

Table des matières

CHAPITRE 1 :	1
1.1. Formulation préliminaire du projet :	4
1.1.1. Énoncé du besoin :	4
1.1.2. Contrôle de validité :	5
1.2. Préfaisabilité du projet :	5
1.2.1. Définition des ressources :	5
1.2.2. Estimation des couts :	6
1.3. Échéancier :	6
1.4. Conclusion :	6
2. CHAPITRE 2	7
2.1. Introduction.....	8
2.2. Analyse Fonctionnelle	8
2.2.1. Analyse fonctionnelle externe.....	8
2.2.2. Analyse fonctionnelle interne	10
2.3. Cahier des charges fonctionnel de la micro fraiseuse	12
2.4. Conclusion :	14
3. CHAPITRE 3	15
3.1. Solutions technologiques	16
3.1.1. Bâti de la machine :	16
3.1.2. Sous systèmes de déplacement (X, Y et Z) :	19
3.2. L'arbre moteur au système de transformation de mouvement :	22
3.3. Transformer l'énergie électrique en énergie mécanique « Motorisation » :	22
3.4. Contrôler le mouvement des axes	24
3.5. Sous-système de rotation de l'outil de coupe « broche »	29
3.6. Commande	30

3.7.	Conception du système	32
3.7.1.	Le bâti :	32
3.7.2.	Les axes X, Y et Z :	33
3.7.3.	Assemblage finale de la micro-fraiseuse :	42
3.8.	Conclusion	43
4.	CHAPITRE 4.....	44
4.1.	validation des solutions technologique :	45
4.1.1.	Analyse vibratoire :	45
4.2.	Analyse statique :	50
4.3.	Réalisation des pièces de la micro fraiseuse :	54
4.4.	Assemblage finale de la micro fraiseuse :	62
4.5.	Commande et test de la micro fraiseuse :	64
4.5.1.	Téléversement de GRBL dans ARDUINO :	64
4.5.2.	Génération de code G :	65
4.5.3.	Simulation et transfère de G-code à ARDUINO :	67
4.5.4.	Essai de la machine :	68
4.6.	Conclusion :	68
	Conclusion et perspectives	69
	Références bibliographiques	70

Liste des figures

Figure 1.1 : morphologie des pièces à usiner et opérations effectuées [14]	3
Figure 1.2 : bête à corne	4
Figure 2.1 : Définition d'un produit (système)	8
Figure 2.2 : Pieuvre du système en phase conception	10
Figure 2.3 : Méthode FAST [12].....	11
Figure 2.4 : Diagramme FAST de la fonction principale	12
Figure 3.1 : structure de bâti : (a) porte à faux, (b) colonne, (c) pont mobile, (d) pont fixe, (e) portique [12].....	16
Figure 3.2 : la mini-fraiseuse MC64 [13]	18
Figure 3.3 : la mini-fraiseuse M-VB [13].....	18
Figure 3.4 : la mini-fraiseuse <i>Arsen</i> [13].....	18
Figure 3.5 : Eléments de transmission [8] [7] [5] [4] [2].....	20
Figure 3.6 : Guidage à éléments roulants	21
Figure 3.7: Accouplement métallique à fentes multiples	22
Figure 3.8 : Carte Arduino UNO.....	27
Figure 3.9 : Plate forme Arduino	28
Figure 3.10 driver TB6560	29
Figure 3.11 : la broche GW8278-2 135W	29
Figure 3.12 : schéma de commande et de puissance	31
Figure 3.13: le bâti.....	32
Figure 3.14 : Chaîne cinématique des axes X, Y et Z.	34
Figure 3.15 : Graphe des liaisons des axes X, Y et Z.....	35
Figure 3.16 : la table de fixation	36
Figure 3.17 : le système équivalent 2	37
Figure 3.18 : système équivalent 1	37
Figure 3.19 : vue de coupe de droite de montage de l'axe X.....	38
Figure 3.20 : l'assemblage de l'axe X	38
Figure 3.21: vue de coupe de dessous de montage de l'axe X.....	39
Figure 3.22 : support de l'axe Z	39
Figure 3.23 : le système équivalent 2	40

Figure 3.24 : vue de coupe de la face arrière de l'assemblage de l'axe Y	40
Figure 3.25 : l'assemblage de l'axe Y	41
Figure 3.26: support de la broche	41
Figure 3.27: l'assemblage de l'axe Z	42
Figure 3.28: assemblage finale de la micro-fraiseuse	42
Figure 4.1 : le bâti.....	45
Figure 4.2 : les tiges.....	46
Figure 4.3: la table.....	47
Figure 4.4 : les faces de la géométrie fixe	49
Figure 4.5 : le maillage de la machine.....	49
Figure 4.6 : Application de la force.....	51
Figure 4.7 : CNC_finale-Static 2-Contraintes-Contraintes1	52
Figure 4.8: CNC_finale-Static 2-Déplacements-Déplacements1	53
Figure 4.9 : CNC_finale-Static 2-Déformations-Déformations1	54
Figure 4.10 : la découpe par plasma des pièces de bâti.....	55
Figure 4.11: les pièces de bâti après la découpe	55
Figure 4.12 : soudage des pièces de bâti.....	56
Figure 4.13 : la finition des joints de soudure.....	56
Figure 4.14 : découpage du brut de la table	57
Figure 4.15 : montage du brut dans la fraiseuse.....	57
Figure 4.16 : surfaçage du brut	58
Figure 4.17 : le rainurage de la table	58
Figure 4.18 : surfaçage des côtés de la table.....	59
Figure 4.19 : l'usinage d'autre face de la table	59
Figure 4.20 : support de la broche	60
Figure 4.21 : usinage axe Z.....	60
Figure 4.21 : usinage de support de la broche.....	61
Figure 4.22 : perçage et taraudage des trous pour la fixation des paliers	62
Figure 4.23 : la mini fraiseuse CNC 3 axe.....	63
Figure 4.24: GRBL Contrôleur	64
Figure 4.25 : envoi de GRBL a la carte.	65
Figure 4.26 : l'interface F-ENGRAVE.....	66
Figure 4.27 : l'interface F-ENGRAVE.....	67
Figure 4.28 : l'interface Universel G-code Sender	67

Figure 4.29 : simulation de G-code	68
Figure 4.30 : essai de la mini fraiseuse.....	68

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Cahier de charge.....	13
Tableau 4.1 : propriétés de matériau de bâti	46
Tableau 4.2 : propriétés de matériau des tiges	47
Tableau 4.3 : propriétés de matériau des tiges	48
Tableau 4.4 : forces de réactions	51
Tableau 4.5 : moments de réactions	51

Liste des abréviations

MOCN : Machines Outil à Commande Numérique.

CNC : Commande Numérique par Calculateur.

CC : Courant Continu.

CA : Courant Alternative.

PO : Partie Opérative.

PC : Partie Commande.

EDI (IDE en anglais) : Environnement de Développement « Intégré »

DCN : Directeur de Commande Numérique.



Mini fraiseuse CNC à 3 axes

Introduction

La machine-outil à commande numérique et son évolution actuelle représentent aujourd'hui le moyen de production le plus important des pièces mécaniques. De par l'avancée des techniques, cette dernière a subi des modifications, et le couple outil machine-outil s'est adapté aux exigences de productivité modernes. Une Machine-Outil à Commande Numérique (MOCN) est une machine d'usinage à cycle automatique programmable [6].

La fabrication de pièce se fait par enlèvement de copeau sur les machines-outils conventionnelles. Cette fabrication prend beaucoup de temps de fabrication, et demande une grande expérience des opérateurs pour arriver à une qualité (précision) d'une pièce juste moyenne. Par contre, en utilisant une machine-outil à commande numérique, l'usinage est beaucoup bien précis et il ne demande pas beaucoup de temps sinon une maîtrise de la machine et de la programmation [6].

Ce travail a pour but de réaliser une fraiseuse à commande numérique CNC trois axes mais avant la réalisation il faut passer par quatre principaux étapes qu'on a présentées dans ce mémoire :

Une étude préliminaire du projet dans le premier chapitre avec la formulation du besoin et contrôle de sa validité, suivi par élaboration de cahier des charges fonctionnelles par la méthode FAST dans le deuxième chapitre : étude conceptuel du projet.

Le processus de conception a été présenté dans le troisième chapitre avec les choix des solutions technologiques suivi par la validation de ces choix à l'aide de logiciel SOLIDWORKS 2018 dans le chapitre quatre avec présentation de processus de réalisation des différentes pièces, ce dernier est clôturé avec une présentation d'un test de la mini fraiseuse.

On va terminer notre travail avec une conclusion générale.

CHAPITRE 1 :

Étude préliminaire du projet

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Ce chapitre concerne l'étude préliminaire du projet. Cette étude s'attache à définir le besoin et vérifier que le projet soit techniquement faisable et économiquement viable.

Contexte du projet

Une machine-outil a pour but de réaliser physiquement les mouvements de coupe nécessaires à l'obtention d'une surface par enlèvement de matière. Elle réalise le mouvement de coupe et le mouvement d'avance de l'outil par rapport à la pièce. De plus, elle doit permettre l'obtention de pièces en respectant les spécifications fonctionnelles. [1]

Une **machine-outil à commande numérique**, appelée communément **MOCN**, est un système automatisé. Elle est composée d'une partie commande (**PC**) : le **DCN** (directeur de commande numérique) et d'une partie opérative (**PO**) comprenant la structure de la machine-outil, le porte-outil, l'outil et le porte-pièce ; la matière d'œuvre est la pièce. La **MOCN** est une machine totalement ou partiellement automatique à laquelle sont communiqués les ordres à partir des codes qui sont portés sur un support matériel (disquette, cassette, USB, ...). Lorsque la machine-outil est équipée d'une commande numérique capable de réaliser les calculs des coordonnées des points définissant une trajectoire (interpolation), on dit qu'elle est à calculateur et elle est citée Commande Numérique par Calculateur (**CNC**). La plupart des **MOCN** sont des **CNC**. [9]

Une machine-outil à commande numérique assure la réalisation automatisée des pièces, les mouvements nécessaires sont décrits dans un programme [1].

On représente la structure d'une machine, en cours d'usinage, par un système bouclé, chaque élément contribue à la réalisation du contrat fonctionnel. Le réglage de la machine consiste à mettre en position relative ces différents éléments [1].

Il existe plusieurs types de MOCN, classées selon leur fonction :

- Les machines à enlèvement de copeaux : les perceuses, les tours 2 et 4 axes, les centres de tournages 5 axes, les fraiseuses 2 axes 1/2, 3 axes, les centres d'usinage, 3 à 5 axes, les rectifieuses, les affûteuses, les machines d'usinage à très grande vitesse.
- Les machines à électroérosions : les machines à enfonçages, les machines à fil.
- Les machines de découpes : oxycoupage, laser, jet d'eau, etc.
- Les presses : métal, injection plastique.
- Les machines à bois : à portique ou col de cygne.

- Les machines spéciales : à panneaux, à têtes multiples, de conditionnement (Pour l'agroalimentaire) [6].

Les fraiseuses CNC sont utilisées dans différents domaines tel que l'automobile, design, décoration, électronique, aéronautique...

a) Idée du projet

L'idée de projet est de réaliser une mini-fraiseuse CNC selon un cahier de charge bien défini dont les grands axes sont :

1. Usiner des pièces en bois, plastiques, mousse, circuit imprimé, métaux mous.
2. La morphologie générale des pièces à usiner est polyédrique, c'est-à-dire, des pièces plates ou de forme prismatique.
3. En plus des opérations de surfacage, de dressage de faces, de perçage, et d'alésage. Les opérations effectuées sont :
 - Des découpes sur des surfaces 2D ou 3D (sans dépouilles négatives)
 - Des gravures sur des surfaces 2D ou 3D (sans dépouilles négatives)
 - Créer des formes 3D sans dépouilles négatives comme dans l'exemple ci-dessous.
4. Les faces peuvent être de type simple (ex : faces planes) ou complexe (ex. : B Splines).

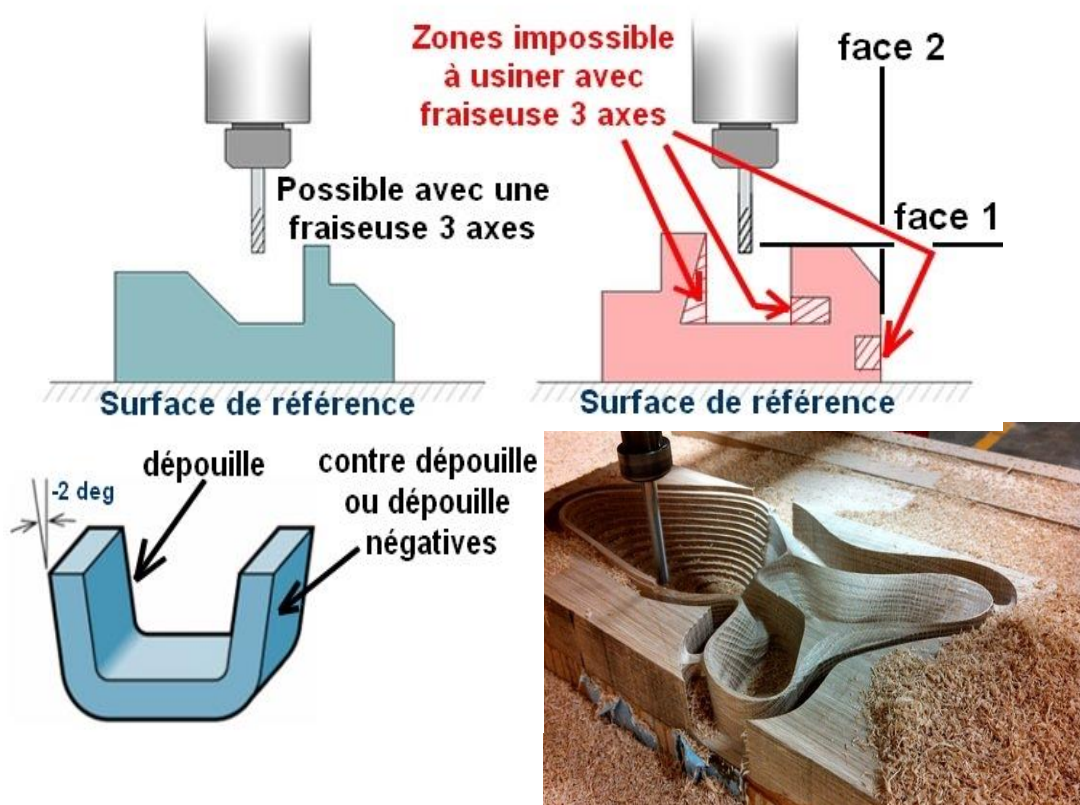


Figure 1.1 : morphologie des pièces à usiner et opérations effectuées [14]

b) Rappel sur le processus de développement d'un produit (PDP)

Le PDP se compose de quatre étapes importantes :

1. L'étude préliminaire
2. L'étude conceptuelle
3. La conception (conceptions préliminaire et détaillée)
4. La fabrication et la validation du prototype.

Ces étapes seront détaillées dans la suite de l'étude.

1.1. Formulation préliminaire du projet :

1.1.1. Énoncé du besoin :

Avant de concevoir un système, il est nécessaire de s'assurer que ce produit *répond effectivement à un besoin, d'où l'énoncé du besoin de façon claire et précise*[12].

La méthode d'expression du besoin repose sur trois questions :

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

On obtient ainsi le diagramme Bête à cornes suivant, voir figure suivante.

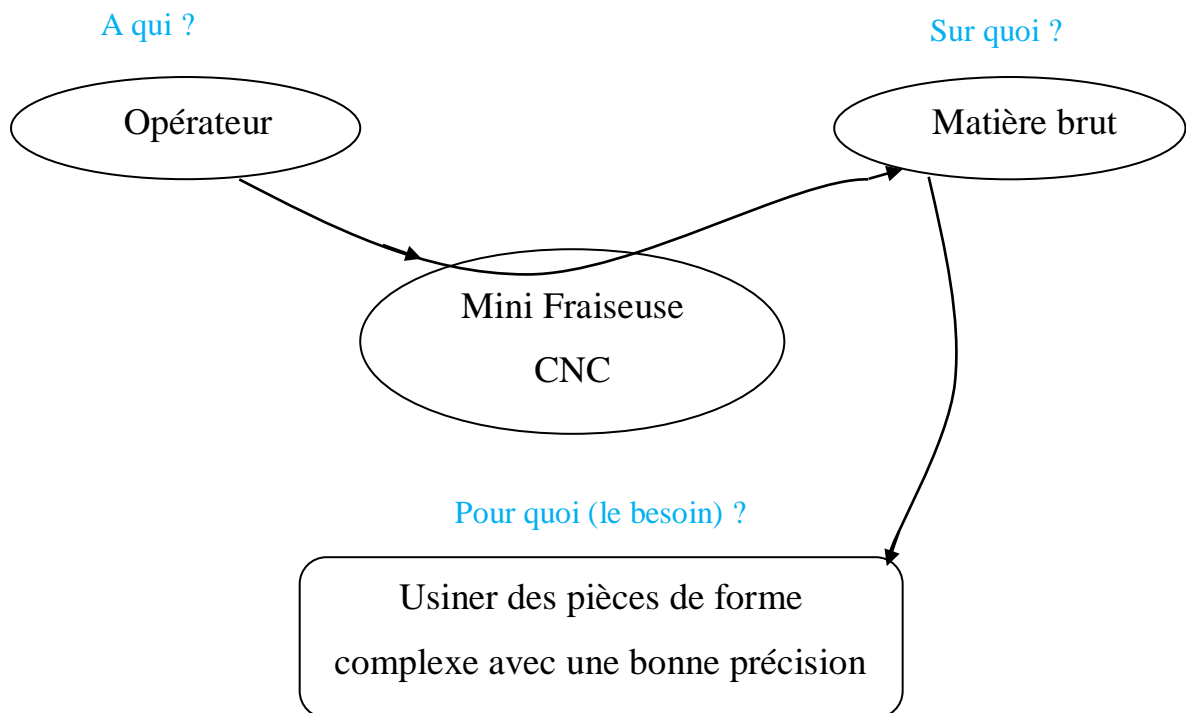


Figure 1.2 : bête à corne

1.1.2. Contrôle de validité :

Pour valider l'expression du besoin, il faut se poser les questions complémentaires suivantes :

Pourquoi le système existe-t-il ?

- Usinage des pièces prismatiques de forme complexe avec une bonne précision qu'on ne peut pas réaliser sur des machines conventionnelles.
- Réalisation de la gravure sur des surfaces planes pour des objets décoratifs.
- Réalisation de gabarit en bois pour le moulage en sable.
- Opérations de sculptage sur des pièces en bois pour la menuiserie.

Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître ou évoluer le besoin ?

Cette question permet de valider la stabilité du besoin, elle permet aussi d'anticiper les évolutions du besoin.

- Une forte demande du marché dans le domaine de la gravure et la décoration.
- Un cout réduit par rapport à une machine 4 ou 5 axes.
- Un investissement accessible aux artisans (bijoutiers, menuisiers, plâtriers, etc) et aux professionnels (fabrication mécanique, moulage, etc).

L'évolution technologique d'autres types de fraiseuses CNC à 3 axes(nouvelle technologie) semble aujourd'hui encore limitée ou inexistante.

Dans le contexte défini ci-dessus, le risque de disparition est faible. Le besoin est validé par conséquent, le projet est stable.

1.2.Pré faisabilité du projet :

Pour savoir si un projet est faisable, il faut que les objectifs de conception soient raisonnables et techniquement réalisables compte tenu des ressources existantes. Le pré-projet doit être confronté aux réalités de l'environnement [12].

1.2.1. Définition des ressources :

Il est question dans cette partie des connaissances scientifiques et techniques essentielles pour créer le système. Il faut être en mesure de les connaître, et si possible, de les faire évoluer suivant les besoins du projet [12].

- Les connaissances scientifiques : mécanique, informatique, automatique, électronique, fabrication mécanique.
- Les connaissances techniques : d'usinage, d'ajustage, de soudage, de montage, ...

- Ressources documentaires : bibliothèque de la faculté, ressources en ligne, cours, ...
- Ressources logiciels : SolidWorks, ARDUINO, GCODE ...
- Ressources matérielles : machines de tournage, fraisage, perçage, soudage, ...
- Ressources humaines : encadreurs, enseignants, ingénieurs de laboratoires
- Ressources financières : autofinancement, aides financières, ...

1.2.2. Estimation des couts :

Afin d'estimer les coûts de l'ensemble du projet on a utilisé les approches suivantes :

Par expérience : prix associés à la mise en œuvre d'une technique donnée, un concept préliminaire ou encore un ensemble de caractéristiques d'un produit (matériaux, pièces, méthodes de fabrication, etc.).

Par similarité : comparaison avec un produit similaire existant sur le marché.

Le cout de ce projet est estimé à environ 100000.00 DA

1.3.Échéancier :

L'échéancier de projet permet d'inventorier l'ensemble des activités du projet, en identifiant les dates de début et de fin de projet. Il faut connaitre aussi le temps alloué à la réalisation du projet.

Dans notre cas :

- Temps alloué à la réalisation du projet : 7 mois
- Début du projet : janvier 2019
- Fin du projet : juillet 2019

1.4.Conclusion :

L'étude préliminaire du projet nous a clarifié la base de notre projet avec le milieu extérieure.

CHAPITRE 2 :

Étude conceptuelle du projet

2.1.Introduction

Dans ce chapitre le cahier des charges fonctionnelles est élaboré sur la base de l'étude conceptuelle.

2.2.Analyse Fonctionnelle

Un produit est un assemblage de fonctions, voir figure suivante. Les statistiques prouvent qu'il existe d'avantage de produits mal conçus en raison d'une insuffisance d'analyse fonctionnelle que par manque de réflexion dans la recherche de solutions.



Figure 2.1 : Définition d'un produit (système)

L'analyse fonctionnelle permet de décrire un système par les fonctions qu'il doit remplir, mais aussi les contraintes qui vont subir. Elle consiste à rechercher, caractériser, ordonner, hiérarchiser et valoriser les fonctions. Ces fonctions ne servent pas seulement à générer les spécifications fonctionnelles, mais elles ont aussi un rôle important à jouer dans la définition des sous-systèmes du produit et la recherche des concepts.

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

2.2.1. Analyse fonctionnelle externe

L'analyse fonctionnelle externe décrit le point de vue de l'utilisateur, et ne s'intéresse au produit qu'en tant que « boîte noire » capable de fournir des services dans son environnement durant son cycle d'utilisations.

2.2.1.1. Identification des éléments du milieu extérieur

L'analyse fonctionnelle repose sur l'identification des éléments du milieu extérieur. L'examen de l'environnement du système, conduit à :

- Identifier les composantes extérieures (tout ce qui est en contact direct ou indirect avec le produit).

- Etablir les relations entre le produit et les composantes extérieures en termes de fonctions appelées fonctions de service.

Dans notre cas, les éléments du milieu extérieur sont :

- Opérateur.
- Pièce.
- Outils de coupe.
- Poussières et copeaux.
- Logiciels de programmation.
- Maintenance.
- Normes et sécurité.
- Milieu ambiant.
- Esthétique.
- Énergie électrique.

2.2.1.2. Diagramme des Interacteurs

Les interacteurs identifiés du système sont montrés sur la Figure suivante.

Les fonctions de service retenues pour le reste de l'étude se décomposent en : Fonctions principales notées FP et les fonctions contraintes notées FC.

Fp1 : Usiner des pièces mécaniques de forme complexe avec précision.

Fc1 : Protéger l'utilisateur (doit être sécurisé et respecter les normes de sécurité).

Fc2 : Faciliter l'utilisation de la machine.

Fc3 : Utiliser une source d'énergie électrique.

Fc4 : Utiliser des logiciels commerciaux pour faciliter la programmation.

Fc5 : Utiliser le code G standard.

Fc6 : Faciliter la maintenance.

Fc7 : Respecter les normes de sécurité.

Fc8 : Faciliter la récupération des copeaux pour le nettoyage de la machine.

Fc9 : Tenir compte de l'aspect esthétique.

Fc10 : Faciliter le montage et le démontage de l'outil.

Fc11 : Faciliter la fixation de la pièce sur la machine.

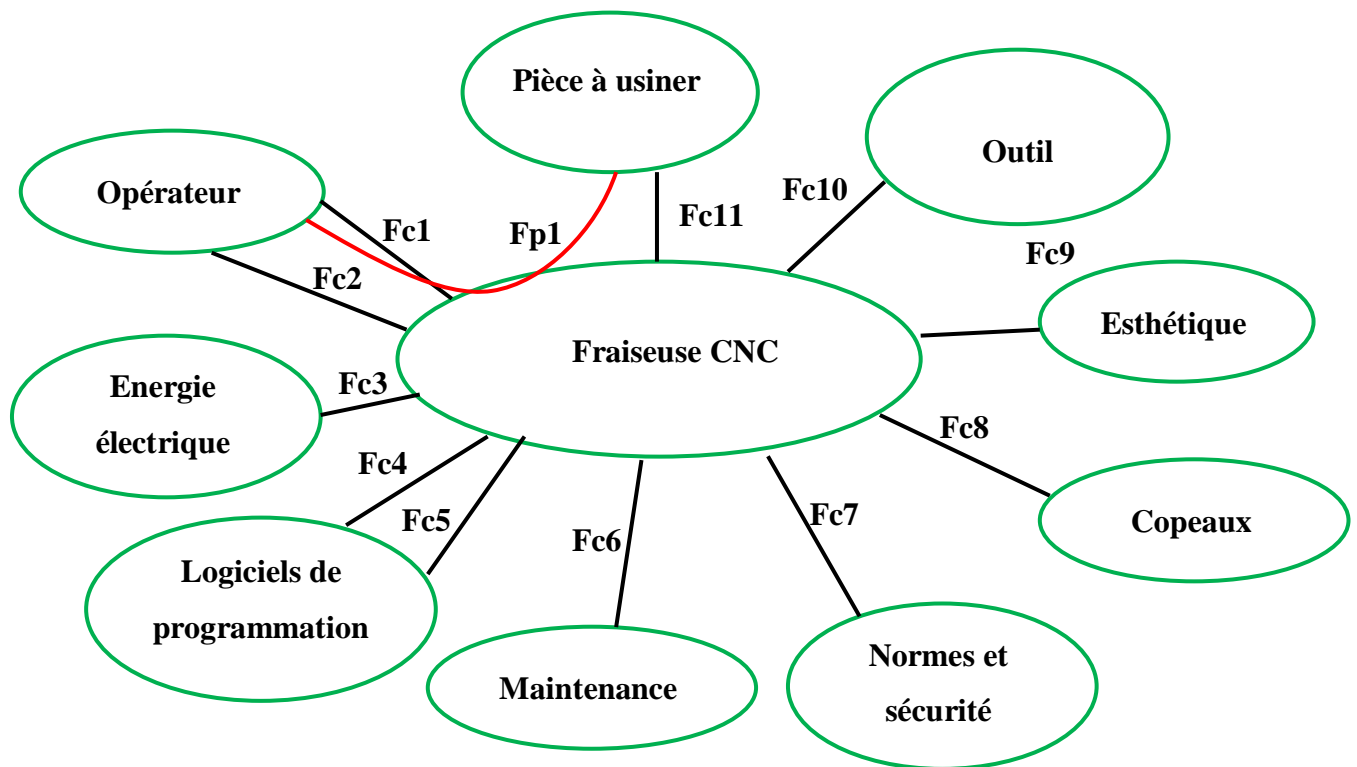


Figure 2.2 : Pieuvre du système en phase conception

2.2.2. Analyse fonctionnelle interne

L'analyse fonctionnelle interne, décrit le point de vue concepteur en charge de fournir le produit devant répondre aux besoins exprimés. Le système n'est plus considéré comme une boîte noire, mais au contraire l'analyse va porter sur l'intérieur de la boîte pour comprendre ses fonctionnalités internes. Le système est considéré comme un assemblage de constituants dont chacun remplit certaines fonctions vis-à-vis des autres. L'analyse fonctionnelle interne met en évidence les fonctions techniques [12].

