



Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Fabrication Mécanique et productique

Présenté par :

HADJAB Omar & BEN AOUIRA Zakarya

Thème

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE G-CODE DANS L'USINAGE DES CIRCUITS IMPRIMES (PCB)

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
SLAMANI Mohamed	Professeur	Président
AMROUNE Salah	MCA	Encadreur
ARSLENE Mostapha	Docteur	Examineur

Année Universitaire : 2020 / 2021

N° d'ordre : GM/...../2021



Remerciements



Nous tenons à remercier to d'abord notre créateur {Allah} pour nous avoir donné de la force à accomplir ce travail.

*Spécialement nos chers parents pour qui ont toujours là pour nous.
Notre encadreur : Dr. AMROUNE Saleh pour leur aide et
conseille.*

*Tous les membres du jury Pr. SLAMANI Mohamed et
Dr. ARSLANE Mostapha, pour l'honneur qu'ils nous font
En acceptant d'examiner ce mémoire et pour leur Bienveillante
attention.*

*Nous adressons nos remerciements à tous nos professeurs honorés
depuis plus de 3 ans ... et plus particulièrement à nos parents, que
Dieu les préserve et de les sauvegardent.*

*Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à tous Nos proches
et amis qui nous ont toujours soutenues et Encouragées au cours de la
réalisation de ce mémoire.*



Dédicas

Je dédie cette mémoire à...

A ma très chère mère

Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

A mon très cher Père

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

A mes très chers frères Miño et Nassim

Mes chers frères qui m'est le père et la mère, les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous. Mon ange gardien et mon fidèle compagnon dans les moments les plus délicats de cette vie mystérieuse. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

A mes très chères sœurs Hafsa , Thoraya et Sirin

Présent dans tous mes moments d'exams par son soutien moral et ses belles surprises sucrées. Je te souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité. Je t'exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.

A tous les membres de ma famille Ben ouira, Berrak, Mellili , petits et grands

Veillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.

A mes chers amis

Zyman(2) ,hamada ,haroun , Aissa, Yaakoub, Youssef ,Ahmed

A mes chères amies

En particulier Hanane qui m'a beaucoup aidé et m'a encouragé

ZAKARIA



Dédicas

Je dédie cette mémoire à...

A ma très chère mère Boukhorse Nadhira.

A mon très cher Père Abd Arrahmane.

A mes très chers frères Taqiyeddine, Abd El Monime et Othmane.

A mes très chères sœurs Rayhana et Hiba.

A ma très très chère sœur Kawthar Dieu repose son âme.

A mes chers cousins Ghazali et Karim.

A mes très chères amis Abd El Aziz et Abd Allah.

OMAR



Résume

Au cours des deux dernières décennies, les industries mécaniques ont connu un développement considérable en termes de vitesse et de précision de production, de gain de temps et de profit. Il s'agit ici de machines-outils à commande numérique (MOCN).

Dans ce contexte, nous commençons par des définitions des machines-outils à commande numérique en général et les domaines d'utilisation, Puis nous définirons les circuits électriques et énumérons les manières de leurs fabrications.

Dans nos recherches, nous connaissons la machine BUNGARD et ses pièces les plus importantes.

Ensuite, nous expliquons comment réalise un circuit électrique avec cette machine.

Abstract

In the last two decades, the mechanical industries have witnessed a tremendous development in terms of speed and accuracy in production, saving time and profit. We are talking here about numerical control machines.

In this work, we first define numerical control machines in general and the fields that they invaded, then we list the ways of making traditional and modern PCB

In our research, we know the BUNGARD machine and its most important parts

Then we explain how to make an electrical PCB with this machine

ملخص

شهدت الصناعات الميكانيكية في العقدين الأخيرين تطورا رهيبا من حيث السرعة والدقة في الإنتاج موفرة للوقت والربح. الحديث هنا عن آلات التحكم العددي

في هذا العمل نتحدث أولا عن آلات التحكم العددي بشكل عام والميادين التي اقتحتها ثم نسرّد طرق صناعة الدوائر الكهربائية التقليدية والحديثة منها.

ونعرف في بحثنا هذا بآلة التحكم العددي BUNGARD وأهم قطعها. بعد ذلك نشرح كيفية صناعة دائرة كهربائية بهاته الآلة

sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
I.1. INTRODUCTION :	3
I.2. DÉFINITION D'UNE MACHINE-OUTIL À COMMANDE NUMÉRIQUE :	3
I.3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE MOCN :.....	4
I.4. STRUCTURE D'UNE MOCN :.....	5
I.4.1. LA PARTIE OPÉRATIVE :	5
I.4.2.LA PARTIE COMMANDE :	6
I.5. DÉFINITIONS ET IMPLANTATIONS DES AXES D'UNE MOCN :.....	6
I.5.1. POSITIONS RELATIVES DES ORIGINES	7
I.6. TYPES DES MACHINES CNC :	8
I.6.1. FRAISEUSES :	8
I.6.2. TOURS :	8
I.6.3. MACHINE CNC À 5 AXES :	8
I.6.4. MACHINE CNC DE GRAVURE EN BOIS :	9
I.6.5. MACHINE CNC COUPE-PLASMA :	10
I.6.6. USINAGE À DÉCHARGE ÉLECTRIQUE :	11
I.6.7. MACHINE CNC DÉCOUPE LASER :	11
I.6.8. MACHINE CNC COUPE-JET D'EAU :	12
I.6.9. MACHINE CNC D'IMPRESSION 3D :	13
I.6.10. MACHINE CNC DE CHIRURGIE :	13
I.6.11. MACHINE CNC DE ROUTAGE DE PCB :	14
I.7. LE CODE G :	15
I.8. STRUCTURE DE PROGRAMME GCODE :	15
I.8.1. BLOC :	16
I.8.2.MOT :	16
I.8.3.ADRESSE :	16
I.9. EXEMPLE D'UN PROGRAMME CODE G :	18
II.1. INTRODUCTION :	21
II.2. DÉFINITION D'UN CIRCUIT ÉLECTRIQUE (PCB) :	21
II.3. TYPES DES CIRCUITS ÉLECTRIQUES STANDARDS :	22
II.3.1. LES CIRCUITS ÉLECTRIQUE SIMPLE FACE :	22
II.3.2. LES CIRCUITS ÉLECTRIQUE DOUBLE FACE :	23
II.3.3. LES CIRCUITS ÉLECTRIQUES MULTICOUCHES :	23
II.3.4. LES CIRCUITS ÉLECTRIQUES IMPRIMÉS SOUPLES :	24
II.4. LES VIAS :	25
II.5. TECHNOLOGIE DES CONSTITUANTS D'UNE CARTE IMPRIMEE :	26
II.5.1. COUCHES ELECTRIQUES :	26
II.5.2. COUCHES ISOLANTES :	26
II.6. MÉTHODES DE FABRICATION DES CIRCUITS IMPRIMÉS :	27
II.6.1. LA GRAVURE CHIMIQUE (MÉTHODE ARTISANALE) :	27

FIGURE II .9. DESTRUCTION DU CUIVRE SOUS L'INFLUENCE DE L'ACIDE.....	29
II.7. LA GRAVURE MÉCANIQUE.....	32
II.8. LA GRAVURE LASER :	33
III.1. INTRODUCTION :	33
III.2. FRAISEUSE CNC BUNGARD CCD :	33
III.2.1. PROPRIETES MECANIQUES DE LA MACHINE	34
III.2.2. LA BROCHE DE LA MACHINE :	36
III.3. CHANGEMENT DE L'OUTIL :	36
III.3.1. CHANGEMENT MANUEL DE L'OUTIL MTC :	36
III.3.2. CHANGEMENT AUTOMATIQUE DE L'OUTIL ATC :	37
III.4. LOGICIEL ROUTEPRO3000 DE LA MACHINECNC :	37
III.5. TEST DE PROTOTYPE DE LA MACHINE CNC BUNGARD CCD :	39
III.5.1. TELECHARGEMENT DU PROTOTYPE SUR ROUTEPRO3000 :	39
III.5.2. FIXATION DE LA PLAQUE FR4 SUR LA TABLE DELA MACHINE CNC :	39
III.5.3. DEMARRAGE DU PROCESSUS DE FABRICATION :	40
III.6.METHODOLOGIE DE FABRICATION :	43
III.7. LA CONCEPTION DE PCB AVEC PROTEUS :	44
III.7.1. PROTEUS :	45
III.7.2. CONCEPTION DE LA COUCHE PCB :	45
III.7.3. GENERATION DES FICHIERS GERBER :	47
III.7.4. EXPLICATION DE FICHIER GERBER DU PERÇAGE :	48
III.8. CONVERSION DU FICHIER GERBER EN G-CODE VIA ISOCAM :	49
III.8.1. ISOCAM :	49
III.8.2. TELECHARGEMENT DES FICHIERS GERBER VERS ISO-CAM :	51
III.8.3. CREATION DU CODE G :	52
III.9. TELECHARGEMENT DES FICHIERS G CODE VERS ROUTEPRO3000 :	53
III.9.1. OUVERTURE DES FICHIERS G CODE :	53
III.9.2. REGLAGE DES PARAMETRES DE COUPE :	53
III.9.3. REGLAGE DES ORIGINES :	54
III.9.4.DEMARRAGE DU PROCESSUS DE FABRICATION :	55
CONCLUSION GENERALE :	56

Liste des Figure

FIGURE I.1.MACHINE OUTILS A COMMAND NUMERIQUE.	4
FIGURE I.2. STRUCTURE D'UNE MOCN.	5
FIGURE I.3. LES AXES D'UNE FRAISEUSE(MOCN).	7
FIGURE I.4. LES ORIGINES D'UNE FRAISEUSE MACHINE(MOCN).	8
FIGURE I.5. MACHINE CNC A 5 AXES.	9
FIGURE I.6.MACHINE CNC DE GRAVURE EN BOIS.	10
FIGURE I.7.MACHINE CNC DE DECOUPE DE PLASMA.	10
FIGURE I.8. MACHINE CNC D'USINAGE A DECHARGE ELECTRIQUE.	11
FIGURE I.9. MACHINE CNC DE DECOUPE LASER.	12
FIGURE I.10. MACHINE CNC COUPE-JET D'EAU.	12
FIGURE I.11.MACHINE CNC D'IMPRESSION3D.	13
FIGURE I.12.MACHINE CNC DE CHIRURGIE.	14
FIGURE I.13.MACHINE CNC DE ROUTAGE DE PCB.	15
FIGURE I.14. STRUCTURE DE PROGRAMME G CODE.	15
I.9. EXEMPLE D'UN PROGRAMME CODE G :	18
FIGURE II.1. UN CIRCUIT ELECTRIQUE PCB.	22
FIGURE II .2. UN CIRCUIT ELECTRIQUE A SIMPLE FACE.	23
FIGURE II .3. UN CIRCUIT ELECTRIQUE DOUBLE FACE.	23
FIGURE II .4. UN CIRCUIT ELECTRIQUE MULTICOUCHE.	24
FIGURE II.5. UN CIRCUIT ELECTRIQUE IMPRIME SOUPLE.	25
FIGURE II .6. LES DIFFERENTS TYPES DES VIAS.	26
FIGURE II .7. IMPRESSION DU SCHEMA DE PCB SUR LA PLAQUE FR4 DE CUIVRE. ..	28
FIGURE II .8. ÉLIMINATION DE LA RESINE PHOTOSENSIBLE DEGRADEE PAR LES UV.	29
FIGURE II .9. DESTRUCTION DU CUIVRE SOUS L'INFLUENCE DE L'ACIDE.	29
FIGURE II .10. LA GRAVURE DU PCB DANS UN BAIN ACIDE CHAUFFE.	30
FIGURE II .11. NETTOYAGE DE LA PLAQUE AVEC DE L'EAU CHAUDE ET DE L'ALCOOL.	31
FIGURE II .12. PERÇAGE DES TROUS DE MONTAGE.	31
FIGURE II .13. LA GRAVURE MECANIQUE.	33
FIGURE II .14. LA GRAVURE LASER.	33
FIGURE III.1. FRAISEUSE CNC BUNGARD CCD.	34
FIGURE III.2. LA TABLE DE LA MACHINE CNC.	35
FIGURE III.3. LA BROCHE DE LA MACHINE CNC.	36
FIGURE III.4.EMPLACEMENT D'OUTIL DANS LA MACHINE CNC.	37
FIGURE III.5. ÉCRAN DE DEMARRAGE DE ROUTEPRO3000.	38

•	
PROJET PCB TELECHARGE SUR ROUTEPRO3000.	FIGURE III.6. 39
FIGURE III.7. FIXATION DE LA PLAQUE FR4 SUR LA TABLE DEL A MACHINE CNC.	40
FIGURE III.8. FENETRE DE DIALOGUE ATC ET MTC.	41
FIGURE III.9. SIMULATION DU PROCESSUS DE PERÇAGE.	41
FIGURE III.10.FENETRE DE SELECTION DE PROCESSUS.....	42
FIGURE III.11.SIMULATION DU PROCESSUS DE ROUTAGE.	42
FIGURE III.12. LA MACHINE CNC PENDANT LE PROCESSUS DE ROUTAGE.	43
FIGURE III.13. LE RESULTAT FINAL DU PROTOTYPE PROJECT.	43
FIGURE III.14. LES ETAPES DE TRAVAIL.	44
FIGURE III.15.SHEMA ELECTRIQUE DU PCB.	46
FIGURE III.16.LA COUCHE FINALE DU PCB.....	47
FIGURE III.17. GENERATION DES FICHIERS GERBER.	48
FIGURE III.19. ÉCRAN DE DEMARRAGE D’ISOCAM.	50
FIGURE III.20. TELECHARGEMENT DES FICHIERS GERBER VERS ISOCAM.	51
FIGURE III.21.SIMULATION DE LA COUCHE PCB DANS ISOCAM.....	51
FIGURE III.22. CREATION DU CODE G POUR LE ROUTAGE.....	52
FIGURE III.23.SIMULATION DE LA TRAJECTOIRE D’OUTIL.....	53
FIGURE III.24.FENETRE DE DIALOGUE DE TELECHARGEMENT DES FICHIERS G CODE.	53
FIGURE III.25.FENETRE DE DIALOGUE DE PARAMETRES DE ROUTAGE.....	54
FIGURE III.26. SIMULATION DE LA COUCHE PCB DANS ROUTEPRO3000.....	54
FIGURE III.27. FENETRE DE PARAMETRE DES ORIGINES.....	55
FIGURE III.28. FENETRE RUN CNC.....	55
FIGURE III.29.CARTE PCB REALISEE SUR LA MACHINE CNC BUNGARD CCD.	56
CONCLUSION GENERALE :	56

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La carte de circuit imprimé (PCB) est le composant central de presque tous les appareils électroniques utilisés à des fins domestiques et industrielles ou de recherche. PCB connecte des composants électroniques ou électriques à l'aide de pistes conductrices et offre un support mécanique aux composants électroniques.

Le PCB peut être fabriqué par sérigraphie (manuellement) et CNC (contrôle numérique par ordinateur) - fraisage. Dans la méthode conventionnelle (sérigraphie), nous avons besoin de plus de temps et d'énergie pour concevoir, imprimer, graver davantage que le perçage, tant que le système CNC réduit l'impression, la gravure tout comme rend le perçage automatisé.

Pour cette raison, le système CNC peut jouer un rôle important pour réduire le temps et augmenter les efforts. Les machines CNC sont des machines d'exploitation automatisées qui prennent en charge des lettres de code, des chiffres et des caractères spéciaux.

La plupart des codes standardisés pour le système CNC sont des codes G et M. Ces codes associés au logiciel Proteus ont facilité les applications et les processus d'apprentissage du système CNC. Notre machine CNC de laboratoire repose sur la programmation dans le code G. Le code G est un type de langage par lequel l'utilisateur indique aux machines-outils informatisées « Comment faire quelque chose ». Il est bien défini par des commandes indiquant où se déplacer, avec quelle efficacité se déplacer et par quel chemin se déplacer.

Les codes G peuvent être générés par les logiciels de conception de circuits imprimés tels que Proteus avec FlatCAM, ISOCAM TinyCAD et Eagle. Mais Proteus est différent des autres. Il s'agit d'un logiciel de conception de circuits imprimés qui convient à la création de circuits imprimés. Dans Proteus, il convient de créer un schéma de circuit imprimé et un schéma de circuit peut être conçu et simulé.

Dans ce contexte, nous avons subdivisé notre mémoire en 3 parties, dans la première partie, nous avons traité les machines-outils à commande numériques d'une façon générale, dont la quelle on a présenté les différentes parties de la machine, puis on a les différents domaines d'utilisation.

Concernant le deuxième chapitre on a déterminé les différents types des PCB et leurs méthodes de fabrication conventionnels.

INTRODUCTION GENERALE

Par contre, dans la partie expérimentale (chapitre 3) on a réalisé une carte électronique à l'aide du logiciel Proteus, IsoCAM et RoutePro3000 sur la machine-outil à commande numériques BUNGARD CCD en suivant les étapes suivantes ; La conception de PCB avec Proteus et génération des fichiers Gerber, conversion de ces fichiers à code G avec IsoCAM, puis l'envoi le à la machine comme des instructions géométriques et technologiques via RoutePro3000.

Et on a essayé de réaliser d'autres types de carte électroniques sur les logiciels SolideWorks, CATIA et MasterCAM et même on a entamé la méthode directe (Code G), c'est-à-dire, modifier directement le programme code G pour avoir un dessin bien précis d'un circuit imprimé mais malheureusement, nous n'avons pas le temps pour compléter cette tâche.

Reste à signaler que la machine qui permet de graver les cartes électronique n'a jamais utilisé depuis leur installation jusqu'à ce jour, donc notre intervention permet de lancer cette machine et de le rendre opérationnelle à travers cette étude. Ce travail est entamé pour la première fois au niveau du laboratoire génie électrique et on a clôturé notre mémoire par une conclusion générale et des recommandations.

CHAPITRE I :

**GENERALITIES
SUR LES MOCN**

I.1. Introduction :

Durant ces dernières années, la commande des machines électriques a subi des progrès significatifs. Ces progrès sont essentiellement dus à la révolution technologique en informatique industriel, ce qui a permis le développement de solutions numériques efficaces avec une possibilité d'implanter des algorithmes plus complexes.

Après une première génération de commandes numériques à logique câblée sont apparues les commandes numériques par ordinateur (CNC), ou par ordinateur, qui intègrent un ou plusieurs ordinateurs spécifiques pour réaliser tout ou partie des fonctions de commande. Tous les systèmes de commande numérique commercialisés actuellement contenant au moins un microprocesseur, les termes CN et CNC peuvent être considérés comme des synonymes .

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 directe 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. Tours, fraiseuses, perceuses et aléseuses sont ainsi devenues capables d'assurer, en quantité comme en qualité, une production à peine imaginable quelques années auparavant. La CN est également à l'origine de nouvelles conceptions de machines polyvalentes comme le centre d'usinage. De très nombreuses technologies de fabrication sont maintenant pilotées par des commandes numériques : tournage, fraisage, électroérosion, rectification, affutage, pliage, poinçonnage, découpes, etc...[1]

I.2. Définition d'une machine-outil à commande numérique :

La machine-outil à commande numérique est un appareil spécifique piloté par commande numérique constitue son principal champ d'utilisation, permettent d'effectuer automatiquement de nombreuses tâches dans divers domaines d'activité : la gravure et le Perçage des circuits imprimés, la réalisation de petites pièces mécaniques, le traçage et la découpe des divers éléments constituant les modèles réduits, et bien d'autres Choses encore.[2]

La MOCN est une machine totalement ou partiellement automatique à laquelle les ordres sont communiqués grâce à des codes dans un programme CN. 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 Commande Numérique par Calculateur (CNC). La plupart des MOCN sont des CNC.[3]

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



Figure I.1.Machine outils a command numérique.

I.3. Principe de fonctionnement d'une MOCN :

Quel que soit le langage de programmation utilisé pour assurer la réalisation automatisée des pièces, une suite d'instructions établies dans un langage codé est le seul langage compréhensible par la machine-outil à commande numérique.

À partir d'un programme d'usinage établi par un opérateur, le Directeur de Commande Numérique (DCN) fournit des ordres aux servocommandes des axes de la machine.

Des ordres vont être générés vers la commande par le biais d'un code machine 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.[5]

I.4. Structure d'une MOCN :

Comme pour tout système automatisé, nous pouvons décomposer la structure d'une MOCN en deux parties principales.

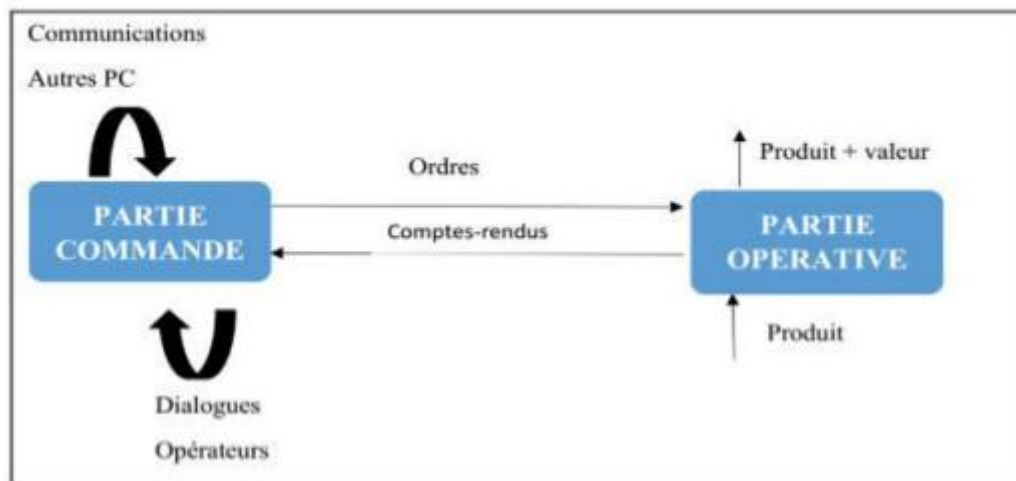


Figure I.2. Structure d'une MOCN.

