

7/1/21. 892

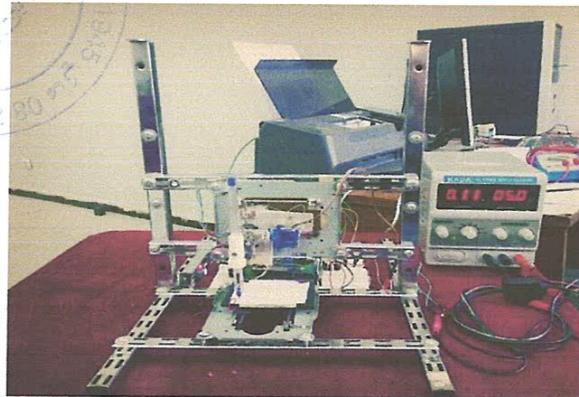
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université 8Mai 1945 – Guelma
Faculté des sciences et de la Technologie
Département d'Electronique et Télécommunications



**Mémoire de fin d'étude
pour l'obtention du diplôme de Master Académique**

Domaine : Sciences et Technologie
Filière : Electronique
Spécialité : Systèmes Electroniques

Etude et Réalisation d'une Mini-Machine CNC



Présenté par :
Labadlia Mohammed
Boudjahem Bilal

Sous la direction de :
Dr. Younsi Abdelaziz

Jun 2016



16/3317

REMERCIEMENTS

EN PRÉAMBULE À CE MÉMOIRE, NOUS REMERCIONS ALLAH LE TOUT PUISSANT ET LE PLUS MISÉRICORDIEUX QUI NOUS A GRATIFIÉS DE SON AIDE, DE SON ASSISTANCE ET NOUS A ANIMÉS DE PATIENCE ET DU COURAGE DURANT CES LONGUES ANNÉES D'ÉTUDES.

NOUS SOUHAITONS ADRESSER NOS REMERCIEMENTS LES PLUS SINCÈRES, TOUT D'ABORD, À NOS PARENTS QUI NOUS ONT PATIEMMENT SOUTENUS DURANT TOUTES NOS ANNÉES D'ÉTUDES.

CES REMERCIEMENTS VONT ÉGALEMENT AU CORPS PROFESSORAL ET ADMINISTRATIF DU DÉPARTEMENT D'ÉLECTRONIQUE ET DE TÉLÉCOMMUNICATIONS DE L'UNIVERSITÉ DE GUELMA POUR TOUS LES EFFORTS QU'ILS ONT CONSENTIS POUR NOUS ASSURER UNE FORMATION DE QUALITÉ.

NOS REMERCIEMENTS VONT AUSSI À TOUTES LES PERSONNES QUI, DE PRÈS OU DE LOIN, NOUS ONT APPORTÉES LEUR AIDE ET QUI ONT CONTRIBUÉ À L'ÉLABORATION DE CE MÉMOIRE AINSI QU'À LA RÉUSSITE DE CETTE FORMIDABLE ANNÉE UNIVERSITAIRE. NOUS PENSONS EN PARTICULIER À NOS AMIS DE CLASSE DE LA PROMOTION 2016 (MASTER SYSTÈMES ÉLECTRONIQUES), À NOS AMIS DU CLUB SCIENTIFIQUE DU DÉPARTEMENT D'ÉLECTRONIQUE AINSI QU'À NOS AMIS DU CLUB DE LOISIRS DE GUELMA.

NOUS TENONS ENFIN À EXPRIMER SINCÈREMENT NOTRE PROFONDE GRATITUDE À NOTRE ENSEIGNANT M. YOUNSI ABDELAZIZ QUI, EN TANT QU'ENCADREUR DE CE PROJET DE FIN D'ÉTUDES, N'A PAS CESSÉ SON SOUTIEN CONSTANT, SES CONSEILS NOMBREUX, SON AIDE SCIENTIFIQUE ET SES ENCOURAGEMENTS INSISTANTS POUR MENER À BIEN CE TRAVAIL.

LABADLIA & BOUDJAHM

JUIN 2016

SOMMAIRE

Introduction Générale

Chapitre I : Notions sur les Machines-Outils à Commande Numérique (MOCN)

Introduction.....	1
I.1 Historique.....	1
I.2 Définition et structure physique de la MOCN.....	1
I.2.1 Partie opérative.....	2
I.2.2 Armoire électrique de relaiage ou armoire de puissance.....	3
I.2.3 Partie commande.....	3
I.3 Les différents types de MOCN.....	4
I.4 Classification des MOCN.....	4
I.4.1 Classification des MOCN selon le mode de fonctionnement :	
a. Fonctionnement en boucle ouverte.....	5
b. Fonctionnement en boucle fermée.....	5
I.4.2 Classification des MOCN selon le nombre d'axes.....	6
I.4.3 Classification des MOCN selon le mode d'usinage :	
a. Commande numérique point à point.....	7
b. Commande numérique paraxiale.....	7
c. Commande numérique de contournage.....	8
I.5 Différentes configurations de la commande numérique :	8
I.5.1 Commande numérique par calculateur intégré.....	8
I.5.2 Commande via une ligne de télécommunication.....	8
I.5.3 Commande par automate programmable.....	8
I.6 Les origines des systèmes de coordonnées.....	8
I.7 Décalage et géométrie d'outil :.....	10
I.7.1 Décalage de l'origine machine.....	10
I.7.2 Géométrie des outils.....	11
I.8 La programmation.....	14
I.9 Synoptique de la machine MOCN.....	15
Conclusion.....	15

Chapitre II : partie mécanique

Introduction.....	16
II.1. Table d'usinage.....	16
II.2. les systèmes d'axes :.....	16
II.2.1 L'axe Z.....	17
II.2.2 L'axe X.....	17
II.2.3 L'axe Y.....	17
II.2.4 Mouvement de rotation	17
II.3 Asservissement en position et en vitesse d'un axe numérique.....	17
II.4 Les différents types d'outils :	18
II.4.1 Outils utilisés pour l'opération de fraisage.....	18
II.4.2 Outils utilisés pour l'opération de tournage.....	18
II.5 Position relative des origines.....	19
II.6 Paramètres de coupe en tournage ou en fraisage :	
II.6.1 Principe de coupe.....	20
II.6.2 Paramètres de la coupe.....	20
II.6.3 Vitesse de coupe.....	21
II.6.4 Vitesse d'avance.....	21
II.6.5 Profondeur de passe.....	22
Conclusion.....	22

Chapitre III : Partie commande

Introduction.....	23
III.1. Le contrôle numérique.....	23
III.2. Les techniques de contrôle numérique :	
III.2.1 Systèmes de commande point à point	23
III.2.2 Systèmes de déplacement paraxial	24
III.2.3 Systèmes de chemin continu.....	25
III.3. Les moteurs de commande d'axes :	
III.3.1 Moteurs pas à pas.....	26
III.3.2 Principe de fonctionnement d'un moteur pas à pas.....	26
III.3.3 La commande d'un moteur pas à pas.....	28
III.4. Le circuit intégré L293D :	28
III.4.1 Description.....	28
III.4.2 Configuration et fonctionnement des broches	28

III.4.3 Identification des différentes broches d'entrées-sorties.....	29
Conclusions.....	29

CHAPITRE IV : Structure de programmation

Introduction.....	30
IV.1. Langage de programmation :.....	30
IV.1.2. Le langage G (GEMMA CODE) :	
IV.1.2.1 Composition d'un mot.....	30
IV.1.2.2 Format d'un mot.....	30
IV.1.2.3 Bloc d'informations.....	31
IV.2. Les techniques de repérage sur la machine :.....	32
IV.2.1 Systèmes de coordonnées.....	32
IV.2.2. Initialisation du point de référence.....	33
IV.3. Les origines de références :.....	33
IV.3.1. Origine machine.....	33
IV.3.2. Origine pièce.....	33
IV.3.3. Origine programme.....	33
IV.3.4 Illustration.....	34
IV.4. Les modes de cotation :	
IV.4.1. Cotation en système de référence (cotation absolue).....	34
IV.4.2. Cotation itérative (cotation relative).....	35
IV.4.3. Cotation conventionnelle (cotation mixte).....	35
IV.5. Etude de la programmation :.....	35
IV.5.1. Support d'informations.....	35
IV.5.2. Codage des informations.....	36
Conclusions.....	37

CHAPITRE V : Application : Mini CNC à base ARDUINO

Introduction.....	39
V.1. Définition.....	39
V.2. Domaines d'applications.....	40
V.3. Le microcontrôleur ARDUINO Méga 2560 :	
V.3.1 Aperçu.....	40
V.3.2 Architecture interne.....	41
V.3.3 Les différents types de cartes ARDUINO.....	41
V.3.4 L'environnement de développement IDE de l'ARDUINO.....	42

V.3.5 Partie hardware de la mini CNC.....	43
V.3.6 Le capteur infrarouge TCRT5000.....	43
V.4. Schéma électronique de la commande de la mini-machine CNC.....	44
V.5. Partie Software :	
V.5.1 Organigramme du projet.....	45
V.5.2 Description des opérations de l'impression des images à l'aide de la mini-machine CNC.....	46
Conclusion.....	48

Conclusion générale

Annexe

Liste des figures

Bibliographie

Introduction générale

L'idée de la commande numérique pour machines-outils a été énoncée pour la première fois en 1950 par le professeur John T. Parsons. La première machine à commande numérique a été construite à l'Institut Massachusetts de Technologie (MIT) en 1953 conjointement par des ingénieurs rattachés au Département de la défense américaine (US Air Force), au MIT et à l'entreprise Parsons.

La commande numérique (CN) peut être définie comme étant une technique de commande d'une machine-outil qui exécute une série d'instructions écrites dans un langage de programmation orientée machine-outil (code Gemma ou G-code) qui délivrent à des organes mobiles de la machine des ordres directs tels que le déplacement de la table, la vitesse de déplacement de la broche, le changement de l'outil, etc.

Au tout début, la commande numérique a été utilisée pour fabriquer des pièces ayant des formes géométriquement complexes. Plus tard, la CN a été utilisée pour réaliser des opérations de tournage et de fraisage sur des pièces en moyenne quantité et ce, dans le but d'améliorer la productivité. La CN est actuellement introduite dans tous les secteurs de la production.

Pendant les premières années, la technologie CNC (Computer Numerically Controlled = machine contrôlée par ordinateur) a été appliquée sur des machines de coupe des métaux basiques tels que les tours, les fraiseuses... etc. Plus tard et afin d'accroître la flexibilité de ces machines et éviter le montage et le démontage de la pièce et son usinage sur plusieurs machines, la technologie CNC a subi de nettes améliorations en rendant possible plusieurs opérations d'usinage (étamage, fraisage, perçage, alésage, taraudage, etc.) sur des pièces de formes parallélépipédiques et cela sur la même machine. Ainsi, le concept du **centre d'usinage** est né.

Plus tard, ces opérations d'usinage multiples ont été étendues aux pièces de formes cylindriques, ce qui a conduit au développement du **centre de tournage**.

Chapitre I

Notions sur les Machines-Outils À Commande Numérique (MOCN)

Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons un aperçu général sur la technologie des machines-outils à Commande Numérique (MOCN) en passant brièvement leur classification, leurs architectures ainsi que leur programmation pour les différentes applications.

I).1. Historique :

Selon le Larousse illustré de 1904 : « la machine-outil est une machine dont l'effet final est un outil mis en mouvement et qui a pour but de remplacer la main de l'homme lors du façonnage des matières ». Suivant cette définition, l'évolution des machines-outils a commencé il y a plus de cinq mille ans avec les premiers tours à potier. En effet, comme l'artisan utilise la rotation et la friction produite par le tour, il a les mains libres pour modeler la poterie puis à partir du Moyen Âge, il a commencé à sculpter le bois.

A travers l'évolution des machines-outils, du tour du potier au tour numérique, apparaissent en filigrane de nombreuses tendances qui ont déterminé l'histoire de l'humanité.

D'abord, l'histoire des techniques qui a été influencée par la succession des types d'énergie utilisée : la force de l'homme (le pied sur la pédale), celle du vent ou de l'eau (au XVI^e siècle, grâce à la mécanisation du système d'entraînement, le tour fut couplé à des moulins et autres roues à aubes), la combustion du charbon (la machine à vapeur), l'électricité (mais aussi l'énergie lumineuse, chimique, acoustique jusqu'au faisceau à particule) puis le développement de l'informatique.

Ensuite l'histoire des objets qui a suivi l'évolution des matériaux utilisés, la terre, le bois, le métal puis les matières les plus diverses et les alliages développés pour les besoins de la technologie moderne.

Enfin, l'histoire des machines-outils soulève des questions de société comme la condition du travailleur (de l'ouvrier à la chaîne, esclave de la machine-outil, jusqu'au technicien responsable des tours numériques sans oublier les travailleurs peu qualifiés confrontés au chômage...) et la condition de l'homme moderne. La production standardisée et les gains de productivité permis par les machines-outils ont en effet pu lui offrir la consommation de masse et le temps libre.

I).2. Définition et structure physique de la MOCN :

La MOCN est une machine totalement ou partiellement automatique à laquelle les ordres sont communiqués grâce à des codes qui sont portés sur un support matériel (disquette, cassette, USB, ...). Lorsque la machine-outil est équipée d'une commande numérique capable de réaliser les calculs des coordonnées des points définissant une trajectoire (interpolation), on dit qu'elle est à calculateur. Elle est aussi appelée CNC (Commande Numérique par Calculateur). La plupart des MOCN sont des CNC. [1]

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

1.2.1. Partie opérative :

Les mouvements sont commandés par des moteurs presque comparable à une machine-outil classique. Elle comprend :

- Un socle, très souvent en béton hydraulique vibré, assurant l'indépendance de la machine au sol.
- Un bâti, un banc, dont les larges glissières sont en acier traité.
- Un support outil (broche, torche, laser, jet d'eau ...).
- Une table support pièce, mobile selon 2 ou 3 axes, équipée de système de commande à vis et écrou à bille. Le granit, ou le granit reconstitué, est utilisé pour la fabrication des tables et des bâtis des machines à mesurer tridimensionnelles des rectifieuses et de certains tours.
- Des moteurs chargés de l'entraînement de la table.
- Un élément de mesure ou capteur de position renseignant à tout moment sur la position du mobile sur chaque axe.
- Une dynamo tachymétrique assurant la mesure de la vitesse de rotation.

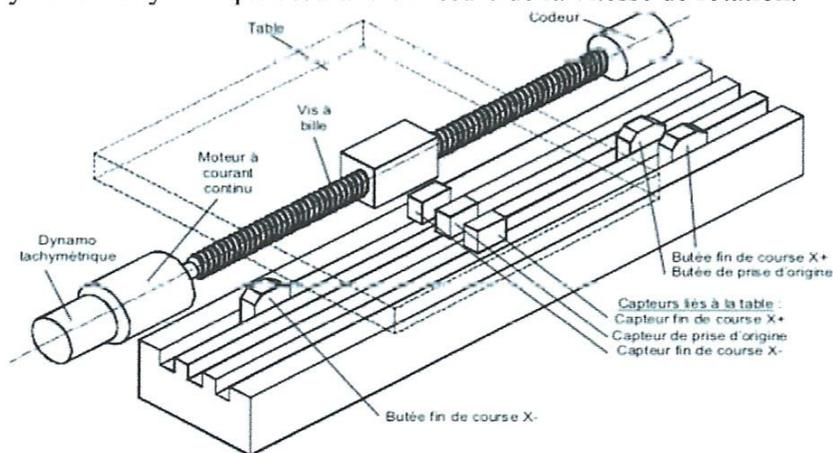


Figure I.1. Eléments de partie opérative.