2.2.2.1. La méthode FAST

Le diagramme FAST (Function Analysis System Technic) permet de traduire chacune des fonctions de service en fonctions techniques, puis matériellement en solutions techniques. Dès lors que les fonctions de services sont identifiées, cette méthode les ordonne et les décompose logiquement pour aboutir aux solutions techniques de réalisation.

La méthode s'appuie sur une technique interrogative, voir figure 2.3. En partant d'une fonction principale, elle présente les fonctions dans un enchaînement logique en répondant aux trois questions suivantes :

- **Pourquoi ?** pourquoi une fonction doit-elle être assurée ?

- **Comment** ? comment cette fonction doit-elle être assurée ?
- **Quand** ? Quand cette fonction doit-elle être assurée ?

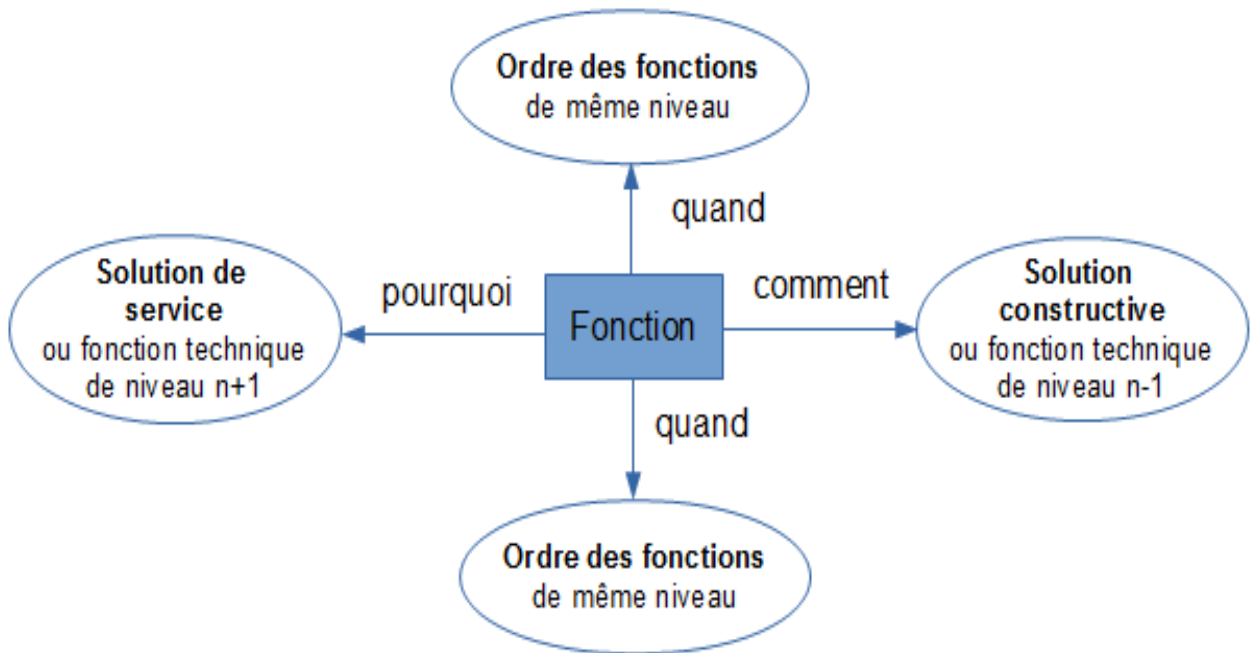


Figure2.3 : Méthode FAST [12]

Le diagramme FAST de la fonction principale : 'Usiner des pièces mécaniques de forme complexe avec précision' est donné par la figure 2.4 suivante.

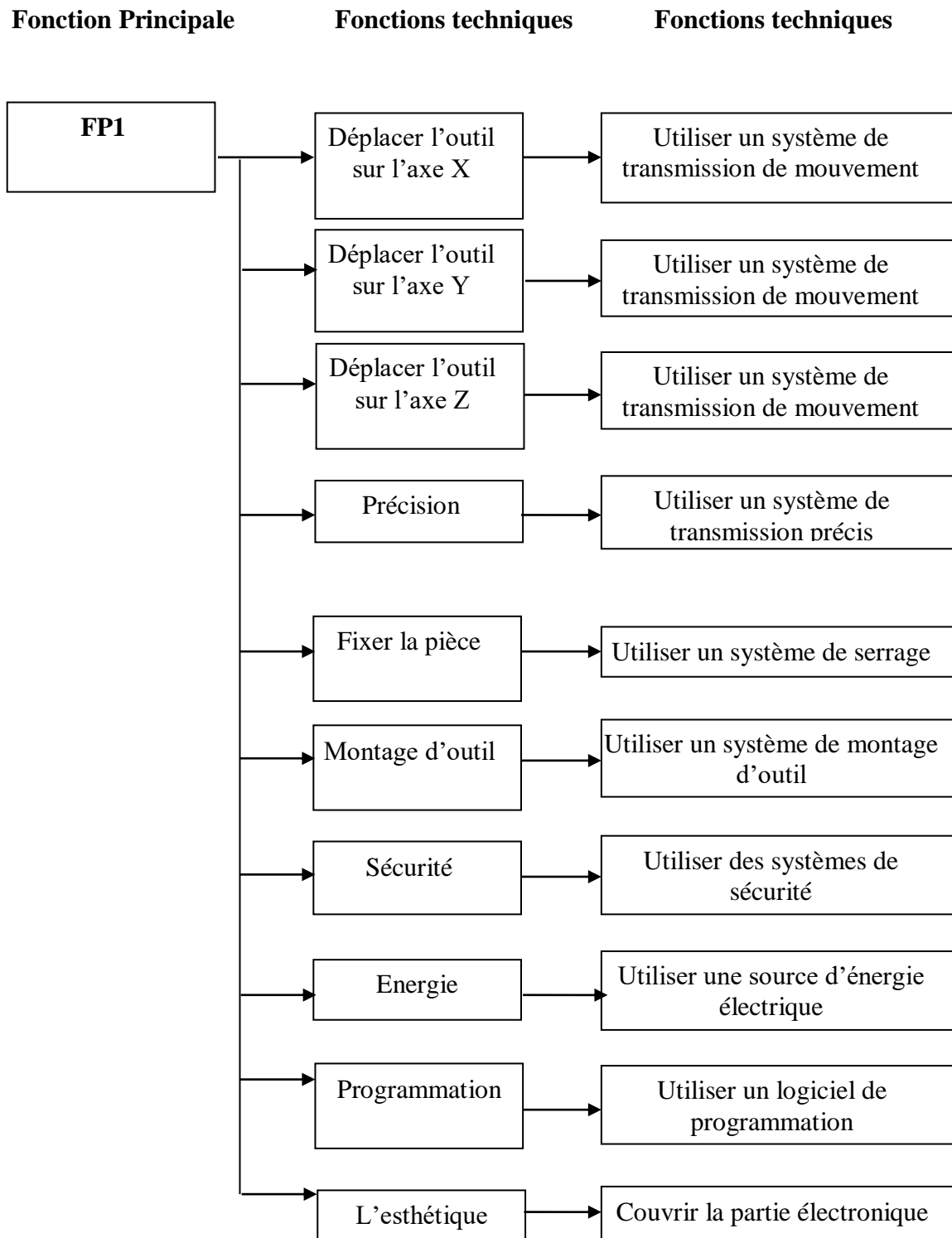


Figure 2.4 : Diagramme FAST de la fonction

2.3.Cahier des charges fonctionnel de la micro fraiseuse

Le cahier des charges fonctionnel (CdCF) est un document formalisant un besoin, en détaillant les fonctionnalités attendues du système, ainsi que les contraintes (techniques, réglementaires, budgétaires...) auxquelles il est soumis.

Tableau 2.1 : Cahier de charge

Repère	Fonction	Critère d'appréciation	Niveau
FP	Permet d'usiner une pièce prismatique	-Déplacement de la pièce -Déplacement de l'outil -Précision	-Système de transmission Vis-écrou -Filetage trapézoïdale -Pas : 2 mm -Diamètre : 8 mm -Ecou en laiton
FC1	Sécurisé le système	-Norme de sécurité	-2 capteurs de fin de course pour chaque axe -Arrêt d'urgence
FC2	Permet de contrôler le mouvement	-Vitesse -Déplacement	-Moteur pas à pas Nema 23 -Carte ARDUINO UNO -Driver TB6560
FC3	Alimenter le système	-Voltage	-Boite d'alimentation -Input : 220V -Output : 12V-45V
FC4	Permet le serrage de la pièce	-Norme de serrage -Dimension de la pièce	-Etaux -Course : 200mm
FC5	Permet le montage d'outil	-Diamètre d'outil -Norme de montage d'outil	-Broche -Diamètre min : 0.8mm -Moteur de la broche -Vitesse : 0-3000 tr/min -Input : 12V -25V
FC6	Permet l'agréable à l'œil	-esthétique	-Cage pour la partie électronique -gaine pour les fils

2.4.Conclusion :

L'élaboration du cahier des charges à nous clarifier beaucoup de chose et nous a définie presque toute les pièces de notre machines, mais il nous reste la partie la plus importante qui sera présenté dans le chapitre suivant.

CHAPITRE 3 :

**Processus de
conception et solutions
technologiques**

Dans cette partie, le choix des solutions technologiques sera présenté avec la conception du système.

3.1. Solutions technologiques

Dans cette partie les solutions technologiques possibles seront présentées dans le but de sélectionner les plus pertinentes.

3.1.1. Bâti de la machine :

Les principaux types du bâti sont : structure en porte à faux ou cantilever, structure à colonne, structure à pont mobile, structure à pont fixe et structure à portique, voir figure 3.1 suivante.

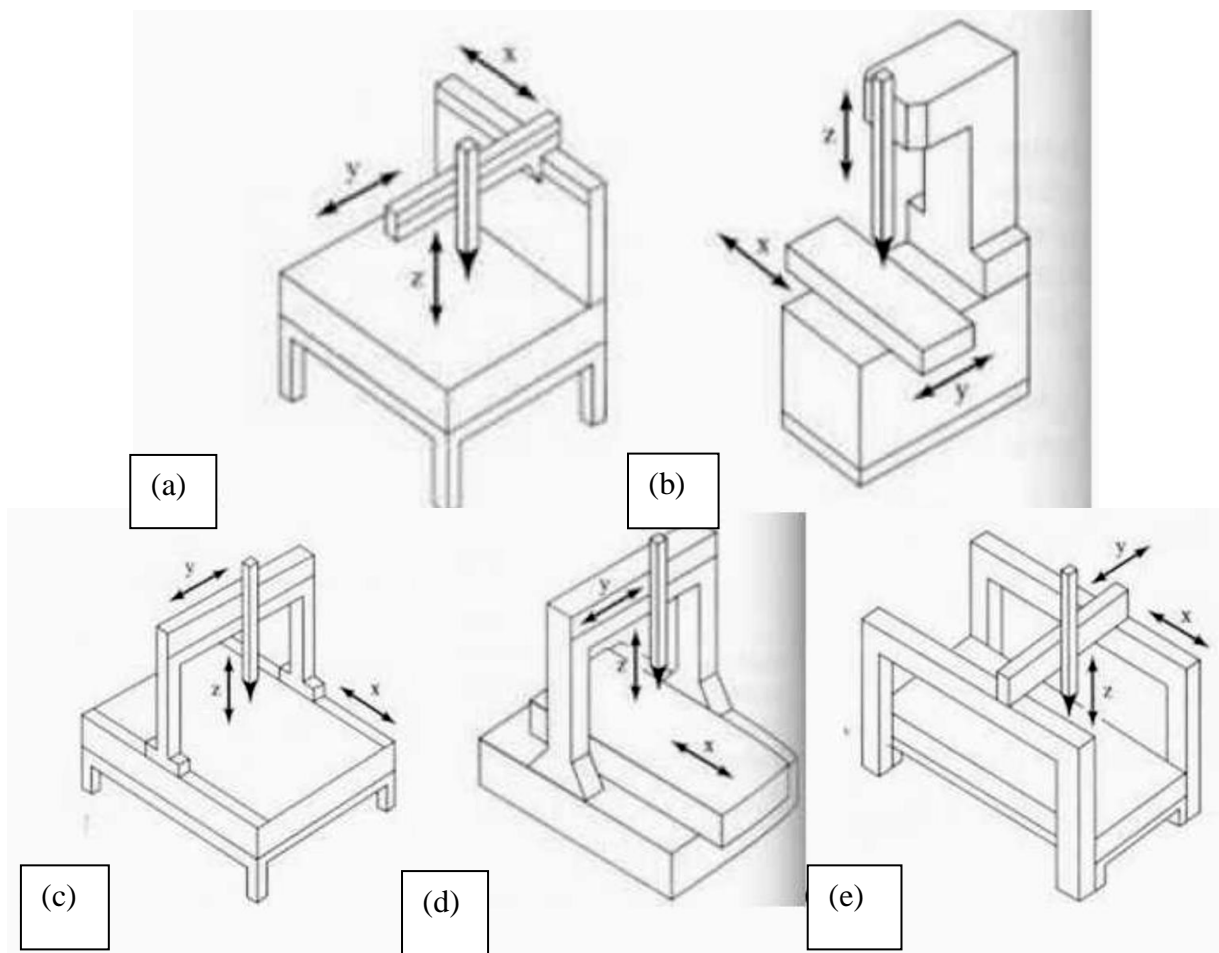


Figure 3.1 : structure de bâti : (a) porte à faux, (b) colonne, (c) pont mobile, (d) pont fixe, (e) portique [12]

a) *Les structures en porte-à-faux et colonnes*, illustrées sur la figure 3.1 (a) et (b) respectivement :

- présentent un minimum d'obstacles,
- flèche importante puisque l'axe Z est supporté uniquement d'un côté.
- La structure à colonne découple l'axe Z de l'axe des X et de l'axe des Y, ce qui pourrait améliorer la précision, les inexactitudes dans l'axe Z seront indépendantes de la précision de l'axe X et Y.

b) *Pont mobile, et les structures de type portique*, (figure (c)) :

- peuvent être utilisées pour de grandes portées avec un minimum de flèche comparées aux structures en porte-à-faux et colonnes.
- une plus grande zone de travail.
- Dans la structure à pont mobile comme son nom l'indique, c'est le cadre qui se déplace, cela permet à l'axe des X d'être monté près du sol, ce qui est avantageux lorsque la masse du mécanisme de l'axe X est grande par rapport à la masse de la structure. Ce type de structure est susceptible de lacet, dans lequel les deux pieds du pont se déplacent à vitesses différentes, entraînant une torsion du pont.
- Le composant est actionné en plus du cadre, ce qui nécessite un grand encombrement, ce qui constitue un inconvénient majeur de ces structures.

c) *Pont fixe* (figure (d)) :

- Une structure à pont fixe élimine ce problème de lacet en actionnant le composant au lieu du cadre.
- Ce type de structure dissocie l'axe X des autres axes Y et Z, ce qui peut fournir une grande précision puisque les inexactitudes de l'axe X sont indépendantes des axes Y et Z.

d) *portique*, (figure (e)) :

- Une structure à portique actionne la section supérieure du pont plutôt que la structure entière du pont, la masse mobile suivant X est réduite comparée aux autres cas.
- C'est une structure rigide, elle permet d'améliorer la précision de positionnement.

Dans cette étude, la structure à pont fixe (d) est choisie pour la réalisation de la mini fraiseuse CNC 3 axes. La structure à pont fixe offre les avantages suivants : grande rigidité,

bonne précision obtenue grâce au découplage partiel des axes, vitesse et accélération importantes grâce à la diminution de la masse mobile.

Un certain nombre de constructeur utilise ce type de bâti on peut citer à titre d'exemple : la fraiseuse MC64 (figure 3.2), la fraiseuse M-VB (figure 3.3), la fraiseuse Arsen (figure 3.4)



Figure 3.2 : la mini-fraiseuse MC64 [13]



Figure 3.3 : la mini-fraiseuse M-VB [13]



Figure3.4 : la mini-fraiseuse Arsen [13]

D'où le type de la structure choisie est très utilisé dans le domaine industriel.

3.1.2. Sous systèmes de déplacement (X, Y et Z) :

Le sous-système de déplacement linéaire est assuré par les fonctions techniques suivantes :

- Transformer l'énergie électrique en énergie mécanique.
- Transformer le mouvement de rotation en mouvement de translation.
- Guider les axes (X, Y et Z) en translation.
- Lier l'arbre moteur au système de transformation de mouvement.
- Contrôler le déplacement des axes (X, Y et Z)

3.1.2.1. Transformer le mouvement de rotation en mouvement de translation :

La transformation du mouvement est une fonction mécanique qui consiste à transmettre un mouvement d'une pièce à une autre, tout en modifiant sa nature. Le mouvement recherché dans notre cas, s'obtient en transformant un mouvement de rotation donné par le moteur en un mouvement de translation de la table ou de l'outil.

Parmi les systèmes de transformation du mouvement, on retrouve les systèmes suivants [8,9]:

➤ **Système vis-écrou :** Le système vis-écrou permet de transformer un mouvement de rotation en un mouvement de translation en combinant les mouvements d'une vis et d'un écrou. Ce mécanisme permet d'exercer des forces et des pressions importantes. Il permet aussi des ajustements fins mais une défaillance peut entraîner des problèmes de guidage. Les deux principaux types de mécanismes vis-écrous sont : les vis à billes et les vis ACME. Une vis à billes utilise des roulements à billes à recirculation. Le mécanisme est plus cher que le système à vis ACME mais avec un bon rendement (frottement faible), une précision et une espérance de vie plus élevées que les vis ACME. Les vis ACME ne sont pas aussi précises que les vis à billes et fonctionnent avec un rendement plus faible que les vis à billes, mais par contre elles sont nettement moins chères et nécessitent peu ou pas d'entretien.

➤ **Système pignon-crémaillère :** Le système pignon-crémaillère transforme le mouvement de rotation du pignon en un mouvement de translation de la crémaillère. Il n'y a aucun glissement lors de la transformation de ce mouvement. La force motrice de ce système est relativement grande. Utilisé pour les grandes courses sans risques de déformations importantes, contrairement à la transmission vis-écrou. Parmi les inconvénients on peut citer :

nécessiter d'une lubrification importante, un ajustement précis à cause des dents entre la roue et la crémaillère, Il y a beaucoup d'usure.

➤ **Système poulies-courroie** : Les poulies crantées et la courroie associée assurent une transformation de mouvement sans glissement. Les avantages du mécanisme : souplesse de la transmission due à l'élasticité de la courroie, possibilité de faire varier l'entraxe, pas de lubrification, silencieux. Les transmissions poulies-courroie sont efficaces dans les applications dont la charge utile à déplacer est faible (robots cartésiens). Les vitesses linéaires de déplacement et les accélérations sont élevées. Les inconvénients sont : usure de la courroie, entretien régulier.

Le choix dans notre cas est porté sur une transmission vis-écrou pour les trois axes X, Y et Z. Le choix de la solution est basé essentiellement sur une comparaison avec des systèmes industriels existants (voir figure 3.5), et par les contraintes de coût et disponibilité sur le marché.



Figure 3.5 : Eléments de transmission [8] [7] [5] [4] [2]

3.1.2.2. Systèmes de Guidage :

Le guidage permet de déplacer une charge suivant une trajectoire linéaire avec une grande précision. De nombreuses solutions existent, leur objectif commun est d'offrir un jeu

mécanique réduit, un rendement maximal et une longue durée de vie. Les termes courants associés sont nombreux: rail, guide, coulisseau, glissière, etc. [12].

Les guidages utilisés sont très nombreux, on peut les classer ainsi :

➤ **Guidage à contact directe** : guidage prismatique, guidage par arbre coulissant, guidage par liaisons multiples.

➤ **Guidage à Eléments roulants** : Il existe une grande variété d'éléments roulants standards permettant de réaliser une liaison glissière. Le coût de ces éléments limite leur utilisation aux cas pour lesquels le frottement doit être réduit et les efforts sont importants. Ces éléments admettent des vitesses importantes, un bon rendement et une grande précision.

En général les guidages à éléments roulants, voir la figure 3.6 suivante, sont les plus utilisés.

1. Guidage par galets
2. Guidage à recirculation de billes
3. Guidage à recirculation de rouleaux



Guidage par galets



Guidage à recirculation de billes



Guidage à recirculation de billes

Figure 3.6 : Guidage à éléments roulants

Les douilles à billes à recirculation doivent fonctionner avec un coefficient de frottement très faible pour éviter les à-coups pendant les déplacements. Les rails profilés sont généralement plus chers que les rails ronds et peuvent être plus difficile à aligner. Les rails ronds sont généralement moins chers et supportent des charges plus faibles que les rails

profilés. Par conséquent, les rails profilés sont généralement utilisés dans des applications avec les exigences suivantes : fortes charges et/ou haute précision [12].

Les systèmes de guidage à galets roulent sur des profilés avec des rainures en « V ». Ils sont plus faciles à mettre en œuvre. Leur conception simple nécessite peu ou pas d'entretien. Ils coûtent moins cher que les rails ronds et les rails profilés, sont plus faciles à installer et peuvent couvrir de longues distances. Leurs inconvénients majeures c'est qu'ils ne sont pas précis comparés aux rails ronds et à profilés [12].

Dans cette étude le choix s'est porté sur le système de guidage à douilles à circulation de billes pour les raisons citées précédemment.

3.2.L'arbre moteur au système de transformation de mouvement :

La liaison de l'arbre moteur à la vis de transmission se fait par l'intermédiaire d'un accouplement. Les accouplements élastiques réalisent une transmission entre arbres non parfaitement alignés. Leur capacité à absorber des déformations angulaire ou radiale leur permet de participer à la protection des organes de transmission (arbres, pignons, chaînes, ...) lors des à-coups de fonctionnement dus aux accélérations ou décélération brutales. Il existe de nombreuses variétés d'accouplements élastiques. Le choix est fait sur l'accouplement métallique à fentes multiples, voir figure suivante. Ce type d'accouplement est lié par adhérence (vis de pression) à chacun des arbres. La déformation de la partie métallique centrale est possible du fait des multiples fentes réalisées dans cette partie cylindrique.

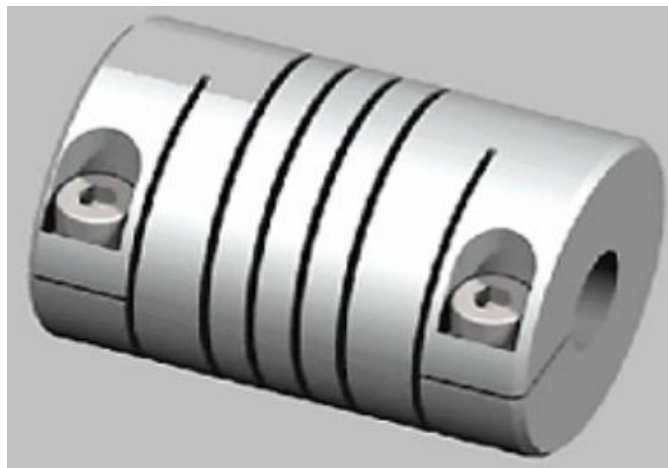


Figure 3.7: Accouplement métallique à fentes

3.3.Transformeur l'énergie électrique en énergie mécanique « Motorisation » :

Les moteurs sont essentiels dans la chaîne de commande de mouvement. Ils doivent réagir rapidement aux ordres de commande, être capables de fonctionner de l'arrêt jusqu'à plusieurs

milliers de tours par minute, accepter les surcharges et nécessiter le moins d'entretien possible.

Les deux types de moteurs électriques les plus utilisés dans les machines CNC sont : les moteurs pas à pas et les servomoteurs DC (Direct Current) ou AC (Alternative current).

Les moteurs peuvent être de plusieurs types :

- les moteurs à courant continu,
- les moteurs pas-à-pas,
- les moteurs synchrones,
- les moteurs asynchrones,
- les moteurs DC brushless,
- les moteurs linéaires,
- les moteurs piézoélectriques.

a) Moteurs pas à pas

Le moteur pas-à-

pas fut inventé par Marius Lavet en 1936 pour l'industrie horlogère. Les moteurs pas à pas sont utilisés pour commander avec grande précision le déplacement et la position d'un objet (imprimantes, scanners, disques durs, machines CNC ...). Les moteurs pas à pas sont des moteurs spéciaux, composés simplement d'un stator réunissant des pièces polaires et des bobinages. Ils nécessitent donc non seulement un circuit de puissance mais également un circuit de commande qui contient une partie logique. Cette dernière détermine pour chaque pas quelles sont les bobines alimentées et le sens de rotation. La fréquence de l'horloge du circuit logique détermine la vitesse de rotation. Les moteurs pas à pas fonctionnent avec un signal de direction 0-5V et un autre signal en onde carrée pulsé à une certaine fréquence. Le signal de direction dicte le sens de rotation et le signal pulsé détermine les déplacements du rotor et la vitesse selon la fréquence. Chaque pulse correspond au déplacement du rotor d'un pas. La Majorité des moteurs pas à pas ont une résolution de 200 pas par tour (pas complet 'Full Stepping'). Les variateurs permet d'obtenir une résolution plus élevée que 200 pas par tour (exemple : 400 pas/tour [1/2 pas 'Half-stepping'], plus de 400 pas/tour [micro pas 'Microstepping']) et donc un positionnement plus fin. Les moteurs pas à pas développent leur couple maximal à basse vitesse c'est un organe de positionnement et de vitesse travaillant généralement en boucle ouverte [12].

On trouve trois types de moteurs pas-à-pas :

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

Avantage :

- Positionnement avec une certaine immobilisation,
- Robuste et fiable,
- Précision de positionnement relativement bonne,
- Asservissement simple (pas de boucle d'asservissement requise),
- Pas d'ajustement requis

Le servomoteur doit être absolument utilisé en boucle fermée. Il est généralement constitué d'un moteur CA ou CC intégré à un codeur. Le codeur est un capteur qui fournit au contrôleur la position et la vitesse de l'axe. Par la suite, des consignes de position peuvent être atteintes en incluant un PID. Le servomoteur intègre dans un même boîtier, la mécanique (motoréducteur), et l'électronique, pour la commande et l'asservissement du moteur. Il est utilisé surtout pour les grandes vitesses de déplacement et pour une grande précision ($\pm 0.002\text{mm}$), mais son prix est nettement plus élevé à celui d'un moteur pas à pas à cause de toute l'électronique associée au système. Les servomoteurs sont plus sensibles aux dommages dus à la surchauffe et la surcharge [12].

