

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement Supérieure et de la recherche
Scientifique

Université de Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou
Faculté de Génie de la construction
Département de Génie Mécanique



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de
Master professionnelle en génie mécanique

Option : Fabrication Mécanique et Productique

Thème

Conception et étude d'une fraiseuse à commande
numérique MOCN

Réalisé par :

Mlle.OULMI Tassadit

Mlle. MERZOUKI Zina

Dirigé par :

Mr.H.SEDJAL

Promotion: 2014/2015

Remerciement

Nous tenons à exprimer notre sincère reconnaissance à l'égard de tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail, particulièrement à notre promoteur Mr H. SEDJAL pour sa disponibilité, ses conseils et suggestions.

Nos remerciements vont également à Mr NAIT ALI AKLI qui nous a aidé énormément dans la réalisation de notre projet.

En fin, aux membres du jury qui nous font l'honneur d'examiner notre modeste travail.

Dédicaces

*Il nous est agréable de saisir cette occasion
pour dédier ce travail à tous :*

- ❖ *Nos parents.*
- ❖ *Nos frères et sœurs.*
- ❖ *Tous nos amis (es), camarades*
- ❖ *Et tous ceux qui nous ont aidés de
près ou de loin.*

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES:	I
LISTE DES TABLEAUX:	II
LISTE DES SYMBOLES :	III
LISTE DES PLANCHES :	IV
INTRODUCTION GENERALE:	1

CHAPITRE I : Généralités sur les MOCN

1. Introduction :	3
2. Historique :	3
3. Les avantages des MOCN :	4
3.1. Automaticité :	5
3.2. Flexibilité :	5
3.3. Sécurité :	5
3.4. Avantages économiques et techniques :	5
4. Structure physique d'une MOCN :	6
4.1. Partie commande :	6
4.1.1. Le directeur de commande numérique (DCN) :.....	6
4.1.2. L'automate programmable :.....	6
4.1.3. Les interfaces avec la PO :.....	7
4.1.4. Les interfaces de communication avec l'utilisateur et les autres PC :.....	7
4.2. Partie opérative :	7
4.2.1. La motorisation :.....	7
4.2.2. Eléments de mesure de la vitesse (Tachymètres) :.....	8
4.2.3. Eléments de mesure de la position :.....	8
5. Fonctionnement d'une MOCN :	8
5.1. Entrées du système :	8
5.2. Préparation des données :	9
5.3. Traitement des données :	9
5.4. Les sorties des systèmes :	9
6. Programmation des MOCN :	10
7. Classification des MOCN :	10
7.1. Classification des MOCN selon le mode de fonctionnement :	11
7.1.1. Fonctionnement en boucle ouverte :.....	11
7.1.2. Fonctionnement en boucle fermé :.....	11
7.2. Classification des MOCN selon le nombre d'axes :	11
7.3. Classification selon le type de déplacements sur machine :	13

7.3.1. Système de déplacement point à point :	13
7.3.2. Système de commande paraxiale :	13
7.3.3. Système de contournage :	14

CHAPITRE II : Etude et Conception

1. Introduction :	16
2. Cahier de charge :	16
3. Variantes solutions proposées :	17
3.1. Système de guidage :	18
a) Glissières :	18
b) Rails de guidage :	18
3.2. Système de transmission suivant les axes x, y, z :	19
a) Courroie :	19
b) Les chaines à rouleaux :	20
c) Transmission par vis à bille :	20
d) Transmission par vis trapézoïdale et écrou :	20
e) Comparaison des systèmes de transformation de mouvement :	21
3.3. Système de fixation :	21
3.4. Choix des moteurs :	22
4. Le choix final des composants :	24
5. Autres composants :	25
5.1. Les roulements :	25
5.2. Douilles à billes :	25
5.3. Accouplements semi-élastiques :	26
5.4. Bridage :	26
5.5. La Mini perceuse :	27
5.6. Porte outil :	27
5.7. Support broche et paliers de guidage :	27
5.8. Supports latéraux :	28
6. La partie électronique :	29
6.1. La carte Arduino UNO :	29
6.2. Alimentation :	29
7. Choix des matériaux :	30
8. Conclusion :	30

CHAPITRE III : Etude et calcule des éléments

1. Introduction :	33
2. Détermination des masses :	33
3. Dimensionnement des vis trapézoïdales :	34
3.1. Dimensionnement des vis trapézoïdales à l'usure :	35
3.1.1. Les formules à utiliser :	37
3.1.2. Applications numériques :	37
3.2. Dimensionnement des vis trapézoïdales à la flexion :	41
3.2.1. Formules analytiques :	41

3.2.2. Applications numériques :	42
4. Contrôle des axes de guidages :	43
5. Le choix des moteurs :	43
6. Dimensionnement des roulements :	45
7. Dimensionnement des douilles à billes :	47
8. Conclusion :	49

CHAPITRE IV : Programmation

1. Introduction :	51
2. La fabrication assistée par ordinateur (FAO) :	51
2.1 Définition :	51
2.2 Le G-code ou langage machine :	51
2.2.1. Structure générale du programme :	51
2.2.2. Langage utilisé en programmation :	52
CONCLUSION GENERALE :	58

LISTE DES FIGURES

Figure	Titre	Page
CHAPITRE I		
Figure I. 1	Diagramme fonctionnel d'une CN	10
Figure I. 2	Fonctionnement en boucle ouverte	11
Figure I. 3	Fonctionnement en boucle fermée	11
Figure I. 4	Fraiseuse composite mecanumeric 3 axes	12
Figure I. 5	Mini CNC ZD Q30 à 4 axes	12
Figure I. 6	Centre d'usinage 12 axes Timtos	12
Figure I. 7	Commande Numérique Point A Point	13
Figure I. 8	Commande paraxiale	13
Figure I. 9	Commande numérique de contournage	14
CHAPITRE II		
Figure II. 1	Module de guidage parallèle avec glissière	18
Figure II. 2	Rail de guidage	18
Figure II. 3	Système de transmission par courroie	19
Figure II. 4	Chaine à rouleaux	19
Figure II. 5	Vis à billes	20
Figure II. 6	Vis trapézoïdale et écrou	20
Figure II. 7	Système vis-écrou	21
Figure II. 8	Moteurs pas à pas	22
Figure II. 9	Moteurs à réluctances variables	23
Figure II. 10	Moteur à aimants permanents	23
Figure II. 11	Roulement	24
Figure II. 12	Douilles à billes	25

Figure II. 13	Accouplement semi-élastique	26
Figure II. 14	Procédé de bridage	26
Figure II. 15	Mini perceuse	27
Figure II. 16	Porte outil	27
Figure II. 17	Support broche	28
Figure II. 18	Paliers de guidage selon les axes X, Y et Z	28
Figure II. 19	Supports latéraux	28
Figure II. 20	Plateau	29
Figure II. 21	Support de base	29
Figure II. 22	Carte ArduinoUNO	30
CHAPITRE III		
Figure III.1	Vue 3D du Dispositif	33
Figure III.2	Condition de glissement des écrous de bronze sur les vis en acier	36
Figure III. 3	Système de mouvement suivant Z	37
Figure III. 4	Système de translation suivant Y	39
Figure III. 5	Système de translation suivant X	40
Figure III. 6	Diagramme des forces et des réactions	41
Figure III. 7	Facteur de charge en fonction de la dureté de la piste	47
Figure III. 8	Facteur de température en fonction de la température de fonctionnement	47
CHAPITRE IV		
Figure IV.1	Format de G-Code.	53

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Titre	Page
CHAPITRE II		
Tableau II.1	Comparaison des systèmes de transformation de mouvement	21
Tableau II.2	Comparaison des 3 types de moteurs	24
CHAPITRE III		
Tableau III.2	Les masses des différents composants du dispositif	34
Tableau III.2	Coefficients de sécurité pour différents types de charges	35
Tableau III.3	Facteur de contact en fonction du nombre de douilles par axe	48
Tableau III.4	Facteur de charge en fonction du nombre de douilles par axe	48
CHAPITRE IV		
Tableau IV.3	Fonction G en fraisage	53
Tableau IV.2	fonctions M décodées fraisage	55
Tableau IV.3	Format général des données et définitions des adresses fraisage	56

LISTE DES SYMBOLES

MOCN : Machines-outils à commande numérique

CN : Commande numérique

CNC : Commande numérique par ordinateur

FAO : Fabrication assistée par ordinateur

PC : Partie commande

PO : Partie opérative

DCN : Directeur de commande numérique

P : Pression superficielle de contact

V_{st} : Vitesse de frottement sur le diamètre moyen du filetage

f_i : Coefficient de sécurité

F_p : L'effort de pénétration

F_c : L'effort de coupe

M_f : Moment fléchissant [N.mm]

R_A : Réaction au point A [N]

R_B : Réaction au point B [N]

P : Poids [N]

L : Longueur [mm]

g : La gravité [N/Kg]

m : La masse [Kg]

d : Le diamètre [mm]

σ_f : Contrainte de flexion [MPa]

σ_{fadm} : Contrainte de flexion admissible

C_z : Couples de moteurs [N.mm]

P_{u_z} : Puissance de moteurs [W]

C : Capacité de charge dynamique [N]

L_h : Durée de vie d'un roulement [h]

LISTE DES PLANCHES

Planche N° 01 : Support de base 1

Planche N° 02 : Support de base 2

Planche N° 03 : Support de base 3

Planche N° 04 : Support latérale 1

Planche N° 05 : Support latérale 2

Planche N° 06 : Plateau

Planche N° 07 : Support broche

Planche N° 08 : Palier de guidage X

Planche N° 09 : Palier de guidage Y

Planche N° 10 : Palier de guidage Z

Planche N° 11 : Pièce de latérale

Planche N° 12 : Support broche (port outil)

Planche N° 13 : Assemblage de la machine

INTRODUCTION GENERALE

Le remplacement des machines conventionnelles par des machines à commande numérique représente un très bon investissement. Dans la majorité des ateliers, ces deux types de machine continuent à coexister. Les machines à commande numérique sont essentiellement utilisées pour la production de pièces, en moyenne et grande série, car leurs coûts de mise en œuvre et de programmation sont relativement élevés. Ces machines peuvent mémoriser une dizaine de pièces, chacune pouvant comporter une vingtaine d'opérations d'usinage.

L'objectif de notre travail est de faire une étude et une conception d'une mini fraiseuse à 3 axes.

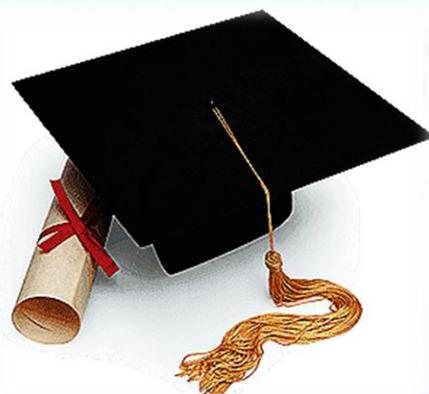
Notre travail s'inscrit dans le cadre d'un mémoire de fin d'étude en vue d'obtention d'un diplôme de master en Fabrication Mécanique et productique.

Le mémoire est composé de quatre chapitres :

- Le premier chapitre contient des généralités et des définitions sur la MOCN.
- Le deuxième chapitre est consacré à la conception de la mini fraiseuse en exposant le cahier des charges, les variantes solutions proposés et le choix des solutions pour cette mini fraiseuse.
- Le troisième chapitre présente la méthode de calcul et de dimensionnement des composants de la mini fraiseuse.
- Le quatrième chapitre explique la programmation de commande.
- Et enfin en termine par une conclusion générale.

CHAPITRE I

Généralité sur les MOCN



1 Introduction :

La commande numérique (CN) a su, en très peu de temps s'imposer dans le monde de l'industrie en général et particulièrement en 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 permis de franchir un pas important dans l'automatisation des machines-outils traditionnelles qui sont devenues capables d'assurer, en quantité comme en qualité, une production à peine imaginable quelques années auparavant.

La CN est une technique utilisant des données composées de codes alphanumériques pour représenter les instructions géométriques et technologiques nécessaires à la conduite d'une machine ou d'un procédé. C'est également une méthode d'automatisation des fonctions des machines ayant pour caractéristique principale une grande flexibilité d'utilisation.

Après une première génération de CN à logique câblée sont apparues les commandes numériques par ordinateur (CNC), ou par ordinateur. La CN est depuis étroitement associée aux progrès de la micro-électronique et de l'informatique, grâce auquel elle voit ses performances et sa convivialité augmenter régulièrement tandis que, en revanche, son prix et son encombrement ne cessent de diminuer. Elle pénètre, de ce fait, dans les plus petites entreprises et devient accessible à tous les secteurs industriels faisant appel aux procédés de positionnement ou de suivi de trajectoire.

2 Historique :

L'histoire de la CN remonte à la fin du XVIII^{ème} siècle, quand Falcon et Jacquard ont montré qu'il était possible de commander les mouvements d'une machine à partir d'informations transmises par un carton perforé. Ils dotèrent en 1805 un métier à tisser de cette technique créant ainsi la première machine asservie, laquelle est considérée comme étant l'ancêtre de la commande numérique.

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

En 1947, à Traverse City dans l'État du Michigan, John Parsons utilise pour la première fois un ordinateur IBM à cartes perforées pour la reproduction de profil d'ailes pour le compte de L'US Air Force. Mais sa méthode a montré ses limites pour les pièces de formes plus complexes, telles que les cames pour pompes à injection, et Parsons comprend que seul un usinage continu en 3 dimensions pouvait assurer de telles exigences techniques. Il confie alors, en 1949, au *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) le soin de développer des asservissements capables de piloter une machine qui recevra des instructions successives à partir d'un lecteur de cartes.

C'est en septembre 1952 dans le *Servomechanisms Laboratory* du MIT qu'a été présentée pour la première fois cette machine, une fraiseuse prototype *Cincinnati* à broche verticale, conçue pour exécuter des déplacements simultanés suivant 3 axes. L'information mathématique étant la base du concept, on lui donne le nom de *Numerical Control* (NC).

Il fallait encore attendre quelques années de dur labeur des chercheurs du MIT aidés par les fonds inépuisables de L'US Air Force pour rendre la première Machine-Outil à Commande Numérique (MOCN) réellement opérationnelle. C'était le début d'une histoire fascinante dont quelques dates clés sont présentées ici :

- 1954 : Premières machines CN produite industriellement par *Bendix*.
- 1955 : Commercialisation de la première MOCN par *Giddings & Lewis*.
- 1958 : Développements du premier langage de programmation symbolique.
- 1965 : Premiers changements d'outils automatiques.
- 1968 : La CN adopte les circuits intégrés, elle devient plus compacte et plus puissante.
- 1969 : Premières installations DNC.
- 1972 : Les mini-calculateurs remplacent les logiques câblées, la CN devient CNC.
- 1976 : Premières machines CNC avec microprocesseur intégré.
- 1984 : Premières machines CNC équipée d'une aide à la programmation graphique.
- 1994 : Bouclements de la chaîne de processus entre CAO, FAO et CNC.
- 2000 : Des interfaces par Internet permettent un échange de données au niveau mondial et un diagnostic de défauts intelligent.

Les débuts de cette technologie furent assez difficiles vue la réticence des investisseurs ainsi que des consommateurs qui n'étaient pas encore convaincus de la réelle efficacité de ces machines. Il faut dire aussi que les problèmes ne manquaient pas :

- Des commandes et une programmation des machines trop compliquées.
- Nécessité de grands investissements (achat de machines, formation des collaborateurs, développement, mise en service et entretien).
- Futur incertain concernant le développement des techniques.

Ces réticences furent définitivement balayées en 1972 avec le passage de la logique câblée au microprocesseur et l'apparition de la CNC. La puissance des nouveaux processeurs était de 32 Ko et la fréquence d'horloge de 16 kHz. Aujourd'hui, après le développement des ordinateurs, les machines CNC permettent une production économique, rentable et des prix de ventes impensables il y'a quelques années. [1]

3 Les avantages des MOCN :

Les machines-outils à commande numérique (MOCN) offrent de nombreux avantages comparées aux machines conventionnelles tels que l'automatisme, la flexibilité, la sécurité, avantages économiques et techniques. [1]

3.1. Automaticité :

Le premier avantage d'une CN est d'offrir aux machines qui en sont équipées un très haut niveau d'automatisme. Sur de telles machines, l'intervention de l'opérateur nécessaire pour assurer la production de pièces peut être considérablement réduite voire supprimée.

