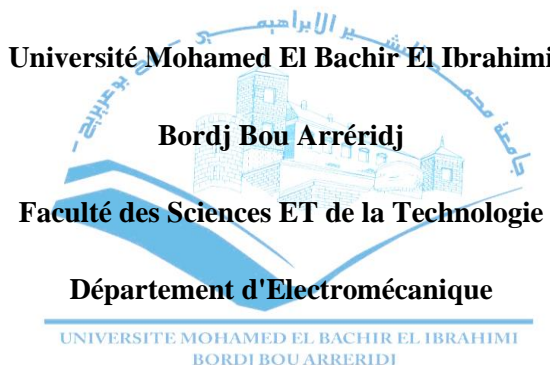


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Filière : Automatique

Option : Automatique et informatique industriel

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme :

MASTER en Automatique et informatique industriel

# Thème

## *Imprimante En Trois Dimensions Pour Les Pâtes Alimentaire*

Présenté par :

. MESSAI Abdellah

. ALLOUNE Hocine

. BELHADJ Rezki

Soutenu publiquement le : 12/12/2024, devant les membres du jury :

Nom & Prénom	Grade	Qualité	Etablissement
Mr. ZAOUI Fares	MCB	Président	Université de Bordj Bau Arreridj
Mr. KHANFER Riad	MCA	Encadrant	Université de Bordj Bau Arreridj
Mr. KHATIR Abdelfatah	MCA	Co- Encadrant	Université de Bordj Bau Arreridj
Mr. LAYADI Toufik Madani	MCA	Examinateur	Université de Bordj Bau Arreridj
Mr. TITOUNI Salem	MCA	Directeur de l'incubateur	Université de Bordj Bau Arreridj

Promotion : 2024

# Sommaire

Résumé .....	a
Introduction générale .....	1
<b>CHAPITRE I : Généralités sur les machines CNC</b> .....	2
I.1 Introduction .....	2
I.2 Historique .....	2
I.3 Définition de la commande numérique .....	4
I.4 Définition d'une machine CNC .....	4
I.5 Domaine d'utilisation .....	6
I.5.1 Applications industrielles .....	6
I.5.2 Applications de fabrication .....	6
I.6 Principe de fonctionnement.....	7
I.7 Différents types de Machines CNC.....	8
I.8 Classification des machines CNC .....	8
I.8.1 Classification des CNC selon le mode de fonctionnement .....	8
I.8.2 Classification des CNC selon le mode d'usinage.....	10
I.9 Conclusion: .....	11
<b>CHAPITRE II : Matérielle et Logicielle</b> .....	12
II.1 Introduction .....	12
II.2 Matérielles utilisées .....	12
II.2.1 Carte Arduino .....	12
II.2.1.1 Carte Arduino Uno .....	13
II.2.1.2 Carte Arduino Nano.....	13
II.2.3 CNC Shield V3 .....	14
II.2.4 Moteurs pas à pas.....	15
II.2.4.1 Différents types des moteurs pas à pas .....	15
II.2.4.2 Avantages de moteur pas à pas .....	16
II.2.4.3 Inconvénients de moteur pas à .....	16
II.2.5 Pompe hydraulique .....	16
II.2.6 Vérins hydrauliques .....	17
II.2.7 Distributeurs .....	17
II.2.8 Modules Bluetooth HC-05 .....	18
II.2.9 Driver de moteur pas à pas DVR8825 .....	18

II.3 Logicielles utilisées .....	19
II.3.1 l'Arduino IDE.....	19
II.3.2 Application controller grbl .....	20
II.3.3 Application Controller grbl pour mobile.....	20
II.3.4 Langage G-code.....	21
II.3.5 Logiciel SolidWorks.....	22
II.4 Conclusion .....	22
<b>CHAPITRE III : Réalisation pratique</b> .....	23
III.1 Introduction .....	23
III.2 Cahier de charge.....	23
III.3 Structure mécanique.....	25
III.3.1 Différentes parties de la machine .....	25
III.4 Circuit commande du système de mouvement.....	29
III.5 Armoire électrique.....	30
III.6 Prototype finale de la machine .....	30
III.7 Organigramme et principe de fonctionnement.....	31
III.7.1 Mode de marche automatique .....	31
III.7.2 Mode de marche manuelle.....	32
III.8 Conclusion :.....	32
Conclusion Générale .....	33
Références Bibliographiques.....	34
Annex .....	35

## Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Première machine-outil à commande numérique .....	3
<b>Figure I.2</b> : Fonction originale d'une commande numérique .....	6
<b>Figure I.3</b> : Schéma explicatif pour l'asservissement de la machine .....	7
<b>Figure I.4</b> : Fonctionnement en boucle ouvert .....	8
<b>Figure I.5</b> : Fonctionnement de la commande adaptative. ....	9
<b>Figure I.6</b> : Commande en boucle fermée.....	10
<b>Figure I.7</b> : Commande Numérique Point À Point.. ....	10
<b>Figure I.8</b> : Commande Par axiale. . ....	11
<b>Figure I.9</b> : Commande numérique de contournage.....	11
<b>Figure II.1</b> : Brochage de l'Arduino Uno pinout.....	12
<b>Figure II.2</b> : Brochage de l'Arduino NANO pinout. ....	13
<b>Figure II.3</b> : Carte d'extension CNC Shield V3 CNC Shield V3 .....	14
<b>Figure II.4</b> : Différents types des moteurs pas à pas.....	15
<b>Figure II.5</b> : Pompe hydraulique. ....	16
<b>Figure II.6</b> : Vérin hydraulique double effet.....	17
<b>Figure II.7</b> : distributeur hydraulique.....	17
<b>Figure II.8</b> : Module de Bluetooth HC-05 .....	18
<b>Figure II.9</b> : DVR8825 de moteur pas à pas . ....	18
<b>Figure II.10</b> : Interface Arduino IDE .....	19
<b>Figure II.11</b> : L'interface de l'application Controller Grbl .....	20
<b>Figure II.12</b> : Controller Grbl application mobile.....	21
<b>Figure III.1</b> : Table porteuse du système de mouvement sur les axes(X, Y, Z).....	25
<b>Figure III.2</b> : L'axe X avec moteur Nema 17 .....	25
<b>Figure III.3</b> : L'axe Y avec moteur Nema 17 . ....	26
<b>Figure III.4</b> : L'axe Z avec moteur Nema 23 .....	26
<b>Figure III.5</b> : Assemblage des axes (X Y Z). ....	26
<b>Figure III.6</b> : Assemblage des différentes parties (table + trois axes).....	27
<b>Figure III.7</b> : Système de coupe. ....	27
<b>Figure III.8</b> : Table extérieur. ....	28
<b>Figure III.9</b> : Assemblage des différentes parties de la machine.....	28
<b>Figure III.10</b> : Circuit commande du système de mouvement .....	29
<b>Figure III.11</b> : L'intérieur de l'armoire électrique de la machine.....	29

<b>Figure III.12 :</b> L'extérieur de l'armoire électrique de la machine .....	30
<b>Figure III.13 :</b> Photo réelle du prototype finale de la machine.....	30
<b>Figure III.14 :</b> L'organigramme pour le mode de marche automatique .....	31
<b>Figure III.15 :</b> L'organigramme pour le mode de marche manuelle .....	32

### **Liste des abréviations**

<b>MIT:</b>	Massachusetts Institute of technologie
<b>MOCN:</b>	Machine outille a commande numérique
<b>CNC:</b>	Commande numerique par calculateur
<b>FAO:</b>	La fabrication assistée par ordinateur
<b>UART:</b>	Universal asynchronous receiver-transmitter
<b>PWM:</b>	Pulse width modulation
<b>CAO:</b>	Conception assistée par ordinateur

## **Remerciements**

*Nous tenons d'abord à remercier dieu le tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.*

*En seconde lieu, nous remercions tous les enseignants qui ont participé de près de loin à l'aboutissement de ce travail.*

*À ce titre :*

*Nos encadreur Dr. Khenfer Riadh et Dr. Khatir Abdelfatah et à tout l'équipe de labo ainsi que tous les enseignants depuis le cycle des études supérieurs. Car si nous soutenons aujourd'hui, c'est grâce à leurs fonctions éminentes dans notre réussite, la transmission de leurs connaissances et leur savoir-faire.*

*Enfin, nous remercions aussi toute personne qui a participé de près ou de loin à la réalisation de travail.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*A mes chers parents*

*A mes chers frères*

*A mes chères sœurs*

*A tout ma famille*

*A tous mes collègues et mes amis partout*

*A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science*

*Et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien*

*Et la prospérité de l'humanité.*

## *Résumé :*

Ce mémoire est porté sur la conception et la réalisation d'une imprimante en trois dimensions pour les pâtes alimentaire. Dans la première étape nous avons abordé en théorie tous les aspects de la machine en termes mécaniques, électroniques et même programmation. Nous avons commencé par la conception de la structure mécanique de la machine CNC dans l'environnement SolidWorks. Et la réalisation des différentes cartes électroniques pour commander les moteurs pas à pas à l'aide des cartes arduino (uno-nano) et le module de bluetooth hc-05 avec le CNCshield, en utilisant le langage de programmation numérique G-Code et la carte arduino-uno pour piloter le système de mouvement et le système de coupure. En deuxième étape nous avons abordé le côté pratique que ce soit la réalisation des différentes cartes électroniques ou la conception des différentes pièces mécaniques de la machine. Nous avons également amélioré le contrôle à distance par Smartphone via l'application Controller Grbl.

## *المخلص:*

تركز هذه الأطروحة على تصميم وإنشاء طابعة ثلاثية الأبعاد للعجائن. في الخطوة الأولى تناولنا نظرياً جميع جوانب الآلة من الناحية الميكانيكية والإلكترونية وحتى البرمجة. لقد بدأنا بتصميم الهيكل الميكانيكي لآلة CNC في بيئة SolidWorks . وإنشاء بطاقات إلكترونية مختلفة للتحكم في محركات خطوة بخطوة باستخدام بطاقات الـ arduino (uno-nano) ووحدة البلوتوث hc-05 مع CNCshield باستخدام لغة البرمجة الرقمية G-Code وبطاقة arduino-uno للتحكم في نظام الحركة ونظام القطع. وفي الخطوة الثانية تناولنا الجانب العملي سواء كان إنشاء البطاقات الإلكترونية المختلفة أو تصميم الأجزاء الميكانيكية المختلفة للآلة. لقد قمنا أيضاً بتحسين التحكم عن بعد بواسطة الهاتف الذكي عبر تطبيق Controller Grbl .

## *Summary :*

This thesis focuses on the design and construction of a three-dimensional printer for pasta. In the first step, we approached all aspects of the machine in theory, in terms of mechanics, electronics and even programming. We started with the design of the mechanical structure of the CNC machine in the SolidWorks environment. And the creation of the various electronic cards to control the stepper motors using the Arduino cards (uno-nano) and the Bluetooth module hc-05 with the CNCshield, using the G-Code digital programming language and the Arduino-uno card to control the movement system and the cutting system. In the second step, we approached the practical side, whether it was the creation of the various electronic cards or the design of the various mechanical parts of the machine. We also improved remote control by Smartphone via the Grbl Controller application.

## **Introduction générale**

L'automatisation consiste à rendre automatique les opérations qui exigeaient auparavant l'intervention humaine, elle est considérée comme l'étape d'un progrès technique où apparaissent des dispositifs techniques susceptibles de seconder l'homme, non seulement dans ses efforts musculaires, mais également dans son travail intellectuel de surveillance et de contrôle.

La fabrication de précision moderne exige une extrême précision dimensionnelle et la finition de surface. Une telle performance est très difficile à réaliser manuellement, voire impossible, même avec des opérateurs experts. Dans les cas où il est possible, il faut du temps beaucoup plus élevé en raison de la nécessité pour la mesure dimensionnelle fréquente pour prévenir la surexploitation. Il est donc évident que le contrôle de mouvement automatisé remplacerait le manuel de contrôle dans la fabrication moderne.

Le développement de commande numérique par ordinateur (CNC) a également rendu possible l'automatisation des processus d'usinage avec souplesse pour gérer la production de petites et moyennes séries de pièces.

Nous nous intéressons dans ce mémoire, à la réalisation d'une imprimante en trois dimensions pour les pâtes alimentaire.

Pour mener à bien notre travail, nous l'avons organisé en trois chapitres selon le plan méthodologique suivant :

Dans le premier chapitre, on commence par un aperçu général sur la technologie des CNC, citant la classification, l'architecture des machines CNC pour différentes commandes. Dans le deuxième chapitre, nous exposerons les différents éléments matériels et logiciel utilisé dans notre projet, Dans le troisième chapitre nous avons conçu et fabriqué notre propre prototype de la machine.

On terminera ce travail par une conclusion générale et on proposera quelques perspectives.

## I.1 Introduction :

Dans le premier chapitre, on commence par un aperçu général sur la technologie des CNC, citant la classification, l'architecture, la programmation des machines CNC pour différentes commandes.