Vue les avantages que présente le moteur pas à pas à réluctance variable: prix abordable, pas de boucle d'asservissement, précision de positionnement relativement bonne, facile à installer, c'est évidemment la solution qui sera utilisée pour la motorisation des trois axes de la fraiseuse CNC.

3.4. Contrôler le mouvement des axes

La commande des actionneurs peut se faire par :

- **Un automate programmable industriel, ou API :** est un dispositif électronique programmable destiné à la commande de processus industriels par un traitement séquentiel. Il envoie des ordres vers les actionneurs à partir de données d'entrées d'un capteur, de consignes et d'un programme informatique.
- **Un microcontrôleur :** On peut définir un microcontrôleur comme une unité de traitement de l'information de type microprocesseur. Les microcontrôleurs sont des circuits intégrés qui permettent l'exécution d'un programme dont les actions dépendent de l'état des variables d'environnement du système. Il est constitué :

1. d'un Processeur (CPU). avec une largeur du chemin de données allant de 4 bits pour les modèles les plus basiques à 32 ou 64 bits pour les modèles les plus évolués,
2. de Mémoire morte, pour le programme (PROM, EPROM, ...),
3. de Mémoire vive pour les calculs et le stockage de données,
4. d'unités périphériques et interfaces d'entrées/sorties qui vont permettre la communication avec l'extérieur.

a) Plate-forme Arduino

Arduino est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation.

a.1. Carte d'interface Arduino UNO

La commande du système se fait par une carte Arduino Uno (figure 3.8) qui est basée sur microcontrôleur ATMEL de référence ATmega328. L'ATmega328 est un microcontrôleur 8 bits, cadencé à 16 MHz dont la programmation peut être réalisée en langage C/C++. Elle peut se programmer avec le logiciel Arduino.



Avantages des cartes Arduino :

- facilité de mise en œuvre.
- Un environnement de développement « intégré » EDI ou IDE en anglais, s'appuyant sur des outils open-source.
- Un environnement de programmation clair et simple et multiplate-forme : Windows, Macintosh et Linux.
- Le chargement et la compilation du programme dans la mémoire du microcontrôleur se fait via un port USB.
- Beaucoup de bibliothèques de fonctions sont également fournies pour l'exploitation des entrées-sorties courantes.
- Nombreux conseils, tutoriaux et exemples en ligne (forums, site perso, etc.).
- Prix abordable.

Caractéristiques de la carte Arduino Uno

- Micro contrôleur : ATmega328
- Tension d'alimentation interne = 5V
- tension d'alimentation (recommandée) = 7 à 12V, limites = 6 à 20 V
- Entrées/sorties numériques : 14 dont 6 sorties PWM
- Entrées analogiques = 6 (avec une résolution de 10 bits => 1024 valeurs différentes)
- Courant max par broches E/S = 40 mA

| CHAPITRE 3 : conception et solutions technologiques

- Courant max sur sortie 3,3V = 50mA
- Mémoire Flash 32 KB dont 0.5 KB utilisée par le bootloader*
- Mémoire SRAM 2 KB
- mémoire EEPROM 1 KB
- Fréquence horloge = 16 MHz
- Dimensions = 68.6mm x 53.3mm

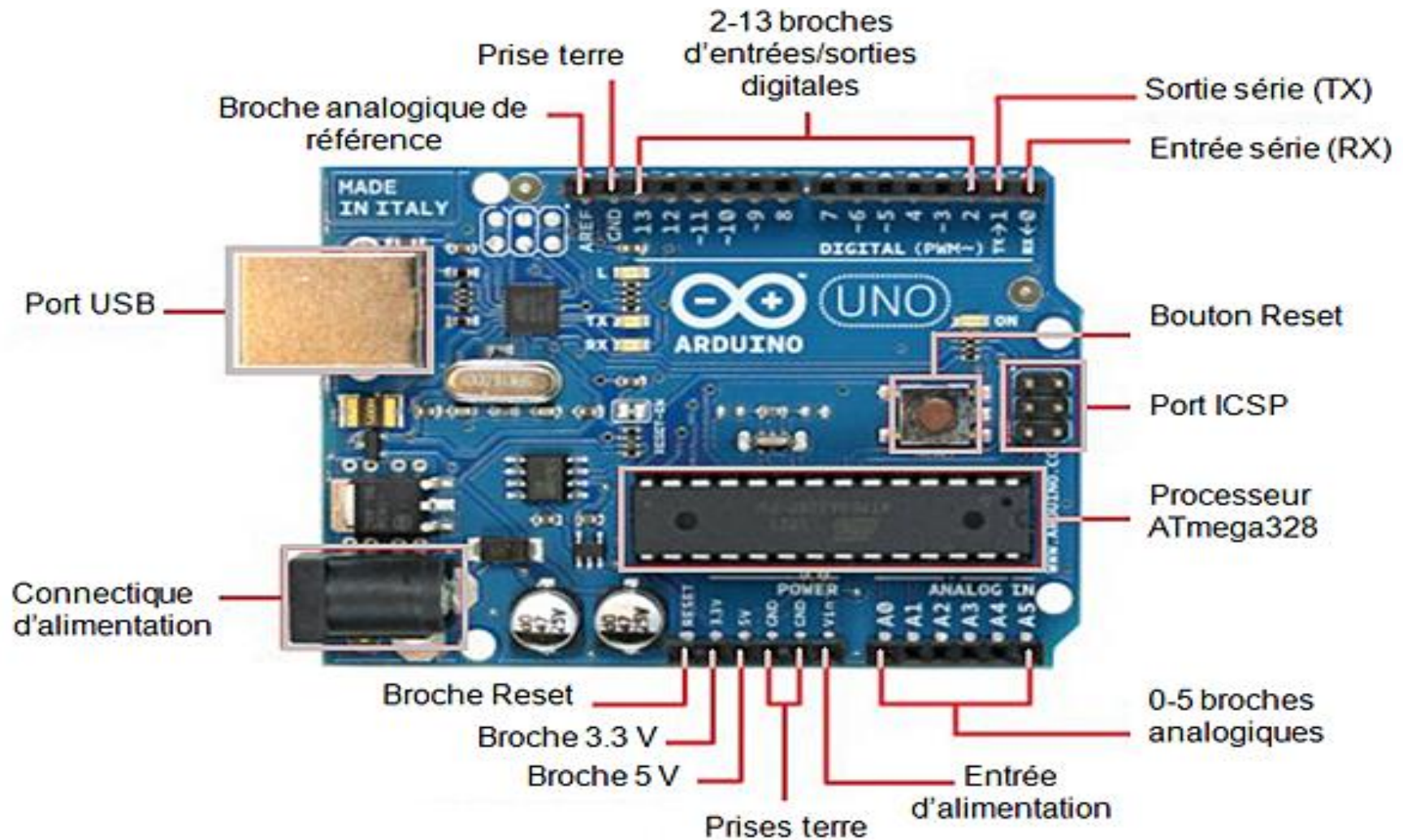


Figure 3.8 : Carte Arduino UNO

a.2. Logiciel Arduino

Arduino IDE est un logiciel open-source qui permet aux utilisateurs d'écrire et de télécharger du code dans un environnement de travail en temps réel. Ce code étant ensuite stocké dans le cloud. Arduino IDE peut être implémenté dans les systèmes d'exploitation Windows, Mac et Linux. La majorité de ses composants sont écrits en JavaScript pour faciliter l'édition et la compilation.

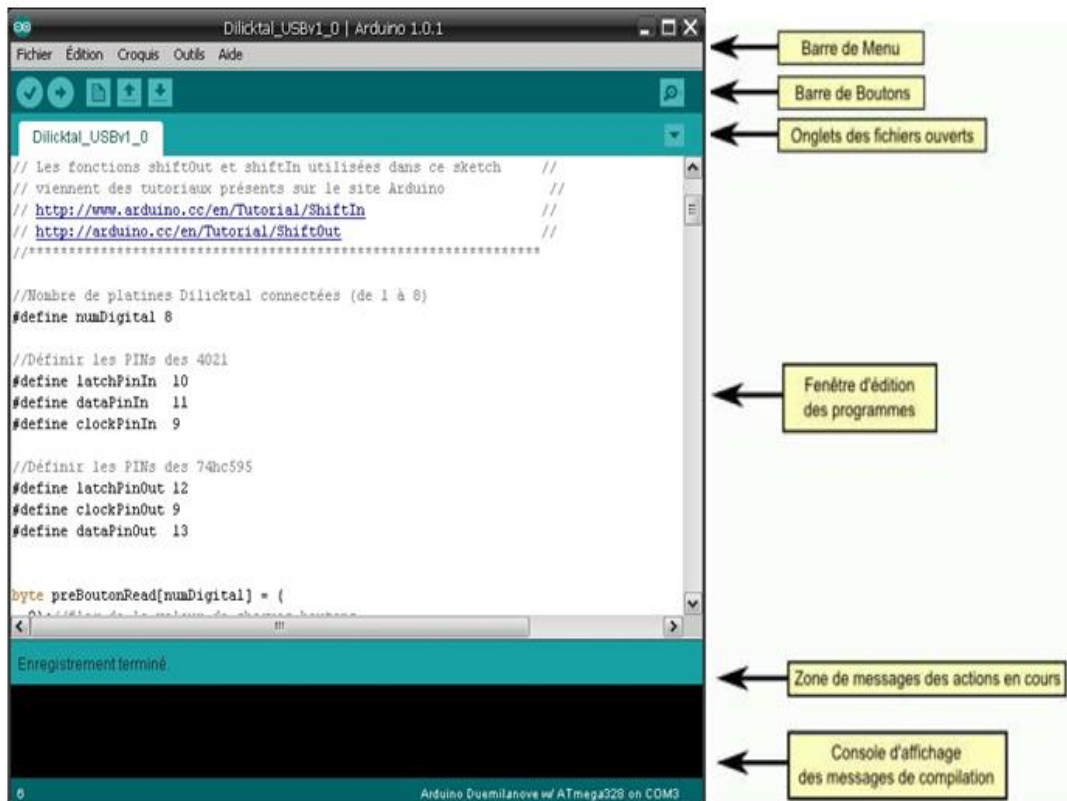


Figure 3.9 : Plate forme Arduino

b) Contrôleurs de moteurs pas à pas « driver »

Un Contrôleur ou driver « microstepping » permet de fournir la puissance nécessaire à la commande des bobines (hacheur intégré) et permet aussi la simplification du pilotage et choisir le mode de pas à pas. Il permet de travailler en pas complet et demi-pas mais également en micropas : de 1/4 jusqu'à 1/256 de pas. Cela est rendu possible en modulant intelligemment la quantité de courant dans les bobines du moteur pas-à-pas. Par exemple, piloter un moteur en mode « 1/4 de pas » permet d'obtenir 800 microsteps (micro-pas) sur un moteur prévu pour 200 pas par révolution et cela en imposant 4 niveaux de courants différents pour chacun des micro-pas. Le driver est donc équipé d'un asservissement de courant pour gérer correctement celui-ci dans les bobines. Un potentiomètre permet de définir la limite de

courant (ou consigne de courant maximale) qui doit être choisie en fonction de la charge entraînée par le moteur et de la vitesse souhaitée.

➤ **Contrôleur Tb 6560**

Trois drivers de type Tb 6560 sont utilisées pour manipuler librement les moteurs. La Tension de fonctionnement entre 10V et 35V et la puissance évaluée 3A. Très facile à utiliser.



Figure 3.10 driver TB6560

3.5. Sous-système de rotation de l'outil de coupe « broche »

Le choix d'une broche définit les limites de l'efficacité de l'usinage. Le choix d'une broche dépend de la matière à usiner et des opérations d'usinage à effectuer.

Pendant l'usinage, il est essentiel que la broche et l'outil soit résistant et supporte les forces de coupe. Il faut s'assurer que la broche :

- résiste à la flexion,
- soit capable de transmettre le couple nécessaire pour assurer l'usinage,
- assure un positionnement précis du centre de l'outil

Dans notre nous avons choisi la broche **GW8278-2 135W**



Figure 3.11 : la broche GW8278-2 135W

3.6.Commande


L'électronique pilotant un moteur pas à pas se divise en 3 fonctions :

- L'alimentation du moteur avec ses contraintes de tensions, courants et puissances à dissiper. C'est l'électronique de puissance.
- Le séquenceur qui gère la chronologie des impulsions.
- L'oscillateur

L'électronique de puissance est alimentée depuis la tension d'utilisation les bobinages. Le séquenceur : Il gère la chronologie des impulsions. Les signaux de commande sont de type logique c'est à dire tension- pas de tension. La chronologie des impulsions dépend :

- du sens de rotation désiré du moteur.
- du fonctionnement en monophasé (pleine onde ou faible puissance) ou fonctionnement biphasé.
- du fonctionnement en pas ou demi-pas (half-step).

Schéma de commande et de puissance :

Rapport gratuit.com  Figure 3.12 : schéma de commande et de puissance

3.7. Conception du système

La partie conception contient les chaînes cinématiques et les graphes des liaisons suivi par solutions techniques développées des sous-systèmes composants la mini-fraiseuse.

3.7.1. Le bâti :

Le bâtier choisi (figure 3.13) est un portique qui est compatible avec notre structure choisie et nous avons le dimensionné de telle sorte qu'il supporte la charge et les efforts d'usinage avec la considération du critère d'esthétique

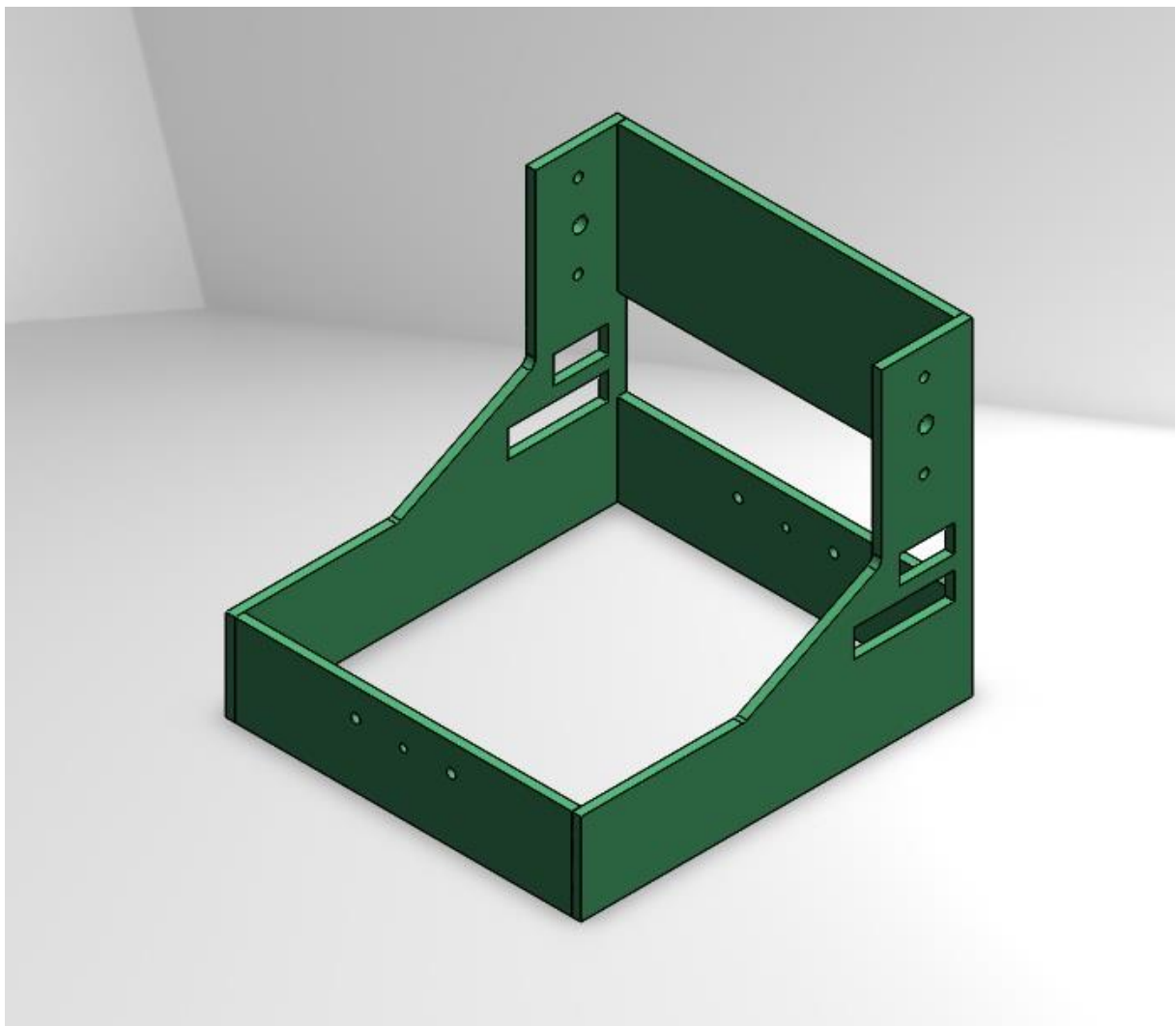


Figure 3.13: le bâti

Le bâtier c'est la pièce qui doit résister à tous les efforts et les vibrations pendant l'usinage, c'est pour ça le choix de sa structure et leur matériau est importants, basé sur ça on a choisi que l'assemblage de ces différentes pièces doit être mécano-soudé, et on a choisi aussi l'acier comme un matériau pour notre bâti.

3.7.2. Les axes X, Y et Z :

Avants la conception de n'importe quel axe on doit passer premièrement par sa chaîne cinématique.

3.7.2.1. La chaîne cinématique :

Tant qu'on a choisi que le système de transformation de mouvement est le même dans tous les axes (vis-écrou) et même le système de guidage ne diffère pas d'un axe à un autre (doublés à billes), donc La chaîne cinématique est la même dans les 3 axes.

La chaîne cinématique des axes est constituée de 3 systèmes équivalents diffère d'un axe à un autre :

Axe X :

- SE₀ : est constitué du bâti et des tiges de guidage, on a choisi 2 tige de guidage pour minimiser la vibration du système.
- SE₁ : est constitué de la motorisation et le système de transformation de mouvement : moteur+accouplement+vis. SE₁ est en liaison pivot avec SE₀.
- SE₂ : est constitué l'écrou, la table et 4 douilles à billes (2 pour chaque tige) pour assurer la Co axialité. Le SE₂ est en liaison glissière avec SE₀ et en liaison hélicoïdale avec SE₁.

Axe Y :

- SE₀ : est constitué du bâti et des tiges de guidage, on a choisi 2 tige de guidage pour minimiser la vibration du système.
- SE₁ : est constitué de la motorisation et le système de transformation de mouvement : moteur+accouplement+vis. SE₁ est en liaison pivot avec SE₀.
- SE₂ : est constitué de l'écrou, le support de l'axe Z et 4 douilles à billes (2 pour chaque tige) pour assurer la Co axialité. Le SE₂ est en liaison glissière avec SE₀ et en liaison hélicoïdale avec SE₁.

Axe Z :

- SE₀ : est constitué le support et les tiges de guidage, on a choisi 2 tige de guidage pour minimiser la vibration du système.
- SE₁ : est constituée de la motorisation et le système de transformation de mouvement : moteur+accouplement+vis. SE₁ est en liaison pivot avec SE₀.

➤ SE2 : est constituée l'écrou, le support de la broche et 2 douilles à billes. Le SE2 est en liaison glissière avec SE0 et en liaison hélicoïdale avec SE1.

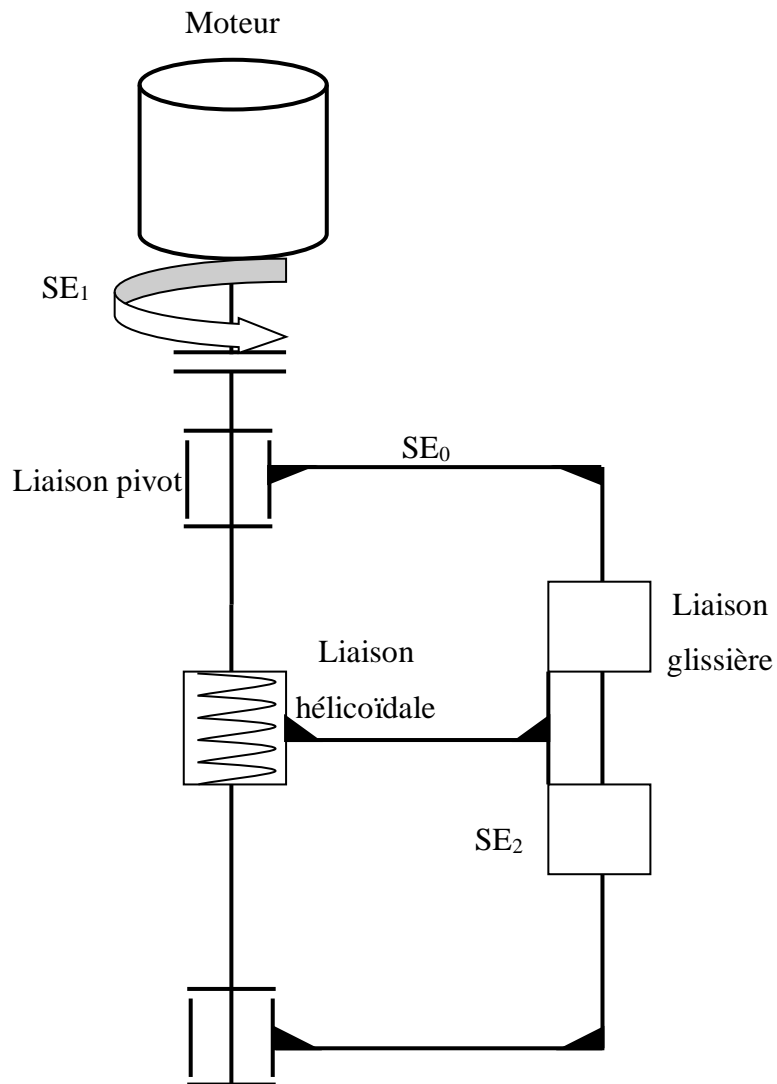


Figure 3.14 : Chaîne cinématique des axes X, Y et Z

3.7.2.2. Graphe des liaisons :

Puisque la chaîne cinématique est la même, Le graphe des liaisons de chaque axe est le même et il est donné par la figure suivante :

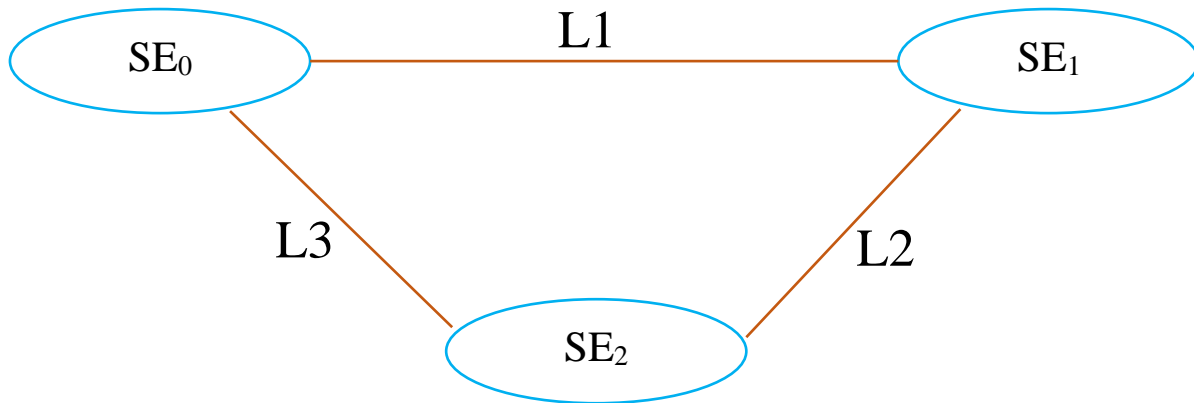


Figure 3.15 : Graphe des liaisons des axes X, Y et Z.

Ou :

L1 : liaison pivot

L2 : liaison hélicoïdale

L3 : liaison glissière

Axe X :

➤ La liaison L1 est une liaison pivot entre le système de transformation de mouvement (moteur+accouplement+vis) SE1 et le bâtier SE0. Cette liaison est réalisée avec 2 palier de roulement la première est fixe avec la vis et la deuxième est libre.

➤ La liaison L2 est une liaison hélicoïdale entre le système de transformation de mouvement (moteur+accouplement+vis) SE1 et la table SE2. Cette liaison est réalisée avec l'écrou qui est fixe avec la table.

➤ La liaison L 3 est une liaison glissière entre la table SE2 et les tiges de guidage qui sont fixe avec le bâtier SE0. Cette liaison est réalisée avec 4 douilles à billes (2 pour chaque tige) pour assurer la Co axialité.

Axe Y :

➤ La liaison L1 est une liaison pivot entre le système de transformation de mouvement (moteur+accouplement+vis) SE1 et le bâtier SE0. Cette liaison est réalisée avec 2 palier de roulement la première est fixe avec la vis et la deuxième est libre.

➤ La liaison L2 est une liaison hélicoïdale entre le système de transformation de mouvement (moteur+accouplement+vis) SE1 et le support de l'axe Z SE2. Cette liaison est réalisée avec l'écrou qui est fixe avec le support.

➤ La liaison L 3 est une liaison glissière entre le support de l'axe Z SE2 et les tiges de guidage qui sont fixe avec le bâti SE0. Cette liaison est réalisée avec 4 douilles à billes (2 pour chaque tige) pour assurer la Co axialité.

✚ **Axe Z :**

➤ La liaison L1 est une liaison pivot entre le système de transformation de mouvement (moteur+accouplement+vis) SE1 et le support SE0. Cette liaison est réalisée avec 2 palier de roulement la première est fixe avec la vis et la deuxième est libre.

➤ La liaison L2 est une liaison hélicoïdale entre le système de transformation de mouvement (moteur+accouplement+vis) SE1 et le support de la broche SE2. Cette liaison est réalisée avec l'écrou qui est fixe avec le support.

➤ La liaison L 3 est une liaison glissière entre le support de la broche SE2 et les tiges de guidage qui sont fixe avec le support de l'axe Z SE0. Cette liaison est réalisée avec 2 douilles à billes.

3.7.2.3.Solution technologique des axes :

La solution technologique décrite par la chaine cinématique précédente est donné par les figures suivantes. La solution est réalisée par le logiciel Solidworks 2018.

