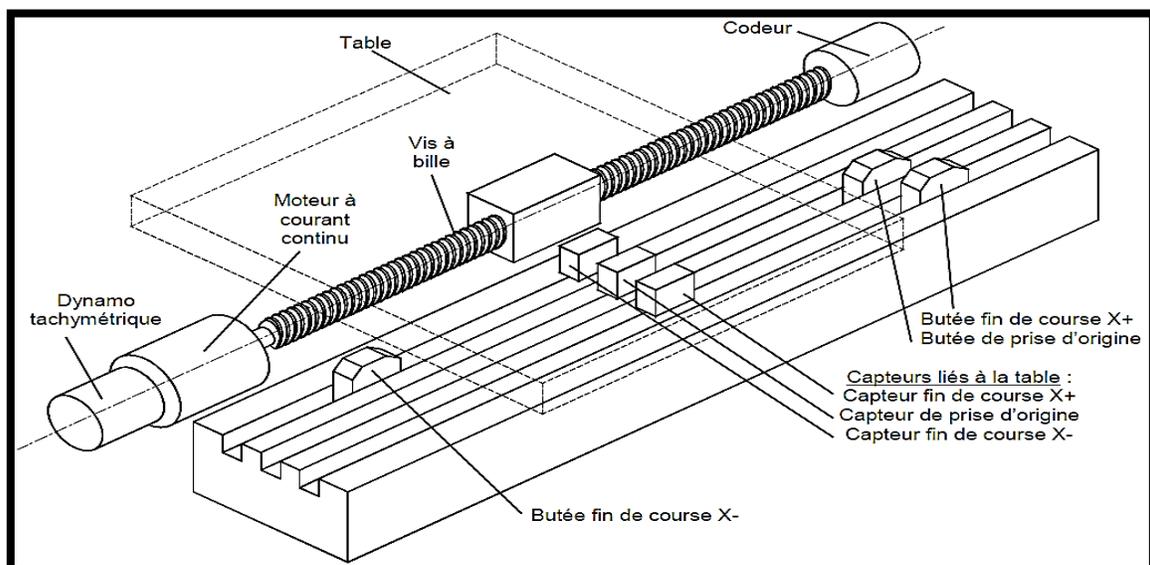


Figure I. 6 : Les éléments de la partie opérative [5].

6.2 La partie commande

Dans la partie commande (PC) on trouve les composants suivant :

- La sortie RS 232 pour les connexions à des appareils externes ;
- L'écran d'affichage de toutes les données enregistrées ;
- Le pupitre permettant de saisir les commandes à l'aide d'un clavier ;
- Le lecteur de données ;
- Le calculateur ;
- Les cartes électroniques.

L'opérateur entre le programme dans le DCN à l'aide du clavier de celui-ci. Pour le stockage, le programme peut être transféré sur une disquette, si le DCN est connecté à un micro-ordinateur via un câble RS 232 [6].

Cette opération représentée par la figure suivante :

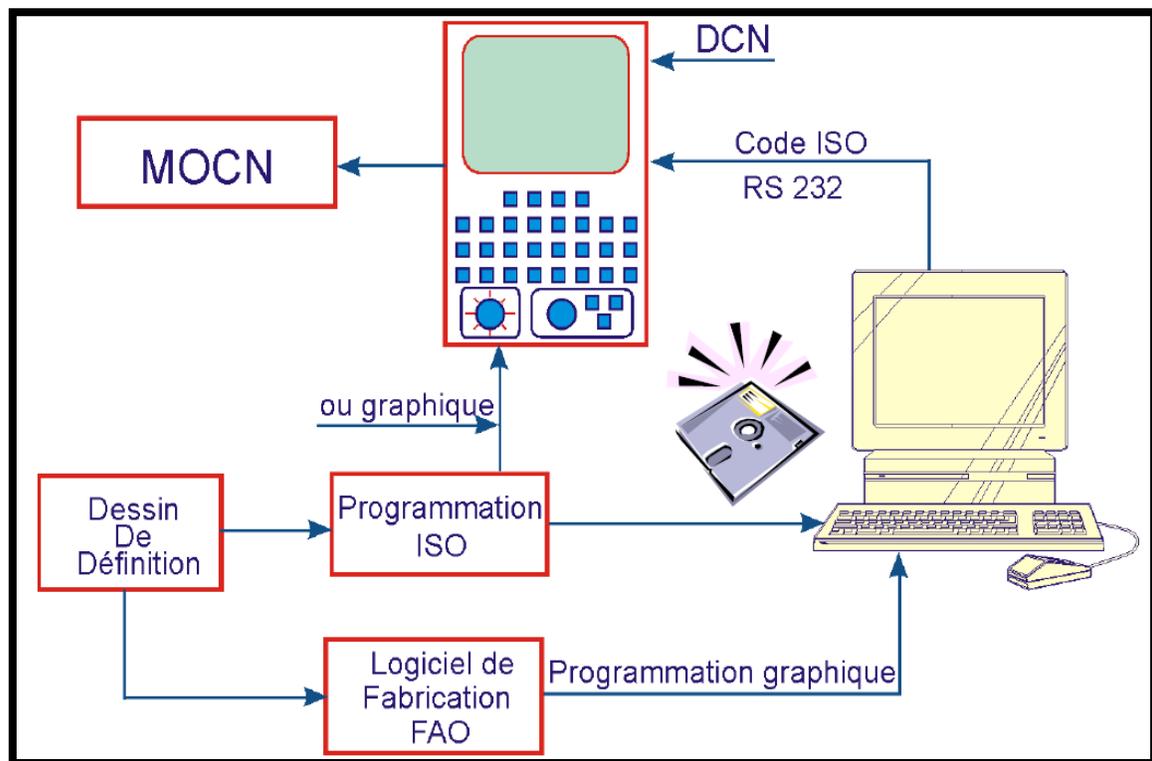


Figure I. 7 : Chargement d'un programme [6].

6.3 Armoire électrique

Armoire électrique contient les composants suivant :

- D'un relais ;
- De condensateurs ;
- De cartes variateurs d'axes ;
- D'un transformateur ;
- De contacteurs ;
- D'un automate programmable ;
- D'un interrupteur général avec sécurité [5].

7 Les familles des MOCN

Les MOCN contiennent plusieurs familles et les plus utilisées sont :

7.1 Fraisage à commande numérique

Une fraiseuse CN permet de produire des pièces par enlèvement de matière et peut être utilisée pour le métal, le bois et le plastique. Différents outils sont adaptables pour obtenir différentes coupes et finitions. Un logiciel, associé à la machine, permet d'assister le processus du dessin à la fabrication. La CFAO, conception et fabrication assistées par ordinateur, permet de concevoir la pièce et d'optimiser les parcours de coupe [7]. La figure I.8 représente un exemple d'une fraiseuse à commande numérique.

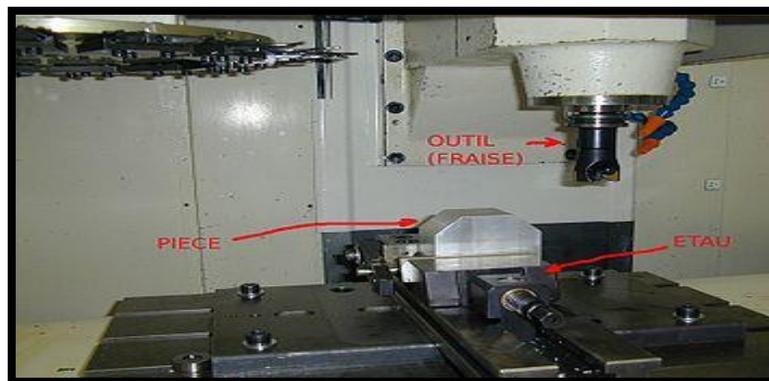


Figure I. 8 : Fraiseuse à commande numérique [7].

7.2 Tour à commande numérique

Un tour numérique comme l'exemple dans la figure I.9 est une machine-outil à commande numérique est une machine-outil dotée d'une commande numérique. Lorsque la commande numérique est assurée par un ordinateur, on parle parfois de machine CNC.

Le tournage est une opération d'usinage qui permet d'enlever, à l'aide d'outils coupants, de la matière sur une pièce initiale cylindrique pour obtenir une pièce finale.

L'enlèvement de matière s'effectue par la combinaison de la rotation de la pièce et du mouvement de l'outil de coupe [8].



Figure I. 9 : Tour à commande numérique [8].

8 Principe de fonctionnement

On classifie les MOCN selon le mode de fonctionnement par les trois systèmes suivants :

8.1 Système à boucle ouverte

Avec cette boucle (figure I.10) le système assure le déplacement du chariot mais ne le contrôle pas.

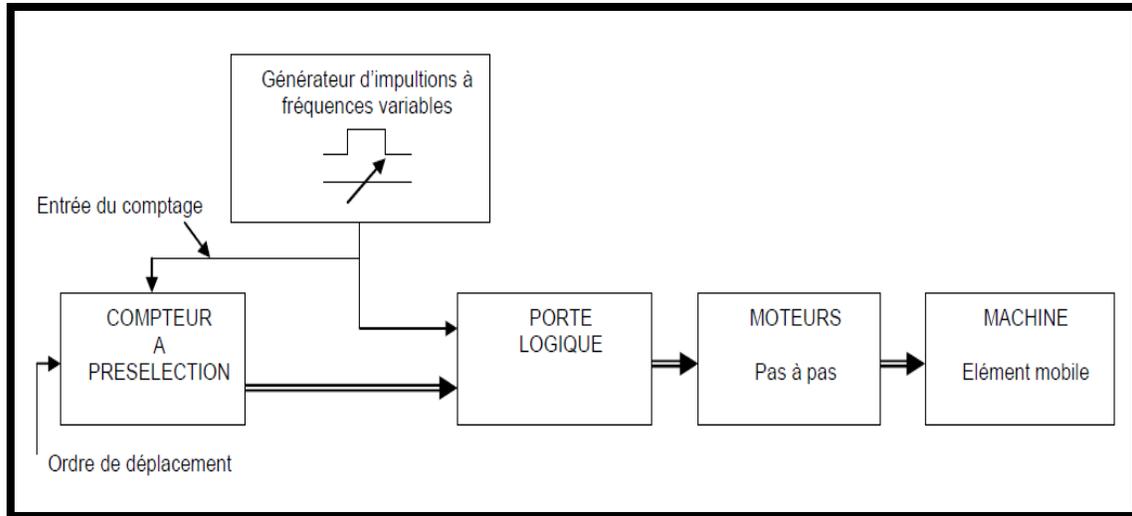


Figure I. 10 : Système à boucle ouverte [9].

8.2 Système à boucle fermé

Dans cette boucle le système contrôle le mouvement ou la position jusqu'à ce que les quantités entrées dans le programme et celles mesurées soient égales. Comme l'illustre la figure I.11.

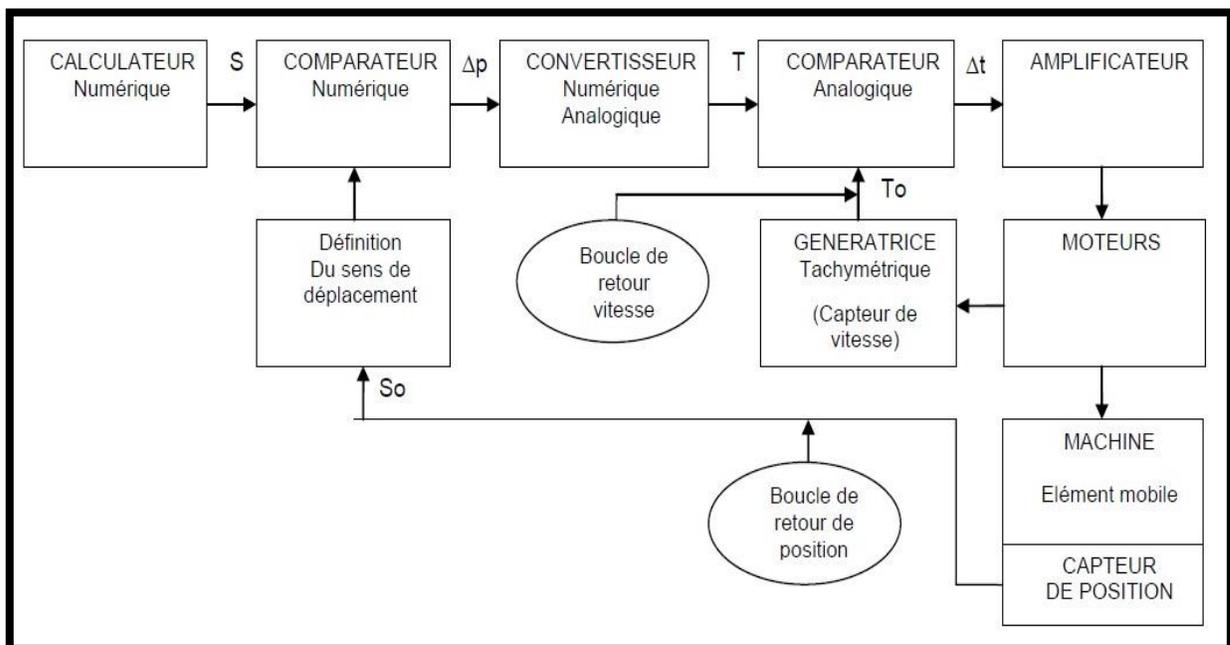


Figure I. 11 : Système à boucle fermée [9].

S = Position affiché de l'outil.

So = Position réelle de l'outil.

Δp = Signal d'écart de position ($\Delta p = S - So$)

T = Signal Δp transformé en tension à l'aide du convertisseur numérique analogique. Cette Tension convenablement modifiée commande les moteurs de déplacement.

To = Signal de la vitesse réelle du moteur fourni par la génératrice tachymétrique.

Δt = Signal d'écart de vitesse ($\Delta t = T - To$).

La position de l'outil est atteinte si :

$$S = So \Rightarrow \Delta p = 0$$

D'où :

$$T = 0 \quad \Delta t = 0 \quad To = 0$$

8.3 Système avec commande adaptative

La commande adaptative adapté automatiquement les conditions de coupe. Les capteurs mesurent les valeurs de couple de la broche, l'amplitude de vibration de la broche, la température du point de coupe. Cette information est transmise à une unité spéciale qui l'envoie au responsable de la CNC qui agit en fonction de l'analyse de l'état de coupe pour permettre une meilleure qualité de travail, productivité et sécurité. La figure I.12 présente le fonctionnement de la commande adaptative [10].

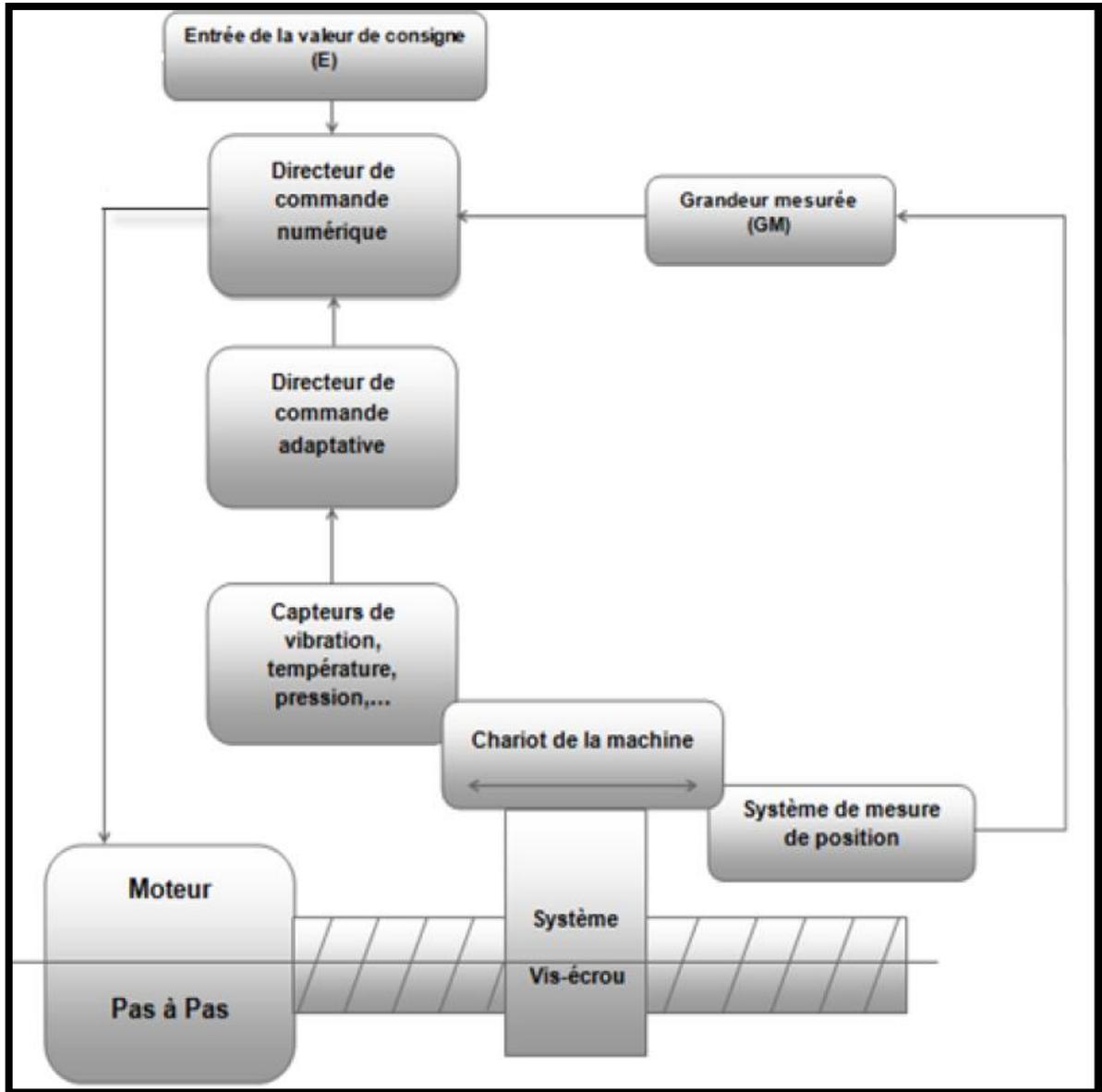


Figure I. 12 : Commande adaptative [10].

9 DÉFINITIONS ET IMPLANTATIONS DES AXES

Les repères d'axes sont toujours placés sur les outils, pointe pour le tour, au bout et au centre pour une fraise.

L'axe Z Correspond à l'axe de la broche, le sens positif correspond à un Accroissement de la distance entre la pièce et l'outil.

L'axe X Correspond à l'axe suivant ayant le plus grand déplacement, le sens positif correspond à un accroissement de la distance entre la pièce et l'outil.

L'axe Y forme avec les deux autres un trièdre trirectangle de sens direct (la figure I.13).

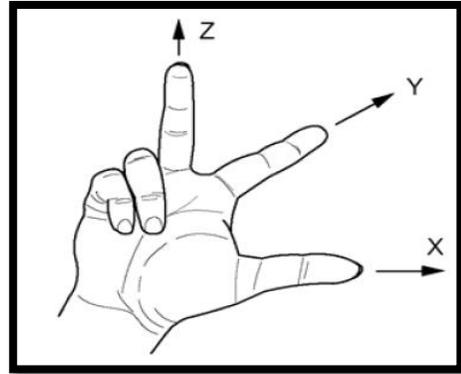


Figure I. 13 : Règle de la main droite [10].

Les axes de rotations correspondent au sens trigonométrique (la figure 14).

A autour de X, sens A+ de Y vers Z

B autour de Y, sens B+ de Z vers X

C autour de Z, sens C+ de X vers Y

Les axes de translations supplémentaires sont appelés (la figure I.14) ;

U parallèle à l'axe X

V parallèle à l'axe Y

W parallèle à l'axe Z

Si les parties mobiles de la machine sont appliquées à un autre mouvement que celui du porte outil, les axes portent le même repère agrémentés d'une apostrophe, sens opposé au sens appliqué à l'outil [9].

Chaque mouvement est représenté par un axe défini, une lettre avec un signe + ou -. La Figure I.15 et présente tous les axes qu'un DCN peut commander.

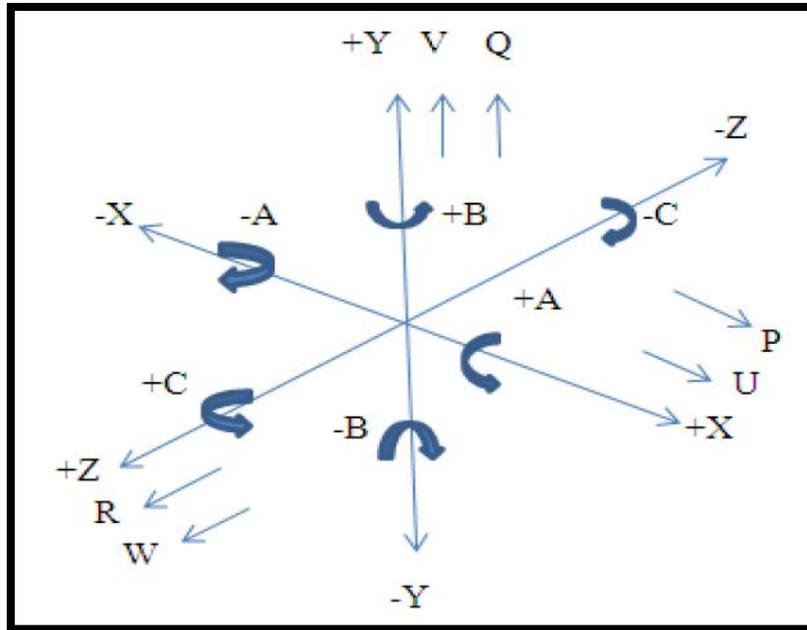


Figure I. 14 : Axes primaires et axes additionnels [10].