## I.2 Historique :

C'était en 1947, lorsque la commande numérique est née. Tout a commencé lorsque John C. Parsons de la Parsons Corporation, Traverse City, Michigan, un fabricant de pales de rotor d'hélicoptère, ne pouvait pas faire ses modèles assez vite. Donc, il a inventé une façon de coupler l'équipement informatique avec une pyrale du gabarit. M. Parsons a utilisé les cartes pour faire fonctionner son système de Ron chiffres de poing.

1949 a été l'année d'un autre «besoin urgent». Le commandement américain Air Matériel s'est rendu compte que ses pièces pour avions et missiles ont été de plus en plus complexes. En outre, comme les dessins ont été constamment améliorés, les changements dans le dessin ont souvent été faits. Ainsi, dans leur recherche de méthodes de production plus rapides, un contrat d'étude de la Force aérienne a été attribué à la Parsons Corporation. Le laboratoire des mécanismes d'asservissement de l'Institut de Technologie du Massachusetts (MIT) était le sous-traitant.

En 1951, le MIT a repris le travail complet, et en 1952, le prototype de la machine NC d'aujourd'hui, une machine Cincinnati Hydrotel Mailing modifiée, a été démontrée avec succès. La commande numérique terme a été à l'origine au MIT.

Initialement, la technologie CNC a été appliquée sur les tours, fraiseuses, etc. qui pourrait effectuer un seul type d'opération de découpe de métal. Plus tard, on a tenté de traiter une variété de pièces qui peuvent nécessiter plusieurs types différentes opérations d'usinage et de les terminer en une seule mise en place. Ainsi des centres d'usinage CNC capables d'exécuter plusieurs opérations ont été développées. Pour commencer, centres d'usinage CNC ont été développés pour les composants prismatiques usinage combinant des opérations comme fraisage, perçage, alésage et taraudage. Peu à peu, les machines pour la fabrication de composants cylindriques, appelés centres de tournage ont été développés [1].

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

- 1954 : Bendix acquiert le brevet de Parsons et fabrique la première CN industrielle.
- 1955 : à Fond du Lac (Wisconsin), le constructeur américain Giddings & Lewis commercialise la première MOCN (Machine outil à commande numérique).
- 1959 : apparition de la CN en Europe (foire de Hanovre). Le MIT annonce la création du langage de programmation APT (Automatic Program Tools).
- 1960 : apparition du système DNC (Direct Numerical Control)
- 1964 : en France, la Télémécanique Électrique lance la CN NUM 100 conçue à base de relais Télé Static.
- 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.
- 1972 : les mini calculateurs remplacent les logiques câblées ; la CN devient CNC.
- 1976 : développement des CN à microprocesseurs.
- 1984 : apparition de fonctions graphiques évoluées et du mode de programmation conversationnel, début de l'ère de la fabrication assistée par ordinateur (FAO).
- 1986 : les CN s'intègrent dans les réseaux de communication, début de l'ère de la fabrication flexible (CIM : Computer Integrated Manufacturing).
- 1990 : développement des CN à microprocesseurs 32 bits



**Figure I.1** : Première machine-outil à commande numérique.

### **I.3 Définition de la commande numérique :**

Apparue il y a seulement quelques dizaines d'années, la commande numérique CN impose actuellement sa technologie dans le monde de l'usinage. conçue pour piloter le fonctionnement d'une machine à partir des instructions d'un programme sans intervention direct de l'opérateur pendant son exécution, elle a dans un premier temps , permis de franchir un pas important dans l'automatisation des machines-outils traditionnelles comme les fraiseuses, perceuses, aléseuses...etc. et elles sont ainsi devenue capable d'assurer en qualité et en quantité une production à peine imaginable quelques année auparavant[2].

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

Elle pénètre, de ce fait, dans les petites entreprises et devient accessible à tous les secteurs industriels faisant appel aux procédés de positionnement ou de suivi de trajectoire.

Les CN actuelles sont capables d'effectuer des mouvements en combinant simultanément les positions sur les axes X, Y et Z.

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

### **I.4 Définition d'une machine CNC:**

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

Le premier rôle d'une machine CNC (Computerized Numerical Control), est de générer des mouvements. Elle recevra des valeurs de positionnement, de vitesse et d'accélération et générera, suite à un traitement, des consignes numériques en sortie.

Elle dispose d'une grande puissance de calcul et d'une plus grande souplesse d'utilisation qu'un automate programmable. Ce dernier est néanmoins qu'un complément de la commande CNC pour ce qui est de la gestion des entrées telles que : interrupteur, bouton

d'arrêt d'urgence, ...etc... En résumé, la commande CNC va générer des mouvements selon des consignes numériques

La machine-outil à commande numérique forme un ensemble comprenant [2]:

➤ **Partie opérative :**

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

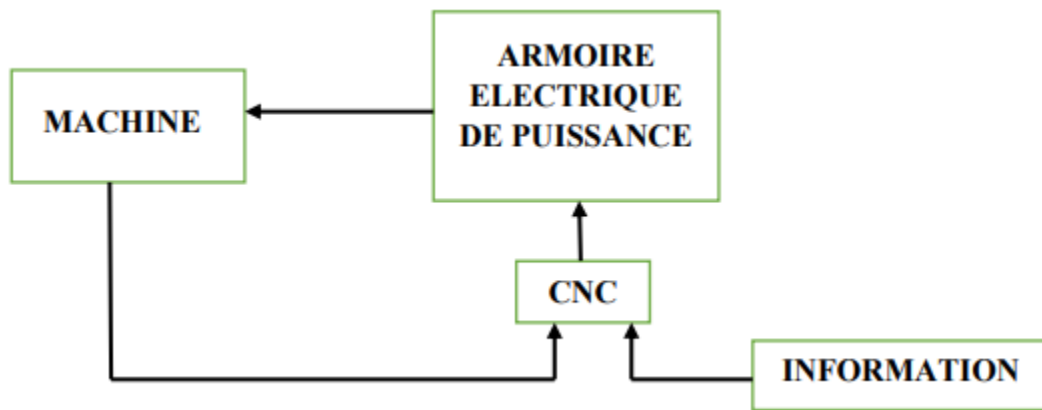
- Une base, assurant l'indépendance de la machine au sol,
- Un bâti, dont les larges glissières sont en acier traité,
- un support outil (broche, torche, laser, jet d'eau ...),
- Une table support pièce, mobile selon 2 ou 3 axes, équipée des systèmes de commande à vis et écrou à bille.
- Des moteurs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

➤ **Partie commande :**

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

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

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



**Figure I.2 :** Fonction originale d'une commande numérique.

### I.5 Domaine d'utilisation :

L'usinage CNC s'est développé au fil du temps pour devenir quelque chose de largement reconnu dans le monde entier. En raison de ses avantages, de nombreuses entreprises l'ont intégré à leur processus de fabrication. L'usinage CNC ne s'applique pas uniquement au secteur industriel. C'est tout aussi important au niveau de la fabrication, qui détermine son utilisation industrielle. Vous trouverez ci-dessous les principales applications et capacités de fabrication de l'industrie en matière d'usinage CNC [3].

#### I.5.1 Applications industrielles :

➤ **Automobile :**

L'industrie automobile est un grand utilisateur de l'usinage CNC. Ils dépendent du processus de fabrication pour réaliser leurs prototypes et en production.

➤ **Électronique grand public :**

Bien que cela puisse paraître surprenant, l'industrie de l'électronique grand public utilise également l'usinage CNC. Des entreprises comme Apple utilisent l'usinage CNC dans leur production. Par exemple, le châssis du MacBook d'Apple est en aluminium soumis à un usinage CNC.

➤ **Aéronautique/Militaire :**

Les deux secteurs industriels sont de grands utilisateurs de l'usinage CNC. Cela est dû à sa grande précision et à sa justesse. L'usinage CNC est également idéal car il peut produire des remplacements à la demande et des versions améliorées de toutes les pièces.

#### I.5.2 Applications de fabrication :

➤ **Prototypage :**

L'usinage CNC est un bon procédé pour réaliser des prototypes car il est autonome. Une fois que vous avez un fichier CAO, vous pouvez l'envoyer à une machine CNC et la

fabrication se fera en peu de temps. Ces propriétés le rendent idéal pour la réalisation de prototypes.

➤ **Production :**

L'usinage CNC a une précision et une exactitude élevées, ce qui le rend idéal pour fabriquer des composants de haute qualité. Son large support matériel améliore également son utilisation dans la fabrication de pièces.

Par conséquent, les entreprises qui l'utilisent pour réaliser des prototypes l'utilisent également pour créer des pièces finales utilisables.

➤ **Outillage :**

L'usinage CNC est un joyau dans le processus de fabrication directe et a été d'une immense aide. Cependant, il peut également être utilisé dans le processus de fabrication indirecte pour aider dans de nombreux processus, tels que le moulage par injection.

### I.6 Principe de fonctionnement :

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

La position sera régulée par la commande numérique alors que la vitesse sera le plus souvent régulée par le système d'asservissement moteur. On se trouve donc en face d'un système à deux boucles et l'on parle de système asservi [4].

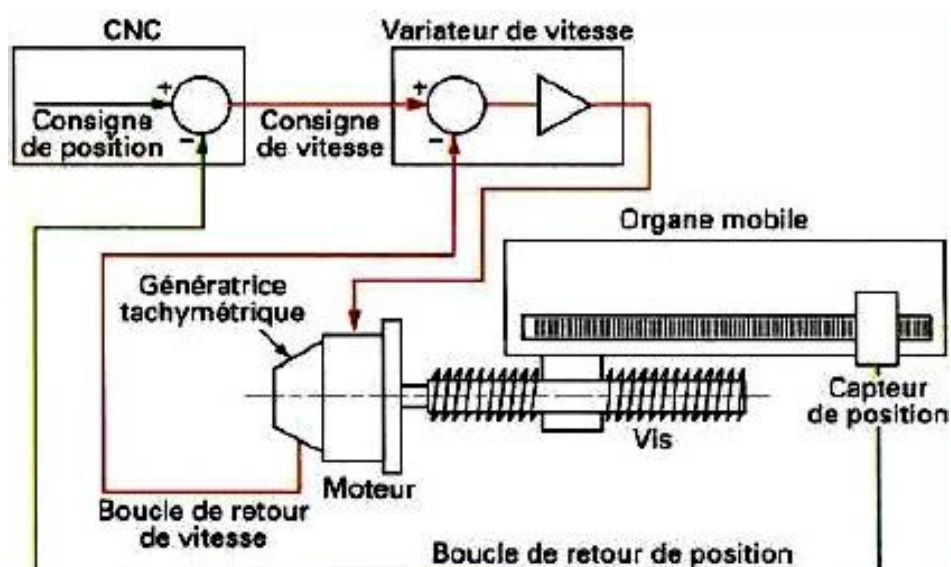


Figure I.3 : Schéma explicatif pour l'asservissement de la machine.

Le schéma ci-dessous (figure. I.3), nous montre le flux d'informations avec ses directions, ainsi que les deux boucles de contrôles (position et vitesse).

### I.7 Différents types de Machines CNC :

On distingue plusieurs types de machines :

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

### I.8 Classification des machines CNC :

Les machines-outils à commande numérique par calculateurs (CNC) sont classées suivant :

- Le mode de fonctionnement de la machine.
- Le mode d'usinage.

#### I.8.1 Classification des CNC selon le mode de fonctionnement :

##### a. Fonctionnement en boucle ouvert :

En boucle ouverte, comme l'illustre la figure. I.4, le système assure le déplacement du chariot mais ne le contrôle pas [5].

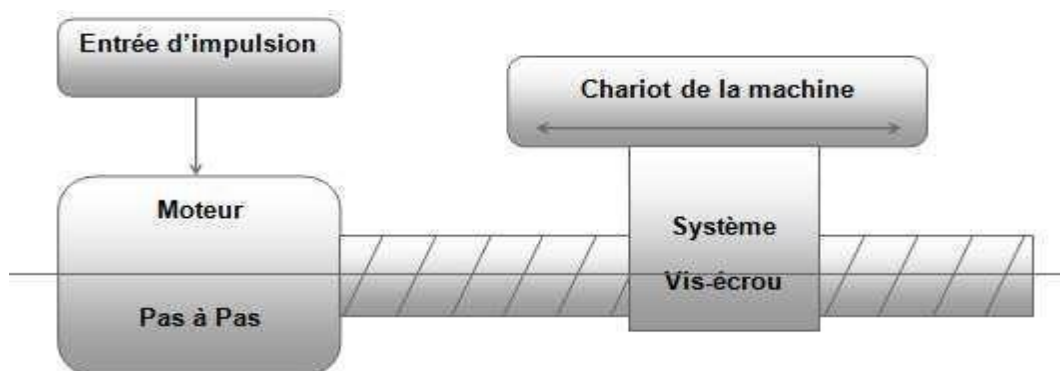


Figure I.4: Fonctionnement en boucle ouvert

### b. Fonctionnement avec commande adaptative :

La commande adaptative réalise d'une façon continue et automatique l'adaptation des conditions de coupe. Des capteurs relèvent les valeurs de couple de la broche, l'amplitude de vibration de la broche, la température au point de coupe. Ces informations sont transmises à une unité spéciale qui les envoie vers le directeur de commande numérique qui agit selon l'analyse des informations sur les conditions de coupe pour permettre une meilleure qualité de travail, une meilleure productivité et une plus grande sécurité [5].