I.4.1. La partie opérative :

La partie opérative (notée PO) comprend principalement un ou plusieurs mobiles, appelé stables ou chariots, liés au bâti ou entre eux par des liaisons glissières ou pivots. La position des mobiles est détectée par un capteur de position, et leur vitesse est mesurée en permanence. Les mouvements sont commandés par des moteurs presque comparables à une machine-outil classique,

La partie opérative est composé de la :

- Table support de pièce, équipée de systèmes de commande (vis et écrou à billes), mobile selon deux ou trois axes.
- Moteurs d'entraînement de la table suivant les divers axes.

- L'élément de mesure ou capteur de position qui informe à tout instant sur la position du mobile (sur chaque axe).
- Capteur de vitesse qui mesure la vitesse de rotation

I.4.2.La partie commande :

Différente d'une machine conventionnelle, une MOCN est constituée d'une armoire qui transforme les informations codées du programme en ordres aux servomécanismes de la partie opérative, afin d'obtenir les déplacements des organes mobiles.

Contrairement au bac électronique qui est la plupart du temps incorporé dans l'armoire électrique de la machine, le pupitre opérateur est facilement accessible, car il fait office d'élément de dialogue homme-machine. Son ergonomie constitue, de ce fait, un facteur déterminant d'acceptation auprès des utilisateurs de MOCN.

Un pupitre opérateur est un terminal à partir duquel s'effectue l'exploitation de la CN. Conçu pour être intégré à la machine, encastré en armoire ou installé en pendentif.

Il regroupe essentiellement:

- Un clavier alphanumérique.
- Un écran de visualisation.
- Un certain nombre de touches de fonction d'aide à l'opérateur. [6]

I.5. Définitions et implantations des axes d'une MOCN :

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

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

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

L'axe Y forme avec les deux autres un trièdre trirectangle de sens direct (Règle des trois doigts de la main droite).

Les axes de rotations correspondent au sens trigonométrique.

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

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

C autour de Z, sens C+ de X vers Y. [7]

Les axes de translations supplémentaires sont appelés :

U parallèle à l'axe X.

V parallèle à l'axe Y.

W parallèle à l'axe Z.

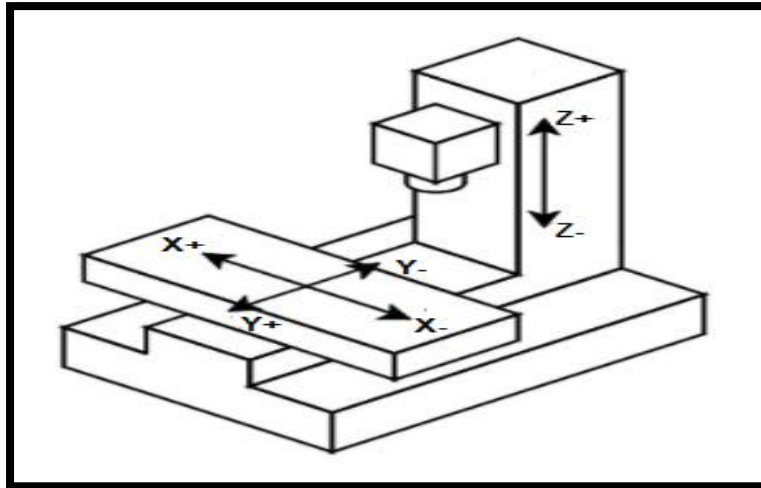


Figure I.3. Les axes d'une fraiseuse(MOCN).

I.5.1. Positions relatives des origines

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

Om : Origine mesure : Premier point zéro (strobe) du codeur rencontre par le d.c.n. après OM. (G52)

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

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

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

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

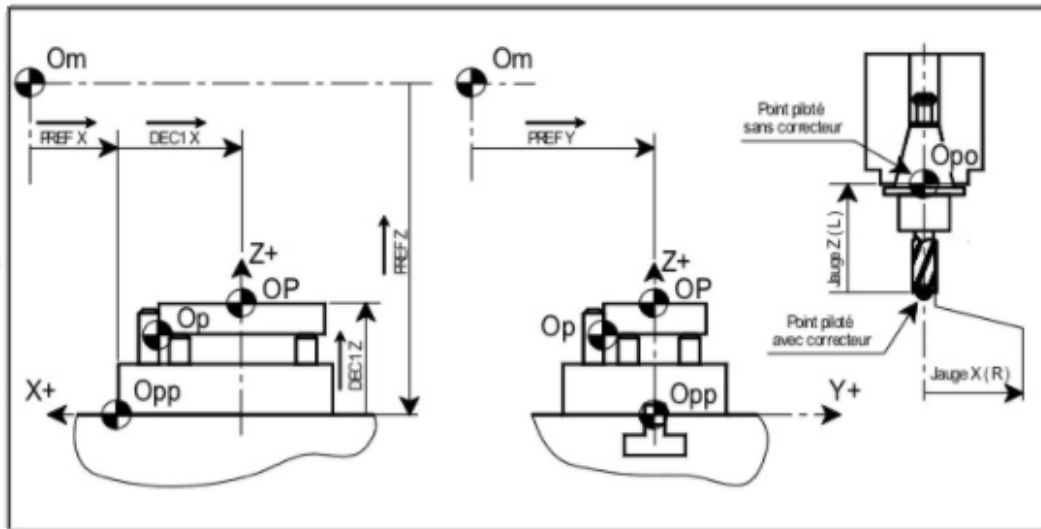


Figure I.4. Les origines d'une fraiseuse machine (MOCN).

I.6. Types des machines CNC :

I.6.1. Fraiseuses :

Comme nous le savons, fraisage est un processus d'enlèvement de métal en alimentant la pièce passe à travers le coupe multipoint rotatif. Les usines CNC utilisent des commandes informatiques pour couper différents matériaux. Ils sont capables de traduire des programmes consistant en nombre spécifique et des lettres pour déplacer la broche à divers endroits et profondeurs. Ces types de machines sont également utilisés pour la production de masse comme le cabestan et la tourelle. Les composants fabriqués par cette machine sont très précis dans les tolérances dimensionnelles. [8]

I.6.2. Tours :

Les tours sont des machines qui coupent des morceaux de métal en rotation. Les tours CNC sont capables de faire des coupes rapides et précises en utilisant outils et perceuses indexables avec des programmes compliqués pour des pièces qui ne peuvent normalement pas être coupées sur des tours manuels. Ces machines comprennent souvent 12 porte-outils et des pompes de liquide de refroidissement pour réduire l'usure des outils. Les tours CNC ont des spécifications de contrôle pour les usines CNC et peuvent souvent lire le code G ainsi que le langage de programmation. [9]

I.6.3. Machine CNC à 5 axes :

C'est une machine dans laquelle il y a un total de 5 axes. Initialement, il s'agissait de 3 axes (X, Y et Z) le fonctionnement de coupe de n'importe quel instrument a été fait dans la 3 direction mais 2 axes supplémentaires ajoutés (A, B) ce qui signifie qu'il y a au total 5 axes, les travaux sont coupés sont effectués dans la direction 5.

La machine à 5 Axis est utilisée pour la réalisation de sculptures. Elle offre une finition de surface extrême. Elle est très précise dans les tolérances dimensionnelles. Elle est capable de couper à travers les formes les plus difficiles et les surfaces gauches. et peut également couper à grands vitesses ce qui le rend capable de travailler sur l'industrie des pièces en série. [10]



Figure I.5. Machine CNC à 5 axes.

I.6.4. Machine CNC de gravure en bois :

Il fonctionne de la même manière que d'autres machines CNC comme le tour ou le fraisage. La principale différence est, il fait tous les travaux de menuisier manuellement comme les sculptures de porte, intérieur et décorations extérieures, panneaux de bois, panneaux, cadres en bois, moulures, instruments de musique, meubles, et ainsi de suite. Comme le croquis, vous pouvez concevoir si possible que vous pouvez faire dans le système puis exécuter sur cette machine. Il offre un meilleur fini de surface. Ce sera une très bonne machine en termes de conception de la porte et plus encore.

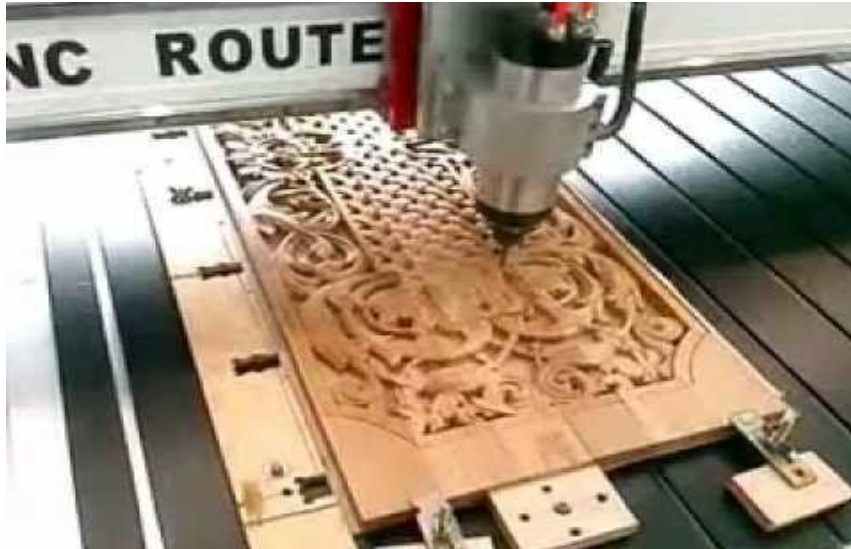


Figure I.6.Machine CNC de gravure en bois.

I.6.5. Machine CNC Coupe-plasma :

La machine de découpe de plasma est définie comme étant un processus qui coupe à travers des matériaux conducteurs électriquement à l'aide d'un jet accéléré de plasma chaud. Il est couramment utilisé pour couper l'acier et d'autres métaux, mais peut être utilisé sur une variété de matériaux. Dans ce processus, le gaz (tel que l'air comprimé) est soufflé à grande vitesse hors d'une buse ; en même temps un arc électrique se forme à travers ce gaz de la buse à la surface étant coupé, tournant une partie de ce gaz au plasma. Le plasma est suffisamment chaud pour faire fondre le matériau coupé et se déplace suffisamment vite pour évacuer le métal fondu de la coupe. [11]

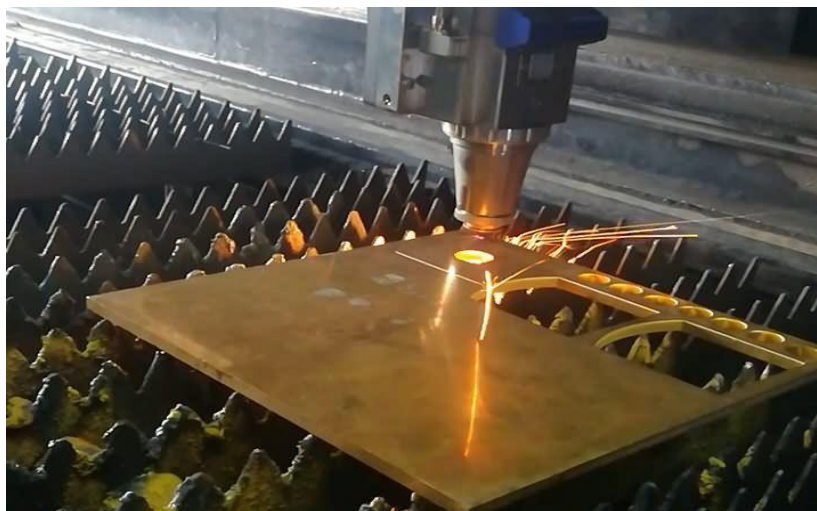


Figure I.7.Machine CNC de découpe de plasma.

I.6.6. Usinage à décharge électrique :

Usinage par décharge électrique (EDM), parfois familièrement aussi appelé usinage par étincelles, érosion par étincelles, la combustion, l'enfoncement des matrices ou l'érosion des fils, est un processus de fabrication dans lequel une forme désirée est obtenue en utilisant décharges électrique (étincelles). Le matériau est retiré de la pièce par une série de décharges de courant entre deux électrodes, séparées par un fluide diélectrique et soumises à une tension électrique. L'une des électrodes est appelé l'outil-électrode, ou simplement l'« outil » ou l'« électrode », tandis que l'autre est appelé l'électrode-pièce, ou« pièce à travailler ».[12]

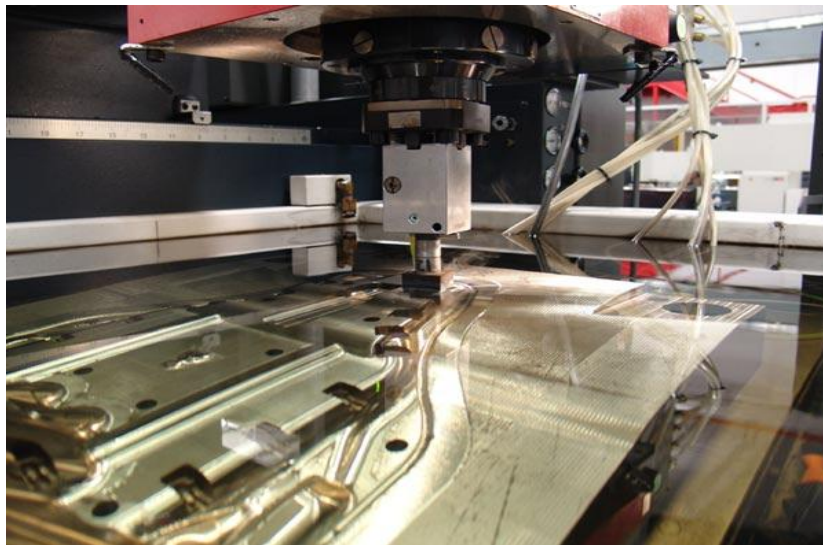


Figure I.8. Machine CNC d'usinage à décharge électrique.

I.6.7. Machine CNC Découpe laser :

Comme le nom lui-même indique « Découpe au laser », cela signifie que l'opération de découpe est effectuée au laser et que le code d'opération est introduit automatiquement dans les parcours de la machine, on l'appelle machine de découpe au laser CNC. Cette machine est utilisée pour la découpe de tôles. Il offre une meilleure surface

Même faire la conception compliquée peut être fait dans ce que vous avez juste à alimenter le programme en fonction de lui. Le coût de la machine est très élevé.[13]



Figure I.9. Machine CNC de découpe laser.

I.6.8. Machine CNC Coupe-jet d'eau :

Un coupe-jet d'eau, aussi connu sous le nom de jet d'eau, est un outil capable de couper le métal ou d'autres matériaux (comme le granit) en utilisant un jet d'eau à haute vitesse et pression, ou un mélange d'eau et d'une substance abrasive, comme le sable. Il est souvent utilisé pendant la fabrication ou la fabrication de pièces pour les machines et autres dispositifs. Jet d'eau est le préféré méthode lorsque les matériaux coupés sont sensibles aux températures élevées générées par d'autres méthodes. Il a trouvé applications dans un grand nombre d'industries allant de l'exploitation minière à l'aérospatiale où il est utilisé pour des opérations telles que la coupe, la mise en forme, la sculpture et l'alésage.[14]



Figure I.10. Machine CNC Coupe-jet d'eau.

I.6.9. Machine CNC d'impression 3D :

L'impression 3D ou fabrication additive regroupe les procédés de fabrication de pièces en volume par ajout de matière en couches successive depuis une modélisation 3D, par opposition à la fabrication soustractive.

Le principe reste proche de celui d'une imprimante 2D classique à cette grande différence près : c'est l'empilement des couches qui crée le volume.

Elle est utilisée dans des domaines aussi variés que le prototypage, l'industrie, l'aéronautique, la construction, l'armée, la bio-impression ou l'alimentation.

L'impression 3D permet de réaliser un objet réel : un concepteur dessine l'objet 3D grâce à un outil de conception assistée par ordinateur (CAO). Le fichier 3D obtenu est traité par un logiciel spécifique qui organise le découpage en tranches des différentes couches nécessaires à la réalisation de la pièce. Le découpage est envoyé à l'imprimante 3D qui dépose ou solidifie la matière couche par couche jusqu'à obtenir la pièce finale. [15]

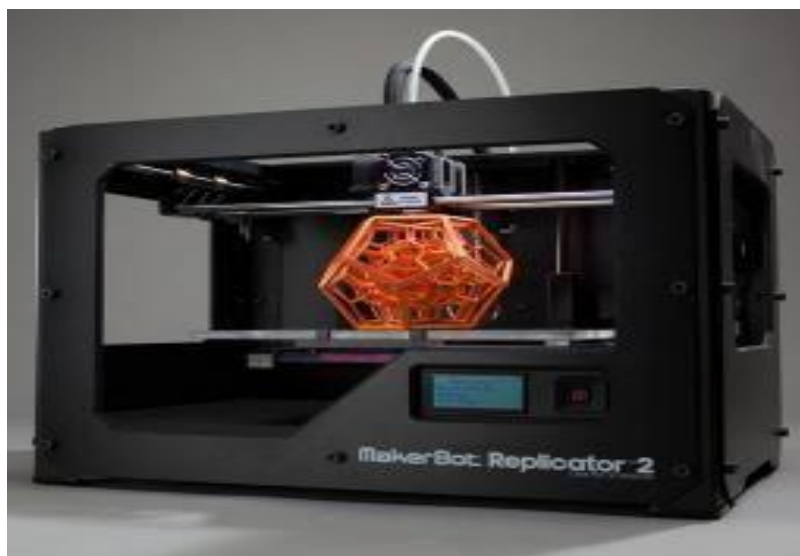


Figure I.11.Machine CNC d'impression3D.

I.6.10. Machine CNC de chirurgie :

L'utilisation de machines-outils CNC de précision dans le domaine médical est devenue de plus en plus large. Les parties des dispositifs médicaux sont caractérisées par une structure complexe, des matériaux résistants et un traitement difficile. L'usinage CNC est la méthode idéale pour traiter de telles pièces médicales, la liaison multiaxes Le tournage et le fraisage CNC ont des performances exceptionnelles dans le domaine de la fabrication d'équipements médicaux de

précision, principalement utilisés pour fabriquer des implants orthopédiques (crochets vertébraux, plaques osseuses, vis à os, boules acétabulaires, etc.) et implants dentaires (piliers implantaires, modèles de prothèses, etc.). Et avec le développement de la chirurgie moderne, de la structure complexe et de haute précision à haut volume, des instruments chirurgicaux à haute résistance peuvent être produits par la technologie CNC. [16]

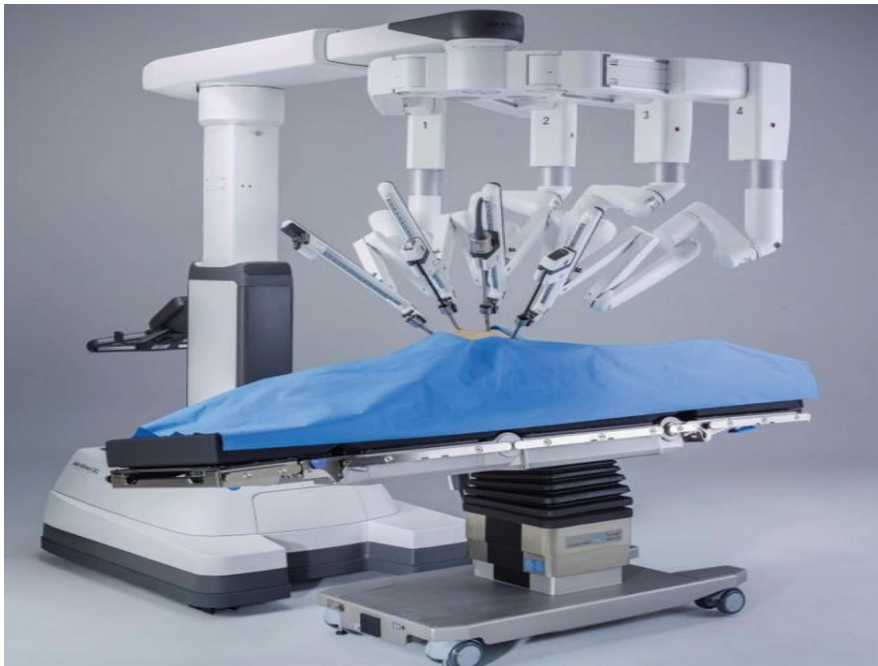


Figure I.12.Machine CNC de chirurgie.