Tâches effectuées :

Les tâches effectuées sur le site de la partie opérative sont :

- Chargement et déchargement (pièce et le porte-pièce).
- Chargement et déchargement (outils et le porte-outil).
- Interventions manuelles nécessitées par l'usinage et l'entretien.
- Surveillance de commande.



Figure I.2 Porte-outil d'alésage

1.2.2. Armoire électrique de relayage ou armoire de puissance :

Elle est composée :

- D'un automate programmable gérant toutes les entrées-sorties,
- D'un relais,
- D'électrovannes,
- De cartes variateurs d'axes (une carte par axe),
- De contacteurs (1 par élément de machine : axes, broche, ...)
- D'un interrupteur général avec sécurité.

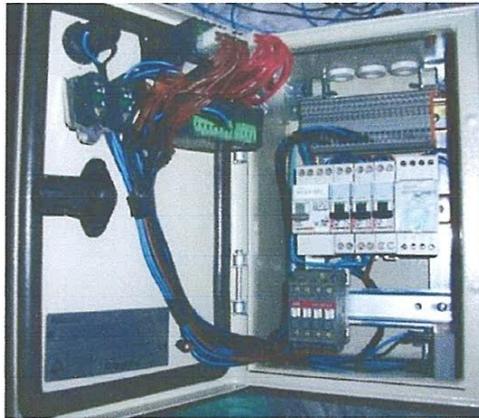


Figure I.3 Armoire électrique avec ses organes.

1.2.3. Partie commande :

La partie commande est différente de celle d'une machine conventionnelle, elle est constituée d'une armoire dans laquelle on trouve :

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



Figure I.4 Carte de commande de 3 axes.

La partie commande est alimentée par un courant faible et ne peut donc pas alimenter en direct les moteurs de la machine (voir schémas ci-dessous).

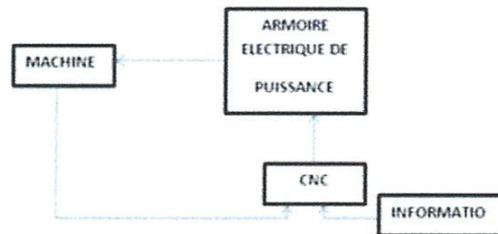


Figure1.5. Fonction originale d'une commande numérique.

1.3. Les différents types de MOCN :

On distingue plusieurs types de machines :

- Les machines à enlèvement de copeaux : les perceuses, les tours, les centres de tournages 5 axes, les fraiseuses, les centres d'usinage, les rectifieuses, les affûteuses, les machines d'usinage à très grande vitesse...
- Les électroérosions : les machines à enfonçages, les machines à fil.
- Les machines de découpes : oxycoupage, laser, jet d'eau...
- Les presses : métal, injection plastique.
- Les machines à bois : à portique ou col de cygne.
- Les machines spéciales : à panneaux, à têtes multiples, de conditionnement (pour l'agroalimentaire) ...

Pour prendre une vue sur chaque type de MOCN (voir Annexe 1)

1.4. Classification des MOCN :

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

- Le mode de fonctionnement de la machine.
- Le nombre d'axes de la machine.
- Le mode d'usinage.
- Le mode de fonctionnement du système de mesure.
- Le mode d'entrée des informations.

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

- Ordinateur et ses périphériques.
- Commande adaptative.
- Préréglage des outils.
- Codage des outils.

1.4.2. Classification des MOCN selon le nombre d'axe :

Les possibilités de travail des MOCN s'expriment en nombre d'axes de travail.

Un axe définit toute direction principale suivant laquelle le mouvement relatif de l'outil et de la pièce a lieu lorsqu'un seul des moteurs de déplacement fonctionne avec contrôle numérique continu.

Un demi-axe définit la direction dans laquelle l'avance n'est pas contrôlable numériquement mais contrôlée par pistes, cames ou plateaux diviseurs. Le tableau 1.1 donne les différents axes utilisés en CN.

Translation			Rotation	
Primaire	Secondaire	Tertiaire	Primaire	Secondaire
X	U	P	A	D
Y	V	Q	B	E
Z	W	R	C	

Tableau I.1 Axe des différents mouvements possibles.

Chaque mouvement de translation ou de rotation est donc représenté par un axe défini et une lettre affectée de signe + ou -. Les figures 1.7, 1.8 et 1.9 montrent l'ensemble des axes qu'un DCN peut contrôler.

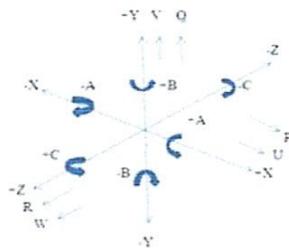


Figure I.8 Axes Primaires et Axes Additionnels.

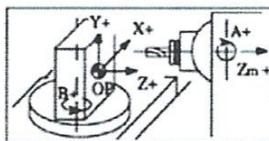


Figure I.10 Axes En Centre De Fraiseuse.

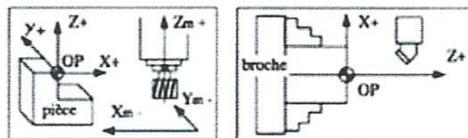


Figure I.9 Axes fraiseuse et tour.

1.4.3. Classification des MOCN selon le mode d'usinage :

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

- b. Commande numérique point à point.
- c. Commande numérique paraxial.
- d. Commande numérique de contournage.

a. Commande numérique point à point :

C'est la mise position de l'outil ou de la pièce Par déplacements non synchronisés. Le mouvement de coupe (usinage) n'est possible que lorsque le mouvement de positionnement.

- Exemples d'opération d'usinage : perçage, alésage, lamage taraudage, petit fraisage.

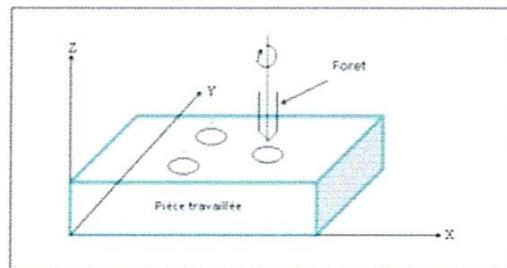


Figure I.11 Commande numérique point à point.

b. Commande numérique par axiale :

Ce sont des déplacements parallèles aux axes avec les vitesses d'avance programmée. Le mouvement de coupe et de positionnement sont synchronisés de façon à avoir un usinage selon des trajectoires parallèles aux axes de déplacement.

- Exemples d'opération d'usinage : tournage, fraisage, alésage.

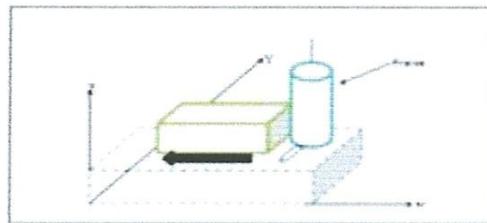


Figure I.12 Commande Paraxial.

c. Commande numérique de contournage :

Ce sont des déplacements synchronisés des divers axes avec la vitesse d'avance programmée. Les trajectoires sont décomposées en éléments de droites ou de cercles dans un ou plusieurs plans.

- Exemples d'opération d'usinage : toute opération possible sur un centre de tournage ou centre d'usinage

1.5. Différentes configurations de la commande numérique :

Selon les techniques et moyens dont on dispose pour la réalisation d'une commande numérique, on distingue deux grands types de configuration de la CN pour le pilotage des machines-outils.

1.5.1 La commande numérique par calculateur intégré :

Les machines à commande numérique disposent d'un calculateur intégré : le microcontrôleur ou système à microprocesseur dont les fonctions sont entièrement déterminées de pair avec la machine à commander. Une fois le programme d'usinage chargé dans la mémoire du microcontrôleur ou de la carte à microprocesseur, la CN peut alors travailler en autonomie.

Ce type de commande numérique permet :

- L'élaboration et la modification du programme sur site
- La gestion de différents programmes chargés en mémoire.
- La mémorisation des données de la machine.

1.5.2 Commande via une ligne de télécommunication :

La commande numérique peut également faire appel à une ligne de télécommunication pour télécharger des données (programmes, messages) entre le calculateur intégré et un équipement informatique externe (serveur ou ordinateur). Cette technique permet de :

- S'affranchir des capacités mémoire du calculateur intégré.
- Transmettre rapidement des données ou des programmes.
- Gérer de manière centralisée les programmes.

1.5.3. Commande par automate programmable :

Dans ce dernier type de commande, les organes de la machine sont pilotés par un automate (pouvant être celui du processus global de l'usine) via le microprocesseur de la CN.

1.6. Les origines des systèmes de coordonnées :

Le processeur CN calcule tous les déplacements par rapport au point d'origine mesuré de la machine.

A la mise sous tension, le système ne connaît pas l'origine mesure. Les courses mécaniques accessibles sur chacun des axes de la machine sont limitées par des butées fin de course mini et maxi.

Points utilisés	Symbole	Définition
Origine machine M (OM)		C'est la référence des déplacements de la machine. C'est un point défini (sur chaque axe) par le constructeur qui permet de définir l'origine absolue de la machine. OM et om peuvent être confondues.
Origine mesure R (Om)		C'est l'origine physique des axes de la machine représentée par une butée détectée par un capteur électrique lors de l'initialisation ou prise d'origine machine (POM).
Origine Programme OP		Indépendante du système de mesure, l'OP est l'origine de trièdre de référence qui sert à établir le programme. C'est généralement un point de départ de cotation de dessin de la pièce.
Origine Pièce W (Op)		Indépendante du système de mesure, l'Op est définie par un point de la pièce sur laquelle il est possible de se positionner. OP et Op peuvent être confondues.
Point de référence du logement d'outil N (T)		Ce point N ou T est un point défini de manière fixe. Il sert de point de référence pour mesurer les outils. Ce point se trouve sur le plateau du changeur d'outil.

Tableau I.2 Points utilisés dans des MOCN.

1.7. Décalage et géométrie d'outil :

Dans l'espace de travail d'une MOCN, différents points de référence sont définis. Ces points sont nécessaires pour le pré réglage et la programmation de la machine. Ci-dessous, nous présentons les différents points ainsi que leur positionnement dans l'espace de travail d'une MOCN.

Les figures 1.13 et 1.14, montrent les points de référence dans le volume d'usinage.

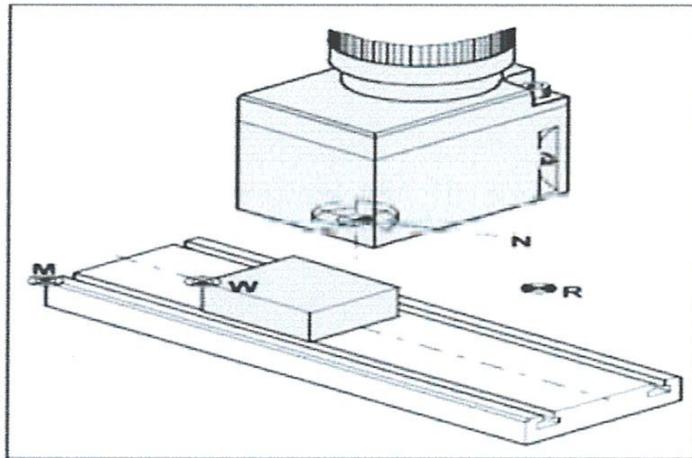


Figure I.13 Points de référence dans le volume d'usinage dans le cas du fraisage.

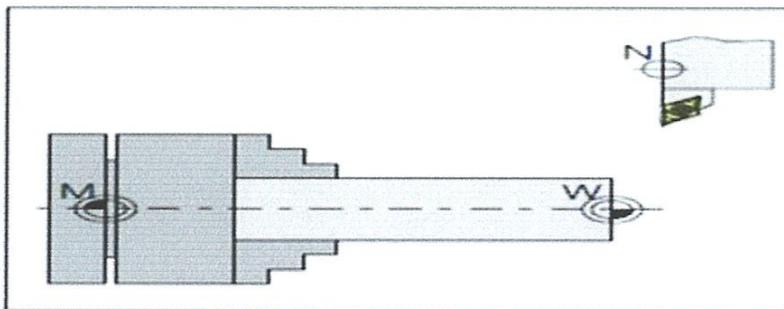


Figure I.14 Points de référence dans le volume d'usinage dans le cas du tournage.

1.7.1 Décalage de l'origine machine :

La position de point « M », l'origine machine, étant très éloignée de la pièce à usiner, ne convient pas en tant que point de départ de la programmation. Donc, il va falloir décaler l'origine machine vers un point qui facilite la programmation. Ce point est l'origine de la pièce.

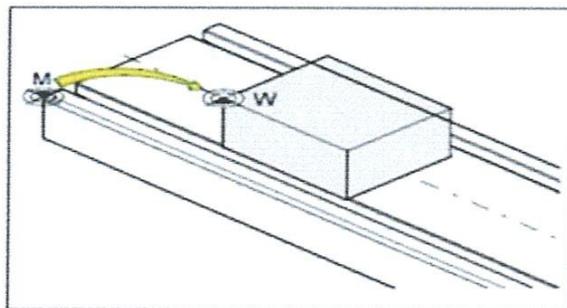


Figure I.15 Décalage d'origine de l'origine machine M à l'origine de la pièce W dans le tournage et fraisage.

1.7.2 Géométrie des outils :

La saisie des données de l'outil est nécessaire pour que le logiciel utilise la pointe de l'outil (cas de tournage) ou le centre de l'outil (cas de fraisage) pour le positionnement, et non pas le point de référence du logement de l'outil « F ».

Chaque outil utilisé pour l'usinage doit être mesuré (figure.1.17). Il s'agit ici de calculer l'écart entre le point de référence du logement de l'outil et la pointe respective de l'outil. Une fois que les données sont déterminées, elles sont mémorisées dans le registre des outils. Les données spécifiques à l'outil diffèrent d'un type d'outil à un autre.

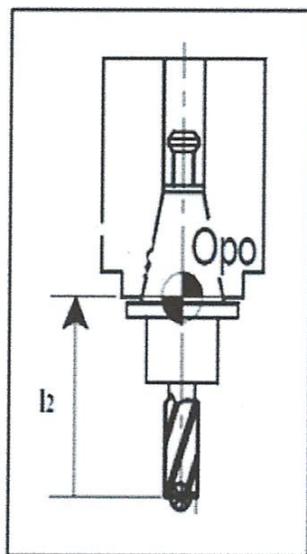


Figure I.16 Longueur d'une fraise.

I.7.3 Données de l'outil : cas de fraisage

Pour que l'outil soit reconnu par la machine, il faut définir les données suivantes :

1. Type de l'outil.
2. Longueur en direction de X(L1).
3. Longueur en direction de Z(L2).
4. Rayon de l'outil.

I.7.4 Type de l'outil :

En fraisage, deux types d'outils sont envisagés. S'il s'agit d'un foret, c'est le type 10. Si l'outil est une fraise axée suivant la direction de z, c'est le type 20 et si elle est axée suivant X, Y.

En fonction du type de l'outil ; les longueurs de l'outil à mémoriser dans le registre « TOOL » sont illustrées sur la figure.1.18.