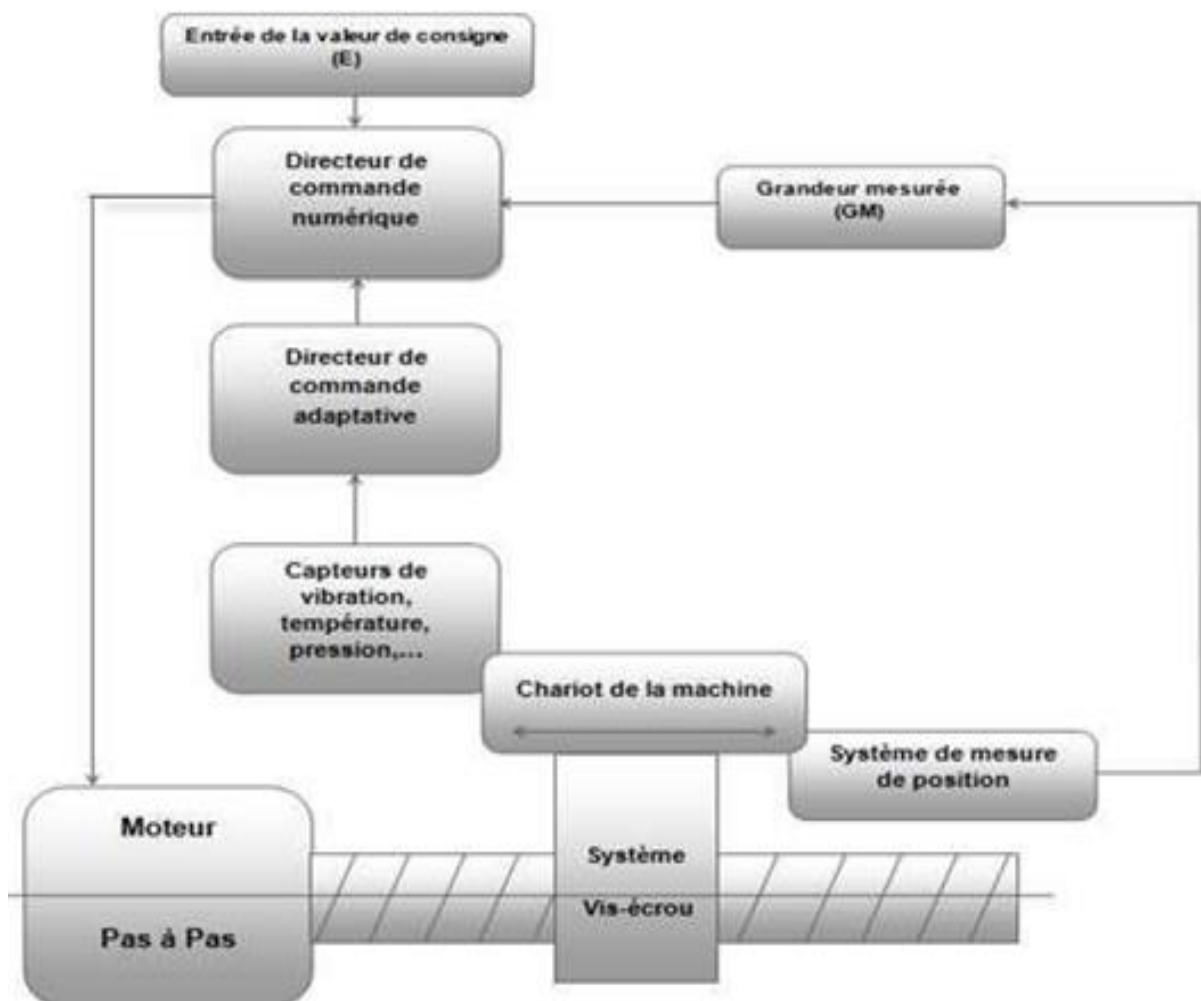


Figure I.5: Fonctionnement de la commande adaptative

La figure. I.5 illustre le fonctionnement de la commande adaptative

### c. Fonctionnement en boucle fermé :

En boucle fermée le système contrôle le déplacement ou la position jusqu'à égalité des grandeurs entrée (E) dans le programme et celui mesuré (Gm).comme l'illustre la figure.I.6 [5].

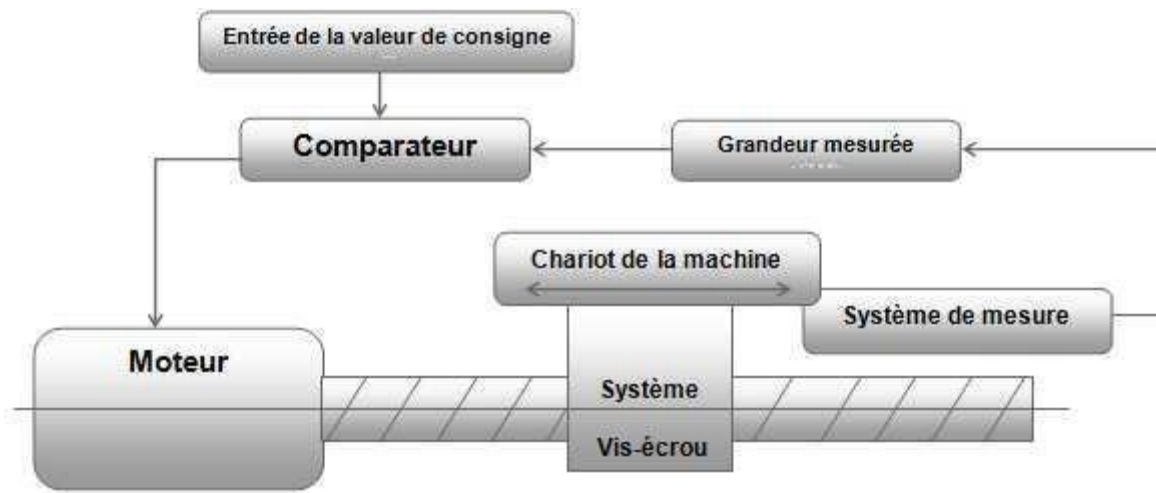


Figure I.6: Commande en boucle fermée.

### I.8.2 Classification des CNC selon le mode d'usinage:

Selon le mode d'usinage on peut classer les CNC en trois catégories [6] :

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

#### a .Commande numérique point à point :

C'est la mise en 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 est effectué.

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

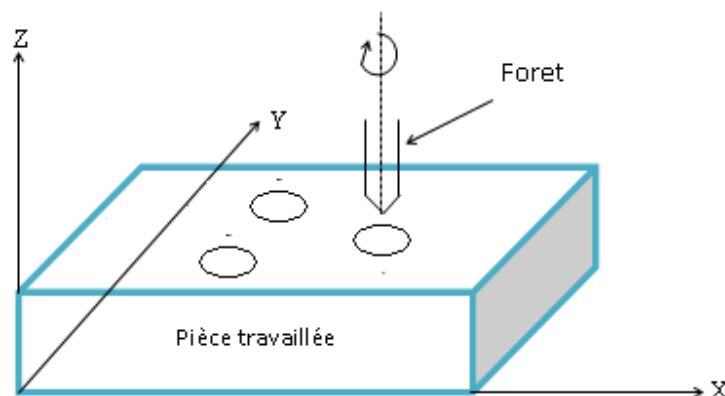
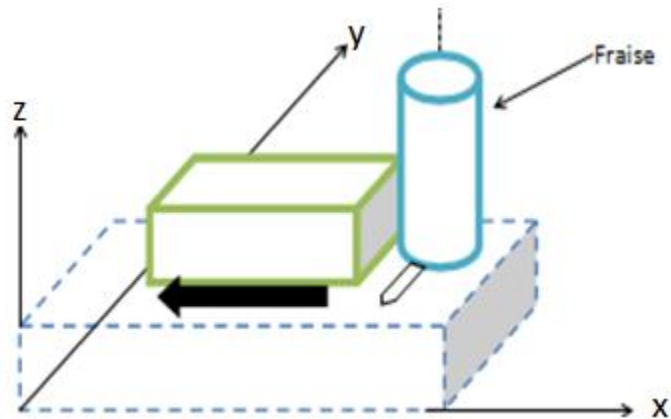


Figure I.7: Commande Numérique Point À Point.

**b. Commande numérique 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'opérations d'usinage : tournage, fraisage, alésage.

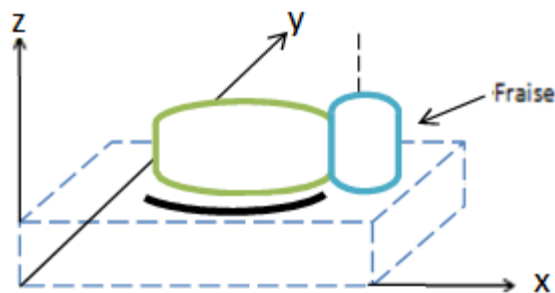


**Figure. I.8 :** Commande Par axiale.

**c. Commande numérique de contournage :**

Ce sont des déplacements qui synchronisent des divers axes avec la vitesse d'avancement 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.



**Figure. I.9 :** Commande numérique de contournage.

**I.9 Conclusion :**

Dans ce chapitre on a décortiqué d'une manière générale une machines à commande numérique par ordinateur et l'intérêt de chaque partie qui constitue cette dernière, on a cité les commandes les plus utilisées et parler sur la classifications et le domaine d'utilisation des machine CNC, Nous pouvons ainsi entamer la prochaine étape qui consiste à présenter la phase de conception.

## II.1 Introduction :

Le développement majeur dans la technologie informatique nous permet la fabrication d'une machine CNC à faible coût et grâce à la disponibilité de la matérielle source, tels que les microcontrôleurs Arduino et les cartes de puissance. Donc le temps de prototypage et de développement sont considérablement réduits. Du point de vue l'utilisant d'un système de commande basée sur Arduino facilite le développement d'un prototype CNC à trois axes.

## II.2 Matériels utilisés :

### II.2.1 Carte Arduino :

Une carte Arduino est une petite carte électronique équipée d'un microcontrôleur. Le microcontrôleur permet, à partir d'événements détectés par des capteurs, de programmer et commander des actionneurs, la carte Arduino est donc une interface programmable.

Il existe de nombreux types d'Arduino, et chacun d'eux a des caractéristiques et des capacités qui le distinguent des autres, de sorte que chaque pièce peut être utilisée pour des choses différentes des autres, notamment [7].

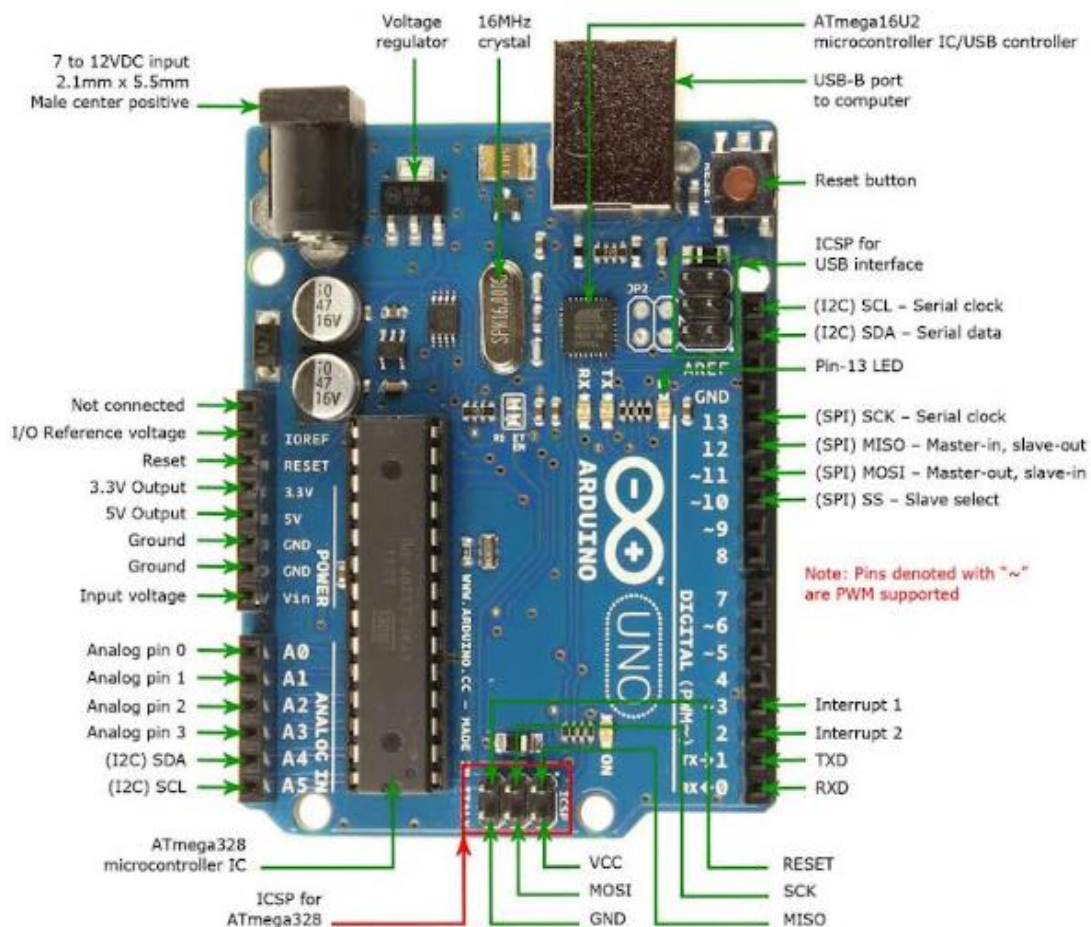


Figure II.1 : Brochage de l'Arduino Uno pinout

### II.2.1.1 Carte Arduino Uno :

Arduino Uno est une carte microcontrôleur basée sur l'atméga 328P. Elle dispose de 14 broches d'entrée/sortie numériques (dont 6 peuvent être utilisées comme sorties PWM), 6 entrées analogiques, un résonateur céramique 16 MHz (CSTCE16M0V53-R0), une connexion USB, une prise d'alimentation, un connecteur ICSP et un bouton de réinitialisation.