Si l'on compare une MO conventionnelle et une MOCN, on peut considérer que le temps copeau est assez voisin sur les deux types de machines. En revanche, la productivité comparée de diverses catégories de machines de niveaux d'automatisation différents, c'est-à-dire ce même temps copeau ramené au temps effectif de production, est très différente compte tenu de la réduction importante des temps non productifs que l'on enregistre sur les machines à fort taux d'automatisation.

3.2. Flexibilité :

Puisqu'elles sont pilotées à partir d'un programme, les MOCN peuvent usiner des pièces différentes aussi facilement que l'on charge un nouveau programme. Une fois vérifié puis exécuté pour la première série, ce programme peut être facilement rappelé lorsque la même série se représente. Une MOCN se caractérise en outre par des temps de réglage très courts qui répondent parfaitement aux impératifs de la production en flux tendus.

3.3. Sécurité :

La CN a beaucoup contribué à améliorer la sécurité des machines car :

- Elle connaît très précisément l'espace de travail dans laquelle doivent évoluer les outils (possibilité de mémorisation des courses maximales des organes mobiles) ;
- Elle permet de simuler graphiquement les programmes nouvellement créés pour vérification et détection des risques éventuels de collision.
- Grâce à une surveillance permanente de l'usinage en cours, elle peut décider d'en interrompre le déroulement et d'alerter l'opérateur en cas d'incident.

Il est par ailleurs admis que le niveau de performances très élevé atteint par les MOCN conduit les constructeurs à prévoir des dispositifs de protection très élaborés qui ne s'imposent pas nécessairement sur une MO conventionnelle.

3.4. Avantages économiques et techniques :

La CN se montre économiquement intéressante pour produire à l'unité ou en série toute sorte de pièces, même les plus simples. Une fois vérifié et validé, un programme assure la réalisation de séries de pièces identiques avec la même régularité de précision et la même qualité d'usinage, sans que l'habileté de l'opérateur n'intervienne. Il convient, en outre, de souligner que la CN ouvre de nouvelles perspectives en permettant la définition de pièces complexes qu'il est pratiquement impossible de concevoir et de

fabriquer sur des MO conventionnelles. Dans une économie de marché où les produits se caractérisent en termes de prix, de qualité et de délai de mise à disposition la MOCN se tient donc loin devant la MO conventionnelle. [1]

4 Structure physique d'une MOCN :

Une MOCN est une machine-outil partiellement ou totalement automatisées. Les ordres de mouvements des différents organes sont donnés par programmation. Les positions successives de l'outil par rapport à la pièce sont exprimées sous forme numérique et sont définies dans un système de coordonnées de nomenclature normalisée. Lorsque la commande numérique est assurée par un ordinateur, on parle de machine CNC.

La MOCN comporte trois grandes parties :

- La partie commande (PC) ;
- La partie opérative (PO) ;
- L'armoire de puissance. [1]

4.1. Partie commande :

La partie commande (PC) permet de commander les différents mouvements de la machine et peut aussi renseigner l'opérateur sur le déroulement de l'usinage. Ses fonctions sont assurées par des sous-ensembles:

- Le directeur de commande numérique (DCN) ;
- L'automate programmable ;
- Les interfaces avec la PO ;
- Les interfaces de communication avec l'utilisateur et les autres PC.

4.1.1. Le directeur de commande numérique (DCN) :

Le directeur de commande est un système à base de microprocesseurs et il a pour fonctions :

- Le pilotage et la synchronisation des axes de mouvement ;
- La gestion des programmes ;
- Le paramétrage des dimensions des outils, du porte-pièces et de la machine ;
- La communication avec l'extérieur.

4.1.2. L'automate programmable :

L'automate programmable est chargé de l'automatisation de la machine. Il échange des informations avec le DCN, l'opérateur et la PO.

Les informations d'entrée sont :

- L'état des capteurs ;
- L'état des pré-actionneurs ;
- Les ordres de l'opérateur via les boutons du pupitre.

Les informations de sortie sont :

- La commande des pré-actionneurs ;
- L'autorisation de fournir l'énergie aux pré-actionneurs ;
- L'état des voyants du pupitre.

4.1.3. Les interfaces avec la PO :

L'interface automate / PO est constituée de cartes entrées-sorties, elles transforment des informations binaires (dites aussi tout ou rien).

L'interface DCN / PO est constituée de cartes d'axes et de variateurs de vitesse. Ces organes sont chargés de réaliser l'asservissement en vitesse et en position de chacun des mouvements outil/pièce. Pour chaque mouvement, la carte d'axe contrôle la position, et le variateur contrôle la vitesse. [2]

4.1.4. Les interfaces de communication avec l'utilisateur et les autres PC :

C'est l'ensemble des boutons, réels et virtuels, mis à disposition des utilisateurs pour exploiter au mieux la MOCN. La plupart offrent un panel d'option et d'icônes simples et facilement assimilables. Il est possible de connecter la MOCN à un réseau commandé par un serveur en gardant évidemment une certaine autonomie (suivant le mode d'utilisation).

4.2. Partie opérative :

La PO reçoit des ordres de la PC et les exécute afin de réaliser l'usinage. Et elle comporte :

- La motorisation ;
- Eléments de mesure de la vitesse ;
- Eléments de mesure de la position.

4.2.1. La motorisation :

On utilise deux types de moteurs électriques :

- Le moteur à courant continu, dont la vitesse peut être réglée en variant la tension à ses bornes tout en maintenant une alimentation suffisante en intensité pour fournir le couple mécanique nécessaire à l'entraînement des parties mobiles.
- Le moteur à courant alternatif (asynchrone), pour lequel il suffit de faire varier la fréquence du courant qui l'alimente pour faire varier la vitesse.

4.2.2. Eléments de mesure de la vitesse (Tachymètres) :

Pour mesurer la vitesse on utilise généralement des capteurs dits Génératrices tachymétriques. Ces dispositifs ont la propriété de fournir une tension électrique proportionnelle à la fréquence de rotation de leur axe. Une autre solution consiste à calculer la dérivée de la mesure de position.

4.2.3. Eléments de mesure de la position :

On classe les capteurs de position selon :

- Le type de mouvement mesuré, linéaire ou rotatif.
- La nature de l'information délivrée, elle est soit analogique comme pour les capteurs inductifs et les transformateurs variables ou alors numérique comme pour les générateurs d'impulsion et les compteurs.
- La nature de la lecture. Celle-ci est dite absolue lorsqu'elle est définie par rapport à l'origine, elle est généralement assurée au moyen d'un codeur. La mesure peut aussi être relative, le déplacement est mesuré comme un agrandissement de la coordonnée par rapport à la position précédente, cette mesure est assurée par des capteurs incrémentaux. Enfin, la mesure peut être semi-absolue dans le cas d'un codeur rotatif.

4.3. L'armoire de puissance :

Elle se compose :

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

5 Fonctionnement d'une MOCN :

Le travail de la CN passe obligatoirement par quatre niveaux bien distincts qui sont :

- Entrées du système ;
- Préparation des données ;
- Traitement des données ;
- Sortie du système.

5.1. Entrées du système :

La CN reçoit dans son unité centrale :

- Le programme d'usinage de la pièce sous forme codée ;

- Les paramètres d'usinage qui complètent le programme pièce par des informations connues seulement de l'opérateur. Telles que les dimensions des outils, la modulation des vitesses d'avance et des vitesses de rotation de broche et l'ajustement des conditions de coupe. Ces paramètres sont introduits grâce au clavier d'entrées ;
- Des signaux électriques de mesure de vitesse et de position fournis par des capteurs implantés sur les axes et la broche de la machine ;
- Des signaux logiques d'état des équipements périphériques (commande, sécurité...).

5.2. Préparation des données :

Sur cette étape, le travail de la CN consiste à :

- Analyser le programme d'usinage comme la reconnaissance des informations codées, le diagnostic des erreurs de syntaxe éventuelles, la traduction en valeurs numériques des informations codées...
- Prendre en compte les paramètres d'usinage afin de modifier les données numériques programmées qui viennent d'être analysées.
- Mettre en file d'attente les blocs d'informations prétraités et organiser leur stockage dynamique dans une mémoire-tampon afin d'assurer la continuité du mouvement entre deux phases d'usinage successives. [1]

5.3. Traitement des données :

Les informations contenues dans le dernier étage de stockage (bloc exécutable) sont destinées au traitement et au contrôle des axes, d'une part, et au traitement des fonctions logiques spécifiques à la machine (broche, outils, ...), d'autre part. Les fonctions de traitement et de contrôle des axes sont assurées respectivement par les interpolateurs et les dispositifs d'asservissement de position.

5.4. Les sorties des systèmes :

Le résultat du traitement des données apparaît sous la forme de signaux de sortie transmis de la CN vers l'extérieur et ils peuvent être soit :

- Des signaux analogiques ou numériques de commande des moteurs d'entraînement ;
- Des signaux logiques de commande de des éléments périphériques ;
- Des données numériques ou logiques relatives au fonctionnement du système.

Les différents niveaux de traitement sont récapitulés dans la figure1 ci-dessous. [1]

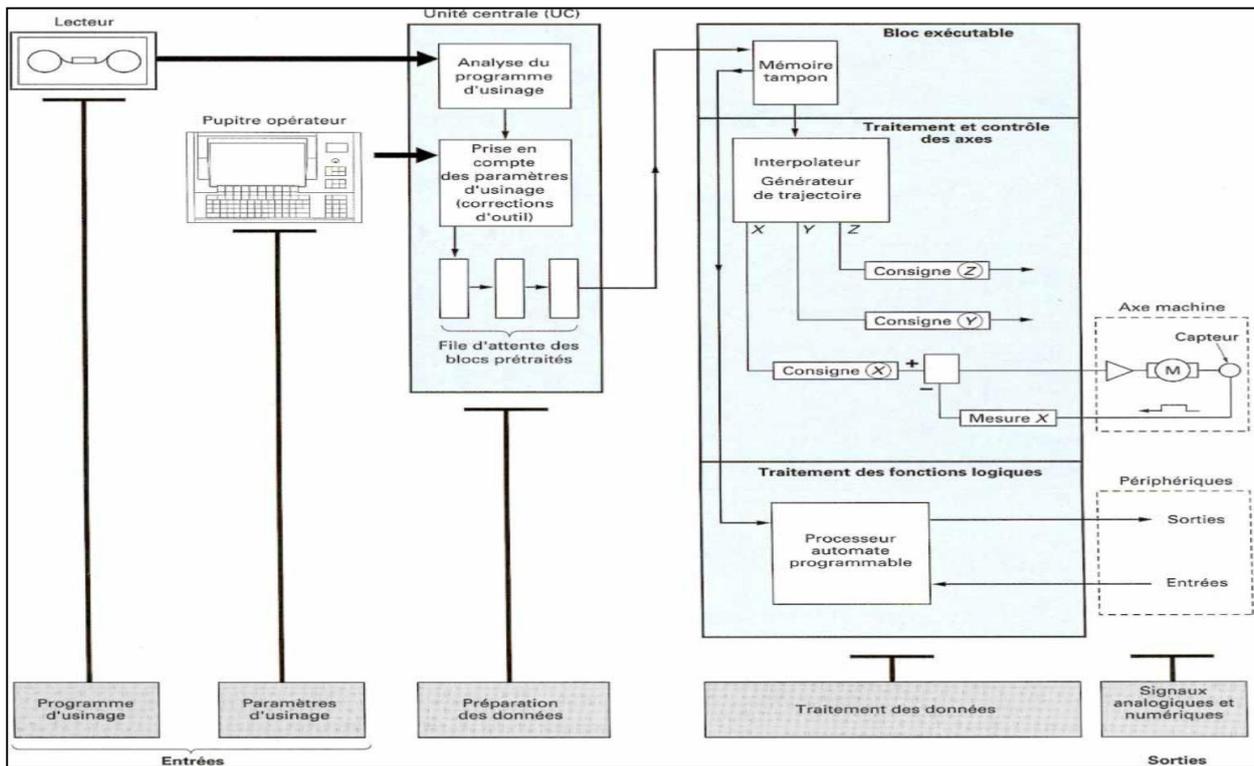


Figure I. 1 : Diagramme fonctionnel d'une CN. [1]

6 Programmation des MOCN :

La programmation est le travail de préparation qui consiste à transposer, sous forme de texte alphanumérique, la gamme d'usinage de la pièce en un ensemble ordonné d'instructions comprises et exécutées par la CN en vue de réaliser son usinage. Les instructions programmées doivent contenir toutes les données nécessaires à la commande et au séquençage des opérations et elles regroupent :

- Les données géométriques nécessaires au dimensionnement de la pièce et aux calculs des trajectoires.
- Les données technologiques permettant de définir les vitesses de coupes, les profondeurs de passes, les vitesses d'avances...

Ces instructions sont introduites à l'aide d'un langage machine appelé G-Code. Elles sont ensuite transformées en code binaire afin qu'elles puissent être stockées et lues par la CN.

7 Classification des MOCN :

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

- Le mode de fonctionnement de la machine.
- Le nombre d'axes de la machine.
- Les déplacements effectués sur la machine. [2]

7.1. Classification des MOCN selon le mode de fonctionnement :

7.1.1. Fonctionnement en boucle ouverte :

En boucle ouverte, comme l'illustre la **Figure I.2** le système assure le déplacement du chariot mais ne le contrôle pas.

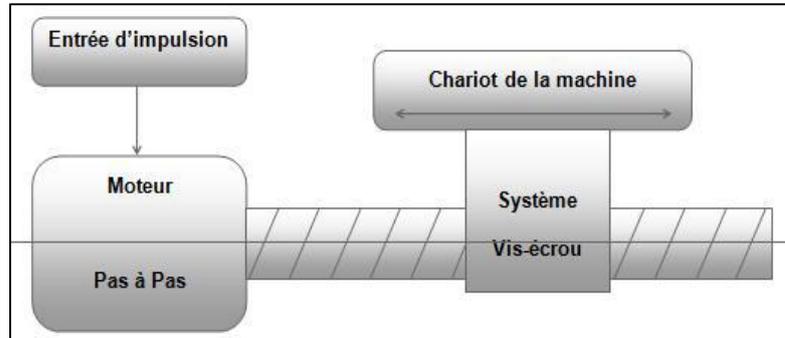


Figure I. 2 : Fonctionnement en boucle ouverte. [4]

7.1.2. Fonctionnement en boucle fermée :

En boucle fermée le système contrôle le déplacement ou la position jusqu'à égalité des grandeurs entrée (E) dans le programme et celui mesuré (Gm).comme illustre la **Figure I.3**

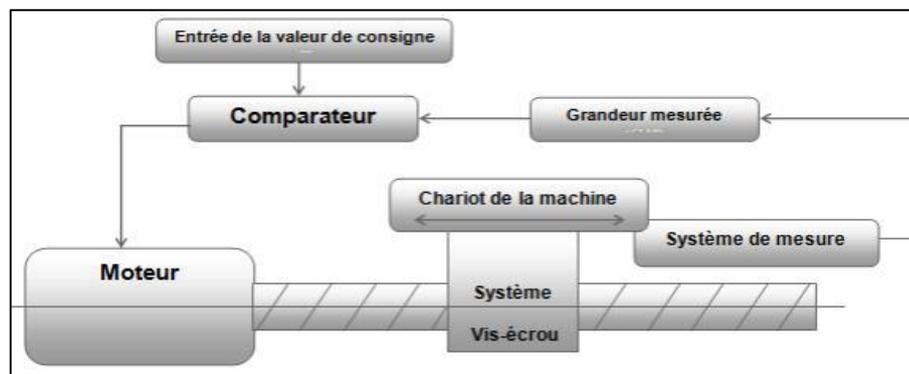


Figure I. 3 : Fonctionnement en boucle fermée. [4]

7.2. Classification des MOCN selon le nombre d'axes :

Les possibilités de travail des MOCN s'expriment en nombre d'axes de travail. Un degré de liberté d'un organe de machine est appelé AXE si l'actionneur du mouvement est asservi en vitesse et position, et s'il peut être synchronisé avec un autre degré de liberté pour obtenir un déplacement qui n'est pas parallèle à une direction principale du système de coordonnées. Les consignes de position de chacun des axes sont générées par l'interpolateur lequel assure aussi leur synchronisation. Ces informations sont calculées périodiquement à une cadence constante (dite fréquence d'horloge) en fonction de la trajectoire à réaliser. La vitesse d'un axe est contrôlée à travers un variateur, lequel reçoit des consignes provenant de la carte d'axe. Le variateur va ensuite adapter l'énergie électrique à fournir au moteur afin d'obtenir la vitesse désirée.