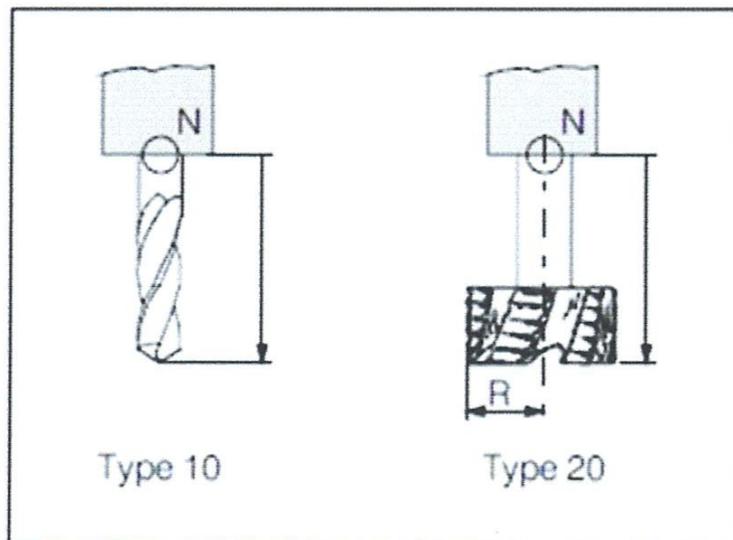


Figure I. 17 Type de l'outil (cas de fraisage).

I.7.5 Données de l'outil : cas de tournage

De même, pour que l'outil soit reconnu par la tour, il faut définir les données suivantes :

1. Type de l'outil.
2. Longueur en direction de X(L1).
3. Longueur en direction de Z(L2).
4. La Rayon de la pointe de l'outil.

I.7.6 Type de l'outil :

Pour définir le type de l'outil, nous regardons la fixation de l'outil sur le porte-outil. Les différents types sont donnés par la figure 1.19.

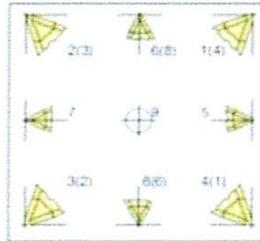


Figure I. 18 Position du bec des outils.

I.7.7 Longueur de l'outil :

Les longueurs $L1$ et $L2$ sont les distances entre le point de référence du logement de l'outil «F» et la pointe de l'outil en direction de X et de Z respectivement. Dans le type 1a9, la saisie des données de longueur $L2$ en direction de Z comme c'est illustre sur la figure.1.20.

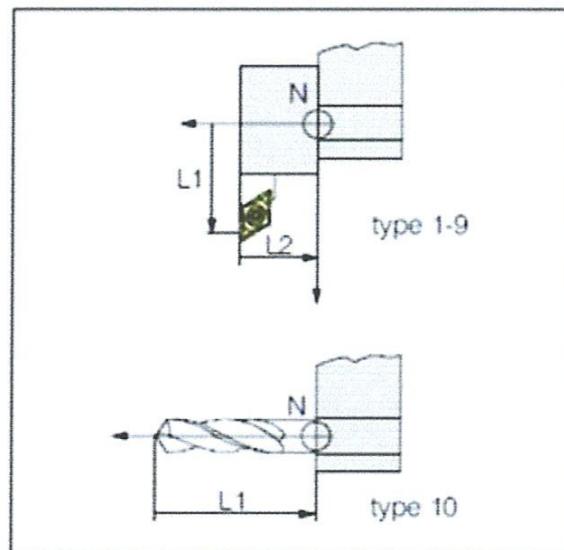


Figure I.19 Longueur de l'outil.

1.8. La programmation :

La programmation des MOCN repose aussi sur des conventions, à savoir les langages de programmation normalisés. Les normes [NF ISO 6983-1], [NF Z 68-036], [NF Z 68-037], [NF ISO 4342] décrivent les langages de programmation. Il se trouve que ces normes ne sont pas complètes. Les constructeurs de commande numérique les adaptent aux spécifications de leurs machines. Ainsi, les programmations semi-automatiques du type CFAO, se font dans un autre langage nommé APT ([NF ISO 3592], [NF ISO 4343]).

Le programme est la description structurée de l'opération d'usinage. Il comporte deux types d'informations : des ordres de déplacements et des ordres auxiliaires.

Pour donner un ordre de déplacement, il faut spécifier un mode d'interpolation, un but et une vitesse de déplacement. Les types d'interpolation utilisés sont :

- Interpolation linéaire, trajectoire décrite par un segment,
- Interpolation circulaire, trajectoire décrite par un arc de cercle, souvent dégradée en interpolation linéaire au niveau de l'asservissement,
- Interpolation hélicoïdale, trajectoire décrite par une hélice.

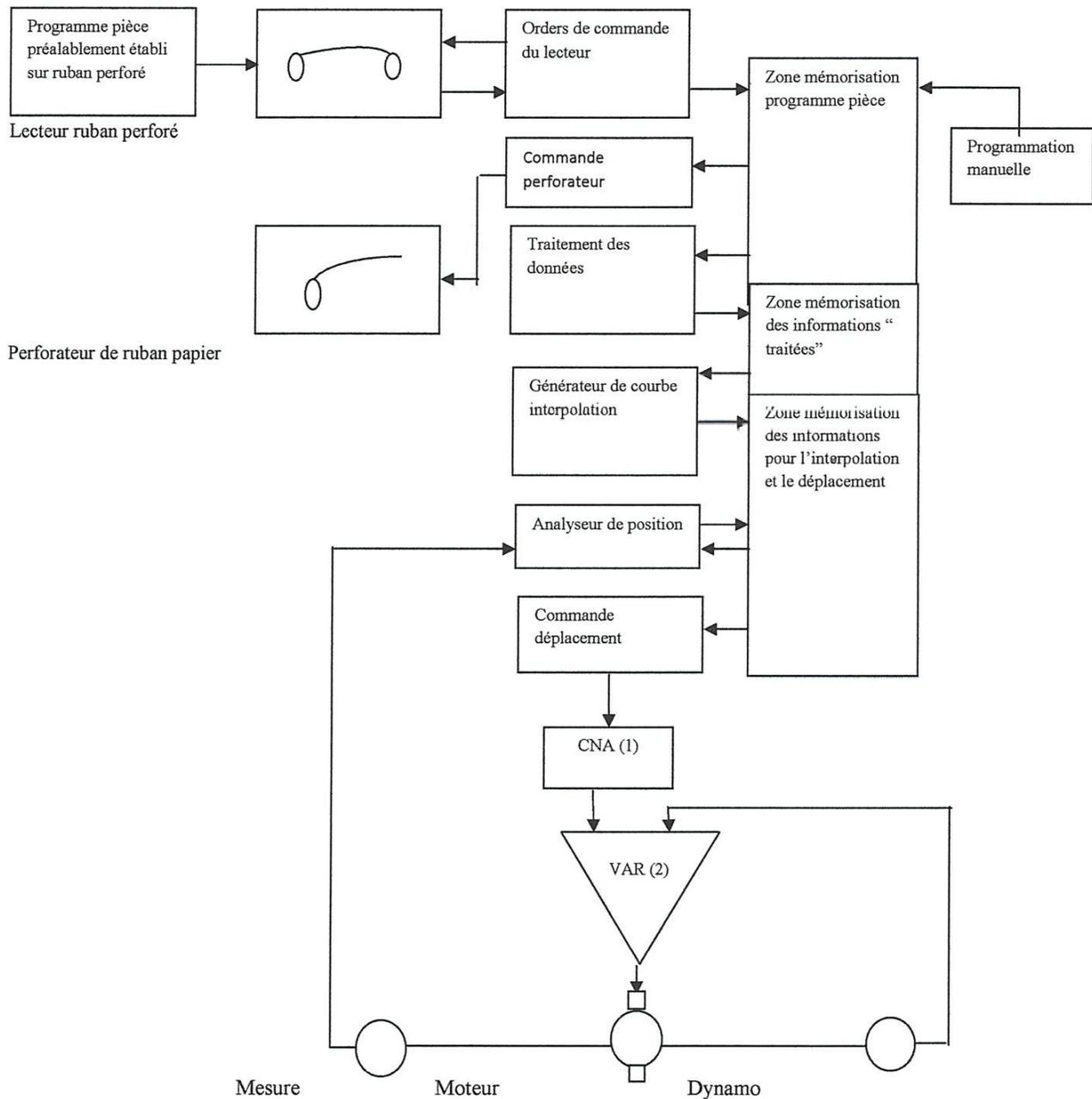
Actuellement, on assiste au développement de l'interpolation polynomiale, où la trajectoire est décrite par une courbe polynomiale, ce qui permet d'assurer une meilleure dynamique de la trajectoire.

Les ordres auxiliaires sont des ordres séquentiels qui permettent soit de rendre réalisable, soit d'améliorer la réalisation de l'usinage.

Programmer consiste à transposer la gamme d'usinage en langage compris par la machine. Le langage alphanumérique précise le code. En programmation manuelle, le langage utilisé est décomposé comme suit :

- ❖ Le format qui caractérise les mots utilisés.
- ❖ Les adresses, ce sont les lettres débutant un mot d'un langage machine. Celle-ci précise la fonction générale à commander (G, X, Y, Z, F, S, T, M).
- ❖ Les mots sont un ensemble de caractères comportant une adresse suivie de chiffres constituant une information (X25.236).
- ❖ Les blocs sont des groupes de mots correspondant aux instructions relatives à une séquence d'usinage (N150 GOI X200. Y 125.235 F250).
- ❖ Les fonctions sont tous les mots d'un langage machine autres que ceux définissant les cotes et nécessaires pour assurer le fonctionnement d'une machine-outil. On trouve :
 - Les fonctions préparatoires G
 - Les fonctions vitesse d'avance F
 - Les fonctions vitesse de broche S
 - Les fonctions outil T
 - Les fonctions auxiliaires M (mise en route de l'arrosage, de la broche, blocage ou déblocage de plateau ...).

1.9 Synoptique de la machine CNC [2] :



Conclusion :

Dans ce chapitre on a présenté une recherche bibliographique sur les machines –outils à commande numérique (MOCN), les commandes les plus utilisées et les classifications des MOCN, le décalage et la géométrie d'outil.

L'utilisation des MOCN présente un grand intérêt pour la fabrication en petite et moyenne série ainsi que pour les formes complexes des pièces à usiner.

Chapitre II

PARTIE MECANIQUE

Introduction :

Dans ce chapitre on va faire une étude sur les équipements, les règles mécaniques utilisées lors d'une conception d'une pièce.[4]

Pour assurer le mouvement de la pièce il faut définir le plan et la direction de déplacement.

II.1. Table d'usinage :

C'est la table sur laquelle on va piloter les axes X et Y. Les parties ainsi constituées seront associées à des éléments de transmission et des moteurs pour assurer les divers mouvements de la pièce et les différents déplacements par rapport à l'outil.

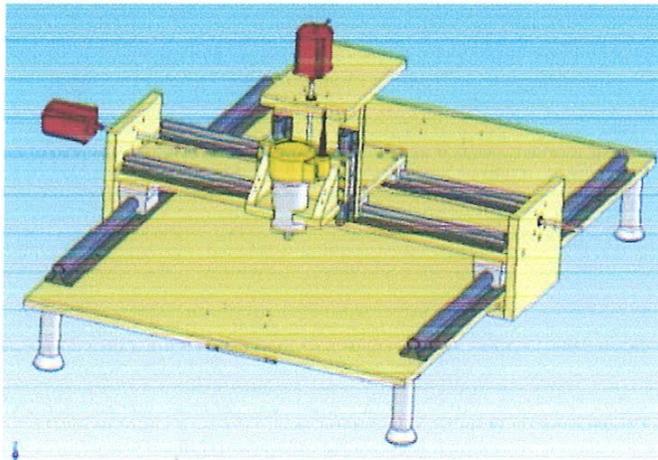


Figure II.1 Table d'usinage.

II.2. Les systèmes d'axes :

Les systèmes d'axes sont définis par des normes (NF Z68-020). Afin de ne pas confondre X, Y et Z ainsi que leur sens + ou - il est simple d'utiliser la règle des trois doigts de la main droite (figure 1).

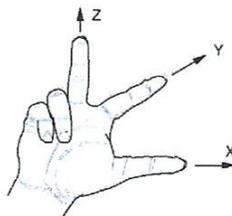


Figure II.2 La règle de la main droite.

II.2.1. L'axe Z :

C'est l'axe de la broche que celle-ci fasse tourner l'outil ou la pièce. Pour les machines possédant plusieurs broches, l'une d'entre elles est choisie comme broche principale. Pour les machines ne possédant pas de broche (étoupeuse, raboteuse ...), l'axe Z est perpendiculaire à la surface de la table.

II.2.2. L'axe X :

C'est un axe correspondant à un mouvement de la machine, il est perpendiculaire à l'axe Z.

II.2.3. L'axe Y :

C'est celui qui forme avec les axes X, Z précédemment définis, un trièdre de sens direct.

II.2.4. Mouvement de rotation

Les symboles A, B, C désignent les mouvements de rotation effectués respectivement autour d'axes parallèles à X, Y, Z. Les valeurs positives de A, B, C sont données par le mouvement d'une vis à droite tournant dans le sens positif et avançant respectivement dans le sens positif des axes X, Y, Z.

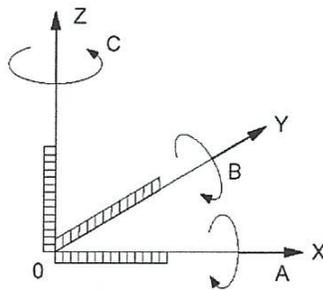


Figure II.3 Le système d'axes.

II.3. Asservissement en position et en vitesse d'un axe numérique :

La fonction principale des MOCN est le contrôle des déplacements des axes de la machine, de la vitesse des déplacements et de la position des éléments mobiles qui sont contrôlés par un asservissement en boucle fermée.

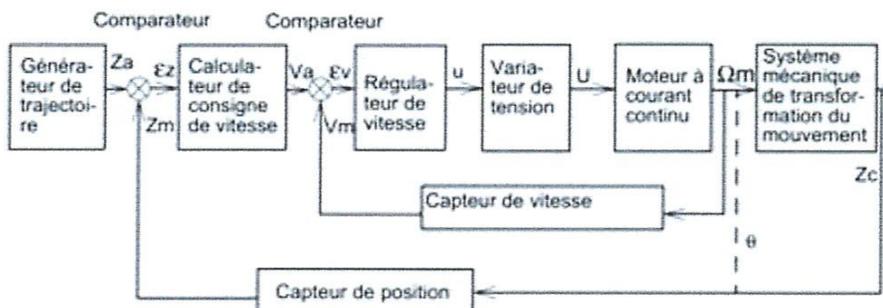


Figure II.4 Asservissement d'un axe numérique.

II.4 Les différents types d'outils :

Les outils permettent d'enlever les copeaux pour donner à la pièce à usiner les formes voulues. Par conséquent, la géométrie de l'outil influe directement sur les formes usinables de la pièce. Nous citons quelques exemples utilisés pour le fraisage et le tournage.