- Axe X :

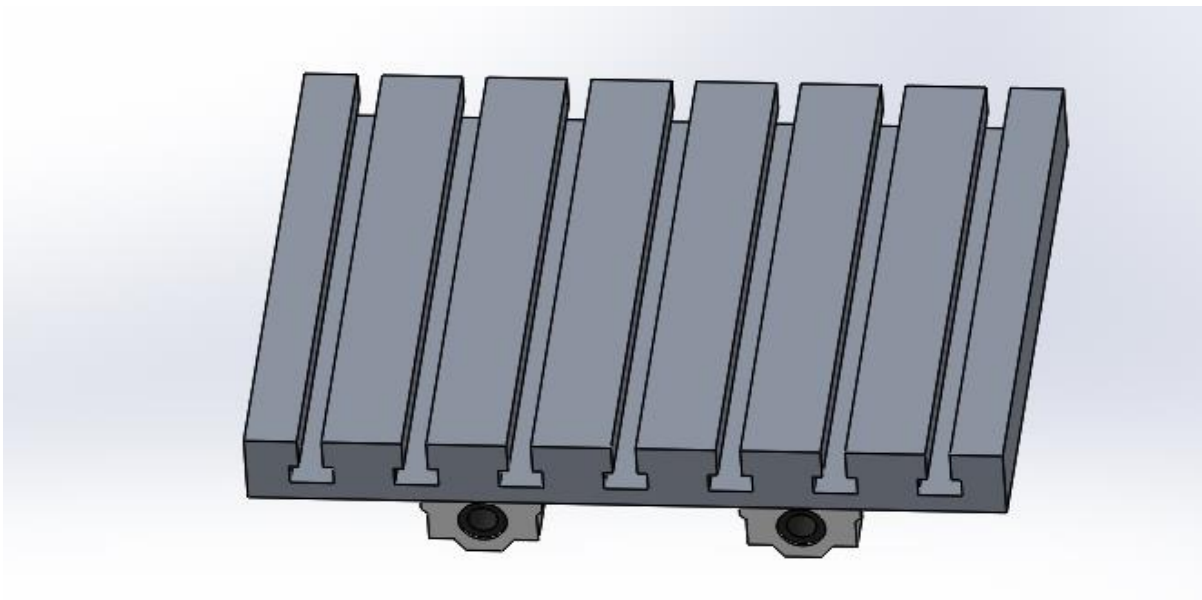


Figure 3.16 : la table de fixation

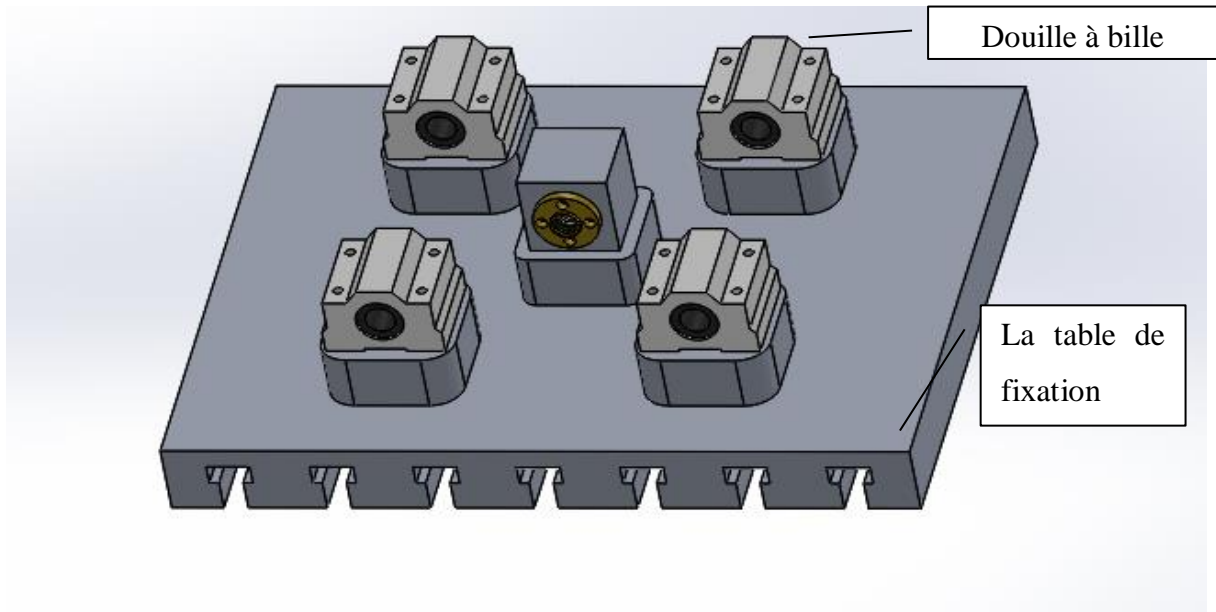


Figure 3.17 : le système équivalent 2

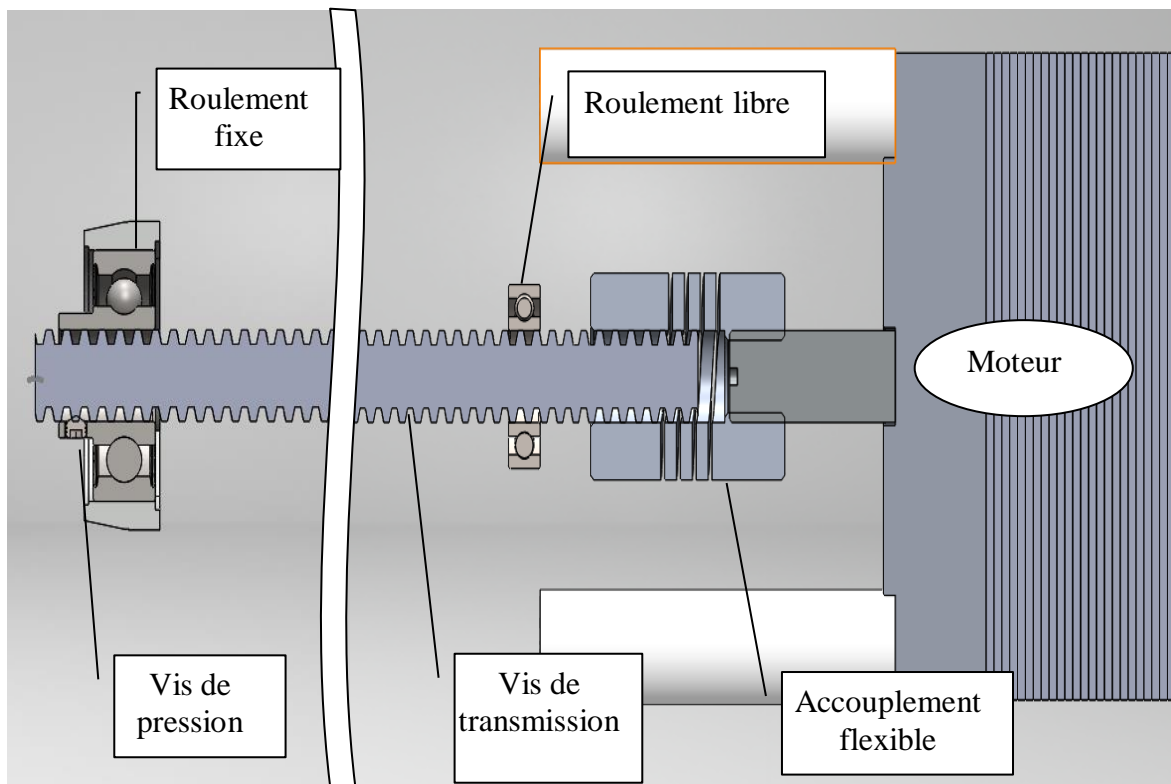


Figure 3.18 : système équivalent 1

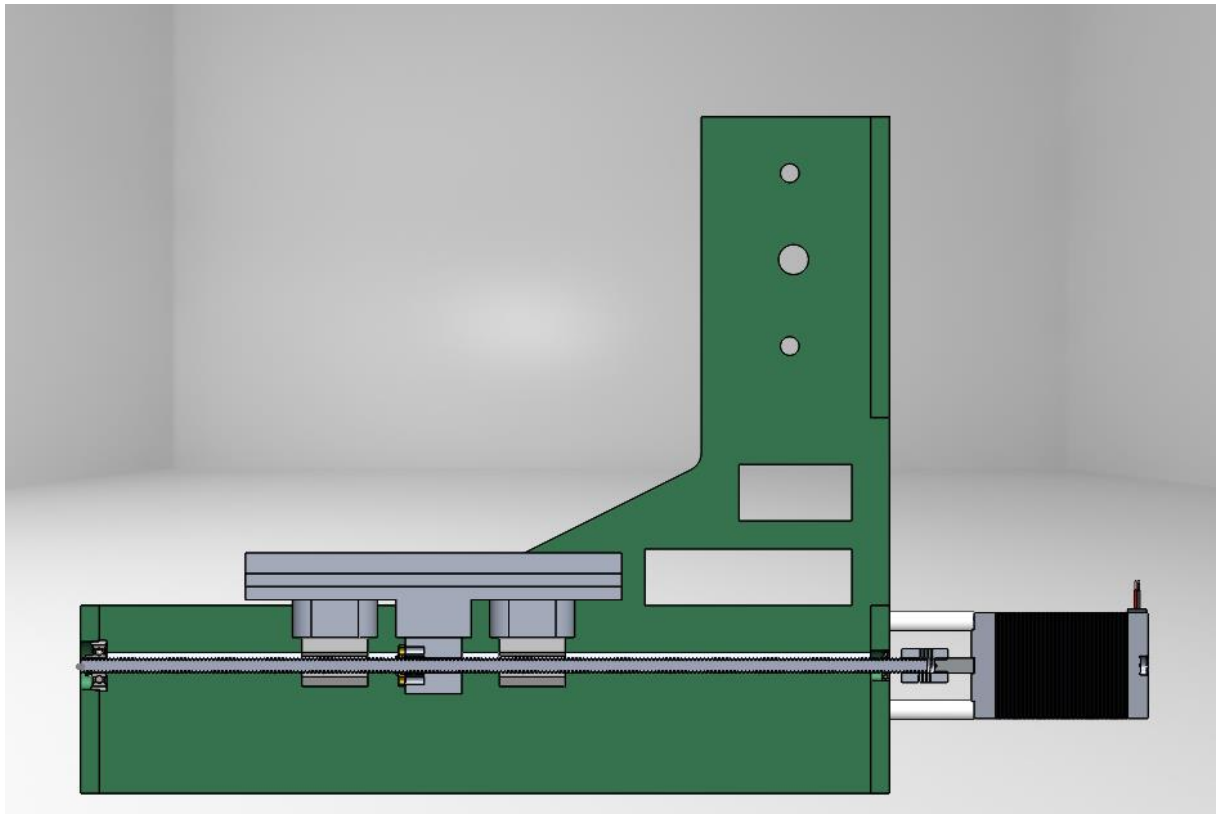


Figure 3.19 : vue de coupe de droite de montage de l'axe X

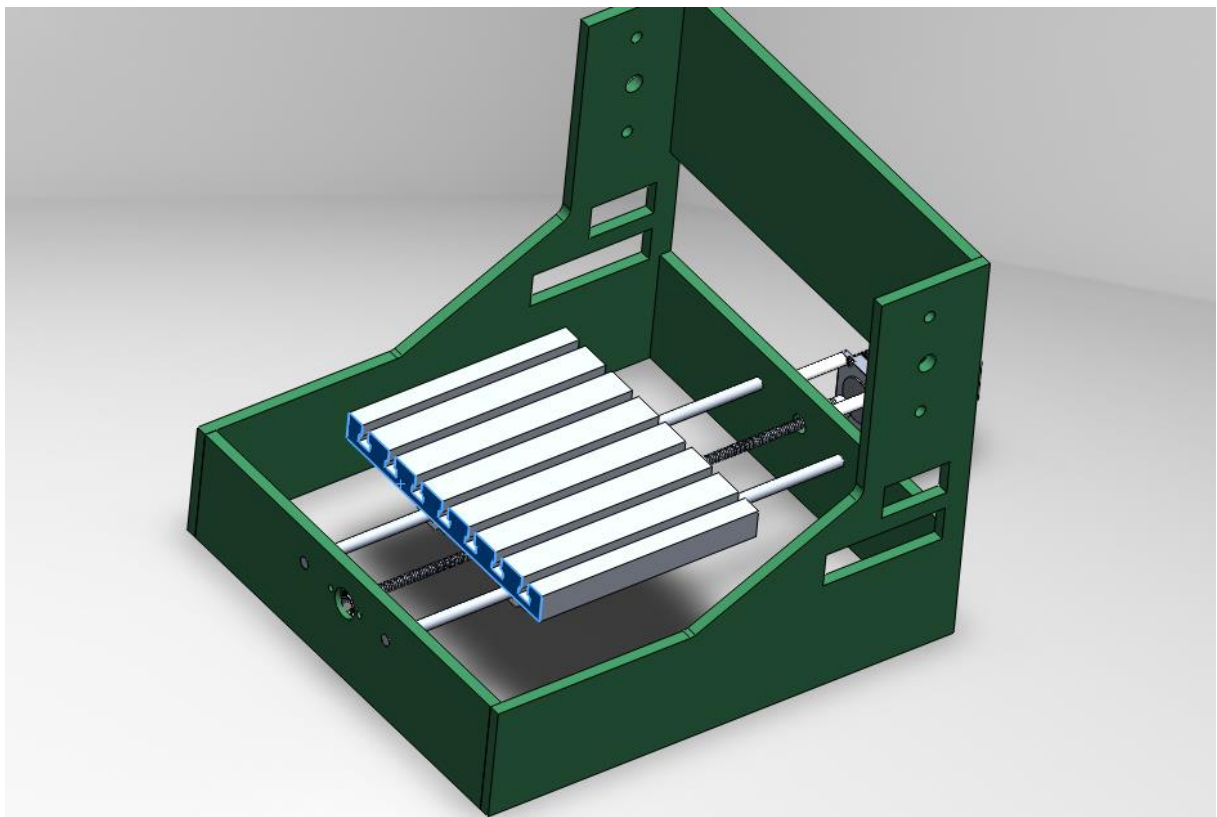


Figure 3.20 : l'assemblage de l'axe X

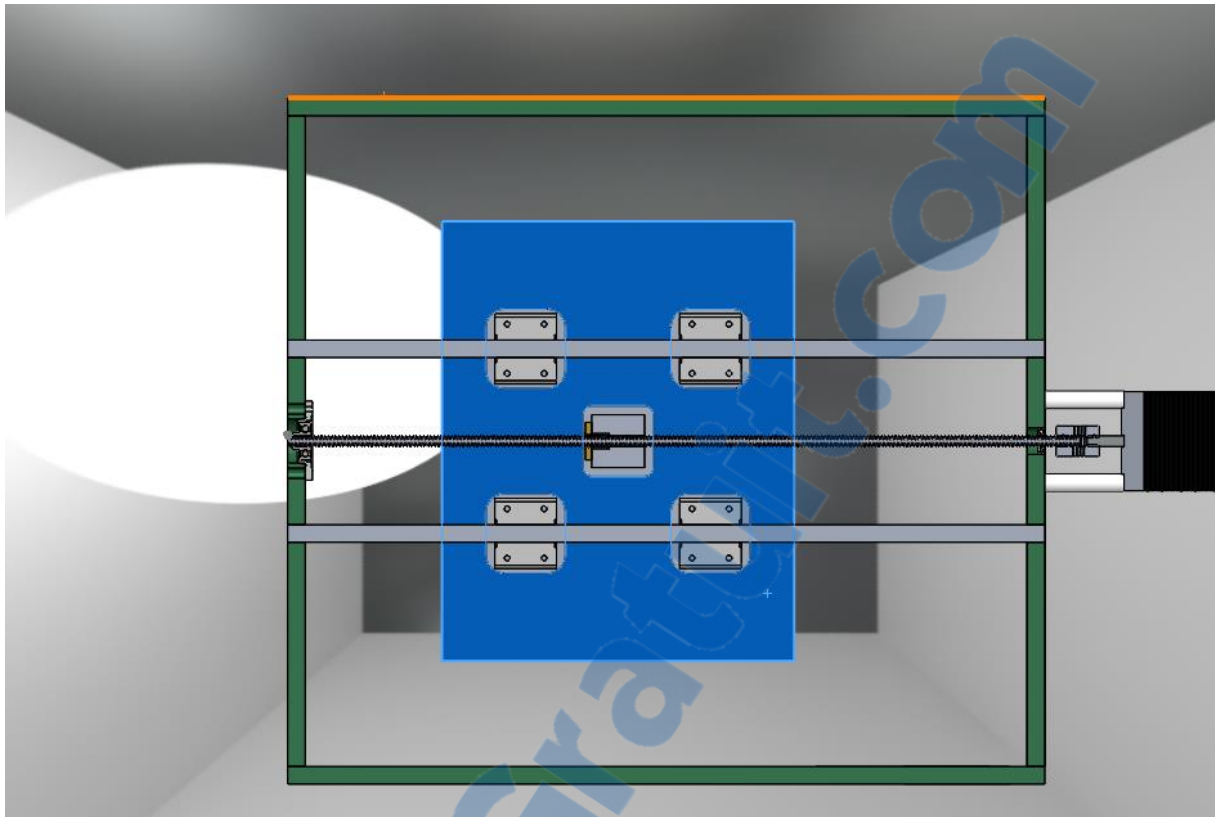


Figure 3.21: vue de coupe de dessous de montage de l'axe X

- Axe Y :

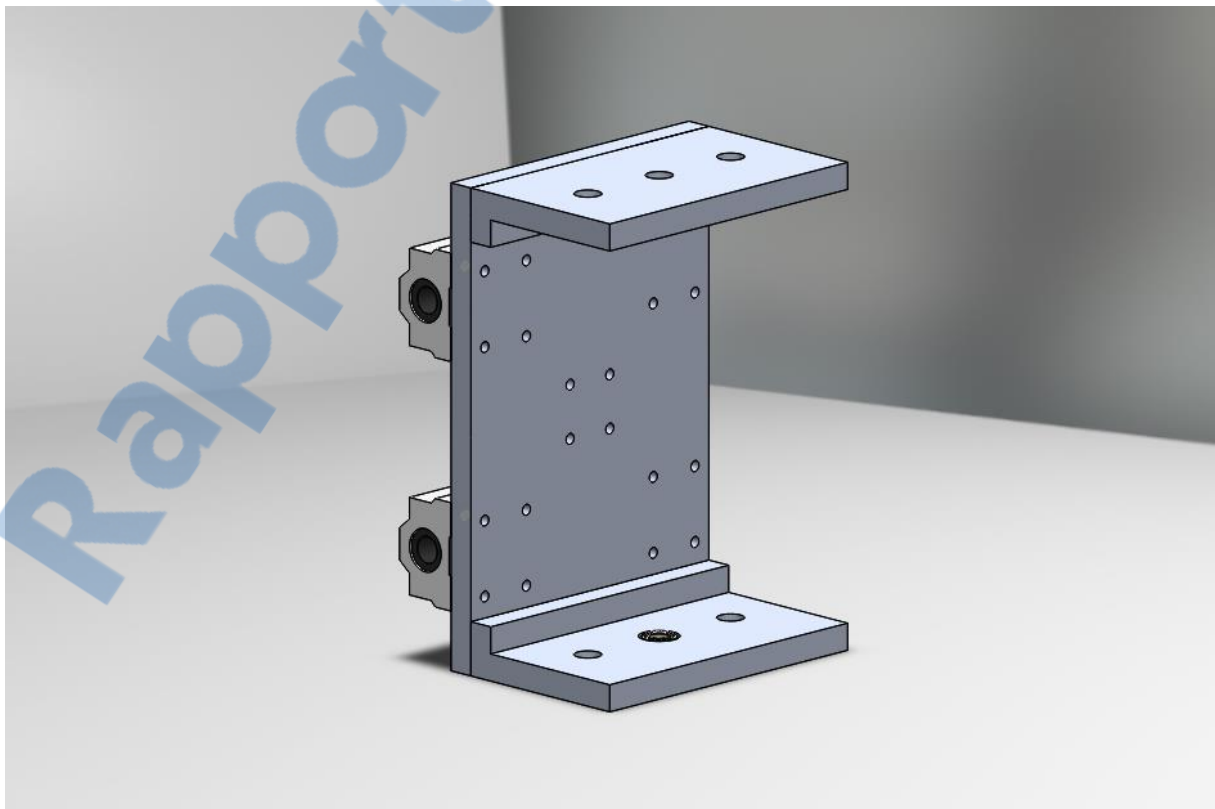


Figure 3.22 : support de l'axe Z

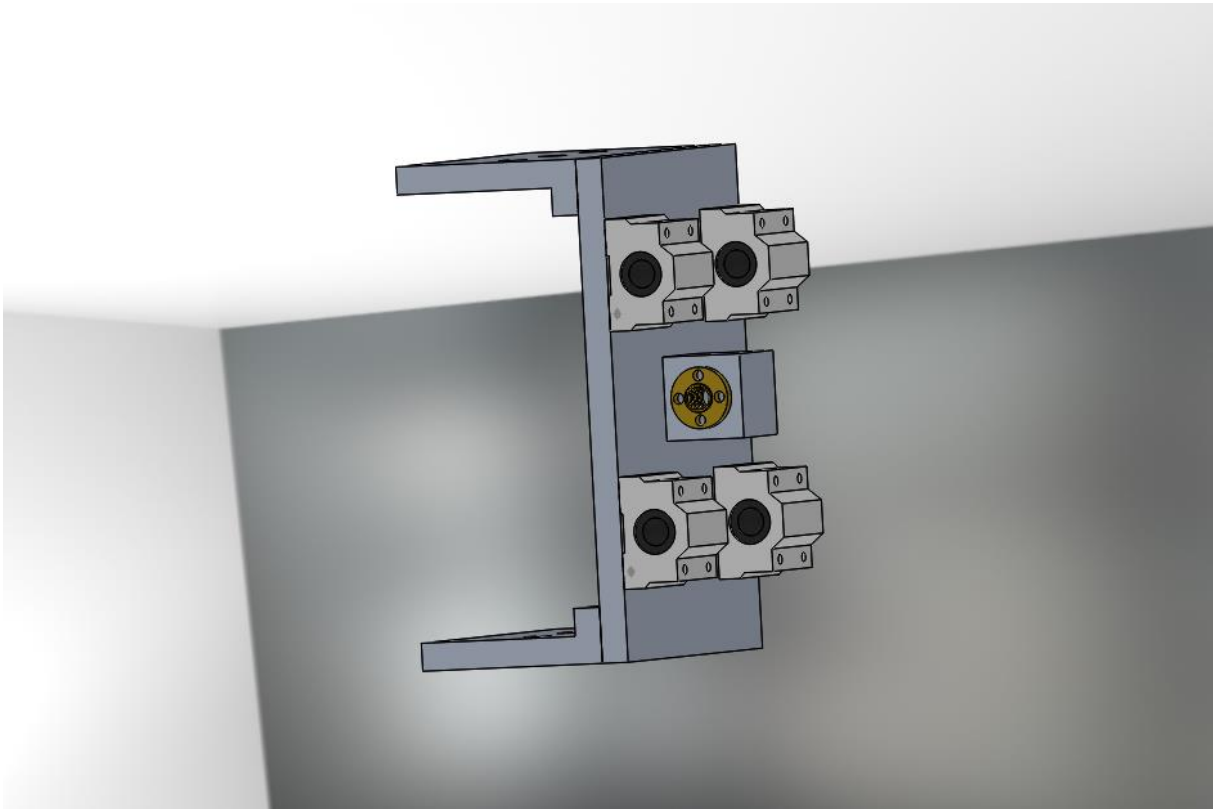


Figure 3.23 : le système équivalent 2

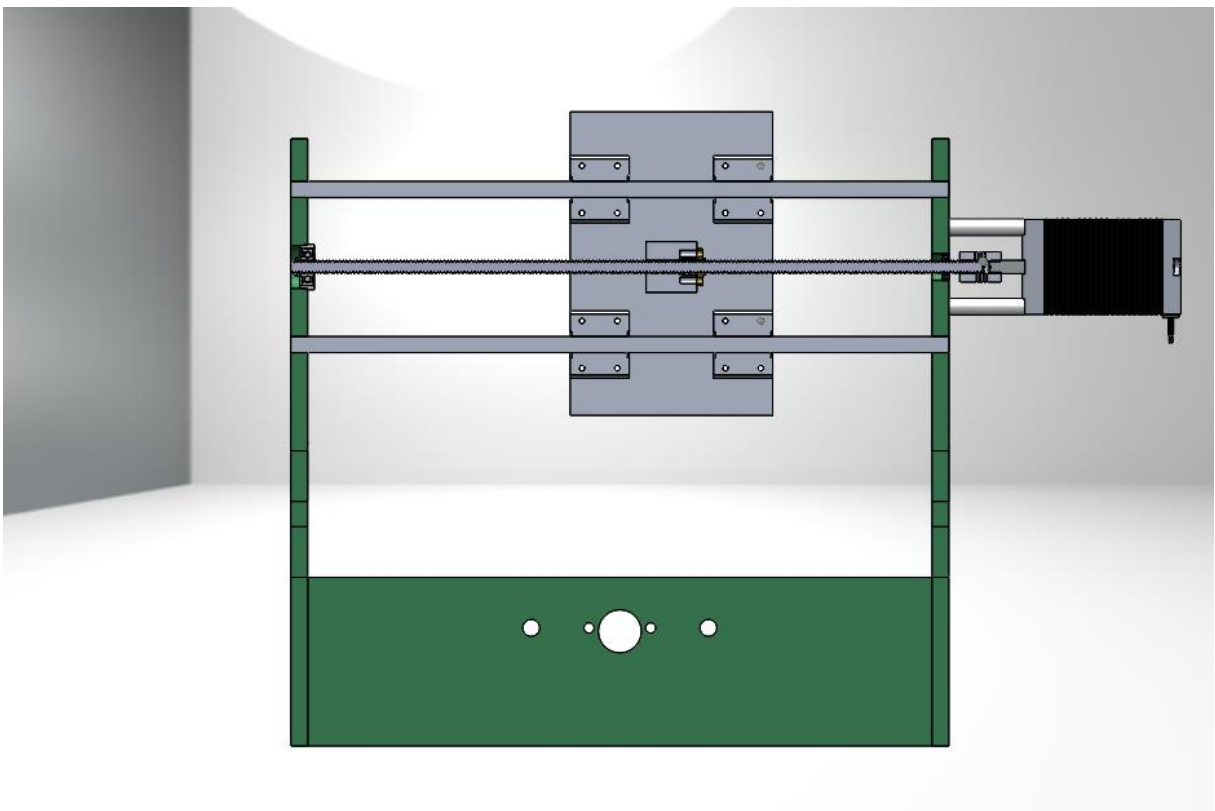


Figure 3.24 : vue de coupe de la face arrière de l'assemblage de l'axe Y

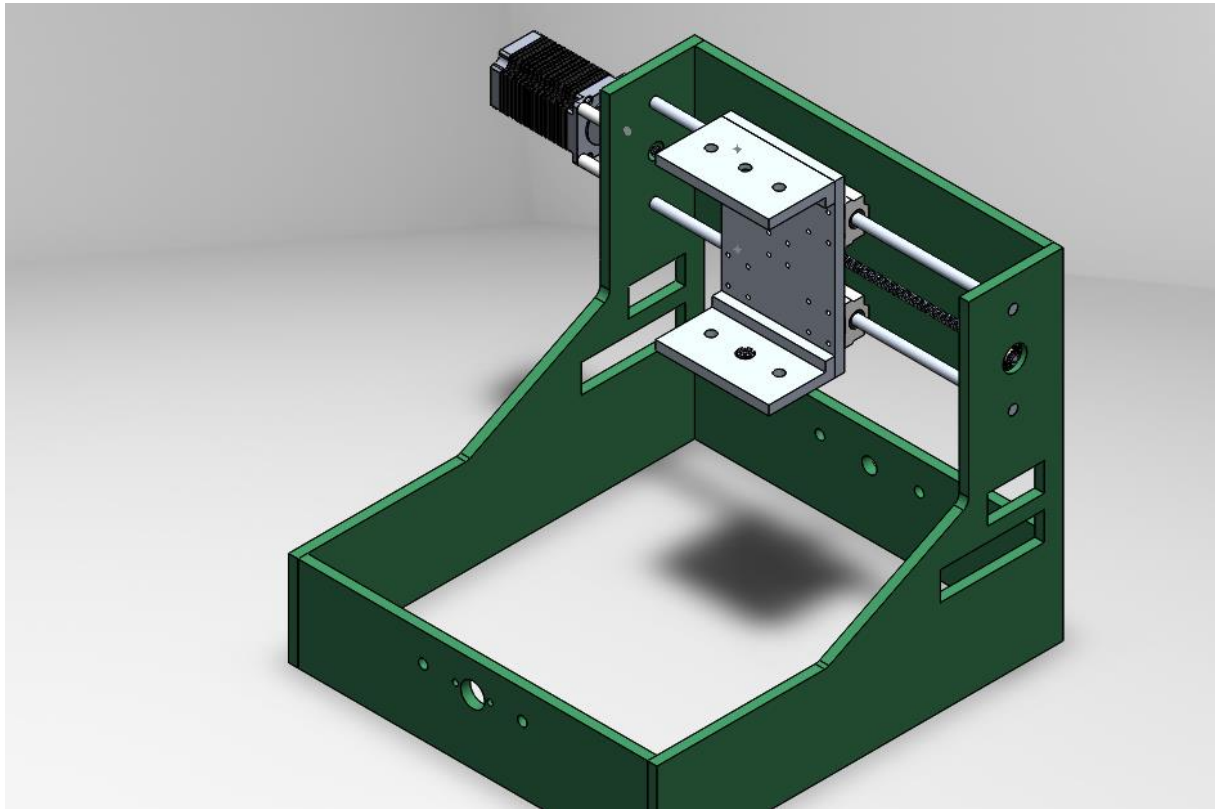


Figure 3.25 : l'assemblage de l'axe Y

- Axe Z :