Elle contient tout ce dont vous avez besoin pour prendre en charge le microcontrôleur ; il suffit de le connecter à un ordinateur avec un câble USB ou de l'alimenter avec un adaptateur secteur ou une batterie pour commencer [8].

### II.2.1.2 Carte Arduino NANO :

La carte Arduino Nano est basée sur un microcontrôleur ATmega328 cadencé à 16 MHz. Sa mémoire de 32 kb et son grand nombre d'E/S font de ce circuit compatible DIL30 un élément idéal pour les systèmes embarqués ou pour des applications robotiques nécessitant du multitâche [9].

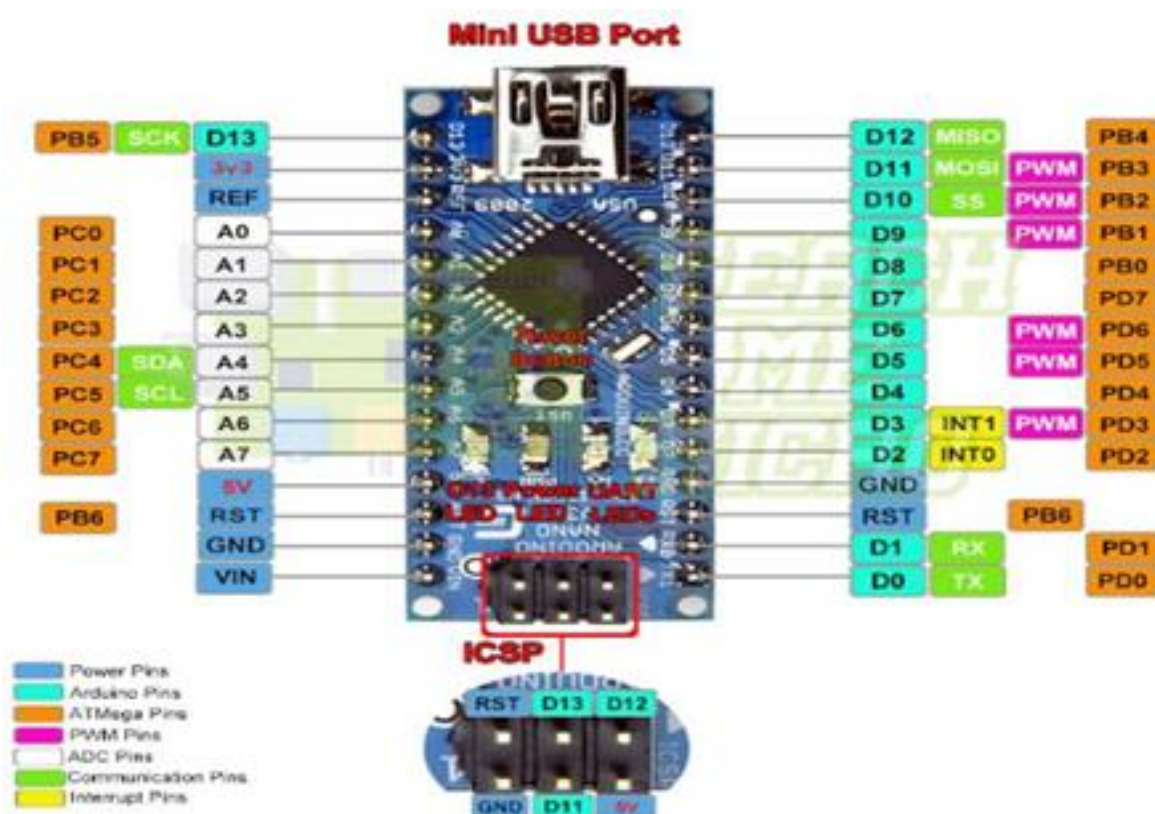
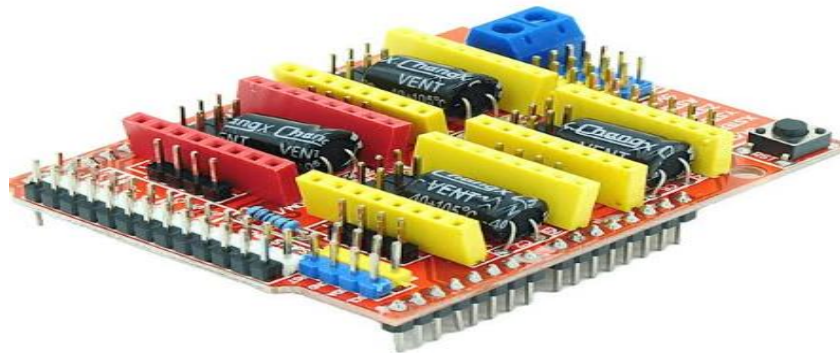


Figure II.2 : Brochage de l'Arduino NANO pinout

### II.2.3 CNC Shield V3 :

Shield V3 CNC est une carte d'extension open-source, destinée au contrôle des moteurs pas à pas d'une machine CNC à l'aide d'un Arduino. Il permet de contrôler jusqu'à quatre axes (X, Y, Z et A) et peut être utilisé pour une variété d'applications.

De plus, il offre des broches pour la commande de la broche et de la direction PWM, ainsi que des connecteurs pour les interrupteurs de fin de course et la fonction de refroidissement. Le Shield CNC V3 est alimenté par une tension de 12 à 36 VDC [10].



**Figure II.3:** Carte d'extension CNC Shield V3

#### ❖ Spécifications Techniques du Shield V3 CNC :

- Compatibilité : Arduino UNO, GRBL 0.8 et 0.9
- Alimentation : 12V-36V DC
- Axes : 4 (X, Y, Z, A)
- Entrées de fin de course : 2 pour chaque axe (6 au total)
- Connexion : Prise pour une connexion I2C et UART (série)
- Drivers de moteurs pas à pas : Support pour drivers amovibles compatibles A4988 ou DRV8825
- Micro-pas : Configuration via des cavaliers

#### ❖ Avantages d'utiliser un Shield V3 CNC :

- Facilité d'utilisation et d'installation.
- Compatibilité avec GRBL, le principal logiciel de commande numérique pour les machines CNC.
- Capacité à contrôler jusqu'à quatre moteurs pas à pas, permettant la construction de machines CNC plus complexes.

- Compatibilité avec une large gamme de drivers de moteurs pas à pas, offrant une grande flexibilité.
- Possibilité de connecter différents interrupteurs et capteurs, améliorant la sécurité de la machine.
- Compatibilité avec différentes versions d'Arduino, permettant son utilisation avec une grande variété de projets CNC.

### II.2.4 Moteurs pas à pas :

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

L'usage le plus connu du grand public est dans les imprimantes classiques, les imprimantes 3D, et les scanners. Les moteurs pas-à-pas sont présents dans de nombreuses applications telles : les photocopieurs, imprimantes bancaires, robotique, instrumentation, pompes à perfusion, pousse-seringues, système de positionnement sur machine industrielle et machine- outil [11].



**Figure II.4 :** Différents types des moteurs pas à pas

#### II.2.4.1 Différents types des moteurs pas à pas :

Il existe Trois catégories de moteurs :

- Les moteurs à aimant permanent
- Les moteurs à réluctance variable
- Les moteurs hybrides

**II.2.4.2 Avantages de moteur pas à pas :**

- Sa facilité de mise en œuvre pour avoir un système précis et répétable.
- Le moteur pas à pas ne nécessite pas d'entretien.
- Contrôle de la position, de la vitesse et synchronisation de plusieurs moteurs (de besoin de contre-réaction).
- Moteur sans balais.

**II.2.4.3 Inconvénients de moteur pas à pas :**

- Vitesse et couple relativement faible.
- Couple décroissant rapidement lorsque la vitesse augmente

**II.2.5 Pompe hydraulique :**

La pompe hydraulique est un dispositif permet de transformer l'énergie mécanique de rotation en énergie hydraulique, permettant d'aspirer et de refouler un fluide. L'orifice d'aspiration est raccordé à un réservoir approprié d'où elle puise le fluide L'orifice de refoulement est raccordé au circuit hydraulique.

La pompe alimente un réseau de canalisation qui achemine le fluide aux organes de distributions, ceux-ci à leur tour dirigent l'énergie ainsi véhiculée vers les organes récepteurs qui convertissent à nouveau l'énergie hydraulique en énergie mécanique de mouvement [12].



**Figure II.5 :** Pompe hydraulique

### II.2.6 Vérins hydrauliques :

Les vérins sont des moteurs linéaires qui transforment une puissance hydraulique en puissance mécanique au travers du déplacement linéaire d'une tige.

On obtient donc directement un mouvement de translation. Il existe trois types des vérins hydrauliques [12] :

- Vérins simple effet.
- Vérins double effet.
- Vérins spéciaux.



**Figure II.6 :** Vérin hydraulique double effet

### II.2.7 Distributeurs :

Le distributeur hydraulique a pour but de diriger, commander l'huile dans les différents éléments du circuit du système hydraulique. Cette pièce est utilisée lors des commandes du tracteur. Elle peut être à commande manuelle, hydraulique, pneumatique et électrique [12].



**Figure II.7 :** Distributeur hydraulique

### II.2.8 Modules Bluetooth HC-05 :

Le HC-05 est un pilier de la communication Bluetooth, reconnu pour sa capacité à émettre et recevoir des données avec aisance. Ce petit module trouve sa place dans divers domaines, de la domotique aux systèmes embarqués, et se pilote aisément via un smartphone ou un système Arduino. Sa particularité ? Une facilité de personnalisation sans égale, grâce aux commandes AT [13].



Figure II.8 : Module de Bluetooth HC-05

#### ❖ Caractéristique principale de HC-05 :

Le module Bluetooth HC-05 a plusieurs Caractéristiques :

- Prends en charge Bluetooth 2.0+EDR.
- Facile à intégrer aux microcontrôleurs via interface UART.
- Prends en charge le mode maître et esclave.
- Antenne intégrée pour une communication sans fil fiable.
- Configurable via les commandes AT.

### II.2.9 Driver de moteur pas à pas DVR8825 :

Le DRV8825 est un pilote pour moteurs pas à pas jusqu'à 2A. Le pilote supporte également le micro pas, ce qui vous permet de créer des mouvements très précis et doux [14].

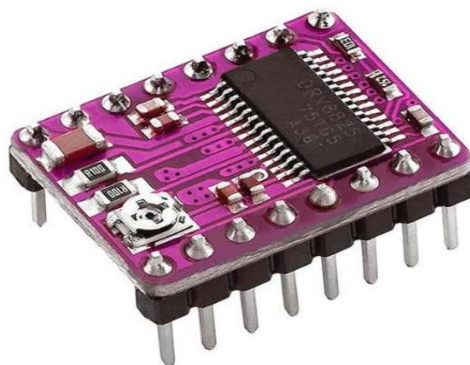


Figure II.9 : DVR8825 de moteur pas à pas

### ❖ Caractéristique principale de DVR8825 :

- Six résolutions d'étapes différentes : pas complet, 1/2 pas, 1/4 pas, 1/8 pas, 1/16 pas et 1/32 pas.
- Courant sans refroidissement 1.5A par phase
- Courant avec refroidissement jusqu'à 2.2A par phase
- Tension d'alimentation maximale de 45 V
- Peut s'interfacer directement avec les systèmes 3,3 V et 5 V
- Protection contre le court-circuit à la terre et le court-circuit de charge

### II.3 Logicielles utilisées :

Maintenant que nous avons présenté le matériel, nous allons voir les logiciels nécessaires pour programmer, paramétrer et piloter une CNC.