II.4.1 Outils utilisés pour l'opération de fraisage :

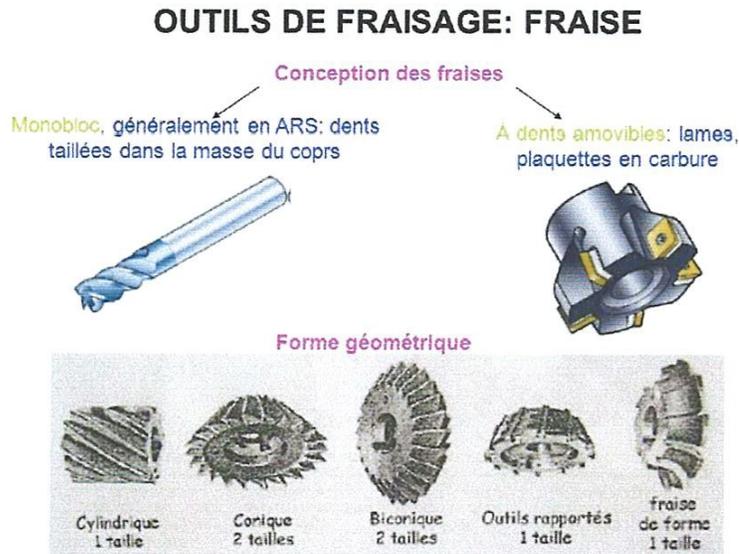


Figure II.5 outils de fraisage.

Ces formes peuvent faire des opérations de fraisage tels que le surfacage (usinage d'un plan par une fraise) et la rainure (l'association de 3 plans, le fond est perpendiculaire au deux autres plans).

II.4.2 Outils utilisés pour l'opération de tournage :

Nous représentons ci-dessous des illustrations relatives à quelques types de forets utilisés pour l'usinage ainsi que les résultats obtenus sur la pièce après des opérations de tournage



Figure II.6 Outils de tournage.

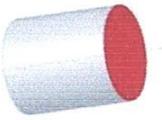
Nom de l'opération	Schéma de la pièce usinée	
Dressage		
Chariotage		
Dressage et chariotage combinés		

Figure II.7 Opérations de tournage.

A cela s'ajoute le **perçage** qui réalise un trou dans la pièce. Le trou peut être débouchant ou borgne.

II.5 Positions relatives des origines :

Différents types d'origines :

OM : Origine machine : Butée électrique dans le sens positif de l'axe.

Om : Origine mesure : Premier point zéro (strobe) du codeur rencontré par le D.C.N¹ après OM.

Opp : Origine porte pièce : Liaison entre la machine et le porte-pièce.

Op : Origine pièce : Liaison entre le porte-pièce et la pièce.

OP : Origine programme : C'est l'origine de tous les déplacements programmés (sauf G52 & G59).

Opo : Origine porte-outil : C'est le point piloté sans correction d'outil.

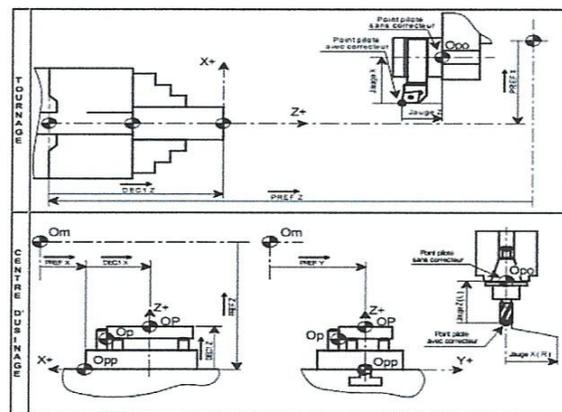


Figure II.8 différents types d'origines.

¹ D.C.N : Directeur de Commande Numérique.

II.6. Paramètres de coupe en tournage ou en fraisage :

II.6.1. Principe de coupe :

Une lame d'outil pénètre dans la matière de la pièce et enlève un copeau (voir figure II.9). L'outil suit une trajectoire par rapport à la pièce à usiner. Ces mouvements sont assurés par les éléments constitutifs de la machine-outil.

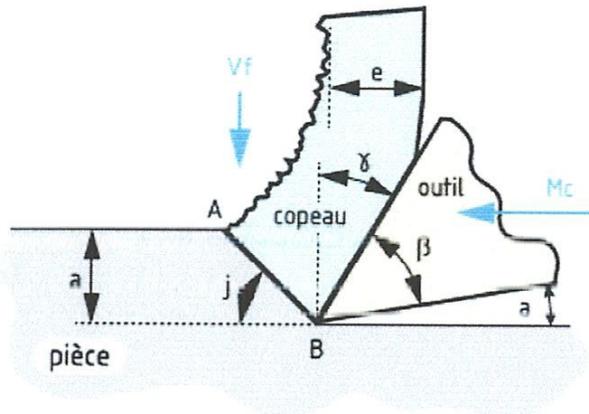


Figure II.9 Exemple de coupe : usinage par enlèvement de la matière.

Les principaux facteurs influençant la formation du copeau et l'état des surfaces usinées sont :

- La vitesse de coupe (V_c) : si ce paramètre augmente, la rugosité de la surface diminue.
- La profondeur de passe (a^p),
- La vitesse d'avance (V_f),
- La géométrie de l'outil et son rayon de bec,
- La durée de vie de l'outil,
- Les matériaux de l'outil et de la pièce,
- La lubrification.

L'obtention d'un travail satisfaisant (bon état de la surface usinée, rapidité de l'usinage, usure modérée de l'outil, ...) nécessite un bon choix et réglage des paramètres de la coupe.

II.6.2 Paramètres de la coupe :

Plusieurs critères définissant les paramètres de la coupe entrent en jeu et influent de manière directe sur les résultats de la fonction usinage. Certaines grandeurs sont liées au choix des paramètres d'usinage (vitesse, profondeur, ...) effectués par l'opérateur. D'autres par contre, dépendent de la pièce à usiner elle-même et de l'état des outils d'usinage.

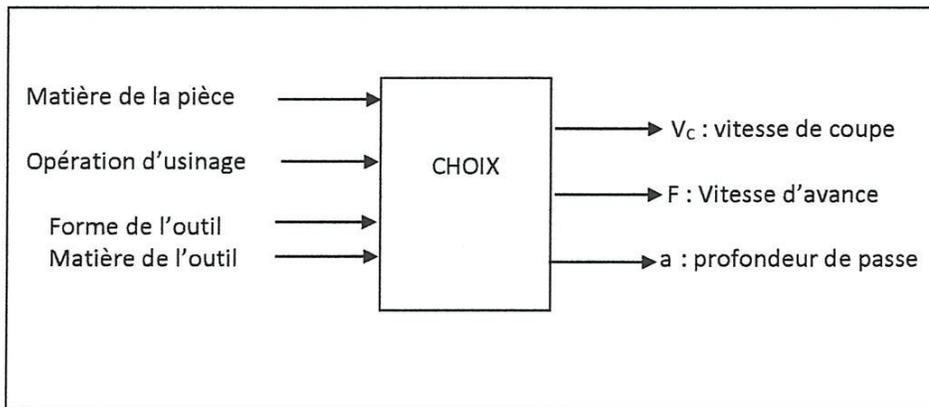


Figure II.10 Paramètres de la coupe.

Nous avons regroupé ces différents paramètres dans la figure précédente et nous allons à présent développer un peu plus ces critères dans la mesure où ils auront à intervenir dans la conception des programmes de notre carte de commande de la machine-outil dès lors que le microprocesseur est appelé à remplacer l'opérateur-mécanicien dans l'usinage de la pièce.

II.6.3 Vitesse de coupe :

C'est la vitesse de rotation de la fraise ou encore la distance parcourue par l'extrémité d'une dent de la fraise pendant une minute.

Si d est le diamètre de la fraise (en mètres) et n le nombre de tours par minute, on a :

$$V_c = \pi \cdot d \cdot n$$

$\pi \cdot d$: distance parcourue sur un tour (et qui correspond à la circonférence complète de la fraise si elle est ronde).

N : fréquence de rotation en tours par minute.

La vitesse de coupe a une influence majeure sur la durée de vie des outils. Elle varie notamment avec la matière à usiner, le matériau de l'outil, la nature de l'opération (ébauche ou finition), les conditions de lubrification (travail à sec ou lubrifié).

II.6.4 Vitesse d'avance :

C'est la vitesse du déplacement de l'outil à l'intérieur de la pièce. Elle est décrite par l'expression ci-dessous :

$$V_F = f \cdot z \cdot n$$

n : fréquence de rotation (tr/mn)

f : avance par dent (mm/dent)

z : nombre de dents de la fraise

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

II.6.5. Profondeur de passe :

C'est la distance que doit parcourir l'outil dans la pièce selon une direction précise. Elle s'exprime en mm.

Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté une étude générale sur la partie mécanique dont la table d'usinage, les différents types d'outils et l'asservissement d'un axe numérique.

Chapitre III

PARTIE COMMANDE

Introduction :

Dans ce chapitre on va faire une étude sur la structure de commande dont on va définir le contrôle numérique, et les différents techniques de contrôle numérique, aussi on va donner une vue vulgarisée sur les moteurs pas à pas, les moteurs à courant continu, et les circuits spéciaux de commande et de puissance.

III.1 Le contrôle numérique :

Dans le domaine de la fabrication mécanique, le terme « commande » désigne l'ensemble des matériels et logiciels ayant pour fonction de donner les instructions de mouvements à tous les éléments d'une machine-outil :

- ❖ L'outil (ou les outils) d'usinage équipant la machine.
- ❖ Les tables ou palettes où sont fixées les pièces.
- ❖ Les systèmes de magasinage et de changement d'outil.
- ❖ Les dispositifs de changement de pièce.
- ❖ Les mécanismes connexes, pour le contrôle ou la sécurité, l'évacuation des copeaux.

III.2 Techniques de contrôle numérique :

III.2.1 Systèmes de commande point à point :

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

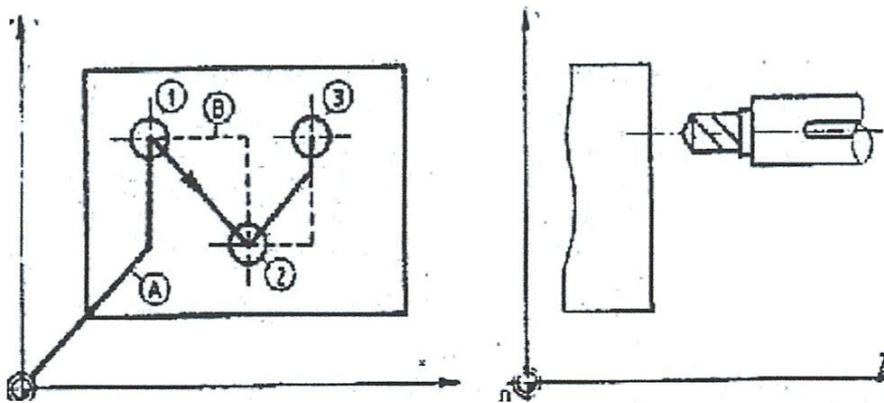


Figure III.1 déplacement point à point suivant X et Y.

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

Déplacement suivant A :

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

Déplacement suivant B:

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

III.2.2 Systèmes de déplacement par axial :

Ce type de machine permet, en plus du positionnement point à point, des fraisages ou tournages précis à des vitesses imposées par la bande, sens des trajectoires parallèles à chacun des axes de déplacement X, Y, Z (dressage) de faces(cylindrage, rainurage...).

Cependant, un système de contrôle par axial ne permet pas d'effectuer un fraisage ou un tournage suivant des directions quelconques. En effet, la mémoire affectée à la vitesse d'avance est unique et est commutée successivement sur chaque axe.

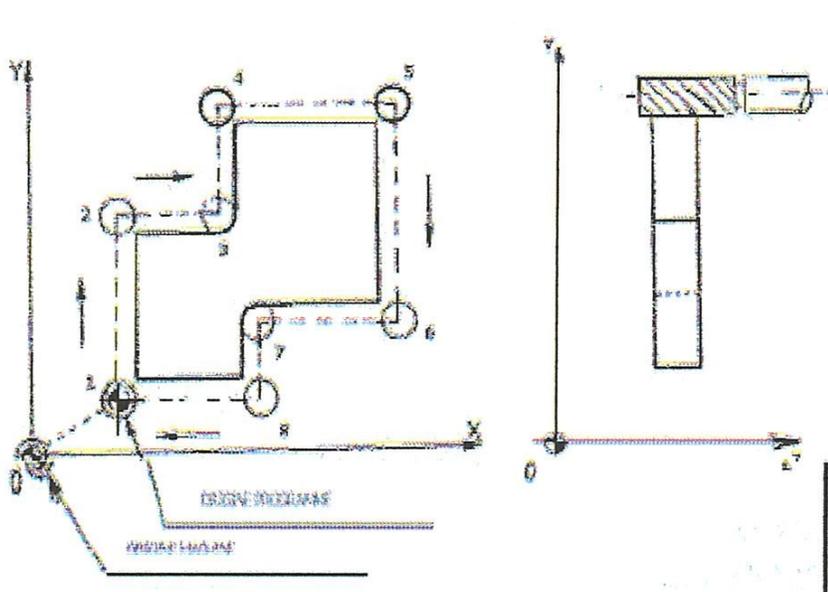
➤ **Exemple de fraisage en par axial :**

Figure III.2 fraisage paraxial.

Pour fraiser le contour de cette pièce, la fraise 2 tailles se déplacera suivant des trajectoires linéaires selon les coordonnées X, Y, Z. [5]

Dans un premier temps, l'outil passe de la position 0 (origine machine) à la position 1 (origine de la programmation) généralement en avance rapide.
 Puis usine successivement les différentes faces et rayons suivant les trajectoires X et Y. De retour en 1, la fraise se positionne à nouveau en avance rapide à l'origine machine 0.

➤ Exemple de tournage paraxial :

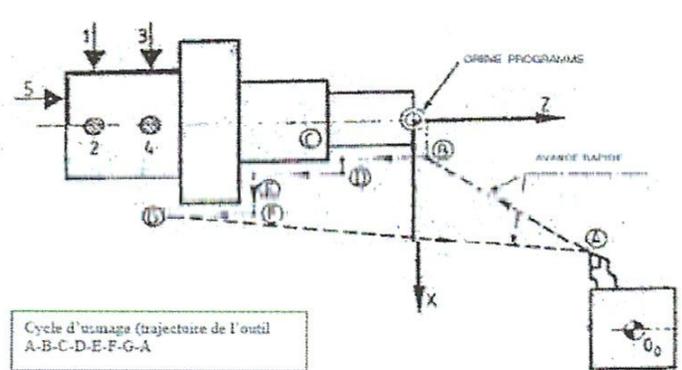


Figure III.3 tournage paraxial.

Pour réaliser cette pièce, l'outil se déplacera suivant des trajectoires linéaires selon les coordonnées X-Y. De même qu'en fraisage, les positionnements d'un ou des outils se font en avance rapide.

III.2.3 Systèmes de chemin continu :

Dans le cas où les informations en X, Y, Z sont liées par une loi mathématique, le mouvement décrit une trajectoire qui n'est pas obligatoirement parallèle aux axes. Les déplacements pouvant être simultanés, le mode de fonctionnement est alors appelé contourage. Pour assurer ces déplacements, nous ferons appel aux interpolations linéaire et circulaire.