Les trois figures suivantes représentent les axes de différent type des machines :

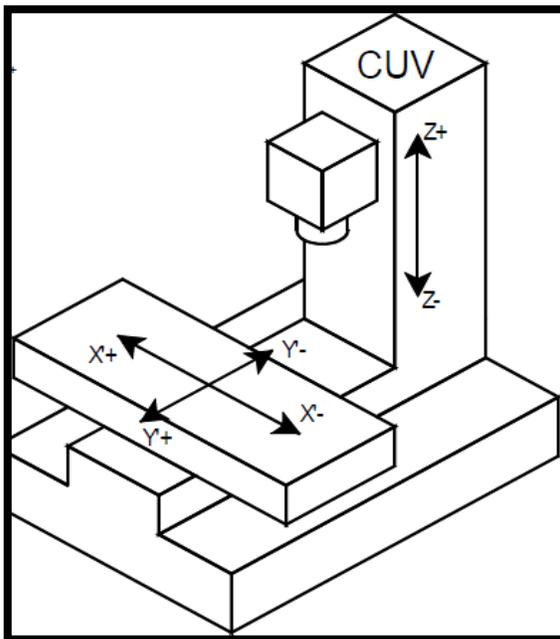


Figure I. 15 :Axes en centre d'usinage vertical [9].

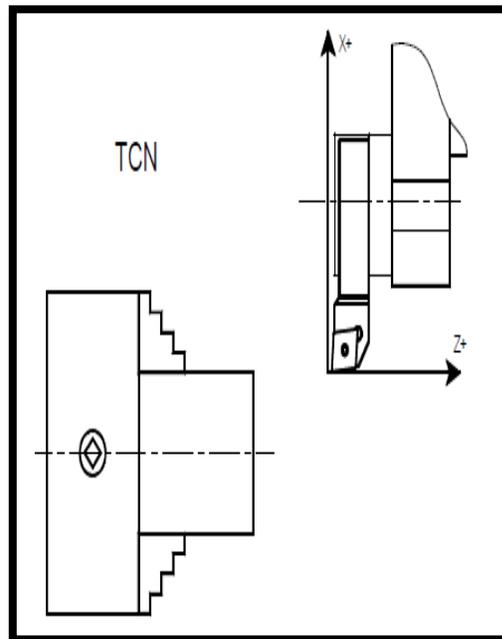


Figure I. 16 : Axes en Tour CN [9].

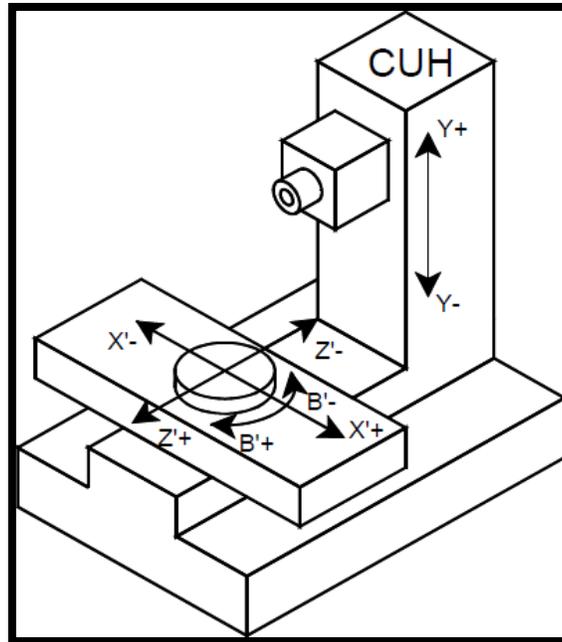


Figure I. 17 : Axes en centre d'usinage horizontal [9].

Les différentes espèces de MOCN montrent dans le tableau suivant :

Mouvement de coupe	Mouvement d'avance	Mouvement positionnement	Opération	Machine
Circulaire à la pièce	Longitudinal (Z) à l'outil	Radial (X) à l'outil	Cylindrage	Tour
	Radial (X) à l'outil	Longitudinal (Z)	Dressage ou plongée	
	X et Z à l'outil	X et Z à l'outil	Tournage CN	
Rectiligne à l'outil	Rectiligne à la pièce	Rectiligne à la pièce	Rabotage	Etau limeur (table // au mouvement de coupe)
Rectiligne à l'outil	Rectiligne à la pièce	Rectiligne à la pièce		Mortaiseuse (table perpendiculaire)

				au mouvement de coupe)
Rectiligne à la pièce	Rectiligne à la pièce	Rectiligne à la pièce		Raboteuse
Circulaire à l'outil (rotation autour de Z)	Rectiligne X ou Z	Rectiligne X ou Z	Fraisage	Fraiseuse
	Combinaison X et Z	Combinaison X et Z	Fraisage CN	
Circulaire à l'outil	Rectiligne Z	Manuel	Perçage	Perceuse
Circulaire à l'outil	Rectiligne Z	X et Y	Alésage	Aléseuse
	Rectiligne Z	X et Y très précis		Pointeuse

Tableau I. 2 : Les différentes espèces de MOCN [11].

10 Classification des MOCN selon le mode d'usinage

Selon le mode d'usinage, les MOCN peuvent être classés en trois catégories :

- CN par axiale : sont des déplacements parallèles aux axes avec les avances programmées. Le mouvement de coupe et de positionnement est synchronisé afin d'avoir un usinage le long de trajectoires parallèles aux axes de déplacement. Des exemples d'opération d'usinage : fraisage, tournage, alésage [10].
- CN point à point : est le positionnement de l'outil ou de la pièce par des déplacements non synchronisés. Le mouvement de coupe n'est autorisé que lorsque le mouvement de positionnement est achevé. Des exemples d'opération d'usinage : petit fraisage, lamage taraudage, alésage, perçage [10].
- CN de contournage : sont des déplacements qui synchronisent les différents axes avec l'avance programmée. Les trajectoires sont décomposées en éléments de lignes ou de cercles avec un ou plusieurs plans [10].

11 Positions relatives des origines

Différent types d'origines présenté par le tableau I.3 :

Points utilisées	Définition
Origine machine « OM »	Butée électrique dans le sens positif de l'axe
Origine mesure « Om »	Premier point zéro du codeur rencontré par le DCN après OM
Origine porte pièce « Opp »	Liaison entre la machine et le porte pièce
Origine pièce « Op »	Liaison entre le porte pièce et la pièce
Origine programme « OP »	C'est l'origine de tous les déplacement programmé sauf G52 & G59
Origine porte outil « Opo »	C'est le point piloté sans correction d'outil

Tableau I. 3 : Différent types d'origines [9].

Les vecteurs :

Un vecteur possède une origine, une extrémité, un sens (Figure I.19) [9].

$$\overrightarrow{Opp OM} + \overrightarrow{OM Om} = \overrightarrow{PREF}$$

$$\overrightarrow{OP Op} + \overrightarrow{Op Opp} = \overrightarrow{DECI}$$

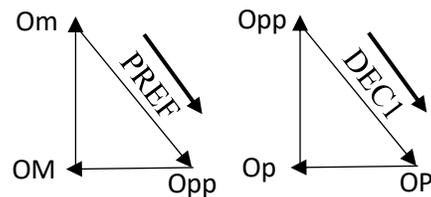


Figure I. 18 : Vecteurs [9].

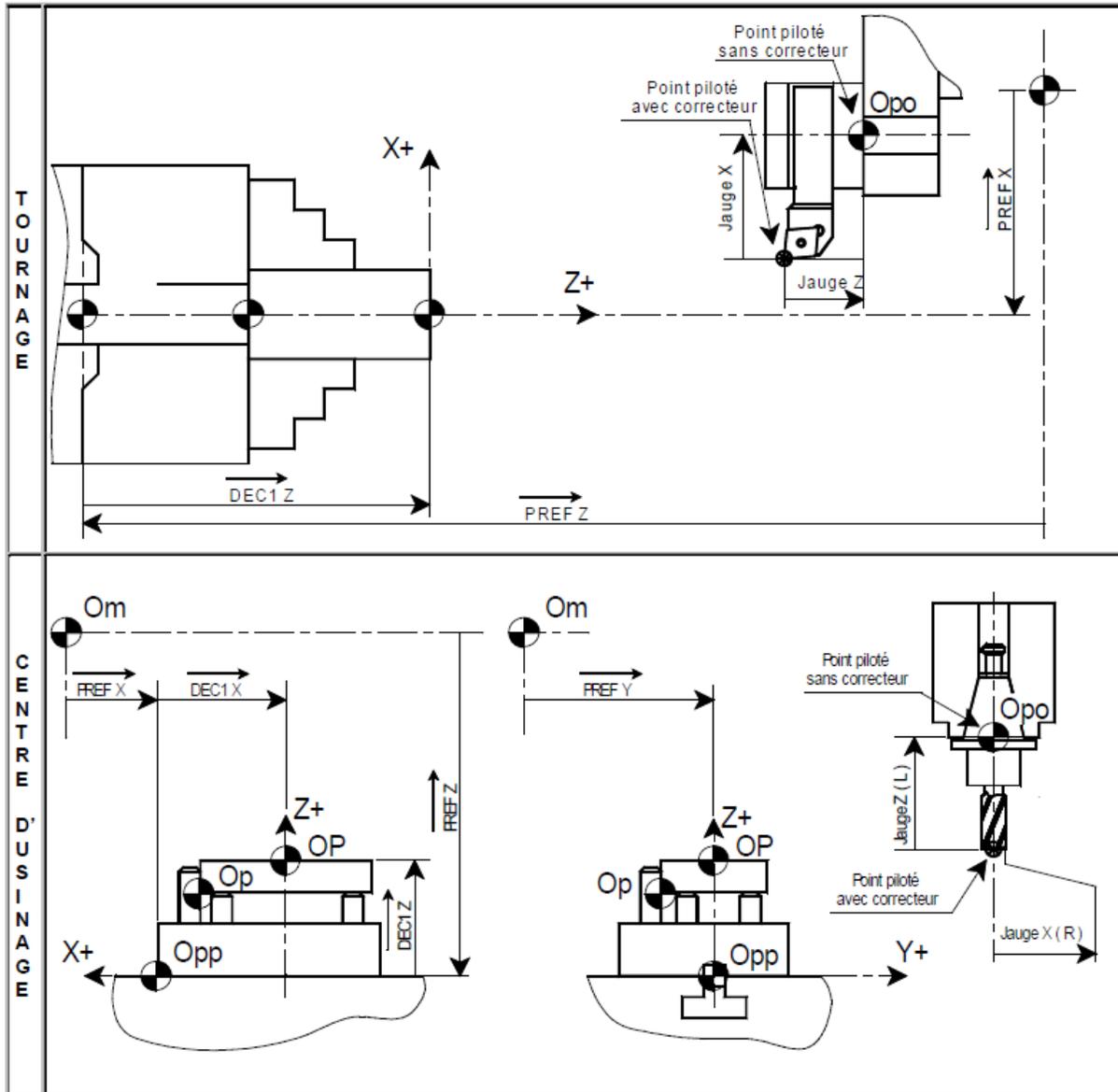


Figure I. 19 : Différent types d'origines [9].

12 Programmation [1]

La programmation consiste à décrire les opérations prévues dans un langage codé assimilable par le calculateur de la machine.

12.1 Comparaison de la programmation dans une machine CN de la première génération et d'autre moderne

1. Première génération des MOCN :

La figure I.21 représente les différentes étapes pour programmé une MOCN de la première génération :

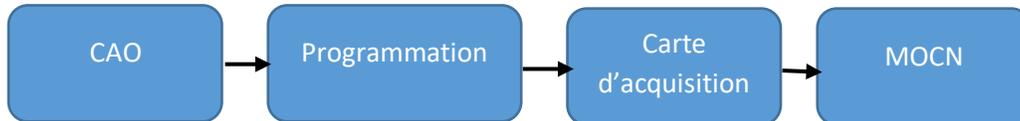


Figure I. 20 : Etapes de programmé une MOCN de la première génération.

- Logiciel de CAO : est une application de conception mécanique 3D paramétrique qui permet aux concepteurs d'esquisser rapidement des idées, d'expérimenter des fonctions et des cotes afin de produire des modèles et des mises en plan précises [16].

Il y a plusieurs Logiciel de CAO en citant : SOLIDWORKS, CATIA, ENOVIA, DELMIA, SIMULIA, ...

- Programmation : un programme est la transcription, dans un langage compréhensible par le directeur de commande numérique d'une machine, des opérations d'usinage à effectuer sur une pièce. La langue la plus utilisé c'est le G-code et il y a plusieurs d'autres langages comme : FANUC, NUM, SIEMENS, HEIDENHAIN, PROFORM, MAZATROL.

2. MOCN moderne :

La figure I.22 représente les différentes étapes pour fabriquer une pièce dans les MOCN moderne :

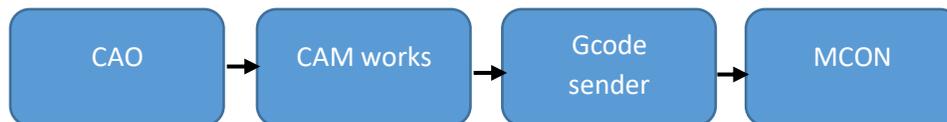


Figure I. 21 : Etapes de fabrication d'une pièce par une MOCN moderne.

- Universal G-code Sender : une plate-forme G-code complète utilisée pour l'interfaçage avec des contrôleurs CNC avancés comme GRBL et TinyG. Universal G-code Sender est une application Java autonome qui inclut toutes les dépendances externes, ce qui

signifie que si vous avez l'environnement d'exécution Java UGS (Universal G-code Sender) fournit le reste [17].

- Logiciel de CAM Works : permet de préparer la fabricabilité de vos conceptions dès le début du cycle de développement. Il est désormais possible de réaliser les tâches de fabrication, qui devaient auparavant attendre la finalisation d'une conception, parallèlement au processus de conception [16].

Les logiciels de conception ne remplacent pas le rôle de l'ingénieur mais minimise les étapes de fabrication d'une pièce, particulièrement les pièces complexes, et par conséquent économise plusieurs temps de fabrication.

12.2 Structure des programmes

Un programme comporte toutes les informations utiles à la machine pour réaliser l'usinage. Un programme CN se compose d'une suite de séquences de programme, mémorisées dans la commande. Lors de l'usinage de la pièce, ces séquences sont lues et vérifiées par le calculateur dans l'ordre programmé. Des signaux de commande correspondants sont transmis à la machine.

Un programme comporte principalement :

- Des fonctions préparatoires d'adresse G ;
- Des coordonnées de points (X, Y, Z, I, J ...) ;
- Des informations de vitesse, d'avances (S, F ...) ;
- Des fonctions auxiliaires d'adresse M.

Un programme d'usinage est constitué de :

- Un début de programme ;
- Un corps de programme formé de lignes ou blocs ;
- Fin de programme.

1. Début de programme

Tout programme doit débiter par le caractère O qui permet au système de reconnaître le début du programme. D'autre part chaque programme est identifié par un numéro constitué au

plus de quatre chiffres. Ce qui donne finalement chaque programme doit commencer par un bloc qui a la syntaxe suivante : Onnnn ; (n désignant un chiffre de 0 à 9).

Exemple : O12 ; O1972 ; O06 ;

2. Corps du programme

Les programmes CN se composent de blocs, à l'image des phrases dans notre propre langage ; ces blocs sont composés de mots. Chaque mot du « langage CN » est constitué d'un symbole d'adresse et d'un chiffre ou d'une suite de chiffres, qui décrivent une valeur arithmétique.

Le symbole d'adresse du mot est généralement une lettre. La suite de chiffres peut contenir un signe et un point décimal, le signe étant toujours placé entre la lettre adresse et la suite de chiffres. Les signes positifs (+) n'ont pas besoin d'être écrits.

Un programme CN se compose de blocs distincts, chaque bloc étant généralement constitué de (plusieurs) mots. Un bloc doit contenir toutes les données nécessaires à l'exécution d'une opération d'usinage et doit se terminer par le caractère « L F » (LINE FEED = nouvelle ligne) ou « EOB » (END OF BLOC = fin de bloc).

Exemples de mot :

X06.08

Z-20.

N9548

Exemple de bloc : N20 G01 X17 Z-92 F0.1 ;

3. Fin de programme

La fin du programme est identifiée par le mot : M30.

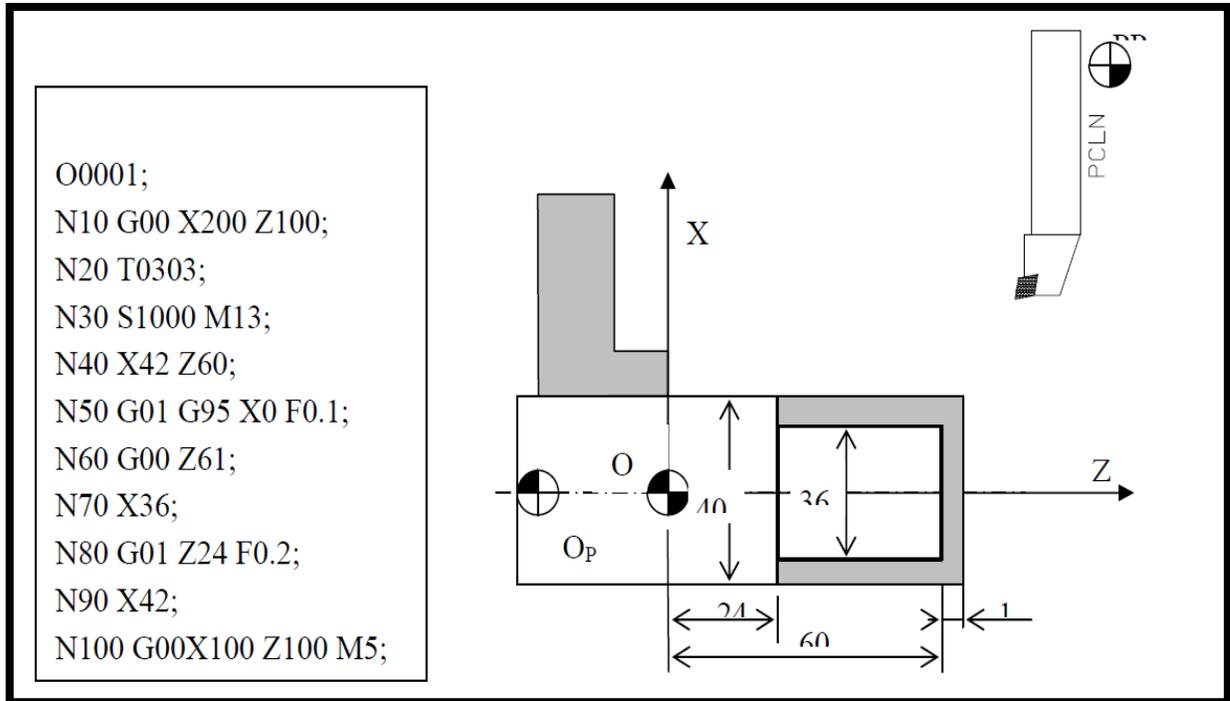


Figure I. 22 : Exemple de programme [1].

12.3 Éléments de langage de programmation [1]

Les trois tableaux suivant représentent les éléments quand nous devons utiliser dans un programme :

➤ Définition des adresses :

Adresse	Définitions
O	Numéro de programme
F	Vitesse d'avance
G	Fonction préparatoire
I	Position du centre de cercle d'interpolation circulaire suivant l'axe X
J	Position du centre de cercle d'interpolation circulaire suivant l'axe Y
K	Position du centre de cercle d'interpolation circulaire suivant l'axe Z
M	Fonction auxiliaire
N	Numéro de bloc
P	Différent sens selon le cycle ou elle est utilisée

Q	Différent sens selon le cycle ou elle est utilisée
R	Rayon du cercle en interpolation circulaire. Différent sens selon le cycle ou elle est utilisée
S	Vitesse de rotation de la broche
T	Identification de l'outil à utiliser
U	Déplacement relatif selon l'axe des X
W	Déplacement relatif selon l'axe des Y
X	Coordonnée suivant l'axe X
Y	Coordonnée suivant l'axe Y
Z	Coordonnée suivant l'axe Z

Tableau I. 4 : Définition des adresses.

➤ Exemples de fonctions préparatoires (G) :

Code G	Désignation	Révocation
G00	Positionnement en vitesse rapide	G01 ; G02 ; G03
G01	Interpolation linéaire	G00 ; G02 ; G03
G02	Interpolation circulaire sens horaire (SH)	G00 ; G01 ; G03
G03	Interpolation circulaire sens trigonométrique (ST)	G00 ; G01 ; G02
G98	Avance en mm/mn	G99
G99	Avance en mm/tr	G98
G50	Limitation de la vitesse de rotation de la broche	Fin de programme
G96	Vitesse de coupe constante en m/mn	G97
G97	Vitesse de rotation constante en tr/mn	G96

Tableau I. 5 : Exemples de fonctions préparatoires (G).

➤ Exemples des fonctions auxiliaires (M) :

Fonction	Désignation	Révocation
M01	Arrêt optionnel	
M02	Fin de programme	
M03	Démarrage rotation de la broche sens horaire	M04 ; M05
M04	Démarrage rotation de la broche sens trigonométrique	M03 ; M05
M05	Arrêt rotation de la broche	M03 ; M04
M08	Arrosage	M09
M09	Arrêt d'arrosage	M08
M30	Fin de programme avec rembobinage	

Tableau I. 6 : Exemples des fonctions auxiliaires (M).