I.6.11. Machine CNC de routage de PCB :

La machine CNC pour effectuer le routage d'isolement, perçage et fraisage pour PCB selon la conception indiquée. Il est remarqué que le système CNC associé à Proteus rend le processus de conception de PCB automatisé et plus facile en réduisant le processus d'impression ainsi que la gravure. Cette étude révèle que le système proposé peut éliminer les erreurs humaines pour obtenir une meilleure précision et une productivité plus élevée par rapport aux méthodes conventionnelles de conception de circuits imprimés.[17]

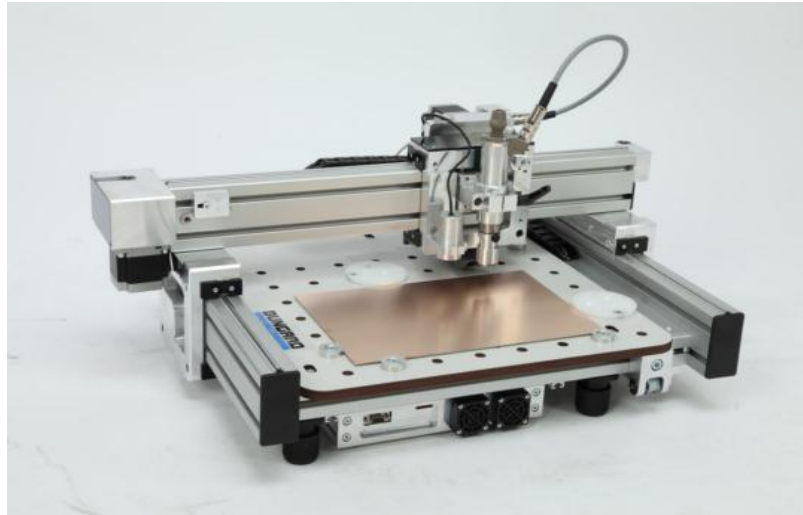


Figure I.13.Machine CNC de routage de PCB.

I.7. Le Code G :

Le ‘Code G’ est un langage alphanumérique informatique ISO permet de définir des séquences d’instructions permettant de piloter et programmer des différentes machines-outils à commandes numériques. Ce code contient des informations géométriques et technologiques. Il est divisé en fonctions « préparatoires G» et en fonctions « auxiliaires M».

Les dessins peuvent être établis en Système de Dimensionnement absolue ou incrémentale (relative). Dans de nombreux cas, le type de cotation utilisée est mixte, c'est-a-dire absolue et incrémentale.[18]

I.8. Structure de programme G Code :

Un programme G Code se compose de blocs, de mots et d’adresses.

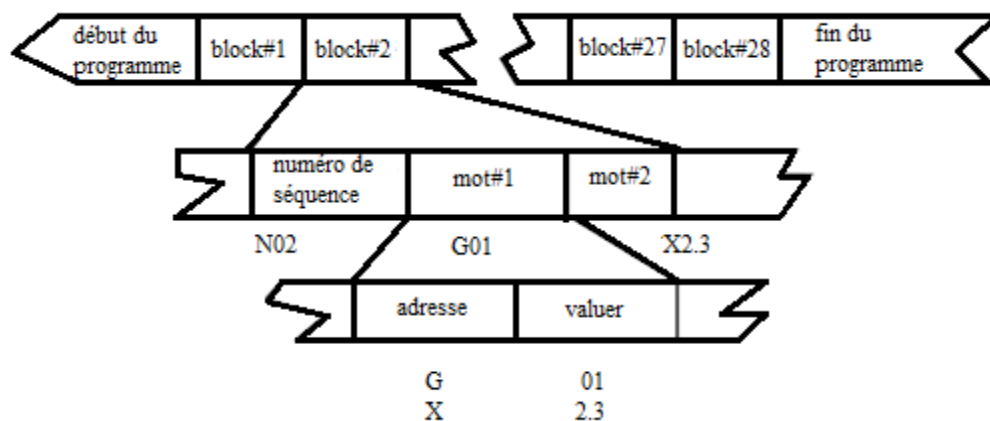


Figure I.14. Structure de programme G Code.

I.8.1. Bloc :

Une commande donnée à l'unité de contrôle est appelée un bloc. Chaque bloc est composé d'une suite de mots.

I.8.2.Mot :

Un mot est un ensemble de caractères alphanumériques comprenant une adresse suivie de chiffre signé. Cela peut-être une fonction ou un déplacement suivant un axe .p.ex. la commande pour un flux taux de 200 mm/min est de F200.[19]

I.8.3.Adresse :

La lettre d'identification au début de chaque mot est appelée adresse La signification de l'adresse est conforme à l'EIE (électronique Industries Association) norme RS-274-D. Les « adresses » les plus courantes sont énumérées ci-dessous[20] :

Adresse	Fonction	Explication
N	Numéro de séquence	Un numéro d'ordre est utilisé pour identifier le bloc. Il est toujours placé au début du bloc et peut être considéré comme le nom du bloc. Le numéro de séquence ne doit pas être consécutif. La séquence d'exécution du la programme est conforme à la séquence réelle du bloc et non le séquence du nombre. En fait, certains systèmes CNC ne nécessitent pas de Numéro de séquence.
G	Fonction préparatoire	Une fonction préparatoire détermine la façon dont l'outil doit passer à la programmation.
M	Fonction auxiliaire	La fonction diverse est programmée pour contrôler le fonctionnement de la machine autrement que pour coordonner le mouvement
X,Y,Z	Coordonner	Un mot coordonné spécifie le point cible

		du mouvement de l'outil (système de dimensionnement absolue) ou la distance à déplacer (dimension incrémentale). mot est composé de l'adresse de l'axe à déplacer et de la valeur et direction du mouvement.
I,J,K	Paramètres pour l'interpolation circulaire	Ces paramètres spécifient la distance mesurée à partir du point de départ de l'arc au centre. Les chiffres suivants I, J et K sont les composantes X, Y et Z distance respectivement.
S	Fonction de la broche	La vitesse de broche est commandée sous une adresse Set est toujours en révolution par minute.
F	Fonction d'alimentation	Le flux ou l'avance est programmé sous une adresse F sauf pour une traversée rapide. L'unité peut être en mm par minute (dans le cas d'une fraiseuse) ou en mm par tour (dans le cas d'une machine de tournage). L'unité du taux 'alimentation doit être définie au début du programme.
T	Fonction outil	La sélection de l'outil est commandée sous une adresse T. un ordre a la machine pour le changement de l'outil.

Tableau I.1.tableau des Adresses

I.9. Exemple d'un programme code G :

Pour l'isolation de la couche de cuivre sur une plaque d'époxy avec une fraiseuse à commande numérique. On doit faire un routage avec un outil de gravure de diamètre 0.2 mm à fin de réaliser un circuit électrique du dessin de définition.

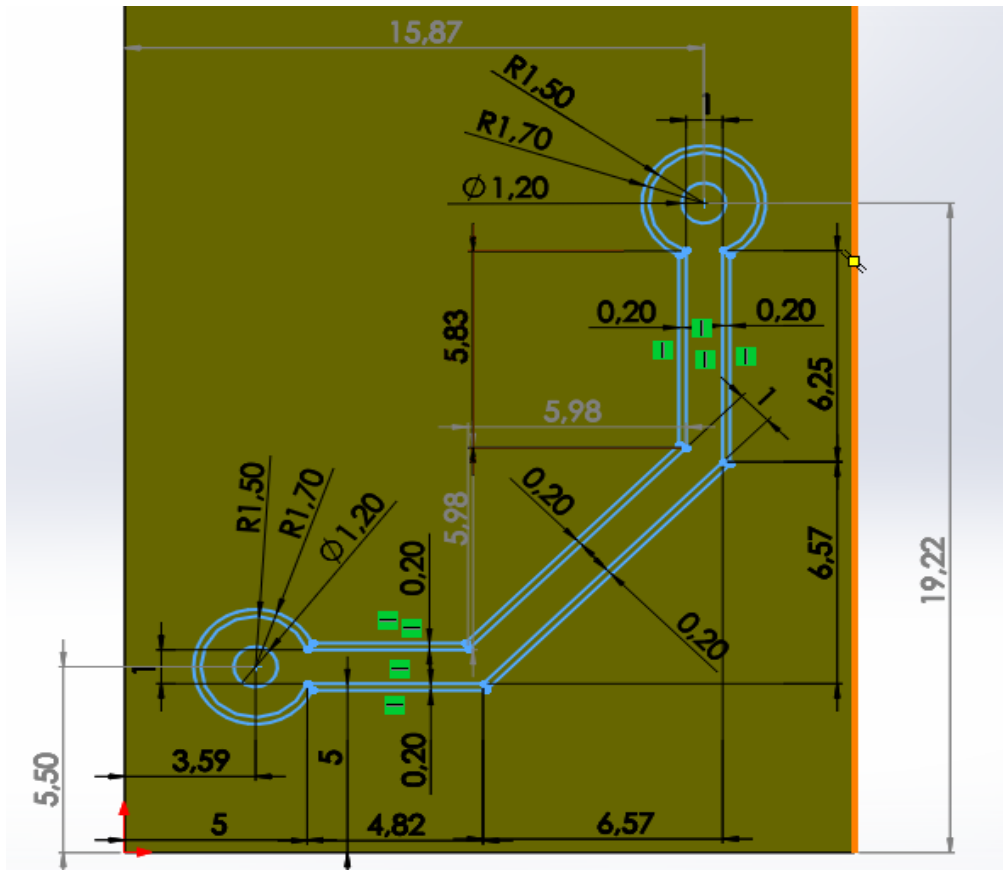


Figure I.15. Dessin de définition d'une pad des circuits électriques.

BLOCK	EXPLICATION
N01 %0001	Numéro de programme principal
N02 S63000	Détermination de la vitesse de rotation de la broche
N03 F500	Détermination de la vitesse d'avance
N04 M6 T01	Changement de l'outil et montage l'outil numéro 01
N05 M03	Démarrage de rotation de la broche
N06 G90 METRIC	Définition de system de cotation absolu
N07 G00 X5 Y5 Z5	Positionnement rapide
N08 G01 Z-0.2	interpolation linéaire (avance linéaire selon l'axe Z)
N09 G01 X9.82	interpolation linéaire (avance linéaire selon l'axe X)
N10 G01 X16.39 Y11.57	interpolation linéaire (avance linéaire selon les axes X et Y (plan XY))
N11 G01 Y17.82	
N12 G03 X15.39 R1.5	
N13 G01 Y11.99	
N14 G01 X9.41 Y6.01	
N15 G01 X5 Y6	
N16 G03 X5 Y5 R1.5	
N17 G00 Z5	Positionnement rapide
N18 M06 T02	Changement de l'outil et montage l'outil numéro 02
	Positionnement rapide
N19 G00 X3.59 Y5.5	interpolation linéaire (avance linéaire selon l'axe Z)
N20 G01 Z-1.5	
N21 G00 Z5	Positionnement rapide
N22 G00 X15.87 Y19.22	
N23 G01 Z-1.5	
N24 G00 Z5	
N25 G00 X0 Y0	
N26 M05	Arrêt de la broche
N27 M02	Fin de program

Tableau I.2.Exemple d'un programme G code.

CHAPITRE II :

METHODES DE

FABRICATION DU PCB

II.1. Introduction :

Les circuits imprimés sont l'une des découvertes les plus exploitées dans le domaine de l'électronique. Ils font partie intégrante de tous les gadgets électroniques utilisés aujourd'hui dans tous les circuits, des circuits de base (jouets, lecteurs de musique, etc.) aux circuits haut de gamme (super ordinateurs).

Le circuit imprimé (PCB) est le composant central de presque tous les appareils électroniques utilisés à des fins domestiques et à des fins industrielles ou de recherche [21]. Le circuit imprimé relie les composants électroniques ou électriques à l'aide de rails conducteurs et offre un support mécanique aux composants électroniques. Il réduit le bruit électronique, minimise les dimensions des appareils électroniques et réduit les possibilités d'erreurs et les risques de court-circuit.[22].

Le PCB peut être fabriqué par sérigraphie (manuellement) et CNC (Computer Numerical Control) -fraisage. Dans la méthode conventionnelle (sérigraphie), nous avons besoin de plus de temps et d'énergie pour la conception, l'impression, la gravure plus loin que le forage, tandis que le système CNC réduit l'impression, la gravure de même que rend le forage automatisé. Pour cette raison, le système CNC peut jouer un rôle important pour réduire le temps et les efforts. [23]

II.2. Définition d'un circuit électrique (PCB) :

Il s'agit d'un support (généralement semi rigide mais parfois souple) constitué d'un matériau isolant (époxy, bakélite, FR4) permettant de réaliser l'interconnexion électrique entre des composants électroniques. Ces interconnexions sont matérialisées par des pistes de cuivre déposées sur les surfaces externes de la plaque isolante (dans le cas de circuits standard double face) ou même sur les faces internes et externes du support isolant. On parle alors de circuits multicouches, sorte de millefeuille de couches conductrices et isolantes.

Les pistes relient électriquement différentes zones du circuit imprimé. Les pastilles, une fois perforées, établissent une liaison électrique, soit entre les composants soudés à travers le circuit imprimé, soit entre les différentes couches de cuivre. Dans certains cas, des pastilles non perforées servent à souder des composants montés en surface.[24]

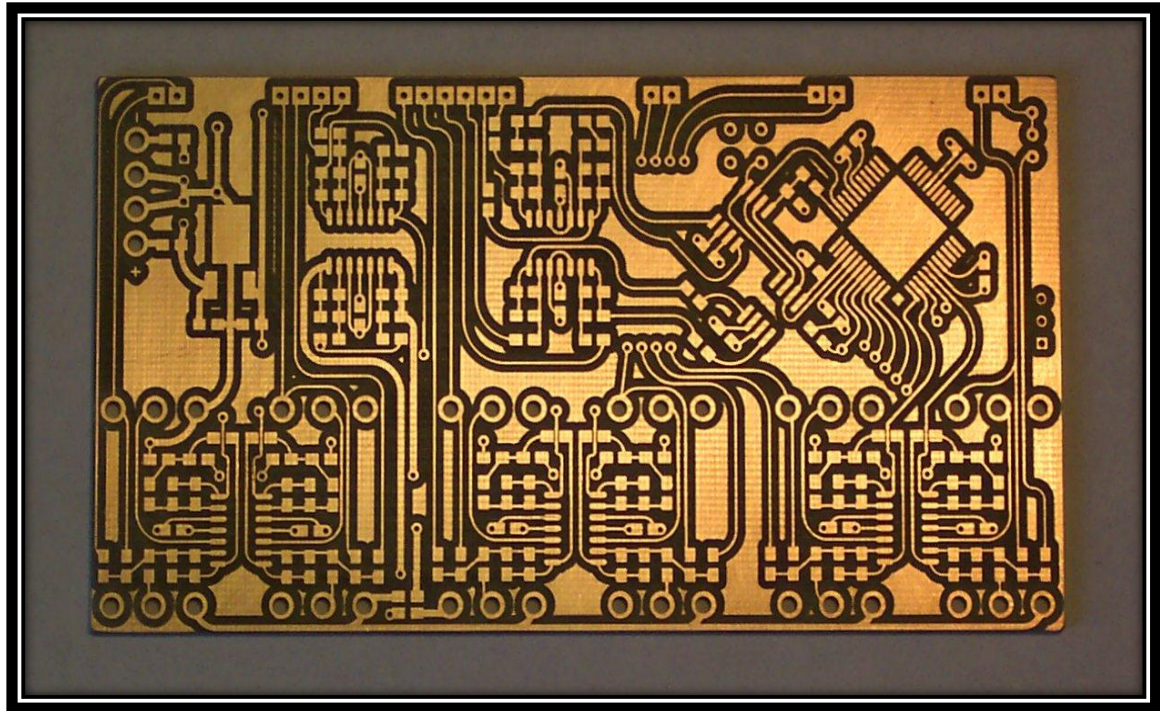


Figure II.1. Un circuit électrique PCB.

II.3. Types des circuits électriques standards :

Classiquement, on retrouve 4 grands types standards de circuits imprimés industriels.

II.3.1. Les circuits électrique simple face :

Ce type de circuit est le plus simple et le plus utilisé, avec une seule couche conductrice (en cuivre) supportée par une couche isolante (en époxy). Les trous dans ce cas permettent l'insertion des composants électroniques. Ce type ne permet pas de réaliser des assemblages de composants de haute densité (à cause de la seule couche de cuivre disponible pour relier les composants entre eux et ne permet pas de croiser les pistes de cuivre de potentiel différent) et le support isolant utilisé (généralement de la bakélite), peu résistant aux contraintes mécaniques, limite ce type de circuits à des applications grand public (électroménager, hi-fi, TV ...).[25]

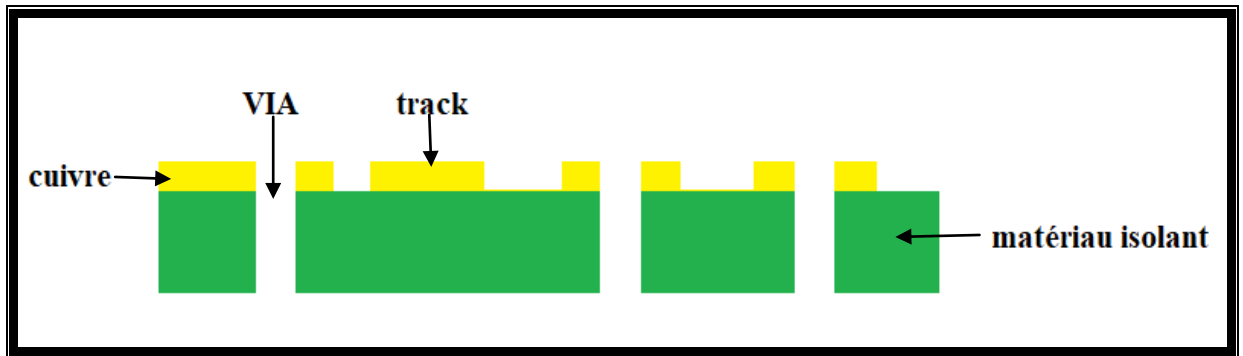


Figure II .2. Un circuit électrique a simple face.

II.3.2. Les circuits électrique double face :

Cette fois, le support isolant est pris entre deux couches de cuivre (côté composant en haut et côté soudure en bas). Cette disposition autorise les pistes de potentiel différent, à se croiser sur les faces opposées ce qui permet d'augmenter la densité de composants sur la carte ou même de disposer des composants sur les deux faces du circuit.[26]

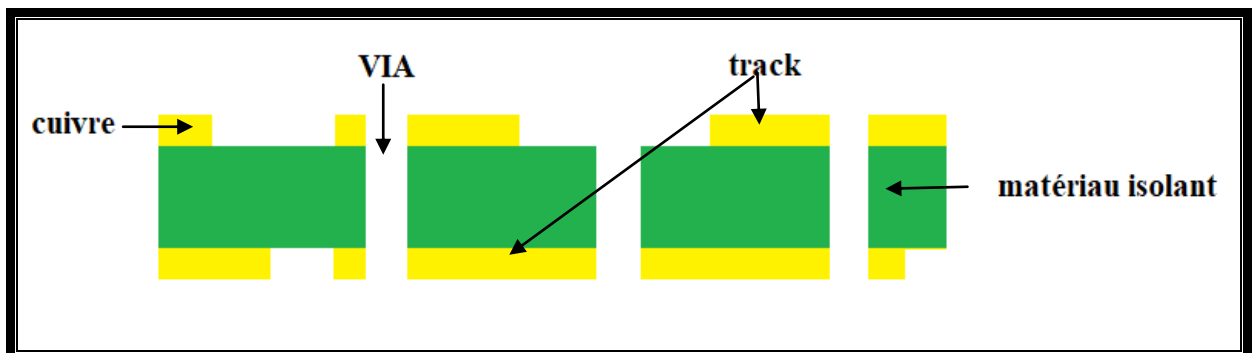


Figure II .3. Un circuit électrique double face.

II.3.3. Les circuits électriques multicouches :

Cette fois, on réalise un empilage de couches électriques séparées par un isolant très fin. On réalise classiquement jusqu'à 16 couches électriques (parfois 22 dans certaines applications spéciales), Ce type de CI comporte au moins trois couches conductrices, séparées par des couches isolantes toutes parfaitement superposées entre elles et communiquant par des vias ou des trous métallisés. On distingue deux couches conductrices ; les couches conductrices externes et les couches conductrices internes.[27]

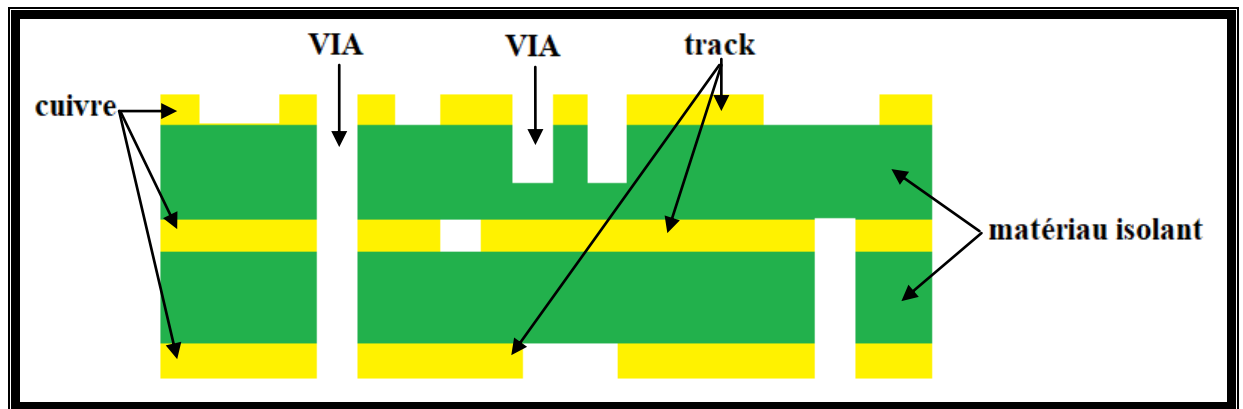


Figure II .4. Un circuit électrique multicouche.