Exemple de tournage continu :

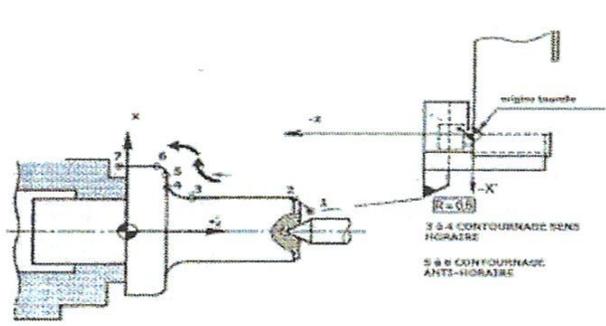


Figure III.4 tournage continu.

III.3 Les moteurs de commande d'axes :

On distingue trois grandes technologies de moteurs de commande d'axes parmi lesquels on peut citer les moteurs pas à pas et les moteurs à courant continu.

III.3.1 Moteurs pas à pas :

Un moteur pas à pas (moteur PAP) permet de transformer une impulsion électrique en un mouvement angulaire. On trouve trois types de moteurs pas à pas :

- Le moteur à réluctance variable.
- Le moteur à aimants permanents.
- Le moteur hybride qui est une combinaison des deux technologies précédentes.

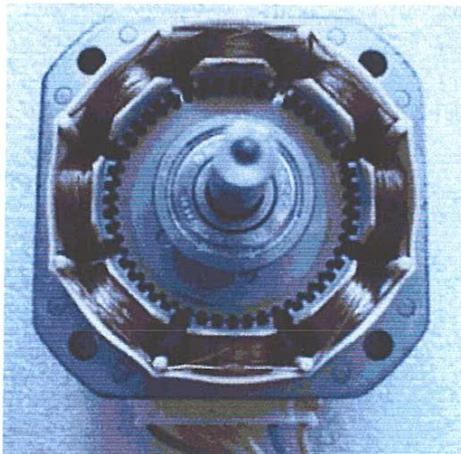


Figure III.5 Vue intérieure d'un moteur pas à pas

III.3.2 Principe de fonctionnement :

Le stator se présente sous l'aspect d'un tube ayant quatre « dents » à l'intérieur de celui-ci. Les bobines sont enroulées autour de ces dents, Le rotor prend une des positions représentées dans le diagramme ci-dessous en fonction de la présence ou non d'un courant dans l'une des 4 bobines.

Une représentation schématisée d'un moteur est donnée en figure ... Afin d'inverser le sens du courant, les enroulements sont réalisés au moyen de deux fils dont l'une des extrémités est reliée au + ou au - de l'alimentation. La commande de ce type de moteur est la plus simple de tous les moteurs pas à pas puisqu'il suffira d'alimenter les bobinages à tour de rôle pour faire tourner l'axe d'un pas. Le schéma de la figure 6 résume la séquence la plus simple.

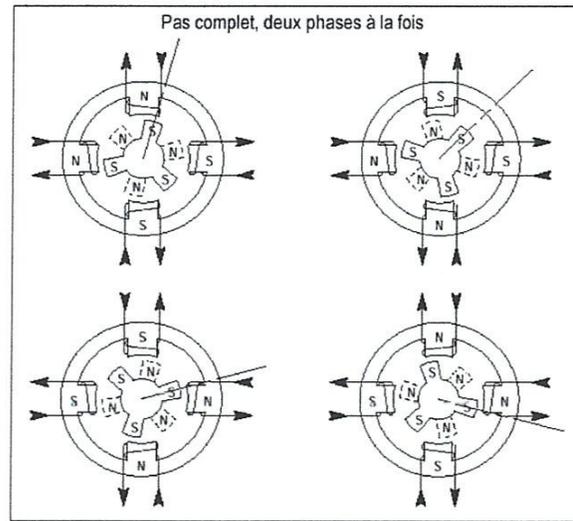


Figure III.6 Principe de rotation d'un moteur PAP en pas complet

Un pas complet peut être ainsi décortiqué en plusieurs étapes. La première est l'état initial, caractérisé par une position dite « d'équilibre » et une vitesse indéterminée (mais supposée nulle pour simplifier). La seconde étape est celle où un changement de l'orientation du champ magnétique provoque l'apparition d'une force, et par conséquent, une accélération. Cette accélération se poursuivra jusqu'à qu'aucune force ne s'exerce sur le rotor, c'est-à-dire lorsqu'il se retrouvera à sa position finale d'équilibre.

En alimentant alternativement les bobines AB seules, les bobines AB et CD simultanément, les bobines CD seules, les bobines CD et AB simultanément, ainsi de suite ... figure III.7, le rotor bouge d'un demi-pas à chaque étape doublant par conséquent le nombre de pas par tour.

Ceci est appelé le mode « demi-pas » et la plupart des applications industrielles utilisent ce mode. En réalité, ce qui se passe lors de ce mode de fonctionnement, c'est qu'on « assiste » la rotation du moteur, au lieu de changer brusquement le champ magnétique et attendre que le rotor se place. On change donc un peu plus doucement le champ magnétique et le rotor accède à une vitesse maximale moins élevée entre les positions initiales et finales. Du point de vue accélération, le mode demi-pas réduit la distance entre les pas. En conséquence, l'accélération est moins élevée et les variations de vitesse aussi.

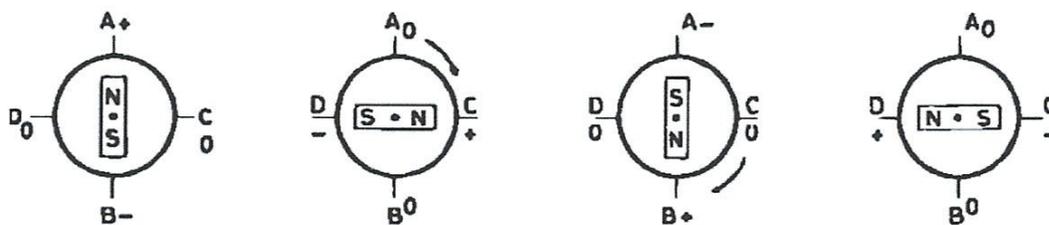


Figure. III.7 principe de rotation d'un moteur PAP en demi-pas.

III.3.3 La commande des moteurs pas à pas :

Pour commander un moteur pas à pas nous avons besoin d'une partie logique qui se chargera de faire en sorte que le moteur agisse de façon cohérente et déterminera la vitesse ainsi que le sens de rotation ou l'alimentation ou non du moteur lorsque celui-ci est arrêté. Comme les bobines du moteur doivent être alimentées selon un ordre prédéfini le contrôleur veillera à alimenter les bobines dans le bon ordre. Finalement, l'interface de puissance permettra de faire circuler des courants de l'ordre de l'Ampère dans les bobines du moteur.

Plusieurs types de commandes peuvent être envisagés lorsque l'on met en œuvre des moteurs pas à pas. La moins onéreuse, mais pas obligatoirement la plus efficace et certainement la plus compliquée, est celle qui fera usage de transistors ; la plus sophistiquée fera appel à des circuits intégrés dédiés à ce type d'applications.

III.4 Les circuits spéciaux L293D :

III.4.1 Description :

Les dispositifs L293 et L293D sont des conducteurs demi-H quadruple haute intensité. Le L293 est conçu pour fournir des courants d'attaque bidirectionnels jusqu'à 1 A à une tension de 4,5 V à 36 V. Le L293D est conçu pour délivrer des courants d'attaque bidirectionnels allant jusqu'à 600 mA à une tension de 4,5 V à 36 V. Les deux dispositifs sont conçus pour piloter des charges inductives telles que des relais, des solénoïdes, moteurs pas à pas bipolaires, ainsi que d'autres charges à courant élevé et haute tension.

III.4.2 Configuration et fonctionnement des broches :

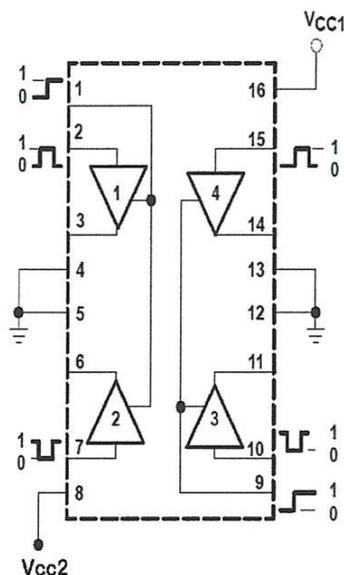


Figure III. 8 Schéma fonctionnel des entrées sorties au circuit L293D.

III.4.3 Identification des différentes broches d'entrées et de sorties :

Numéro de la broche	Description de la broche
1	Activation des canaux du pilote 1 et 2 (entrée active haute)
2, 7, 10, 15	Entrées du pilote non inverseurs
3, 6, 11, 14	Sorties du pilote
9	Activation des canaux du pilote 3 et 4 (entrée active haute)
4, 5, 12, 13	Masse
16	Alimentation 5V
8	Puissance VCC pour les conducteurs de 4,5 V à 36V

Tableau III.1 différentes broches d'entrées sorties.

La commande d'un moteur pas à pas à base d'Arduino (voir annexe III).

Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté brièvement le contrôle numérique, une description ainsi que le fonctionnement des moteurs pas à pas et nous avons terminé par décrire physiquement le circuit intégré spécialisé L293D de commande des moteurs pas à pas.

Chapitre IV

STRUCTURE DE PROGRAMMATION

Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter le code G : le langage de programmation des machines à commande numérique. Nous verrons en particulier comment faire un déplacement d'un point à un autre et comment définir les différents types d'origines (origines machine, pièce et programme). Nous terminerons par la revue des différents modes de cotation et le support d'information.

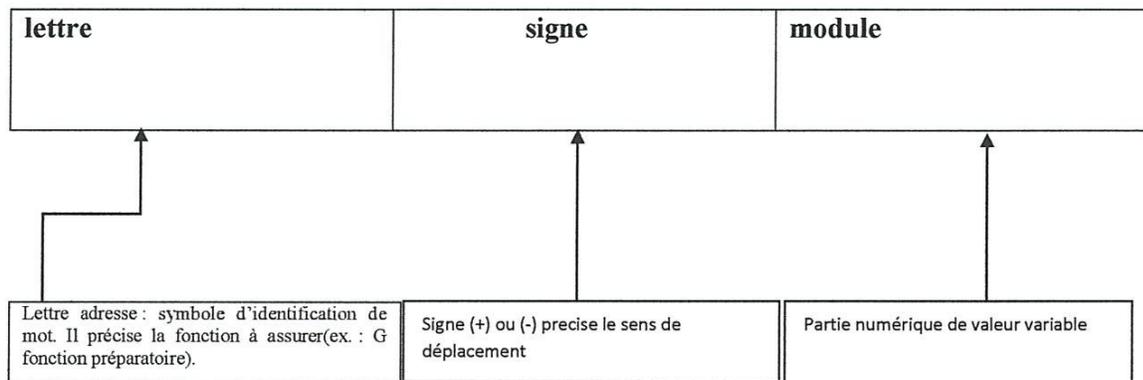
IV.1 Langage de programmation :

Le langage G (GEMMA code) :

Le langage G est un langage normalisé (industrie des MOCN) utilisé pour le développement des programmes pièces. C'est un outil flexible pour le dialogue homme-machine-outil. Il est dit proche de la machine dans sa norme 6983/1, car sa traduction en langage de bas niveau (comme l'assembleur) est relativement souple. Il adaptée pour :

- Mise en position.
- Le mouvement linéaire (paraxial).
- Le contournage.

Il admet un jeu de caractères codés sur 7bits (code ASCII). Le huitième bit étant destiné au contrôle de la parité.

IV.1.1 composition d'un mot :

Exemple :

x	+	35750
---	---	-------

IV.1.2 format d'un bloc :

Chaque mot a un format propre.

En commande numérique, le format de mot est une attribution de caractères placés dans un ordre approprié comprenant :

-une adresse,

-éventuellement, un signe,

-un ou deux chiffres séparés par un point, représentant de part et d'autre de la virgule des unités du module, les nombres maximaux.

Exemple :

Numérotation maximale des lettres adresses $N=N.9999$

Format N4

Soit 9999

Déplacement maximale en 1/100mm $-X \pm 999.99\text{mm}$

FORMAT $X \pm 3.2$

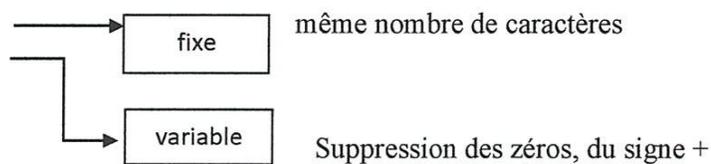
Soit 999.99mm

Déplacement maximale en 1/1000mm (μ) $=X \pm 9999.99\text{mm}$

FORMAT $X \pm 4.3$

Soit 9999.999 mm

Le format du mot peut être



Exemple :

Soit une cote + 5mm sur X, au format fixe $X \pm 3.2$

→ On écrira : En format fixe $X + 00500$

En format variable $X 500$

IV.1.3 Bloc d'informations :

Le bloc d'informations est un groupe de mots comprenant toutes les instructions pour une opération ou séquence d'usinage, en coupe ou non.

-un caractère **fin de bloc** termine le bloc ;

-chaque bloc est séparé du précédent par un caractère **fin de bloc, donc chaque ligne= un bloc d'informations.**

Exemple d'un BLOC :

N4	G2 X ± 3.2 Y ± 3.2 F4 M2	*
N° de bloc	MOTS DE BLOC	FIN DE BLOC

Le format de bloc peut être

fixe

nombre de positions fixes des mots

variable

Nombre variable des mots.

IV.2 Les techniques de repérage sur la machine :

Aussi bien sur le tour que sur la fraiseuse, la mise en position d'une pièce sur la machine se fait par-rapport à un repère lié au support de la pièce. Ce repère est assujéti à certaines conventions reportées ci-dessous :

*L'axe Z est parallèle à la broche principale (tour, fraiseuse) ou perpendiculaire à la table.

*L'axe X est celui définissant le plus grand déplacement.

*Un déplacement de sens positif éloigne l'outil de la pièce.

IV.2.1 Systèmes de coordonnées :

Pour décrire la géométrie d'une pièce, on utilise un système de coordonnées rectangulaires (système de coordonnées cartésiennes). Le système de coordonnées est composé des trois axes de coordonnées X, Y et Z perpendiculaire entre eux et se rejoignant en un point appelé le point zéro du système de coordonnées, l'origine « O ». Les axes de coordonnées comportant un certain nombre de divisions (dont l'unité est en général le mm) permettent de déterminer un point quelconque dans l'espace.

Pour déterminer les positions sur la pièce, on pose de manière abstraite le système de coordonnées sur celle-ci. Les axes de la machine (axe X, axe Y, axes Z) se déplacent dans le sens des axes de coordonnées Ox, Oy, Oz. L'axe Z correspond normalement à l'axe de l'outil.

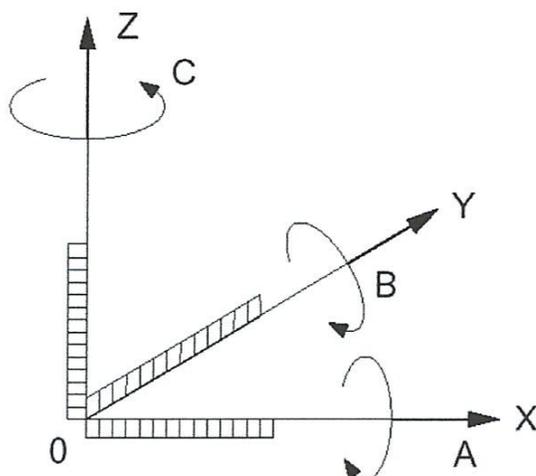


Figure IV.1 Système d'axes.