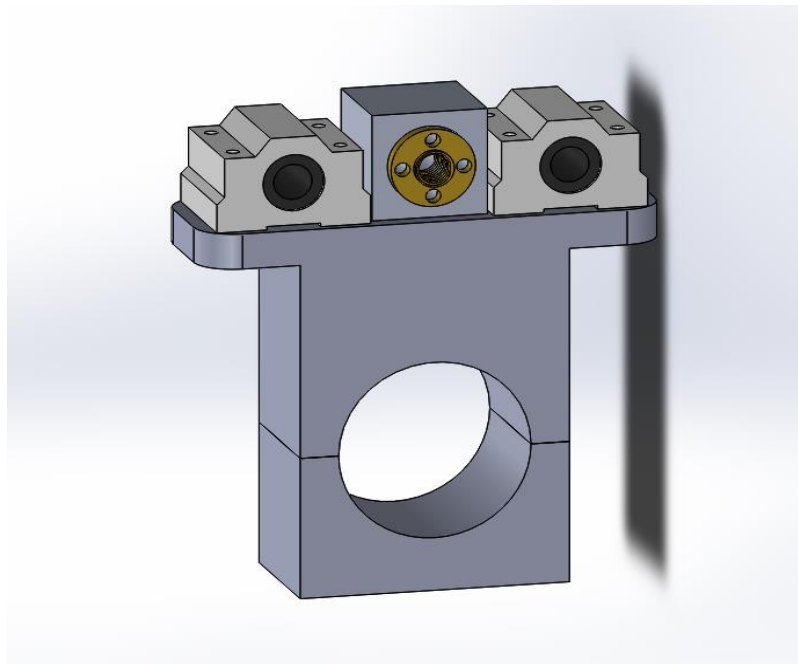


Figure 3.26: support de la broche

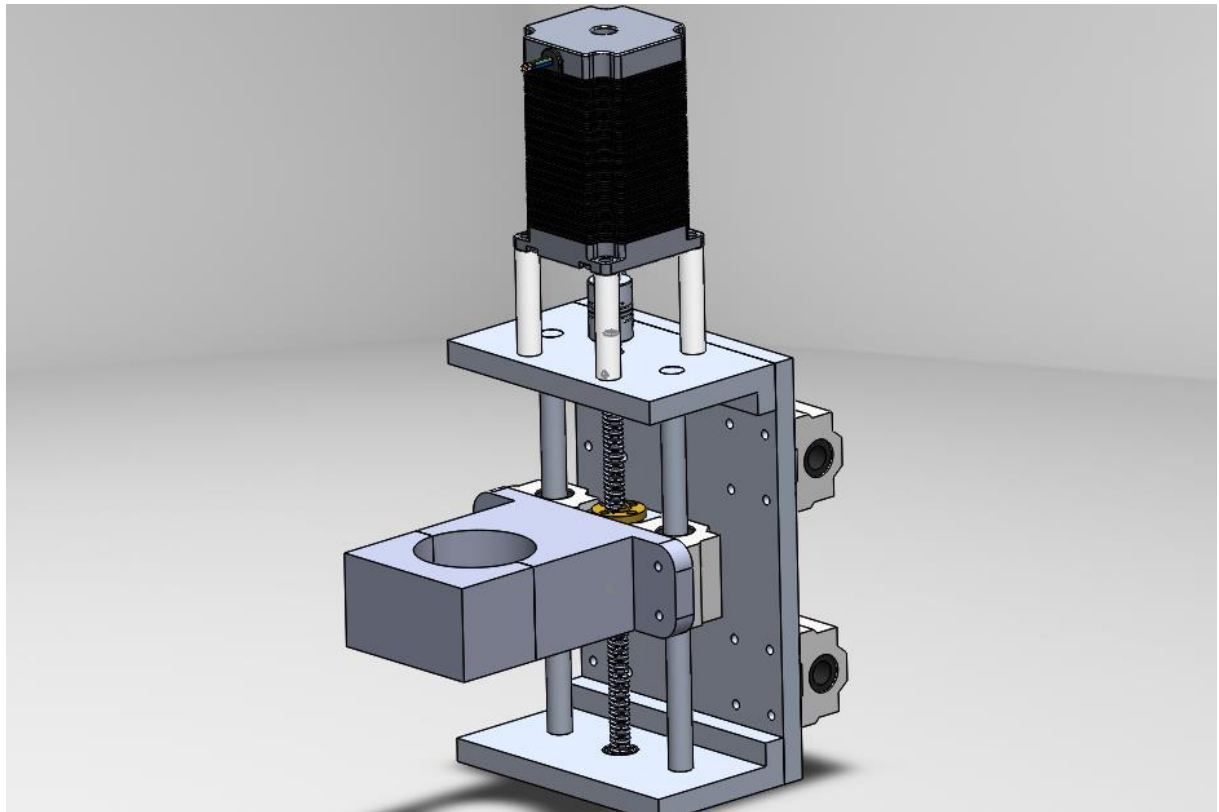


Figure 3.27: l'assemblage de l'axe Z

3.7.3. Assemblage finale de la micro-fraiseuse :

L'assemblage final des axes avec le bâti est donné par la figure suivant :

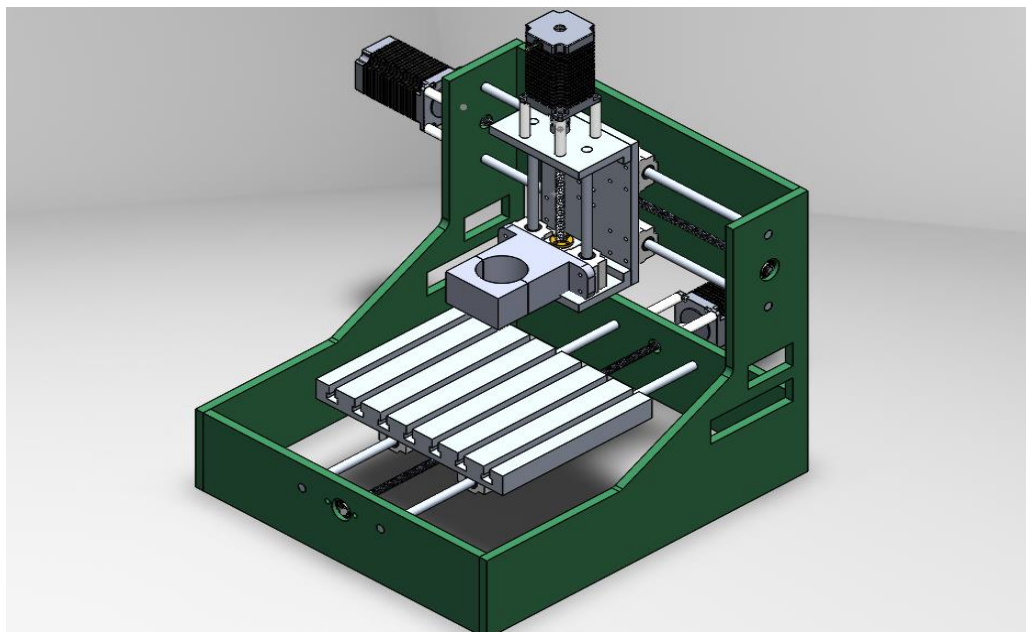
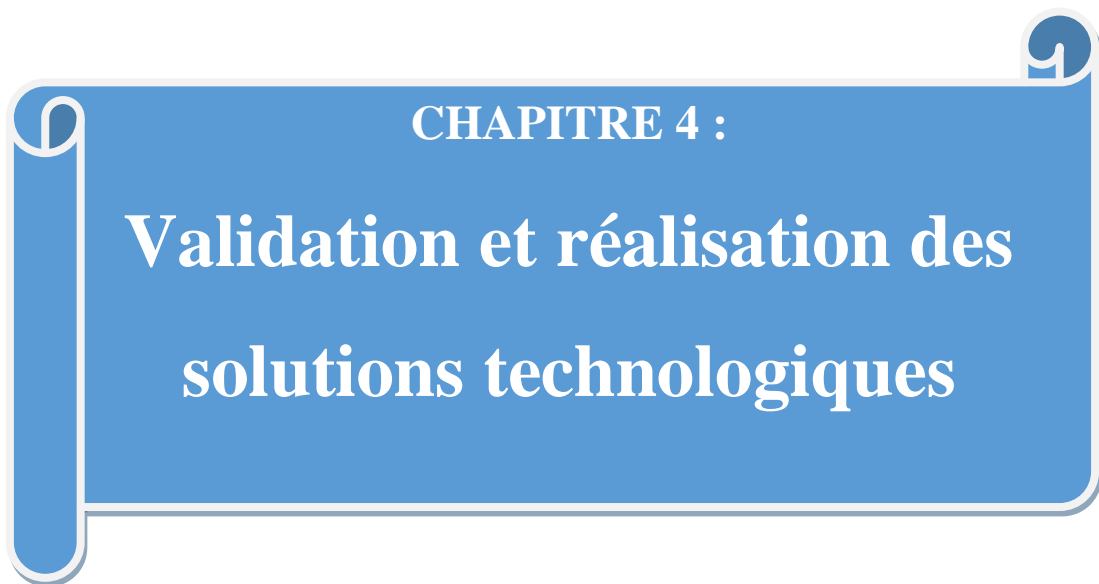


Figure 3.28: assemblage finale de la micro-fraiseuse

3.8.Conclusion

Dans cette partie, La phase de la conception de la mini fraiseuse est présentée en détail, il reste de valider les solutions technologiques choisies, ce qui fait l'objet du chapitre quatre.



CHAPITRE 4 :
**Validation et réalisation des
solutions technologiques**

Avant la réalisation de n'importe quelle machine il faut d'abords validé les solutions technologiques choisies dans sa conception, pour cela dans l présent chapitre on va valider les solutions technologiques choisies dans le chapitre précédant à l'aide de la méthode des éléments finis, suivie par la réalisation de déférentes pièces, et on va clôturer par l'essayageprimaire de la machine.

4.1.Validation des solutions technologique :

La validation des solutions technologiques se fait par la méthode des finis par l'application des forces exercées sur la pièce pour obtenir la forme de cette pièce après la déformation et les valeurs de déplacement et de contrainte.

On a deux types d'analyse à faire pour valider les solutions technologiques :

- Analyse vibratoire.
- Analyse statique.

4.1.1. Analyse vibratoire :

L'analyse vibratoire se fait sur la machine pour analyser son comportement vibratoire.

Puisque l'axe X est l'axe qui va supporter la plus grande charge que les autres axes, l'étude sera appliqué seulement sur le bâti avec l'axe X (la table + les tiges de guidage + la vis + l'écrou + les paliers)

L'analyse est faite à l'aide de logiciel SOLIDWORKS 2018 passant par différents étapes :

- l'application de matériau :
 - ✓ le bâti

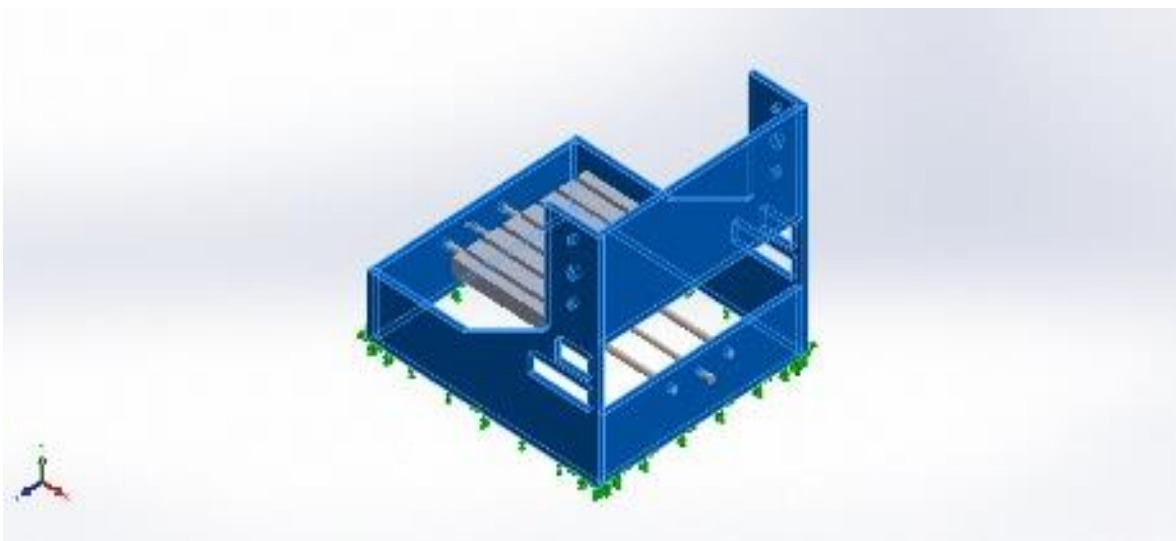


Figure 4.1 : le bâti

Tableau 4.1 : propriétés de matériau de bâti

Propriétés		Composants
Nom:	AISI 1035 Acier (SS)	Corps volumique 1(Boss.-Extru.1)(BATI-1/COUVERCLE X-1),
Type de modèle:	Linéaire élastique isotropique	Corps volumique 1(Enlèv. mat.-Extru.2)(BATI-1/SUPPORT DEBUT Y-1),
Critère de ruine par défaut:	Inconnu	Corps volumique 1(Enlèv. mat.-Extru.2)(BATI-1/SUPPORT FIN Y-1),
Limite d'élasticité:	2.82685e+08 N/m²	Corps volumique 1(Congé1)(BATI-1/SUPPORT PORTIQUE fin-2),
Limite de traction:	5.85e+08 N/m²	Corps volumique 1(Congé1)(BATI-1/SUPPORT PORTIQUE fin-4)
Masse volumique:	7850 kg/m³	
Module d'élasticité:	2.05e+11 N/m²	
Coefficient de Poisson:	0.29	
Coefficient de dilatation thermique:	1.1e-05 /Kelvin	

✓ Les tiges :

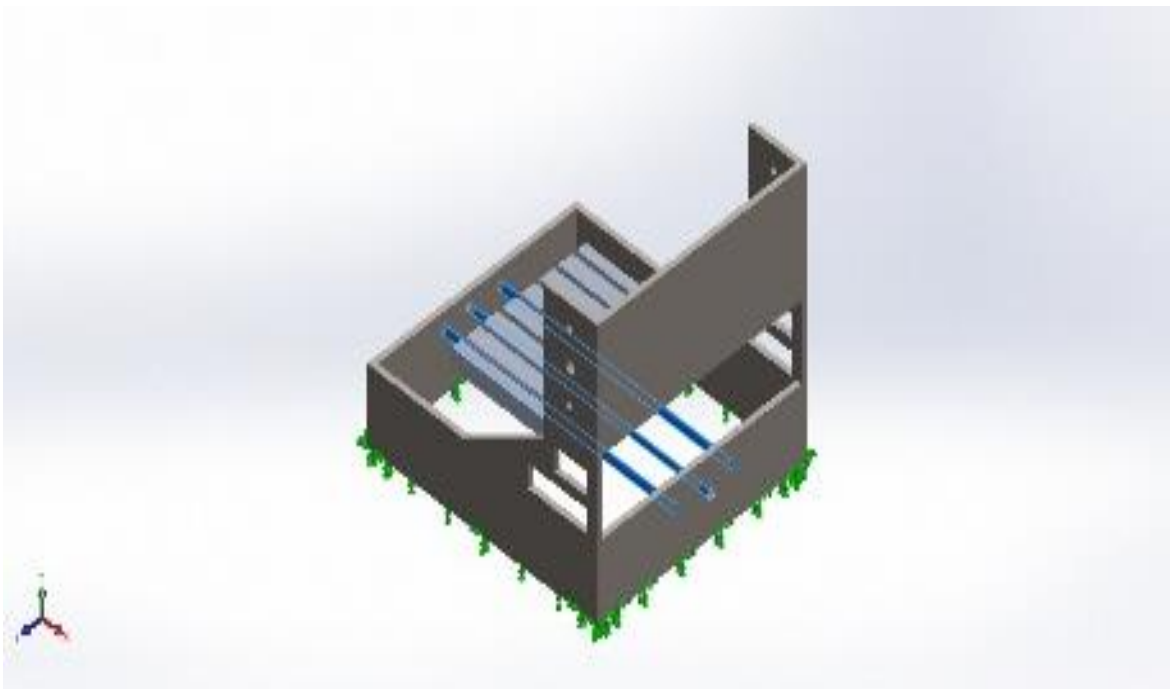


Figure 4.2 : les tiges

Tableau 4.2 : propriétés de matériau des tiges

Propriétés	Composants
Nom: 201	Corps volumique 1(Boss.-
Acierinoxydablerecuit (SS)	Extru.1)(GUIDE X-11),
Type de modèle: Linéaireélastiqueisotropique	Corps volumique 1(Boss.-
Critère de ruine par défaut: Contrainte de von Mises max.	Extru.1)(GUIDE X-5),
Limited'élasticité: 2.92e+08 N/m^2	Corps volumique 1(Boss.-
Limite de traction: 6.85e+08 N/m^2	Extru.1)(TIGE X-3)
Masse volumique: 7860 kg/m^3	
Module d'élasticité: 2.07e+11 N/m^2	
Coefficient de Poisson: 0.27	
Coefficient de dilatation thermique: 1.7e-05 /Kelvin	

✓ La table :

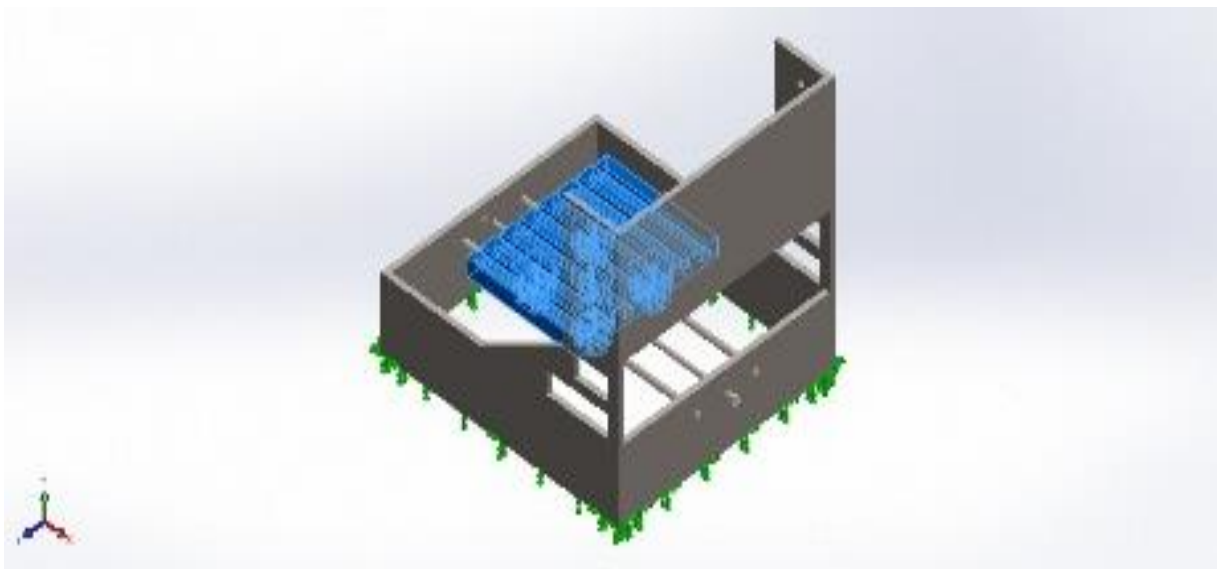


Figure 4.3: la table

Tableau 4.3 : propriétés de matériau des tiges

Propriétés	Composants
Nom: Alliage 1060	Corps volumique
Type de modèle: Linéaireélastiqueisotropique	1(Mirror3)(table_assemblage-1/ROULEMENT lineaire-1),
Critère de ruine par défaut: Contrainte de von Mises max.	Corps volumique
Limited'élasticité: 2.75742e+07 N/m²	1(Mirror3)(table_assemblage-1/ROULEMENT lineaire-2),
Limite de traction: 6.89356e+07 N/m²	Corps volumique
Masse volumique: 2700 kg/m³	1(Mirror3)(table_assemblage-1/ROULEMENT lineaire-4),
Module d'élasticité: 6.9e+10 N/m²	Corps volumique
Coefficient de Poisson: 0.33	1(Mirror3)(table_assemblage-1/ROULEMENT lineaire-6),
Coefficient de dilatation thermique: 2.4e-05 /Kelvin	Corps volumique 1(Enlèv. mat.-Extru.4)(table_assemblage-1/TABLE-1),
	Corps volumique 1(Enlèv. mat.-Extru.1)(table_assemblage-1/THREADED ROD-2)

Définition de la géométrie fixe :

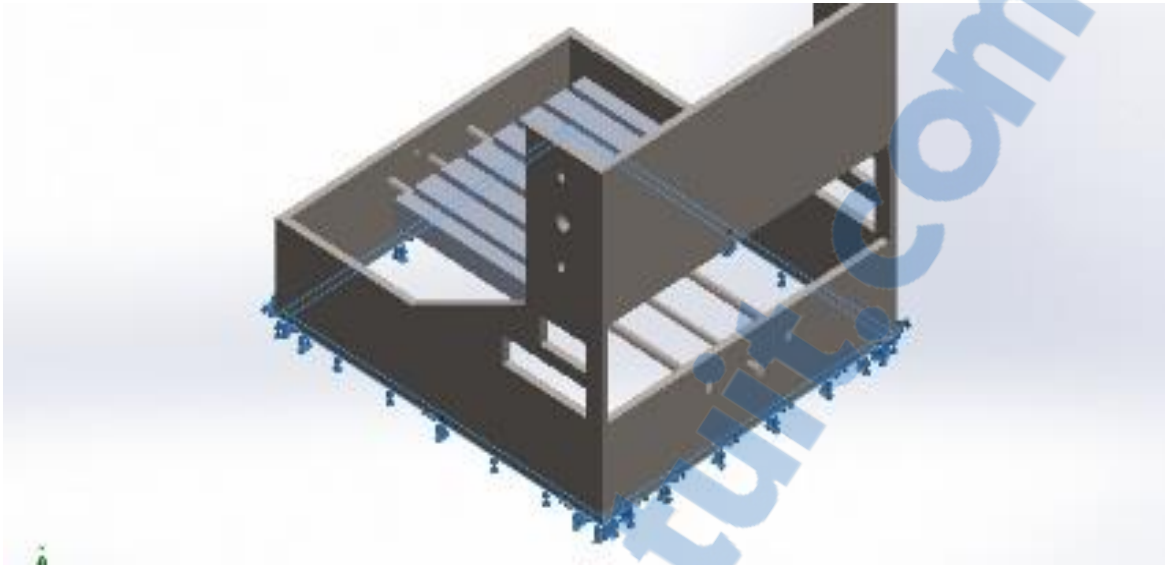


Figure 4.4 : les faces de la géométrie fixe

- Définition du type de contact :

Contact	Image du contact	Propriétés contact
Contact global	A 3D CAD model of the same assembly as in Figure 4.4, but with a yellow wireframe rectangular box surrounding the entire object. This represents a global contact definition where the entire assembly is treated as a single entity. A small 3D coordinate system icon is visible in the bottom left corner of the image area.	<p>Type: Solidaire</p> <p>Composants: 1 composant(s)</p> <p>Options: Maillage compatible</p>

- Le maillage :

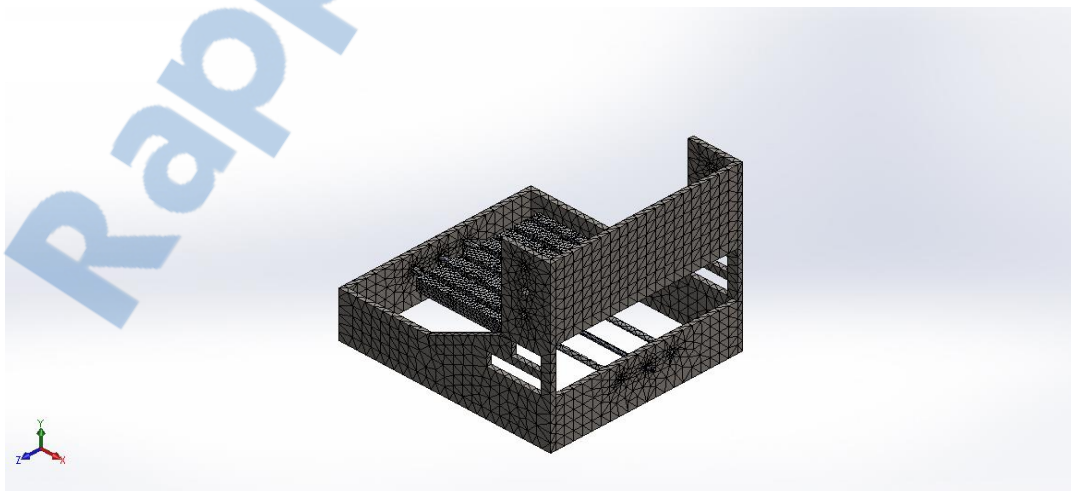


Figure 4.5 : le maillage de la machine

4.2. Analyse statique :

La mini fraiseuse soumise à plusieurs forces, mais la plus grande c'est la force d'usinage. Et pour valider que notre support supporte cette force on a besoin d'une analyse statique.

Tant que l'axe X est le plus sollicité par cette force on va faire l'analyse juste par rapport à l'axe X monté sur le bâti

Le calcul statique permet de déterminer la rigidité du support en vue de valider la précision de machine CNC et les contraintes appliquées.