On a ici quelques exemples de MOCN à plusieurs axes : [2]



Figure I. 4 : Fraiseuse composite mecanumeric 3 axes. [4]



Figure I. 5 : Mini CNC ZD Q30 à 4 axes. [4]



Figure I. 6 : Centre d'usinage 12 axes Timtos. [4]

7.3. Classification selon le type de déplacements sur machine :

Il existe trois grands systèmes de déplacements :

- Système de déplacement point à point ;
- Système de commande paraxiale ;
- Système de contournage. [3]

7.3.1 Système de déplacement point à point :

Ce système est utilisé pour piloter des opérations d'usinage ne demandant qu'un simple positionnement outil/pièce tels que le perçage, la soudure par point, le poinçonnage...etc. Aucun contrôle n'est effectué sur la trajectoire suivie entre le point de départ et le point d'arrivée. Seule importe la position de l'outil par rapport à la pièce en fin de déplacement.

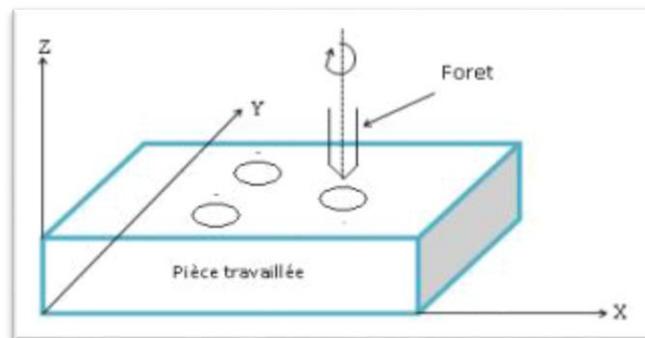


Figure I.7 : Commande Numérique Point A Point. [4]

7.3.2. Système de commande paraxiale :

Ce système fait parcourir à l'outil (ou à la pièce) une trajectoire constituée de segments parallèles aux axes de translation de la machine. La vitesse de déplacement étant programmable, l'outil peut réaliser des usinages simples tels que du fraisage en cycles carrés et du tournage en chariotage, en plongée ou en tronçonnage. [3]

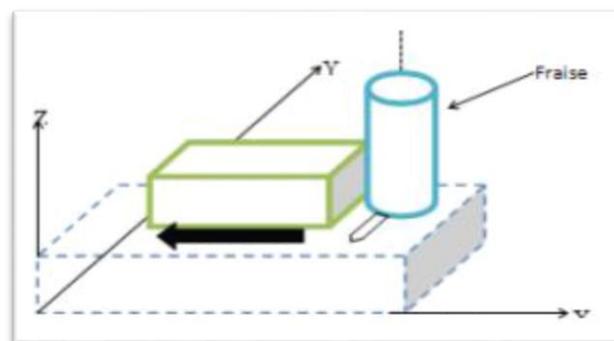


Figure I.8 : Commande paraxiale. [4]

7.3.3. Système de contournage :

Aujourd'hui généralisé sur la quasi-totalité des MOCN, le contournage fait parcourir à l'outil (ou à la pièce) une trajectoire définie très précisément. Le niveau de précision étant fonction de la bonne coordination des mouvements, tous les axes de la machine sont strictement dépendants les uns des autres. La CN compare à tout instant les valeurs de consigne de chaque axe en mouvement avec les valeurs instantanées des coordonnées et des vitesses, afin d'imprimer aux organes mobiles une succession de déplacements élémentaires de très petite amplitude dont la répétition va engendrer des trajectoires linéaires ou circulaires. [3]

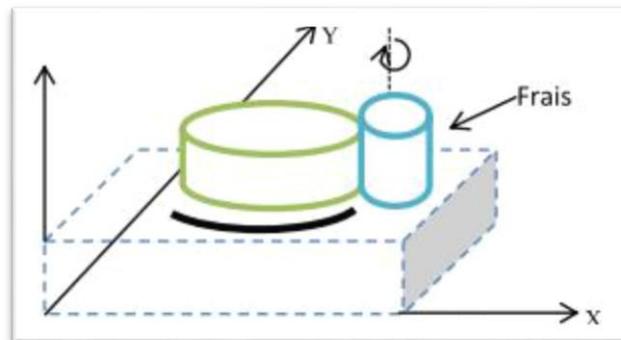


Figure I.9 : Commande numérique de contournage. [4]

CHAPITRE II

Etude et conception



1. Introduction :

Notre projet comporte deux grandes parties, la conception des éléments composants notre MOCN puis leur réalisation.

Dans ce chapitre nous allons traiter de la conception de la mini-fraiseuse à commandes numérique (du moins les parties les plus importantes) on détaillera donc le processus de conception.

2. Cahier de charge :

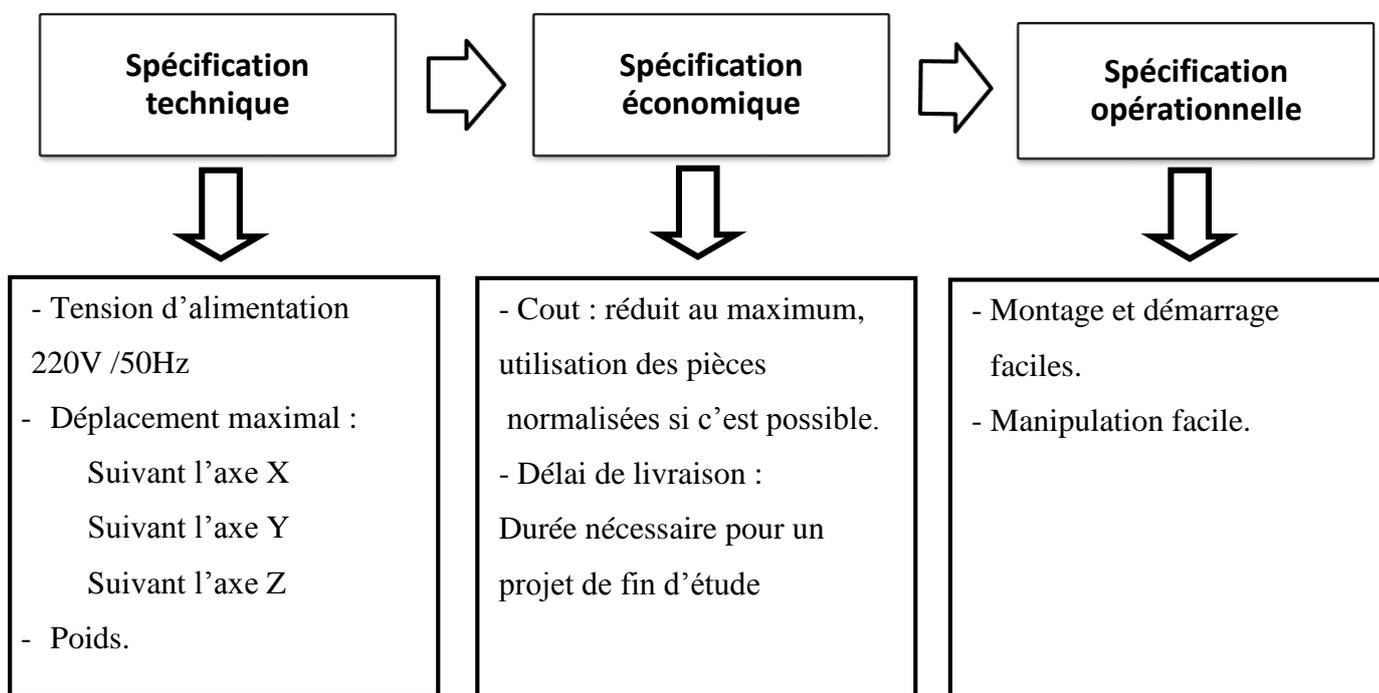
Notre projet consiste en la conception d'une machine à commande numérique (mini fraiseuse 3 axes). Le projet s'inscrit dans le cadre d'un mémoire de fin d'étude

Le cahier de charges décrit les spécifications du point de vue technique, économique et opérationnel. Il exprime les exigences relatives au produit.

- **Fonction principale :**

Notre machine-outil a été réalisée dans un but purement pédagogique. Elle équipera l'atelier de réalisation mécanique de la faculté et servira de banc d'initiation aux MOCN. Sa conception lui permet l'usinage de matériaux tendres et de dureté moindre tels que le bois, le plastique ou l'aluminium.

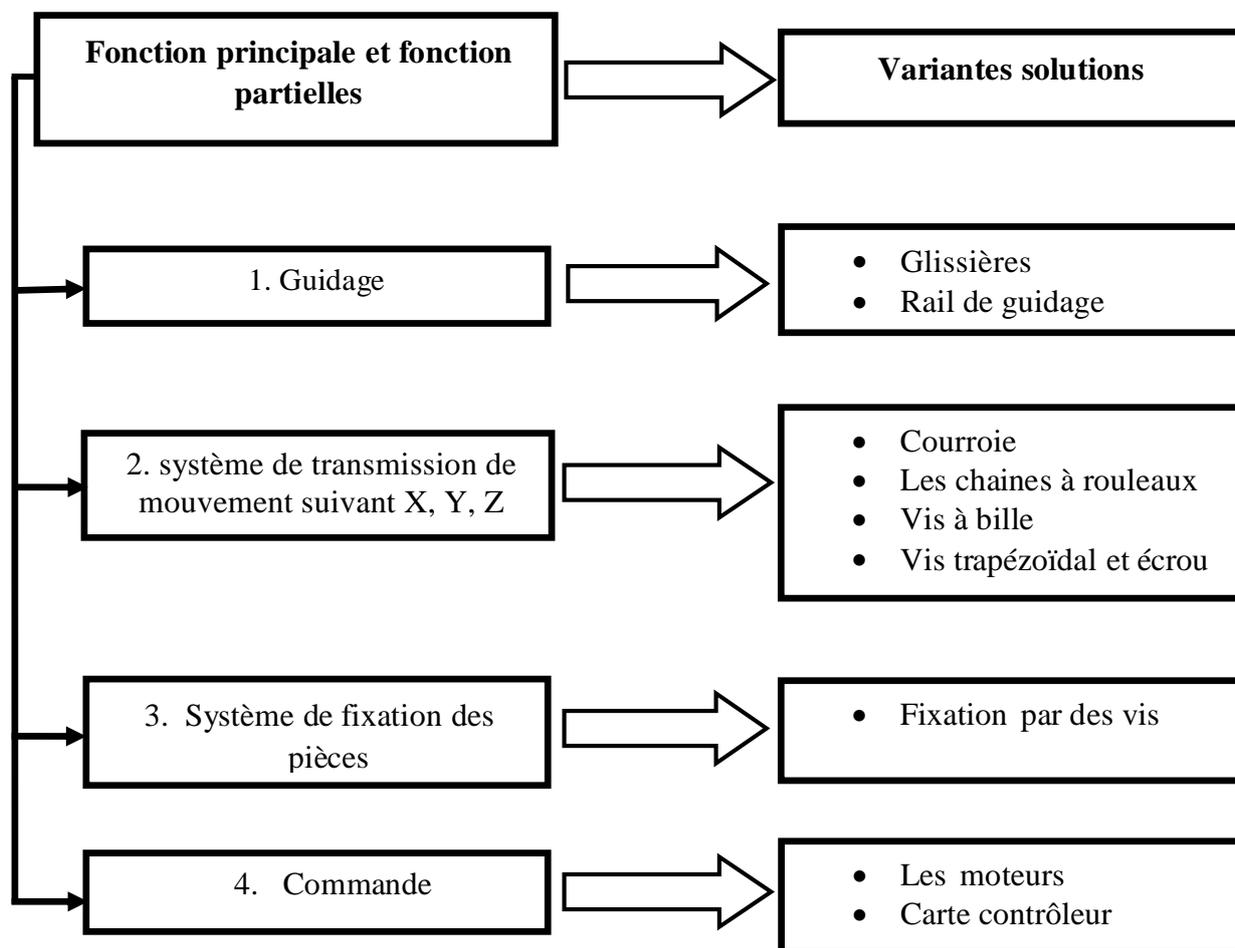
- **Points à respecter :**



3. Variantes solutions proposées :

Dans cette partie nous faisons état des différentes solutions technologiques qui nous permettront de réaliser notre système à moindre cout tout en respectant les exigences détaillées dans le cahier de charges.

L'organigramme suivant récapitule les différentes solutions proposées afin d'accomplir les différentes fonctions du dispositif.



On a utilisé des pièces normalisées et des pièces usinées. Les pièces normalisées sont tirées d'après les catalogues des fournisseurs. Les pièces usinées sont conçues avec le logiciel de conception Solidworks.

3.1 Système de guidage :

a) Glissières :

En mécanique, le guidage est une action assurée par un joint cinématique dans un mécanisme. Par exemple une glissière assure un guidage en translation. Les glissières de guidage constituent l'un des organes les plus importants dans les machines-outils. Elles font partie de l'âme mécanique d'une machine et contribuent pour une large part à sa précision, ses performances et sa durée de vie. [5]

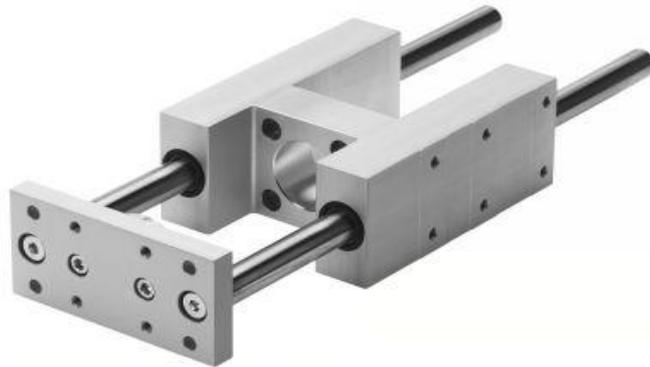


Figure II .1: Module de guidage parallèle avec glissière.

b) Rails de guidage :

Les guidages de type prismatiques (**Figure II.2**) associent des surfaces de contact planes ils sont utilisés dans la mécanique de précision (automation, dispositifs de contrôle et de mesure...) car ils sont caractérisés par une absence totale de jeu et ils possèdent un très faible coefficient de frottement (0,0005 à 0,003). Pour des vitesses de déplacement allant de 3 à 5 m/s.

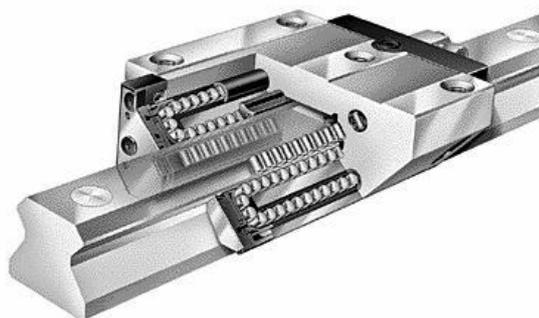


Figure II.2 : Rail de guidage

Les systèmes linéaires sont généralement équipés de 2 ou 3 pistes de roulements assurant la mise en position et de pistes supplémentaires généralement réglables assurant le maintien en position (Contact bilatéral). Une recirculation des billes est souvent prévue. [5]

3.2 Système de transmission suivant les axes x, y, z :

a) Courroie :

Les courroies et les poulies permettent la transmission d'un mouvement de rotation d'un arbre menant à un arbre mené relativement éloignés l'un de l'autre. Le glissement qui résulterait du fonctionnement d'une transmission par friction exclut les courroies plates ; seules les courroies crantées sont utilisées en robotique. [6]

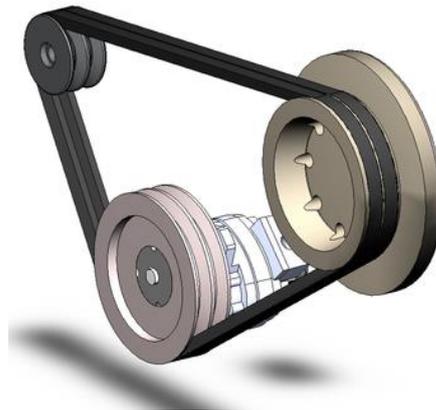


Figure II.3 : Système de transmission par courroie.

b) Les chaînes à rouleaux :

Elles sont constituées d'une succession de deux types de maillons différents disposés alternativement, les maillons intérieurs et les maillons extérieurs.