#### II.3.1 l'Arduino IDE :

Le premier logiciel dont on va avoir besoin c'est l'Arduino IDE qui est l'environnement de développement Arduino. Il est totalement gratuit et va nous permettre de programmer et charger le programme embarqué dans notre carte Arduino.

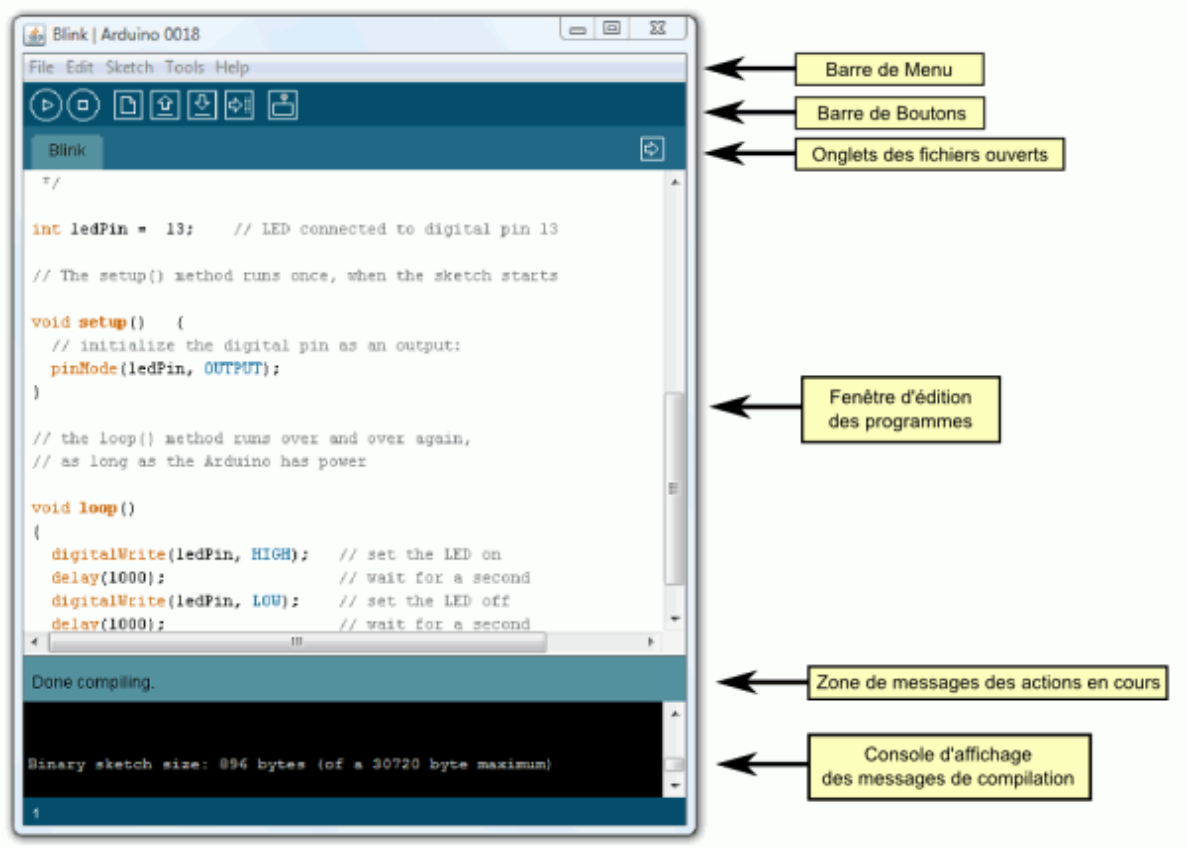


Figure II.10 : Interface Arduino IDE

### II.3.2 Application Controller Grbl:

L'application controller Grbl est destinée à envoyer du code G-Code à des machines à commande numérique, telles que les machines de fraisage 3D. Il n'est pas super malin, il a juste besoin de donner à l'utilisateur un simple moyen d'envoyer des commandes à n'importe quel contrôleur qu'il utilise. Qt est assez cool parce que vous pouvez créer une application avec une belle interface graphique pour Windows, Mac et Linux [15].

Le Grbl fonctionne avec un certain nombre de variables internes sauvegardées en mémoire. Pour changer la valeur d'une variable, Il suffit de taper "\$suivant d'un numéro de variable = valeur.

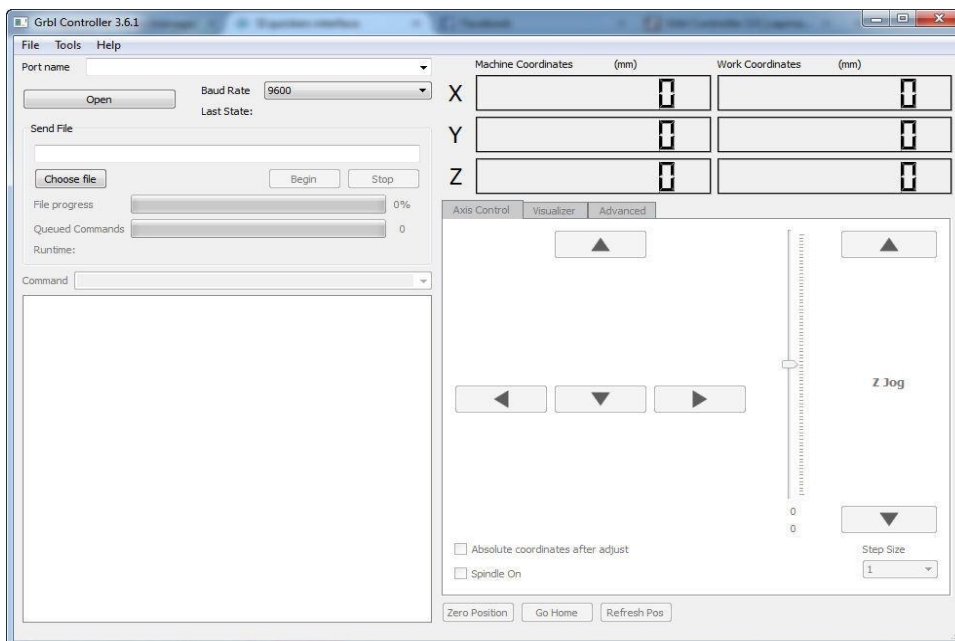
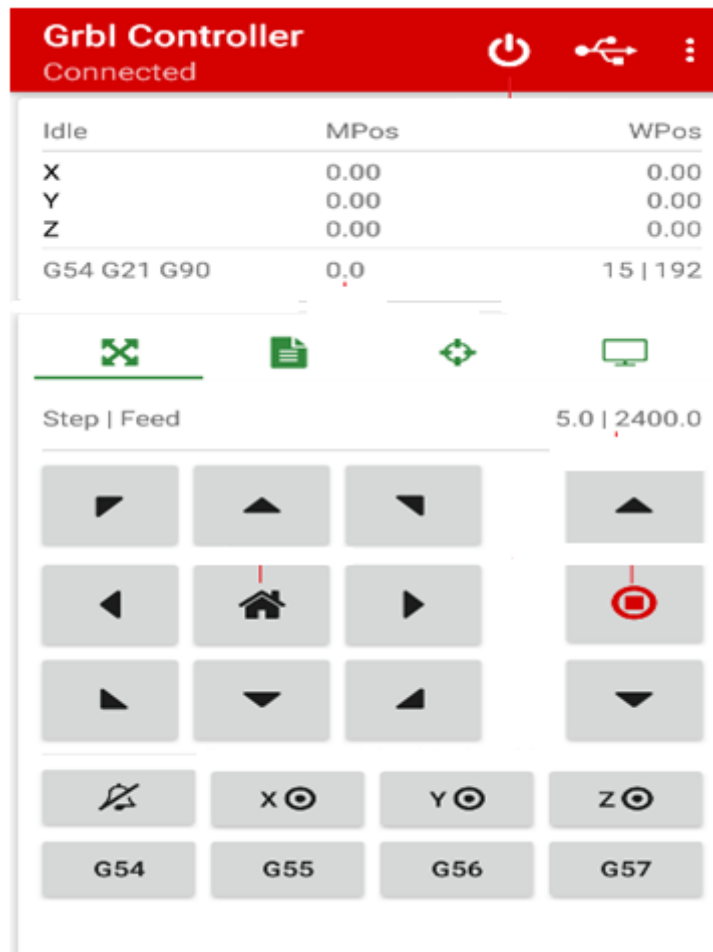


Figure II.11 : L'interface de l'application Controller Grbl

### II.3.3 Application Controller Grbl pour mobile :

L'application Grbl Controller vous permet d'utiliser votre smartphone pour diffuser du code G sur votre machine CNC avec le firmware GRBL 1.1. Elle prend en charge les connexions Bluetooth et USB Otg, offrant une flexibilité de connexion à votre machine CNC [16].



**Figure II.12 :** Contrôler Grbl application mobile

### II.3.4 Langage G-code :

Développé par l'EIA au début des années 1960, et finalement normalisé par l'ISO en février 1980C' est un type de fonction utilisé dans le langage de programmation à commande numérique qui contient l'information pour positionner un outil dans les démentions x y z.

Le G-code est le langage plus utilisé pour contrôler une machine à commande numérique. Il s'agit bien d'un langage de programmation, qui nous sert donc à programmer les mouvements que la machine va effectuer, et le fichier contenant la suite d'instruction s'appelle, en toute logique, un programme. Il s'agit de simple fichier texte, humainement lisible, au même titre que du code en C, Pascal ou Basic. Il se compose d'un certain nombre de "commandes" spécifiques indiquant à la machine quel type de mouvement elle doit exécuter (droite, arc de cercle, etc....), et l'indication de coordonnées sur les axes X, Y et Z [17]. Le fonctionnement du G-Code :le principe est simple: on va

écrire une suite de lignes comportant quelques instructions et commandes qui vont demander à la machine de réaliser des mouvements dans l'espace en trois dimensions. On va pour cela utiliser un repère cartésien dont les trois axes de références ont les axes XY Z. Les usages de G-code : le G-code développé à l'origine pour des machines-outils par enlèvement de matière, il est désormais utilisé dans un domaine très vaste de la fabrication, avec des adaptations :

- Usinage par enlèvement de matière : tournage, fraisage, perçage, gravure, défonçage.
- Découpe avec : couteau, laser, jet d'eau, plasma, flamme ou oxydation.
- Poinçonnage
- Impression 3D : par dépôt de matière, durcissement d'une résine, solidification de poudre.

### II.3.5 Logiciel SolidWorks:

SolidWorks est un puissant logiciel de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) largement utilisé pour le développement de produits 2D et 3D, notamment dans la conception mécanique et l'ingénierie de produits. Il est connu pour être convivial tout en offrant des fonctionnalités étendues pour la conception de pièces et d'assemblages complexes.

Créé en 1993 par l'éditeur américain éponyme, SolidWorks a été acheté le 24 juin 1997 par la société Dassault Systèmes. SolidWorks est un logiciel très puissant et facile à manipuler, dédié au design et la modélisation 3D. Il est très utilisé dans l'industrie pour la fabrication de différentes pièces mécaniques, hydrauliques, électriques ainsi que l'assemblage des pièces et la conception des machines et des appareils de A à Z. SolidWorks est un modéleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés [18].

### II.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents matériels et logiciels que nous avons utilisés dans la phase de fabrication du prototype de notre machine.

Puis, dans le chapitre suivant nous décrirons notre cahier des charges, et détaillerons les différents étapes dans les phases : modalisation, programmation, conception et réalisation de notre machine.

### III.1 Introduction :

Que ce soit pour l'usinage 3D ou pour l'impression 3D, la maîtrise du déplacement d'un outil dans les trois dimensions de l'espace (X, Y, Z) est devenue primordiale. Le contrôle précis de ce mouvement dans les trois axes de l'espace nécessite la maîtrise de trois domaines techniques principaux : « l'électronique, l'électromécanique et l'informatique ».

Dans ce chapitre nous allons décrire les solutions adoptées par détail pour répondre aux spécifications de notre cahier de charge et ce en abordant la conception détaillée de chaque partie du système.

### III.2 Cahier des Charges

➤ **Contexte du projet :** La demande de gâteaux personnalisés et innovants, en particulier ceux créés à l'aide de la technologie d'impression 3D, augmente car cette technique permet de réaliser des motifs complexes et des saveurs sur mesure, notamment pour les événements spéciaux (anniversaires, mariages, événements d'entreprise, etc.). Cette méthode offre aux boulangers une façon unique de créer des articles sur mesure, qui répondent à la fois aux préférences esthétiques et aux exigences alimentaires. À mesure que l'impression 3D continue d'évoluer, elle devient de plus en plus courante dans les cuisines domestiques, révolutionnant la façon dont les gâteaux et les desserts sont préparés.

➤ **Objectif principal :** concevoir une machine permettant la fabrication de gâteaux tridimensionnels en grande quantité dans un délai court, avec la possibilité de personnaliser les formes de manière automatisée..