II.3.4. Les circuits électriques imprimés souples :

Pour des applications spéciales de très haute densité d'intégration (ex baladeurs, informatique portable, téléphonie sans fil...), certains fabricants proposent des supports de connexion souples pouvant s'adapter aux formes du boîtier des appareils.

Parmi les avantages de ces produits novateurs on remarquera :

- Réduction des coûts d'environ 30%
- Réduction du poids d'environ 30%
- Gain d'espace d'environ 60%
- Technique beaucoup plus fiable que le câblage traditionnel
- Elimination d'erreurs dans le câblage
- Reproductibilité électrique et mécanique
- Elimination d'une partie de la connectique.

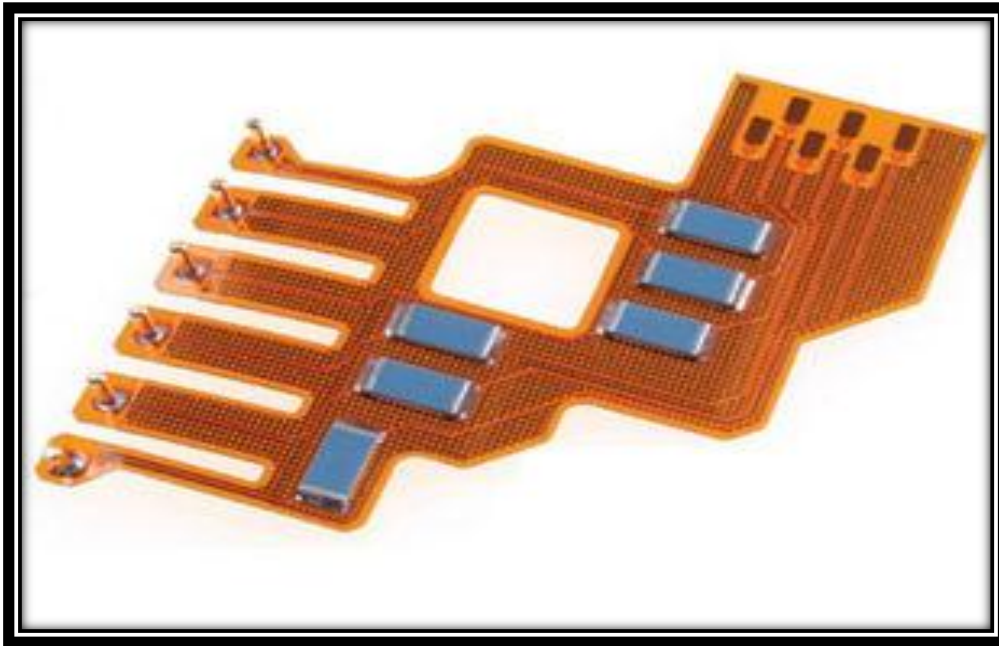


Figure II.5. Un circuit électrique imprimé souple.

II.4. Les VIAS :

La communication entre les deux couches électriques externes se fait au moyen de VIAS, sortes de rivets métalliques percés au travers du circuit imprimé et permettant de propager une équipotentielle d'une couche à l'opposé. Ces vias peuvent aussi recevoir une patte de composant et assurer en même temps une fonction mécanique.

Les trous d'insertion permettant de maintenir les composants dans le circuit,

- **Les VIAs raversants** : permettant d'établir une connexion électrique entre l'ensemble des couches conductrices.
- **Les VIAs borgnes** : pour établir une liaison électrique entre une couche conductrice externe et une couche conductrice interne proche.
- **Les VIAs enterrés** : établissant une liaison électrique entre deux couches conductrices internes.[28]

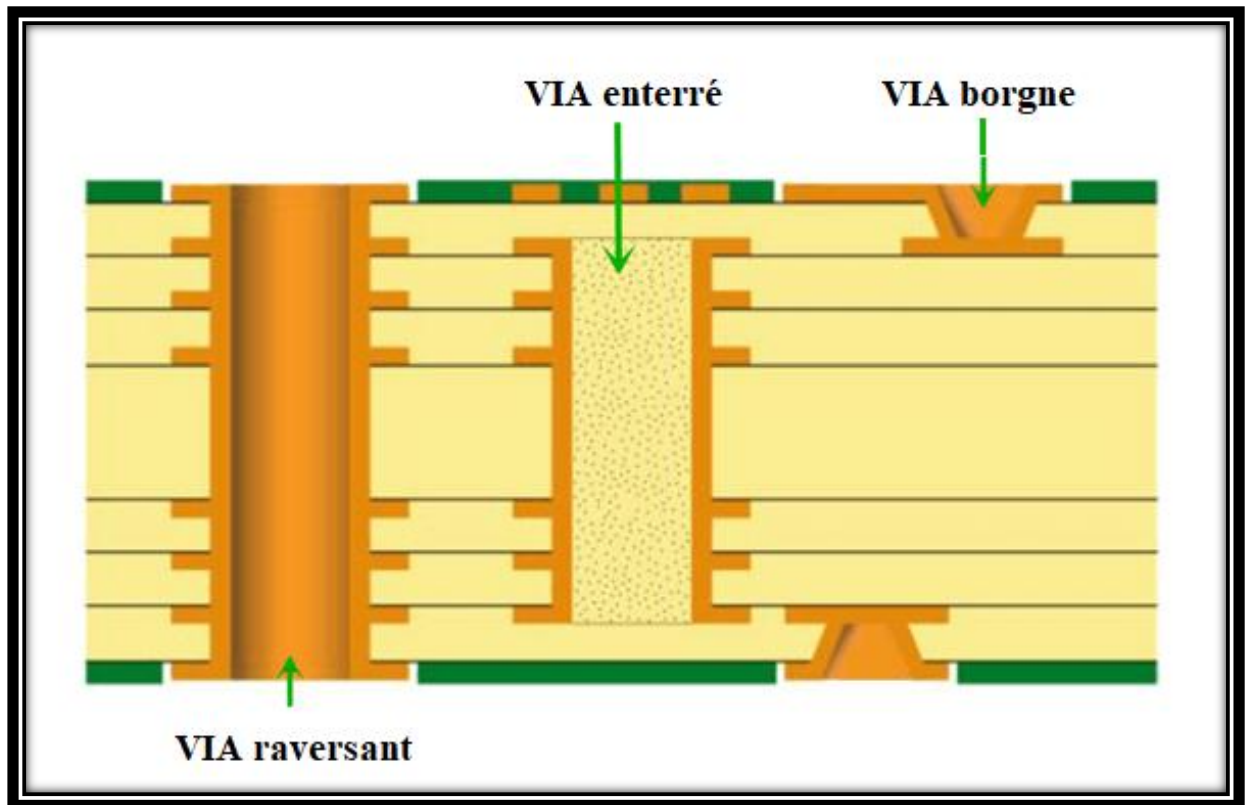


Figure II .6. Les différents types des VIAs.

II.5. Technologie des constituants d'une carte imprimée :

II.5.1. Couches électriques :

Une couche de cuivre à une épaisseur standard est de $35\mu\text{m}$ /couche. Sur lequel on peut tracer des traces et des pistes forment le circuit électrique qui sont les conducteurs électriques.

II.5.2. Couches isolantes :

Ces couches permettent de rigidifier la carte tout en isolant les couches électriques entre elles.

Généralement en époxy (standard industriel FR4) elles ont une épaisseur de 16/10 de mm mais certaines options permettent d'aller à 20/10mm ou même à 24/10mm pour des applications où sont implantés des composants très lourds.

II.6. Méthodes de fabrication des circuits imprimés :

II.6.1. La gravure chimique (Méthode Artisanale) :

La méthode de gravure est globalement destructrice car on procède à chaque fois par élimination de couches. Il faut disposer en premier lieu d'un document papier (un typon) semi transparent (réalisé sur un calque de polyester) représentant le trajet des pistes de cuivre à graver sur la plaque de circuit. Enfin, il faut une plaque de circuit simple ou double face (entièrement cuivrée) recouverte d'une résine photosensible aux UV.

Pour « transférer » le tracé du typon sur la plaque du circuit imprimé, on utilise des plaques de cuivre photosensibles. Les plaques photosensibles sont recouvertes d'une couche protectrice photosensible dure et très adhérente, de couleur bleu-violet et d'une épaisseur de 2,5 microns. Cette couche protectrice protégera le cuivre lors de la gravure. La couche protectrice est photosensible, ce qui signifie qu'elle est détruite au contact des rayons ultra-violets.

Pour protéger le cuivre seulement aux endroits contenant des pistes, on va exposer la plaque photosensible aux rayons ultraviolets, après l'avoir recouverte avec le typon : ainsi, la couche protectrice photosensible sera brûlée et éliminée par les rayons ultra-violets à l'extérieur des pistes (là où le typon est transparent) et demeurera intacte sur les pistes (là où le typon est opaques).

Préparation : Nous avons désigné le schéma de circuit et après on va découper à l'aide de ciseaux, la carte pour les dimensions du circuit imprimé. On doit imprimer le schéma sur plaque de cuivre. Nous avons Il faut retirer l'adhésif opaque qui protège la couche photosensible des rayons ultra-violets de la lumière ambiante. Une fois l'adhésif retiré, placez la plaque pré sensibilisée dans l'insoleuse, avec le typon côté cuivre.[29]

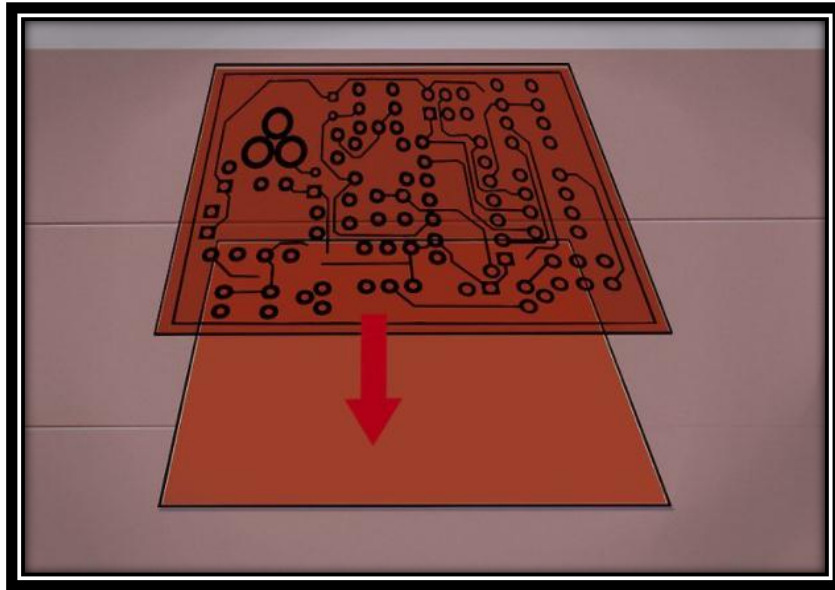


Figure II .7. Impression du schéma de PCB sur la plaque FR4 de cuivre.

L'insolation de la plaque : Il s'agit d'intercaler le typon entre une source de lumière UV et la plaque de cuivre recouverte d'une couche de résine photo sensible. Partout où le typon n'est pas imprimé, la lumière UV le traverse et vient frapper la résine photosensible de la plaque de CI. Celle-ci se dégrade alors sous l'effet des UV. Vous devez pouvoir observer le tracé des pistes imprimé sur la résine. Cette phase ne dure que 2 à 3 minutes avec une insoleuse professionnelle. Il est important que la face imprimée du typon soit le plus plaquée contre la résine photosensible afin de limiter les effets de diffraction de la lumière (amélioration de la définition des contours des pistes). Elle est donc généralement réalisée sous vide d'air pour assurer un plaquage optimal.



Figure II .8. Élimination de la résine photosensible dégradée par les UV.

La révélation : Il s'agit d'éliminer la résine photosensible dégradée par les UV au moyen d'une solution de révélateur chimique (lessive de soude). Une fois la résine dégradée éliminée, seule la résine épargnée des UV subsiste et protège encore le cuivre contre une attaque chimique.

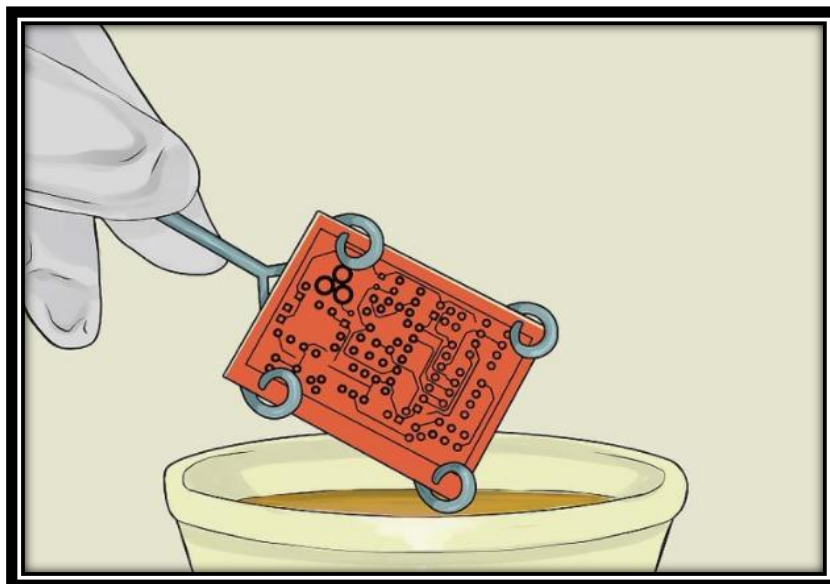


Figure II .9. Destruction du cuivre sous l'influence de l'acide.

La gravure : Il s'agit cette fois de faire agir un acide corrosif (perchlorure de fer) sur les parties de cuivre qui ne sont plus à l'abri de la résine photosensible. Le cuivre non protégé sera alors détruit sous l'effet de l'acide et laissera apparaître le

support isolant du circuit imprimé. Cette opération se fait dans un bain d'acide chauffé à 50° et oxygéné par un mousser pour activer la réaction chimique avec le cuivre de la plaque.

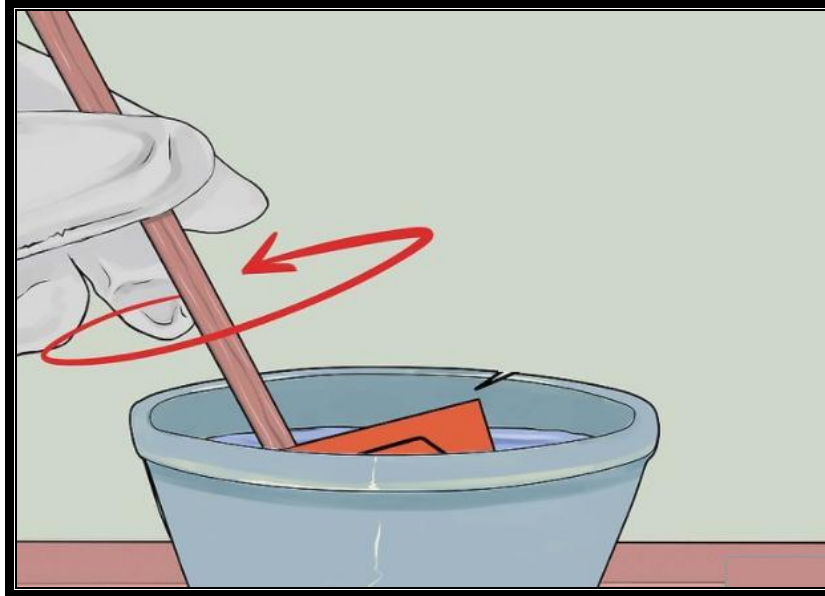


Figure II .10. La gravure du PCB dans un Bain acide chauffé.

Le nettoyage : Après gravure, la plaque doit être nettoyée abondamment à l'eau chaude sous pression pour éliminer les restes d'acides qui pourraient subsister par capillarité dans les coins des pistes (on route souvent avec des angles à 45° pour éviter ces phénomènes). Il faut ensuite éliminer le reste de résine photosensible recouvrant les pistes qui ont résisté à l'acide avec de l'alcool.

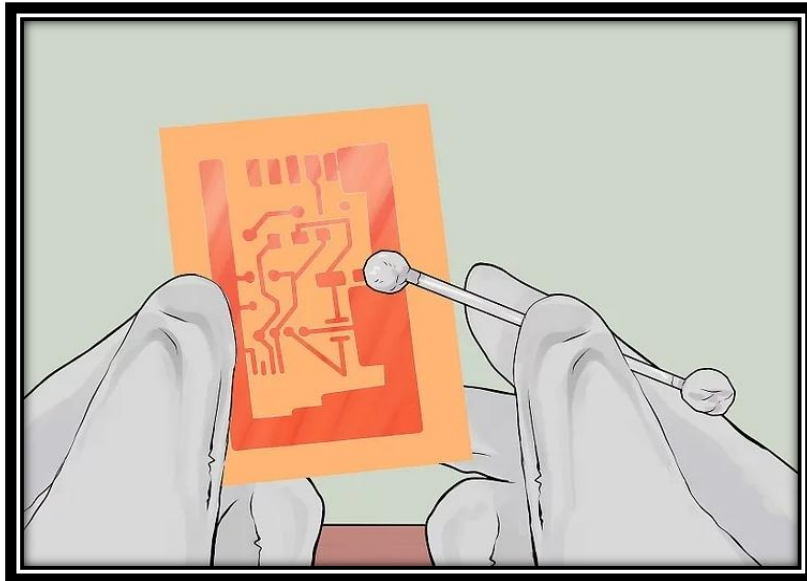


Figure II .11. Nettoyage de la plaque avec de l'eau chaude et de l'alcool.

Perçage : Percez les trous de montage. Les perceuses utilisées sont habituellement des machines conçues spécialement pour ce genre de travail. Cependant, moyennant quelques ajustements, une perceuse habituelle sera suffisante, si vous êtes à la maison.

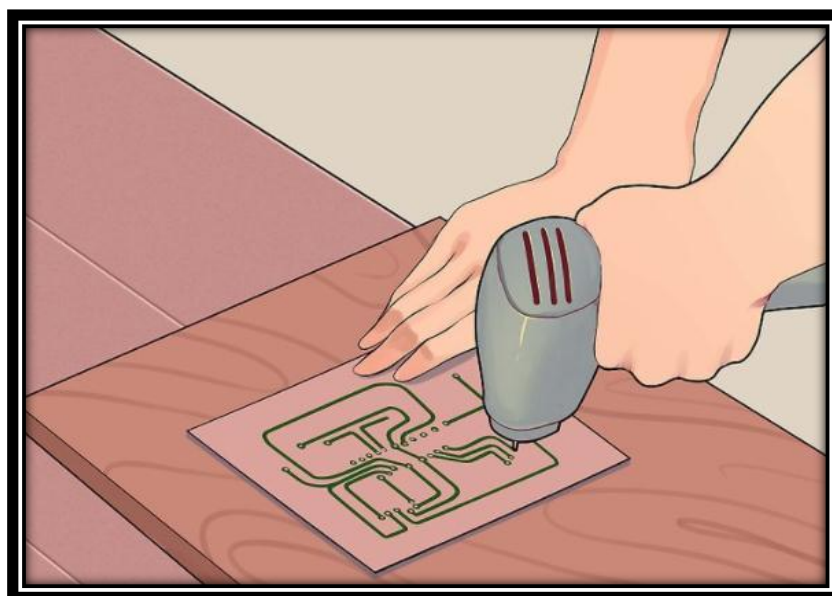


Figure II .12. Perçage des trous de montage.

Traitements optionnels de protection : Vernissage, On doit recouvrir la plaque ainsi gravée, rapidement avec un vernis thermosoudable qui aura un rôle antioxydant et décapant lors de la soudure des composants.

SilkScreen : désignant la sérigraphie, c'est à dire le nom et l'emplacement des composants sur la carte pour faciliter leur mise en place et le repérage en cas de dépannage.

Solder Resist : qui est un vernis protecteur contre l'oxydation et les attaques chimiques couvrant les pistes de cuivre sauf les pastilles servant à la soudure des composants.

Les autres couches plus épaisses sont des couches dites de construction, à savoir de l'isolant électrique.

II.7. La gravure mécanique

Parfois appelée « routage », cette technique nécessite l'emploi de machines spéciales qui enlèvent le cuivre inutile de la carte, l'isolation des paliers électrique ou créent des passages vides entre les connexions. à fin de réalise le circuit.

La fabrication de circuit imprimé simple face utilisant le système CNC. Un schéma de circuit imprimé est conçu via le logiciel Proteus. La disposition des circuits imprimés est convertie en fichiers Gerber pour le routage, le perçage et le fraisage d'isolement. Les fichiers Gerber sont ensuite introduits dans le logiciel IsoCAM qui convertit Gerber en code G. Le code G est interfacé avec le contrôleur CNC [30]. Ce code G- est transféré au moteur pas à pas et la machine CNC est chargée d'effectuer le routage, le perçage et le fraisage d'isolement. Toutes les étapes de travail sont présentées en un coup d'œil à la Figure II .13.