- Les maillons intérieurs sont formés de deux pièces tubulaires appelées douilles généralement en acier cémenté.
- Les maillons extérieurs sont formés de deux plaques dites extérieures en acier, traité ou non, reliées par deux axes généralement en acier cémenté ; ils sont rives ou fixes par tout autre moyen : goupilles, écrous, etc. [6]



Figure II.4 : Chaîne à rouleaux.

c) Transmission par vis à bille :

Une vis à billes est un mécanisme assurant la conversion d'un mouvement de rotation en un mouvement de translation (liaison hélicoïdale). C'est un équivalent du mécanisme vis-écrou, ou des billes sont intercalées entre les deux pièces (**Figure II .5**). La présence des billes permet de diminuer fortement le frottement qu'on rencontre dans un système vis-écrou simple. La vis à billes s'impose donc dans les cas :

- De transmission de puissance ;
- De mouvement de précision. [5]



Figure II.5 : Vis à billes.

d) Transmission par vis trapézoïdale et écrou :

La vis trapézoïdale c'est une tige filetée, la tige filetée est en mécanique le composant mâle d'un système vis/écrou destiné à l'assemblage de pièces ou à la transformation de mouvement. Son complément, pièce femelle est l'écrou.

Cette tige comporte un noyau de section circulaire, avec sur sa périphérie un filetage forme générée par le balayage d'une section le long d'une hélice. La tige peut être réalisée en métal dans la plupart des cas. Elle peut aussi être en matière plastique dure pour les pièces de petite dimension (industrie de précision) ou ayant des contraintes techniques particulières (légèreté notamment). [5]



Figure II.6 : Vis trapézoïdale et écrou.

e) Comparaison des systèmes de transformation de mouvement :

Le tableau suivant présente les différents avantages et inconvénients de chaque type de transmission.

Tableau II.1 : Comparaison des systèmes de transformation de mouvement

Système de transmission	Avantage	Inconvénient
Courroie	<ul style="list-style-type: none"> -Transmission mécanique flexible. -Transmission à grande vitesse. -Frais d'installation réduite, entretien facile. -Silencieuse et simple position éloignée des arbres. 	<ul style="list-style-type: none"> -Glissement -Sensibilité à l'huile.
Chaîne	<ul style="list-style-type: none"> -puissance transmise élevée à faible vitesse -position éloignée des arbres -utilisables dans des conditions (chocs, vibration) 	<ul style="list-style-type: none"> -nécessité d'une lubrification -poids élevé -arbres parallèles seulement
Vis à bille	<ul style="list-style-type: none"> -Rendement $90\% < \mu < 98\%$ -précision élevée -puissance transmise élevée -silencieux 	<ul style="list-style-type: none"> -Coût élevé -montage complexe
Vis trapézoïdale et écrou	<ul style="list-style-type: none"> -puissance transmise moyenne. -Coût normale. -montage facile 	<ul style="list-style-type: none"> -Rendement $\mu = 50\%$ -précision moyenne.

3.3 Système de fixation :

a) Par vis :

La vis de fixation (**Figure II.7**) est un organe mécanique, comportant une tige fileté et une tête. Elle est destinée à la fixation d'une ou de plusieurs pièces par pression. La fixation par vis crée une liaison plane sur plan démontable, par placage précontraint des deux pièces à assembler. Tant que les efforts de traction appliqués sur la liaison n'excèdent pas la tension exercée au repos par les vis, l'assemblage bénéficie de la raideur des pièces assemblées. [4]



Figure II.7 : Système vis-écrou

- **Avantage :**

- Fixation très simple et fiable ;
- Bonne accessibilité pour le serrage.

3.4 Choix des moteurs :

Les moteurs de commandes d'axes sont considérés comme étant des convertisseurs électromécaniques destinés à transformer le signal électrique en déplacement mécanique. Il en existe plusieurs types

- Les moteurs DC à balais ;
- Les moteurs DC sans balais ;
- Les moteurs Synchrones ;
- Les moteurs pas à pas. [7]

3.4.1. Les moteurs pas à pas :

Les moteurs pas à pas (**Figure II.8**) présentent une très grande précision et une durée de vie quasi illimitée, l'usure mécanique étant pratiquement inexistante. Ils existent en différentes tailles qui varient entre 1cm et plus d'une dizaine, tout dépendra des applications pour lesquelles ils sont destinés.



Figure II.8 : Moteurs pas à pas

On peut classer les moteurs pas à pas en 3 catégories :

a) Les moteurs à réluctances variables :

Ces moteurs sont composés d'un barreau de fer doux et d'un certain nombre de bobines. Lorsqu'on alimente une bobine, elle devient un électroaimant et le barreau de fer cherche naturellement à s'orienter suivant le champ magnétique. On alimente la phase 1, puis la phase 2, puis la phase 3 ... Si on veut changer le sens du moteur, il suffit de changer l'ordre d'alimentation des bobines.

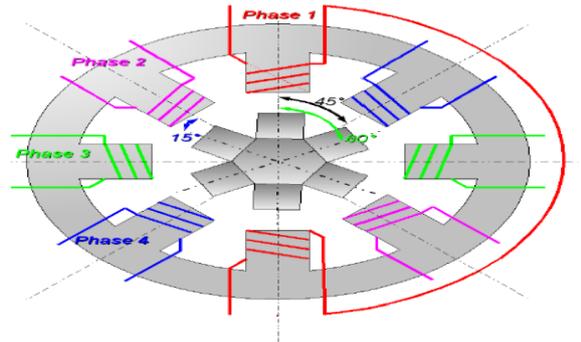


Figure II.9 : Moteurs à réluctances variables

Ils présentent les avantages d'être peu couteux et de bonne précision. Cependant ils ne présentent pas de couple résiduel, le rotor est donc libre quand il est hors tension, ce qui peut être problématique.

b) Moteur à aimants permanents :

Ici le rotor possède des pôles NORD et SUD il reste ainsi freiné à sa dernière position lorsque le bloc d'alimentation cesse de fournir des impulsions. Il utilise le principe de l'action d'un champ magnétique sur un moment magnétique.

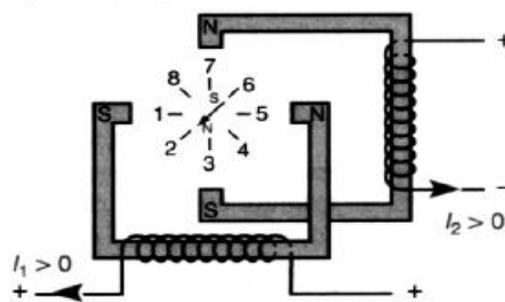


Figure II.10 : Moteur à aimants permanents

Le moteur à aiment permanent présente une faible résolution (nombre de pas/tour). Il développe néanmoins un couple plus important ainsi qu'un couple résiduel.

c) Moteur hybride :

C'est un moteur qui superpose le principe de fonctionnement des moteurs à aimant permanent et à reluctance variable et combine leurs avantages. Le rotor est constitué de deux disques dentés décalés mécaniquement. Entre ces deux disques, est inséré un aimant permanent. Il est caractérisé par un couple résiduel qui le maintient en position une fois hors tension, une bonne précision et une grande vitesse de rotation.

Le tableau suivant compare les différents types de moteurs pas à pas cités précédemment. [7]

Tableau II.2 : Comparaison des 3 types de moteurs

Types de moteurs	Moteur à aimant permanent	Moteur à reluctance variable	Moteur hybride
Résolution (pas/tour)	Moyenne	Bonne	Elevé
Couple moteur	Elevé	faible	Elevé
Sens de rotation	- Selon le sens du courant pour le moteur. - Selon l'ordre d'alimentation des bobines	- Selon l'ordre d'alimentation des bobines	- Selon le sens du courant pour le moteur.
Fréquence de travail	Faible	Grande	Grande

4. Le choix final des composants :

Après avoir étudié soigneusement les solutions proposées, en tenant compte des avantages et des inconvénients de chacune et en vue des moyens mis à notre disposition, on a choisi pour notre mini fraiseuse :

- Une transmission de mouvement par système vis-écrou trapézoïdal.
- Un guidage cylindrique par des douilles à billes pour diminuer le frottement et augmenter la précision.
- Un serrage par vis pour assurer une bonne fixation.
- Moteur pas à pas.

Le choix des composants est non seulement mécanique mais aussi économique. On a pris en considération les besoins techniques du système ainsi que la capacité financière et matérielle dont on

dispose. Les éléments ainsi choisis nous permettent d'assurer un fonctionnement idéal moyennant un cout de fabrication raisonnable.

5. Autres composants :

5.1 Les roulements :

Utilisés pour les liaisons en rotation entre les vis trapézoïdales et les supports. Les roulements sont des organes qui ont pour fonction d'assurer une liaison mobile entre deux éléments d'un mécanisme en rotation. Les roulements sont soumis à des charges axiales, et radiales et à des vitesses de rotation maximum.



Figure II.11 : Roulement.

5.1.1 Avantage et inconvénients des roulements :

- **Avantage :**

Les billes remplacent les frottements par des roulements, chose qui offre donc un gain de puissance et par conséquent moins d'échauffements et donc moins d'usure.

- **Inconvénients :**

- ✓ L'encombrement est augmenté ;
- ✓ La prise est plus élevée qu'une liaison de conception moindre (palier lisse) ;
- ✓ Mise en œuvre plus complexe, la conception d'une telle liaison doit tenir compte de paramètre précis. [5]

5.2 Douilles à billes :

Il s'agit de roulements à billes conçus pour se déplacer le long d'une tige lisse. C'est à dire qu'ils ne tournent pas mais se déplacent linéairement (Guidage en translation). Permettent des fonctionnements sans jeux, améliorent la précision et les performances. Valeur du coefficient de frottement de 0,001 à 0,005.

Utilisées sur les machines-outils, robots, systèmes automatisés...

Vitesse de déplacement 5 m/s.

Economiques pour arbres lisses, ne supportent que des charges radiales. [5]



Figure II .12: Douilles à billes.

5.3 Accouplements semi-élastiques :

Pour la liaison en rotation entre les arbres moteurs et les vis trapézoïdales, on a utilisé des accouplements semi-élastiques. Ceux-ci permettent de rattraper de petits défauts d'alignement (typiquement les défauts d'usinage). Ces accouplements sont généralement constitués de deux parties rigides solidaires des arbres et d'une partie légèrement flexible qui rattrape les défauts d'alignement. [4]

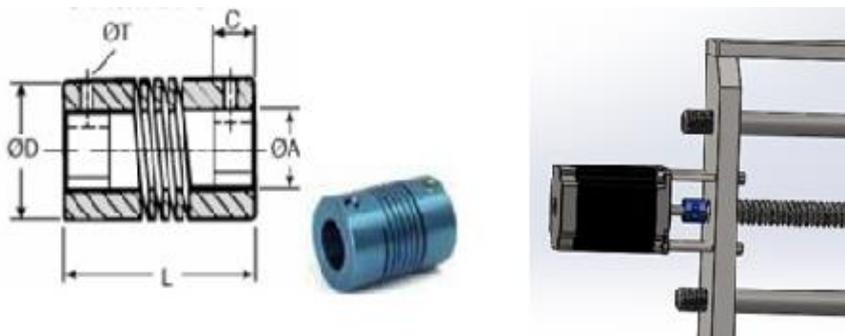


Figure II.13 : Accouplement semi-élastique

5.4 Bridage :

Le bridage est un mécanisme de fixation ou de maintien de la pièce à usiner. En mécanique, la position d'une pièce par rapport à une autre doit souvent être précise, afin d'avoir une structure respectant les dimensions prédéfinies ou un mécanisme qui fonctionne bien. La mise en position de la pièce, et son maintien sont donc des opérations importantes. C'est aussi le procédé qui demande le plus de soin et d'attention lors du montage. En effet, il faut que la cale qui sert d'appui pour la bride soit de hauteur équivalente à la plaque de la pièce ou très légèrement supérieure. Sinon le bridage n'est pas solide et les vis risquent de se tordre. (Figure II.14).

Il faut que la vis qui sert à bloquer la bride soit le plus près possible de l'objet à brider.

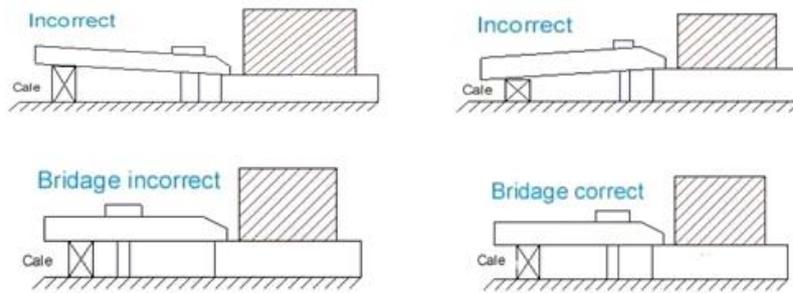


Figure II.14 : Procédé de bridage

5.5 La Mini perceuse :

Pour le système d'usinage on a utilisé une mini perceuse à prise manuelle très facile à utiliser et à manipuler vue ses petites dimensions et sa légèreté. Elle est dotée d'un variateur de vitesse couvrant une plage de 10000 tr/min à 30000 tr/min.

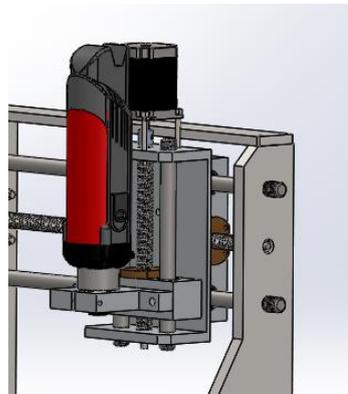


Figure II.15 : Mini perceuse

5.6 Porte outil :

La perceuse est portée par une pièce appelée porte-outil (Figure II.16). C'est cette pièce qui assure le maintien de la perceuse en position verticale (selon l'axe Z), et c'est à travers elle que passe le contrôle des déplacements en hauteur.

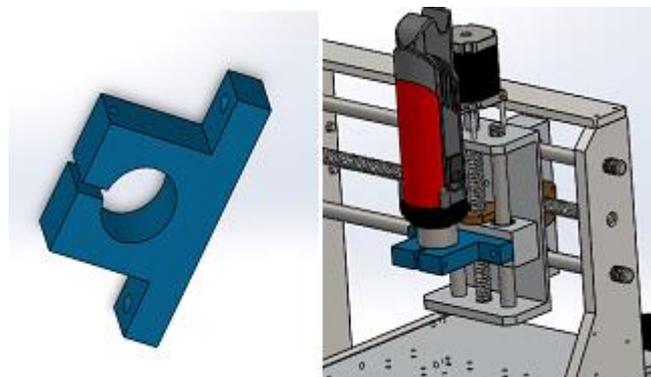


Figure II.16 : Porte outil.

5.7 Support broche et paliers de guidage :

C'est une sorte de châssis conçu pour supporter l'ensemble du système en translation selon Z (palier de guidage, porte-outil, perceuse, barres de guidage avec douilles à billes et vis trapézoïdale avec écrou). Le support est à son tour fixé à des paliers de guidage (**Figure II.18**), pour assurer le mouvement des éléments cités précédemment selon Y comme montré dans la Figure II.17.