#### III.2.1 Exigences fonctionnelles

• **Fonction principale :** La machine doit être capable de créer des gâteaux en 3D à partir de pâtes de différents types (par exemple, génoise, fondant, pâte à sucre).

• **Fonctions secondaires :** La machine doit pouvoir fonctionner de manière autonome et produire un gâteau complet sans intervention humaine, sauf pour le chargement des ingrédients et choisir la forme.

• **Interface utilisateur :** Un commutateur de deux positions pour la sélection des modes de marche automatique au bien manuelle. La machine doit être connectée à une application ou à un logiciel permettant de créer des modèles personnalisés en 3D, qui peuvent ensuite être envoyés à la machine. Un bouton d'arrêt d'urgence pour la sécurité.

• **Capacité de production :** La machine doit être capable de produire au moins 300 à 600 gâteaux par heure, selon la taille et la complexité des modèles.

### III.2.2 Exigences de sécurité :

- **Normes de sécurité** : La machine doit respecter les normes de sécurité en vigueur, notamment celles liées aux équipements de cuisson et aux dispositifs électriques (norme CE, ISO 13849 pour la sécurité des machines, etc.).

- **Sécurité de l'utilisateur** : La machine doit comporter des protections sur les différentes parties mécanique, hydraulique et électrique. Elle doit être équipée d'un dispositif d'arrêt d'urgence accessible.

- **Accessibilité** : La machine doit permettre un accès facile pour le nettoyage et la maintenance des différents composants.

### III.2.3 Environnement de travail

- **Conditions de fonctionnement** : La machine doit fonctionner dans un environnement de cuisine ou de pâtisserie, avec une température ambiante de 15°C à 35°C et une humidité relative de 40 à 60% et les matériaux utilisés doivent être adaptés à une utilisation alimentaire et facile à nettoyer.

- **Dimensions et espace** : La machine doit être compacte et ne pas excéder 2 mètre de hauteur, 1,5 mètre de largeur, et 0,7 mètre de profondeur pour s'intégrer facilement dans un espace de travail standard.

### III.2.4 Exigences d'ergonomie

- **Facilité d'utilisation** : L'interface utilisateur doit être simple et intuitive, permettant une configuration rapide de la machine et la sélection des paramètres pour la création de gâteaux. Le processus de chargement des pâtes doit être rapide et simple.

### III.2.5 Critères de performance

- **Qualité du gâteau** : Les gâteaux doivent avoir une texture uniforme et une bonne finition, sans défauts visibles.

- **Cadence de production** : La machine doit être capable de produire entre 300 et 600 gâteaux par heure, en fonction de la taille et de la complexité des modèles.

- **Durabilité et fiabilité** : La machine doit être conçue pour une utilisation intensive, avec une durée de vie estimée d'au moins 10 ans avec un entretien régulier.

Ce Cahier des Charges résume les exigences fonctionnelles et de sécurité pour la conception d'une machine de création de gâteaux en trois dimensions. Il servira de guide pour le développement et la validation de la machine avant sa mise en production et son utilisation commerciale.

### III.3 Structure mécanique :

Pour réaliser un système mécanique permettant de déplacer un objet dans l'espace, nous avons opté l'aluminium pour la structure des axes et de la base car il est plus léger que l'acier et pour les vis sans fin et les glissières on les a faites avec de l'acier.

#### III.3.1 Différentes parties de la machine :

La machine est constitué de :

- ❖ **Table porteuse du système de mouvement:** La figure suivant représente la table de notre projet qui porte le système de mouvement sur les axes (X, Y, Z).

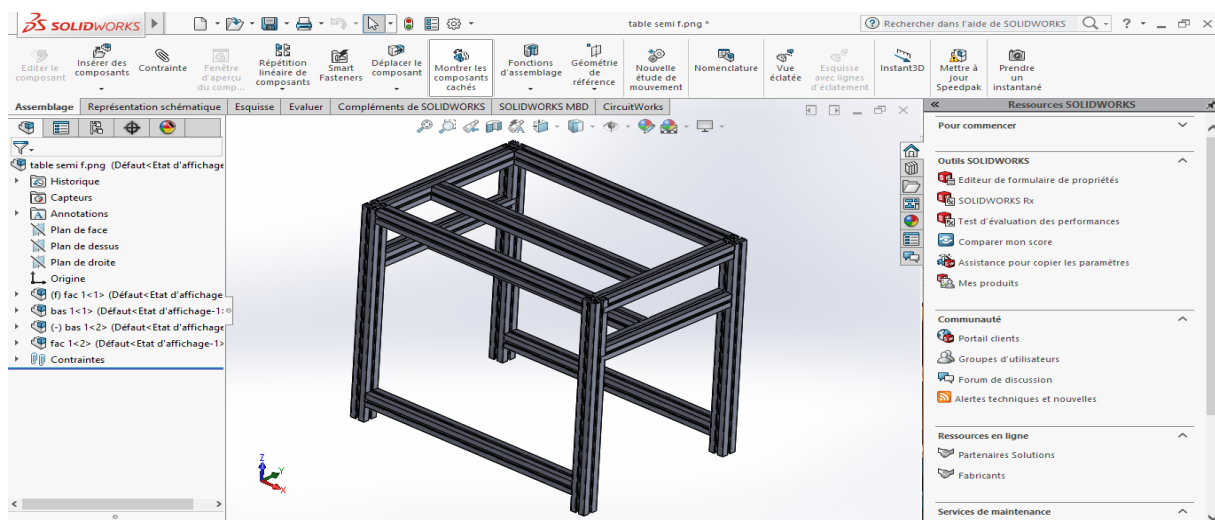


Figure III.1 : Table porteuse du système de mouvement sur les axes (X, Y, Z)

- ❖ **Les axes X -Y :** La figure qui suit montre les axes X- Y avec leurs moteurs pas-à-pas Nema 17.

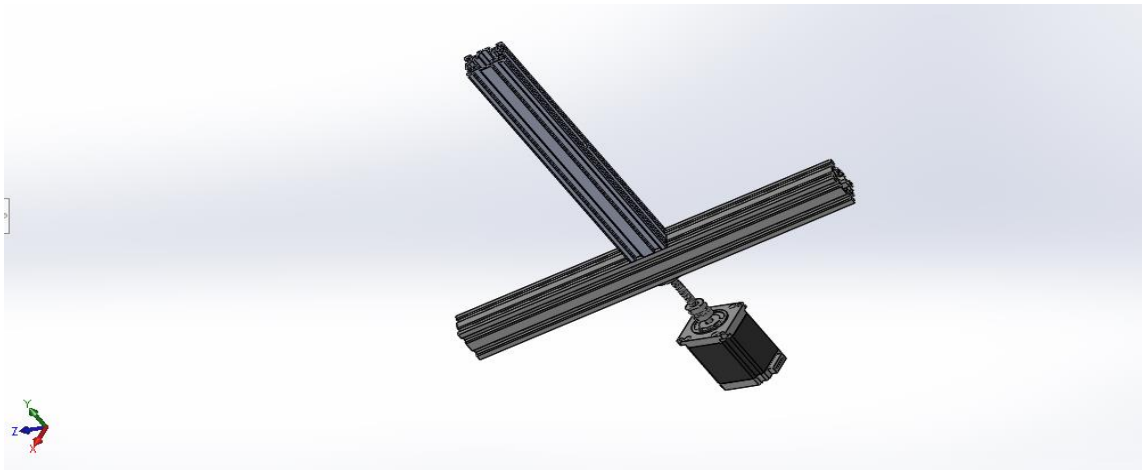


Figure III.2 : L'axe X avec moteur Nema 17



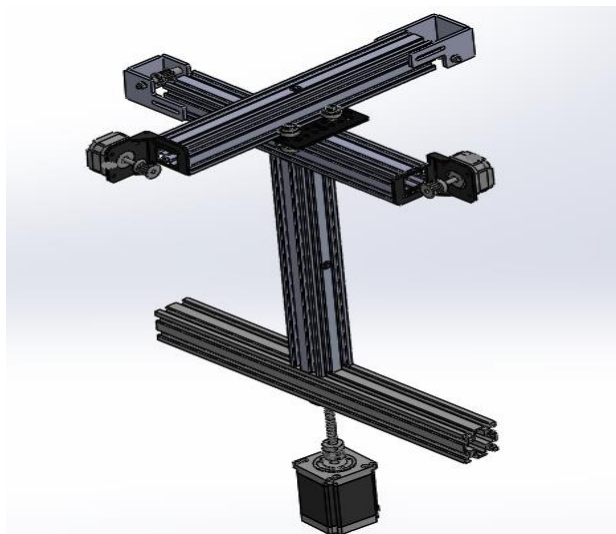
**Figure III.3 :** L'axe Y avec moteur Nema 17

❖ **L'axe Z :** La figure qui suit montre l'axe Z avec son moteur pas-à-pas Nema 23.



**Figure III.4 :** L'axe Z avec moteur Nema 23

❖ **Assemblage des axes (X Y Z) :**



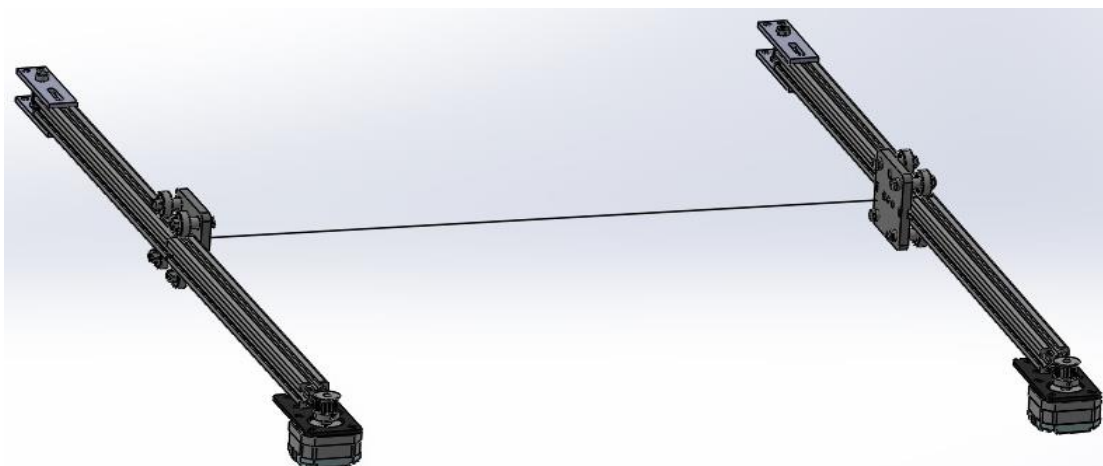
**Figure III.5 :** Assemblage des axes (X Y Z).

- ❖ **Assemblage de différentes parties (table+ trois axes) :**Après avoir cité les différentes parties, nous allons faire l'assemblage des différentes parties comme montre la figure III.6



**Figure III.6 :** Assemblage des différentes parties (table + trois axes).

- ❖ **Système de coupure :** La figure suivante représente le système de coupure de la pate



**Figure III.7:** Système de coupure

- ❖ **Table extérieur** : Cette table est utilisée comme support du système de coupe, système hydraulique et l'armoire électrique.



Figure III.8 : Table extérieur

- ❖ **Assemblage de différentes parties de la machine** :

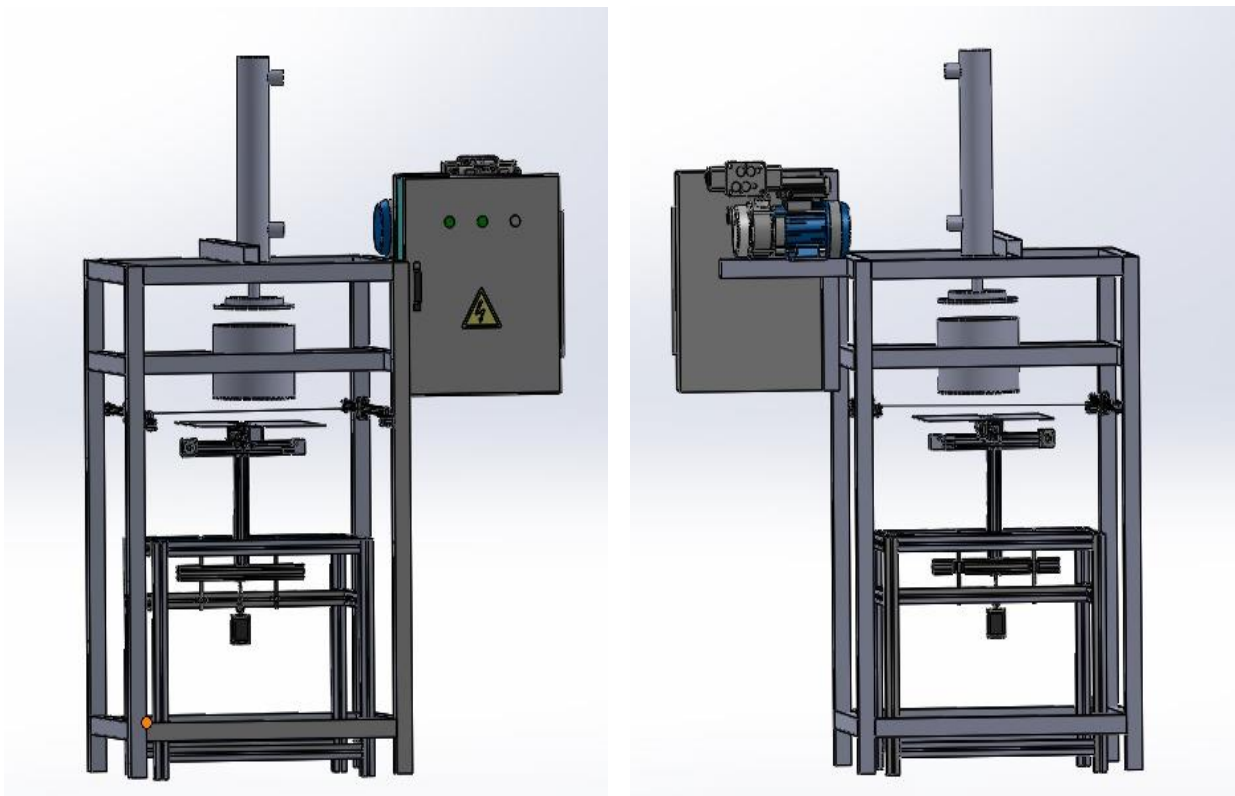


Figure III.9 : Assemblage de différentes parties de la machine

### III.4 Circuit de commande du système de mouvement :

La figure suivante représente le circuit électrique de la commande des moteurs pas à pas à l'aide de la carte arduino-uno et le module de bluetooth hc-05.