IV.2.2 Initialisation du point de référence :

Pour l'usinage, c'est le plan de la pièce qui sert de base dans la mesure où on ne peut indiquer une position que par-rapport à une autre, il est nécessaire de disposer pour l'indication de chaque côté d'un point de référence sur la pièce afin de pouvoir convertir les données du plan en déplacements des chariots selon les axes X, Y, et Z de la machine.

IV.3 les origines de référence :

IV.3.1 Origine machine :

Elle est définie par la position mécanique par accostage des butées d'origine (X_0, Y_0, Z_0). Elle se trouve généralement en dehors des courses utiles maximales de la machine pour permettre l'usinage des pièces dont les dimensions sont équivalentes aux courses maximales programmables.

IV.3.2 Origine pièce :

Elle est définie par le point de la pièce sur lequel on est capable de se positionner directement. C'est celle qui permet au mécanicien de faire la cotation de tous les autres points de la pièce lors de l'élaboration du dessin de définition de la pièce.

IV.3.3 Origine programme :

C'est l'origine du trièdre de référence qui sert au programmer pour établir son programme.

Généralement et pour des raisons de simplicité, elle est confondue avec l'origine de la pièce.

IV.3.4 Illustration :

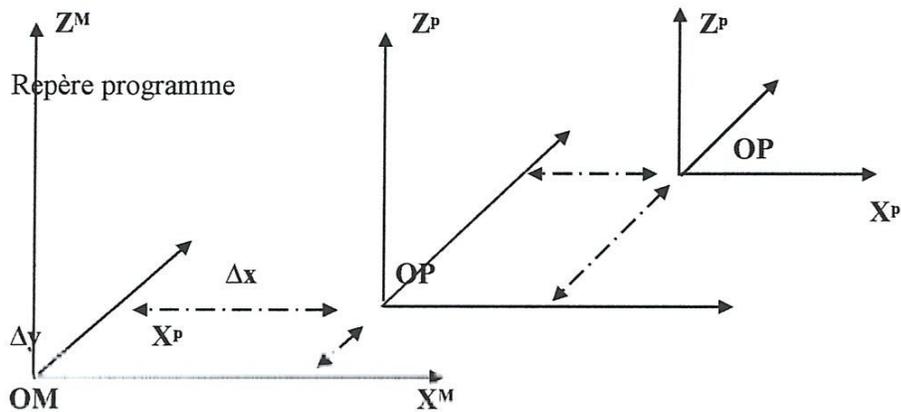


Figure IV.2 Les différentes origines de références.

IV.4 Les modes de cotation :

Pour assurer l'usinage d'une pièce sur machines-outils commandées numériquement, le programmeur peut recevoir le dessin du produit fini coté suivant trois modes

IV.4.1 Cotation en système de référence (absolue) :

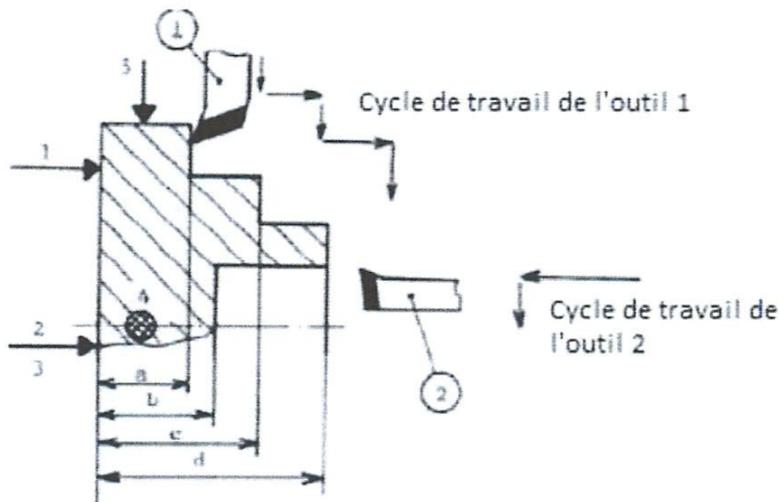
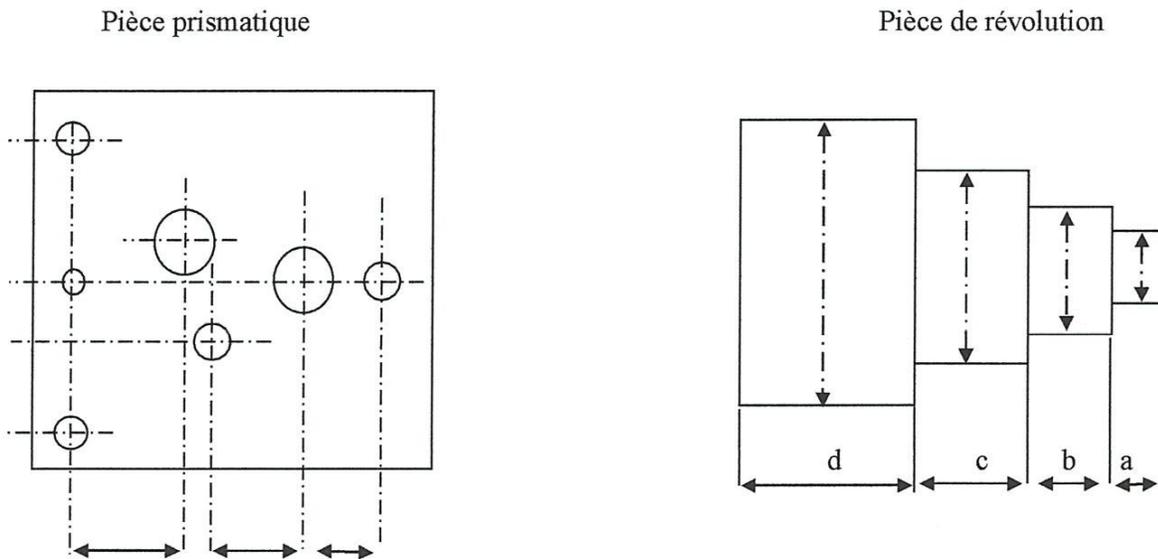


Figure IV.3 Exemple de cotation absolue.

Nous remarquons que les coordonnées sont données par-rapport à une origine fixe.

IV.4.2 Cotation itérative : cotation relative :

Les coordonnées sont données par rapport au point précédent. La cotation se fait par empilage.

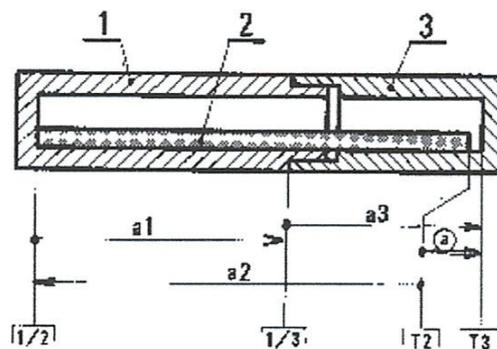
IV.4.3 Cotation conventionnelle : cotation mixte :

Figure IV.4 cotation mixte.

Ce système de cotation résulte de la combinaison de la cotation absolue et de la cotation relative et découle généralement d'une cotation fonctionnelle.

IV.5 Etude de la programmation :**IV.5.1 Support d'informations :**

Les caractères sont généralement disposés sur un ruban perforé en papier ordinaire plastifié ou en matière plastique (nylon). La bande est normalisée dans ses dimensions.

La largeur est de 25.4 mm et comporte 8 pistes de perforations et une piste d'entraînement.

1. Le code EIA et le code ISO :

Il existe, à l'heure actuelle, deux codes en service :

a) -le code EIA qui utilise 6 perforations caractéristiques, et 1 perforation de fin de bloc, dont le rôle est de séparer les différents blocs et 1 perforation dite l'imparité, permettant de rendre impair le nombre de perforations et par cela même de permettre un contrôle de lecture.

b).le code ISO qui utilise 7 perforation caractéristiques et 1 perforation dite de parité, permettant de rendre pair le nombre de perforation et par cela même de permettre un contrôle de lecture.

CODE EIA

Character	8	7	6	5	4	3	2	1	DEC	HEX	ASC	Meaning
0									32	20	40	Number 0
1									01	01	49	Number 1
2									02	02	50	Number 2
3									19	13	51	Number 3
4									04	04	52	Number 4
5									21	15	53	Number 5
6									22	16	54	Number 6
7									07	07	55	Number 7
8									08	08	56	Number 8
9									25	19	57	Number 9
a (A)									07	01	65	Address A
b (B)									08	02	66	Address B
c (C)									116	73	67	Address C
d (D)									100	64	68	Address D
e (E)									117	75	69	Address E
f (F)									118	76	70	Address F
g (G)									103	67	71	Address G
h (H)									104	68	72	Address H
i (I)									121	79	73	Address I
j (J)									81	51	74	Address J
k (K)									82	52	75	Address K
l (L)									87	43	76	Address L
m (M)									94	54	77	Address M
n (N)									69	45	78	Address N
o (O)									70	46	79	Address O
p (P)									87	57	80	Address P
q (Q)									88	58	81	Address Q
r (R)									73	49	82	Address R
s (S)									60	32	83	Address S
t (T)									35	23	84	Address T
u (U)									52	34	85	Address U
v (V)									37	25	86	Address V
w (W)									38	26	87	Address W
x (X)									55	37	88	Address X
y (Y)									66	38	89	Address Y
z (Z)									41	29	90	Address Z
DEL									255	FF		Delete (Cancel erroneous hole)
NUL									0	00	0	No Data
BS									42	2A	8	Back Space
Tab									62	3E	9	Tabulator
EOB or CR									128	80	10	End Of Block
ER									11	0B		End of Record - Absolute Rewind Stop
SPACE									16	10	32	Space
%									91	5B	37	Percent Sign
(									26	1A	40	Control Out (Start of comment)
)									74	4A	41	Control In (End of comment)
+									112	70	43	Plus Sign
-									64	40	46	Minus Sign
.											58	N/A
/									49	31	47	Optional Block Skip
.									107	6B	46	Decimal Point
#											35	N/A
\$											36	N/A
&									14	0E	38	Ampersand
'											39	N/A
*											42	N/A
,									59	3B	44	Comma
;											59	N/A
<											60	N/A
=											61	N/A
>											62	N/A
?											63	N/A
@											64	N/A
"											34	N/A
[											91	N/A
]											93	N/A
DC1									17	11	17	Control Code Tape Reader Start (XON)
DC2									18	12	18	Control Code Tape Punch Designation
DC3									146	91	19	Control Code Tape Reader Stop (XOFF)
DC4									20	14	20	Control Code Tape Punch Release

CODE ISO

Character	8	7	6	5	4	3	2	1	DEC	HEX	ASC	Meaning
0									48	30	48	Number 0
1									177	B1	49	Number 1
2									178	B2	50	Number 2
3									51	33	51	Number 3
4									180	B4	52	Number 4
5									53	35	53	Number 5
6									54	36	54	Number 6
7									183	B7	55	Number 7
8									184	B8	56	Number 8
9									57	39	57	Number 9
A									65	41	65	Address A
B									66	42	66	Address B
C									195	C3	67	Address C
D									68	44	68	Address D
E									197	C5	69	Address E
F									198	C6	70	Address F
G									71	47	71	Address G
H									72	48	72	Address H
I									201	C9	73	Address I
J									202	CA	74	Address J
K									75	4B	75	Address K
L									204	CC	76	Address L
M									77	4D	77	Address M
N									78	4E	78	Address N
O									207	CF	79	Address O
P									80	50	80	Address P
Q									209	D1	81	Address Q
R									210	D2	82	Address R
S									83	53	83	Address S
T									212	D4	84	Address T
U									85	55	85	Address U
V									86	56	86	Address V
W									215	D7	87	Address W
X									216	D8	88	Address X
Y									89	59	89	Address Y
Z									90	5A	90	Address Z
DEL									255	FF		Delete (Cancel erroneous hole)
NUL									0	00	0	No Data
BS									136	88	8	Back Space
HT									9	09	9	Tabulator
LF									10	0A	10	End Of Block
CR									141	8D	13	Carriage Return
SPACE									160	AD	32	Space
%									166	A6	37	Absolute Rewind Stop
(									40	28	40	Control Out (Start of comment)
)									169	AG	41	Control In (End of comment)
+									43	2B	43	Plus Sign
-									45	2D	45	Minus Sign
.									58	3A	58	Assumed as Program Number in ISO
/									175	AF	47	Optional Block Skip
.									46	2E	46	Decimal Point
#									163	A3	35	Sharp
\$									38	24	38	Dollar Symbol
&									166	A6	38	Ampersand
'									39	27	39	Apostrophe
*									170	AA	42	Asterisk
,									172	AC	44	Comma
;									187	BB	59	Semicolon
<									60	3C	60	Left Angle Bracket
=									189	BD	61	Equal Sign
>									190	BE	62	Right Angle Bracket
?									83	3F	83	Question Mark
@									192	CD	64	Commercial AT Mark
"									34	22	34	Quotation Mark
[									219	DB	91	Left Bracket
]									93	5D	93	Right Bracket
DC1									17	11	17	Control Code Tape Reader Start (XON)
DC2									18	12	18	Control Code Tape Punch Designation
DC3									146	91	19	Control Code Tape Reader Stop (XOFF)
DC4									20	14	20	Control Code Tape Punch Release

Chaque rangée de perforations transversales de la bande représente :

- soit une lettre adresse.
- soit un chiffre décimal (code binaire).
- soit un symbole fonctionnel.

Conclusion :

Dans ce chapitre on a survolé rapidement le langage G, le support d'information et aussi on a appris comment coder les informations et on a rappelé de façon brève la structure de programmation.

Chapitre V

APPLICATION : MINI CNC MACHINE A BASE ARDUINO

Introduction

La mini CNC machine est une application qui vise à comprendre la commande numérique d'une façon souple, pour cela, on a fait ce travail de 2 dimensions pour prendre une vue détaillée sur ce type des machines-outils.

Ce projet a fait grâce à la grande variété d'impression en 2D sur n'importe quel type de matériau (sur tissu, bois, métal, plastique) selon les besoins, aussi d'une vue commerciale, les prix de fabrication seront très compétitifs en petite série ou pour les produits qui doivent changer constamment de design.

La réalisation de ce projet nous a donné l'accès pour réaliser une CNC machine de 3D qui peut fabriquer des pièces de géométrie complexes par les méthodes d'usinage classiques, et puis, atteindre à réaliser une imprimante 3D pour la fabrication d'objets présentant des formes difficiles à réaliser.

Dans ce projet, nous avons décidé de réaliser une mini-machine CNC qui permet de reproduire à l'aide d'un stylo à bille sur un papier blanc n'importe quelle figure de la plus simple à la plus complexe.

Le déplacement du stylo à bille est contrôlé au moyen d'une carte à microcontrôleur de type Arduino.

Il suffit de présenter simplement à notre machine cette image ou cette photographie, qu'elle soit en couleurs ou en Noir & Blanc, ce n'est pas important ... ensuite notre mini-machine CNC reproduit fidèlement cette image sur un papier blanc.