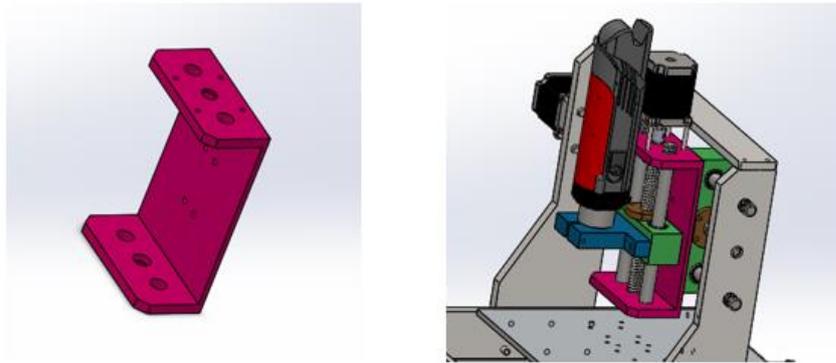


Figure II.17 : Support broche

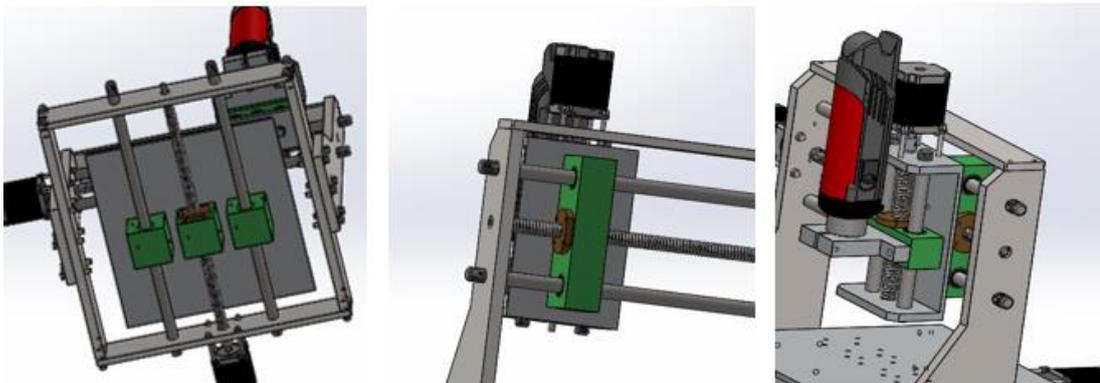


Figure II.18 : Paliers de guidage selon les axes X, Y et Z

5.8 Supports latéraux :

Ils font partie du bâti de la mini-fraiseuse. Ils supportent à eux deux le poids des éléments en mouvements suivants Y et Z et assurent leur stabilité en fonctionnement.

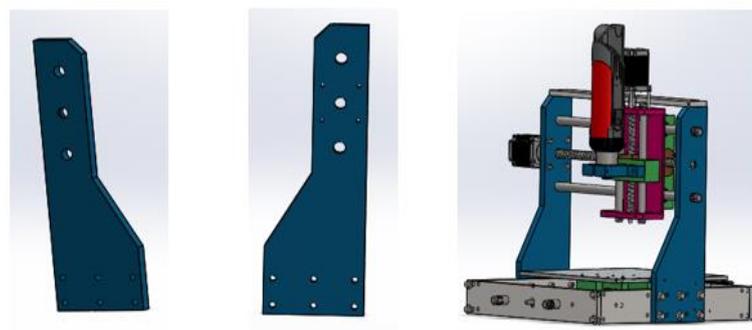


Figure II.19 : Supports latéraux.

5.9 Plateau :

C'est une sorte de table conçu pour fixer la pièce et supporter les efforts d'usinage et l'ensemble du système en translation (palier de guidage avec douilles à billes et vis trapézoïdale avec écrou), assure le déplacement sur l'axe X.

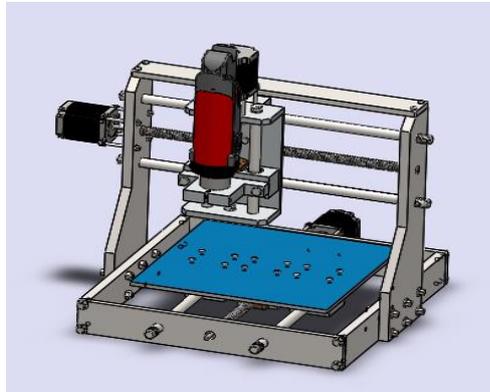


Figure II.20 : Plateau

5.10 Support de base (châssis) :

C'est la pièce qu'on a choisi pour le châssis de notre machine, qui nous permet de placer d'autres pièces sur chacun de ces côtés, la fixation parallèle des supports latéraux et les éléments en mouvements suivants X (vis trapézoïdale avec roulements, les deux glissières et le moteur) d'une part, et d'autre part elle peut résister à des efforts et assurent leur stabilité en fonctionnement.

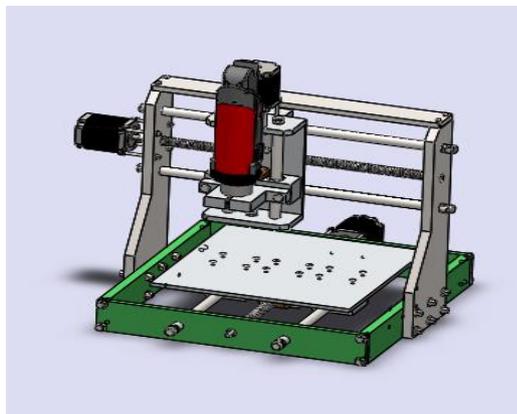


Figure II.21 : Support de base

6. La partie électronique :

Après avoir fait le choix final des composants mécaniques de la mini fraiseuse, nous passons à la partie commande des moteurs pas à pas. La commande se fait grâce à une carte ArduinoUNO, laquelle assure un contrôle précis des axes de translations.

6.1 La carte Arduino UNO :

Le modèle UNO de la société ARDUINO est une carte électronique dont le cœur est un microcontrôleur ATMEL de référence ATMega328. Le microcontrôleur ATMega328 est un microcontrôleur 8bits avec une vitesse d'horloge de 16Mhz de la famille AVR dont la programmation peut être réalisée en langage C.

L'intérêt principal des cartes ARDUINO (d'autres modèles existent) est leur facilité de mise en œuvre. ARDUINO fournit un environnement de développement s'appuyant sur des outils open source. Le chargement du programme dans la mémoire du microcontrôleur se fait de façon très simple par port USB. En outre, des bibliothèques de fonctions "clé en main" sont également fournies pour l'exploitation d'entrées-sorties courantes : gestion des E/S TOR, gestion des convertisseurs ADC, génération de signaux PWM, exploitation de bus TWI/I2C, exploitation de servomoteurs....

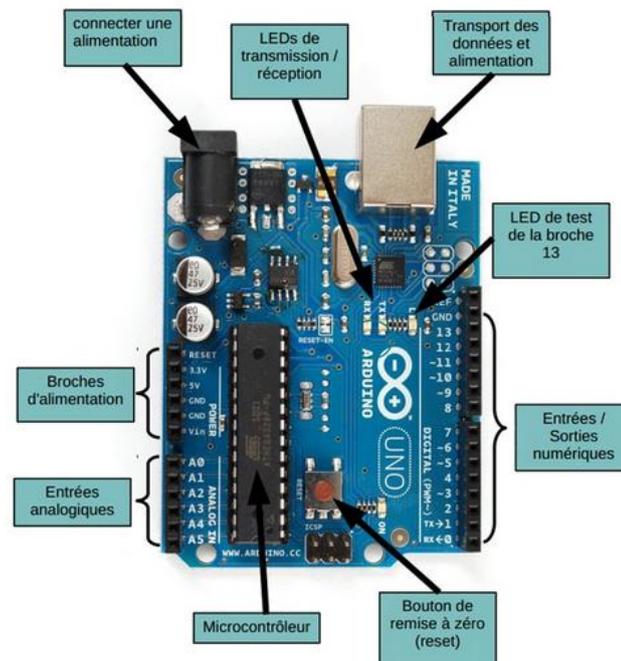


Figure II.22 : Carte ArduinoUNO

6.2 Alimentation :

ArduinoUNO peut être alimentée via la connexion USB ou avec une alimentation externe. La source d'alimentation est automatiquement sélectionnée.

La plage de tension recommandée est de 7 à 12 volts, les broches d'alimentation sont les suivantes :

- 5V : l'alimentation régulée utilisée pour alimenter le microcontrôleur et les autres composants sur la carte. Cela peut provenir soit de VIN via un régulateur de bord, ou par l'intermédiaire d'un port USB ou d'une autre alimentation 5V régulée.
- 3.3V : une alimentation de 3.3 Volts générée par un circuit intégrée FTDI, avec un courant maximal de 50 mA (non recommandé). [8]

7. Choix des matériaux :

Les matériaux des éléments composants le système ont été choisis de manière à assurer un fonctionnement optimal et sûr, tout en tenant compte du coût financier de leur achat.

Pour cela on a choisi l'acier E360 pour toute la partie bâti de la fraiseuse (supports latéraux et supports de base) ainsi que pour les tiges de guidage. L'E360 offre des qualités mécaniques assez satisfaisantes pour notre cas pour un prix très abordable. Et le poids qu'il confère au système, assure sa stabilité pendant le travail.

Les paliers de guidage, le support broche, le porte-outil et le plateau porte-pièce seront faits en aluminium. Car ce sont des parties mobiles entraînées par des moteurs pas à pas et donc le facteur poids joue un rôle déterminant dans le dimensionnement de ces derniers.

Conclusion :

La conception de la MOCN nous a permis d'avoir une idée plus ou moins détaillée du produit final que nous obtiendrons par la suite. Le logiciel de conception et de simulation Solidworks nous offre la possibilité de designer notre système au mieux et de l'améliorer à notre guise.

Cependant, il reste à dimensionner l'appareil et à vérifier sa résistance aux différentes sollicitations auxquelles il sera soumis. Et c'est l'objectif du prochain chapitre.

CHAPITRE III

Etude et calcule des éléments



1. Introduction :

La conception des systèmes mécaniques englobe un certain nombre d'étapes, allant de la mise en place du cahier de charges à la définition du produit et de sa validation.

Cette partie a pour but de dimensionner les différents éléments fonctionnels de notre dispositif (mini fraiseuse) pour en assurer le bon fonctionnement. Il sera donc question de calculs de structures (RDM) et de puissances. Les éléments à dimensionner sont les suivants :

- Les vis trapézoïdale ;
- Les roulements ;
- Les douilles à billes ;
- Les axes de guidages ;

2. Détermination des masses :

Avant de faire quelque étude que ce soit, la détermination de la masse de chaque élément de notre système (**Figure III.1**) s'impose. Ces valeurs nous seront utiles pour nos calculs futurs.

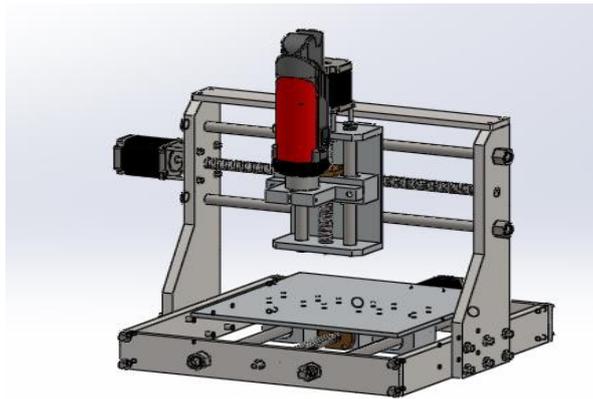


Figure III.1 : Vue 3D du Dispositif

La mini-fraiseuse comporte :

- Des éléments normalisés (les vis écrou, les roulements, les douilles à billes...) dont les masses sont rapportées dans différents catalogues. [9]
- Des moteurs d'entraînement ainsi que la perceuse, dont les masses sont soit fournies par les fournisseurs directement sur la boîte du produit ou alors données sur leurs site internet.
- Des pièces spécialement conçues pour le cas de notre machine et dont les masses sont approximées par le logiciel de CAO SolidWorks 2012. Celui-ci prend en compte les dimensions de la pièce et le matériau dans lequel elle est faite. Le logiciel comporte une bibliothèque importante de matériaux avec leurs principales caractéristiques physiques et mécaniques.

Le Tableau III.1 regroupe les masses des pièces de notre dispositif.

Tableau III.1 : Les masses des différents composants du dispositif

Déplacements	Nom de pièce	m_i	Masse (kg)
Direction Z	Mini perceuse	m_1	0.550
	Paliers à douilles à billes	m_2	0.496
	Porte outil	m_3	0.286
	Vis trapézoïdale + écrou	m_4	0.486
	Support porte outil	m_5	0.730
	Axes de guidages	m_6	0.7
	Moteur	m_7	0.35
Direction y	Paliers à douilles à billes	m_8	1.124
	Vis trapézoïdale + écrou	m_9	0.726
	Axes de guidages	m_{10}	1.518
	Moteur	m_{11}	0.35
Direction X	Paliers à douilles à billes	m_{12}	1.435
	Le plateau	m_{13}	1.696
	Axes de guidages	m_{14}	1.462
	Vis trapézoïdale + écrou	m_{15}	0.726
	Moteur	m_{16}	0.35

3. Dimensionnement des vis trapézoïdales :

Les mouvements de la fraiseuse selon les trois axes (x, y, z) sont assurés par des systèmes vis écrou qui nous permettent de transformer le mouvement de rotation des moteurs en une translation contrôlée des différents chariots du système. Pour cela nous avons conçu et modélisé trois vis trapézoïdales (vis sans fin) et nous les avons dimensionné à l'usure et à la flexion.

On dimensionne la vis à l'usure à cause des frottements, plus ou moins importants dans les systèmes de transmission vis-écrou, qui causent à moyens et longs termes des dégâts irréversibles au système. Ce critère nous permettra de déterminer les conditions optimales de fonctionnement des vis trapézoïdales en termes de temps, de lubrification et d'environnement de travail.

Le dimensionnement à la flexion est une nécessité mécanique évidente vue la nature des efforts que doivent supporter ces vis. En effet, celles-ci (ainsi que les barres de guidages) sont principalement sollicitées en flexion.

3.1. Dimensionnement des vis trapézoïdales à l'usure :

Le rendement du système dépend du coefficient de frottement entre les surfaces de contact entre la vis, l'écrou et l'angle d'hélice du filetage. Nous sommes en présence d'un frottement de glissement. Une partie de la puissance est donc transformée en chaleur à chaque mouvement. Il est possible de paramétrer ce frottement de glissement pour évaluer le bon fonctionnement de l'ensemble. Le Critère est de limiter la pression superficielle de contact sur le côté du filetage afin de permettre un glissement doux entre les deux surfaces. Nous limitons aussi le produit ($P \times V_{st}$) afin de limiter la puissance perdue sous forme de chaleur, où P est la pression superficielle de contact et V_{st} la vitesse de frottement sur le diamètre moyen du filetage, Ceci permet de contenir la température des surfaces en contact. [9]

Dans notre cas on doit aussi prendre en compte l'influence des forces d'inerties engendrées par les accélérations et les décélérations du système. Celles-ci seront représentées par un coefficient de sécurité f_i dont les valeurs seront tirées du **Tableau III.2**. On calculera donc le produit

$$P \cdot V_{st} \cdot f_i \quad (1)$$

Tableau III.2 : Coefficients de sureté pour différents types de charges

Type de charge	f_i
Charge constante avec rampe d'acc/déc contrôlée	De 1 à 0,5
Charge constante avec démarrages et arrêts à déchirure	De 0,5 à 0,33
Charge et vitesses très variables	De 0,33 à 0,25
Charge avec chocs et vibrations	De 0,25 à 0,17

On prendra donc dans notre cas $f_i = 0,77$.

En ce qui concerne les écrous en bronze (qui est notre cas), le produit $P \times V_{st}$ permet de tracer le graphique présenté dans la Figure III.2 où trois zones sont mises en évidence, chacune caractérisée par certaines conditions d'utilisation, entre la vitesse de glissement et la pression.