13 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une recherche bibliographique sur les machines-outils à commande numérique, les commandes les plus couramment utilisées et les classifications, décalages et géométries d'outils MOCN.

L'utilisation des MOCN est d'un grand intérêt pour les petites et moyennes séries ainsi que pour les formes complexes de pièces à usiner.

Chapitre II : présentation de la microfraiseuse 2 C.E. Jeulin

1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons la microfraiseuse 2 C.E. Jeulin avec les différentes composantes, les étapes d'installation, de démarrage et de contrôle externe. A la fin de ce chapitre nous résumons l'état de la machine avant d'entamer les travaux de réparations et de rénovations.

2 Description de la microfraiseuse 2 C.E.

La microfraiseuse 2 C.E. Jeulin représentée dans la figure II.1 est une MOCN pilotée par un programme informatique en langage ISO. Elle est équipée d'un micro-ordinateur type AT de microprocesseur intel 80286 de l'an 1982 et d'une carte d'interface avec un port ISA. C'est une machine de type 3 axes didactique qui permet :

- La découverte d'un système automatisé ;
- L'initiation à la programmation d'une machine robotisée ;
- La fabrication assistée par ordinateur ;
- La possibilité d'application lors de la réalisation de projet technologique, dans les phases de :
 - Perçage
 - Gravure
 - Fraisage
- La mise en autonomie des étudiants lors des phases de réalisation d'un projet, dans la conduite d'une machine industrielle ;
- L'utilisation d'un vocabulaire technique ;
- Participer à l'introduction de la culture informatique industrielle, chez les futurs ingénieurs.

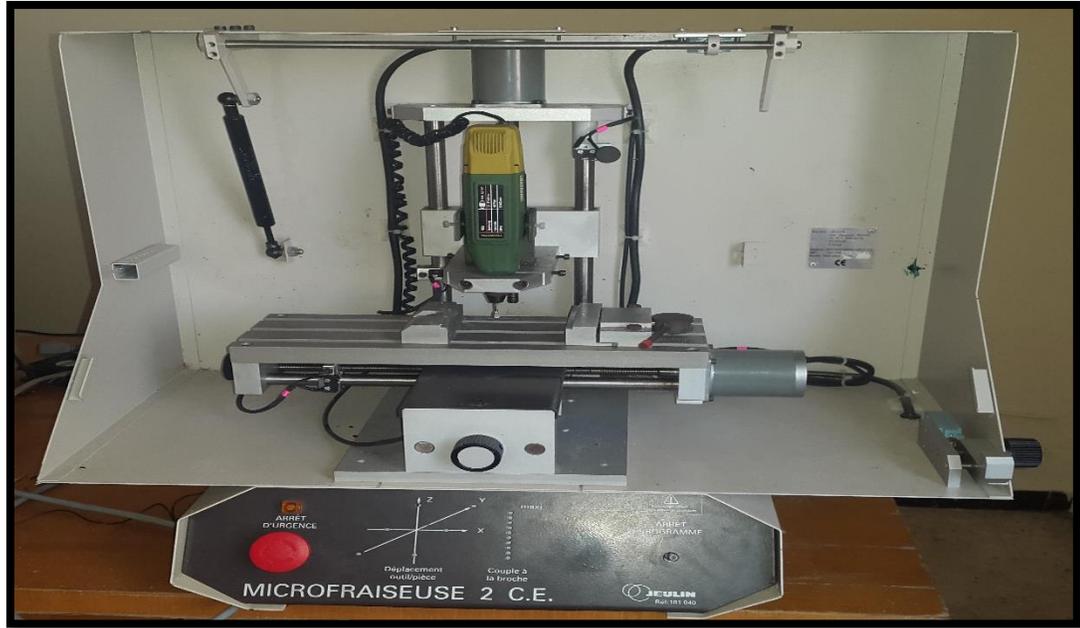


Figure II. 1 : MICROFRAISEUSE 2 C.E.

3 Les caractéristiques de la microfraiseuse 2 C.E.

* Dimensions : le volume qu'occupe la machine est schématisé par la figure II.2

$$L = 660 \text{ mm}$$

$$P = 440 \text{ mm}$$

$$H = 580 \text{ mm}$$

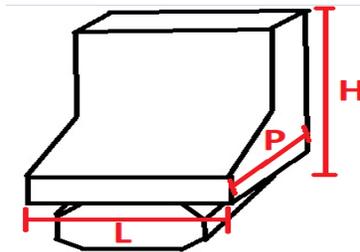


Figure II. 2 : Dimensions de la machine.

* Poids :

La microfraiseuse pèse 37 Kg

* Matériaux utilisables :

- Il est possible d'usiner les plastiques, PMMA (poly méthacrylate de méthyle), ABS (acrylonitrile butadiène styrène), BOIS, FOREX.

- Il est interdit d'usiner les matériaux métalliques, acier, aluminium.

* Lubrification :

Il n'est pas prévu de lubrification en cours d'usinage.

4 Panneau de contrôle de la microfraiseuse 2 C.E. [13]

La figure II.3 représente le panneau de contrôle de la machine avec les différentes composantes.

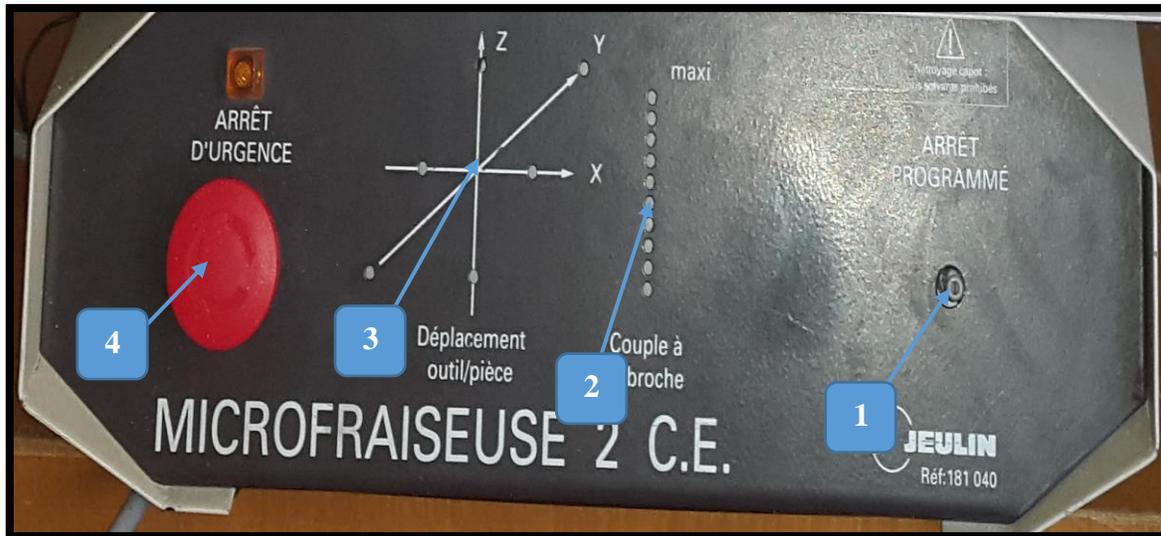


Figure II. 3 : L'interface de la MICROFRAISEUSE 2 C.E.

Dans ce qui suit nous donnons une description des quatre composants du panneau de contrôle.

1. Arrêt programme :

Arrêter l'exécution du programme ou instruction de façon momentanée.

2. Couple à broche :

Des leds qui permet de voir le niveau du couple à broche et met en évidence les facteurs de coupe sur les qualités du travail.

3. Déplacement outil/pièce :

Des leds qui permettent de visualiser les déplacements de l'outil par rapport à la pièce.

4. Arrêt d'urgence :

Permet l'arrêt d'urgence de la machine en désactivant les moteurs pas à pas et le moteur de broche rapidement en coupant l'alimentation électrique en cas de problème.

5 Partie opérative de la microfraiseuse 2 C.E.

On représente la partie opérative par la figure II.4.

La figure II.4 représente la partie opérative de la machine et les différentes composantes mécaniques et électriques :

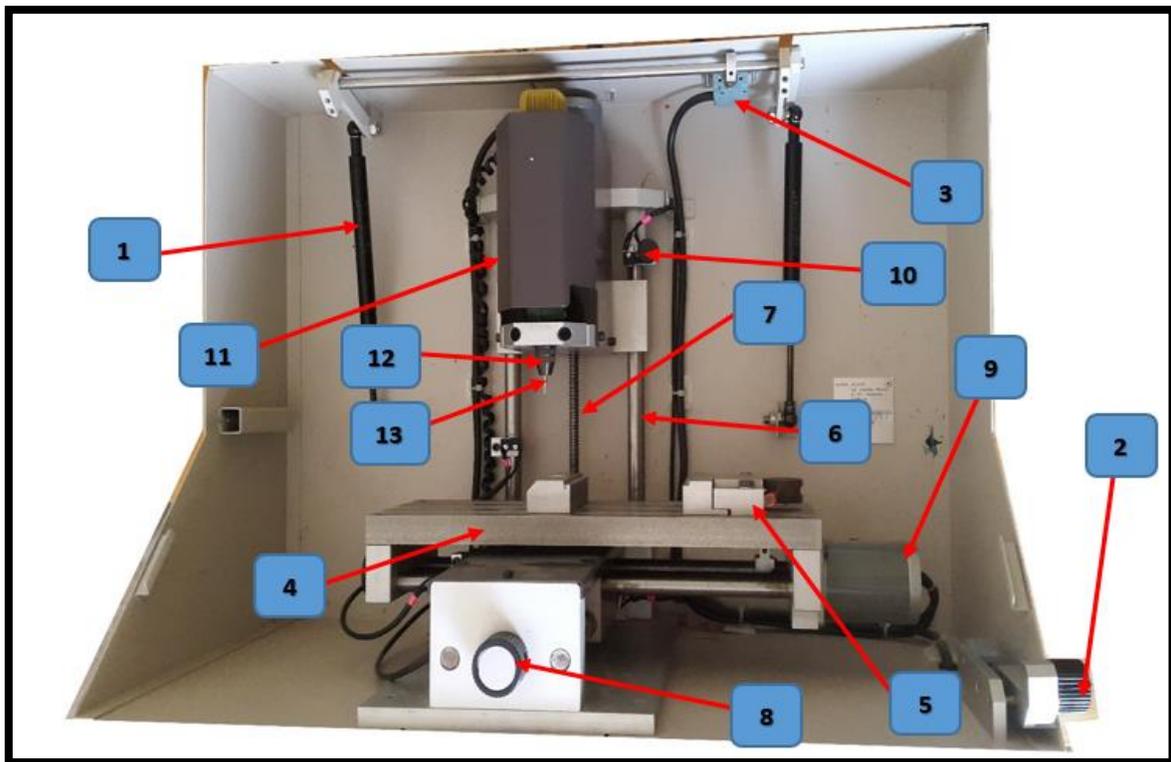


Figure II. 4 : Organes de la partie Opérative.

Dans ce qui suit nous donnons une description des treize composants de la partie opérative.

1. Vérin à gaz:

Le vérin à gaz montré dans la figure II.5 ce type de vérin est particulièrement indiqué pour les applications nécessitant de courses et de poussées limitées avec un encombrement minimum. Dans la microfraiseuse 2 C.E. il permet de maintenir le capot ouvert.



Figure II. 5 : Vérin à gaz.

2. Botton moleté de verrouillage :

C'est la molette de verrouillage du capot de sécurité (Figure II.6) pour l'autorisation des mouvements et la démarche d'usinage, il faut tourner la mollette jusqu'à être butée [13]. En cas d'ouverture de capot au moment d'usinage tout va arrêter pour éviter les accidents.



Figure II. 6 : Botton moleté de verrouillage.

3. Capteur de sécurité de fermeture de capot :

C'est un capteur avec contact dynamique (Figure II.7) pour surveiller la fermeture de capot il fonctionne comme un interrupteur ouvert quand le capot est ouvert. Dans la machine on a deux capteur de sécurité.



Figure II. 7 : Capteur de sécurité.

4. La table :

La pièce à usiner doit être fixée sur la table de fixation (Figure II.8). Elle a la possibilité de se déplacer suivant les axes X et Y. Les caractéristiques de la table sont [13] :

- * Fabriqué par la matière AZ-5GU (Aluminium 7075) ;
- * La surface de la table (Figure II.8) : X= 350 mm ; Y= 120 mm ; E= 20 mm

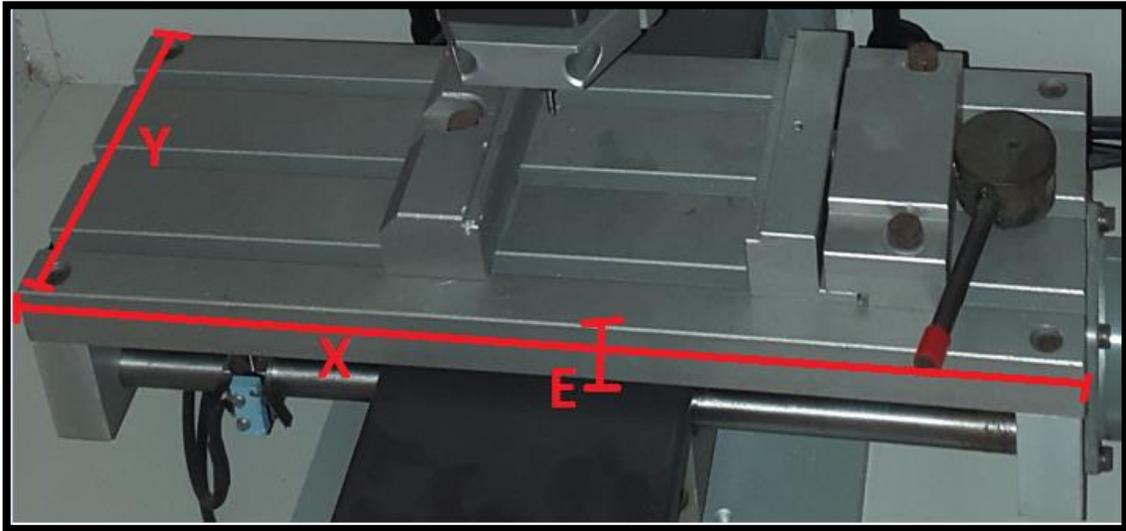


Figure II. 8 : La table.

5. L'étai à serrage :

Pour bien garder la pièce en place, la figure II.9 représente l'étai de serrage. Les caractéristiques de l'étai sont :

- * Ouverture maximale : 250 mm
- * Largeur des mors : 90 mm
- * Serrage instantané [13]



Figure II. 9 : Etou à serrage.

6. Les barres de guidage :

Sont des barres (Figure II.10) qui guide le mouvement de la broche et de la table suivant les axes Z, X et Y respectivement. Il existe deux barres pour chaque axe. Les caractéristiques géométriques de ces barres sont données comme suit :

- * Longueur suivant les axes : X = 350 mm, Y = 300 mm, Z = 350 mm
- * Diamètre = 14 mm



Figure II. 10 : Barre de guidage.

7. La tige filetée (système vis/écrou) :

Une tige filetée (Figure II.11) est utilisée pour chaque axe. C'est un système vis/écrou destiné à la transformation de mouvement. Les caractéristiques de ses tiges sont :

- * Longueur suivant les axes : X = 350 mm, Y = 300 mm, Z = 350 mm
- * Diamètre = 10 mm
- * Pas = 2 mm

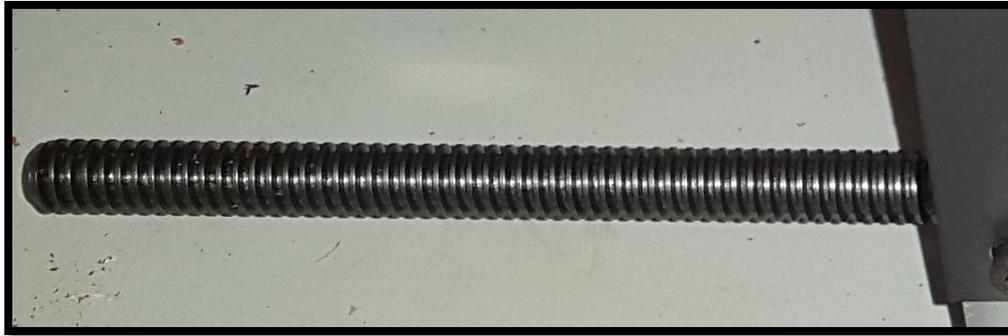


Figure II. 11 : Tige filetée.

8. Molette de déplacement manuelle :

Deux molettes permettent de déplacer la table suivant les axes X et Y manuellement (figure II.12).

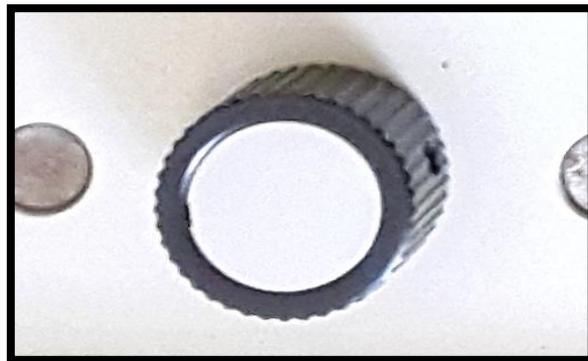


Figure II. 12 : Molette de déplacement manuelle.

9. Le moteur Pas-à-Pas :

Un moteur pas à pas (Figure II.13) transforme des impulsions de commande en une rotation de n pas du rotor : il permet donc un positionnement précis sans boucle d'asservissement. En effet, à chaque impulsion du signal de commande correspond au niveau du rotor un déplacement angulaire bien défini appelé « pas » [14].



Figure II. 13 : Moteur pas à pas.

La figure suivante représente le principe de commande de moteur :

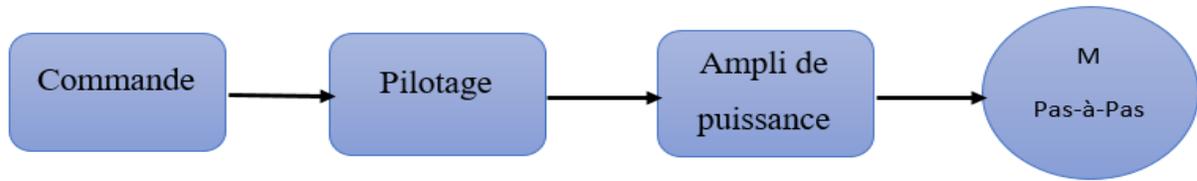


Figure II. 14 : Principe de commande d'un moteur pas à pas [14].

Dans la microfraiseuse 2 C.E. on a trois moteurs pas à pas unipolaire (6 fils) suivant les 3 axes qui ont les caractéristiques suivantes :

- * Un angle par pas = 1.8°
- * Nombre de pas par tour = 200 pas par tour
- * Résolution 1/100 mm
- * Couple 100 N.Cm
- * Voltage = 4.7 V
- * Ampérage = 1.8 A [13]

10. Les fins de course :

Les fins de course sont des appareils actionnés par contact direct avec les objets, les pièces machines, etc. Ils transforment cette action physique en fermeture ou ouverture d'un contact électrique. [15] On a 6 fins de course dans la machine répartis comme suit : 2 captures suivant X (+X et -X), 2 suivant Y (+Y et -Y) et 2 suivant Z (+Z et -Z). Lors le support de la table ou de la broche touche le capteur le mouvement s'arrête. La figure II.15 montre l'un des six fins de course de la machine.



Figure II. 15 : Fin de course.

11. La broche

La broche engendre le mouvement de coupe nécessaire à l'usinage. Elle assure donc la mise en rotation de l'outil. Dans ce cas on a la broche professionnelle de mark PROXXON (Figure II.16) avec les caractéristiques suivantes :

- * Démontable
- * 5 pôles magnétiques
- * Puissance : 100 W
- * Vitesse de rotation variable jusqu'à 15000 tr/min [13]



Figure II. 16 : Broche professionnelle de mark PROXXON.

12. Mandrin :

Le mandrin est une pièce mécanique fixée au bout de l'arbre de la broche ; il permet la fixation rapide d'un outil. Le mandrin de la microfraiseuse est un mandrin à fixation à main avec un bouton de blocage en rotation pour le changement d'outil (figure II.17).

La capacité d'accueil des queues de foret, de fraise et de mèches que le mandrin peut maintenir est entre 0.5 mm à 3.2 mm.



Figure II. 17 : Mandrin.

13. Outils :

Le tableau suivant présente les outils de la microfraiseuse :

Outil	Nom	Rôle
	Fraise à rainurer (2 dents)	Pour faire des rainures
	Fraises de taraudage	Pour faire un taraudage
	Fraise de gravure	Pour faire un gravure (surcuit électrique)

Tableau II. 1 : Outils de MICROFRAISEUSE.