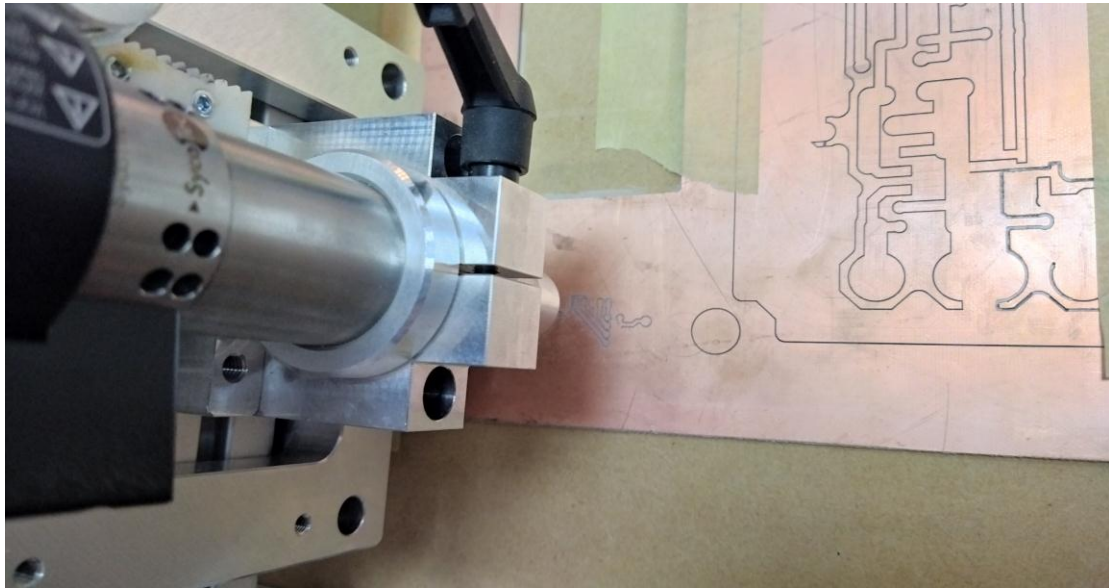


Figure II .13. La gravure mécanique.

II.8. La gravure laser :

C'est un procédé de fabrication qui consiste à graver la matière grâce à une grande quantité d'énergie générée par un laser et concentrée sur une très faible surface.

Ce procédé permet de créer des images de circuit sur la plaque FR4. Le laser émet une chaleur assez élevée pour pulvériser le cuivre, formant ainsi des cavités qui formeront l'image finale. C'est une méthode rapide, la matière étant enlevée à chaque impulsion du laser. La profondeur des marques et l'épaisseur du trait sont gérées par le nombre de passage du faisceau sur le matériau.



Figure II .14. La gravure laser.

CHAPITRE III :
REALISATION DU PCB
AVEC MOCN

III.1. Introduction :

Ce chapitre présente une autre façon de fabriquer une carte de circuit imprimé (PCB) à l'aide d'un robot de fraisage à commande numérique par ordinateur (CNC). Les cartes de circuits imprimés (PCB) sont l'un des modules de contrôle les plus utilisés dans les industries électriques et électroniques. Dans ce document de recherche, nous proposons une fraiseuse contrôlée par ordinateur qui peut être utilisée pour la fabrication rapide de circuits imprimés à double couche appelés MCB où un utilisateur souhaite tester le circuit sans avoir besoin d'attendre la fabrication de circuits imprimés conventionnels. L'effecteur final de la fraiseuse CNC a la possibilité de se déplacer sur 3 axes x, y et z en fonction de l'entrée reçue du contrôleur.

Proteus est un logiciel de conception assistée par ordinateur utilisé pour créer le schéma de principe des circuits imprimés fraisés. Le dessin à graver sur le panneau plaqué de cuivre est téléchargé dans un logiciel appelé IsoCam, une fabrication assistée par ordinateur, où il peut être converti en fichiers G-code après avoir effectué les modifications nécessaires. Ces fichiers de code G sont ensuite téléchargés sur la machine CNC à l'aide du logiciel Universel G-code Sender RoutePro3000, permettant ainsi au microcontrôleur de diriger la rotation des moteurs et de coordonner les mouvements de l'effecteur final afin de graver la conception de la carte sur un gaine de cuivre. . Le contrôleur fait fonctionner la machine CNC pour effectuer le routage d'isolement, le perçage et le fraisage pour les PCB conformément à la conception indiquée. Il est à noter que le système CNC associé à Proteus rend le processus de conception de PCB automatisé et plus facile en réduisant le processus d'impression ainsi que la gravure.

Cette étude révèle que le système proposé peut éliminer l'erreur humaine pour obtenir une meilleure précision et une productivité plus élevée par rapport aux méthodes conventionnelles de conception de PCB.

III.2. Fraiseuse CNC Bungard CCD :

La machine CNC à trois axes Bungard CCD est une perceuse-fraiseuse commandée par ordinateur de haute qualité pour circuits imprimés avec changement d'outil semi-automatique ou automatique. Il permet le traitement direct des données de perçage Excellon, Gerber, PLT, NC ou HP/GL pour la production de PCB (perçage, fraisage, routage d'isolement).

La machine CNC comprend un ordinateur, un contrôleur CNC et une machine CNC. L'ensemble du système est basé sur la programmation dans le code G et le programme est stocké dans la mémoire de l'ordinateur. Après cela, ce code est téléchargé sur le contrôleur et le contrôleur fait fonctionner la machine. La figure III.1 montre une vue d'ensemble du système CNC. Les différentes parties du système CNC ont été décrites ci-dessous.[31]

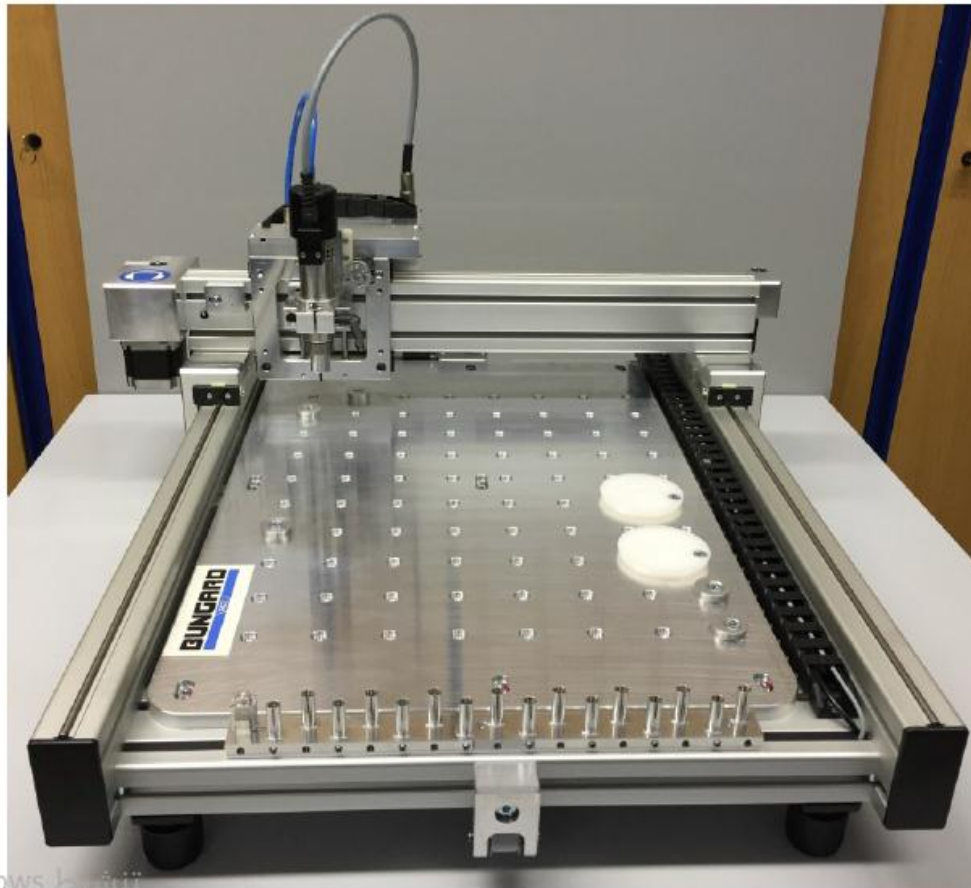


Figure III.1. Fraiseuse CNC bungard CCD.

III.2.1. Propriétés mécaniques de la machine

- construction rigide et plate avec de faibles poids mobiles et des roulements de haute qualité pour un positionnement à grande vitesse
- Banc de machine avec système de fixation universel, adapté pour la fixation par pince ou travée ou pour les broches de référence (fiducials).
- Table en aluminium de précision, fraisée des deux côtés, pour une tolérance de hauteur approximativement nulle.
- Fixation des circuits imprimés avec des broches de référence/fixation sans frais supplémentaires en utilisant nos plaques de support standard. En option,

une table à vide peut être montée sous la table de base pour permettre la fixation sous vide du PCB

- Vous pouvez fixer le PCB à la position zéro de la machine. Dispositifs de fixation de travée inclus, fixation par pince pour fraisage intensif possible.
- Un limiteur de profondeur intégré pour le fraisage d'isolement et la gravure sur des surfaces inégales fait partie de la livraison, le niveau de travail est réglé grossièrement par le moteur pas à pas en Z et le réglage fin est effectué avec la vis micrométrique du limiteur de profondeur
- Pied de pression amovible à ressort pour le perçage de circuits imprimés flexibles et irréguliers
- Le traitement par pile de plusieurs panneaux à la fois est possible (pile typique : trois panneaux de 1,6 mm d'épaisseur plus une sous-couche/feuille de base)
- Profondeur de travail non limitée par le capteur de profondeur, uniquement par la longueur de goujure de l'outil (standard : 5..10 mm)
- Contrôleur indépendant pour connecter le CCD à n'importe quel PC standard via USB ou port série. [31]

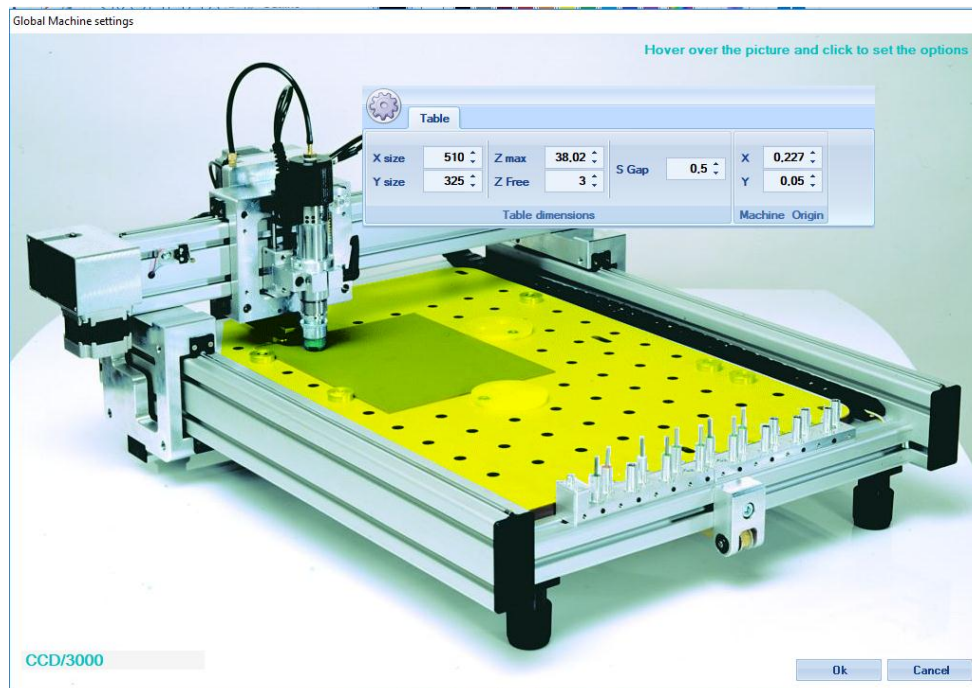


Figure III.2. La table de la machine CNC.

III.2.2. La broche de la machine :

- Moteur de broche de haute précision KaVo, 150 watts, 63 000 tr/min, avec roulements robustes et longue durée, y compris un mandrin de 1/8" (3,2 mm).
- Vitesse de broche contrôlée par logiciel. Contrôle électronique de la charge de la broche avec retour logiciel. Démarrage rapide et arrêt rapide de la broche.
- Vitesse de perçage : 5 coups/s (=18 000 trous par heure).
- Mandrin pneumatique pour la facilité de changement d'outil. [31]

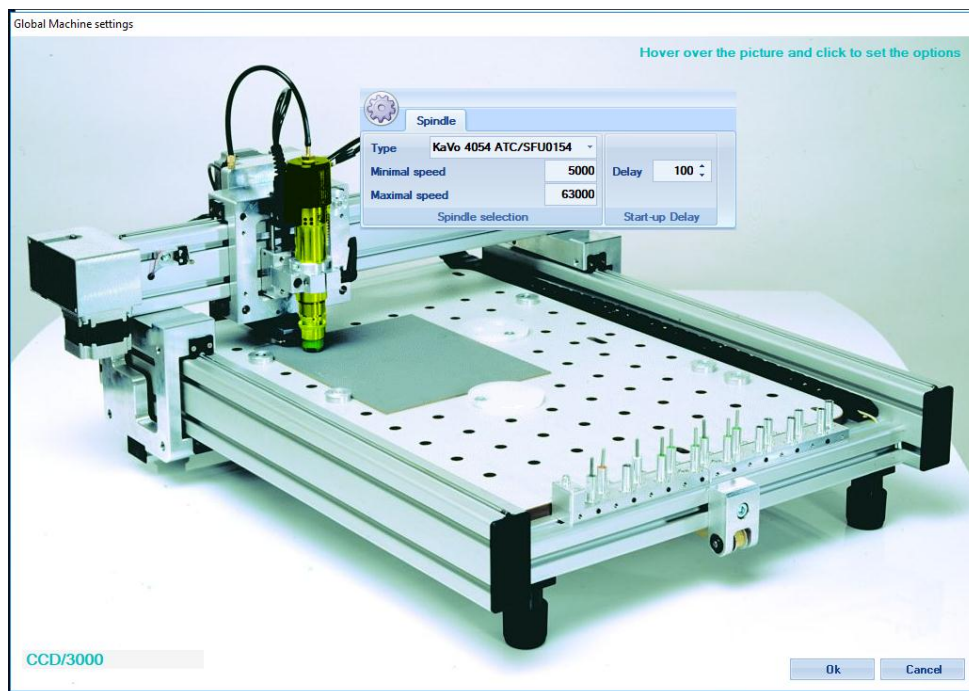


Figure III.3. La broche de la machine CNC.

III.3. Changement de l'outil :

III.3.1. Changement manuel de l'outil MTC :

Changement d'outil rapide et semi-automatique par quart de tour du bouton de fixation. La machine y est verrouillée, aucun recalibrage en hauteur n'est nécessaire. Pour ouvrir le mandrin, appuyez sur le bouton en haut de la broche jusqu'à ce qu'il se bloque et tournez-le vers la gauche. Répétez cette opération jusqu'à ce que vous puissiez retirer l'outil du mandrin. Pour un meilleur accès, vous pouvez soulever la broche, mais il n'est pas recommandé de la retirer complètement du support. Le changement d'outil pendant l'exécution du programme s'effectue avec des moteurs sous tension. La position actuelle des axes est ainsi verrouillée.[31]

III.3.2. Changement automatique de l'outil ATC :

16 outils sur 99 simultanément par Job, A l'avant de la machine se trouve une barre avec 16 emplacements d'outils, numérotés de 0 à 15 (XL : 26 pots). Le numéro 0 prend toujours la goupille de test, les toupies et les perceuses sont situées dans les fentes rondes en aluminium restantes. Chaque outil peut être déplacé de haut en bas dans la fente et est poussé vers le haut par un ressort. La position des fentes est stockée dans le logiciel via des entrées dans le menu de configuration. Le capteur de rupture de foret est situé à gauche de l'emplacement d'outil 0. Le logiciel d'exploitation vérifie chaque foret pour la casse après utilisation. Ce capteur est également utilisé pour détecter trop longtemps.[31]

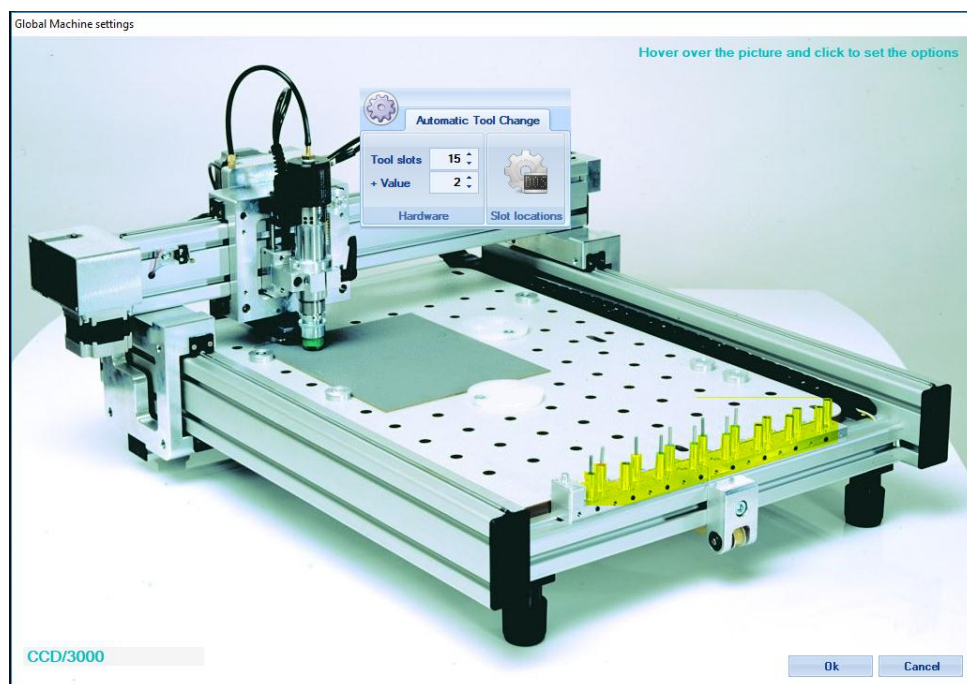


Figure III.4.Emplacement d'outil dans la machine CNC.

III.4. Logiciel RoutePro3000 de la Machine CNC :

Plusieurs logiciels sont disponibles dans les marchés, notamment les logiciels de DAO et CAO a savoir : CATIA, Solidworks, Mastercam, Matlab, Ansys, Abaqus ... etc [33-36], le logiciel RoutePro3000 est le point de connexion entre l'opérateur et la machine. Il transfère les instructions prédéfinies du code G de la disposition du PCB dans les moteurs pas à pas de la machine CNC pour se déplacer selon les trois axes afin de réaliser des opérations précises telles que le perçage, le fraisage et le routage.

- Le logiciel RoutePro3000 est un logiciel de contrôle Windows entièrement intégré pour le contrôle de la machine en ligne en temps réel, avec une interface utilisateur pratique, y compris la gestion complète des outils et les contrôles de plausibilité
- Résolution : 0,0001 mm (0,1 m)
- Utilisation de normes de format ouvert telles que les données de forage Excellon ou Sieb & Meyer et les données HP/GL pour le fraisage. Ceux-ci peuvent être ouverts et modifiés avec un simple éditeur de texte
- Vous pouvez régler individuellement la vitesse de position pour les axes X, Y et Z ainsi que la vitesse de travail (avance),
- vitesse de broche (RPM) et profondeur pour chaque outil. Cela se traduit par :
- utilisation continue de la vitesse de coupe appropriée sur toute la plage de RPM, pas besoin de broches de 100 000 RPM, pas d'usure excessive des roulements coûteux
- Tous les paramètres de la machine (vitesse, rampes d'accélération, dimensions / échelle X / Y / Z, détection de rupture d'outil) peuvent être réglés individuellement dans le logiciel RoutePro
- Fonction d'apprentissage simple pour les données de forage et d'itinéraire (pour copier une carte existante)
- Plus petit diamètre d'outil : 0,1 mm (zyl. Micro cutter à 63 000 1/min)

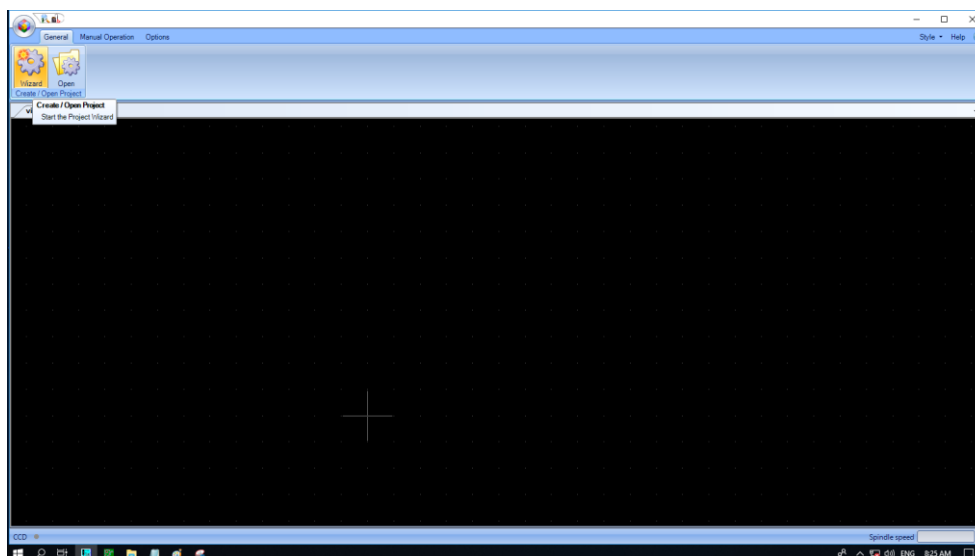
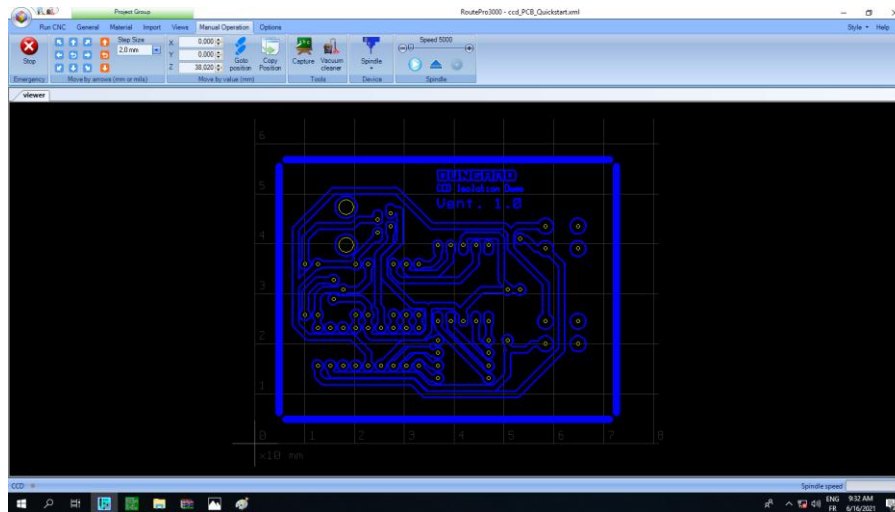


Figure III.5. Écran de démarrage de RoutePro3000.