Bien entendu, l'utilisation de cette mini-machine CNC peut être étendue à l'impression sur tout type de matériaux, il suffit de placer l'outil de dessin adéquat et fournir la puissance suffisante pour le déplacement de cet outil sur ce matériau.

Pour réaliser cette machine nous faisons appel à une carte à microcontrôleur de type Arduino largement disponible sur le marché. Nous allons présenter dans les lignes suivantes une description simple de ces cartes à microcontrôleur.

V.1. Définition :

Un microcontrôleur (en notation abrégée μc , ou encore MCU en anglais) est un circuit intégré qui rassemble les éléments essentiels d'un ordinateur : processeur, mémoires (mémoire morte pour le programme, mémoire vive pour les données), unités périphériques et interfaces d'entrées-sorties.

Les microcontrôleurs se caractérisent par un plus haut degré d'intégration, une plus faible consommation électrique, une vitesse de fonctionnement plus faible (de quelques Mégahertz jusqu'à plus de 1 Gigahertz) et un coût réduit par rapport aux microprocesseurs polyvalents utilisés dans les ordinateurs personnels.[3]

V.2. Domaines d'applications :

Les microcontrôleurs sont souvent utilisés dans l'élaboration de systèmes embarqués, nécessitant des traitements spécialisés (autoradios, téléphones portables, lecteur mp3, GPS, etc.).

Ces circuits intégrés sont également très prisés en robotique amateur et permettent de réaliser de nombreuses applications, y compris des robots autonomes, les automatismes en modélisme (maquettes de réseau ferroviaire).

V.3. Le microcontrôleur ARDUINO¹ Méga 2560 :

V.3.1. Aperçu :

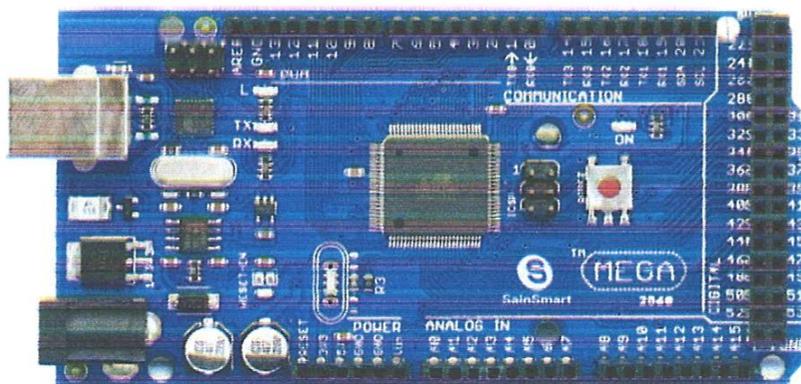


Figure V.1. Carte de développement ARDUINO Méga 2560.

L'Arduino Méga 2560 est une carte microcontrôleur basée sur le microcontrôleur ATmega2560. Il possède :

- 54 entrées / sorties numériques : des broches (dont 14 peuvent être utilisées comme sorties PWM).
- 16 entrées analogiques.
- 4 UART (ports série matériels).
- Un oscillateur de 16 MHz (cristal de quartz).
- Une connexion USB, une prise d'alimentation.
- D'une embase ICSP.
- Un bouton de réinitialisation.

Le microcontrôleur ATmega2560 est doté de 256 Ko de mémoire flash pour le stockage du code (dont 8 Ko est utilisé pour le chargeur de démarrage), 8 Ko de SRAM et 4 Ko de mémoire EEPROM. [6]

¹ARDUINO : L'Arduino emprunte son nom au « Bar di Re Arduino », un pub de la ville d'Ivrée, située en Italie du Nord.

V.3.2. Architecture interne :

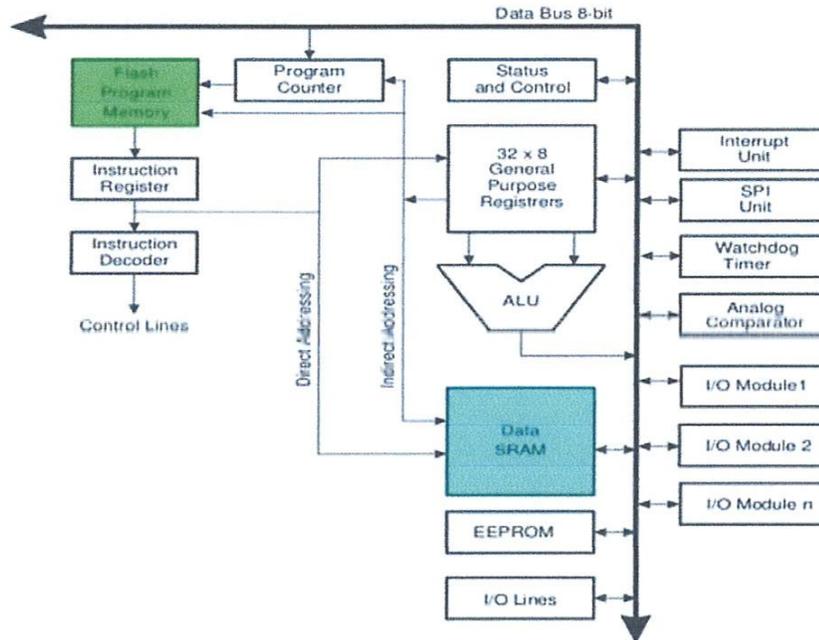


Figure V.2. Architecture interne du microcontrôleur ATmega 2560.

L'ATmega 2560 est un microcontrôleur 8 bits à faible puissance (technologie CMOS) basé sur l'architecture RISC². En exécutant des instructions dans un seul cycle d'horloge, l'ATmega 2560 réalise des vitesses approchant 1 MIPS.

V.3.3 Les différents types de cartes Arduino :

Les différentes versions de cartes Arduino sont fabriquées par la société italienne Smart Projects. Toutefois, quelques-unes parmi ces cartes (de marque Arduino) sont conçues par la société américaine SparkFun Electronics.

² RISC : Reduced Instruction Set Computer, est un type d'architecture matérielle de microprocesseurs qui se caractérise par un jeu d'instructions réduit, facile à décoder et comportant uniquement des instructions simples.

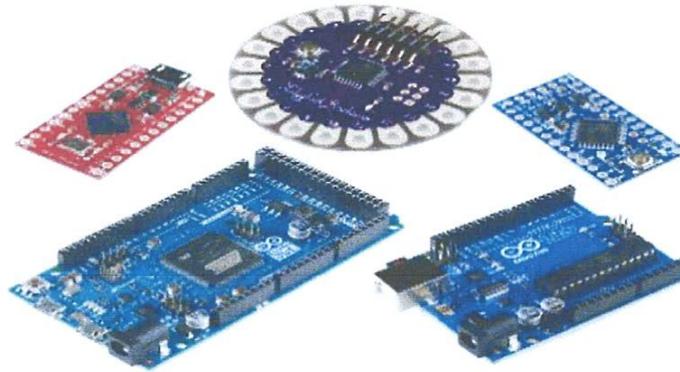


Figure V.3. Exemples de différents types de cartes Arduino.

Nom de la carte ARDUINO	Version du micro-contrôleur	Flash (ko)	EEPROM (ko)	SRAM (ko)	Broches		Broches E/S analogiques
					E/S numériques	avec PWM	
Mega2560	ATmega2560	256	4	8	54	15	16
Uno	ATmega328P	32	1	2	14	6	6
Nano	ATmega168 ou ATmega328	16/32	0.5/1	1/2	14	6	8
Yun	ATmega32u4	32	1	2.5	20	7	12
Deicimila	ATmega168	16	0.5	1	14	6	6

V.3.4. L'environnement de développement IDE de l'ARDUINO :

Le développeur Arduino fournit l'environnement de développement intégré de l'Arduino (Arduino IDE), qui est une application multiplateforme écrite dans le langage de programmation Java. Il est conçu pour faciliter la programmation de ces cartes aux artistes (pour lesquels ces cartes ont été développées en premier) et à tout nouvel utilisateur qui ne connaît pas le développement de logiciels. L'environnement Arduino IDE inclut un éditeur de code et fournit une application qui d'un simple clic permet de compiler et charger des programmes dans une carte Arduino.

Un programme écrit avec l'Arduino IDE est appelé un "sketch".

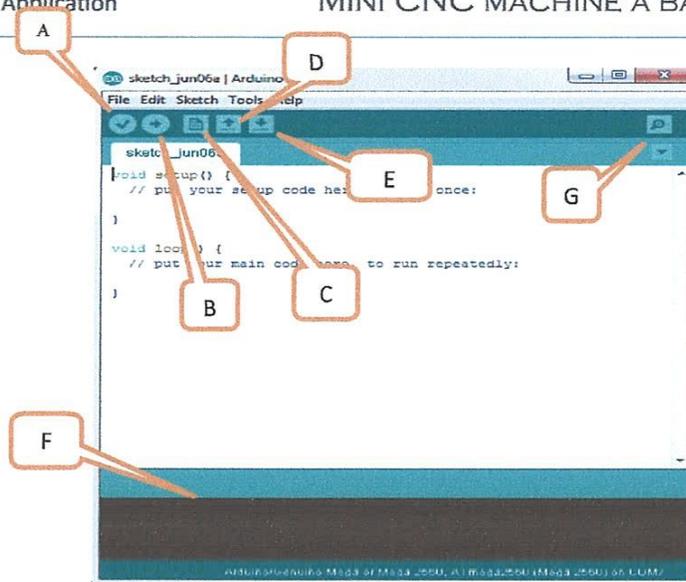


Figure V.4. Plateforme de l'Arduino.

- A : Compilation du programme.
- B : Télé-versement du programme.
- C : Nouvelle fenêtre.
- D : Ouvrir.
- E : Sauvegarde du programme.
- F : Zone des messages d'erreurs du programme.
- G : Moniteur série, s'il y a un échange d'information avec le pc (interface ...).

V.3.5. Partie hardware de la mini CNC :

Nous avons utilisé pour notre application une carte Arduino, type Shield Adafruit L293D, 2 moteurs pas à pas (récupérées sur 2 cartes lecteurs CD/DVD ROM) et d'un capteur infrarouge.

Une description simplifiée de la carte Arduino ainsi que le principe de fonctionnement des moteurs pas à pas ont été décrits dans les pages précédentes. A présent, nous allons regarder le principe de fonctionnement du capteur infrarouge.

V.3.6. Le capteur infrarouge TCRT5000 :

Le circuit TCRT5000 est un dispositif qui permet de détecter la lumière infrarouge. En présence d'une lumière infrarouge, ce circuit TCRT5000 délivre sur sa broche S un signal de faible tension à la carte Arduino ou tout autre dispositif.



Figure V.5. Capteur infrarouge TCRT5000.

V.4. Schéma électronique de la commande de la mini-machine CNC :

Ci-dessous, nous présentons le schéma de commande de la mini-machine CNC développé sous ISIS PROTEUS :

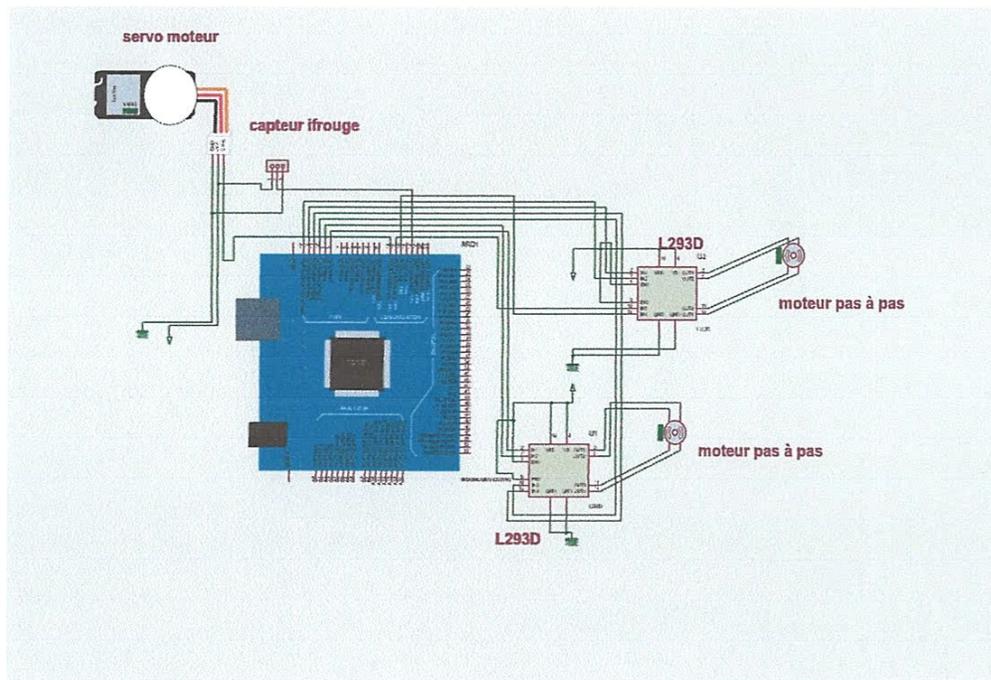
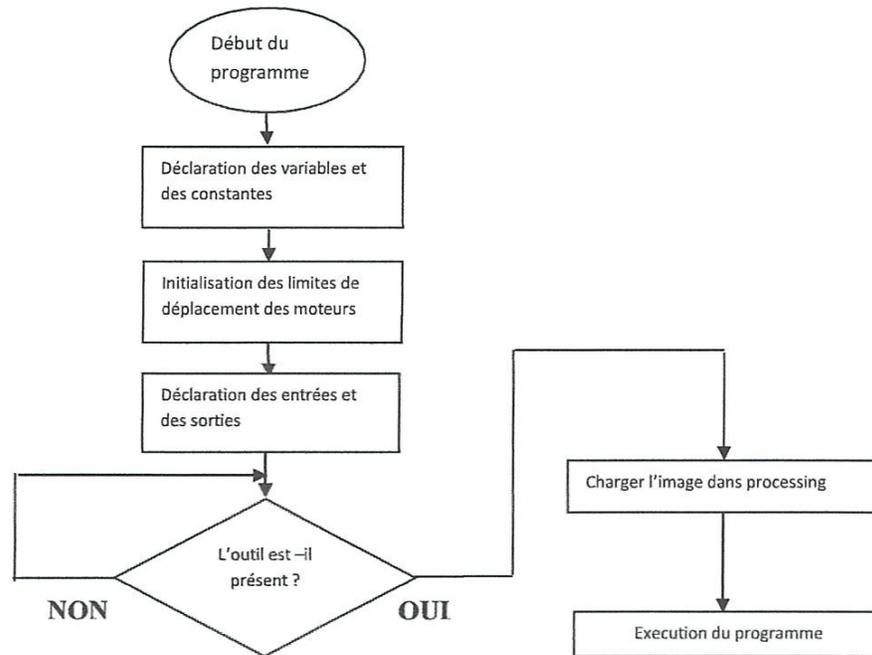


Figure V.6. Schéma de la commande de la mini-machine CNC sous ISIS PROTEUS.