6 Partie électrique de la microfraiseuse 2 C.E.

La figure II.18 représente les différents composants électriques de la machine :

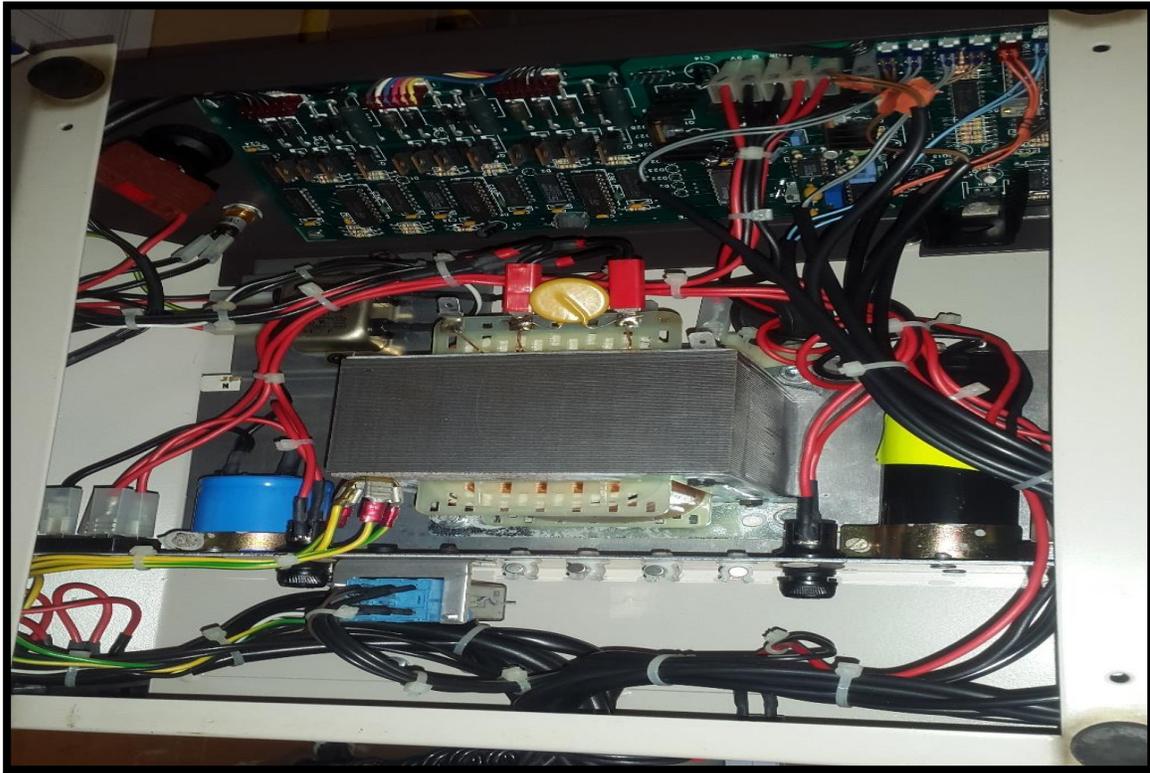


Figure II. 18 : Partie électrique de la machine.

Comment montre la figure plusieurs composantes sont présentes :

- Carte de commande qui génère toutes les commandes aux moteurs (moteurs pas à pas et broche) ;
- Transformateur : entrée 220V et sortie 18V et 8V ;
- Deux condensateurs l'une pour la broche et l'autre pour les moteurs pas à pas ;
- Relais ;
- Fusibles.
- Deux ponts redresseurs

7 Partie commande de la microfraiseuse 2 C.E. [13]

Pour la mise en marche de la machine il faut utiliser la carte d'interface installée dans l'unité centrale avec un système d'exploitation Windows 95 pour exécuter logiciel de pilotage (3AXESVGA).

Le logiciel 3AXESVGA ne doit être lancé qu'à partir de MS-DOS et non à partir de Windows.

7.1 Carte d'interface

La carte d'interface (Figure II.19) permet de transiter des informations entre l'ordinateur et la partie opérative. Elle se connecte sur un des slots d'extension port ISA placés à l'intérieur de l'unité central al aide d'une nappe de 25 points.

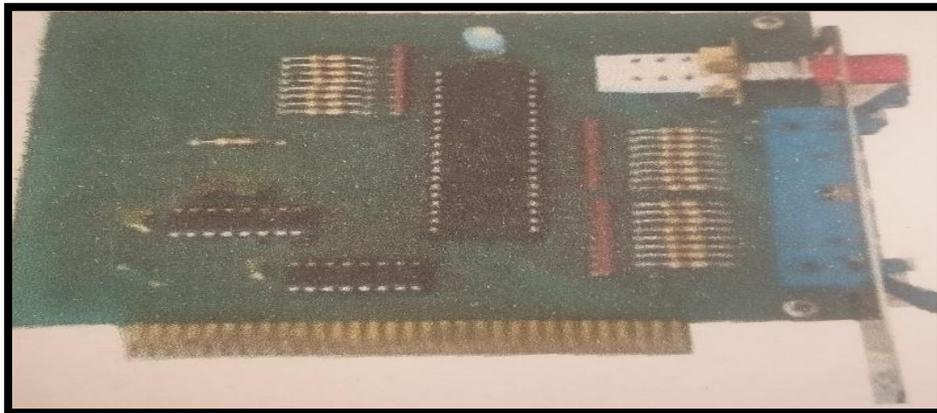


Figure II. 19 : Carte PC-Technologie.

L'installation de la carte dans l'unité central par les étapes suivantes :

- 1- Mettre l'ordinateur hors tension, ainsi que les périphériques ;
- 2- Retirer le couvercle de l'unité central. Se reporter au guide d'utilisation de l'ordinateur si nécessaire ;
- 3- Localiser les emplacements d'extension à l'arrière de l'unité centrale, en choisir un inutilisé ;
- 4- Dévisser la lamelle de protection de l'emplacement d'extension ;

5- Aligner la base de la carte sur le support de l'emplacement d'extension et enfoncer fermement la carte dans ce support ;

6- Relier la carte au panneau arrière de l'ordinateur par une vis selon le système prévu dans le guide d'utilisation de l'ordinateur ;

7- Remplacer le couvercle de l'unité centrale. Rebrancher les périphériques et les câbles.

7.2 Montage de microfraiseuse 2 C.E. avec l'ordinateur

On fait l'assemblage (Figure II.20) des divers éléments afin de pouvoir piloter la microfraiseuse de la façon suivante :

- 1- La carte d'interface est installée dans l'ordinateur ;
- 2- Reliez la nappe de connexion à la fraiseuse ;
- 3- Relier la nappe à l'ordinateur (carte d'interface) ;
- 4- Alimentez la microfraiseuse.

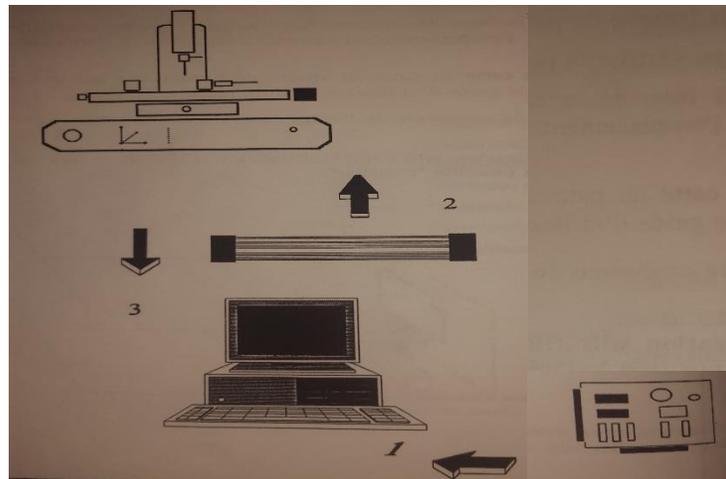


Figure II. 20 : Montage de la machine avec l'ordinateur [13].

7.3 Logiciel 3AXESVGA [12]

3AXESVGA est un logiciel 3 axes destiné au perçage, à la gravure, au fraisage et à l'usinage 3 dimensions en général. Il permet à partir d'un dessin technique coté de reprendre celui-ci au clavier, de le voir se dessiner puis usiner en trois dimensions.

Le logiciel ne doit être lancé qu'à partir de MS-DOS et non à partir de Windows.

8 Diagnostic de la microfraiseuse 2 C.E. Jeulin

Cette microfraiseuse n'a pas fonctionné depuis 1996 à cause de plusieurs pannes dans la partie opérative et la partie commande.

Des investigations ont été menées afin de :

- Détecter les pannes.
- Analyser les causes.
- Classifier les défaillances
- Discuter la possibilité de réparation, ou procéder à une étape de rénovation.

Après diagnostic, on a trouvé que cette machine a plusieurs pannes dans les deux parties :

1. Partie opérative :

- Vérins
- Broche

2. Partie commande :

- Carte de commande
- Arrêt de programme
- Capteurs de fin de course
- Système d'exploitation
- Logiciel de pilotage

9 Conclusion

Dans ce chapitre on a représenté la machine comme elle a été conçue par le constructeur. La partie mécanique opérative et la partie contrôle de pilotage qui inclue deux sous parties électronique et informatique ont été présentées et illustrées par des figures. Le chapitre s'achève par un diagnostic de défaillance qui a dévoilé plusieurs problèmes qui ont mis la machine hors service depuis 1996.

**Chapitre III : analyse
fonctionnelle de la
microfraiseuse 2 C.E.
Jeulin**

1 Introduction

Dans ce chapitre, nous effectuons une analyse fonctionnelle pour trouver les fonctions fournies par la microfraiseuse afin de répondre aux besoins et à la caractérisation des utilisateurs en respectant le développement actuel technologique en matériel informatique et en logiciel de pilotage des machines CNC.

2 Définition d'analyse fonctionnelle [18]

Elle permet de définir un système par les fonctions qu'il doit exécuter assurer mais aussi par les fonctions qu'il va subir (contraintes).

Elle est l'outil indispensable pour déterminer les besoins des utilisateurs. L'analyse fonctionnelle est une démarche qui consiste à :

- Rechercher : identifier et déterminer les fonctions du produit.
- Ordonner : distinguer les différentes fonctions.
- Caractériser : indiquer les critères d'évaluation de ces fonctions.
- Prioriser : évaluer par ordre d'importance les fonctions sélectionnées.
- Valoriser : donner une valeur à chaque fonction.

L'analyse fonctionnelle est divisée en deux parties analyse fonctionnelle interne et externe :

1. Analyse fonctionnelle interne :

Un produit peut être considéré comme le support matériel d'un certain nombre de fonctions techniques.

L'analyse fonctionnelle interne d'un produit dégage chaque fonction technique permettant d'assurer les fonctions de service et permet la matérialisation des concepts de solutions techniques. C'est le point de vue du concepteur.

Ce type d'analyse consiste à rechercher les fonctions techniques, les solutions optimales et les composants qui doivent satisfaire une fonction de service.

2. Analyse fonctionnelle externe :

L'analyse fonctionnelle externe a pour but d'identifier toutes les fonctions qu'un produit doit remplir pour répondre à un besoin. Ces fonctions sont appelées fonctions de service. L'analyse fonctionnelle est l'outil essentiel pour déterminer les besoins des utilisateurs.

3 Méthode application aux techniques d'entreprise [18]

La méthode application aux techniques d'entreprise (APTE) est une méthode universelle de gestion de projet. C'est la première phase de conception menant à la publication du cahier des charges fonctionnel "CDCF".

a. C'est une méthode qui permet d'identifier les fonctions de service d'un produit dès le départ :

- De son environnement, de son cycle de vie
- b. Le produit interagit avec son environnement dans lequel il doit être adapté :
- L'identification des interactions met en évidence : les principales fonctions.
- L'identification des adaptations met en évidence : les fonctions contraintes.

4 Bête a cône

C'est la première étape de la méthode APTE. Son objectif est de représenter graphiquement l'expression du besoin à travers trois questions simples autour du sujet étudié :

- A qui le produit rend-il service ?
- Sur quoi le produit agit-il ?
- Dans quel but ?

On représente le diagramme de bête a cône de la MICROFRAISEUSE 2 C.E. par la figure –III.1- [18].

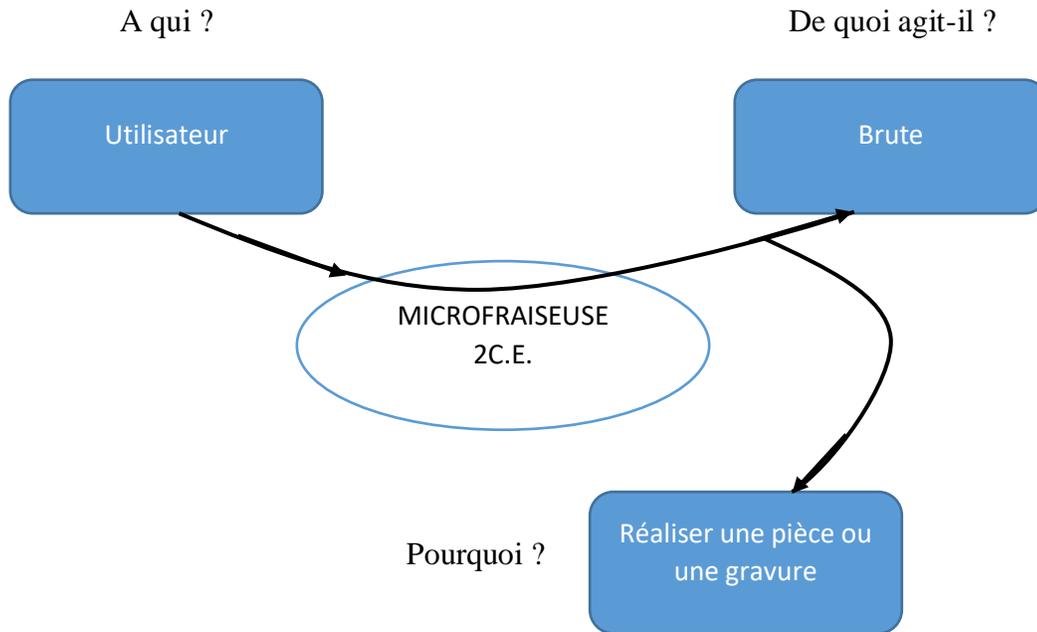


Figure III. 1 : Diagramme de bête à cône de la MICROFRAISEUSE 2 C.E.

5 Diagramme de pieuvre

Diagramme des interacteurs « Pieuvre » qui identifier les EME (Éléments du Milieu Extérieur) Il faut décrire l'environnement du produit.

1. Les fonctions de service

Les fonctions de service constituent une relation entre le système et le milieu extérieur, elles traduisent l'action attendue ou réalisée par le produit pour répondre à un élément du besoin d'un utilisateur donné. Il faut souvent plusieurs fonctions de service pour répondre à un besoin. Dans une étude donnée, leur énumération et leur formulation qualitative et quantitative résultent de l'analyse du besoin à satisfaire et le décrivent d'une manière nécessaire et suffisante.

Il existe deux types de fonctions de service:

- Les fonctions principales (FP) : correspondant au service rendu par le système pour répondre aux besoins.
- Les fonctions contraintes (FC) : traduisant des réactions, des résistances ou des adaptations à des éléments du milieu extérieur.

La figure –III.2- représente le diagramme de pieuvre pour la microfraiseuse [18].

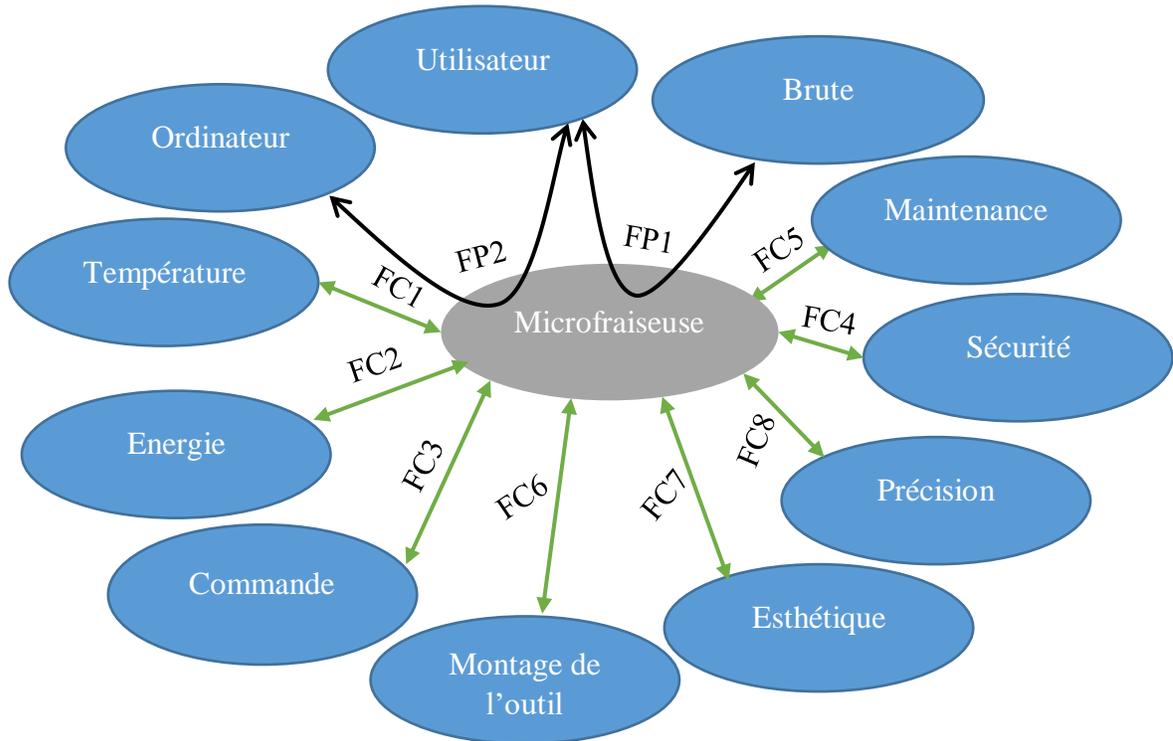


Figure III. 2 : Diagramme de pieuvre pour la MICROFRAISEUSE.

2. Fonctions techniques :

Les fonctions techniques sont internes au produit, elles sont choisies par le constructeur dans le cadre d'une solution, pour assurer une fonction de service [18].

Nos fonctions de service sont :

FP1 : permet de réaliser une gravure ou une pièce par l'utilisateur.

FP2 : faciliter la communication entre l'utilisateur et l'ordinateur.

FC1 : utiliser un système de refroidissement pour diminuer la température élevée des composants électroniques.

FC2 : utiliser une énergie électrique.

FC3 : utiliser des logiciels pour commander le système.

FC4 : respecter les normes de sécurité.

FC5 : faciliter la maintenance, le montage et le démontage de la machine.

FC6 : faciliter le montage et le démontage de l'outil.

FC7 : être esthétique.

FC8 : permet d'usiner avec une précision élevée.

6 Diagramme FAST

Un diagramme FAST présente une traduction rigoureuse de chacune des fonctions de service en fonctions techniques, puis matériellement en solution constructive.

Il se construit de gauche à droite, dans une logique 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.

Il 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 [18].

On démontre le diagramme FAST de la MICROFRAISEUSE par la figure suivante :

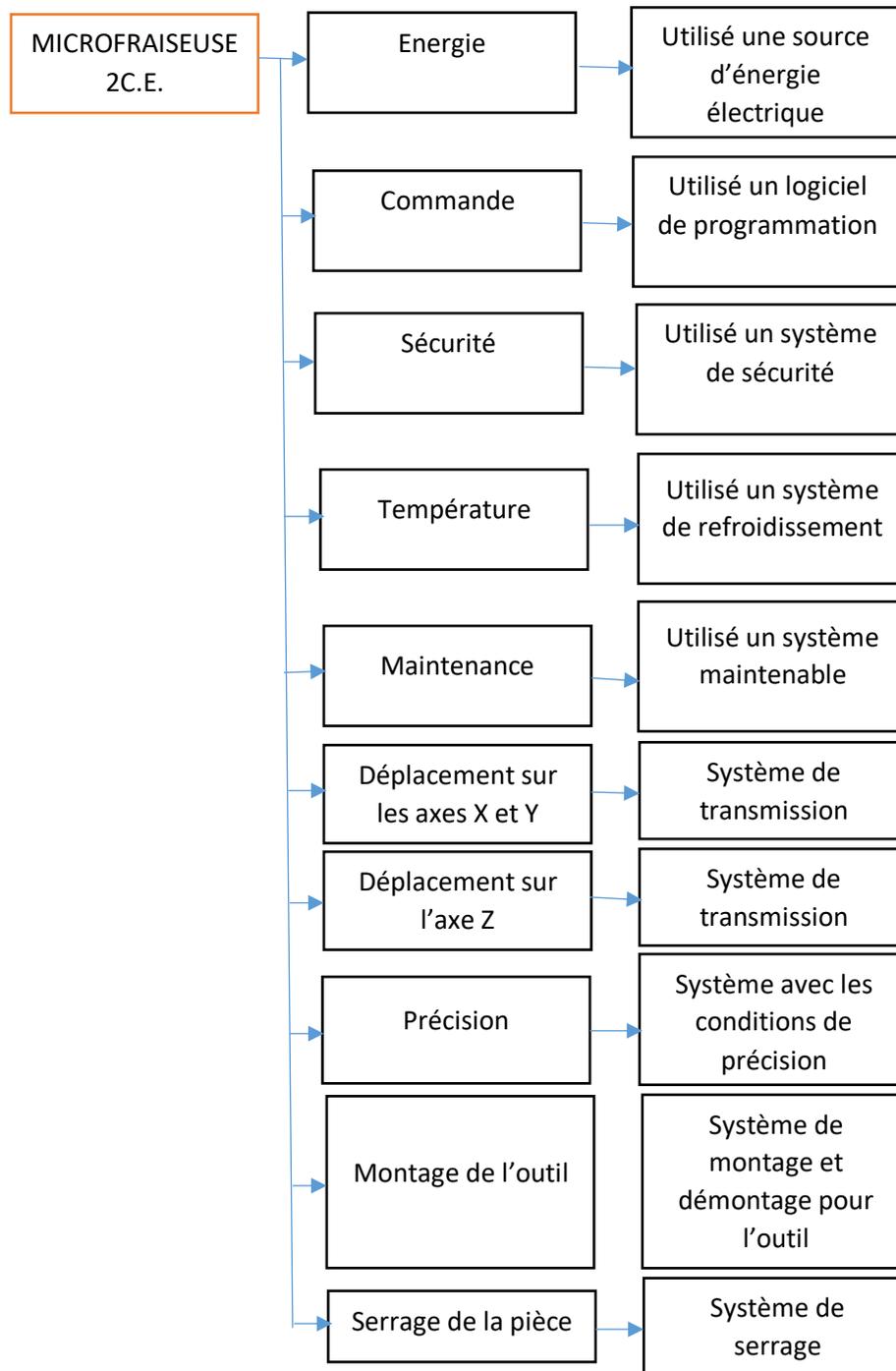


Figure III. 3 : Diagramme FAST de la MICROFRAISEUSE 2 C.E.