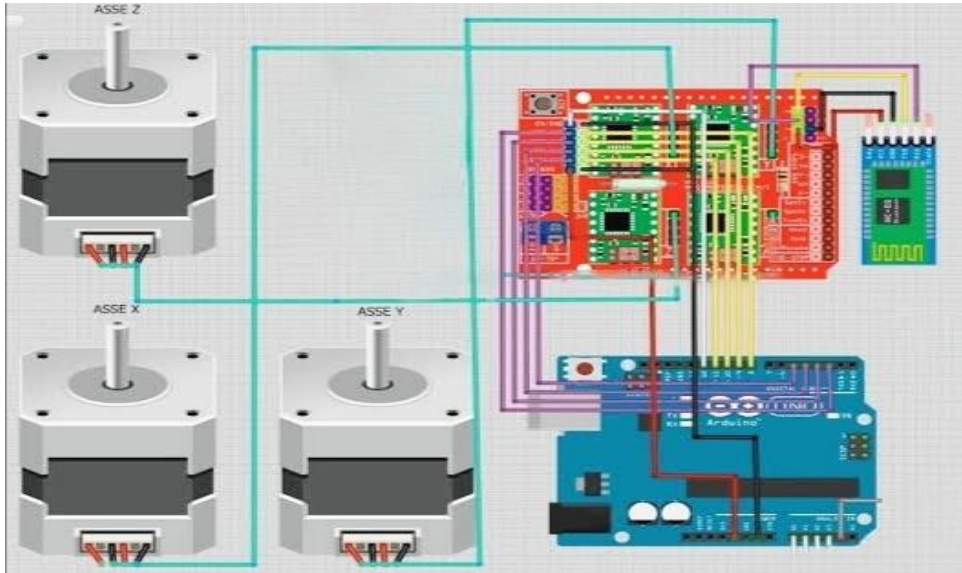


Figure III.10 : Circuit de commande du système de mouvement

### III.5 Armoire électrique:

L'armoire constituée d'une carte arduino-nano, réalisateur ST3330 et deux d'alimentation

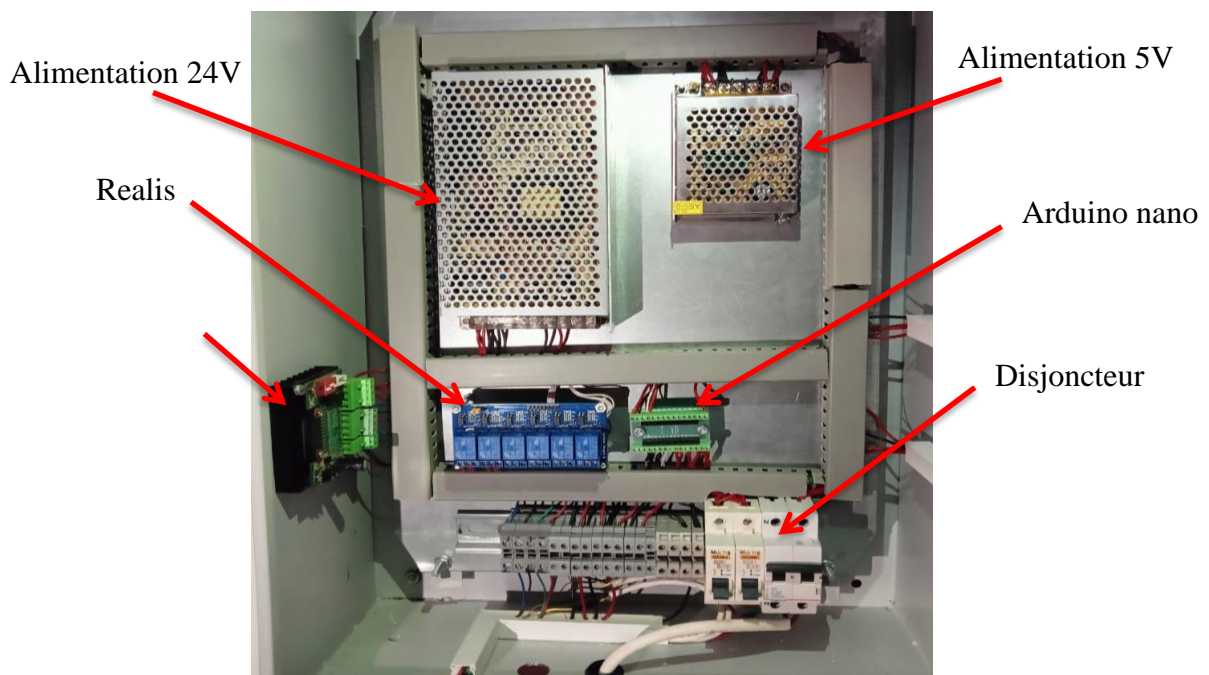
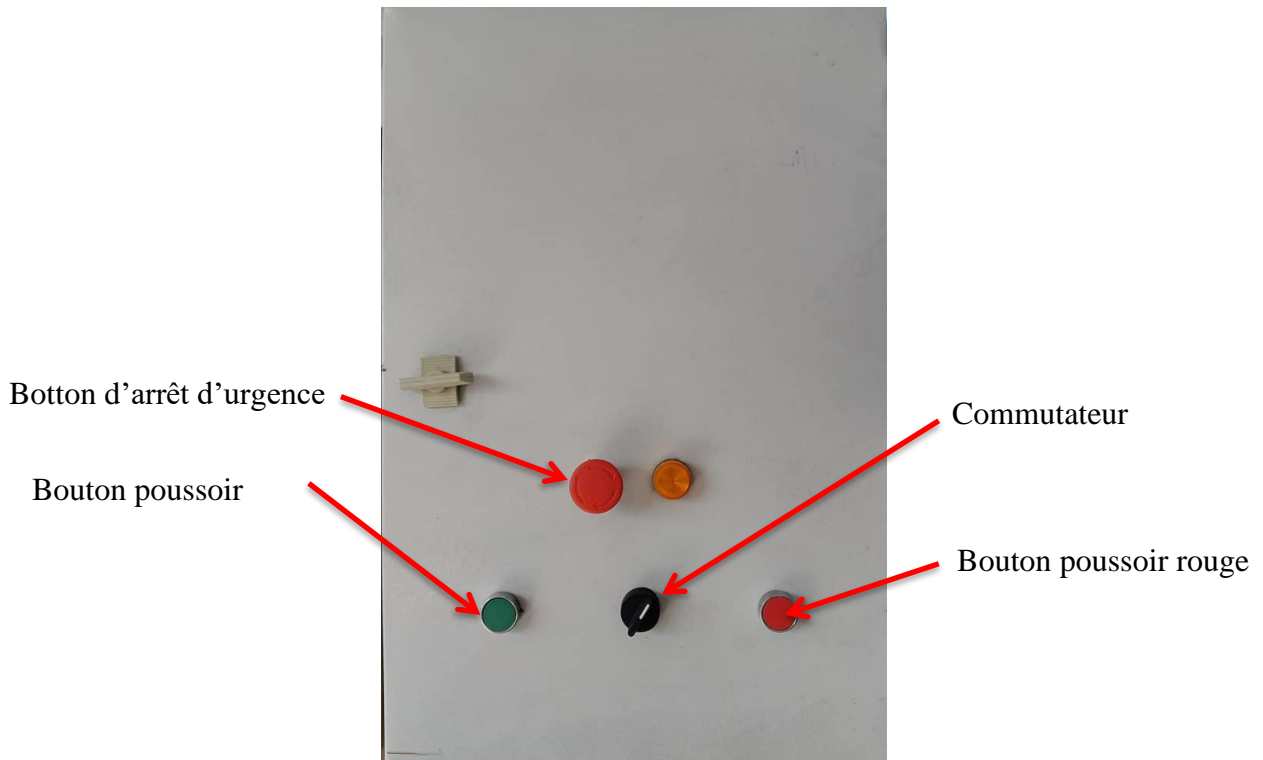


Figure III.11 : L'intérieur de l'armoire électrique de la machine



**Figure III.12 :** L'extérieur de l'armoire électrique de la machine

### III.6 Prototype finale de la machine:

La figure suivante représente une photo réelle du prototype finale de la machine.



**Figure III.13 :** Photo réelle du prototype finale de la machine

III.7 Organigramme et principe de fonctionnement :

III.7.1 Mode de marche automatique :