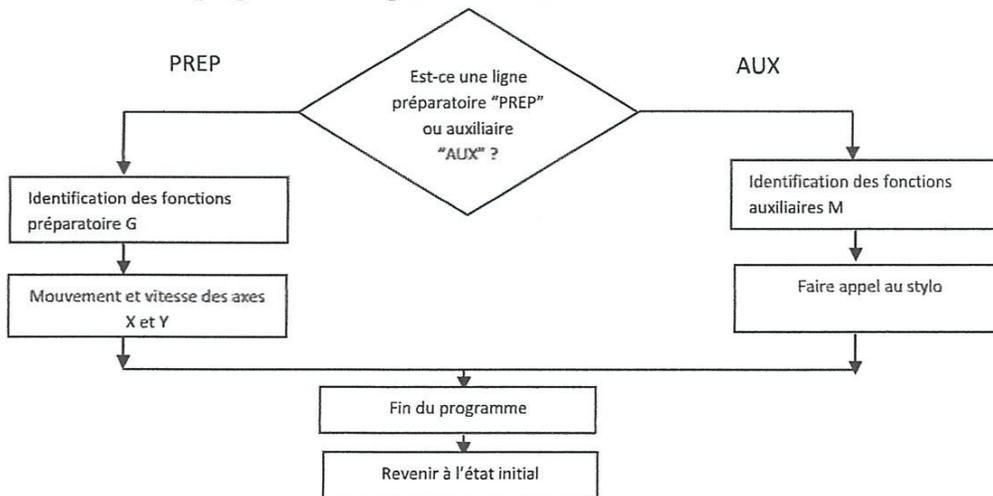
V.5. Partie Software :

Nous présentons ci-dessous l'organigramme qui permet de gérer la commande du stylo de notre mini-machine CNC.

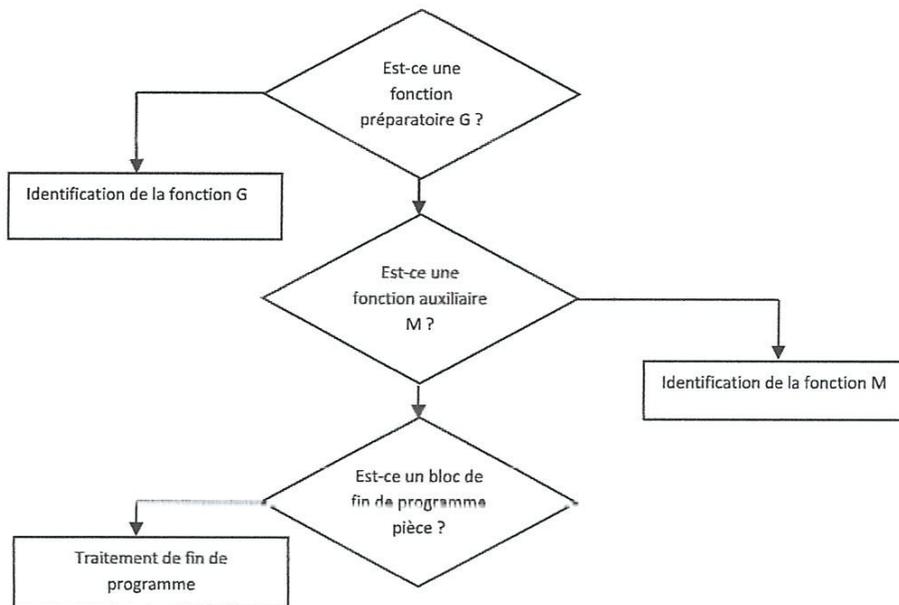
V.5.1 Organigramme du projet :



L'exécution du programme est représentée ci-dessous :



Organigramme d'identification de la fonction de travail à exécuter :



V.5.2 Description des opérations de l'impression des images à l'aide de la mini-machine CNC :

Si l'on veut imprimer une image sur du papier blanc à l'aide de la mini-machine CNC, on procède comme suit :

- 1- On commence par dessiner une image ou bien on choisit une image parmi l'infinité d'images existant sur la toile numérique.
- 2- On procède à un premier traitement de cette image grâce à un logiciel image spécial "*inkscape*" qui convertit cette image en un ensemble d'informations sous forme de segments de droite et de contours.



Figure V.7. Interface du logiciel Inkscape. Inkscape est un logiciel libre de dessin vectoriel³.

³ **Dessin vectoriel** : ou l'image vectorielle, est une image numérique composée d'objets géométriques individuels, des primitives géométriques (segments de droite, arcs de cercle, polygones, etc.)

CONCLUSION :

Après la réalisation pratique, et plusieurs tests, nous affirmons que nous avons achevé notre tâche demandée : la commande d'une machine CNC à base d'un ARDUINO. L'avantage de notre commande est qu'elle est à la norme ISO de la commande numérique des machines à deux axes. Toutefois, elle peut être facilement exploitée pour ajouter un troisième et même un quatrième axe. Nous avons rencontré plusieurs problèmes durant la conception de la commande et la réalisation pratique (couple des moteurs et leurs vitesses...), mais grâce à ce que nous avons appris durant nos études académiques, nous pouvions confronter ces difficultés.

Conclusion générale et Perspectives

La commande numérique est un mode de commande dans lequel les valeurs désirées d'une variable commandée sont définies selon un code numérique. La Machine-Outil constitue le principal domaine d'application de la Commande Numérique (MOCN).

La MOCN est une machine de production dont le langage de programmation est proche de celui de l'être humain. Elle regroupe une somme d'automatismes dans laquelle les ordres de déplacement, la vitesse de ces déplacements et leur précision, sont donnés à partir d'informations numériques. Ces informations sont codées sur des supports tels que : rubans perforés, cassettes ou disquettes magnétiques ou simplement sauvegardés en « mémoire » dans le cas des dernières générations de commandes numériques à calculateur intégré (CNC).

L'un des buts de la CN est la réduction des temps de préparation des gabarits réalisés auparavant par les seules les machines-outils classiques. Aujourd'hui, ce vœu sacré des entreprises travaillant le métal a été largement exhaussé.

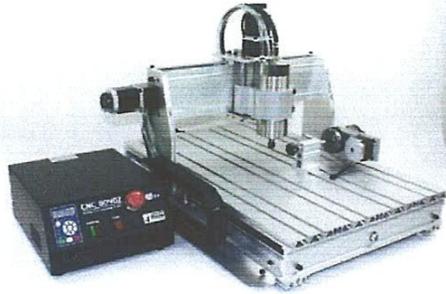
L'évolution des MOCN en centre d'usinage parallèlement à une réduction considérable de son prix de revient, ont permis son accès aux PME (petites et moyennes entreprises) dans les pays industrialisés voire même dans les pays du tiers monde comme le Niger.

Tout le long de l'étude de ce projet, nous avons rencontré beaucoup de problèmes (protocole de communication, couple des moteurs et leurs vitesses, ... etc.), qu'il a fallu surmonter au fur et à mesure. Après un dur labeur, nous pensons modestement que nous avons parachevé la tâche demandée qui s'est vue couronnée par une réalisation pratique d'une mini-machine CNC commandée par une carte électronique de type Arduino.

La commande numérique de cette mini-machine assure le contrôle du déplacement d'un stylo (outil de dessin) selon deux axes X et Y (impression 2D). Toutefois, elle peut être facilement étendue à la gestion de 3 axes moyennant le rajout d'un troisième moteur pas à pas pour contrôler le déplacement selon l'axe Z.

ANNEXE I:

1.3. Les différents types de MOCN :



Les CNC machines : tours.



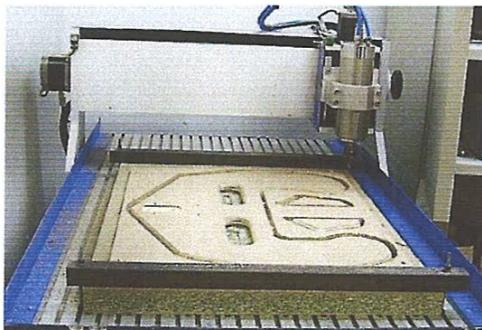
Les machines à enfonçages.



Les machines de découpes laser.



Les presses plieuse.



Les machines à bois.



Les machines spéciales à têtes multiples.

ANNEXE III :

III.3.3 La commande des moteurs pas à pas :

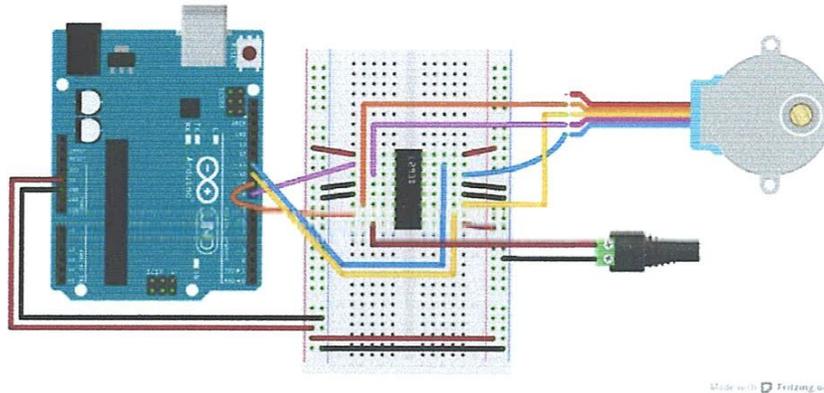


Schéma de branchement d'un moteur pas à pas avec Arduino.

Programme sous Arduino IDE :

```
int coila1 = 8;
int coila2 = 9;
int coilb1 = 10;
int coilb2 = 11;
inta ;
void setup()
{
pinMode(coila1, OUTPUT);
pinMode(coila2, OUTPUT);
pinMode(coilb1, OUTPUT);
pinMode(coilb2, OUTPUT);
}
void loop()
{
for (a = 0; a < 67; a++)
{
digitalWrite(coila1, HIGH);
digitalWrite(coila2, LOW);
digitalWrite(coilb1, LOW);
digitalWrite(coilb2, LOW);
delay(10);

digitalWrite(coila1, LOW);
```

ANNEXE

```
digitalWrite(coila2, LOW);  
digitalWrite(coilb1, HIGH);  
digitalWrite(coilb2, LOW);  
delay(10);
```

```
digitalWrite(coila1, LOW);  
digitalWrite(coila2, HIGH);  
digitalWrite(coilb1, LOW);  
digitalWrite(coilb2, LOW);  
delay(10);
```

```
digitalWrite(coila1, LOW);  
digitalWrite(coila2, LOW);  
digitalWrite(coilb1, LOW);  
digitalWrite(coilb2, HIGH);  
delay(10);
```

```
    }  
    for (a = 0; a < 67; a++)  
    {  
digitalWrite(coila1, LOW);  
digitalWrite(coila2, LOW);  
digitalWrite(coilb1, LOW);  
digitalWrite(coilb2, HIGH);  
delay(10);  
digitalWrite(coila1, LOW);  
digitalWrite(coila2, HIGH);  
digitalWrite(coilb1, LOW);  
digitalWrite(coilb2, LOW);  
delay(10);  
digitalWrite(coila1, LOW);  
digitalWrite(coila2, LOW);  
digitalWrite(coilb1, HIGH);  
digitalWrite(coilb2, LOW);  
delay(10);  
digitalWrite(coila1, HIGH);  
digitalWrite(coila2, LOW);  
digitalWrite(coilb1, LOW);  
digitalWrite(coilb2, LOW);  
delay(10);
```

```
    }  
}
```

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Eléments de la partie opérative	2
Figure I.2 Porte-outil d'alésage.....	2
Figure I.3 Armoire électrique avec ses organes.....	3
Figure I.4 Carte de commande de 3 axes.....	3
Figure I.5. Fonction originale d'une commande numérique.....	4
Figure I.6. Fonctionnement en boucle ouverte.....	5
Figure I.7 Commande en boucle fermée.....	5
Figure I.8 Axes Primaires et Axes Additionnels.....	6
Figure I.9 Axes fraiseuse et tour.....	6
Figure I.10 Axes en Centre de Fraiseuse.....	6
Figure I.11 Commande numérique point à point.....	7
Figure I.12 Commande paraxial.....	7
Figure I.13 Points de référence dans le volume d'usinage dans le cas du fraisage.....	10
Figure I.14 Points de référence dans le volume d'usinage dans le cas du tournage.....	10
Figure I.15 Décalage d'origine de l'origine machine M à l'origine de la pièce W dans le tournage et fraisage.....	11
Figure I.16 Longueur d'une fraise.....	11
Figure I. 17 Type de l'outil (cas de fraisage).....	12
Figure I. 18 Position du bec des outils.....	13
Figure I.19 Longueur de l'outil.....	13
Figure II.1 Table d'usinage.....	16
Figure II.2 La règle de la main droite.....	16
Figure II.3 Le système d'axes.....	17
Figure II.4 Asservissement d'un axe numérique.....	17
Figure II.5 Outils de fraisage.....	18
Figure II.6 Outils de tournage.....	18
Figure II.7 Opérations de tournage.....	19
Figure II.8 Différents types d'origines.....	19
Figure II.9 Exemples de coupe : usinage par enlèvement de la matière.....	20
Figure II.10 Paramètres de la coupe.....	21
Figure III.1 Déplacement point à point suivant X et Y.....	23
Figure III.2 Fraisage paraxial.....	24
Figure III.3 Tournage paraxial.....	25
Figure III.4Tournage continu.....	25
Figure III.5 Vue intérieure d'un moteur pas à pas.....	26
Figure III.6 Principe de rotation d'un moteur PAP en pas complet.....	27
Figure III.7 Principe de rotation d'un moteur PAP en demi-pas.....	27
Figure III. 8 Schéma fonctionnel des entrées sorties du circuit L293D.....	28
Figure IV.1 Système d'axes.....	33
Figure IV.2 Les différentes origines de références.....	34
Figure IV.3 Exemple de cotation absolue.....	34

LISTE DES FIGURES

Figure IV.4 Cotation mixte.....	35
Figure V.1. Carte de développement ARDUINO Méga 2560.....	40
Figure V.2 Architecture interne du microcontrôleur ATmega 2560.....	41
Figure V.3 Exemples de différents types de cartes Arduino	42
Figure V.4 Plateforme de l' Arduino	43
Figure V.5 Capteur infrarouge TCRT5000.....	44
Figure V.6 Schéma de la commande de la mini-machine CNC sous ISIS PROTEUS.....	44
Figure V.7 Interface du logiciel Inkscape. Inkscape est un logiciel libre de dessin vectoriel.....	46
Figure V.8 Logiciel d'interface graphique Processing	47
Figure V.9 Reproduction du logo de l'université de Guelma exécutée par la mini-machine CNC.....	47

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Claude Hazard, ouvrage : La commande numérique des machines-outils, 1984.
- [2] M. Delanette, ouvrage : Informatique, méthodes et techniques numériques.
- [3] René David. Langages de programmation en commande numérique de machines-outils. Modeling and Simulation. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 1969.
- [4] Cheffou, Mémoire d'ingénieur : Commande d'une machine-outil numérique par un système à microprocesseur, Université de Guelma, Année 2007.
- [5] Benbekhti ahmed, mémoire master II : Etude de réalisation d'un support pour affutage des forets sur une machine à commande numérique, Université ABOU BAKER BELKAID de Tlemcen, octobre 2013.
- [6] Christian Tavernier, ARDUINO, ouvrage : maîtrisez sa programmation et ses cartes d'interface, Editions Dunod, juin 2014.

Sites D'internet

- ✓ <http://fr.slideshare.net/pratik207/cnc-machines>
- ✓ http://analyse-fabrication.univ-lille1.fr/res/F2_Les_usinages.pdf
- ✓ <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00366065/document>