7 Cahier des charges fonctionnelles

On appelle CDCF, le document par lequel le demandeur exprime son besoin (ou celui qu'il est chargé de traduire) en terme de fonctions de service et de contraintes. Pour chacune des fonctions et contraintes, sont définis des critères d'appréciation et leurs niveaux. Chacun de ces niveaux est assorti d'une flexibilité.

Le CDCF s'occupe des fonctions de service du produit, des contraintes correspondantes et n'exprime aucune idée de technique et, il n'impose pas de solutions [18].

Le tableau –III.1- représente le CDCF de la microfraiseuse :

Repères	Fonction	Critère	Niveau
FP1	Permet de réaliser une gravure ou usiner un brute	Déplacement	- X = 168, Y = 103, Z = 120
		Les outils	- outil de fraisage - outil de perçage - outil de gravure
FP2	Faciliter la communication	Câblage	- Câble USB
		Système d'exploitation	- Windows 10 - Windows 7 - MacOS
		Système électronique	- Carte ARDUINO UNO - Drivers TB6600
FC1	Refroidit la partie électrique	Température	- Ventilateur de 12 V
FC2	Alimenter le système	Voltage	- courant alternative de 220V
FC3	Piloter le système	Logiciel	- ARDUINO - F-Engrave - Gcode sender
FC4	Sécuriser le système	Sécurité	- 6 capteur de fin de course - 2 capteur de fermeture de capot

			- Arrêt d'urgence - Capot
FC5	Utilisé des pièces standards	Maintenance	- Carte arduino UNO - Driver TB 6600 - Moteur pas à pas - Ventilateur
FC6	Permet de monté et démonté l'outil	Changement de l'outil	- Mandrin avec bouton de blocage
FC7	Etre esthétique	Forme	- doit être attractif
		Masse	- 38 Kg
FC8	Etre précis	Transmission	- Vis écrou avec tige filté de 2 mm et de diamètre 10 mm
		Guidage	- Des guidage cylindrique de diamètre 14 mm
		Moteurs	- Des moteurs pas à pas

Tableau III. 1 : Cahier des charges.

8 Conclusion

Après l'analyse fonctionnelle de la machine, nous avons rédigé le cahier des charges fonctionnel pour pouvoir démarrer la rénovation et ainsi la mise en service de la machine après une panne de plus de 20 ans.

Chapitre IV : réparation et rénovation

1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les étapes de rénovation de la microfraiseuse.

2 Réparation et rénovation

Cette tâche requière des changements de quelques composants de la machine, dans l'interface pc-machine, dans la carte de commande et par conséquent dans les systèmes, informatique de pilotage, d'alimentation, et de refroidissement.

2.1 Vérins :

La puissance délivrée par les vérins ne peut pas supporter le poids du capot et par conséquent il est recommandé de les remplacer.

2.2 Capteurs de fin de course :

Les capteurs de fin de course présentés dans le chapitre II (Figure II.15) sont ouverts par défaut ils sont remplacé par des capteurs de fin de course fermés par défaut pour jouent un rôle d'un interrupteur (Figure IV.1) en amont des drivers.

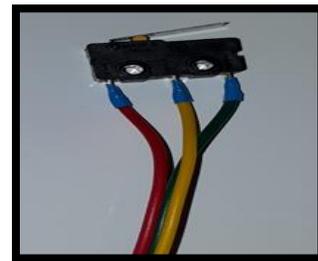


Figure IV. 1 : Capteur de fin de course.

2.3 La broche :

La broche de la machine (Figure II.15) de puissance 100 W requière une source d'énergie de voltage variable entre 12 et 18 V et un courant de 2.8 A, d'où l'utilisation de potentiomètre à résistance variable.

En effet la vitesse de la broche est contrôlée par un variateur de voltage (potentiomètre). Suite à une série de test cette partie de la machine a été défailante a cause du condensateur de 15000 μ F. La carte de commande qui contrôle la vitesse de la broche sera remplacées par un autre système de pilotage. Pour résoudre ce problème on a réalisé le schéma électrique suivant :

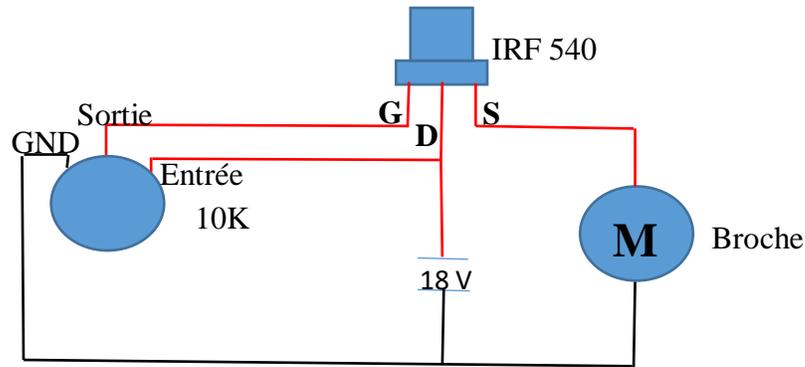


Figure IV. 2 : Schéma de variateur de vitesse.

Les composants de schéma sont les suivant :

- Transistor de type IRF 540 (Figure IV.3) :

Le transistor est un composant électronique qui est utilisé dans la plupart des circuits électroniques (circuits logiques, amplificateur, stabilisateur de tension, modulation de signal) aussi bien en basse qu'en haute tension. Dans notre schéma on utilise le transistor pour stabiliser la tension.

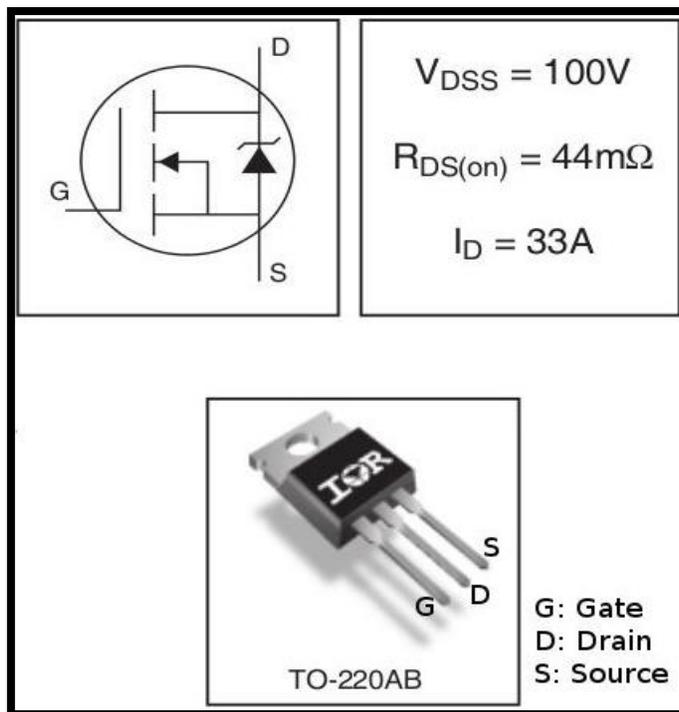


Figure IV. 3 : Transistor IRF 540.

V_{DSS} : max voltage supporté.

R_{DS} : résistance du transistor.

I_D : max ampérage supporté.

Le transistor dans le circuit engendre une quantité de chaleurs importante (58°C) donc un échauffement des fils et du circuit cela nous a mené a installé un refroidisseur à ailettes (Figure IV.4) ce qui à augmenter la surface de contact avec l'air et les échanges convectifs, et donc le transfert de chaleur. La figure IV.5 suivant présente la comparaison d'évolution de la température en fonction du temps avec et sans refroidisseur.

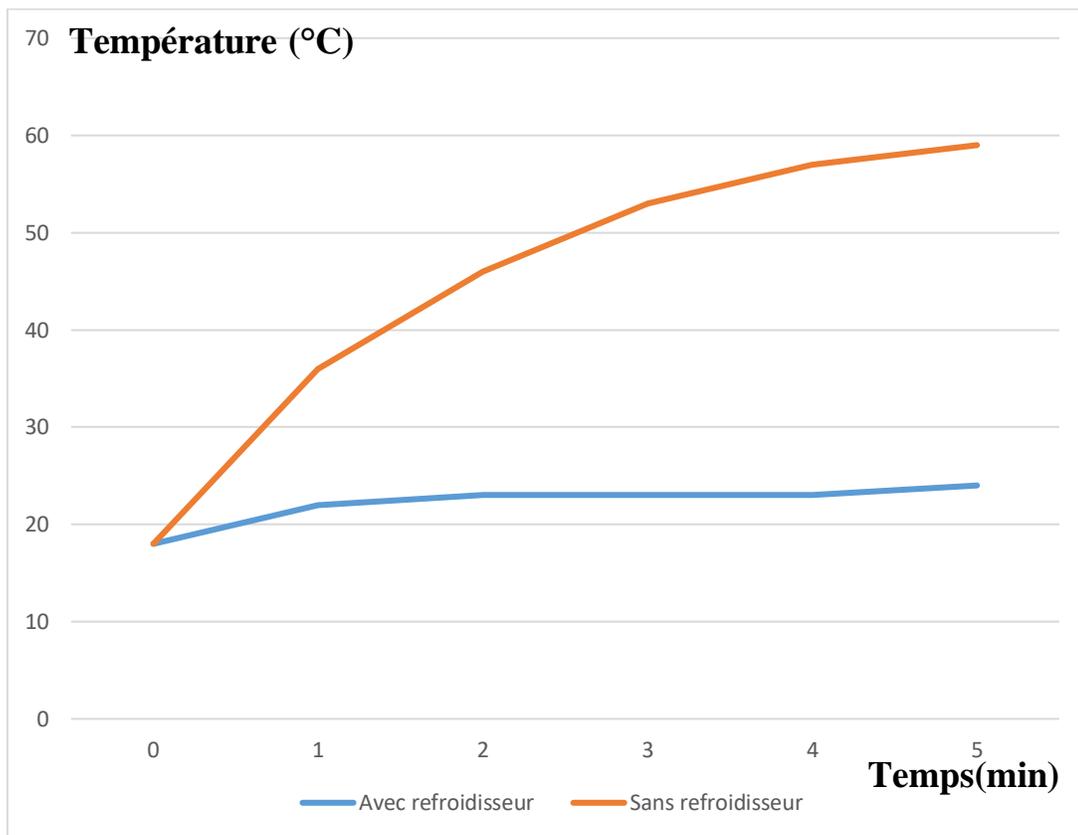


Figure IV. 4 : comparaison d'évolution de la température sans et avec refroidisseur.



Figure IV. 5 : Ailette placée avec transistor.

➤ Potentiomètre de 10 K Ω (Figure IV.6):

Un potentiomètre est un type de résistance variable à trois bornes, dont l'une est reliée à un curseur se déplaçant sur une piste résistive et terminée par les deux autres bornes. Dans notre Schéma on utilise le potentiomètre de 10 K Ω pour varie la tension qui entre dans la broche.

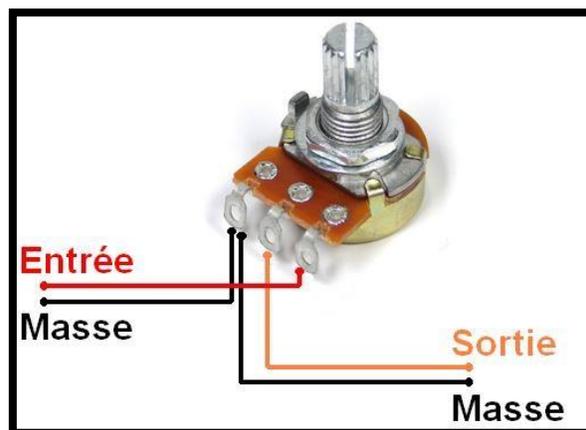


Figure IV. 6 : Potentiomètre de 10 K Ω .

2.4 Système d'alimentation

Le nouveau système de commande demande une grande modification pour alimenter les moteurs pas à pas, ventilateur de refroidissement et la broche.

1. les moteurs pas à pas :

On a trois moteurs pas à pas dans la machine qui contrôle les axes X, Y et Z, pour alimenter ces trois moteurs on a besoin d'une source de courant continue avec un voltage de 12V et ampérage supérieur à 5.4 A. Comme solution, on a utilisé un transformateur de 220-12V et de 6A en sortie avec adaptateur (figure IV.8) en entrée pour alimenter les moteurs (voir figure IV.7).



Figure IV. 7 : Transformateur.



Figure IV. 8 : Adaptateur.

2.5 Refroidissement du nouveau système de commande :

Le nouveau système d'alimentation et de commande conçu à partir de trois drivers et une carte « arduino » nécessite du refroidissement. Pour ça on a utilisé un ventilateur pour refroidir cette partie. Le ventilateur (Figure IV.9) requière 10 V et comme source d'énergie on va utiliser la source de 10 V existante.



Figure IV. 9 : Ventilateur.

2.6 Système de commande

Le système de commande de la machine contient deux parties principales électronique et informatique (les logiciels):

2.6.1 Partie électronique

C'est la partie qui contient les différentes composantes électroniques de la machine.

2.6.1.1 Carte d'acquisition :

La carte d'acquisition présentée dans le chapitre II (Figure II.19) est une interface entre l'ordinateur et la carte de commande. Elle est installée dans un port ISA (Figure IV.10) c'est un port ancien dans les unités centrales il n'existe pas dans les ordinateurs actuels.

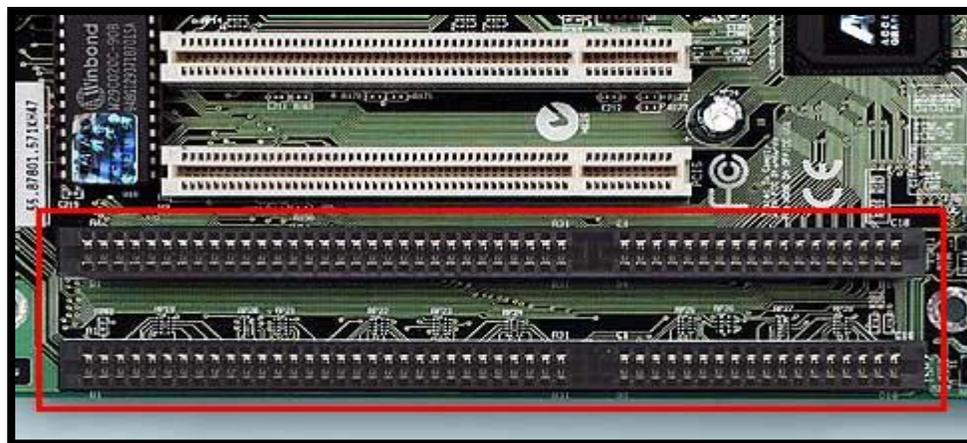


Figure IV. 10 : Port ISA.

2.6.1.2 Carte de commande :

La carte de commande (Figure IV.11) c'est la carte qui piloté la machine (moteurs pas à pas, la broche, les capteurs de fin de course, ...). Elle est reliée par une nappe de 25 points à la carte d'acquisition. On a remplacé cette carte de commande et la carte d'acquisition par des drivers (TB 6600) et une carte arduino (UNO).

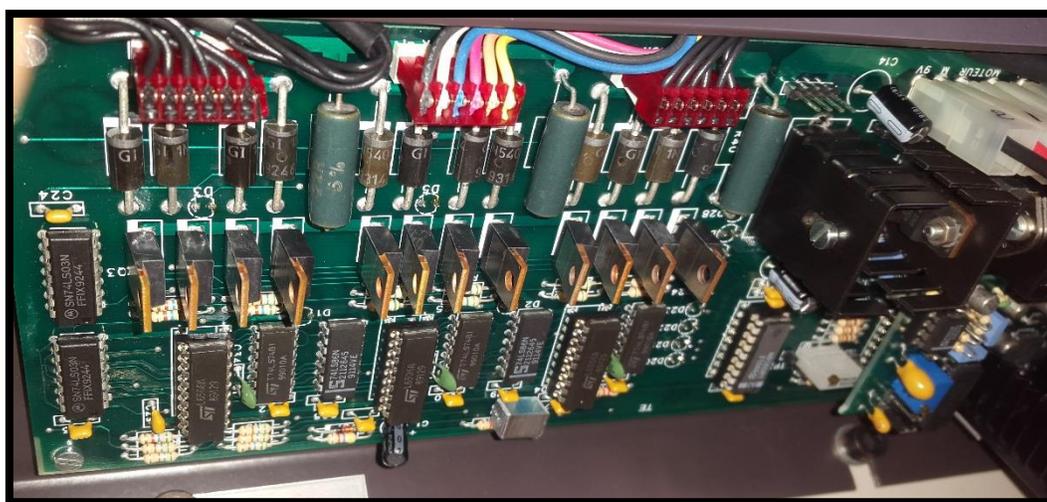


Figure IV. 11 : Carte de commande.

2.6.1.3 Carte ARDUINO UNO :

Sorti en 2005 comme un modeste outil pour les étudiants de Massimo Banzi à l'Interaction Design Institute d'Ivrea (IDII) dans le Piémont (Italie), Arduino a initié une révolution dans l'électronique à l'échelle mondiale : Arduino est devenu le projet le plus influent de son époque dans le monde du matériel libre [20].

Une carte Arduino (figure IV.12) est une petite (5,33 x 6,85 cm) carte électronique équipée d'un micro-contrôleur. Le micro-contrôleur permet, à partir d'événements détectés par des capteurs, de programmer et commander des actionneurs ; la carte Arduino est donc une interface programmable [20].

- Les avantages de ce choix :
 - ✓ Il existe plusieurs modèles de cartes Arduino mais le modèle UNO est le plus répandu et vous permet déjà un large éventail de possibilités.
 - ✓ L'Arduino UNO dispose de caractéristiques techniques suffisantes pour bien commencer dans la programmation : 14 entrées/sorties numériques, 6 entrées analogiques, une mémoire flash de 32 KB, un de SRAM 2 KB, un EPROM de 1 KB.
 - ✓ L'un des avantages indéniables de ce microcontrôleur est sa facilité d'utilisation qui fait qu'il est accessible à tous.
 - ✓ La carte se connecte très facilement à un ordinateur via un câble USB fourni [19].

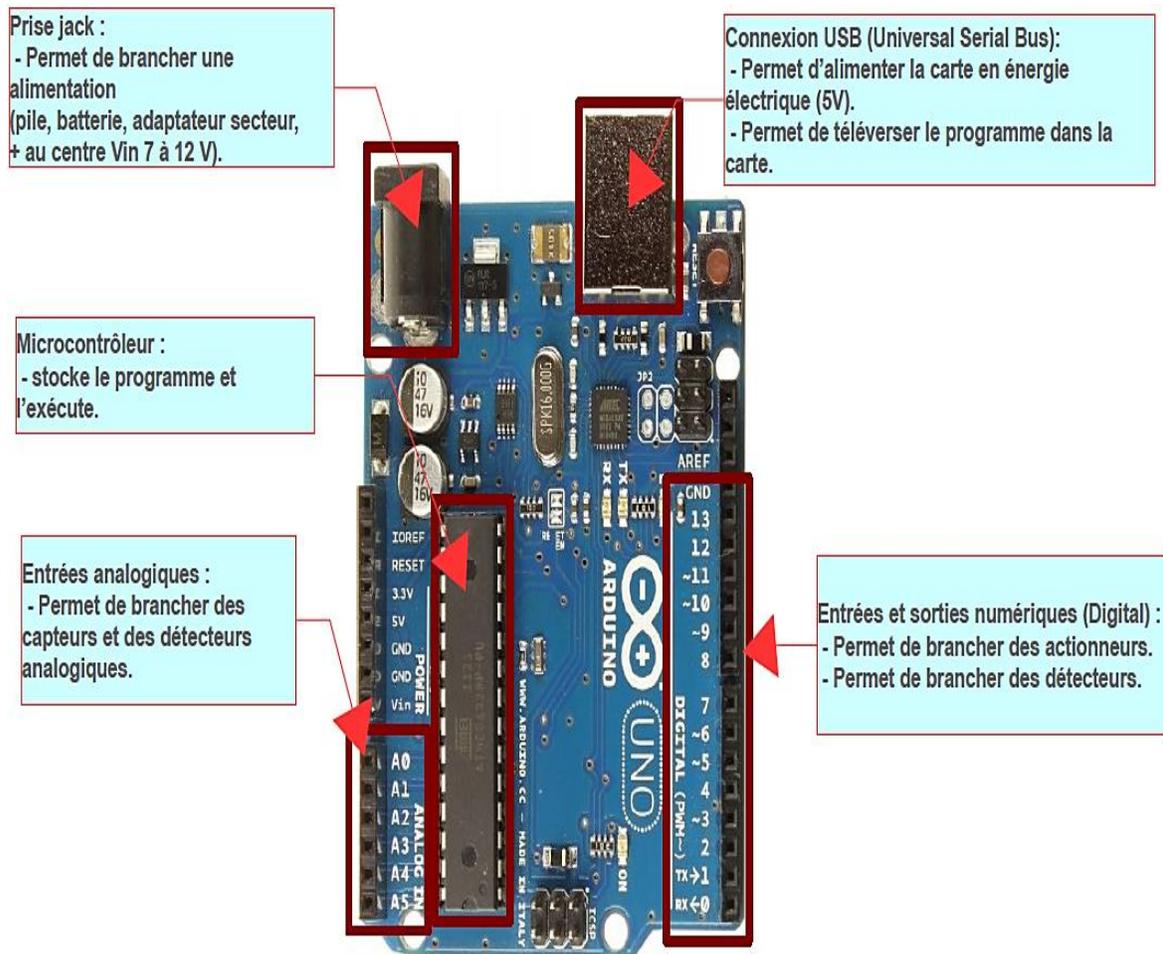


Figure IV. 12 : Carte ARDUINO UNO [20].