III.5. Test de prototype de la machine CNC Bungard CCD :

III.5.1. Téléchargement du prototype sur RoutePro3000 :

Pour ce faire, chargez le fichier projet ccd_PCB_quickstart.xml. Ce fichier se trouve sur le lecteur C à l'adresse : C:\Program Files(x86)\RoutePro3000\Projects. Il s'agit d'une planche simple face avec 3 perçages différents, une simple isolation et une découpe-routage.



• **Figure III.6. Projet PCB téléchargé sur RoutePro3000.**

III.5.2. Fixation de la plaque FR4 sur la table de la machine CNC :

Un support de perçage standard doit être fixé à l'aide des pinces fournies sur la table de la machine. Ensuite, la fixation du FR4 qui est la carte de maintien du PCB avec une dimension d'au moins 160 x 100 mm à environ 5 mm du point zéro de la machine. Dans ce projet, le décalage pour X et Y est défini sur 10 mm, il est recommandé d'utiliser d'abord ce paramètre pour créer un nouveau projet. Comparez toujours l'épaisseur de la plaque de support et du PCB avec les valeurs indiquées dans le logiciel.

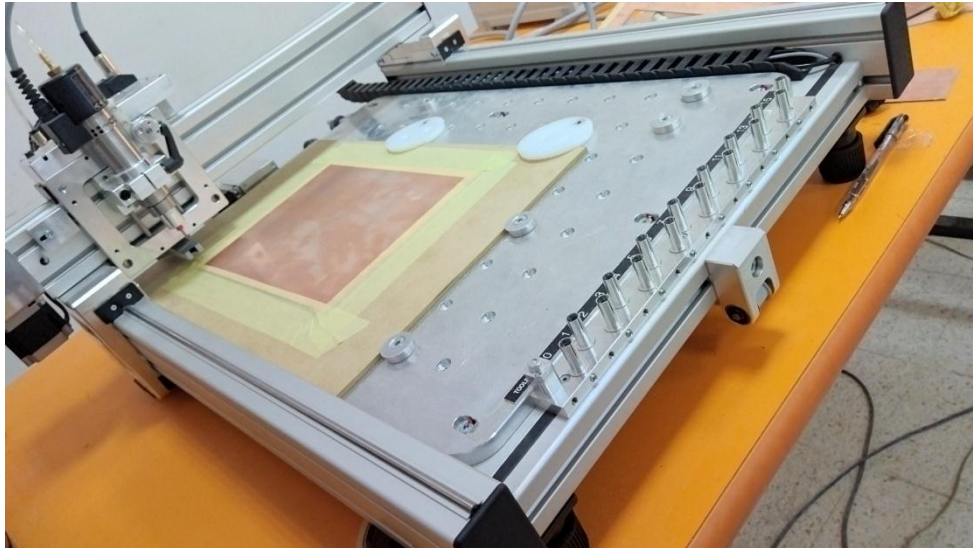


Figure III.7. Fixation de la plaque FR4 sur la table de la machine CNC.

III.5.3. Démarrage du processus de fabrication :

Allez à l'onglet Exécuter CNC. Et cliquez sur Démarrer. La machine effectuera un cycle de référence. Avec une machine ATC, le logiciel demandera l'outil de test dans la broche et si les outils sont correctement positionnés dans la barre ATC. Encore une fois, veillez à ce que le slot 0 soit libre. Avec un MTC, le premier outil est traité, puis la machine monte dans le fin de course Z et vous serez invité à insérer l'outil suivant dans la broche.

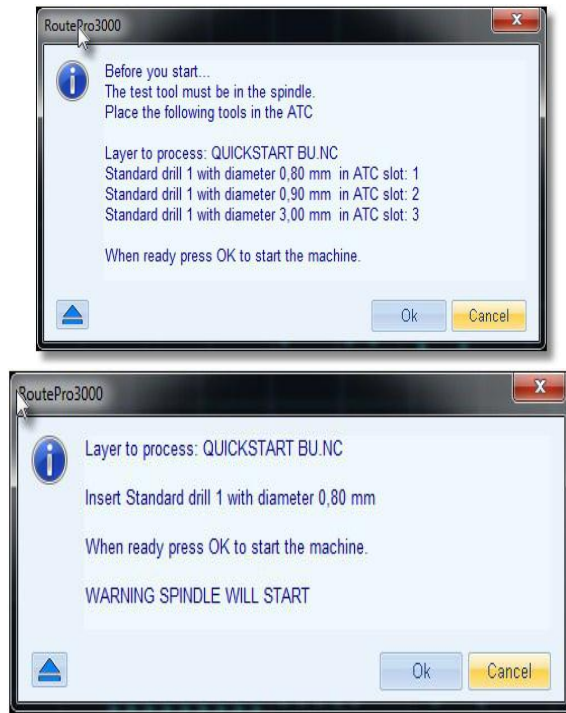


Figure III.8. Fenêtre de dialogue ATC et MTC.

Après avoir cliqué sur ON, le forage commence. Et le logiciel affiche la simulation de forage à l'écran afin que nous puissions observer les étapes du processus et anticiper tout problème avant qu'il ne se produise.

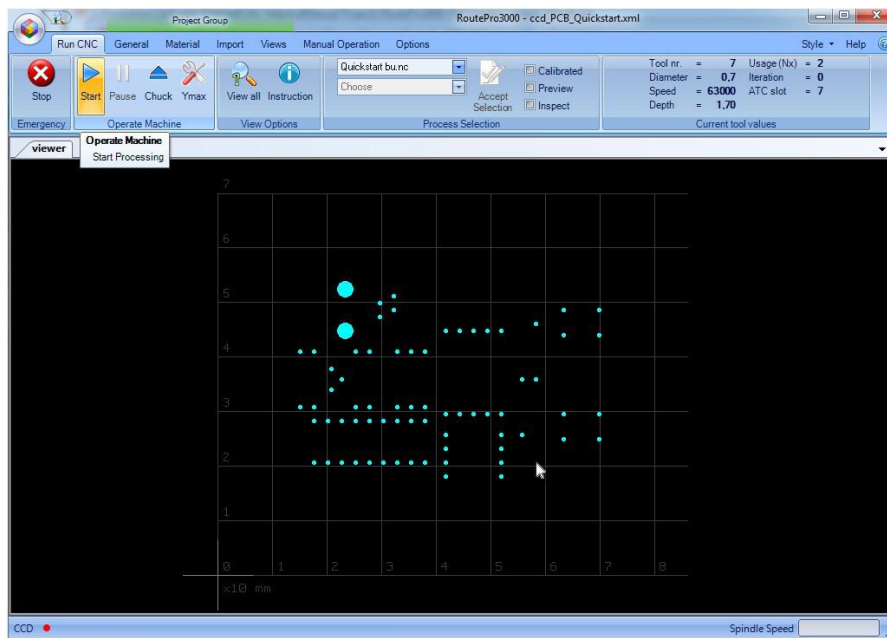


Figure III.9. Simulation du processus de perçage.

Lorsque la couche d'exploration est terminée, passez à la couche de routage à partir de la fenêtre de sélection de processus.

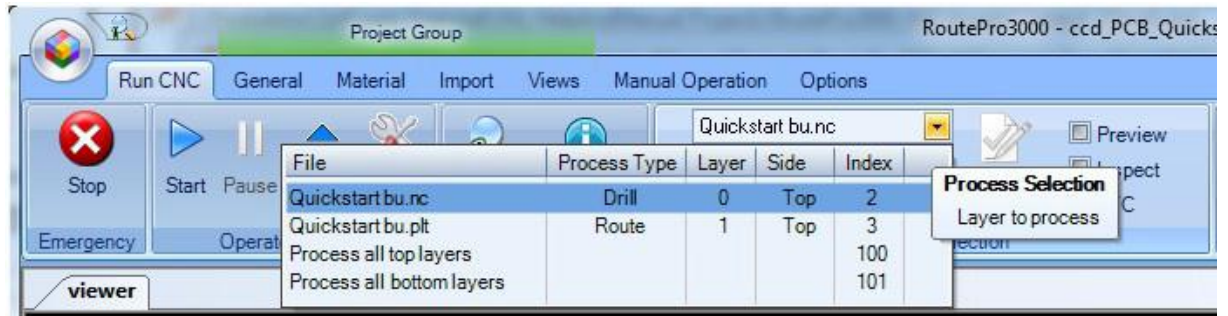


Figure III.10.Fenêtre de sélection de processus.

En cliquant sur Démarrer, la machine effectue à nouveau une course de référence et le traitement est effectué de la même manière qu'avec le perçage.

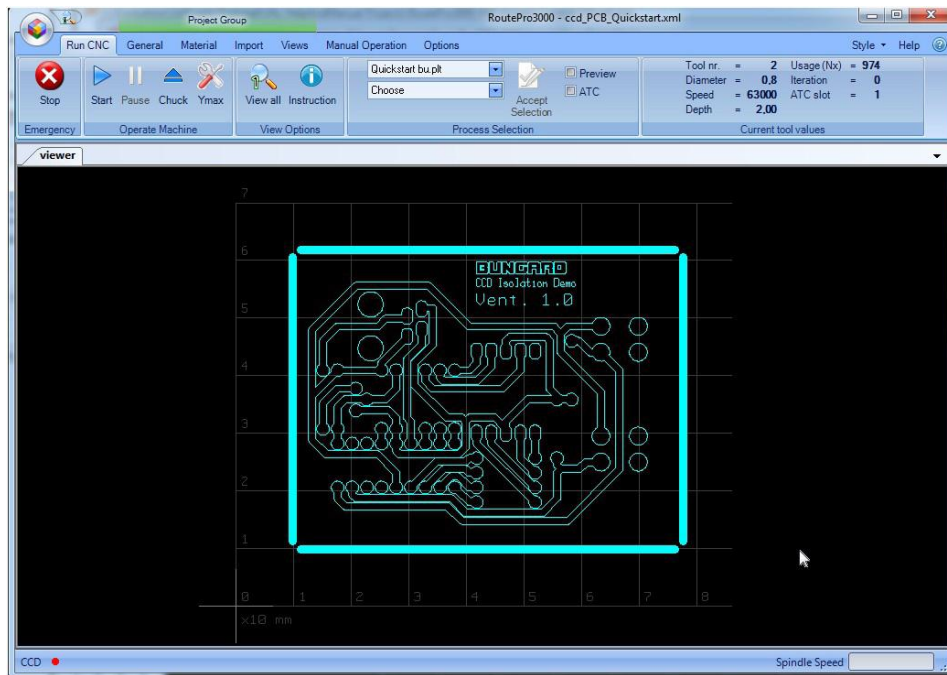


Figure III.11.Simulation du processus de routage.



Figure III.12. La machine CNC pendant le processus de routage.

Il ne faudra pas plus de quelques minutes à la machine pour terminer le processus, puis notre résultat final du PCB devrait ressembler à ceci.

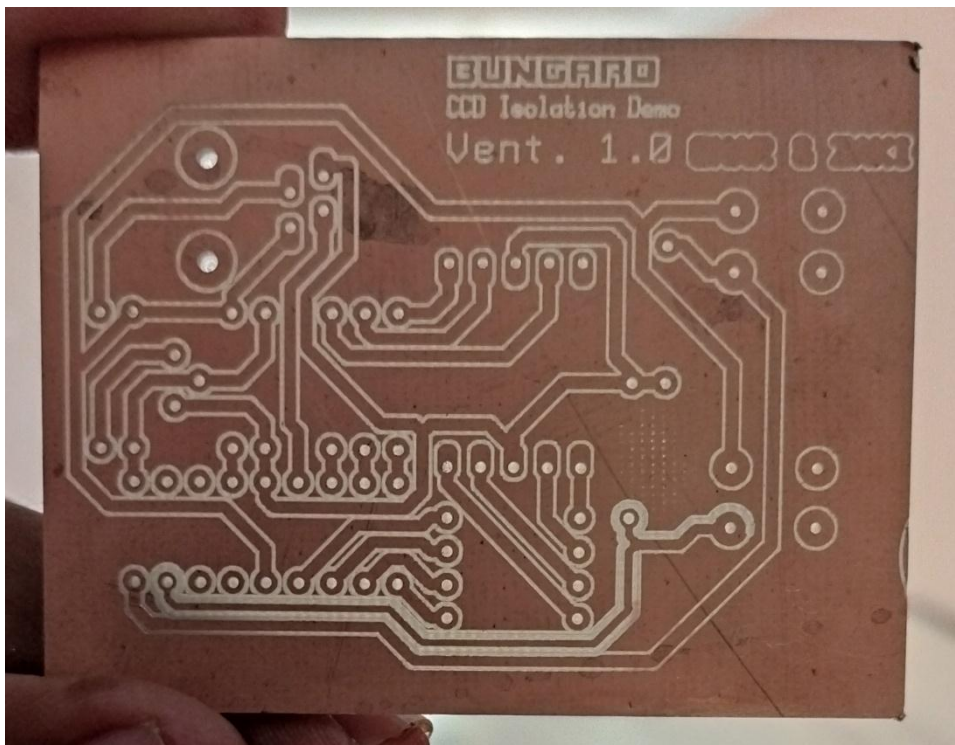


Figure III.13. Le résultat final du prototype Project.

III.6.Méthodologie de fabrication :

Un système de commande numérique par ordinateur (CNC) pour la conception de cartes de circuits imprimés (PCB) à l'aide de Proteus Design Suite a été présenté. Un schéma de principe et une disposition PCB simple face d'un circuit sont conçus à l'aide du logiciel Proteus.

Par la suite, la disposition PCB du circuit est convertie en fichiers Gerber qui sont décodés en code G via le logiciel IsoCAM. Le code G est introduit dans le système CNC composé d'un ordinateur, d'un contrôleur CNC et d'une machine CNC. Le code est stocké dans la mémoire de l'ordinateur et est téléchargé vers le contrôleur CNC par le logiciel RoutePro3000.

Ce code G est transféré au moteur pas à pas et le contrôleur fait fonctionner la machine CNC pour effectuer le routage d'isolement, le perçage et le fraisage pour les PCB conformément à la conception indiquée.

Toutes les étapes de travail sont montrées en un coup d'œil sur la figure

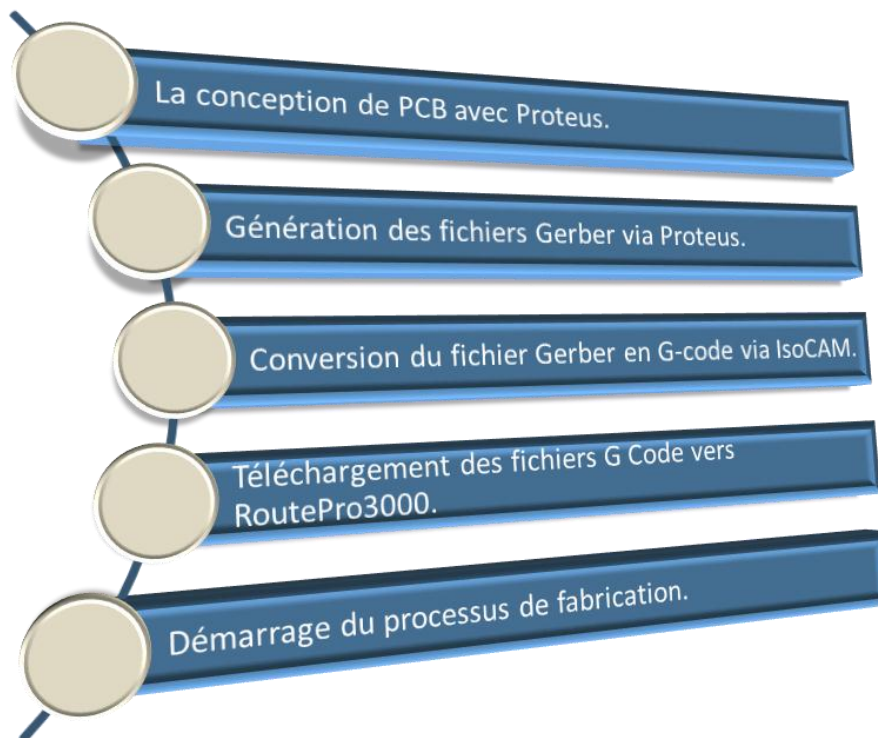


Figure III.14. Les étapes de travail.

Pour créer un PCB à l'aide du système CNC, différentes valeurs pour différents paramètres doivent être définies en cas de routage d'isolement, de perçage et de fraisage.

III.7. La conception de PCB avec Proteus :

III.7.1. Proteus :

Proteus est un logiciel de simulation de circuits et il est applicable pour la simulation de circuits, le dessin de schémas, la conception de circuits imprimés et la visualisation tridimensionnelle du PCB [32]. Nous avons utilisé le logiciel Proteus 8 Professional pour concevoir le PCB et générer le fichier Gerber. Des bibliothèques avec des symboles de composants sont nécessaires pour concevoir un schéma de tout circuit à l'aide du logiciel Proteus.

Avant de concevoir la disposition du PCB, il y a peu de paramètres à spécifier et peu d'autres paramètres à respecter afin qu'il n'y ait aucun problème lors de l'usinage. Les origines, les écarts entre composants, le diamètre des patins et l'épaisseur des pistes sont à définir en fonction de l'espace de travail de l'outil.

- Largeur mini des pistes : 18 mil (0.4572mm)
- Espacement mini entre les pistes : 15 mil (0.381mm)
- Composants passifs CMS : 1206 (pas en dessous)
- Pastilles composants traversant : 40 mil mini (environ)

Le "mil" est une unité de mesure courante dans le domaine du PCB (1 millième = 0,0254 mm).

III.7.2. Conception de la couche PCB :

- Dessinez le schéma de la carte en plaçant les symboles des pièces, en dessinant les réseaux et les bus, en déplaçant et en éditant les composants.
- Créez le tableau.
- Placer les pièces.
- Le placement des composants est une fonction extrêmement importante du concepteur. Les composants doivent être placés en fonction de leurs connexions à d'autres composants, des considérations thermiques, des exigences mécaniques, ainsi que de l'intégrité et de l'acheminement du signal. Les composants qui ont des connexions entre eux doivent être placés dans le même voisinage. Les composants doivent également être placés sur une grille, généralement une grille de 100 mil, afin de fournir un flux de routage symétrique où les pistes et les composants sont alignés.

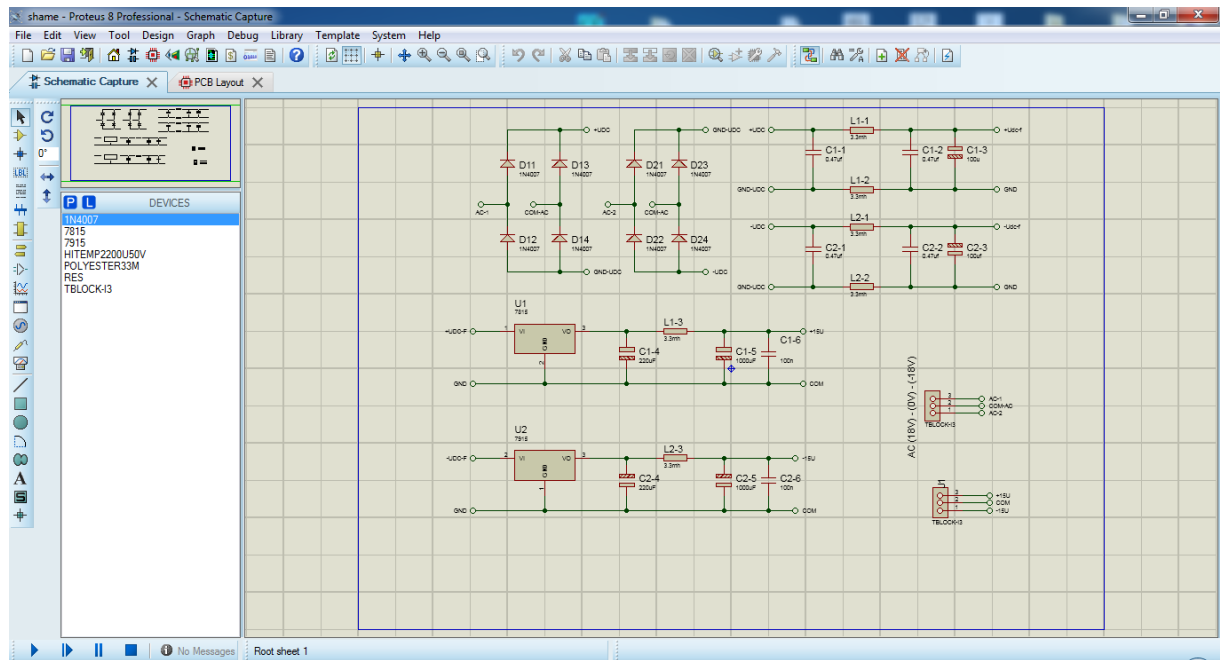


Figure III.15.Schéma électrique du PCB.