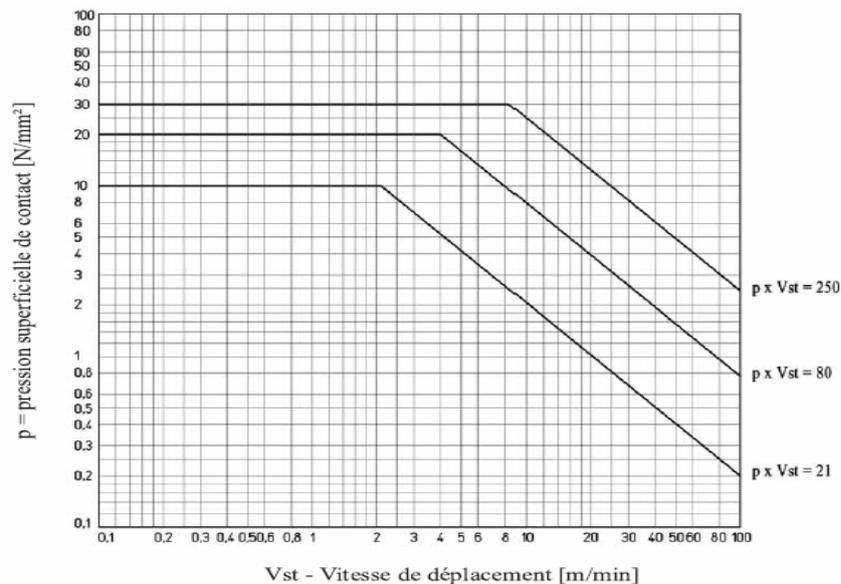


Figure III.2 : Condition de glissement des écrous de bronze sur les vis en acier

- Zone A :** Elle est limitée par $P \times V_{st} = 21 [N/mm^2 \cdot m/min]$. Dans cette zone, le fonctionnement est dans les meilleures conditions. L'utilisation continue est possible car la quantité de chaleur produite est plutôt maîtrisée. La durée de vie de l'écrou est très bonne.
- Zone B :** Elle est limitée par $P \times V_{st} = 80 [N/mm^2 \cdot m/min]$. Dans cette zone, le fonctionnement se trouve dans des conditions difficiles. Les conditions de glissement sont telles qu'une constante lubrification est nécessaire pour maîtriser l'érosion du bronze afin d'obtenir une bonne durée de vie de l'écrou. L'utilisation "continue" est possible seulement pour des périodes limitées car la quantité de chaleur produite est telle qu'elle provoque un échauffement très marqué de l'écrou, et dépend aussi directement de la qualité du lubrifiant utilisé qui contribue à la dissipation de la chaleur produite. Nous sommes dans un cas où la durée de vie de l'écrou est limitée.
- Zone C :** Elle est limitée par $P \times V_{st} = 250 [N/mm^2 \cdot m/min]$. Dans cette zone, le fonctionnement est dans des conditions très sévères. Avec ces valeurs, travailler en "utilisation continue" n'est pas possible. Même en présence d'une bonne lubrification, il se produirait un échauffement intense et une usure prématurée de l'écrou car le glissement entre les surfaces de contact est tel qu'il provoque une érosion rapide de l'écrou.

3.1.1. Les formules à utiliser :

- **Pression superficielle de contact P :**

$$P = \frac{F}{S_t} \quad (2)$$

- F est la force axiale en [N]. Elle est généralement la somme de plusieurs forces.
- S_t est la surface d'appui totale entre les dents de la vis et celles de l'écrou sur le plan perpendiculaire à l'axe [mm²].

Dans notre cas la valeur de S_t est tirée du catalogue $S_t = 660 \text{ mm}^2$ [9]

- **Vitesse de glissement V_{st} :**

$$V_{st} = \frac{n \cdot p}{1000 \cdot \sin \alpha} \quad (3)$$

Où

- n est la vitesse de rotation de la vis [tr/min]. On la fixe dans notre cas à $n = 1000 \text{ tr/min}$
- α est l'angle d'hélice du filetage. Il est tiré du catalogue. [9]

Dans notre cas $\alpha = 5,2^\circ$

- p est le pas du filetage [mm]. Dans notre cas $p = 4 \text{ mm}$.

3.1.2 Applications numériques :

- **Suivant l'axe Z :**

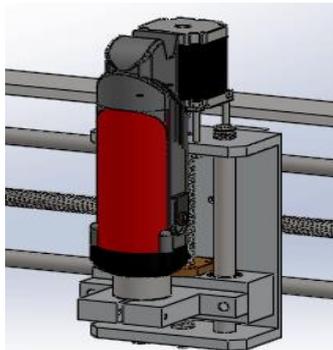


Figure III.3 : Système de mouvement suivant Z

La charge F suivant Z est purement axiale et comporte en plus du poids des composants (F_1), les forces d'inerties dues aux accélérations et aux décélérations (F_2) ainsi que les efforts de coupes et de pénétration (F_3). On aura donc :

$$F = F_1 + F_2 + F_3$$

Où $F_1 = \sum m_i g = 13,32 \text{ N}$

$$F_2 = \sum m_i \times \gamma$$

γ représente l'accélération et elle est calculée comme suit :

$$\gamma = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

ΔV est la variation de vitesse linéaire. On aura donc

$$\Delta V = \frac{p \cdot n \cdot \pi}{3600} = \frac{4 \cdot 1000 \cdot \pi}{3600} = 66.66 \text{ m/s}$$

On prend $\Delta t = 0,1\text{s}$ qui est un temps de réponse assez court. On aura ainsi :

$$\gamma = 0,6 \text{ m/s}^2$$

Et donc

$$F_2 = 0,799 \text{ N}$$

F_3 représente l'effort de pénétration F_p .

$$F_3 = F_p$$

$$F_p = \frac{1}{3} F_c$$

Où F_c est l'effort de coupe

$$F_c = K_c \cdot a \cdot f$$

$$f = \frac{n \cdot p}{N} = \frac{1000 \cdot 4}{10000} = 0,4$$

Tels que

- f : Avance de l'outil par rotation de la broche en [mm/tr]
- K_c : Coefficient spécifique de coupe en [daN/mm²]. On prend

$$K_c = 80 \text{ daN/mm}^2.$$
- a : Profondeur de passe en [mm] dans notre cas $a = 1\text{mm}$.
- N : Vitesse de rotation de la broche en [tr/min]. On prend

$$N = 10000 \text{ tr/min.}$$

Les valeurs obtenues sont :

$$F_c = 320 \text{ N}$$

Et donc

$$F_3 = 116,66 \text{ N}$$

La force axiale totale F est

$$F = 120,78 \text{ N}$$

La pression superficielle de contact est d'après (2)

$$P = 0,18 \text{ MPa}$$

La vitesse de glissement est d'après (3)

$$V_{st} = 44,13 \text{ m/min}$$

Le produit (1) nous donne

$$P \cdot V_{st} \cdot f_i = 6,12 \text{ Mpa} \cdot \text{m/min}$$

Conclusion :

D'après le diagramme en **Figure III.2** la vis travail dans la zone A. Les conditions de fonctionnement sont idéales et donc l'usure est faible même en utilisation prolongée.

- **Suivant l'axe Y :**

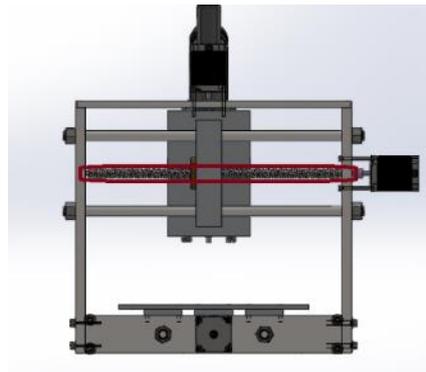


Figure III.4 : Système de translation suivant Y

On raisonnera de la même façon que pour l'axe Z sauf que cette fois la somme des forces sera divisées par trois car celle-ci est supportée par les deux axes de guidage et la vis,

$$F = \frac{1}{3}(F_1 + F_2 + F_3)$$

La différence apparaît aussi dans la masse des parties mises en mouvements. Ici nous aurons :

$$F_1 = 47,22 \text{ N}$$

F_2 Change aussi vue qu'elle est fonction de la masse (l'accélération ne varie pas). Donc

$$F_2 = 2,833 \text{ N}$$

F_3 représente ici l'effort de coupe F_c . Donc :

$$F_3 = F_c = 320 \text{ N}$$

On aura donc

$$F = 123,33 \text{ N}$$

La pression superficielle de contact est

$$P = 0,19 \text{ MPa}$$

Puisque V_{st} reste inchangée, le produit (1) nous donne

$$P \cdot V_{st} \cdot f_i = 6,46 \text{ MPa} \cdot \text{m/min}$$

Conclusion :

D'après le diagramme présenté en **Figure III.2**, la vis travaille dans la zone A. Donc elle n'est pas menacée par l'usure.

- **Suivant l'axe X :**

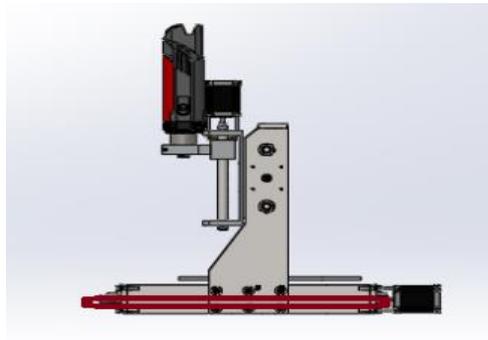


Figure III.5 : Système de translation suivant X

On résonne de la même façon que pour Y. On obtiendra donc

$$F_1 = 31,31 \text{ N}$$

$$F_2 = 1,878 \text{ N}$$

$$F_3 = 320 \text{ N}$$

On aura donc

$$F = 117,73 \text{ N}$$

La pression superficielle de contact est

$$P = 0,18 \text{ MPa}$$

Puisque V_{st} reste inchangé, le produit (1) nous donne

$$P \cdot V_{st} \cdot f_i = 6,12 \text{ MPa} \cdot \text{m/min}$$

Conclusion :

Idem que pour les axes précédents, la vis trapézoïdale travaillant suivant l'axe X évolue dans la zone A du diagramme en Figure III.2. Et donc le fonctionnement est dans les meilleures conditions et l'influence de l'usure est minime.

3.2. Dimensionnement des vis trapézoïdales à la flexion :

La vis trapézoïdale peut être représentée par une poutre de section circulaire faite en acier **E360** de rayon $R = R_{moy_{min}} = 6,82 \text{ mm}$, encastrée aux extrémités et subissant un effort au milieu qui tend à la faire fléchir, comme décrit dans la Figure III.6.

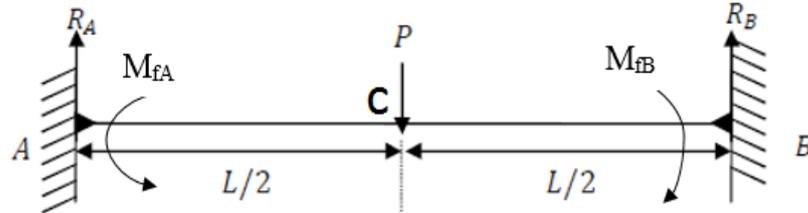


Figure III.6 : Diagramme des forces et des réactions

P représente le poids des éléments soutenus par la vis. Ce poids est représenté au milieu de la vis où la flèche est maximale.

3.2.1 Formules analytiques :

Le système étant symétrique on déduit que :

$$R_A = R_B = \frac{P}{2} \quad (4)$$

$$M_{fA} = M_{fB}$$

Nous devons donc déterminer les deux moments. Or le système est hyperstatique d'ordre 1, on utilisera donc le principe des intégrales successives en partant de (5).

$$M_f = -E.I.y'' \quad (5)$$

$$M_f = M_{fA} - R_A x = M_{fA} - \frac{P}{2} x$$

$$E.I.y' = \frac{P}{2} x - M_{fA}$$

En intégrant deux fois successivement on obtient :

$$E.I.y = \frac{P}{12} x^3 - M_{fA} \frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2$$

On détermine ensuite C_1 , C_2 et M_{fA} grâce aux conditions aux limites suivantes :

- Pour $x = 0$ on aura $y = 0$, car au niveau de l'encastrement les déplacements sont nuls. On aura donc $C_2 = 0$.
- Même chose pour la vitesse en $x = 0$, $y' = 0$ et donc $C_1 = 0$.
- Au centre de la tige, pour $x = \frac{L}{2}$, la pente de la tangente est nulle. On obtiendra donc :

$$M_{fA} = \frac{P}{8} L \quad (6)$$

On calcule ensuite la contrainte de flexion σ_f pour la comparée à la contrainte $\sigma_{f_{adm}}$ admissible. Sachant que :

$$\sigma_f = \frac{M_{fA}}{R_f} \quad (7)$$

Où R_f est le moment de résistance à la flexion

$$R_f = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \quad [mm^3] \quad (8)$$

$$\Rightarrow R_f = 249,01 \text{ mm}^3$$

La contrainte de flexion admissible est calculée par la formule

$$\sigma_{f_{adm}} = \frac{R_e}{S_f} \quad (9)$$

Tel que $S_f = 2$ qu'est le coefficient de sécurité. Et $R_e = 360 \text{ MPa}$, pour le E360

On obtient donc
$$\sigma_{f_{adm}} = 180 \text{ MPa}$$

3.2.2 Application numérique :

- Selon l'axe X :

La formule (4) $\Rightarrow R_A = R_B = \frac{F_1/3}{2} = 5,22 \text{ N}$

On a divisé F_1 par trois car la masse est supportée par les deux axes de guidages et la vis trapézoïdales.

(6) $\Rightarrow M_{fA} = 528,5 \text{ N} \cdot \text{mm}$

(7) $\Rightarrow \sigma_f = 2,12 \text{ MPa}$

Comparant cette valeur à celle de $\sigma_{f_{adm}}$

$$\sigma_f \ll \sigma_{f_{adm}}$$

Et donc la tige filetée reste dans le domaine de sollicitation élastique.

- Selon l'axe Y :

La formule (4) $\Rightarrow R_A = R_B = \frac{F_1/3}{2} = 7,8 \text{ N}$

On a divisé F_1 par trois car la masse est supportée par les deux axes de guidages et la vis trapézoïdales.

(6) $\Rightarrow M_{fA} = 796,83 \text{ N} \cdot \text{mm}$

(7) $\Rightarrow \sigma_f = 3,98 \text{ MPa}$

Comparant cette valeur à celle de $\sigma_{f_{adm}}$

$$\sigma_f \ll \sigma_{fadm}$$

Et donc la tige filetée travaillant selon Y reste dans le domaine de sollicitation élastique.

Remarque :

Notons que la vis travaillant selon Z ne subit que des efforts axiaux, donc aucune flexion.

4. Contrôle des axes de guidages :

Les chariots de la mini-fraiseuse sont guidés en translation sur des tiges en acier E360 lisse par des douilles à billes. Ces tiges sont soumises à la flexion principalement, on suivra donc la même procédure de calcul que pour le dimensionnement des vis trapézoïdales.

Sachant que $d = 16 \text{ mm}$, la formule (8) nous donne $R_f = 401,92 \text{ mm}^3$.

Le reste des valeurs demeure inchangé.

• Selon l'axe X :

$$(6) \Rightarrow M_{fA} = 528,5 \text{ N.mm}$$

$$(7) \Rightarrow \sigma_f = 1,31 \text{ MPa}$$

Comparant cette valeur à celle de σ_{fadm}

$$\sigma_f \ll \sigma_{fadm}$$

Et donc la tige reste dans le domaine de sollicitation élastique.

• Selon l'axe Y :

$$(6) \Rightarrow M_{fA} = 796,83 \text{ N.mm}$$

$$(7) \Rightarrow \sigma_f = 1,98 \text{ MPa}$$

Comparant cette valeur à celle de σ_{fadm}

$$\sigma_f \ll \sigma_{fadm}$$

Et donc la tige travaillant selon Y reste dans le domaine de sollicitation élastique.