2.6.1.4 Drivers TB 6600 :

C'est un driver moteur pas à pas bipolaire professionnel (Figure IV.13). Il prend en charge le contrôle de la vitesse et de la direction. Vous pouvez régler son pas et son courant de sortie avec 6 interrupteurs. Il existe 7 types de micro-pas (1, 2 / A, 2 / B, 4, 8, 16, 32) et 8 types de contrôle de courant (0,5A, 1A, 1A, 1,5A, 2A, 2,5A, 2,5A, 2,8A, 3,0A, 3,5A) en tout. Et tous les terminaux de signaux adoptent l'isolation par photocoupleur à grande vitesse, ce qui améliore sa capacité d'interférence anti-haute fréquence [21].

- Les avantages de ce choix :
 - ✓ Supporte 8 types de contrôle de courant ;
 - ✓ Les interfaces adoptent l'isolation de photocoupleur à grande vitesse ;
 - ✓ Refroidisseur de grande surface (les ailettes) ;

- ✓ Capacité d'interférence anti-haute fréquence ;
- ✓ Protection contre la surchauffe et le court-circuit.

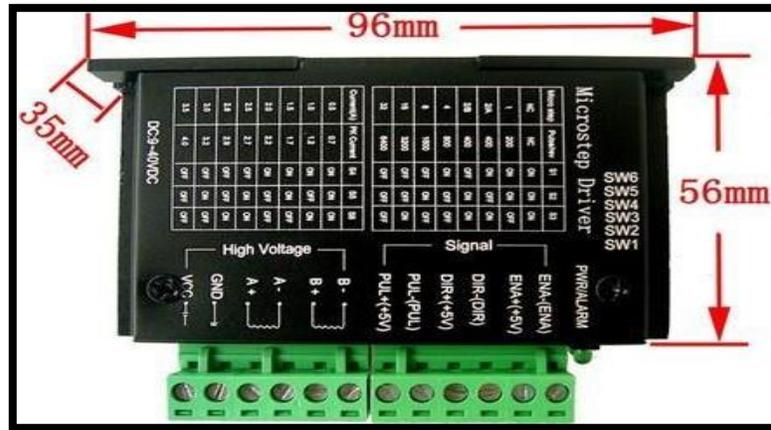


Figure IV. 13 : Driver TB6600.

- Les caractéristiques de TB6600 [21] :
 - ✓ Courant d'entrée : entre 0 A et 5 A
 - ✓ Courant de sortie : entre 0.5 A et 5 A
 - ✓ Puissance (MAX) : 160 W
 - ✓ Température : entre -10°C et 45°C
 - ✓ Poids : 0.2 Kg
 - ✓ Dimension : 96*56*35 mm

Le driver supporte des moteurs pas à pas bipolaire (4 fils) et nos moteurs sont unipolaires (6 fils). Cet effet nous a ramené à l'élimination de deux fils. Une série de test a été menée afin de faire le bon choix d'élimination (figure IV.14).

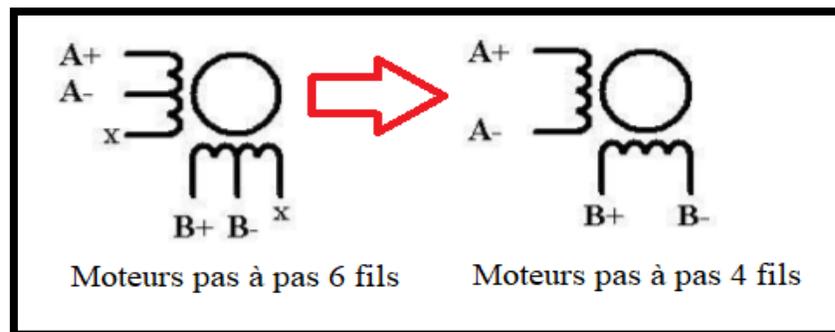


Figure IV. 14 : Modification de moteur pas à pas.

➤ Réglage de micro-pas :

Le micro-pas est une méthode de commande des moteurs pas à pas, généralement utilisée pour obtenir une résolution plus élevée ou des mouvements plus fluides à basse vitesse. Le tableau IV.1 représente le driver micro-pas et notre choix en vert.

Micro-pas	Puls/tour	S1	S2	S3
NC	NC	ON	ON	ON
1	200	ON	ON	OFF
2/A	400	ON	OFF	ON
2/B	400	OFF	ON	ON
4	800	ON	OFF	OFF
8	1600	OFF	OC	OFF
16	3200	OFF	OFF	ON
32	6400	OFF	OFF	OFF

Tableau IV. 1 : Les choix de micro-pas.

➤ Réglage de courant :

Les moteurs pas à pas supporté au max un ampérage de 1.8 A on prend le choix de 1.5 A et on mettre les interrupteurs S4 et S5 en ON voir le tableau IV.2 et la figure IV.15.

Courant (A)	S4	S5	S6
0.5	ON	ON	ON
1.0	ON	OFF	ON
1.5	ON	ON	OFF
2.0	ON	OFF	OFF
2.5	OFF	ON	ON
2.8	OFF	OFF	ON
3.0	OFF	ON	OFF
3.5	OFF	OFF	OFF

Tableau IV. 2 : Les choix de courant à la sortie.



Figure IV. 15 : Interrupteurs de choix.

➤ Schéma de câblage :

La figure IV.16 représente un schéma de câblage de driver TB6600 avec un moteur pas à pas et une carte ARDUINO UNO :

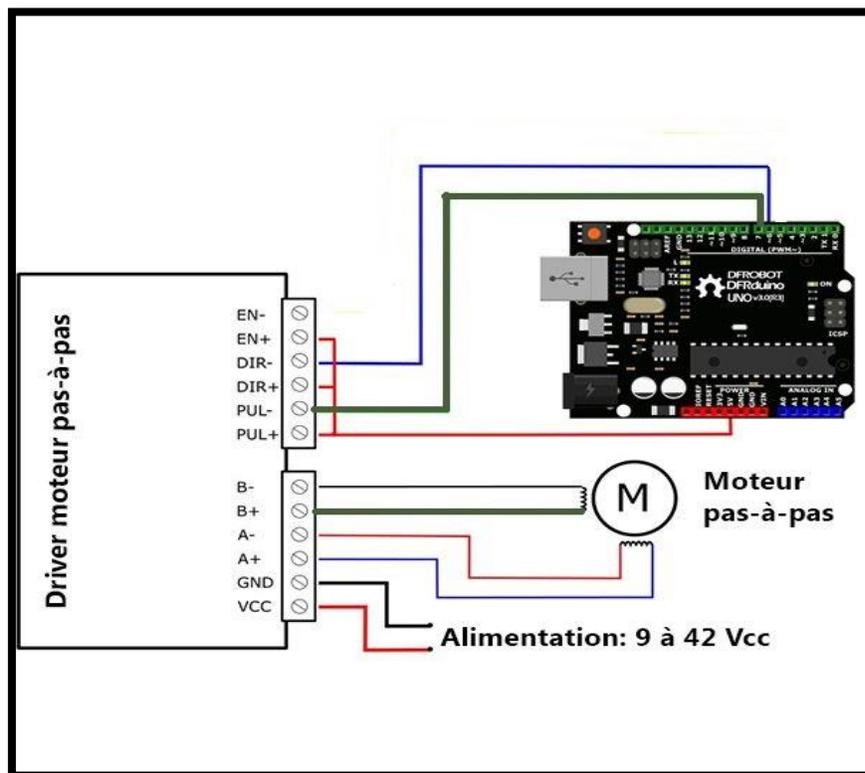


Figure IV. 16 : Schéma de câblage.

La figure IV.17 représente le câblage de driver avec le moteur pas à pas de l'axe X :

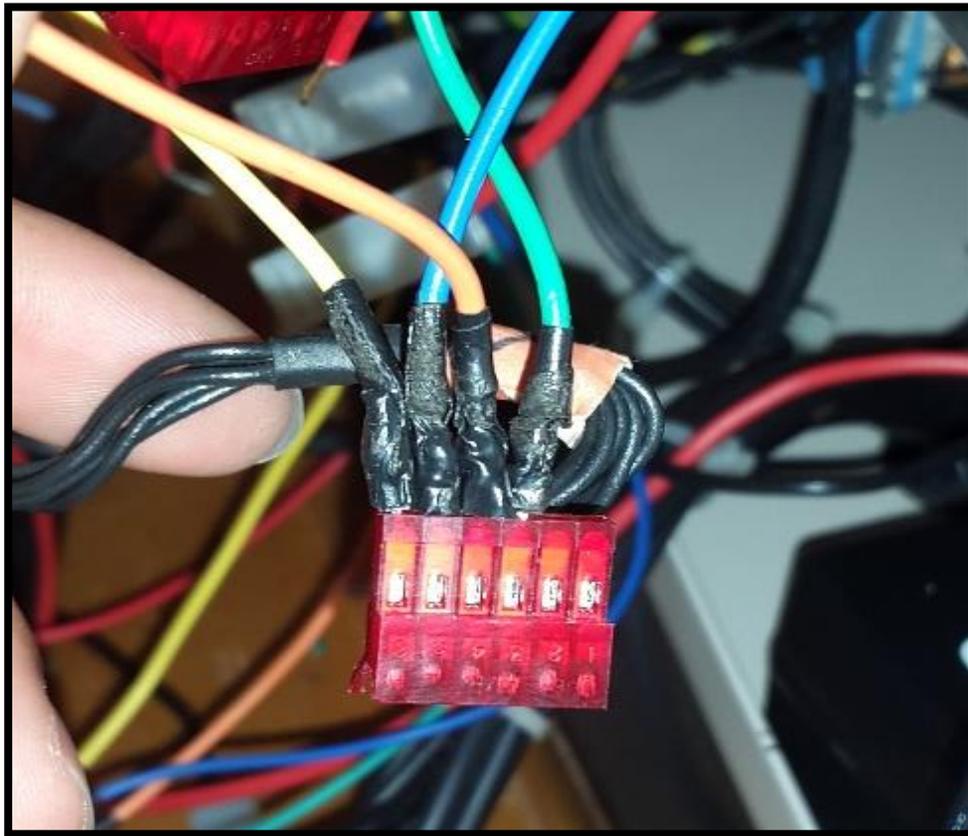


Figure IV. 17 : Câblage de driver de moteurs pas à pas de l'axe.

2.6.1.5 Test de câblage de deux moteurs

On a réalisé un montage pour tester le câblage de deux moteurs pas à pas avec la carte ARDUINO UNO et deux Drivers TB6600 alimentés par un boîtier d'alimentation (12 V et 4 A). On a utilisé une plaque d'essai pour faciliter le câblage par des câbles Jumper.

La figure IV.18 représente le schéma de câblage de deux axes.

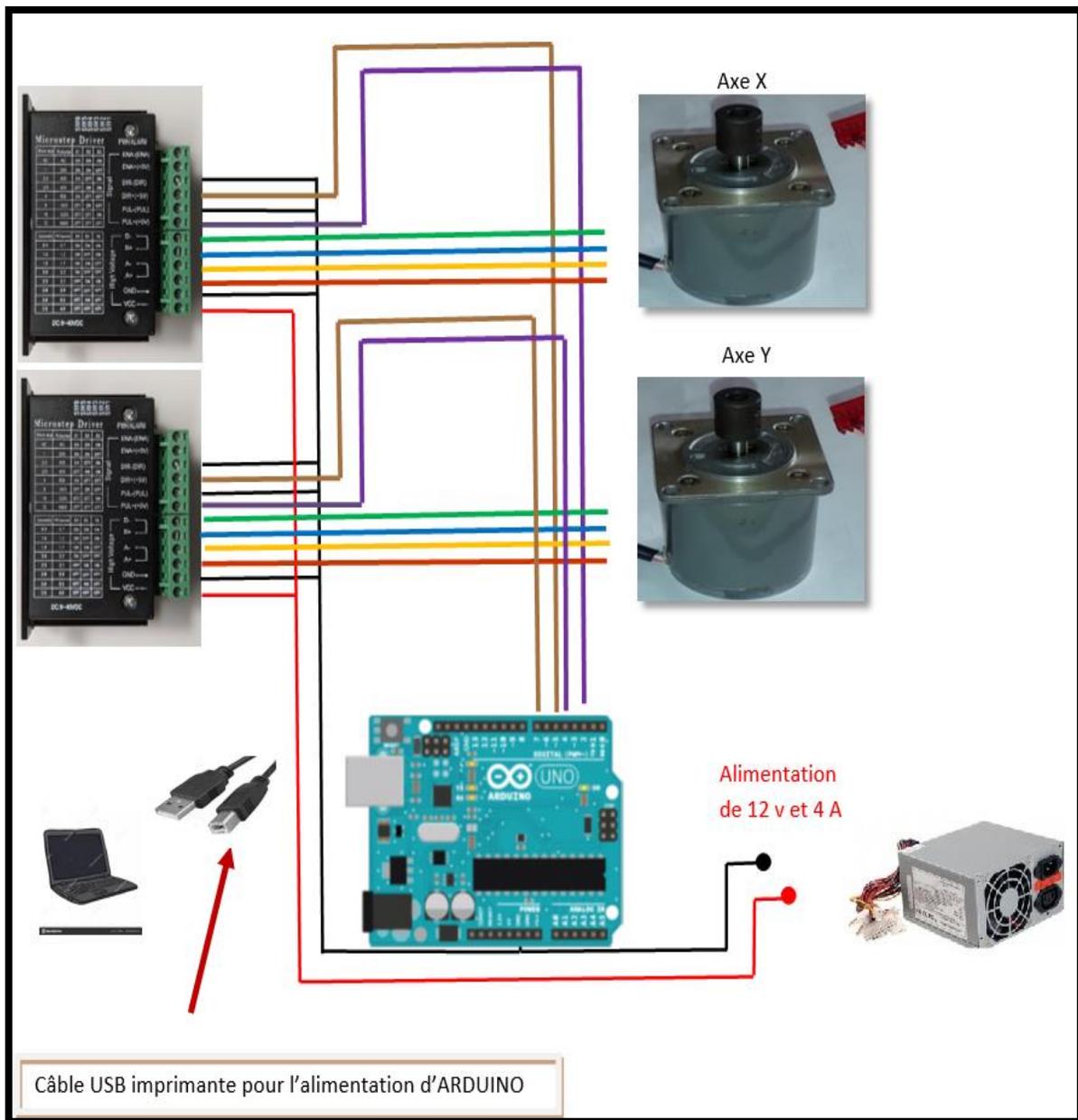


Figure IV. 18 : Schéma de câblage d'essai.

La figure IV.19 représente le câblage de deux moteurs obtenu après la réalisation de schéma précédent.

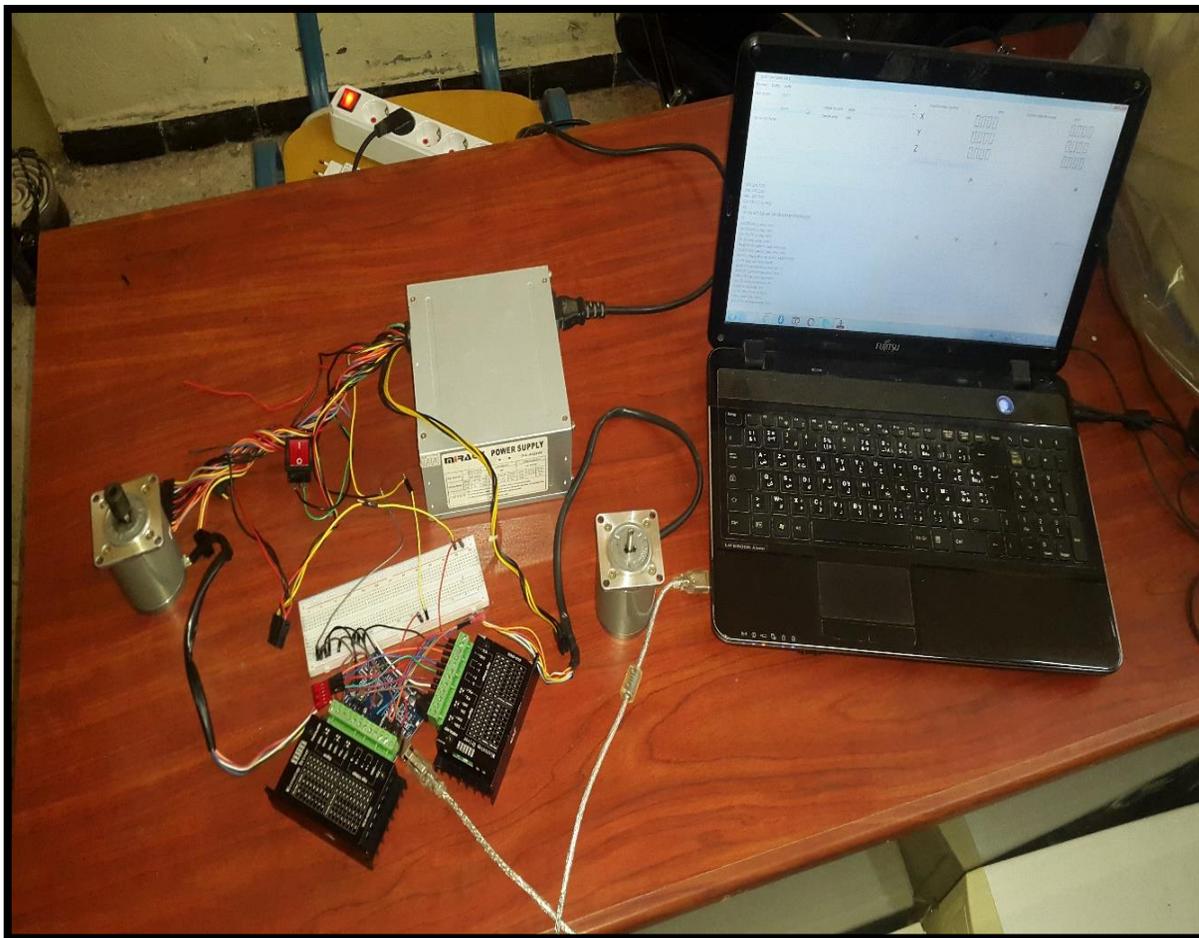


Figure IV. 19 : L'essai de câblage.

2.6.1.6 Câblage des trois moteurs de la microfraiseuse

Enfinement on a réalisé un montage des trois moteurs (Figure IV.21) qui commandent les trois axes de la machine. Ce montage contient : trois moteurs pas à pas, trois drivers TB6600, trois fin-de-course, une carte ARDUINO UNO, un potentiomètre variateur de vitesse de la broche. La figure IV.20 présente le schéma de câblage réalisé.

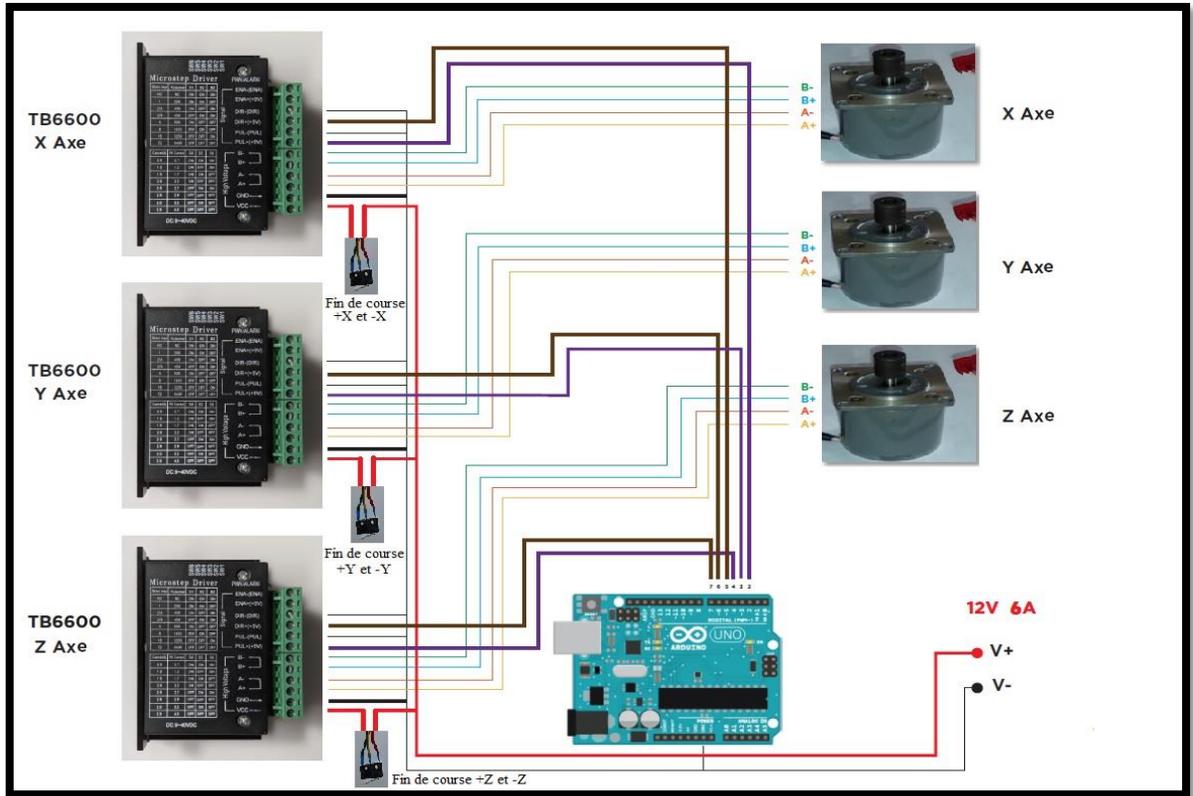


Figure IV. 20 : Schéma de câblage final.