Le calcul statique se fait par la méthode des éléments finis en utilisant SOLIDWORKS.

L'équation de la statique à résoudre est :

$$[K]\{q\} = \{F\} \quad [12]$$

Où $[K]$ est la matrice de rigidité, $\{q\}$ est le vecteur de déplacement et $\{F\}$ est le vecteur charge extérieure.

Les étapes de cette analyse sont les mêmes que l'analyse vibratoire dans l'application de matériau et la définition des géométries fixes et type de contact seulement dans cette analyse on applique une force pour définir les contraintes équivalentes de Von Mises et les valeurs de déplacement et la forme après déformation.

Application de force :

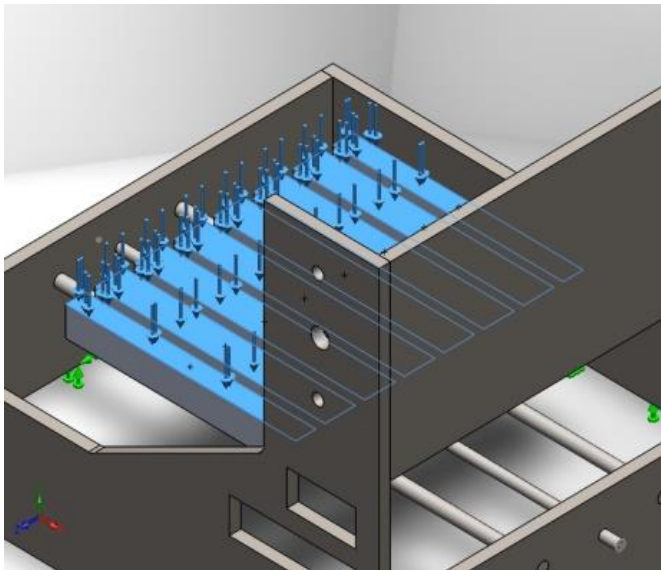
Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement
Force-1		Entités: 8 face(s) Type: Force normale Valeur: 50 N

Figure 4.6 : Application de la force

Forces résultantes :

- Forces de réaction

Tableau 4.4 : forces de réaction

Ensemble de sélections	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultante
Modèle entier	N	-0.00903867	399.98	0.00228652	399.98

- Moments de réaction

Tableau 4.5 : moments de réaction

Ensemble de sélections	Unités	Somme X	Somme Y	Somme Z	Résultante
Modèle entier	N.m	0	0	0	0

Résultat de l'étude :

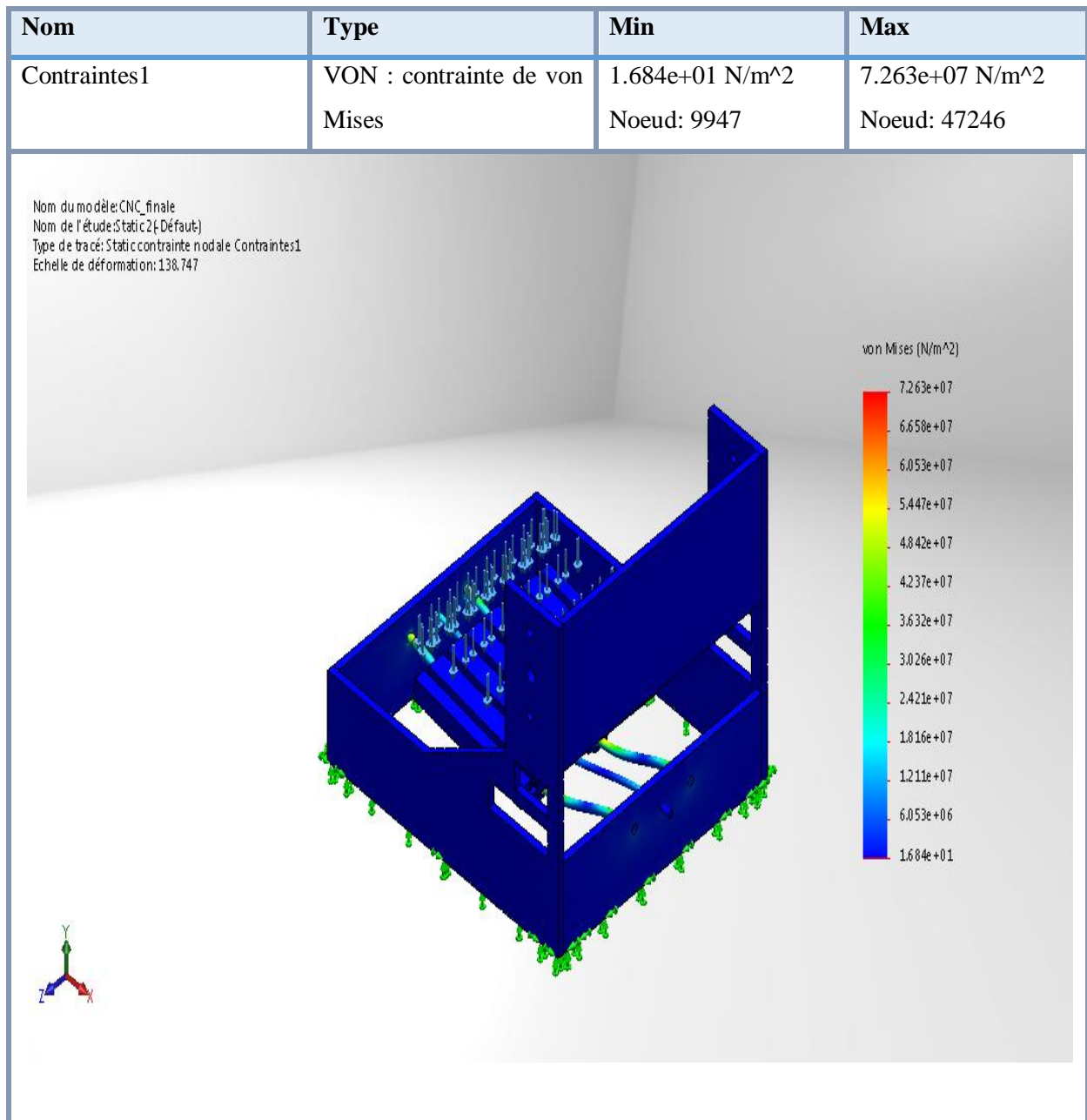


Figure 4.7 : CNC_finale-Static 2-Contraintes-Contraintes1

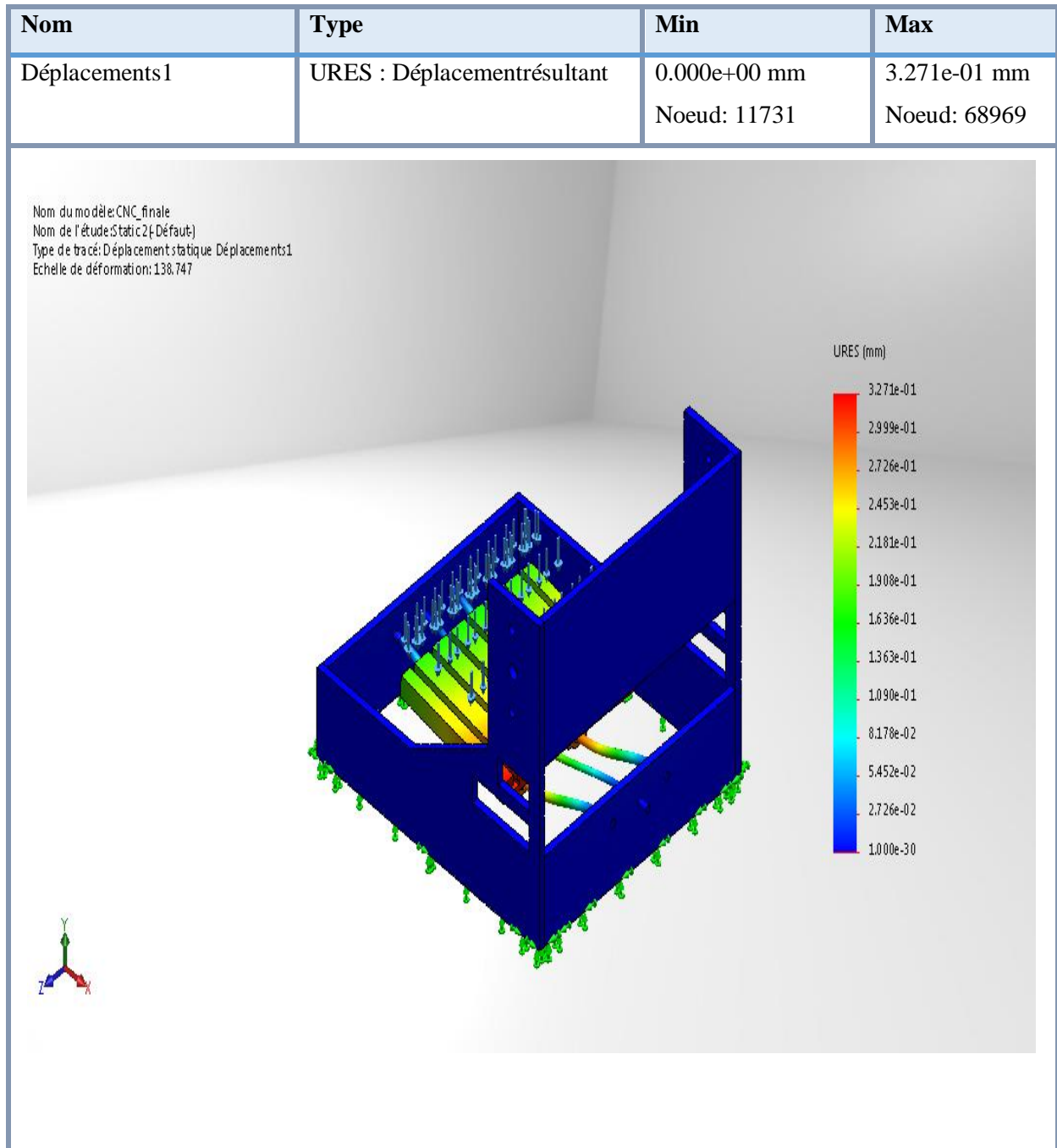


Figure 4.8: CNC_finale-Static 2-Déplacements-Déplacements1

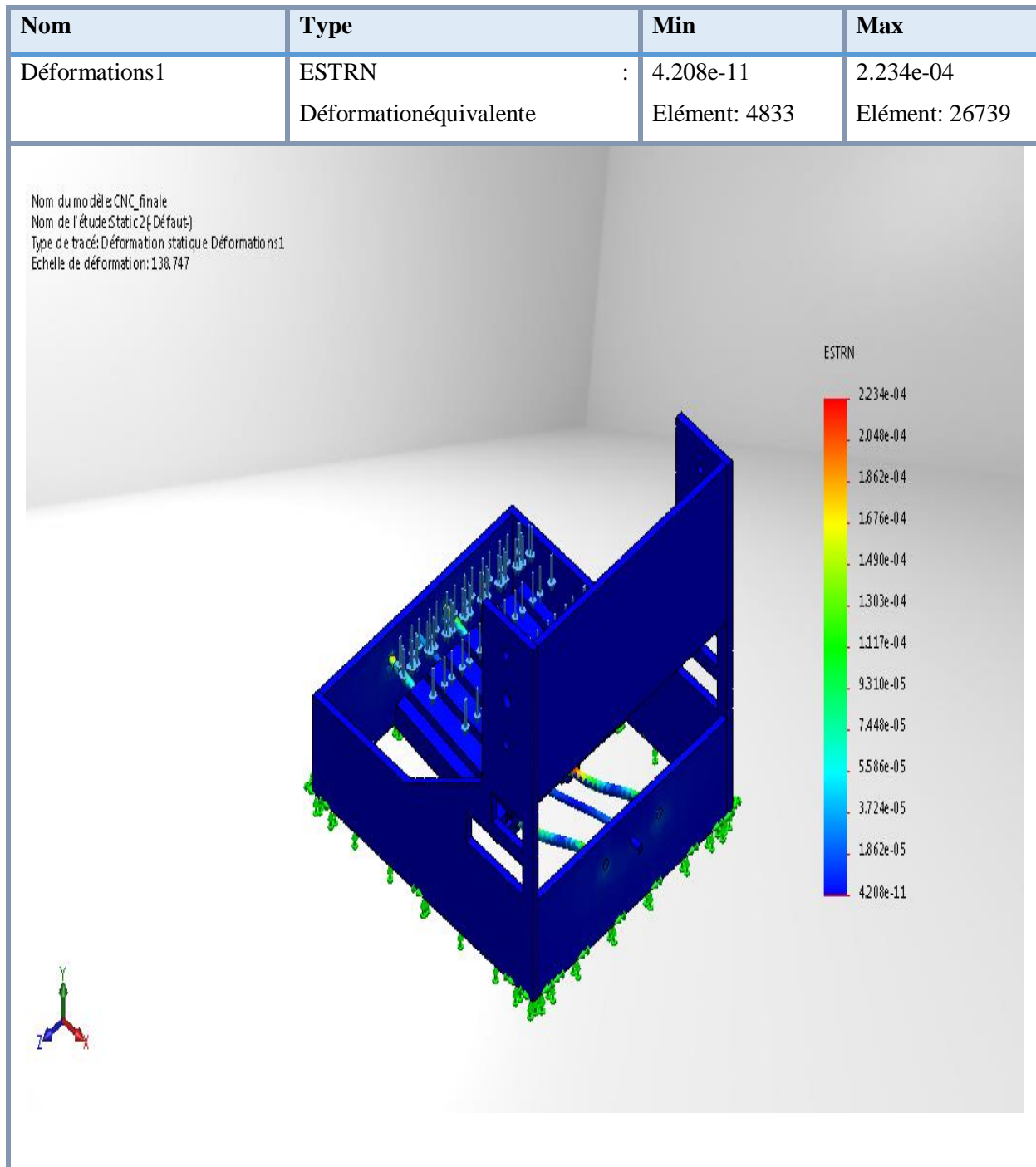


Figure 4.9 : CNC_finale-Static 2-Déformations-Déformations1

4.3.Réalisation des pièces de la micro fraiseuse :

La réalisation de la machine se devise en 2 grandes parties :

- Partie électrique : on a acheté toutes les pièces de DZDUINO MOSTAGHANEM
- partie mécanique :

Dans cette partie on va réaliser toutes les pièces de la micro fraiseuse qui sont :

✓ **Le bâti :**

On a commencé par coupé les différents pièces de bâti et puisque l'épaisseur de ce dernier est de 10 mm, donc on a choisi qu'on va le découper chez l'atelier AMAMO PUB avec la découpe par plasma



Figure 4.10 : la découpe par plasma des pièces de bâti



Figure 4.11: les pièces de bâti après la découpe

Après qu'on a découpé les pièces de bâti, nous avons les soudées dans l'atelier de la faculté.



Figure 4.12 : soudage des pièces de bâti



Figure 4.13 : la finition des joins de soudure

✓ **La table :**

Pour le but de la réalisation de la table de fixation on à commencer par coupé le brut avec des démentions proche a ces démentions avec la scie mécanique du l'atelier de la faculté :



Figure 4.14 : découpage du brut de la table

Après la définition du brut on a passé à la fraiseuse de l'atelier pour réaliser la table :



Figure 4.15 : montage du brut dans la fraiseuse



Figure 4.16 : surfaçage du brut

Après le surfaçage on a commencé le rainurage :



Figure 4.17 : le rainurage de la table

Après qu'on a terminer on a surfacé les côtés de la table :



Figure 4.18 : surfaçage des côtés de la table

Un deuxième montage est fait après le surfaçage pour usiner l'autre face afin d'obtenir sa forme complète :



Figure 4.19 : l'usinage d'autre face de la table

✓ **Le support de l'axe Z :**

Le support de l'axe Z se devise en 3 pièces :



Figure 4.20 : support de la broche

✓ **Support de broche :**

Le support de broche est constitué de 2 pièces:



Figure 4.21 : usinage de support de la broche



Figure 4.22 : perçage et taraudage des trous pour la fixation des paliers

Après qu'on a terminé les pièces a usiné on a acheté les paliers de roulement et les douilles à billes et la vis et les écrous et de DZDUINO MOSTAGANEM.

4.4.Assemblage finale de la micro fraiseuse :

L'assemblage des pièces est la dernière étape dans la réalisation de la mini fraiseuse CNC à trois axes, la figure suivante présente le montage finale de la machine



Figure 4.23 : la mini fraiseuse CNC 3 axes

4.5. Commande et test de la micro fraiseuse :

Pour validé notre fraiseuse, nous avons fait un test sur notre machine et pour nous faciliter la programmation nous avons travaillés avec des logiciel de simulation dans plusieurs étapes :

- Téléverser la bibliothèque GRBL a la carte ARDUINO
- Génération de code G
- Simulation de code G
- Transféré le code G a la carte ARDUINO
- L’essai de la machine

4.5.1. Téléversement de GRBL dans ARDUINO :

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

Pour ajouter le programme GRBL on aura besoin de le sélectionner via le menu :

File >Exemples> GRBL Arduino library master>GRBLtoARDUINO

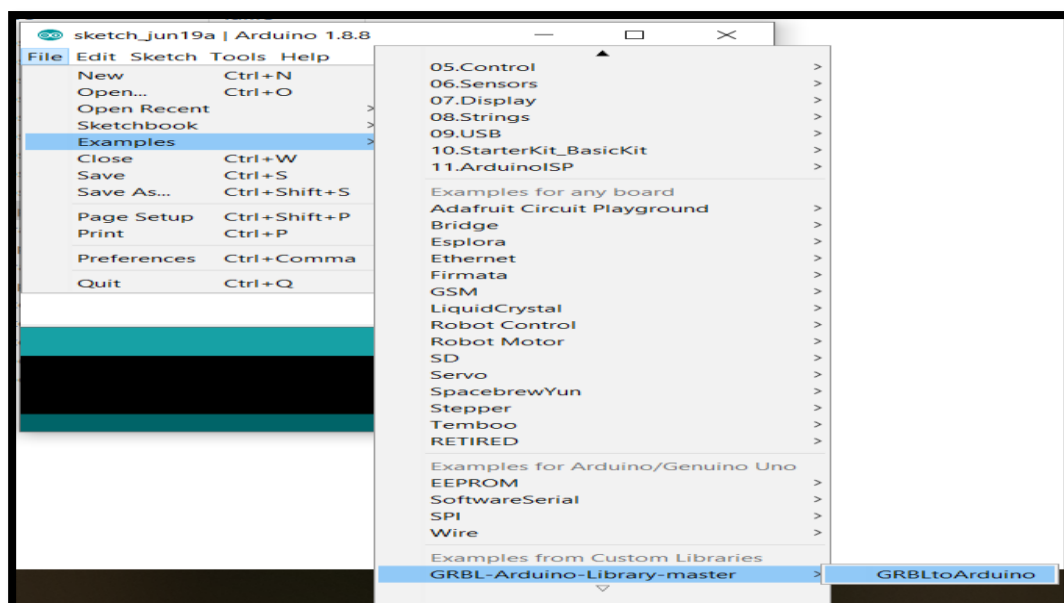


Figure 4.24: GRBL Contrôleur

Après qu'on a ajouté le GRBL il faut cliquer sur téléverser pour l'envoyé à la carte ARDUINO.

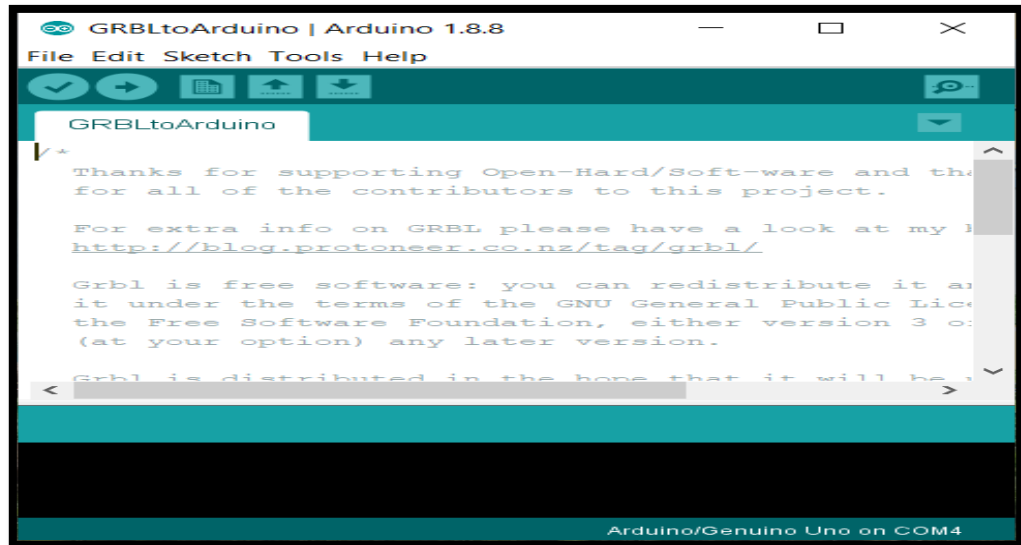


Figure 4.25 : Envoi de GRBL a la carte.

4.5.2. Génération de code G :

Il y a plusieurs logiciel de simulation pour la génération de code G comme on peut le généré manuellement. Permet ces logiciel il y a : ARTCAM, INKSKAPE, SOLIDWORKS, F-ENGRAVE. . .

Dans notre cas on a choisi F-ENGRAVE pour ça facilité d'utilisation, on a commencé par introduire une photo dans le logiciel pour générerle code G.

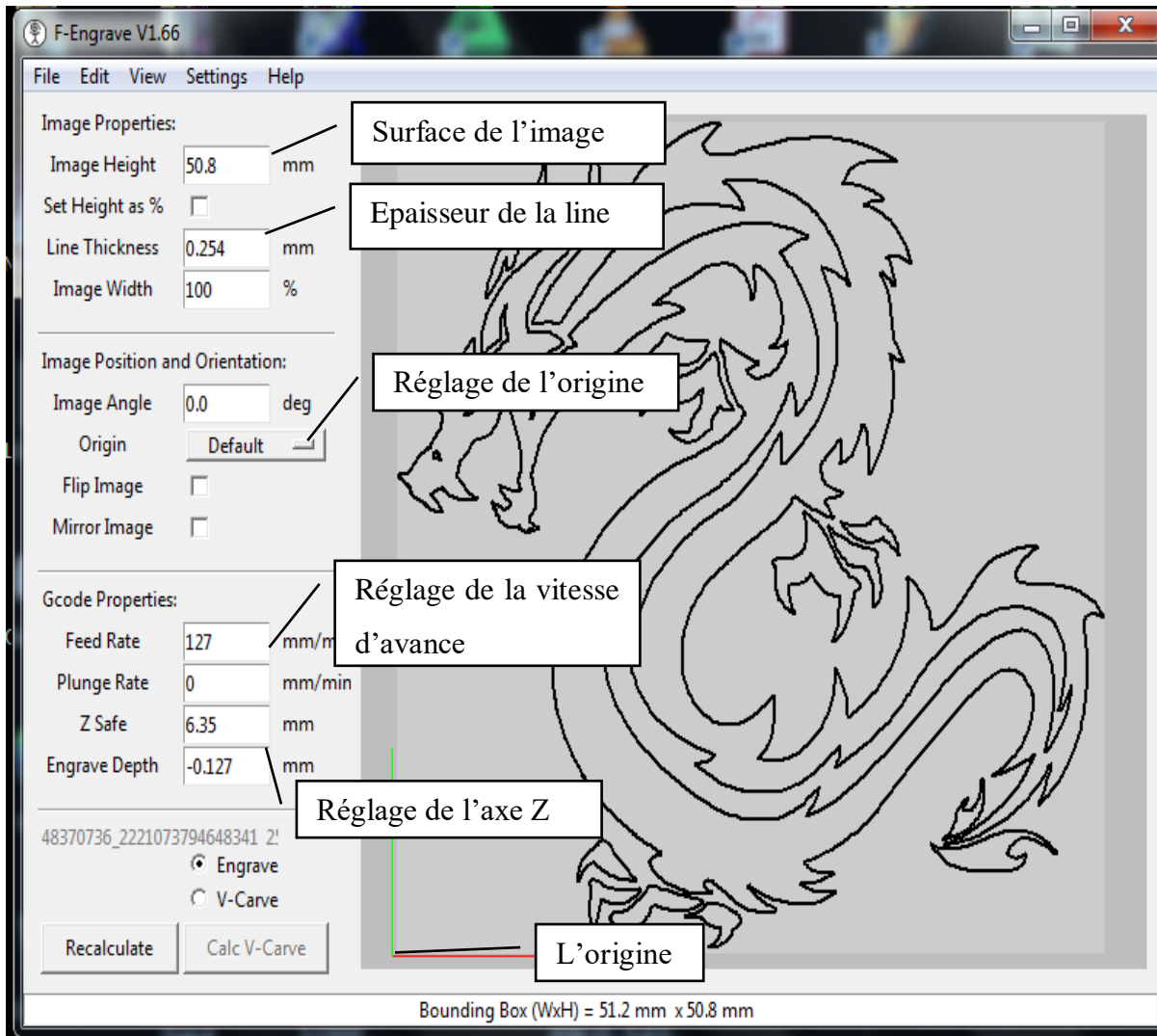


Figure 4.26 : Interface F-ENGRAVE

On a choisi cette image compliquée parce qu'elle présente plusieurs formes complexes, et sa nous aide à tester la précision de notre machine.

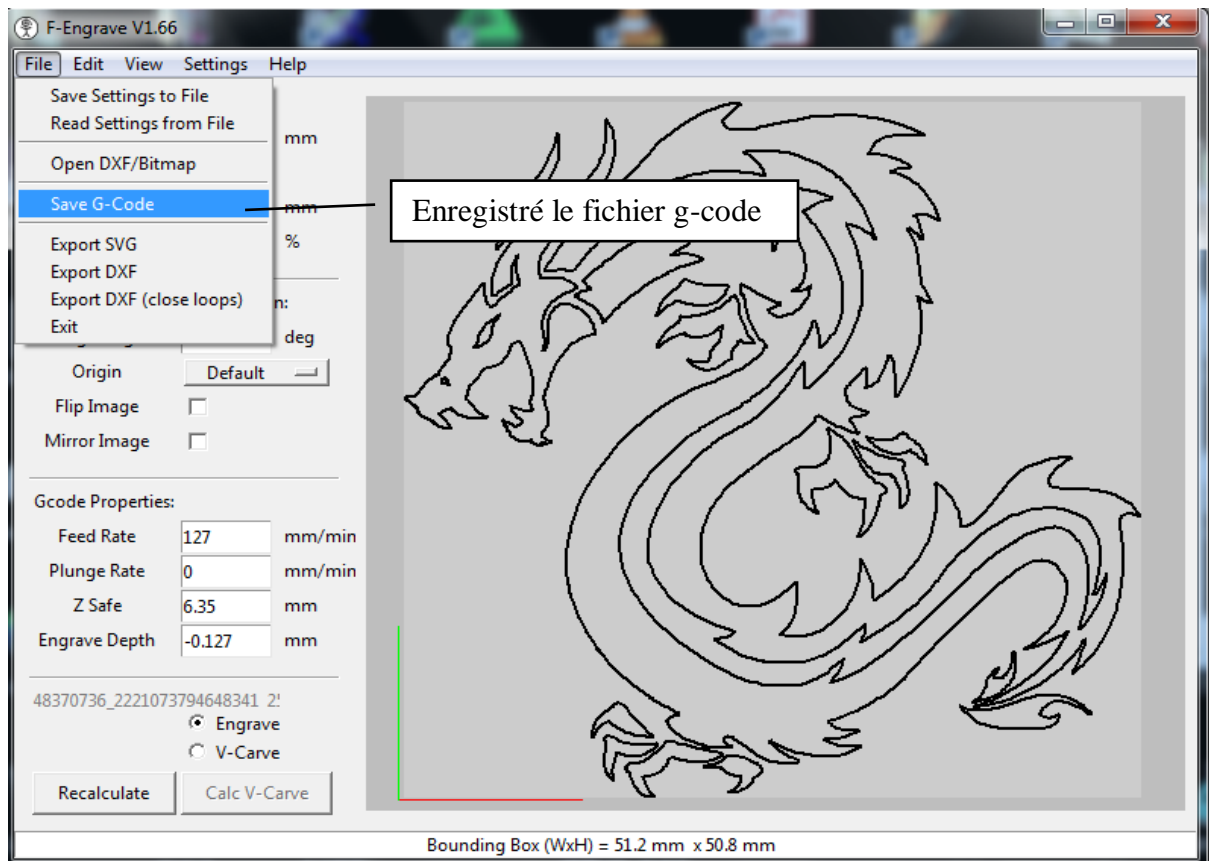


Figure 4.27 : l'interface F-ENGRAVE

4.5.3. Simulation et transfère de G-code à ARDUINO :

L'Universel G-code Sender c'est logiciel qu'on a choisi pour la simulation et l'envoi de G-code à la carte ARDUINO.