5. Le choix des moteurs :

Pour choisir les moteurs d'entraînement des vis trapézoïdales il faut déterminer les couples et les puissances nécessaires de chaque moteur. [10] Les formules sont les suivantes :

$$C_z = \frac{F \cdot p}{2\pi\eta \times 1000} \quad (10)$$

Où

$$\eta = \frac{1 - f \tan \alpha}{1 + \frac{f}{\tan \alpha}} \quad (11)$$

$$P_{u_z} = C_z \cdot \omega \quad (12)$$

Où

- f est le coefficient de frottements dynamiques. Pour le frottement acier-bronze

$$f = 0,18.$$

- ω est la vitesse angulaire de la vis en [rd/s].

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = 104,66 \text{ rd/s}$$

Et d'après (11) on a :

$$\eta = 0,33$$

- **Détermination du couple de torsion et de la puissance d'entraînement selon l'axe Z :**

On a $F = 120,78 \text{ N}$.

Le couple nécessaire au mouvement du système vis / écrou sera d'après les équations (10) :

$$C_z = 0,23 \text{ N.mm}$$

La puissance sera :

$$P_{u_z} = 24,07 \text{ W}$$

Conclusion :

On choisit un moteur Nema 23 de puissance $P_u = 50 \text{ W}$.[11]

- **Détermination du couple de torsion et de la puissance d'entraînement selon Y :**

On a $F = 370,58 \text{ N}$

Le couple de torsion nécessaire au déplacement du chariot suivant Y est :

$$C_z = 0,71 \text{ N.mm}$$

La puissance nécessaire sera donc de :

$$P_{u_z} = 74,85 \text{ W}$$

Conclusion :

On choisit un moteur Nema 23 de puissance $P_u = 100 \text{ W}$. [10]

- **Détermination du couple de torsion et de la puissance d'entraînement selon l'axe X :**

On a $F = 353,18 \text{ N}$

Le couple de torsion nécessaire au déplacement du chariot suivant Y est :

$$C_z = 0,68 \text{ N.m}$$

La puissance nécessaire sera donc de :

$$P_{uz} = 71,34 \text{ W}$$

Conclusion :

On choisit un moteur Nema 23 de puissance $P_u = 100 \text{ W}$. [10]

6. Dimensionnement des roulements :

On dimensionne les roulements placés aux paliers des vis suivant deux critères

- La capacité de charge dynamique. C'est-à-dire $C_{roulement} > C_{nécessaire}$
- La durée de vie. C'est-à-dire $L_{h \text{ roulement}} > L_{h \text{ nécessaire}}$

Pour cela on utilisera les formules suivantes :

$$C = \frac{f_L \cdot f_Z \cdot P}{f_t \cdot f_n \cdot f_H} \quad (13)$$

$$L_h = \left(\frac{C}{P}\right)^k \cdot \frac{10^6}{60 \cdot N} \quad (14)$$

Où

- f_Z : Coefficient supplémentaire des efforts dynamique. On le prend $f_Z = 1$.
- f_H : Coefficient de dureté. On considère $f_H = 1$
- f_t : Coefficient de température. Dans notre cas $f_t = 1$
- f_L : Coefficient de durée de vie. On prend $L_{h \text{ nécessaire}} = 40000 \text{ h}$

$$f_L = \sqrt[3]{\frac{L_{h \text{ nécessaire}}}{500}} = 4,3$$

- f_n : Coefficient de nombre de tours.

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{100}{3 \cdot n}} = 0,32$$

– **Dimensionnement des roulements selon l'axe Z :**

Sachant que $P = \frac{120,78}{2} = 60,36N$

On aura donc :

$$C = 0,81KN$$

On choisit donc le roulement à billes NTN 7 BC 10 avec $C_{dyn} = 1,61 KN$

$C_{stat} = 0,715 KN$. (Voir annexe)

On vérifie maintenant la durée de vie pour le roulement choisi.

$$L_{h \text{ roulement}} = 1065872 \text{ heures}$$

$$\Rightarrow L_{h \text{ roulement}} \gg L_{h \text{ nécessaire}}$$

Remarque :

On a divisé la charge supportée par le roulement en 2 car elle est répartie sur deux paliers de roulements.

– **Dimensionnement des roulements selon l'axe Y :**

Sachant que $P = \frac{F}{3/2} = 61,68N$. Où $F = 370,05 N$

On aura donc :

$$C = 0,83 KN$$

On choisit donc le roulement à billes NTN 7 BC 10 avec $C_{dyn} = 1,61 KN$

$C_{stat} = 0,715 KN$. (Voir annexe)

On vérifie maintenant la durée de vie pour le roulement choisi.

$$L_{h \text{ roulement}} = 1065872 \text{ heures}$$

$$\Rightarrow L_{h \text{ roulement}} \gg L_{h \text{ nécessaire}}$$

Remarque :

On a divisé la charge supportée par le roulement par trois car elle est répartie sur deux barres de guidage et une vis trapézoïdale. La division par deux est pour la même raison que pour le cas précédent.

– **Dimensionnement des roulements selon l'axe X :**

Sachant que $P = \frac{F}{3/2} = 58,86N$. Où $F = 353,18 N$

On aura donc :

$$C = 0,79 KN$$

On choisit donc le roulement à billes NTN 7 BC 10 avec $C_{dyn} = 1,61 KN$

$C_{stat} = 0,715 KN$. (Voir annexe)

On vérifie maintenant la durée de vie pour le roulement choisi.

$$L_{h \text{ roulement}} = 1065872 \text{ heures}$$

$$\Rightarrow L_{h \text{ roulement}} \gg L_{h \text{ nécessaire}}$$

7. Dimensionnement des douilles à billes :

On dimensionne les douilles à billes pour la capacité de charge dynamique (comme pour les roulements). La charge dynamique sera calculée par la formule (15)

$$C = \frac{F_w \cdot P_c}{F_h \cdot F_t \cdot F_c} \cdot \sqrt[3]{\frac{L_n}{50}} \tag{15}$$

Où :

- L_n : Durée de vie nominale en [Km] ;
- C : Charge dynamique de base en [N] ;
- P_c : Charge calculée en [N]. $P_c = \frac{370,85}{3} = 123,35 \text{ N}$ (pour l'axe Y).
- F_h : Facteur de dureté. On tire $F_h = 1$ du graphe en Figure III.7.

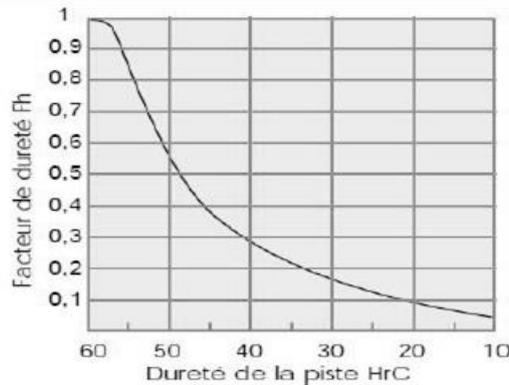


Figure III.7 : Facteur de charge en fonction de la dureté de la piste

- F_t : Facteur de température. On tire $F_t = 1$ à partir du graphe en Figure III.8.

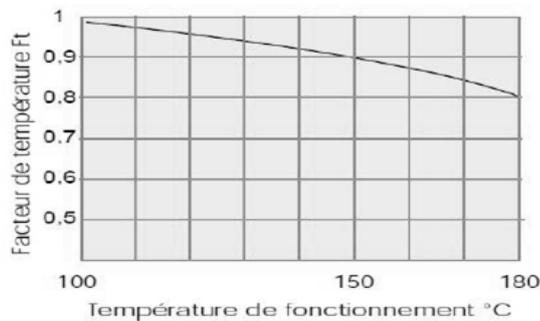


Figure III.8 : Facteur de température en fonction de la température de fonctionnement

- F_c : Facteur de contact. On a d'après le Tableau III.3 $F_c = 1$.

Tableau III.3 : Facteur de contact en fonction du nombre de douilles par axe

Nombre de douilles par axe	F_c
1	1,00
2	0,81
3	0,72
4	0,66
5	0,61

- F_w : Facteur de charge. On a d'après le Tableau III.4 $F_w = 1,5$.

Conditions de fonctionnement	F_w
Vitesse $\leq 15m/min$ Absence de chocs.	1 – 1,5
$15m/min \leq Vitesse \leq 60m/min$ Absence de chocs. Faibles vibrations.	1,5 - 2
$Vitesse \geq 60m/min$ Chocs, vibrations.	2 – 3,5

$$L_n = L \cdot n_{ar} \cdot L_h \cdot 10^{-6} \cdot 6/5$$

Où

- L : longueur d'une course allée en [mm] $L = 385 \text{ mm}$.
- n_{ar} : nombre d'aller et retour en une minute. Avec une vitesse $V = 4m/min$ on aura

$$n_{ar} = 5,73$$

- L_h : Durée de fonctionnement. $L_h = 40000 \text{ h}$.

$$L_n = 95,98 \text{ Km}$$

On aura donc d'après la formule (15) :

$$C = 153,30 \text{ N}$$

On choisit donc des douilles à billes **LME 16**, avec $C_{dyn} = 578 \text{ N}$. [11]

Remarque :

Pour le dimensionnement des douilles à billes, on a fait les calculs que pour l'axe Y la charge y est la plus grande. On appliquera ainsi les résultats pour tous les axes.

Conclusion :

Dans ce chapitre on a eu à dimensionner les parties les plus sensibles de notre système (roulements, douilles à billes...). On a pu constater que tous les éléments résistaient parfaitement aux différentes sollicitations auxquelles elles sont soumises.

Dans le dimensionnement à l'usure des vis sans fins, on a constaté que le système fonctionne dans les meilleures conditions de température et de frottement possibles où le fonctionnement continu est possible et les pertes de puissances sont minimales.

Globalement, les matériaux utilisés ainsi que les techniques employées à leurs réalisations assurent un fonctionnement optimale et sans risques.

CHAPITRE IV

Programmation



1. Introduction :

La programmation est le travail de préparation qui consiste à transposer, sous forme de texte alphanumérique, la gamme d'usinage de la pièce en un ensemble ordonné d'instructions comprises et exécutées par la CN en vue de réaliser son usinage.

Ce travail peut être effectué manuellement ou avec l'assistance d'un ordinateur utilisant un langage de programmation évolué.

En effet, dans un programme, toutes les opérations d'usinage font appel à un certain nombre de fonctions identiques (appel d'outil, rotation de broche, conditions de coupe, dégagement d'outil ...).

Il est donc intéressant de choisir une programmation structurée commune pour toutes ces opérations.

2. La fabrication assistée par ordinateur (FAO) :

2.1 Définition :

La fabrication assistée par ordinateur est l'opération consistant à automatiser le processus d'usinage en élaborant un fichier contenant un programme de pilotage d'une machine à commande numérique (MOCN), ce fichier (G-CODE) assure une reprise automatique des données définissant les profils de contournage ou celles définissant des surfaces évolutives.

Les logiciels FAO disponibles actuellement sont divers, et offrent de plus en plus d'options et de souplesse d'utilisation, et tout ça grâce à l'aide précieuse de l'informatique et l'évolution exponentielle des supports d'utilisation (microordinateur), parmi ces logiciels FAO on peut citer :

- CAMWORKS
- CATIA
- POWERMILL
- SURFCAM
- GTL de MISSLER
- SMARTCAM
- CADKEY

2.2 Le G-code ou langage machine :

Le G-code est un langage directement utilisable par les MOCN, il regroupe toute une série d'informations concernant le déplacement de l'outil, les conditions de coupe et les caractéristiques techniques de la machine. Malgré les grands efforts de normalisations, les langages machine présentent des différences entre eux, il en résulte la nécessité de les adapter aux particularités de la machine. [12]

2.2.1 Structure générale du programme :

Le programme est constitué d'une suite d'actions totalement définies ligne par ligne, et chaque ligne constitue un bloc d'informations.

Chaque bloc comporte des mots qui constituent une information : chaque mot débute par une lettre adresse qui donne un sens physique aux données numériques qui sont :

- les lettres majuscules de l'alphabet de A à Z, soient 26 adresses ;
- les chiffres de 0 à 9 ;
- les signes de ponctuation [+,% , () , / ,]

L'ensemble lettres et chiffres juxtaposés forme un mot. [12]

2.2.2 Langage utilisé en programmation :

- **Format** : caractéristique des mots utilisés.
- **Adresse** : lettre débutant un mot d'un langage machine, qui précise la fonction générale commander,

les lettres adresses usuelles sont :

- N** : pour la numérotation des blocs ;
- G** : pour les fonctions préparatoires ;
- X, Y, Z** : pour les coordonnées principales ;
- A, B, C** : pour les coordonnées angulaires ;
- U, V, W** : pour les déplacements secondaires parallèles à X, Y, Z ;
- I, J, K** : pour les coordonnées du centre d'interpolation ;
- S** : pour la vitesse de rotation ;
- F** : pour la vitesse d'avance ;
- T** : désigne l'outil à utiliser ;
- M** : pour les fonctions auxiliaires.

- **Mot** : ensemble de caractères comportant une adresse suivie de chiffres

Constituant une information. **Ex : X 10.850**

- **Bloc** : Chaque constructeur spécifie dans son manuel de programmation la façon d'écrire les données numériques allouées aux différentes adresses.

Voici un exemple de bloc d'informations:

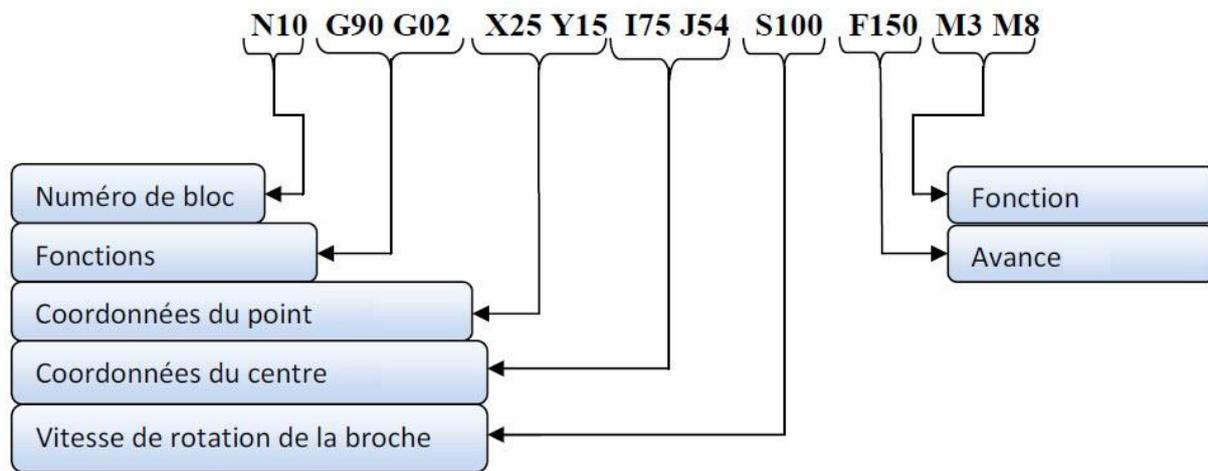


Figure IV .1: Format de G-Code.