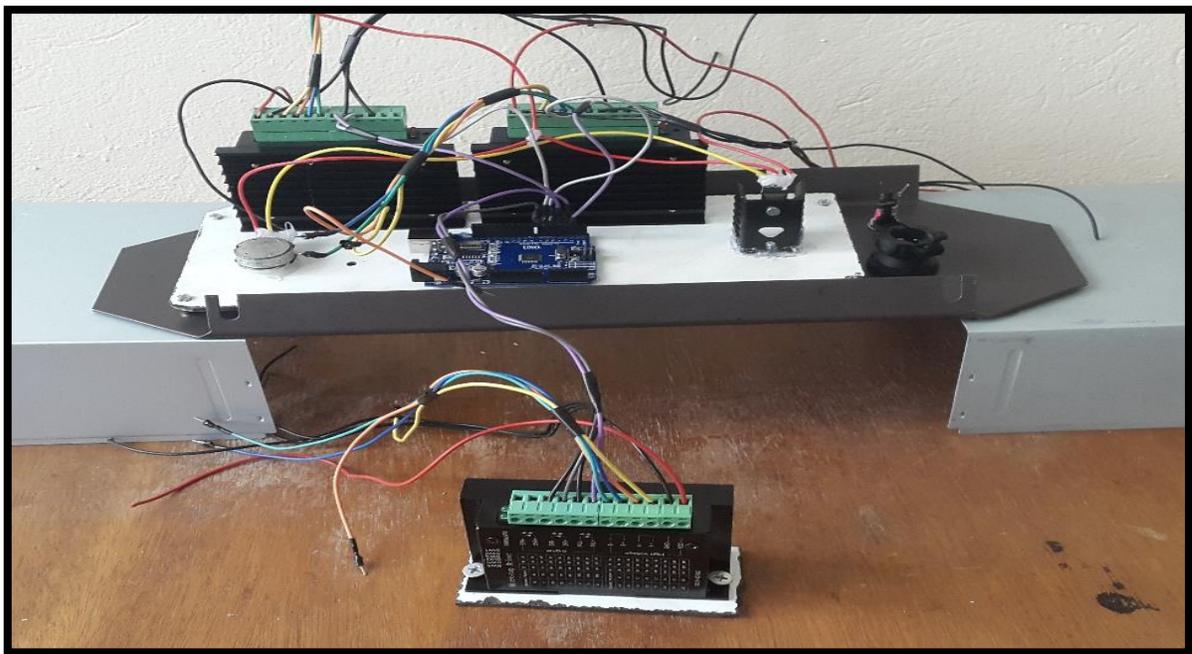


Figure IV. 21 : Réalisation finale.

2.6.2 Partie logiciel de commande

Le logiciel de commande 3AXESVGA est un outil informatique qui pilote la machine par la génération de code G (Chapitre II, page 41). Ce logiciel est fourni par le constructeur de la machine installé sur un ordinateur de pilotage avec les configurations suivantes :

- ✓ Micro-ordinateur de type AT avec un processeur (cpu) 80286 (plus ancien cpu qui n'existe pas actuellement) ;
- ✓ 640 Ko minimum de mémoire (RAM) ;
- ✓ Disque dur ;
- ✓ Ecran VGA monochrome ou couleur ;
- ✓ MS-DOS version 3, il existe uniquement dans le Windows 95 (plus ancien système d'exploitation) [12].

Comme conclusion ce logiciel est inexécutable sur n'importe quel PC actuel. De nouveaux logiciels de commande sont avec plus de versatilité et simplicité dans l'utilisation et qui exécute sur n'importe quel ordinateur avec n'importe quel système d'exploitation (Windows 10, Windows 7, ...).

La figure IV.22 représenté le chemin d'exécution des logiciels de commande.

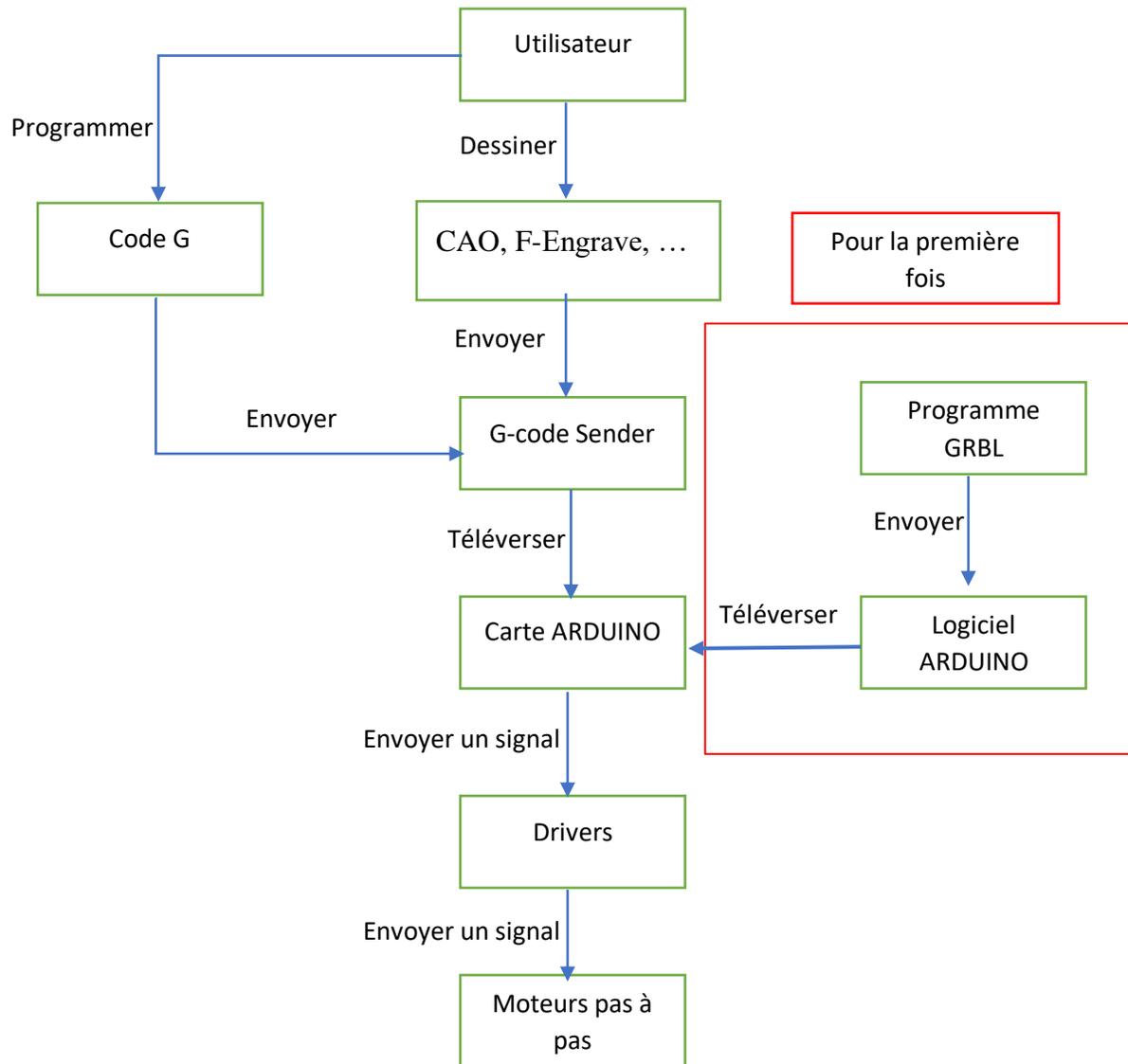


Figure IV. 22 : Chemin de la programmation.

2.6.2.1 Logiciel ARDUINO :

Arduino (Figure IV.24) est un espace de développement intégré qui vous permet 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, comme la domotique, par exemple [19].

1. Présentation de logiciel :

➤ Lancement du logiciel :

Le Lancement du logiciel s'effectue en double-clic sur l'icône avec le symbole "infinie" en vert (Figure IV.23). C'est l'exécutable du logiciel.

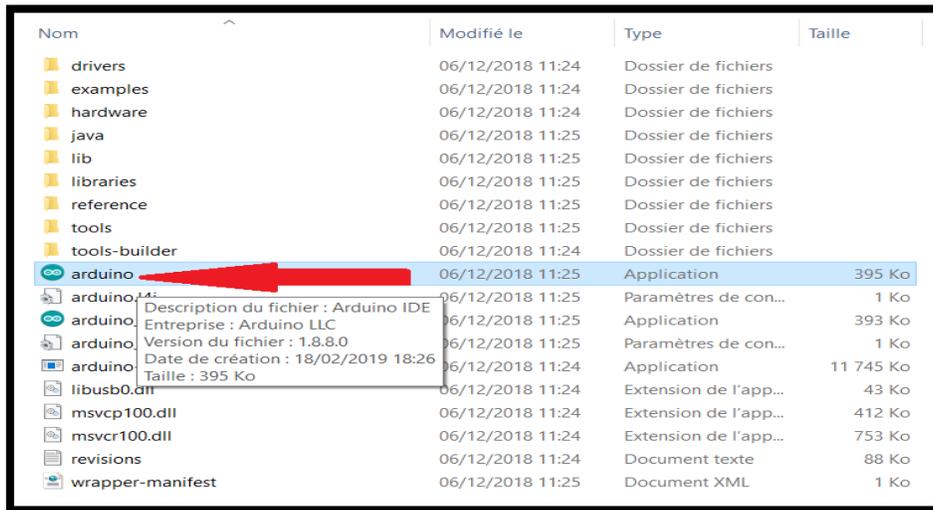


Figure IV. 23 : Exécutable du logiciel.

Après quelques secondes, le logiciel s'ouvre (Figure IV.24) et une fenêtre se présente.



Figure IV. 24 : Interface de logiciel ARDUINO.

Ce qui se présente en premier, c'est la clarté de présentation du logiciel. On voit tout de suite son interface intuitive. Voyons comment se compose cette interface.

➤ Présentation du logiciel :

La figure IV.25 représente les composants de logiciel.

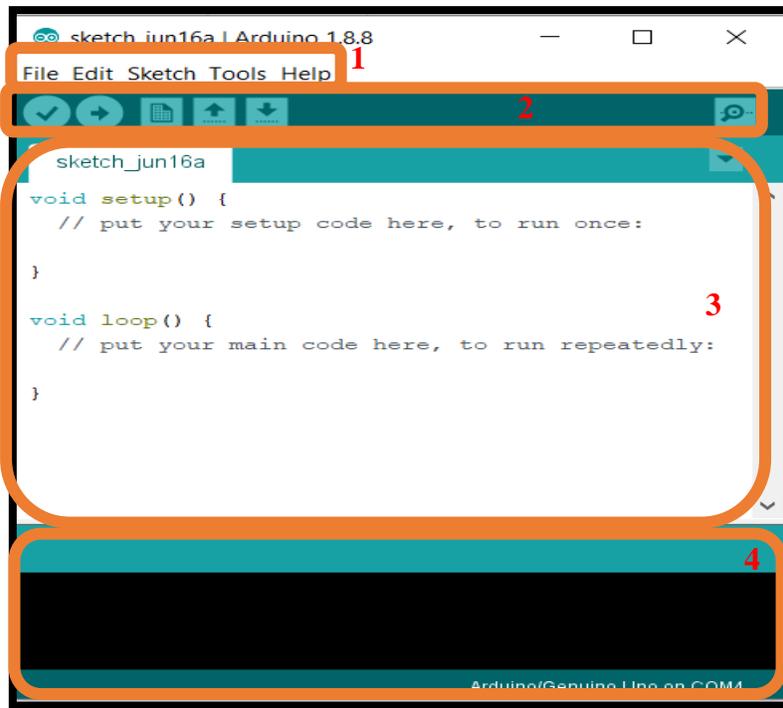


Figure IV. 25 : Composants de logiciel.

- ✓ Le cadre numéro 1 : ce sont les options de configuration du logiciel ;
 - ✓ Le cadre numéro 2 : il contient les boutons qui vont nous servir lorsque l'on va programmer nos cartes ;
 - ✓ Le cadre numéro 3 : ce bloc va contenir le programme que nous allons créer ;
 - ✓ Le cadre numéro 4 : celui-ci est important, car il va nous aider à corriger les fautes dans notre programme. C'est le débogueur.
- Les boutons dans le cadre 2 :

Voyons à présent à quoi servent les boutons, encadrés dans la figure 4



Figure IV. 26 : Les boutons de logiciel.

- ✓ Bouton 1 : Ce bouton permet de vérifier le programme, il actionne un module qui cherche les erreurs dans votre programme ;
- ✓ Bouton 2 : Charge (téléverse) le programme dans la carte Arduino ;
- ✓ Bouton 3 : Crée un nouveau fichier ;
- ✓ Bouton 4 : Ouvre un fichier ;
- ✓ Bouton 5 : Enregistre le fichier ;
- ✓ Bouton 6 : Ouvre le moniteur série.

2.6.2.2 GRBL :

GRBL est un logiciel “firmware”, exécuté sur un Arduino, qui analyse le G-Code reçu, construit un modèle mathématique des actions à effectuer, et exécute ces mouvements en envoyant un flot continu de pulsions haute fréquences aux moteurs pas à pas. Le seul petit détail, c’est que GRBL n’a aucune interface utilisateur, Il faut donc disposer d’un autre logiciel, exécuté sur une autre machine, en liaison avec Arduino, pour pouvoir interagir avec la machine. Il existe plusieurs de ces logiciels, par exemple GRBL Contrôleur [19].

3. Téléverse GRBL dans la carte ARDUINO :

- Sélectionner votre carte (Figure IV.27) : on aura besoin de sélectionner le type de carte à programmer via le menu Tools > Board > ARDUINO UNO pour sélectionner l’entrée correspondant à votre carte.

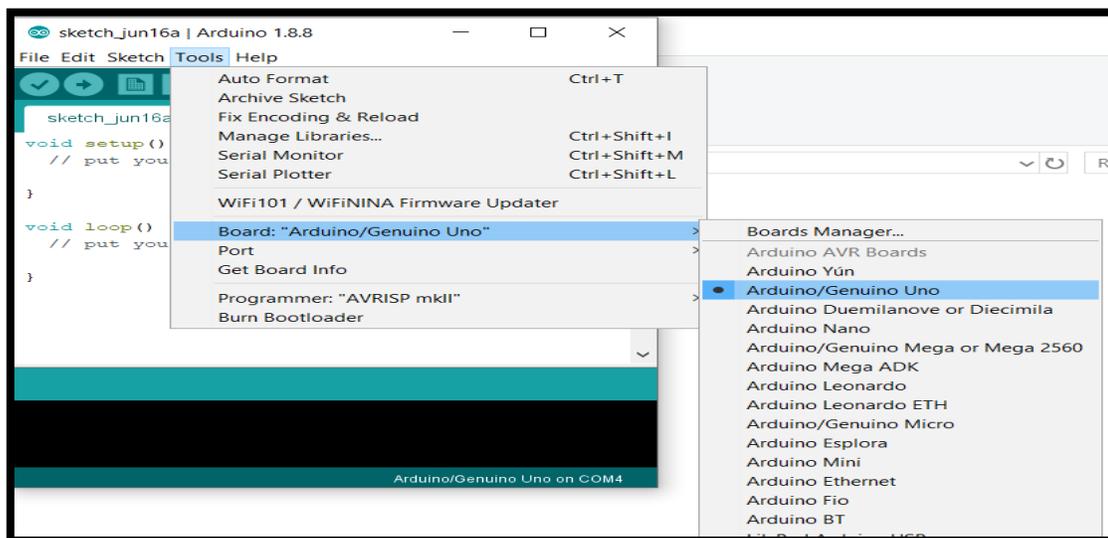


Figure IV. 27 : Sélection de la carte ARDUINO UNO.

- Sélectionner votre port série (Figure IV.28) : Sélectionner le port série sur lequel Arduino est branché. Il est réalisé par l'intermédiaire du menu Tools > Serial Ports. Cela doit être quelque-chose qui ressemble à COM3 ou supérieur (COM1 et COM2 sont habituellement réservés aux ports séries matériels). Pour savoir quel port est utilisé, il faut déconnecter la carte Arduino et ré-ouvrez le menu. L'entrée qui a disparu est celle correspondant à la carte Arduino. Reconnectez la carte et sélectionnez le port série.

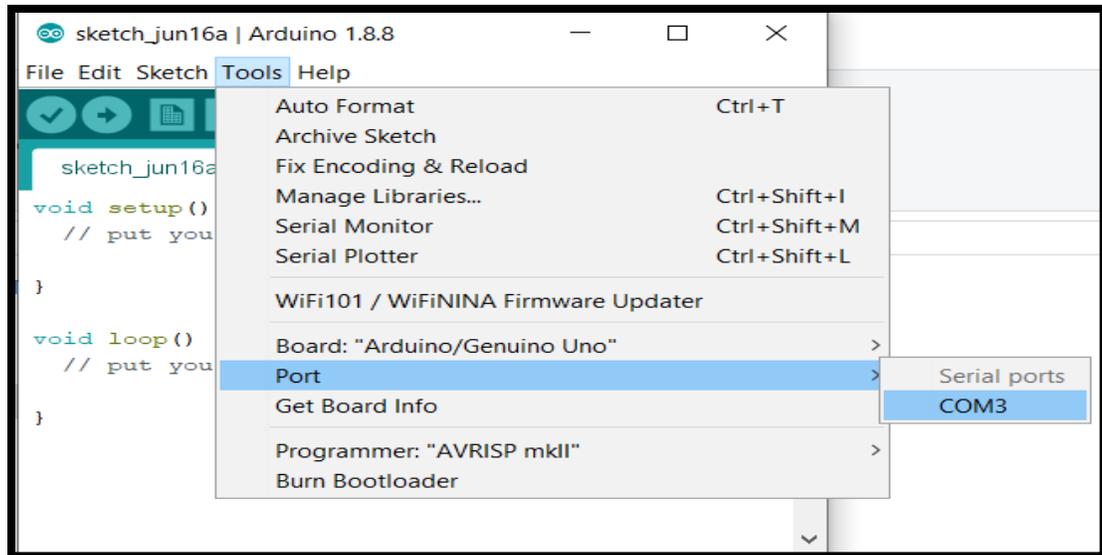


Figure IV. 28 : Sélection du port.

- Sélectionner le programme de GRBL (Figure IV.29) : on aura besoin de sélectionner le programme de grbl via le menu File > Examples > GRBL Arduino library master > GRBLtoARDUINO

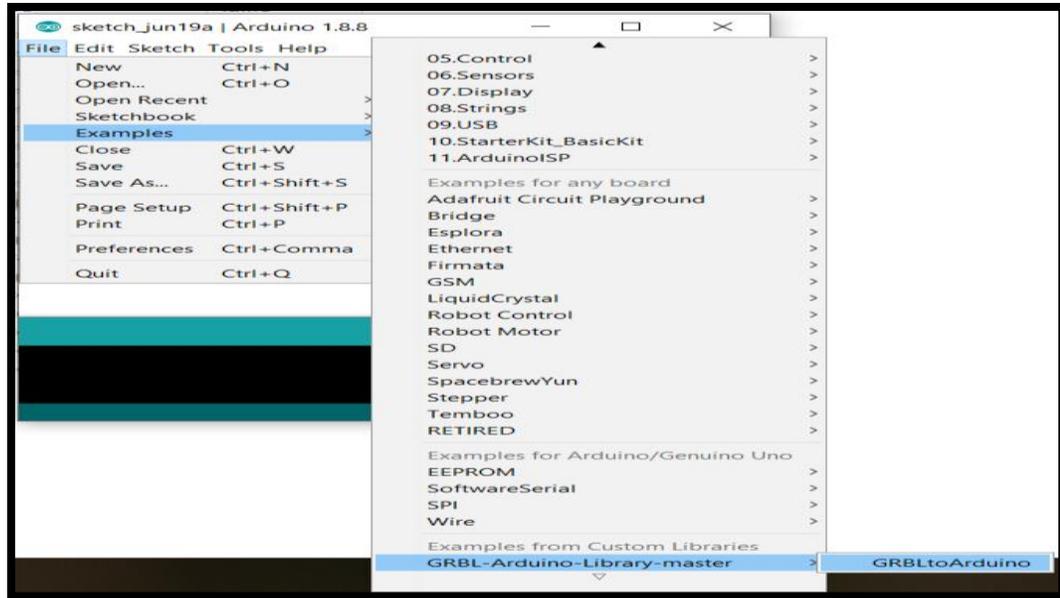


Figure IV. 29 : Sélection de GRBL programme.