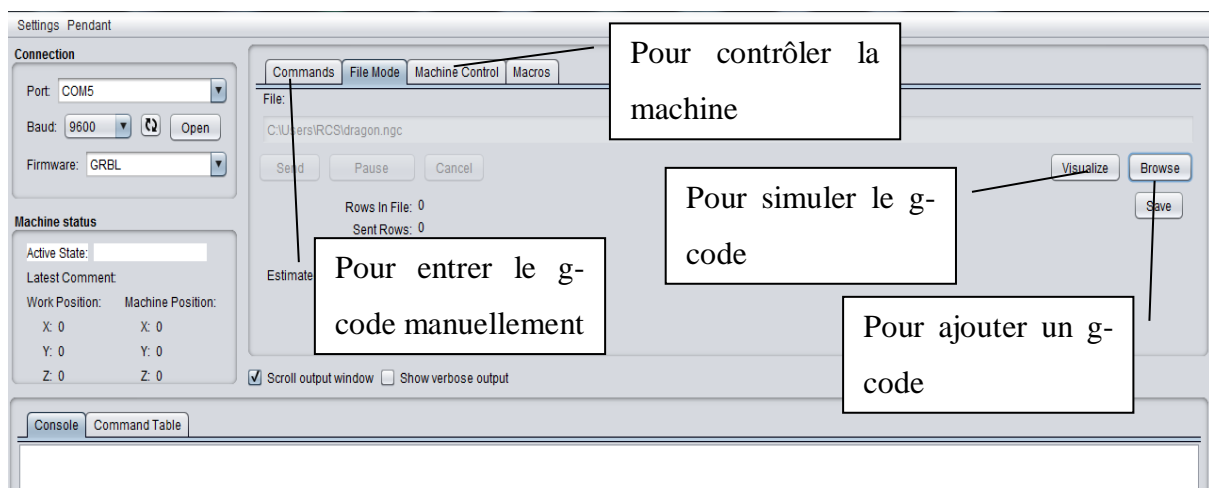


Figure 4.28 : l'interface Universel G-code Sender

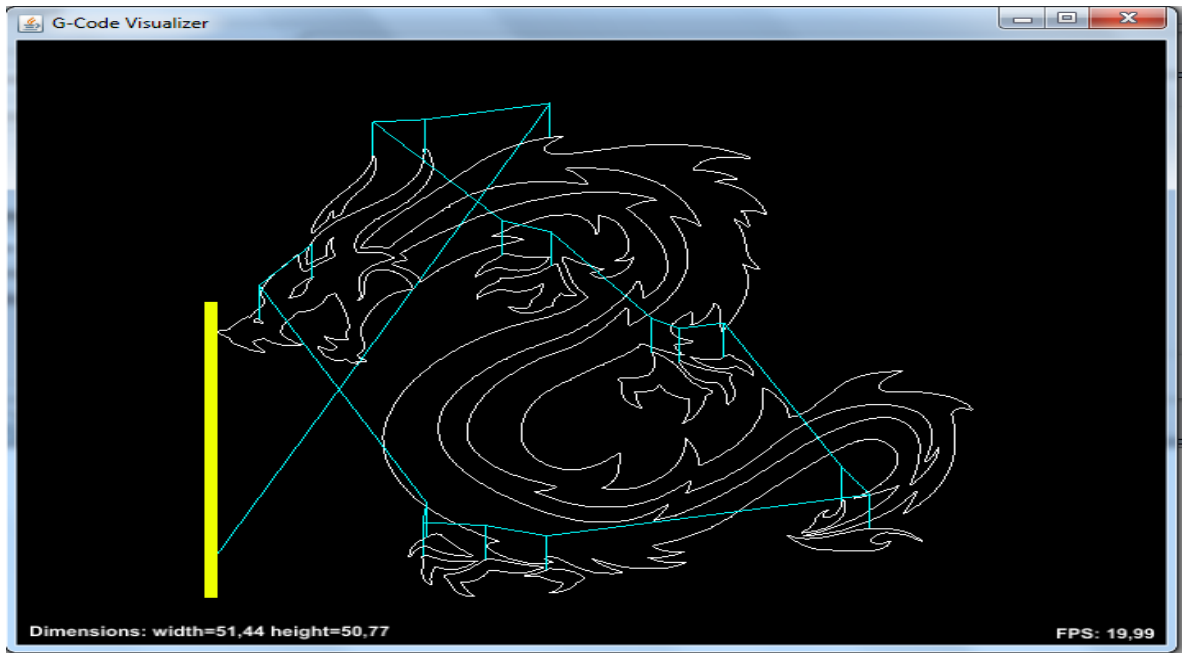


Figure 4.29 : simulation de G-code

4.5.4. Essai de la machine :



Figure 4.30 : essai de la mini fraiseuse

4.6. Conclusion :

La réalisation c'est la dernière étape dans n'importe quel projet et c'est l'étape qui juge tous les autres étapes précédentes.

Conclusion et perspectives

La conception et la réalisation d'une fraiseuse à commande numérique dans le cadre de l'élaboration de notre projet de fin d'étude, m'a permis d'approfondir mes connaissances en électronique, programmation, génération de code G, conception, désigne, fabrication mécanique et m'a donné beaucoup d'expérience dans le travail de l'ingénieur dans le domaine professionnelle comme il m'a permis de concrétiser mes études dans le milieu terrain.

Ce travail a été commencé dans le premier chapitre, par la définition du besoin et d'une étude préliminaire du projet, suivi par l'élaboration du cahier des charges fonctionnelles dans le second chapitre.

La conception et le choix des solutions technologiques ont été présentés dans le troisième chapitre, le dernier chapitre du manuscrit présente la validation des solutions proposées avec réalisation des différentes pièces et montage de la mini fraiseuse, et il se clôture par un essai primaire d'une gravure de forme complexe.

Après qu'on a terminé notre réalisation on a conclu que pour les grandes machines, le meilleur choix du schéma technologique est à pont mobile, parce que dans notre structure choisie il faut doubler les longueurs des tiges de l'axe x, mais pour le pont mobile l'espace de travail est égale aux longueurs des tiges.

Références bibliographiques

- [1] Machines-Outils A Commande Numérique Structure, Modélisation Et Réglage,préparation à l'agrégation de génie mécanique E.Duc E. Lefur 16 Septembre 1997.
- [2] <https://www.sly-pro.com/shop-1/8mm-acme-threaded-rod-stainless-steel-leadscrew-t8-nut-400mm>
- [3] Mémoire de fin d'études, Etude et réalisation d'une machine-outil à commande numérique (fraiseuse 3 axes), *MAHDJOUBI Abdelfattah*, université M'HAMED BOUGARA BOUMERDES, 2016/2017.
- [4] <https://fr.aliexpress.com/item/32407500061.html>
- [5] <http://rollvis.com/swiss/products/>
- [6] Mémoire de Master 2, Simulation de l'usinage d'un guidage longitudinal sous le logiciel SINUTRAIN 828D ShopMill, BOUANIK FOUAD, université BADJI-MOKHTAR-ANNABA, 2016/2017.
- [7] <https://www.gewinde.ch/produits/carry-vis-a-billes>
- [8] <https://www.usinages.com/threads/choisir-courroie-crantee.100039/>
- [9] Projet de fin d'étude, Conception et réalisation du logo de TLEMCEN Capitale Islamique en 3D, GUERMAT Younes, université ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEN, 2011/2012
- [10] Projet de fin d'étude, Etude de réalisation d'un support pour affutage des forets sur une machine à commande numérique, BENBEKHTI Ahmed, université ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEN, 2012/2013
- [11] Carole CHEVROT, «MOCN ET PROGRAMMATION», Département GMP - 1ière année, I.U.T de Mantes en Yvelines – GMP.
- [12] Projet de fin d'étude, Etude et réalisation d'un robot cartésien 3 axes, BARKA Yazid BENTRAR Hakim, université ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEN, 2017/2018

<https://fr.scribd.com/document/73682957/MOCN-et-Programmation-Cours-14-01-10>

[13] Site direct industrie, 13/07/2019 17:20.<http://www.directindustry.fr>

[14] Site markerslide machines, 13/07/2019 17:20.

<https://www.makerslide-machines.xyz/fr/2018/03/14/fr-les-axes-dune-fraiseuse-cnc/>

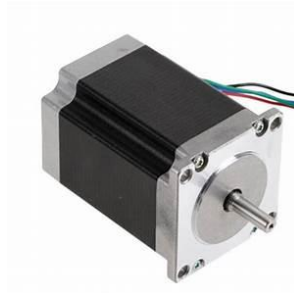
[15] Cour conception d'un système mécanique Master 1, Mr HAMZA-CHERIF SM,
université ABOU BEKR BEL KAID

[16] R. Tassinari, Pratique de l'analyse fonctionnelle, Dunod (1988).

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Annexe -A- : Moteur pas à pas NEMA 23

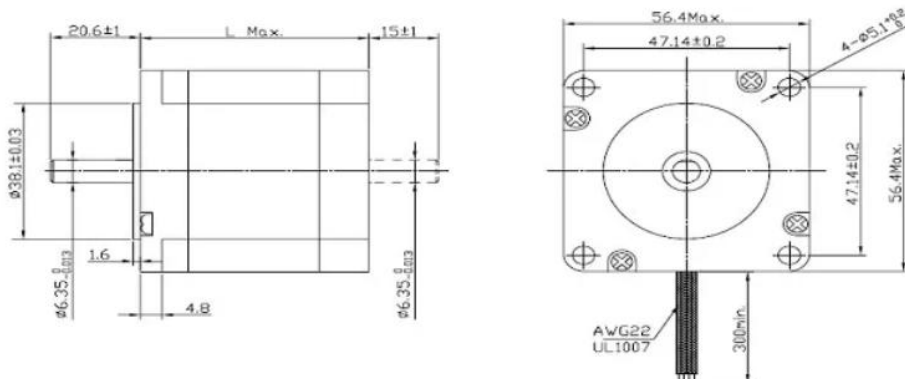


A.1 Description :

Moteur pas à pas par Wantai avec étape 1.8 deg, idéal pour les imprimantes et autres applications CNC. Il a un couple suffisant (4500g.cm) pour une utilisation dans les axes de déplacement mais également dans les extrudeuses qui requièrent souplesse et stabilité.

A.2 Les caractéristiques de moteur pas à pas NEMA 23 :

La référence	JK57HM76-2804
Pas de l'angle	1.8 °
Tension nominale	3.2 v
Courant nominal	2.8 A
Résistance de phase	1.13 Ω
Couple de maintien	18 Kg.cm
Fils	4
Poids du moteur	1.1 Kg
prix	6 300,00 DA



Annexe-B- : Accouplement

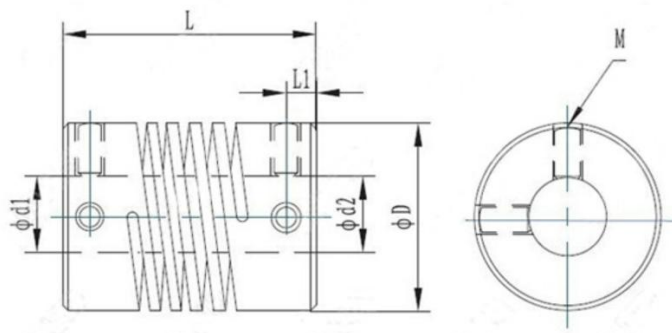


B.1 Description :

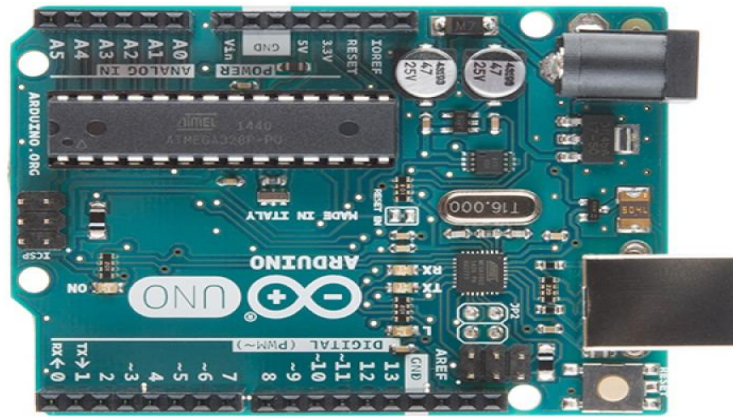
Connectez-le à cela avec un coupleur à vis sans fin. Ces coupleurs sont en aluminium usiné et présentent une coupe en spirale qui les rend légèrement flexibles, ce qui permet de les adapter à deux arbres, même s'ils ne sont pas parfaitement colinéaires, et de réduire les effets de liaison. La façon dont ils sont coupés, ils sont un peu élastiques dans l'axe linéaire X Y et Z mais pas dans l'axe de rotation. Cela signifie que vous n'obtiendrez pas de jeu excessif - ils sont donc adaptés au travail CNC de précision.

B.2 Les caractéristiques :

- Type: Arbre flexible d'accouplement
- Matériel: Aluminium
- Taille du trou intérieur: 5 mm x 8 mm
- Diamètre extérieur: 19mm
- Longueur: 25 mm
- Main dimensions: $d1=5\text{mm}$, $d2=8\text{mm}$, $D=19\text{mm}$, $L=25\text{mm}$
- Le prix : 300,00 DA



Annexe-C- : Carte ARDUINO UNO



C. Description :

- Microcontrôleur : ATmega328
- Tension de fonctionnement nominale : 5V
- Tension d'alimentation (recommandé) : 7-12V
- Tension d'alimentation (limites) : 6-20V
- Entrées/sorties digitales : 14 (dont 6 pouvant être utilisées comme sorties PWM)
- Entrées Analogiques : 6
- Courant DC par I/O Pin : 40 mA
- Courant DC pour 3.3V Pin : 50 mA
- Mémoire Flash : 32 KB (ATmega328) dont 0.5 KB utilisé par le boot loader
- SRAM : 2 KB (ATmega328)
- EEPROM : 1 KB (ATmega328)
- Fréquence d'horloge : 16 MHz
- Prix : 5 000.00 DA

Annexe-D- : Vis trapézoïdale avec écrou en laiton



D. Description :

- Matériau : Vis mère en acier inoxydable 304 / Écrou en laiton
- Diamètre de vis : 8mm
- Pas : 2mm
- Longueur : 500 mm
- Masse : 155.22 g
- Le prix : 6 100,00 DA

Annexe-E- : Boite d'alimentation



E. Description :

- Boîte de distribution de l'alimentation de l'armoire en métal avec serrure
- 12V 20A, bornes de connexion 18 de canal
- Large entrées de tension 100VAC / 240VAC (47 ~ 63Hz)
- Courant de sortie maximum 1.1Amp
- Protection contre les surtensions de courant 20A @ 120VAC
- Alimentation haute efficiency
- Le ventilateur de refroidissement pour un fonctionnement à basse température
- Court-circuit de sortie, sur les surintensités, protection de tension
- L'adoption de la conception EMI pour réduire le bruit
- 18 sortie à fusible individuellement avec indicateurs LED pour chaque fusible
- Une installation murale
- Environnement de travail, 10 °C ~ 50 °C; 20% ~ 90% RH
- Taille: (31,5 x 21,5 x 6.5) cm
- Prix : 5 300 DA

Annexe-F- : La broche



F. Description :

- Multi fonctions avec 163 pcs accessoires pour le Broyage, polissage, ponçage, brossage, gravure, de coupe, de forage
- Montage tous les accessoires existants et pièce jointe
- Forte paquet: 1 pcs/transparent cas + principal externe carton
- Belle transparent cas paquet
- Grande puissance 135 w
- Portable, facile transporter
- GS CE EMC ROHS CETL approbation
- Vitesse variable : 8000-35000 tr/min
- Prix : 7 300.00 DA

Annexe-G- : Les douilles à billes



G. Description :

- Matériel: acier, aluminium
- Modèle: ID de l'arbre SC10UU : 10mm
- Poids: 187G
- Diamètre intérieur: 10mm
- Prix : 600.00 DA

Annexe-H- : Les roulements libres



H. Description :

- **Matériel:** acier de roulement
- **Taille:** 8 x 16 x 5mm / 0.31 x 0.63 x 0.19 "
- **Taille de bride:** 18 x 1.1mm / 0.7 x 0.04 "
- **Prix :** 100 DA

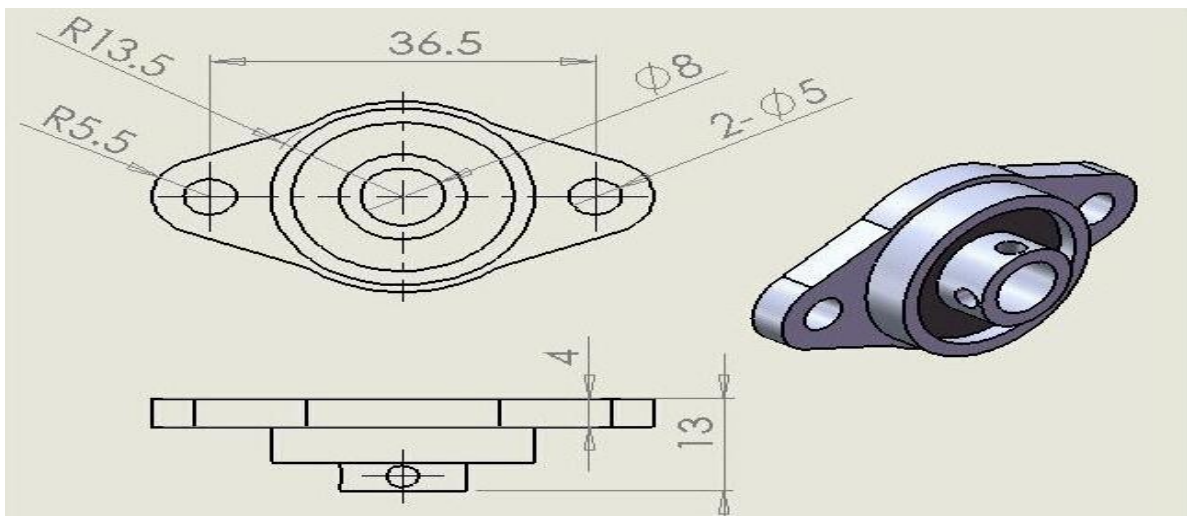
Annexe-I- : Les roulements fixes



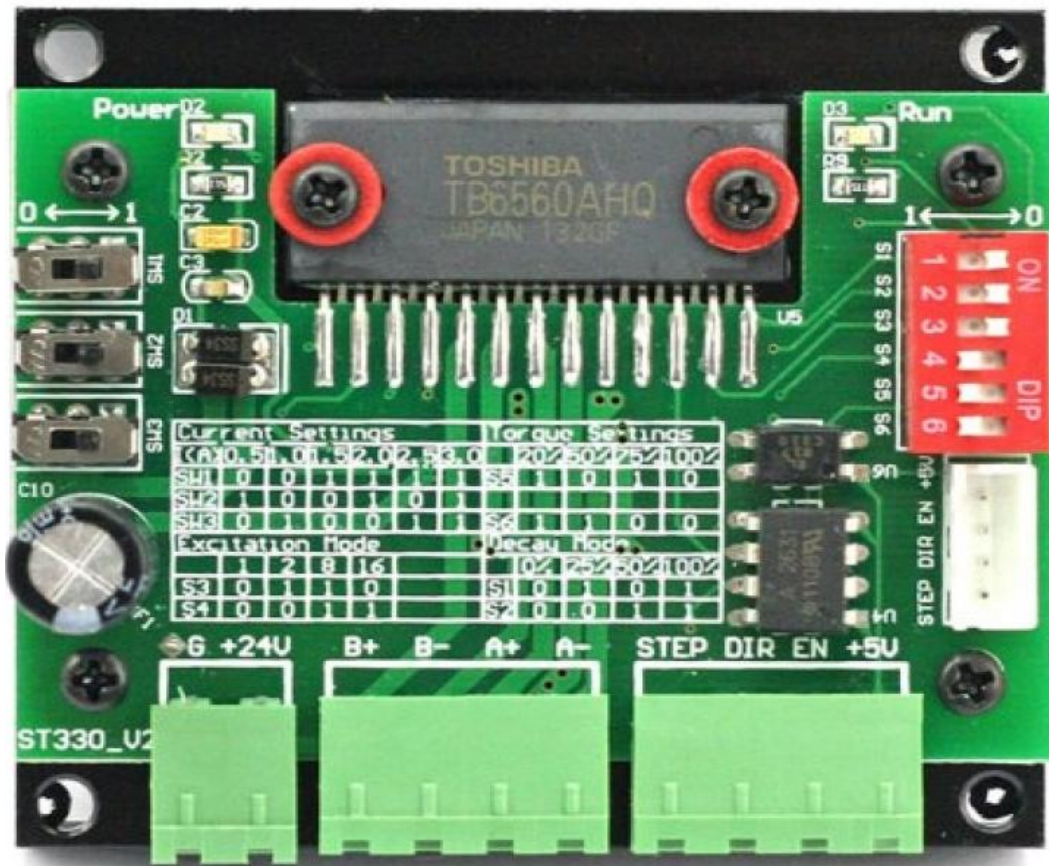
I. Description :

Nous savons tous que les roulements jouent un rôle crucial dans notre vie quotidienne, largement répandue dans les machines et les équipements. Notre roulement de bride de bloc d'oreiller d'alliage de zinc de diamètre intérieur de 8mm KFL08 est sûrement votre choix idéal en raison de sa performance et qualité. Fait d'un superbe alliage de zinc et d'un matériau en acier chromé, il présente une résistance élevée et une construction robuste. Le style monté sur support le rend fermement et solidement fixé et installé. De plus, les paliers sont de conception compacte avec des dispositifs d'étanchéité parfaits. Dans l'ensemble, il est assez bon pour vous aider avec le travail quotidien!

- Les roulements d'insertion sont les roulements à billes à gorge profonde avec de larges bagues intérieures
- Il insère dans le travail du logement comme un palier unitaire
- Le boîtier est principalement coulé ou en acier embouti
- Les paliers sont de conception compacte avec des dispositifs d'étanchéité parfaits
- Ils peuvent s'aligner facilement pendant le fonctionnement et peuvent être facilement montés ou démontés
- Le roulement de bride de bloc d'oreiller est employé couramment dans divers des machines, telles que les machines et l'équipement, les convoyeurs, la fabrication de machine etc.
- Prix : 400 DA.