- Auto-Routage.
- Les outils de CAO fournissent des fonctionnalités de routeur automatique et d'assistant de carte. La technologie derrière un routeur automatique a sa propre science, s'inspirant de disciplines telles que l'intelligence artificielle, les algorithmes heuristiques et, finalement, tentant de résoudre le problème du voyageur de commerce.
- Vérifiez le Conseil (DRC).
- Le Design Rule Check (DRC) vérifie la carte que vous avez conçue par rapport à un ensemble de règles pour déterminer si vous avez fait des erreurs. Les règles de conception d'une carte peuvent être modifiées via la boîte de dialogue Règles de conception, qui apparaît si la commande DRC est sélectionnée sans terminaison.
- Produire des fichiers de données de données de fabrication (FAO).

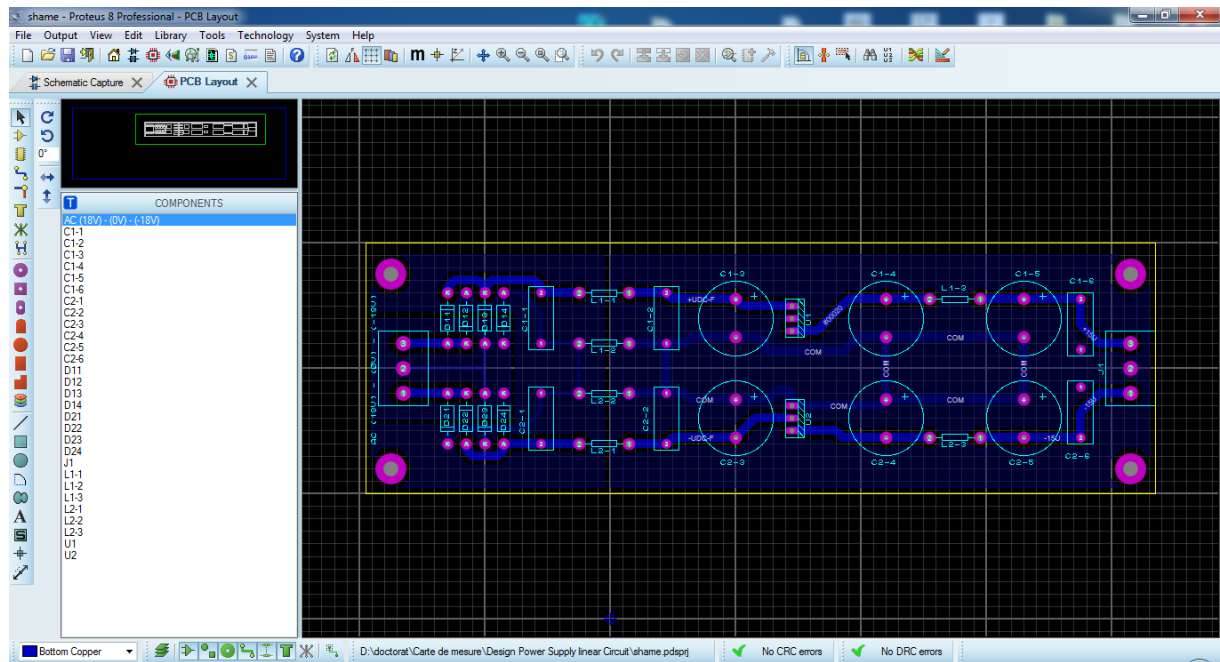


Figure III.16.La couche finale du PCB.

III.7.3. Génération des fichiers Gerber :

Le fichier Gerber, également connu sous le nom de RS-274-D, est le langage de traçage photo standard de l'industrie. Il est utilisé par les appareils photo traceurs qui utilisent la lumière pour « tracer » une ligne. Il a été développé dans les années 1980 et a depuis été modifié de plusieurs manières. Il s'agit d'un fichier au format ASCII, qui indique au traceur photo d'exécuter l'une des quatre fonctions de base :

- Déplacer vers l'emplacement X,Y
- Sélectionnez le bon outil d'ouverture
- Ouvrir, fermer ou flasher l'obturateur
- Instruction de fin de ligne (le caractère « * »)

Pour qu'un fabricant de cartes puisse construire les cartes PCB, il a besoin d'un ensemble de fichiers Gerber.

- Top copper.
- Drills.
- Routing.

Comme indiqué, les fichiers Gerber indiquent à l'équipement où aller et quoi faire. La liste des ouvertures spécifie quel outil utiliser. Les fichiers d'ouverture sont livrés avec différentes résolutions, il est préférable d'envoyer la liste d'ouverture la plus haute résolution possible au fabricant. Les fichiers de perçage Exelon, qui peuvent

également être envoyés séparément, sont utilisés pour indiquer à l'équipement la taille des trous à percer et où.

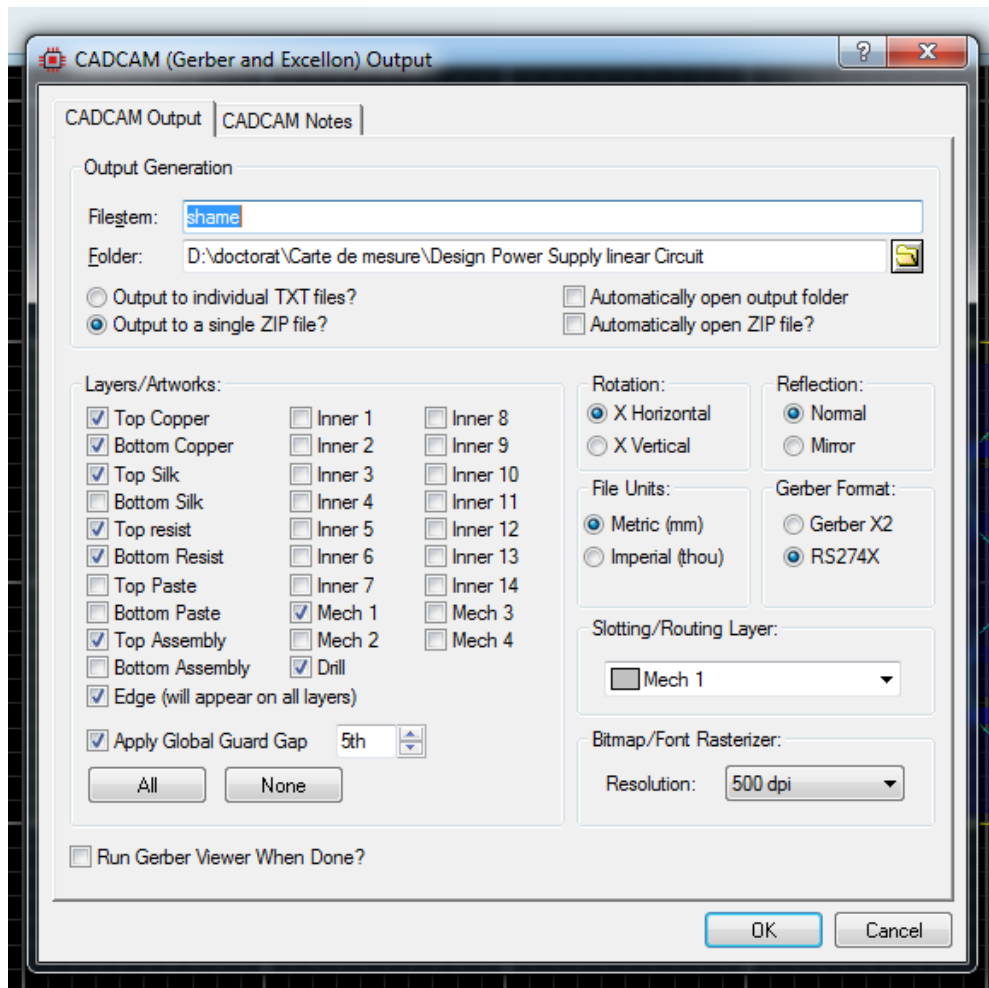


Figure III.17. Génération des fichiers Gerber.

III.7.4. Explication de fichier Gerber du perçage :

Block	Explication
M48	<ul style="list-style-type: none"> Définir le début d'un en-tête de programme Utiliser le système de mesure en mm, avec zéros de tête
METRIC,TZ	
T1C1.524	<ul style="list-style-type: none"> Définir les outils et leurs diamètres et spécifications à sélectionner ultérieurement. Comme indique le block T4C1.143 : T4 outil numéro 4, C diamètre de l'outil = 1.143 mm.
T2C1.016	
T3C.762	
T4C1.143	
T5C1.000	
T6C3.000	
%	<ul style="list-style-type: none"> Définir la fin d'un en-tête de programme pièce. Cette commande ou la commande M95 doit suivre la dernière commande d'en-tête. Ceci indique à la CNC où se termine l'en-tête. Lorsque cette commande est

<p>M71 G05</p> <p>G90</p> <p>M6 T1</p> <p>X-41910Y45720 Y50800 Y55880 X38100Y66040 ... Y35560 M6 T2 ... M6 T3 ... M6 T4 ... M6 T5</p> <p>X0Y69850 Y30480 X-44450 Y69850 M30</p>	<p>utilisée, la machine s'arrêtera à la fin de l'en-tête et attendra votre action. Vous pouvez entrer n'importe quelle commande clavier appropriée et/ou appuyer sur le démarrage du cycle pour continuer.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Invalidation de l'état modal enregistré. • Contrôle de contour de haute précision. <p>Utilise un tampon d'anticipation profond et un traitement de simulation pour fournir une meilleure accélération et décélération du mouvement des axes pendant le fraisage de contour.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Programmation absolue. Positionnement défini par rapport au zéro de la pièce. • Changement d'outil automatique (ATC). Et montage de l'outil numéro 1 <ul style="list-style-type: none"> • Position du premier trou. • Position du deuxième trou avec X reste modale • Position du troisième trou avec le même X • Position du quatrième trou avec nouveau X&Y <p>...</p> <ul style="list-style-type: none"> • Changement d'outil automatique (ATC). Et montage de l'outil numéro 2 • Changement d'outil automatique (ATC). Et montage de l'outil numéro 3 • Changement d'outil automatique (ATC). Et montage de l'outil numéro 4 • Changement d'outil automatique (ATC). Et montage de l'outil numéro 5 <ul style="list-style-type: none"> • Fin de programme.
---	--

Figure III.18. Explication de fichier Gerber du perçage .

III.8. Conversion du fichier Gerber en G-code via IsoCAM :

III.8.1. IsoCAM :

IsoCAM est un logiciel de fabrication assistée par ordinateur pour la préparation de travaux CNC pour la fabrication de PCB sur un routeur CNC. Il peut convertir le fichier Gerber généré par le logiciel Proteus pour le routage d'isolement,

le perçage et le fraisage [14]. Pour créer un code G à partir d'un fichier Gerber, un certain nombre de paramètres de base doivent être spécifiés dans le logiciel IsoCAM. Ces caractéristiques sont discutées ci-dessous.

- **Diamètre de l'outil :** le diamètre de l'outil est le diamètre de la fraise en bout ou de la mèche de gravure utilisée pour tracer des traces ou percer. Les outils doivent être téléchargés pour correspondre aux outils de nos emplacements d'outils CNC.
- **Passes :** Une seule passe dose un seul contour autour des traces et plusieurs passes dosent plusieurs contours autour des traces pour garantir la précision.
- **Cut Z :** Cut Z est la profondeur de coupe pour l'isolation de la trace ou la profondeur de perçage pour les PCB en fonction de l'épaisseur de la couche de cuivre.
- **Vitesse de la broche :** La vitesse de la broche est la vitesse de rotation de la fraise en bout ou du foret de gravure en tours par minute.
- **Vitesses d'avance :** La vitesse d'avance est la vitesse de surface de la fraise en bout ou de la mèche de gravure en millimètres par min.

Après avoir défini les paramètres ci-dessus, les fichiers Gerber doivent être téléchargés dans IsoCAM. Il lit l'image tracée et projette sur l'écran comme résultat final.

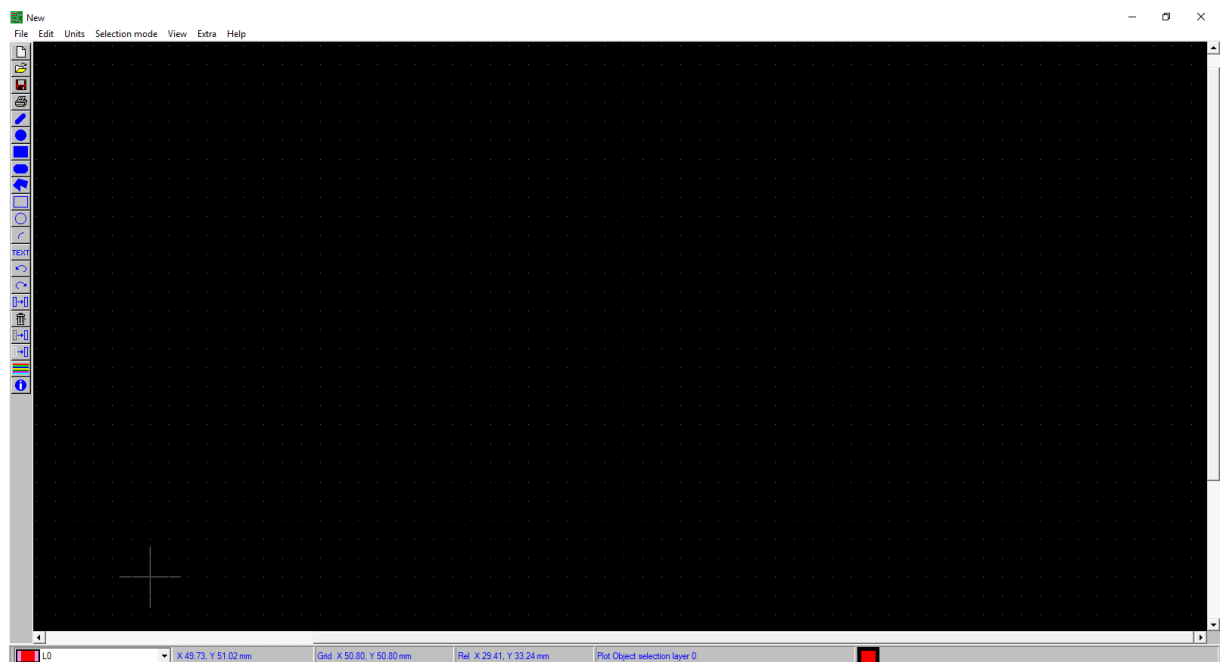


Figure III.19. Écran de démarrage d'IsoCAM.

III.8.2. Téléchargement des fichiers Gerber vers IsoCAM :

Les fichiers Gerber pré-générés pour le perçage, le fraisage et le routage doivent être téléchargés sur IsoCAM via le bouton Fichier>Charger les fichiers. Chaque fichier détermine une couche des couches PCB, qu'il s'agisse d'une couche de cuivre ou d'une couche de perçage ou de la couche de routage finale. 32 fichiers peuvent être téléchargés en même temps pour les PCB multi-faces et IsoCAM vous donnera la main pour choisir quelle couche à afficher et pour laquelle créer les données de fraisage et le chemin d'outil individuellement.

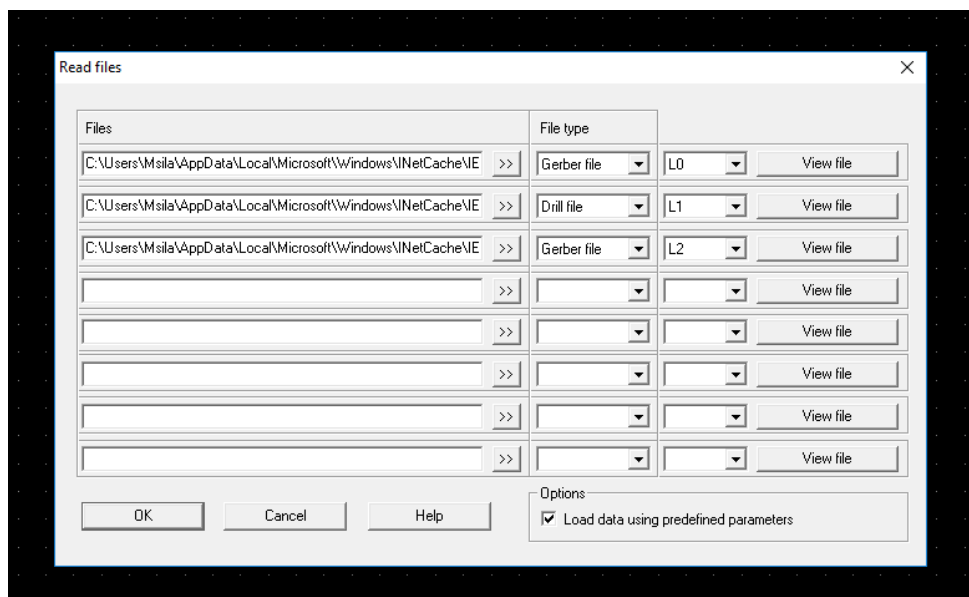


Figure III.20. Téléchargement des fichiers Gerber vers IsoCAM.

Une fois les trois fichiers téléchargés, IsoCAM lit le schéma de la carte PCB et en projette l'aspect final sur l'écran.

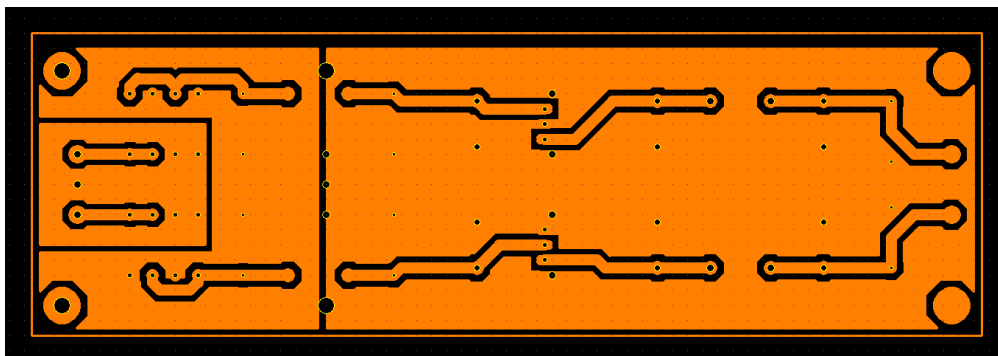


Figure III.21. Simulation de la couche PCB dans IsoCAM.

III.8.3. Création du code G :

Pour créer un code G pour la couche montrée ci-dessus, il y a un bouton Fichier>Créer une date de fraisage. Il affichera une fenêtre de dialogue où sélectionner les bons outils et l'extension de sortie du fichier de code G et d'autres paramètres de fraisage tels que les tolérances, le système de coordination et la précision de la résolution.

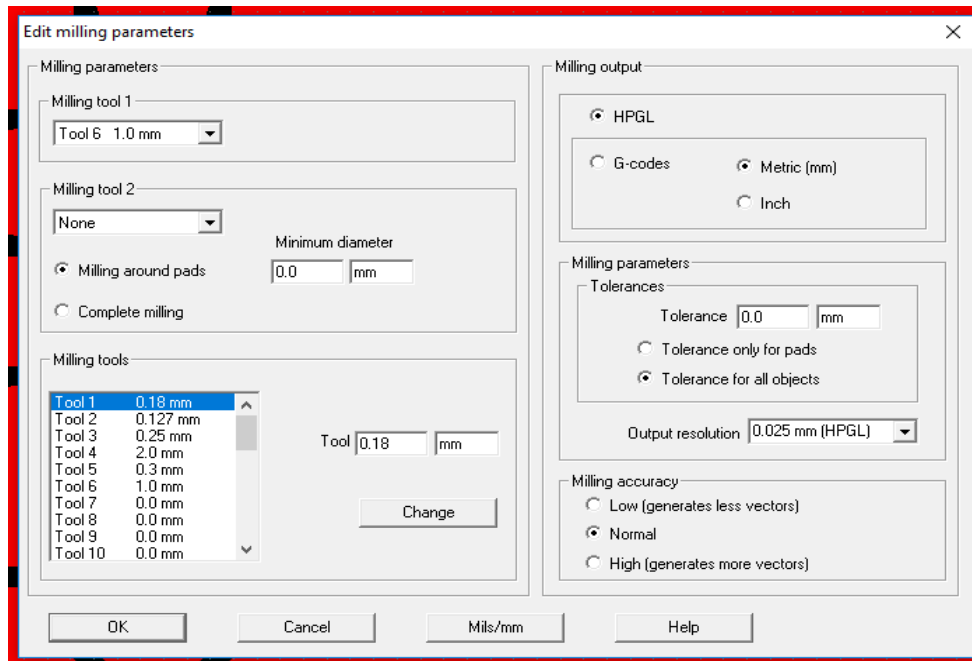


Figure III.22. Création du code G pour le routage.

À ce stade, notre FAO a créé la trajectoire d'outil pour le fraisage et calculé les coordonnées géométriques. Les convertit ensuite en langage de code G pour être compris par la machine CNC. Puis il montre une simulation de la trajectoire de l'outil sur la carte PCB ici, il est montré en vert. Il donne la main pour voir s'il y aura des erreurs et les corrige. Ajoutez, supprimez, dupliquez, copiez et collez également n'importe quelle partie souhaitée.