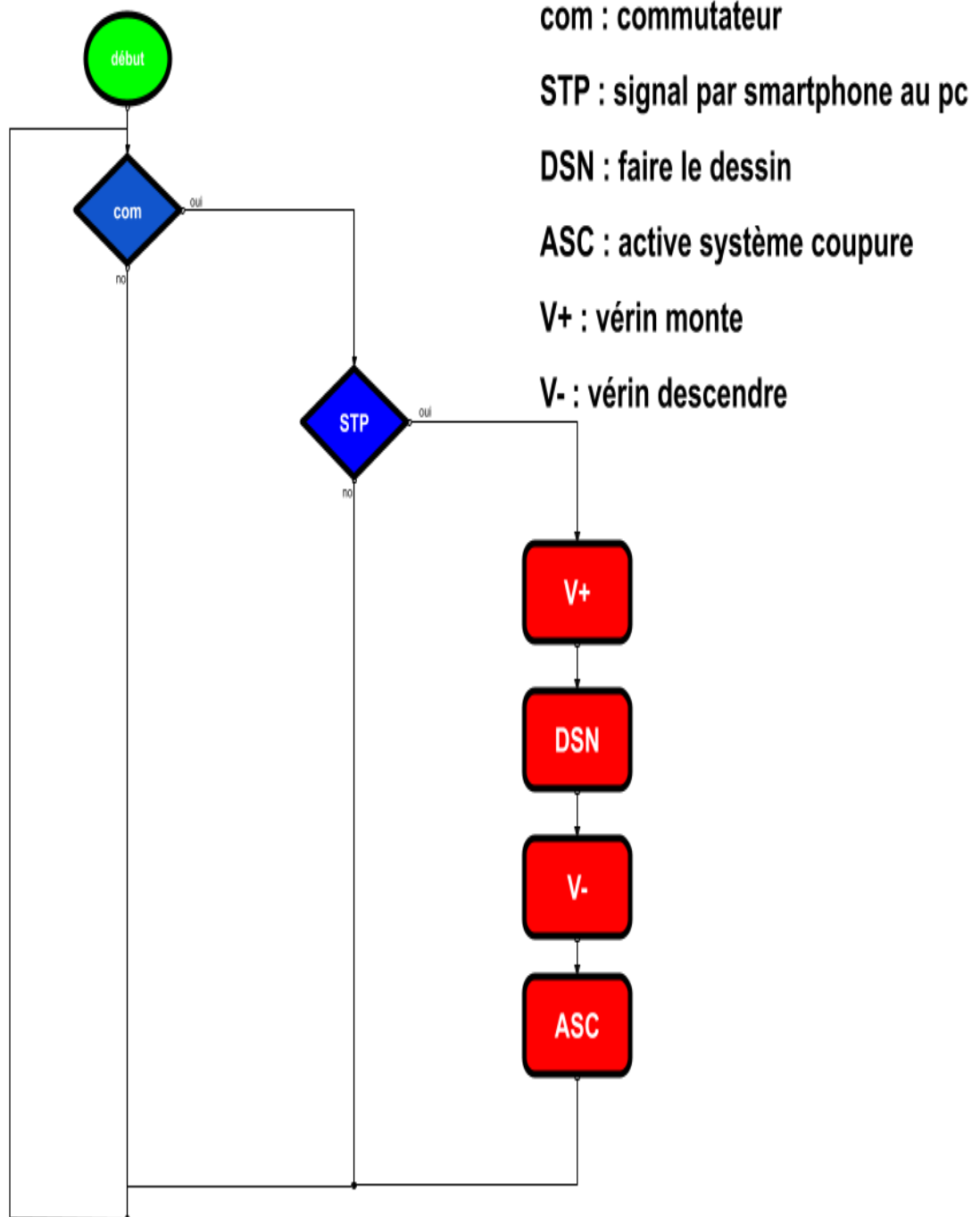


Figure III.14 : L'organigramme pour le mode de marche automatique

### III.7.2 Mode de marche manuelle :

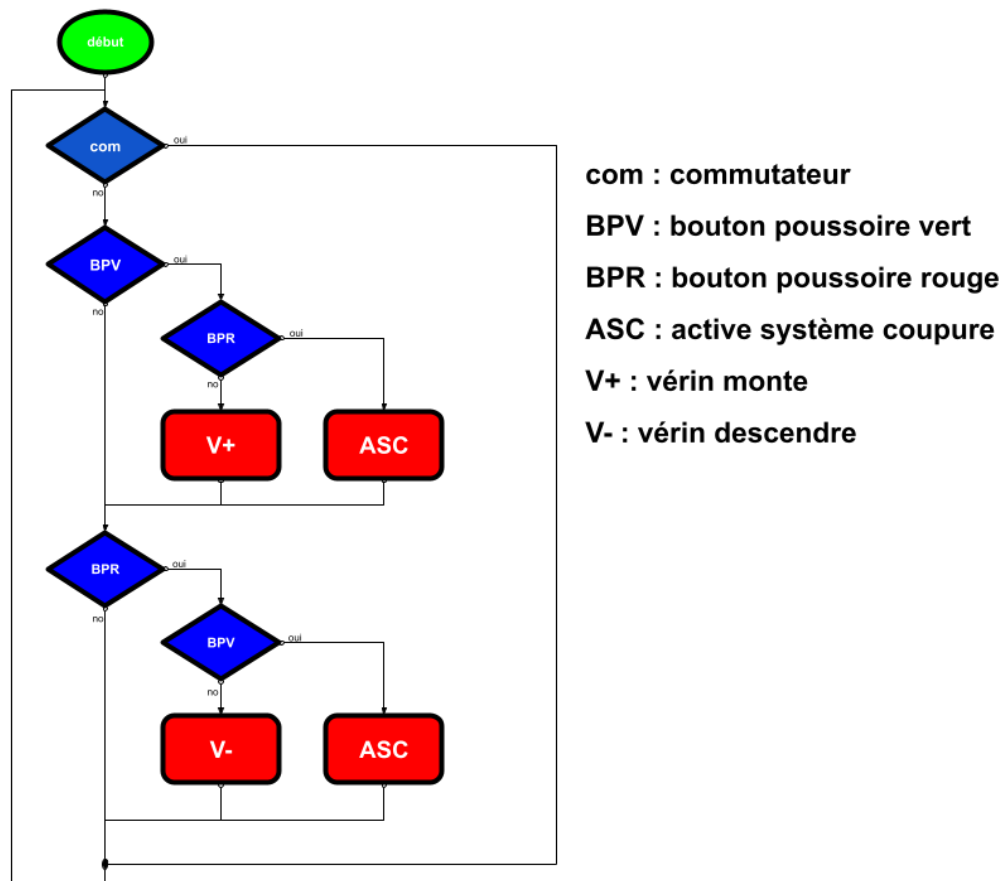


Figure III.15 : L'organigramme pour le mode de marche manuelle

### III.8 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons donné le cahier de charge de notre machine, puis concevons les différentes pièces de la machine à produire et à assembler à l'aide du logiciel Solidworks. Une fois la conception vérifiée, nous sommes passés à la phase de conception du partie commande qui permette la commande des diverses parties mobiles de la machine par le logiciel Arduino IDE et charger le programme embarqué dans notre carte Arduino via l'application contrôler Grbl qui assure l'envoi du code G vers la carte Arduino.

Nous avons également amélioré le contrôle à distance par Smartphone via l'application Controller Grbl et faire des tests sur notre prototype de la machine.

## **Conclusion Générale**

Notre projet de fin d'études a porté sur la conception et la réalisation d'une imprimante en trois dimensions pour les pâtes alimentaire,

Dans la première étape nous avons abordé en théorie tous les aspects de la machine en termes mécaniques, électroniques et même programmation. Nous avons commencé par la conception de la structure mécanique de la machine CNC dans l'environnement SolidWorks. Et la réalisation des différentes cartes électroniques pour commander les moteurs pas à pas à l'aide des cartes arduino (uno-nano) et le module de bluetooth hc-05 avec le CNC shield, en utilisant le langage de programmation numérique G-Code et la carte arduino-uno pour piloter le système de mouvement et le système de coupure.

En deuxième étape nous avons abordé le côté pratique que ce soit la réalisation des différentes cartes électroniques ou la conception des différentes pièces mécaniques de la machine. Nous avons également amélioré le contrôle à distance par Smartphone via l'application Controller Grbl.

Il est à noter que nous avons rencontré plusieurs problèmes durant les différentes phases de conception et la réalisation pratique, mais grâce à ce que nous avons appris durant nos études académiques et pratiques et l'assistance de nos encadreurs, nous avons pu confronter et surmonter ces difficultés, sans omettre le fort intérêt du travailler en groupe pour résoudre des problèmes techniques inattendus.

D'un point de vu général, ce projet nous a permis de découvrir et la maitrise de :

- Programmation de G-code.
- Programmation des cartes Arduino.
- Commande et fonctionnement des moteurs pas à pas.
- Conception mécanique ainsi que l'animation de la machine CNC dans SolidWorks.
- Conception de la machine en regroupant différentes aspects (hardware et software).

Grâce au travail continu, on a peu atteindre notre but et satisfaire le cahier de charge, mais cela ne veut pas dire qu'il est complet, nous proposons que la machine réalisée soit la base de toute une série d'améliorations que nous n'avons pas eu la chance de les faire par manque de temps et de matériel.

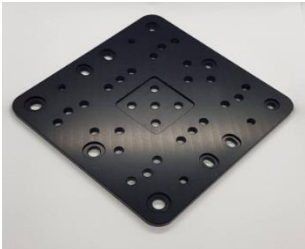


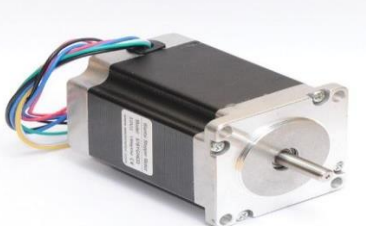
## Références Bibliographiques

- [1] Boulsane Mehdi, Mézâche Mohammed, Ghiti Mohamed Taher. CNC machine à 2 axes. Miniprojet, Université de Constantine 1, (Page.3-6). Année 2016.
- [2] Rafik Ben Kad, Djamel Smaini. Conception et réalisation d'une machine CNC. mémoire. Université de Tizi-Ouzou. (Pages.3-4). Année 2015.
- [3] <https://www.rapiddirect.com/fr/blog/cnc-history/>. Date 12-01-2021.
- [4] [www.technologystudent.com/](http://www.technologystudent.com/) Année 2017.
- [5] Mohammed Raïd ABDEMEZIANE -Djamal BENABIED. Conception et réalisation d'une machine CNC. Université de Mila. (Pages.8-9). Année 2019
- [6] Rafik Ben Kad, Djamel Smaini.. Conception et réalisation d'une machine CNC. mémoire. Université de Tizi-Ouzou. (Pages.9-10). Année 2015
- [7] C. Fréou et A. Grimault Decouverte\_arduino.odt <http://www.techmania.fr/> Année 2014
- [8] <https://arduino-france.site/description-arduino-uno/> Date 01-02-2019
- [9] <https://arduino-france.site/description-arduino-nano/> Date 13-02-2019
- [10] <https://www.moussasoft.com/comment-utiliser-shield-v3-cnc-avec-arduino/> Date 21-01-2021.
- [11] KESSAD Abdelkader. Conception Et Réalisation D'une Mini- Machine CNC A Trois Axes Université De Tiaret. (Page 40). / Année 2021.
- [12] Toumi Fakhreddine Dimensionnement Et Simulation D'une Installation Hydraulique Industrielle. Université D'Annaba. (Pages.8-19-22). / Année 2019.
- [13] Hazzat Omar, Yahiaoui Zakieddine, Belmouhoub Nourelhouda, Benbrahem Zahia, Sidisalah Anfal, Saadi Oumnia. Réalisation d'un accessoire téléphonique équipé de la technologie radiofréquence pour le contrôle à distance des machines industrielles en utilisant le Smartphone. Université De Bordj Bou Arreridj. (Page 22) Année 2024
- [14] <https://binarytech-dz.com/> Année 2024
- [15] [https://grbl-controller.software.informer.com/#google\\_vignette](https://grbl-controller.software.informer.com/#google_vignette) Date 21-11- 2024
- [16] <https://github.com/zeevy/grblcontroller?tab=readme-ov-file> Année 2017
- [17] Le Brear CNC, <https://lebearcnc.com/>, Date 25-06-2018
- [18] <https://fr.wikipedia.org/wiki/SolidWorks> Date 02-10-2024

## ANNEX

Organe	Caractéristiques techniques
<p>Coupleur flexible de moteur pas à pas</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Diamètre extérieur 25 mm</li> <li>✓ Diamètre intérieur de l'axe moteur NEMA 23 : 5 mm</li> <li>✓ Diamètre intérieur de vis mère : 8 mm</li> </ul>
<p>Roue en V Xtreme</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Diamètre intérieur 5 mm</li> <li>✓ Diamètre extérieur 24.39 mm</li> </ul>
<p>Vis trapézoïdale et écrou</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Matériau : Vis-mère en acier inoxydable 304 / Écrou en laiton</li> <li>✓ Diamètre de vis : 8 mm</li> <li>✓ Pas : 2 mm</li> <li>✓ Plomb de filetage : 8 mm</li> <li>✓ Longueur : 500 mm et 250 mm</li> </ul>
<p>Rail de guidage linéaire V-Slot 4040</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Hauteur 4 cm.</li> <li>✓ Largeur 4 cm.</li> <li>✓ Aluminium.</li> </ul>

<p>Support des axes de guidage.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Modèle : SK10ID</li> <li>✓ L'arbre : 10mm</li> <li>✓ Taille : 42*14*37.5mm</li> <li>✓ Trous centre distance : 32mm</li> <li>✓ Diamètre du trou : 5.5mm</li> <li>✓ Poids net : 28g</li> </ul>
<p>Glissière</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Matériel : Aluminium</li> <li>✓ L'arbre SC10UU :10mm</li> <li>✓ Diamètre Intérieur : 10mm</li> <li>✓ Poids net : 187g</li> </ul>
<p>l'axe de guidage</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Matériel : Acier</li> <li>✓ Diamètre : 10mm</li> <li>✓ Longueur : 200mm</li> </ul>
<p>Perlin Pulley GT2 Alumium</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Aluminium</li> <li>✓ Diamètre intérieur 5 mm</li> <li>✓ Diamètre extérieur 6 mm</li> </ul>
<p>courroies</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Matériel : Caoutchouc</li> <li>✓ Type : 2GT-6mm</li> <li>✓ Hauteur de ceinture : 1.38mm</li> <li>✓ Hauteur de dent : 0.75mm</li> <li>✓ Largeur : 6mm</li> </ul>

<p>c-beam gantry plaque</p>  <p>Alimentation</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Aluminium</li> <li>✓ Longueur 77.5 mm</li> <li>✓ Largeur 77.5 mm</li> <li>✓ Epaisseur 6 mm</li> </ul> <p>Il y a 03 Alimentation:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 12V/30A</li> <li>✓ 24V/10A</li> <li>✓ 5V/5A</li> </ul>
<p>Moteur pas à pas NEMA 17 :</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Couple de charge : 0.47 Nm</li> <li>✓ Angle de pas : 1.8° (200 pas par tour)</li> <li>✓ Voltage / courant : 3.1 V / 2.5 A</li> <li>✓ 4 phases</li> <li>✓ Longueur : 48 mm</li> <li>✓ Largeur : 42.3 mm</li> </ul>
<p>Moteur pas à pas NEMA 23 :</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Couple de charge : 1.9 Nm</li> <li>✓ Angle de pas : 1.8° (200 pas par tour)</li> <li>✓ Voltage / courant : 3V / 3A</li> <li>✓ 4 phases</li> <li>✓ Longueur : 76 mm</li> <li>✓ Largeur : 56.4 mm</li> <li>✓ Diamètre de l'arbre : 6.35 mm</li> <li>✓ Longueur de l'arbre : 21 mm</li> <li>✓ Poids : 1.2 kg</li> </ul>