Annexe-J- : Driver TB6560

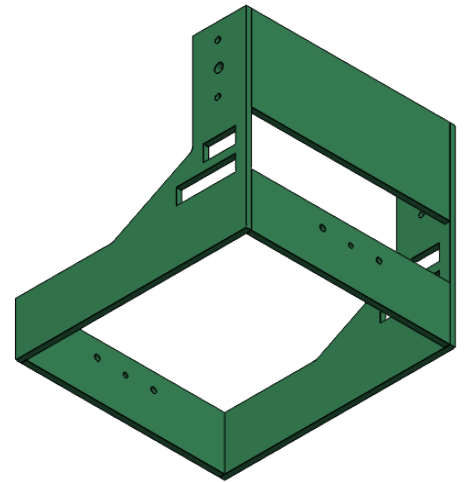
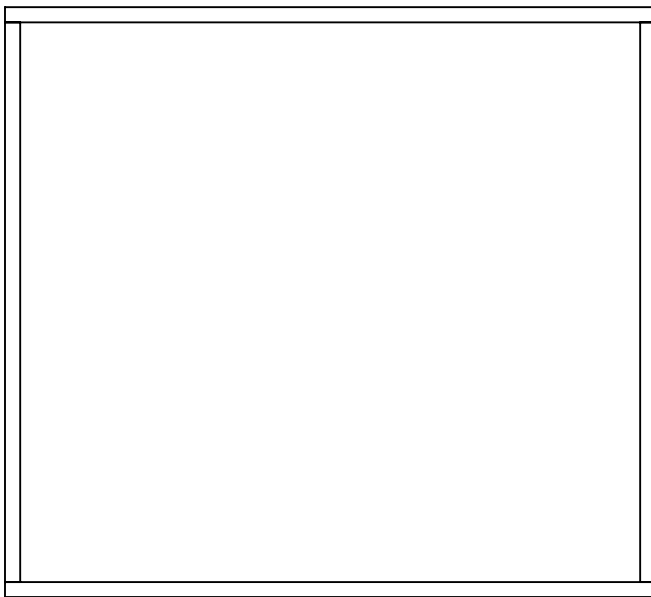
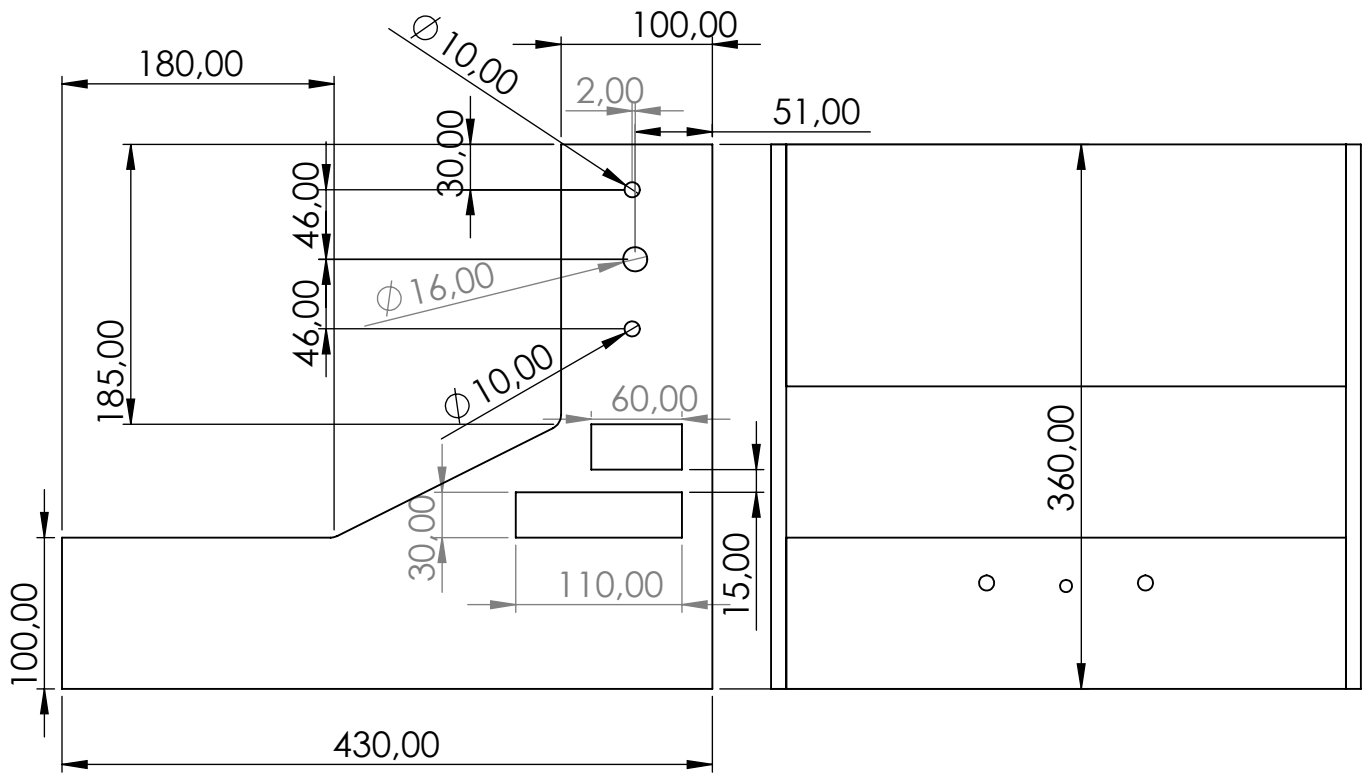


J. Description :

- Alimentation : 10-35 Vcc
- Niveau logique: 5V,(3.3V compatible).
- Courant : Réglable jusqu'à 3A.
- Micro-stepping : Oui, réglable. Pas entier, 1/2 pas, 1/8 pas et 1/16 pas.
- Prix : 3 700.00 DA

Annexe K :

Mises en plan

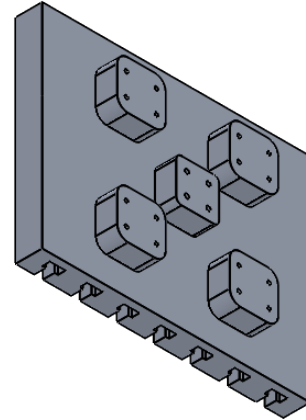
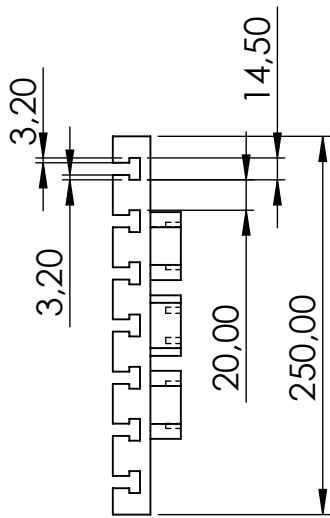
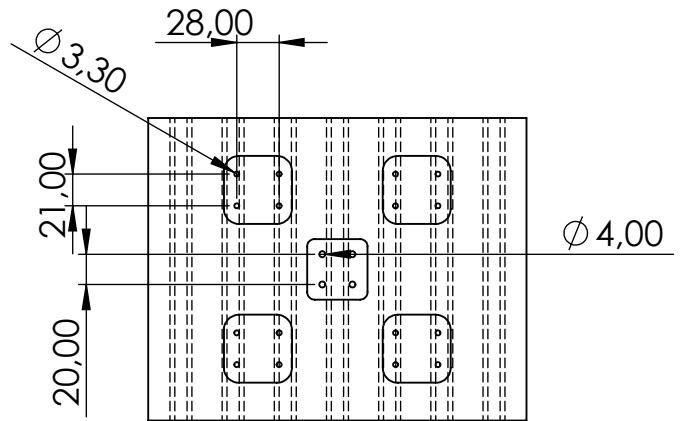
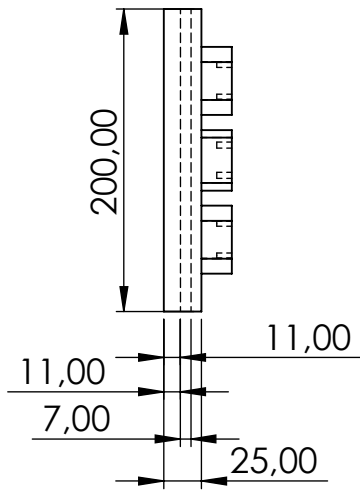


Echelle: 1:3



bâti



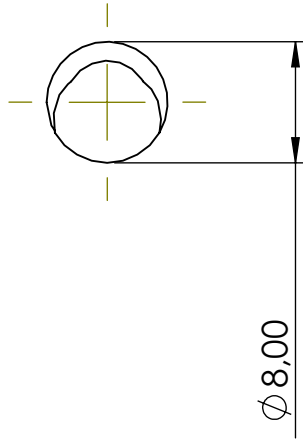


Echelle: 2:1



Table



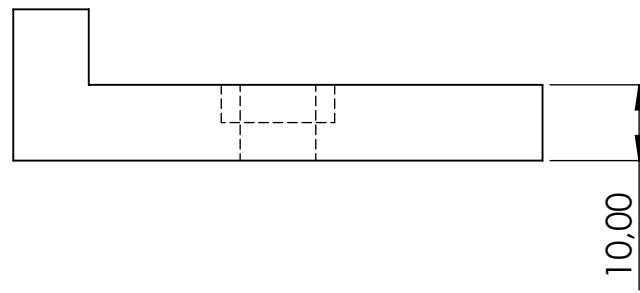
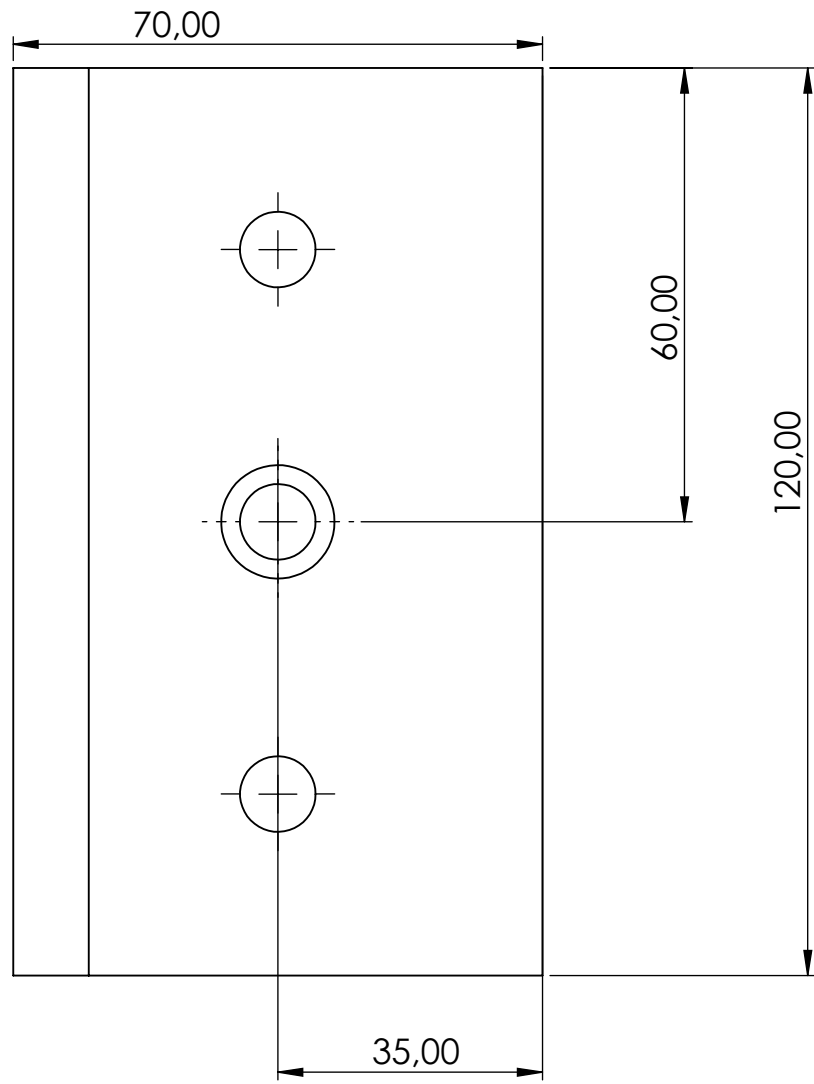


Echelle: 2:1



tige filetée



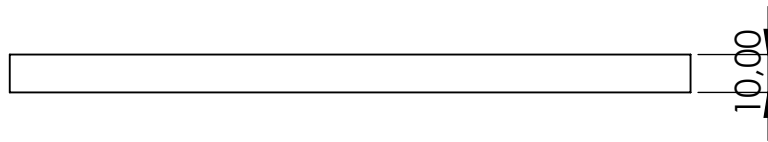
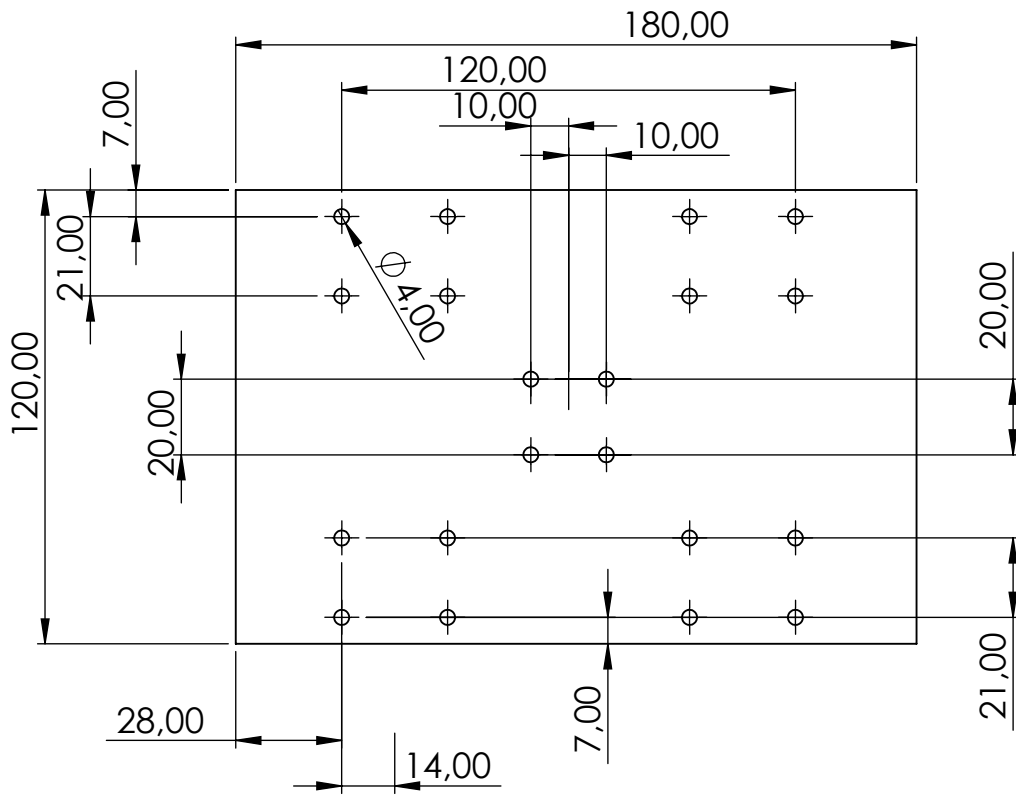


Echelle: 1:1



support de l'axe Z



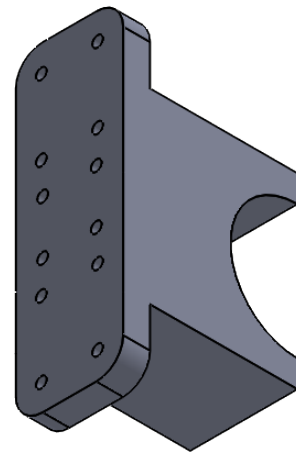
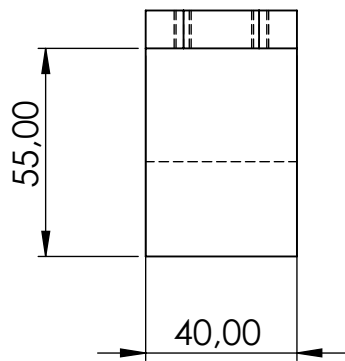
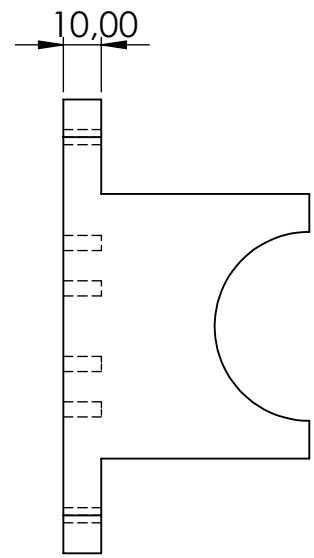
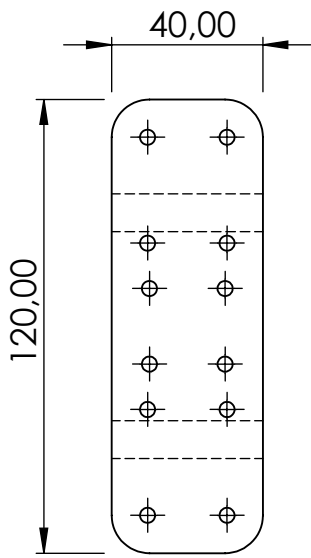


Echelle: 1:2



couvercle de l'axe y



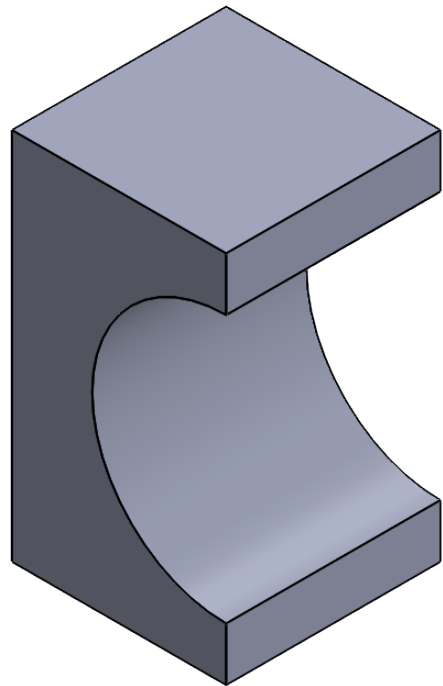
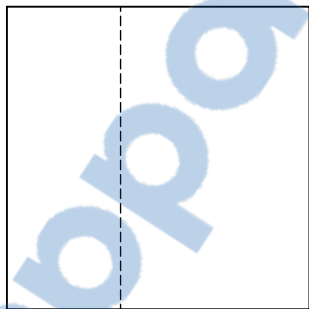
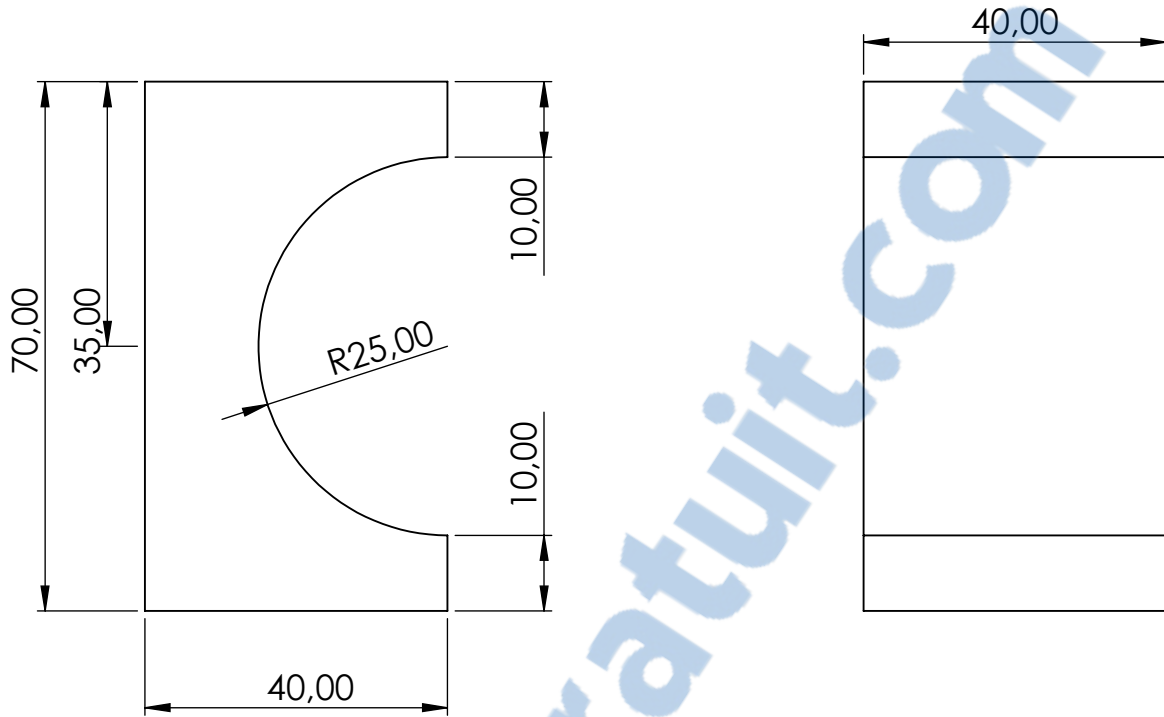


Echelle: 1:2



support de broche



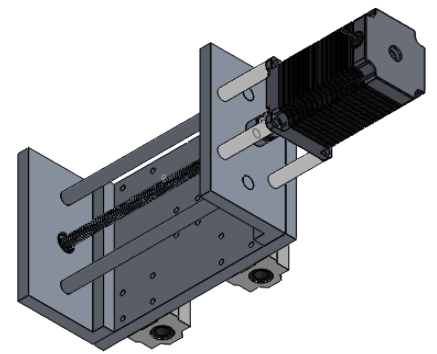
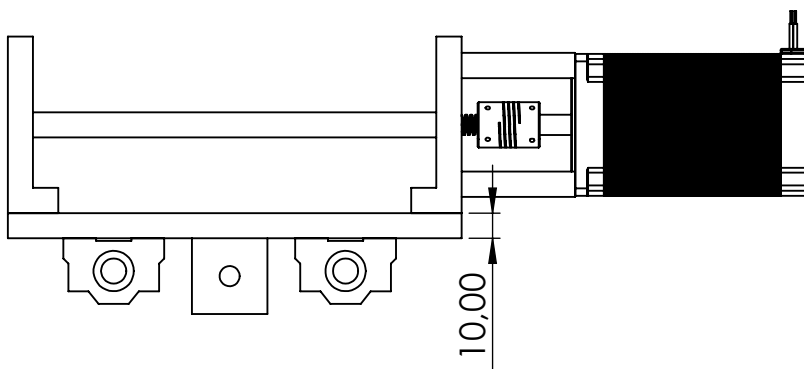
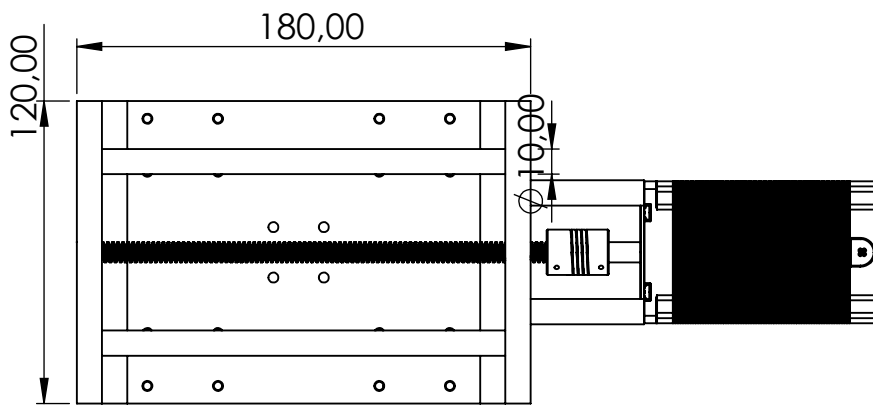


Echelle: 1:1



couvercle de broche



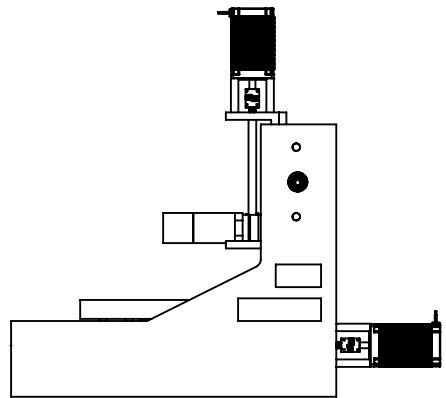
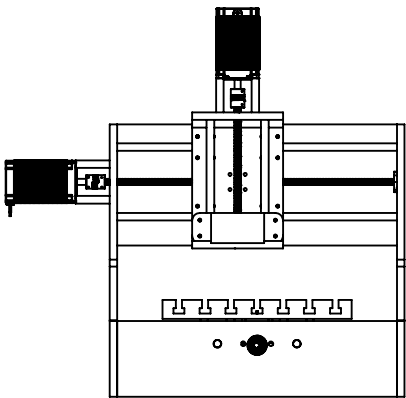
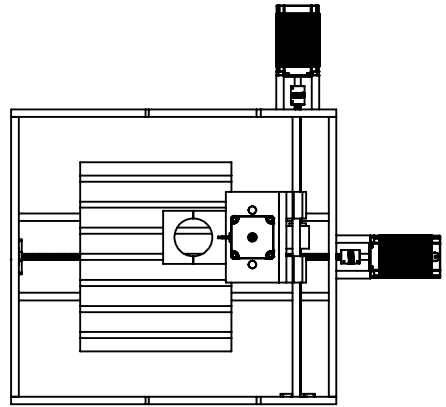
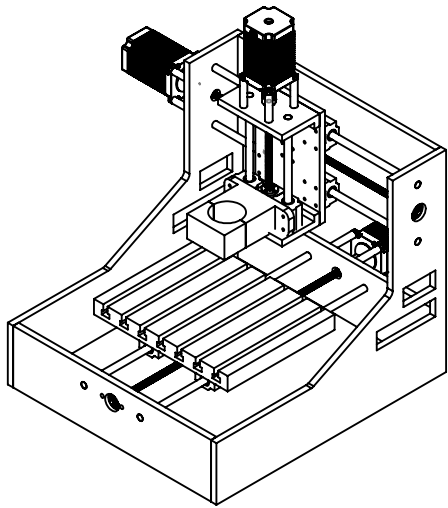


Echelle: 1:3



assemblage de l'axe Z





Echelle: 1:10



Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

fraiseuse CNC 3axes



Schéma de commande et de puissance

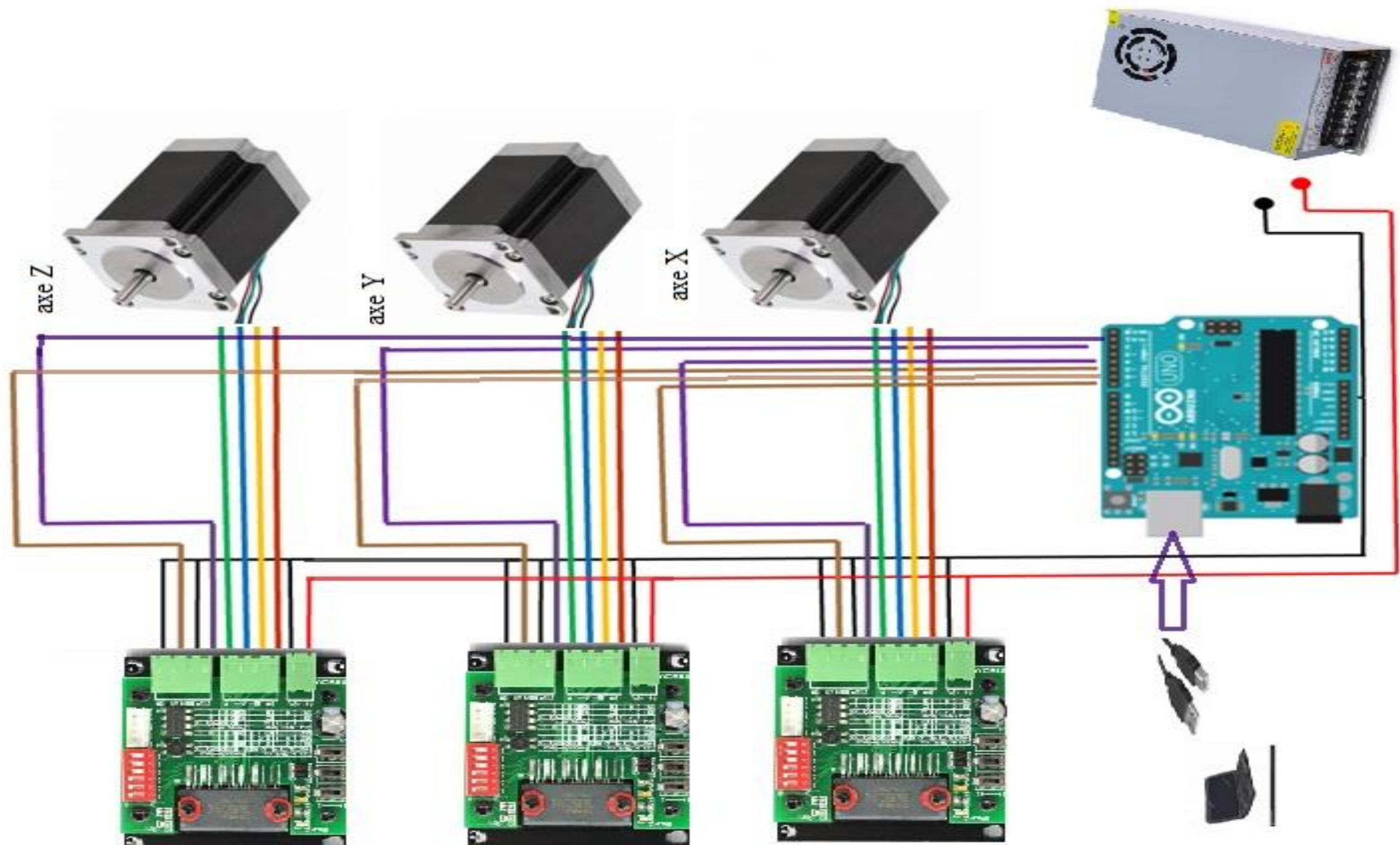


Figure 3.12 : schéma de commande et de puissance