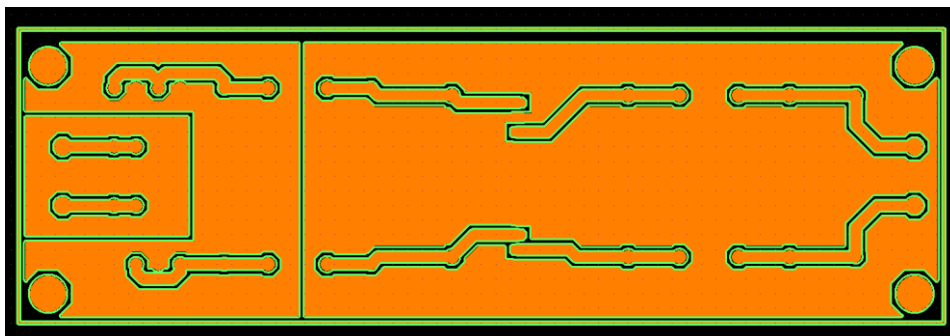


Figure III.23.Simulation de la trajectoire d'outil.

Après s'être assuré que tout se passera comme nécessaire. Les données de fraisage et de routage final doivent être enregistrées sur le bureau en tant que MillingDATA.plt .Sous l'extension *.PLT. Ce sera le format de définition de la couche PCB et toutes les instructions géométriques et technologiques pour que la machine CNC fonctionne.

Pour les perceuses, l'IsoCAM détecte automatiquement les trous à percer, leurs diamètres et les bons outils à utiliser pour cette opération. Ainsi, le code G pour les exercices a déjà été créé et doit juste être enregistré sur le bureau. Le format de sortie de ce fichier est *.NC.

III.9. Téléchargement des fichiers G Code vers RoutePro3000 :

III.9.1. Ouverture des fichiers G Code :

Le bouton "créer/ouvrir un projet" est notre moyen de télécharger les fichiers *.PLT et *.NC pré-générés. Cela affichera une fenêtre de dialogue où nommer le projet à créer et le télécharger à partir de l'endroit où il a été enregistré précédemment.

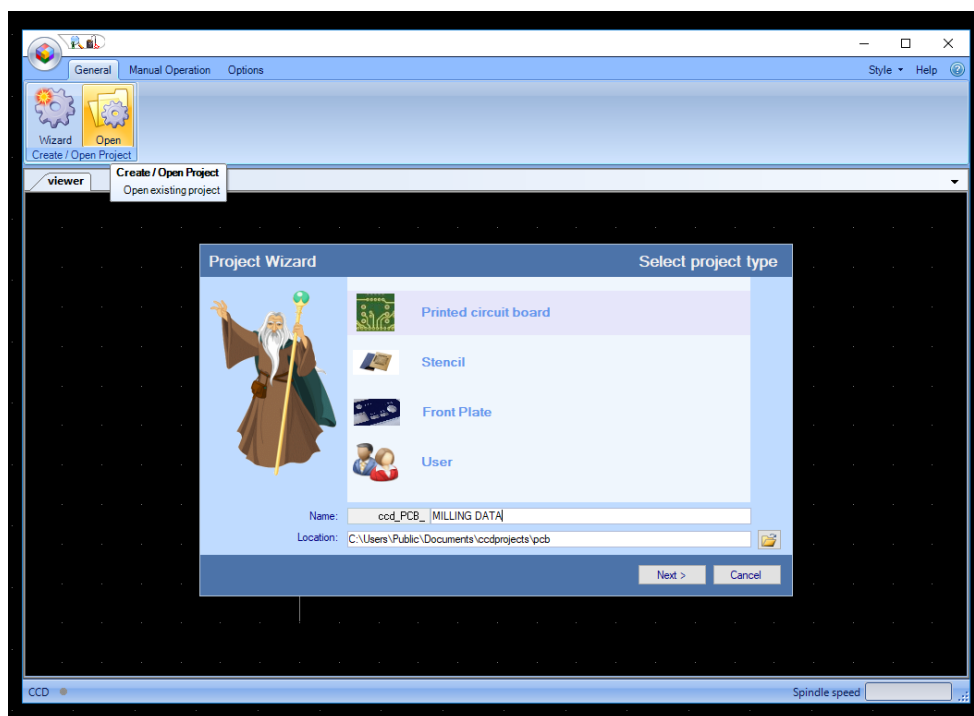


Figure III.24.Fenêtre de dialogue de Téléchargement des fichiers G Code.

III.9.2. Réglage des paramètres de coupe :

Le logiciel détectera les outils décrits dans le code G et toutes leurs spécifications, des diamètres à la hauteur. Il détecte également la profondeur, la vitesse de broche et l'avance. Ensuite, cela nous donne un coup de main pour les ajuster tous au gré de nos envies.

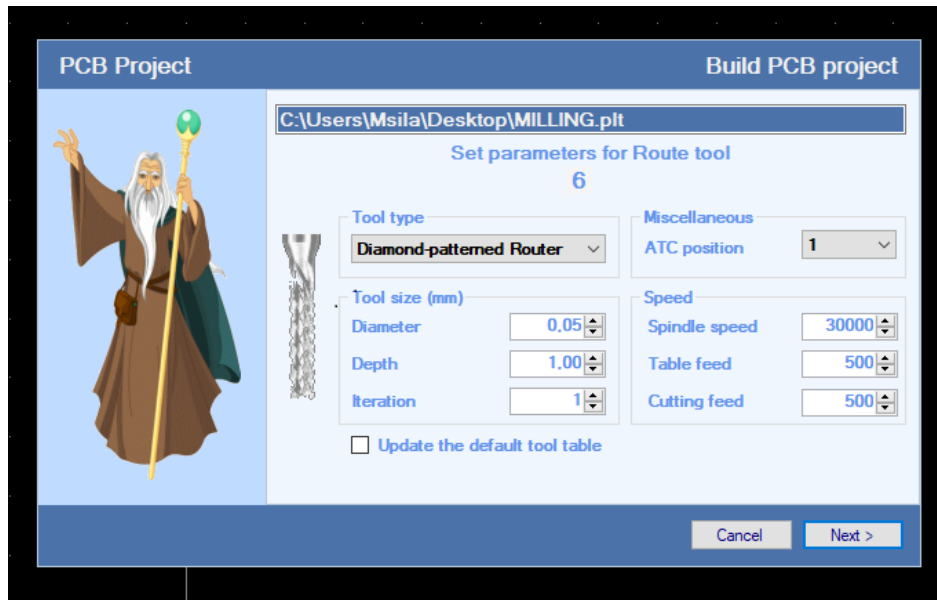


Figure III.25.Fenêtre de dialogue de paramètres de routage.

Cliquez sur Suivant>Terminer. Cela téléchargera le schéma et affichera le chemin de l'outil sur l'écran de grille RoutePro3000 où nous pouvons voir clairement l'origine de la couche PCB et à quoi elle ressemblera à la fin du processus.

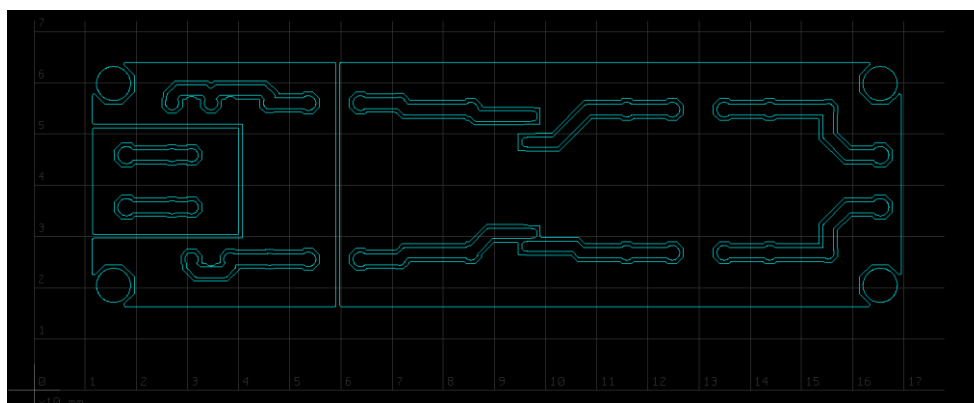


Figure III.26. Simulation de la couche PCB dans RoutePro3000.

III.9.3. Réglage des origines :

L'origine et les décalages de tous les axes peuvent être ajustés pour correspondre à la position de fixation de notre planche. Pour ce faire, la fenêtre ou l'onglet général nous donne l'autorisation de manipuler les coordonnées des axes

zéros. Cet onglet affiche également les dimensions complètes de la couche PCB et la longueur et la largeur maximales pour vérifier si la carte fixe est suffisante pour contenir la couche PCB.

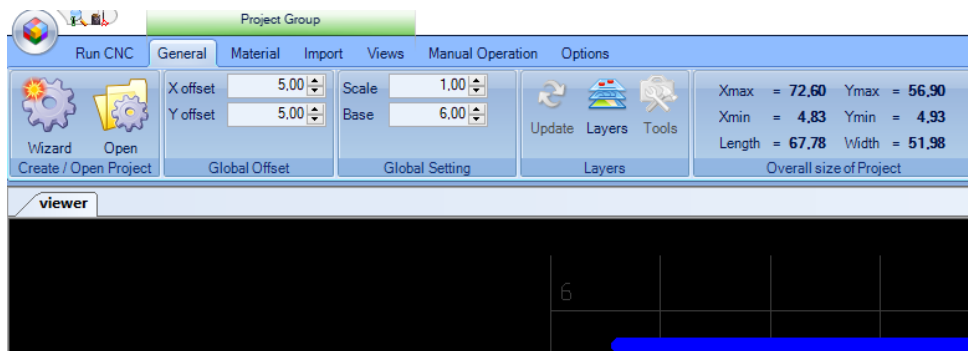


Figure III.27. Fenêtre de paramètre des origines.

III.9.4. Démarrage du processus de fabrication :

Sur la Fenêtre Run CNC, nous trouvons le bouton Stop, un bouton de sécurité sur lequel nous cliquons pour arrêter la CNC en cas d'urgence. Il arrêtera la machine et tirera la broche jusqu'à son point zéro. Et nous trouvons un autre bouton qui ouvre une liste du fichier téléchargé pour basculer entre les opérations de fraisage et de perçage, ou entre les couches de PCB dans le cas des PCB multi-faces. Juste en dessous, il y a un autre bouton qui ouvre un onglet pour afficher les paramètres de fonctionnement et peut-être les ajuster à nouveau. Des paramètres tels que les outils utilisés et leurs fentes, les vitesses et avances de coupe, ainsi que la profondeur de coupe.

Après s'être assuré que tous les paramètres sont définis, nous cliquons sur le bouton Démarrer. La machine demandera si l'outil de test est dans la broche en cas de mode ATC. Ensuite, il procédera au fraisage, au perçage et au routage de la planche et projettera instantanément une simulation des chemins finis et de la position de l'outil.

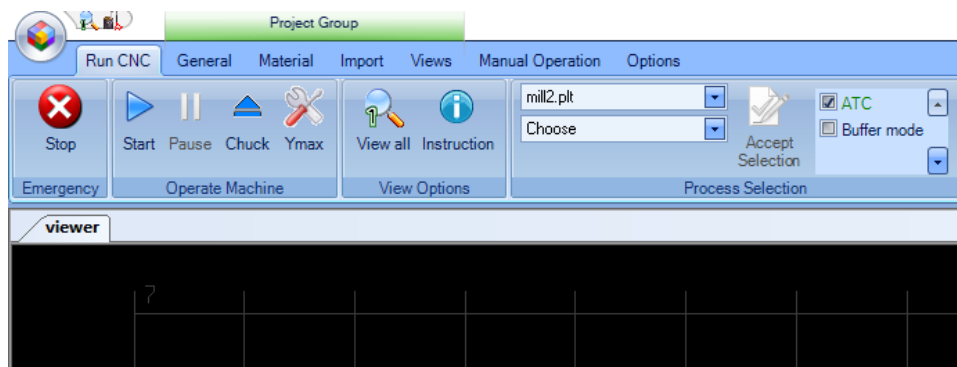


Figure III.28. Fenêtre Run CNC.

Une fois que la machine a fini de fonctionner en quelques minutes et est allée à son point zéro, nous pouvons choisir notre PCB et voir le résultat final satisfaisant. Il est prêt à être testé et utilisé en quelques minutes.

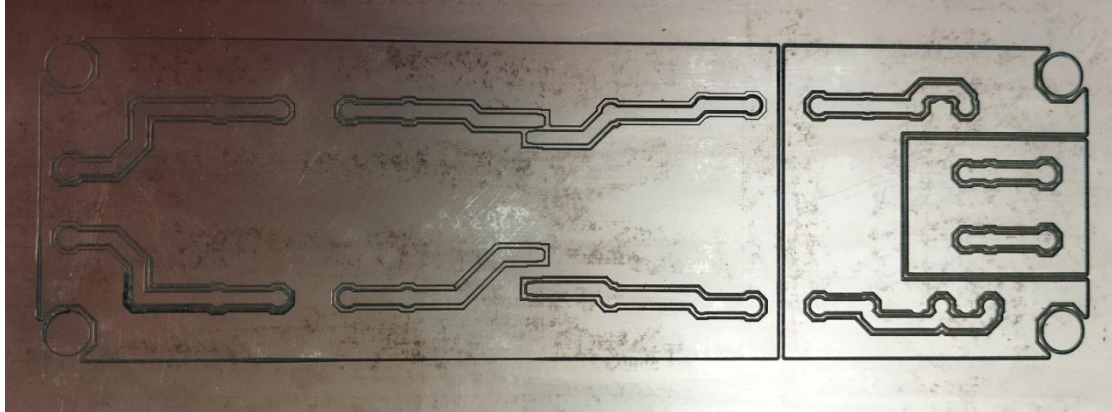


Figure III.29. Carte PCB réalisée sur la machine CNC Bungard CCD.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale :

Le système CNC joue un rôle essentiel dans le processus de conception de circuits imprimés. La combinaison des logiciels Proteus et IsoCAM associés à la machine du système CNC rend le processus de conception de PCB flexible et minimise également la charge de travail. L'emplacement de tous les moteurs plus raides et l'état du servomoteur sont directement visualisés sur PC à l'aide du code G. Ainsi selon nos besoins, nous pouvons démarrer ou arrêter la machine.

On peut voir que le système CNC rend le processus de conception de PCB automatisé et plus facile. Ce système réduit le processus d'impression ainsi que la gravure. Le processus d'usinage automatique du système CNC élimine les erreurs humaines et atteint une meilleure précision et une productivité plus élevée par rapport aux méthodes conventionnelles.

Dans la méthode conventionnelle (sérigraphie), nous avons besoin de plus de temps et d'énergie pour concevoir, imprimer, graver davantage que le perçage, tandis que le système CNC réduit l'impression, la gravure de même que rend le processus automatisé.

Reste à signaler que c'est pour la première fois, au niveau du laboratoire de génie électrique, faculté de technologie, université de M'sila. On a réalisé un prototype de carte PCB à l'aide d'une machine CNC Bungard.

Nous suggérons pour les futures étudiants master (FPM) de la filière de génie mécanique d'entamé et de suivre l'étude de la méthode manuelle, cette méthode permet de modifier le code G pour avoir un dessin d'un circuit imprimé.

LES REFERENCES

CHAPITRE I

- 1**-NAOUAR, M. W., MONMASSON, É., BELKHODJA, I. S., & NAASSANI, A. A. (2009). Introduction à la commande numérique des machines électriques.
- 2**-BOUYAHIA, Y. *Réalisation d'un prototype d'une machine CNC 3 axes* (Doctoral dissertation).
- 3**-BENBEKHTI, A. (2012). *Etude de réalisation d'un support pour affutage des forets sur une machine à commande numérique* (Doctoral dissertation).
- 4**-BENCHABANE, S., & BENGUDDAH, Y. (2020). *ETUDE DES METHODES DE FABRICATION SUR MOCN* (Doctoral dissertation, Université M'sila).
- 5**-toute la famille Belhadri, A., & Belhadri, T. Je dédie ce modeste travail: A mes très chers parents qui m'ont aidé et.
- 6**-Prod'homme, G. (1997). *Commande numérique des machines-outils*. Ed. Techniques Ingénieur.
- 7**-Gilles, P. (2008). *Positionnement d'outil torique pour l'usinage de surfaces gauches en fraisage 5-axes avec équilibrage de l'effort de coupe transversale* (Doctoral dissertation, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier).
- 8**-Christopher, M. Design and Fabrication of a Low Cost 3-Axis Mini-Computer Numerical Control Milling Machine.
- 9**-Smid, P. (2003). *CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming*. Industrial Press Inc..
- 10**-De Lacalle, L. L., Lamikiz, A., Sanchez, J. A., & Salgado, M. A. (2007). Toolpath selection based on the minimum deflection cutting forces in the programming of complex surfaces milling. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47(2), 388-400.
- 11**-Kudžma, I. (2017). *Evaluation of blanks' quality formed by plasma cutting* (Doctoral dissertation, Kaunotechnologijos universitetas).
- 12**-Kandpal, B. C., & Singh, H. (2015). Machining of aluminium metal matrix composites with Electrical discharge machining-A Review. *Materials Today: Proceedings*, 2(4-5), 1665-1671.
- 13**-Kovács, A. (2016). Integrated task sequencing and path planning for robotic remote laser welding. *International Journal of Production Research*, 54(4), 1210-1224.
- 14**-Naboni, R., & Paoletti, I. (2015). *Advanced customization in architectural design and construction*. Cham: Springer International Publishing.
- 15**-HENAOUÏ, S. (2020). *Application d'un système CFAO et la fabrication additive pour le prototypage du logo du laboratoire IS2M* (Doctoral dissertation).
- 16**-Liu, Q. (2013). *Etude sur fusion laser sélective de matériau céramique Zirconium Yttrié* (Doctoral dissertation, Belfort-Montbéliard).

17-Lewalski, A. (2012). *Short Distance Telemetry for Piston Monitoring. Design and Development of Short Distance Telemetry for Engine Condition Monitoring* (Doctoral dissertation, University of Bradford).

18-McNerney, T. S. (1999). *Tangible programming bricks: An approach to making programming accessible to everyone* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).

19-Suh, S. H., Kang, S. K., Chung, D. H., & Stroud, I. (2008). *Theory and design of CNC systems*. Springer Science & Business Media.

20-Khan, W. A., Raouf, A., & Cheng, K. (2011). *Virtual manufacturing*. Springer Science & Business Media.

CHAPITRE II

21-Flipo, F., Boutet, A., & Deltour, F. (2006). *Projet E-déchets. Écologie des infrastructures numériques* (Doctoral dissertation, Institut National des Télécommunications d'Evry; Ecole nationale supérieure des télécommunications de Bretagne).

22-Puil, J. (2008). *Contribution a l'Etude d'Assemblages Electroniques sur Circuits Imprimés a Haute Densité d'Intégration Comportant un Nombre de Couches important et des Condensateurs Enterrés* (Doctoral dissertation, Université Sciences et Technologies-Bordeaux I).

23-Petit, P., & Vernières, M. (1990). La banque et ses emplois: Un service en transition. *Travail et emploi*, 2(44), 7-18.

24-Hassina, F., & Hayet, S. (2018). *Automatisation de la soudeuse de grilles de four pour cuisinière 56A à l'aide de l'API S7-300* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

25-Moeneclaey, J. (2015). *Méthode de conception des bobinages des actionneurs électriques adaptés aux nouvelles contraintes de l'avionique* (Doctoral dissertation, Artois).

26-Avenas, Y. (2010). *Gestion thermique des composants actifs de puissance: vers une intégration du système de refroidissement au sein du module* (Doctoral dissertation, Institut

27-National Polytechnique de Grenoble-INPG).

28-ANTHIERENS, C. (1999). *Nd'ordre 99 ISAL 0099 Année 1999* (Doctoral dissertation, INSA de Lyon).

29-IUT de Nicedpt. GEII ,Laboratoire ER1,P. LAURENT 2002, technologie et réalisation de circuits imprimés électroniques

30-P.Gadhe, V. Jangir, M.Yede3, W.U. Haq. "Design and Implementation of PCB Using CNC"International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume: 04 Issue: 02 | Feb -2017

CHAPITRE III

- 31-** ccd_manual_e_BungardElektronik GmbH & Co. KG, Rilkestraße 1, 51570 Windeck – Germany
- 32-** M. A. Prasanthi. R, G.V. Rohit, Rahul “Autonomous Machine To Manufacture PCB and 3-D Design” International Journal of Pure and Applied Mathematics Volume 119 No. 15 2018, 961-966
- 33-** Amroune, S., Belaadi, A., Menasri, N., Zaoui, M., Mohamad, B., & Amin, H. (2019). New approach for computer-aided static balancing of turbines rotors. Diagnostyka, 20.
- 34-** Amroune, S. (2001). Réhabilitation d'un rotor turbine à vapeur et contribution à l'élaboration d'un logiciel de répartition d'aubes (Doctoral dissertation, M'sila, Université Mohamed Boudiaf. Institut de Genie Mecanique).
- 35-** Amroune, S. (2018). Dessin Assisté par Ordinateur DAO. Éditions universitaires européennes.
- 36-** Amroune, S., Mohamad, B., Moussaoui, M., & Saaidi, H. (2018). Geometric regeneration and mechanical analysis of a gas turbine blade type Frame 9001 GE. Engineering Solid Mechanics, 6(2), 105-112.