- Chargement le programme dans la carte : quand l'interface de la figure IV.30 est aperçu cliquer sur téléversement.

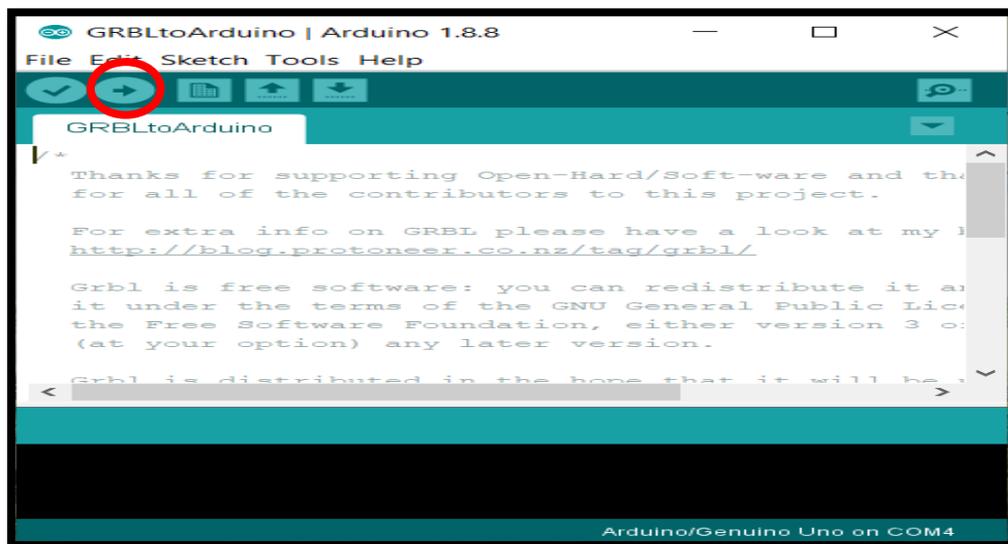


Figure IV. 30 : Chargement le programme dans la carte.

2.6.2.3 Universal Gcode sender :

C'est un logiciel intermédiaire entre le générateur de code G et l'arduino.

2.6.2.4 F-Engrave Generator :

F-Graver est une application qui permet de convertir un texte à un fichier g-code, offrant des options de mise en forme supplémentaires qui vous permettent de modifier l'apparence du texte. Il vous permet d'ajouter différents effets à un texte, l'exporter vers un fichier g-code.

L'une de ses caractéristiques est sa facilité d'utilisation, étant donné que l'interface se compose d'une seule fenêtre dans laquelle tous les outils de mise en forme sont affichés. La saisie de texte peut être saisie manuellement ou collée à partir du presse-papiers (texte multi-ligne est pris en charge), mais l'application peut également charger des images [22].

- Configurer le pas de moteur pas à pas (Figure IV.9):

Pour un mouvement plus précis, il est nécessaire de régler le pas du moteur pas à pas dans la fenêtre de configuration GRBL. Le pas calculer par la relation suivante :

$$\text{Pas par mm} = \frac{\text{Nbr de pas moteur} * \text{Nbr de micropas}}{\text{Pas de la vis}}$$

Nbr de pas moteur : 200 pas

Nbr de micro-pas : notre choix dans les driver si 32

Pas de la vis : 2 mm

$$\text{Pas par mm} = \frac{200 * 32}{2} = 3200$$

Pour une haute précision de déplacement on a choisi une résolution de 1/10 mm de déplacement et on a $3200 = 1 \text{ mm}$ donc $320 = 0.1 \text{ mm}$.

- La vitesse et accélération de moteur (Figure IV.31) :

Nous pouvons changer la vitesse de déplacement dans la fenêtre de GRBL configuration.

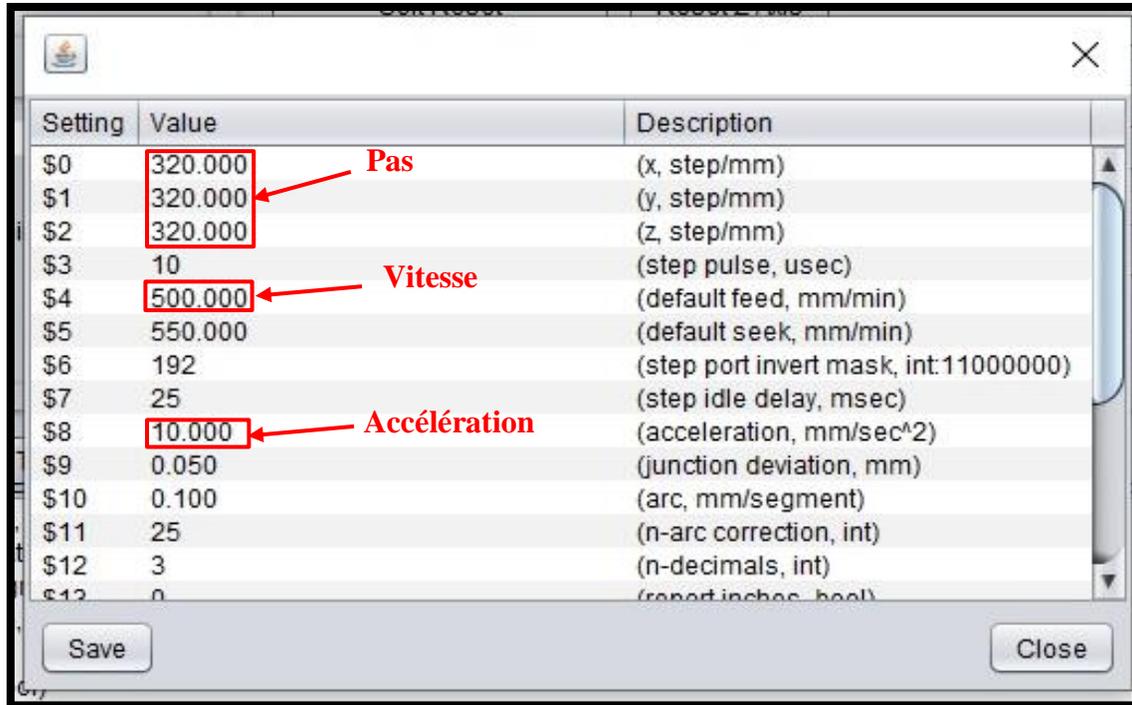


Figure IV. 31 : fenêtre de configuration.

3 Test

Pour tester la machine, nous avons réalisé des exemples de gravure avec F-Engrave et la méthode d'écriture manuelle du code G.

On a gravé deux rectangles (manuellement) et une lettre K (F-Engrave) les deux méthodes passent par les étapes suivants :

- ✓ Placer la plaque Forex de dimension 80*80
- ✓ Fermer le capot
- ✓ Régler l'origine (outil vers l'origine)
- ✓ Démarrer la broche
- ✓ Tangente l'outil avec la pièce
- ✓ Routeur de l'outil a une hauteur Z (G00)
- ✓ Injecter le programme (code G) dans G-code sender
- ✓ Le démarrage de l'usinage
- ✓ On attend l'usinage lorsque l'usinage est fini

- ✓ Ouvert le capot
- ✓ Démonteur la plaque Forex

3.1 Méthode de gravure manuelle

Dans cette méthode on a réalisé une gravure de deux rectangle de différentes dimensions utilisant uniquement le G-code sender, on a écrit les codes dans partie des commande (Figure IV.32) une à la fois.

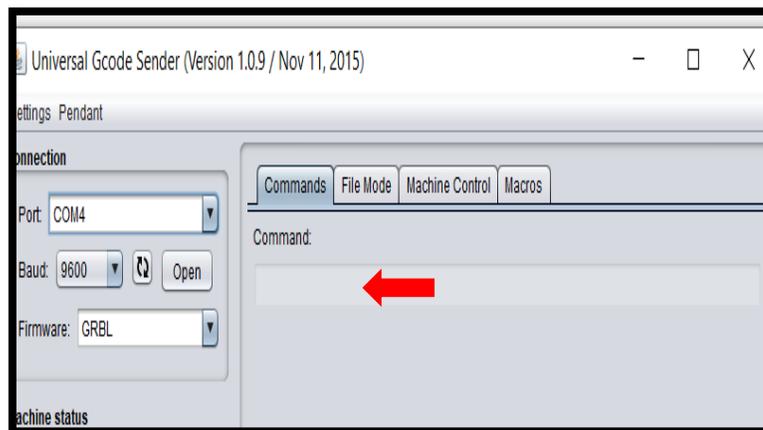


Figure IV. 32 : Case de commande.

➤ Les deux programme d'exemple :

Exemple 1 :	Exemple 2 :
G00 X150	G00 X400
G00 Y100	G00 Y300
G00 Z50	G00 Z50
G01 X200	G01 X500
G01 Y100	G01 Y350
G01 X-200	G01 X-500
G01 Y-100	G01 Y-350
G00 Z-50	G00 Z-50
G00 x-150	G00 Y-300
G00 y-100	G00 X-400

La figure suivante représenté l'exemple d'usinage :

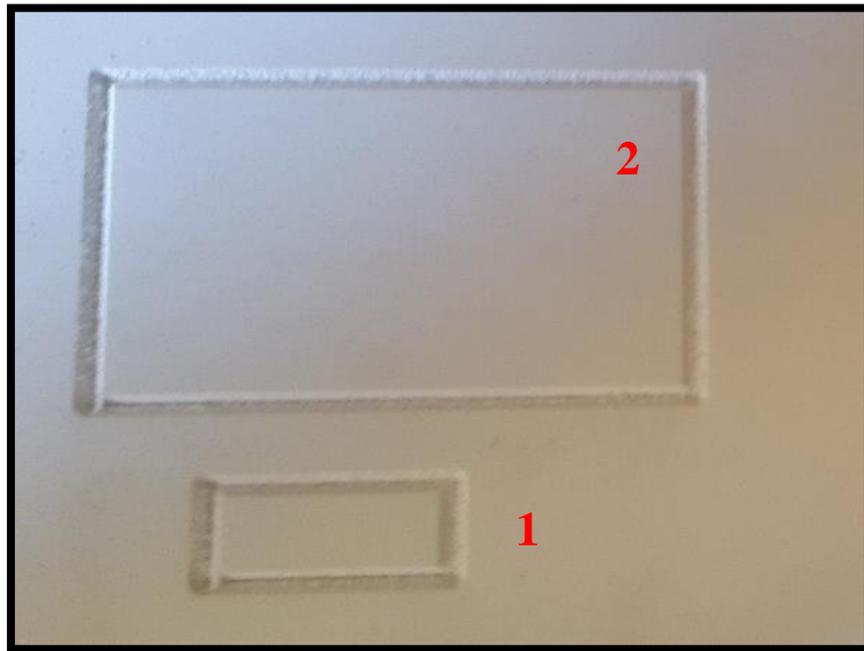


Figure IV. 33 : Exemple d'usinage.

3.2 Méthode de gravure avec F-Engrave

Dans cette méthode on a réalisé une lettre **K** par le logiciel F-Engrave par les étapes suivantes :

- Ecrire la lettre dans la case Input Text de logiciel et choisir la vitesse, déplacement de l'axe Z et les dimensions de lettre (Figure IV.34).

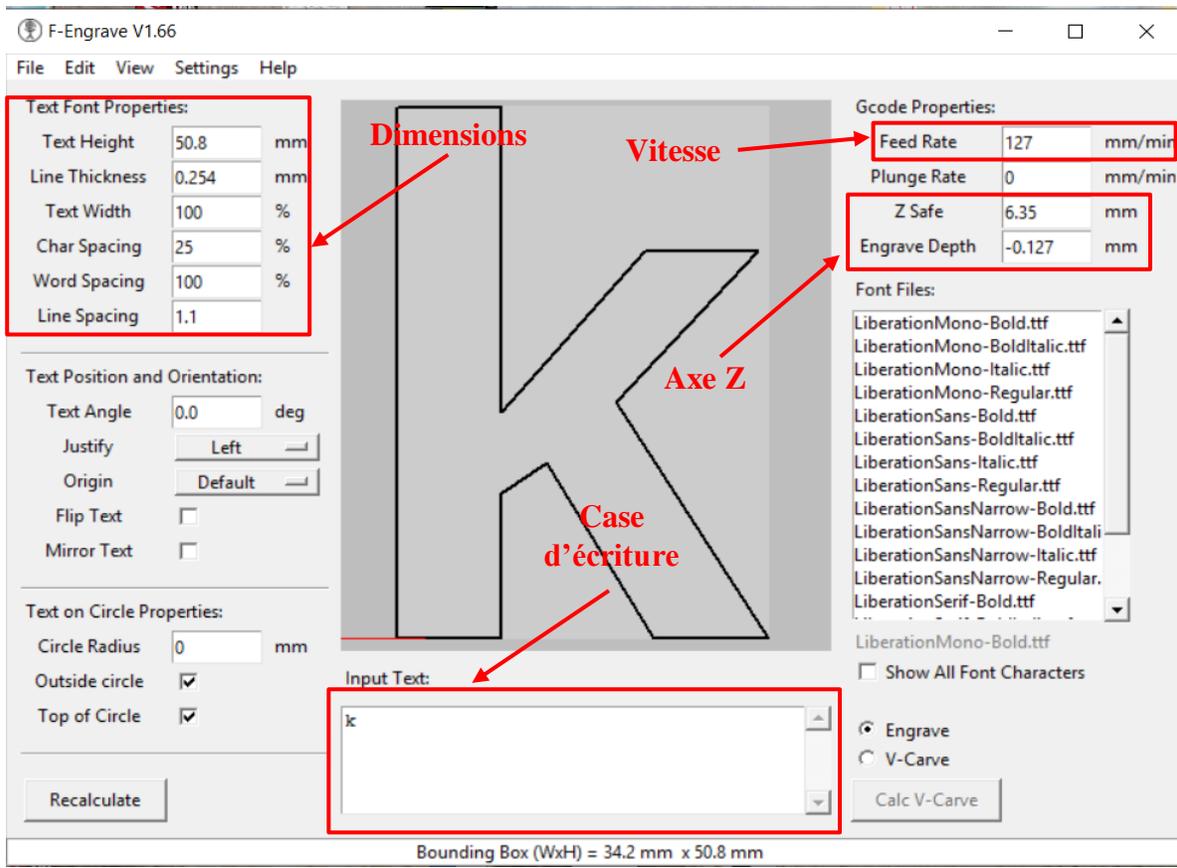


Figure IV. 34 : Interface de F-Engrave.

- Enregistrer le travail vers G-code.
- Charger le programme dans Universal Gcode sender.
- Lancer la simulation pour vérifie le programme (Figure IV.35).

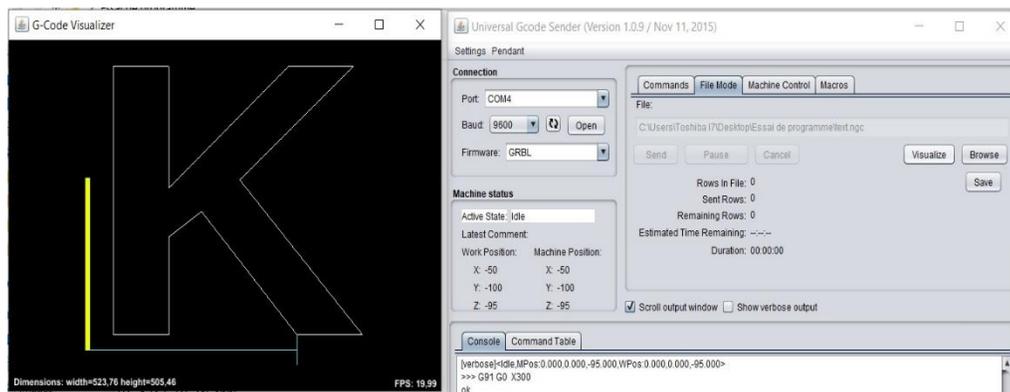


Figure IV. 35 : Simulation.

- Envoyer le programme.
- Attend lorsque la gravure est finie.

La figure IV.36 représente l'exemple après l'usinage.



Figure IV. 36 : Exemple de gravure.

4 Conclusion

La rénovation de la machine a nécessité des changements de plusieurs composants de la machine, interface pc-machine, carte de commande et par conséquent des changements dans les logiciels de pilotage, dans l'alimentation en courant électrique, et dans le système refroidissement. Après la réalisation du montage final et installation des différents logiciels, une série de test a été menée. En conclusion la machine est en parfaite état de marche et peut être pilotée à partir de n'importe quel pc de port USB. Un exemple d'usinage est donné à la fin de ce chapitre.

Conclusion générale

La microfraiseuse à commande numérique 2 C.E. Jeulin a été présentée. Ce qu'a permis de mettre en évidence le système :

- Mécanique de la partie opérative,
- De commande de la machine, incluant les deux sous-systèmes :
 - Électronique de pilotage et d'alimentation.
 - Informatique d'interface matériel et logiciel de commande.

Nous avons fait un diagnostic qui a dévoilé plusieurs problèmes qui ont mis la machine hors service depuis 1996. Après une analyse fonctionnelle nous avons rédigé le cahier des charges fonctionnelles pour pouvoir démarrer la rénovation et ainsi la mise en service de la machine.

Le tableau récapitulatif suivant donne un résumé des travaux de mise à niveau et de rénovation effectués durant ce projet.

<i>La machine avant la rénovation</i>	<i>La machine après la rénovation</i>
- En panne	- Opérative
- Carte d'acquisition à port ISA	- Carte ARDUINO UNO - Trois drivers TB 6600
- Nappe de 25 points	- Câble USB
- Aucun variateur de vitesse	- Variateur de vitesse pour la broche
- Moteurs pas à pas 6 fils	- Moteurs pas à pas 4 fils
- Aucun système de refroidissement	- Système de refroidissement par ventilation
- Un seul ordinateur de pilotage : type AT CPU 1986.	- Possibilité de pilotage de n'importe quel Pc de port USB.
- Un seul logiciel de pilotage : (3AXEVGA)	- Potentialité d'utiliser une variété de logiciels de CAO (SolidWorks, CATIA, ArtCam, F-Engrave, ...).
- Système d'exploitation MS-DOS, Windows 95	- N'importe quel système d'exploitation actuel (Windows 7 ..10, Linux, iOS, ...)

Tableau 1 : Etat de la machine avant la rénovation et après la rénovation.

Après la réalisation du montage final et l'installation des différents logiciels, une série de tests a été menée en utilisant le logiciel F-Engrave ou en écrivant manuellement le programme G-code. En conclusion, la machine est en parfaite état de marche et peut être pilotée à partir de n'importe quel PC de port USB.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] : **CHAMALI M.**, Résumé Théorique & Guide de Travaux Pratiques-Module N° :13 Programmation, HAL, 2010.
- [2] : **ASMA F.**, Notes de cours : introduction à la commande numérique, Département de Mouloud Mammeri Université de Tizi-Ouzou, 2007/2008.
- [3] : **CHEVROT C.**, Notes de cours : MOCN et programmation, Département GMP - 1ère année, I.U.T de Mantes en Yvelines – GMP, 2005.
- [4] : **BELLOUFI A.**, Notes de cours : Machines-outils à commande numérique, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2010.
- [5] : **DURET D.**, Livre : simulation de gamme d'usinage, revue de l'ingénieur et du Technicien de l'enseignement technique page :34-37, 1981.
- [6] : **MEMOTECH**, Article : Commande numérique, Casteilla, 1999.
- [7] : <http://www.info-industrielle.fr/equipement-industriel/le-fonctionnement-dune-fraiseuse-a-commande-numerique/>, consulter à : 14-02-2019.
- [8] : <https://tourindustriel.wordpress.com/tag/tour-definition/>, consulter à :16-02-2019.
- [9] : **GUILLAUME P.**, Note de cours : commande numérique, Academia Boudreaux. 2005.
- [10] : **CHEIKH A.**, Notes de cours : la programmation des machines-outils à commande numérique, département de génie mécanique université Aboubakr Belkaid Tlemcen, 2009/2010.
- [11] : **DEBONGNIE J.F.**, Note de cours : usinage, Université de liège, 2006.
- [12] : **DEVALID M.**, Manuelle : logiciel 3 AXESVGA REF : 000 830, 1995.
- [13] : **DEVALID M.**, Manuelle : Microfraiseuse pour PC REF : 181 040, 1995.
- [14] : **MABROUKI L.**, Notes de cours : capteurs et actionneurs département de génie électrique, Institut supérieur des études technologiques de Kasserine, 2009/2010.
- [15] : **BAYART M.**, Notice Technique : capteurs électromécaniques interrupteurs de position ou fins de course, Direction de l'ingénierie, 28/04/2009.

[16] : BOURGEOIS J., Manuelle SOLIDWORKS page 9/135, Dassault système, 07-06-2019.

[17] : https://winder.github.io/ugs_website/ , consulter à : 10-06-2019

[18] : **HAMZA CHERIF S.M.**, Notes de cours : de master 1 construction mécanique, faculté de technologie Tlemcen, 2017.

[19]: <https://www.arduino.cc/>, consulter à : 11-06-2019

[20]: **SARIK J.**, Article : arduino prototype platform, IEEE, 2010.

[21]: <https://www.dfrobot.com/>, consulter à : 13-06-2019

[22]: <https://www.sorchworks.com/Fengrave/fengrave.html>, consulter à : 17-06-2019