Tableau IV.1 : Fonction G en fraisage

Fonction G en fraisage			
Fonctions G	Révocation	Désignation	Traduction
G00	G01-G02-G02	Interpolation linéaire en rapide	Déplacement en rapide en ligne droite
G01	G00-G02-G03	Interpolation linéaire à la vitesse programmée	Déplacement en avance travail et en ligne droite
G02	G00-G01-G03	Interpolation circulaire à la vitesse tangentielle programmée, sens anti-trigonométrique	Déplacement en avance travail et en tournant dans le sens horaire
G03	G00-G01-G02	Iden à G02 mais en sens trigonométrique	Déplacement en avance travail et en tournant dans le sens antihoraire
G04	Fin de bloc	Temporisation program mble avec l'adresse F	
G09	Fin de bloc	Arrêt précis en fin de bloc avant enchaînement sur le bloc suivant	
G10	Fin de bloc	Arrêt d'usinage sur acquisition du signal "Butée fin de bloc" ou sur détection d'un seuil mesuré, et saut à un autre bloc ou enchaînement sur le bloc suivant	
G12	Fin de bloc	Survitesse par manivelle	
G16	Fin de bloc	Définition de l'axe de l'outil à l'aide des adresses PQR	
G17	G18-G19	Choix du plan X Y pour l'interpolation circulaire et la correction de rayon	Dans quel plan on effectue les corrections G02-G03 et G41-G42

G18	G17-G19	Choix du plan Z X pour l'interpolation circulaire et la correction de rayon	Dans quel plan on effectue les corrections G02-G03 et G41-G43
G19	G17-G18	Choix du plan Y Z pour l'interpolation circulaire et la correction de rayon	Dans quel plan on effectue les corrections G02-G03 et G41-G44
G29	G40	Correction d'outil dans l'espace. Contradictoire avec G41 et G42	
G31	G80 à G89	Filetage au grain	
G40	G29-G41-G42	Annulation de correction d'outil suivant le rayon	Pilotage de l'axe de la fraise
G41	G40-G42	Correction de rayon d'outil à gauche du profil	Décale de la fraise à gauche du profil programmé.
G42	G41-G41	Correction de rayon d'outil à droite du profil	Décale de la fraise à droite du profil programmé.
G45	Fin de bloc	Cycle de poche	
G51	Fin de bloc	Validation ou invalidation de la fonction miroir à l'aide des adresses d'axes	
G52	Fin de bloc	Programmation absolue des cotes par rapport à l'origine mesure	
G53	G54	Invalidation des décalages PREF et DEC1	
G54	G53	Validation des décalages PREF et DEC1	
G59	Fin de bloc	Décalage d'origine programmé. S'ajoute au décalage validé par G54	
G70	G71	Entrée des données en pouce	
G71	G70	Entrée des données en métrique	
G73	G74	Annulation du facteur d'échelle	
G74	G73	Validation du facteur d'échelle	
G75	Fin de bloc	Validation d'un sous-programme de dégagement d'urgence	
G76	Fin de bloc	Transfert des valeurs courantes des paramètres dans le programme pièce	
G77	Fin de bloc	Appel inconditionnel d'un sous-programme ou d'une suite de séquences	
G79	Fin de bloc	Saut conditionnel à une séquence sans retour	
G80	G81 à G89	Annulation de cycle d'usinage	Annule tous les cycles
G81	G80-G82 à G89	Cycle de perçage centrage	Descente en avance travail et remontée en rapide
G82	G80-G81-G83àG89	Cycle de perçage cambrage	
G83	G80àG82 G84àG89	Cycle de perçage avec débouillage	Cycle de perçage avec des remontées régulières pour le dégager

G84	G80àG83 G85àG90	Cycle de taraudage	
G85	G80àG84 G86àG91	Cycle d'alésage	Descente et remontée en avance travail
G86	G80àG85 G87àG92	Cycle d'alésage avec arrêt de broche indexé en fond de trou	
G87	G80àG86 G88àG93	Cycle de perçage avec brise-copeaux	Cycle de perçage avec temporisation pour briser le copeau et des remontées régulières pour le dégager
G88	G80àG87 G89	Cycle d'alésage et dressage de face	
G89	G80àG88	Cycle d'alésage avec arrêt temporisé en fond de trou	
G90	G91	Programmation absolue par rapport à l'origine programme	Programmation absolue par rapport à l'origine programme
G91	G90	Programme relative par rapport au point de départ du bloc	Programme relative par rapport au point de départ du bloc
G92	Fin de bloc	Pré-sélection de l'origine programme	
G93	G94	Vitesse d'avance exprimée en inverse du temps (V/L)	
G94	G93	Vitesse d'avance exprimée en mm/min	

Tableau IV.2 : fonctions M décodées fraisage

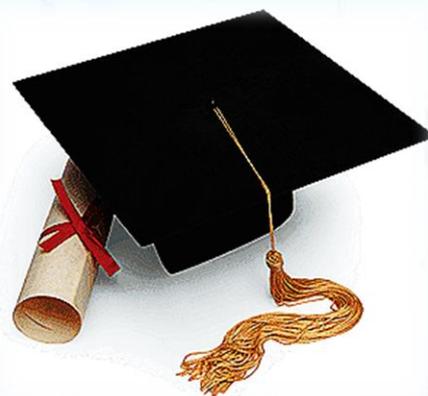
CODE M	Désignation
M00	Arrêt programmé.
M01	Arrêt programmé optionnel.
M02	Fin de programme.
M03	Rotation de broche sens antitrigonométrique.
M04	Rotation de broche sens trigonométrique.
M05	Arrêt de broche.
M06	Appel d'outil (changement d'outil).
M08	Démarrage d'arrosage

M09	Arrêt d'arrosage
M13	Démarrage de broche anti trigonométrique avec arrosage
M14	Démarrage de broche trigonométrique avec arrosage
M30	Fin d'programmé
M46	Non validation de modulation de vitesse d'avance
M47	Validation de modulation de vitesse d'avance
M48	Non validation de modulation de vitesse de broche
M49	Validation de modulation de vitesse de broche
M68	Avance de fourreau de contre- pointe
M69	Rétraction fourreau de contre-pointe
M99	FIN DE Sous-programme

Tableau IV.3 : Format général des données et définitions des adresses fraisage

Code	Désignation
\$0	Emission de message vers la visualisation.
\$1 à \$6 \$9	Emission de message vers la fonction automatisme ou un serveur distant ou un périphérique ou un PC.
/	Saut de bloc.
T	Numéro d'outil.
D...	Appel du correcteur d'outil.
ED...	Décalage angulaire programmé.
EG...	Modulation programmée de l'accélération.
EM-/+	Dimensions extrêmes de la pièce en visualisation graphique 3D.
M	Conversion de l'unité interne des axes rotatifs.
U	Conversion de l'unité interne des axes linéaires.

Conclusion Générale



Conclusion générale

La fabrication assistée par ordinateur (FAO), sous toutes ses formes, est un pan important de l'industrie grâce auquel elle a connu un essor formidable. C'est devenu une science à part entière avec son histoire, ses perspectives et son lot de règles et de normes. Elle permet aujourd'hui d'atteindre des qualités de produits insoupçonnables il y a encore quelques années et à des prix record. Ce qui fait de la FAO une locomotive importante du progrès technique. Un progrès dont elle dépend à son tour pour son actualisation et sa pérennité.

On a commencé notre travail de conception par un passage en revue des systèmes de transmission de mouvement, des systèmes de guidage, des moyens de fixation et des moteurs électriques qui pourraient potentiellement équiper notre MOCN. Nos choix se sont fait selon des critères techniques tels que les courants d'alimentations et les dimensions de l'appareil, des critères économiques tel que le coût de réalisation et finalement selon des critères opérationnels comme le montage et la manipulation de la machine. On a fini par choisir un système à axes cylindriques équipé de douilles à billes pour le guidage en translation des chariots entraînés par des moteurs pas à pas. Pour la transmission de mouvement on a opté pour la transmission par vis trapézoïdales. Et comme moyen de fixation on a utilisé des systèmes vis écrou.

L'architecture de notre machine-outil est telle que les mouvements selon les deux axes Y (transversal) et Z (vertical) sont assurés par l'outil. La pièce quant à elle assure le mouvement selon l'axe X (longitudinal). Cette architecture, assez simple, nous permet de réaliser un système fiable et à moindre coût. Tout en gagnant un espace de travail conséquent.

La deuxième partie de notre travail est l'étude et le dimensionnement des principaux composants de la MOCN. On a donc vérifié la résistance de chacune des barres de guidages ainsi que des vis trapézoïdales à la flexion, qui est la principale sollicitation à laquelle elles sont soumises.

Les vis trapézoïdales sont aussi dimensionnées à l'usure afin de déterminer leur environnement de travail optimal. On a dimensionné également les moteurs d'entrainements en calculant leurs couples moteurs et leurs puissances suivant les trois directions. Pour les roulements et les douilles à billes utilisés dans les guidages en rotation et en translation, on a estimé les durées de vie respectives ainsi que les capacités de charge dynamiques admissibles pour chacun. Le reste du système, étant fait en acier E350 et vue les faibles contraintes auxquelles il est soumis, ne présente aucun risque de rupture ou de déformation.

La partie commande de notre machine est assurée par un microcontrôleur ArduinoUno. Cette carte présente l'avantage de fournir plusieurs entrées et sorties qui vont nous permettre d'interagir avec les moteurs, à travers leurs cartes contrôleurs, et avec les capteurs du système via l'interface Arduino. Et grâce à la librairie GRBL on va piloter nos moteurs en utilisant le G-code usuellement utilisé en CNC.

Dans le volet réalisation, le manque de moyens et de personnel qualifié au niveau de l'atelier mécanique de l'université nous a poussés à nous tourner vers des ateliers de mécanique privés. Ces derniers nous ont causés bien des soucis, et malgré notre insistance sur les délais de réalisation notre système reste encore inachevé. Cependant, d'après les premières constatations faites sur les parties déjà réalisées, le rendu final sera très bien fini et de bonne qualité.

Notre projet de mémoire restera dans les annales comme étant le premier de ce genre à l'UMMTO. Ce qui n'a fait que compliquer un travail qui l'était déjà bien assez vu sa pluridisciplinarité. Et si ce n'était les aléas administratifs et financiers on aurait pu présenter notre système réalisé et prêt à l'utilisation. Cependant le travail que nous laissons aux promotions à venir leur servira de référence et de base pour tout développement ou amélioration.

Les perspectives de développements sont multiples telles que :

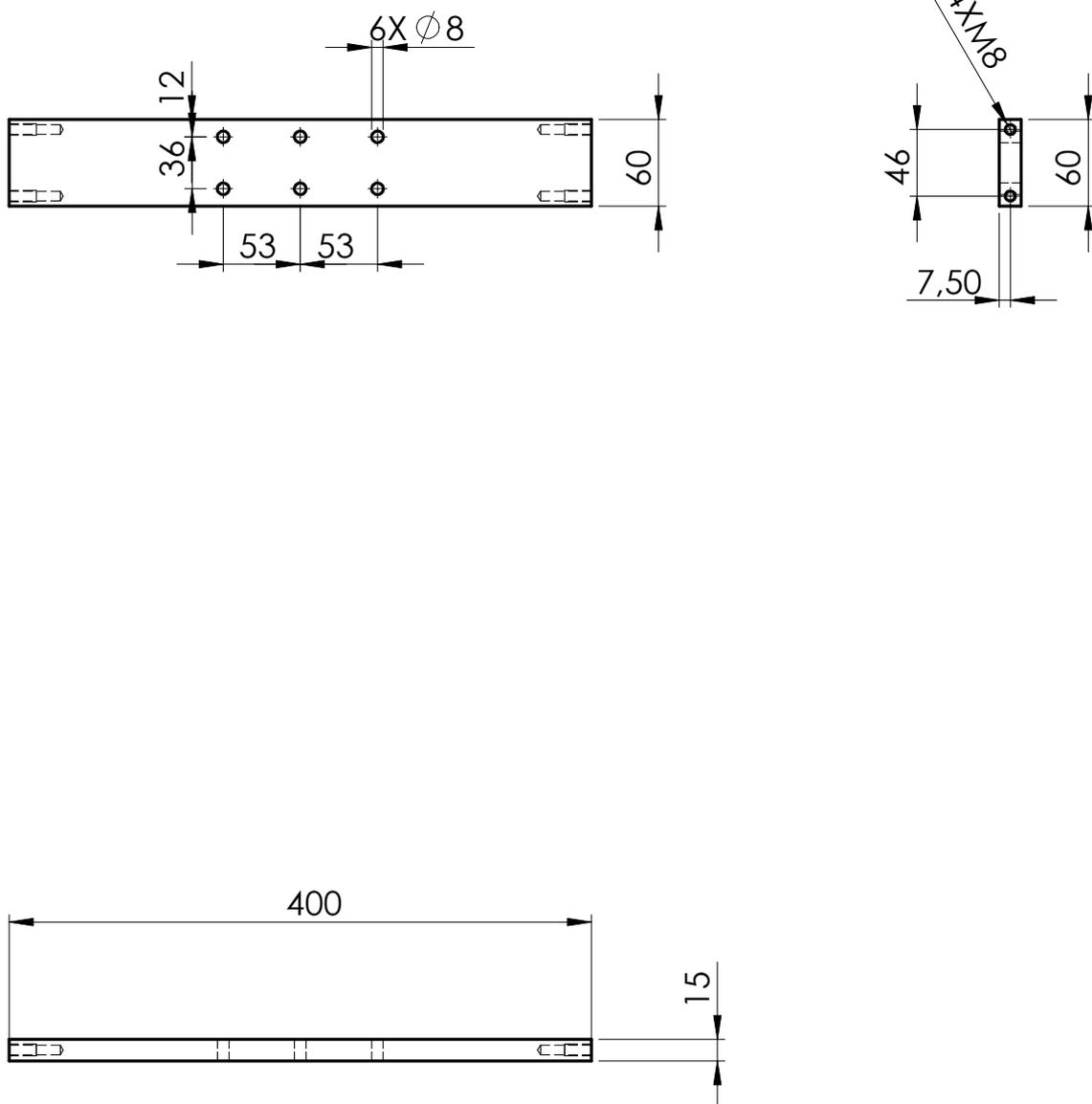
- L'ajout d'un système de lubrification ;
- La mise au point de caches et de couvercles de sécurité ;
- L'ajout d'axes supplémentaires en faisant pivoter la broche ou le plateau porte pièce.

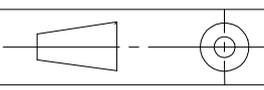
BIBLIOGRAPHIE

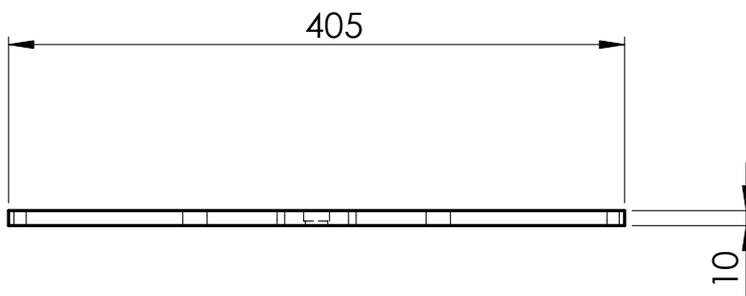
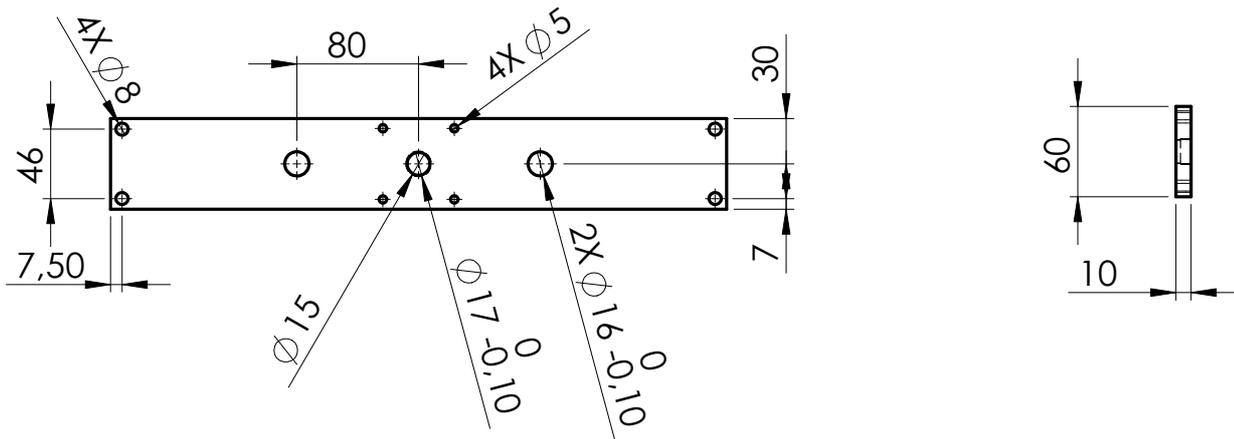
- [1] : Gilles prod'homme, 1995, « commande numérique des machines-outils » Technique de l'ingénieur, génie mécanique, usinage, B7130.
- [2] : D. Gelin, M. Vincent « éléments des fabrications », Edition marketing, Paris, Mars 1995.
- [3] : D. Duret, « simulation de gamme d'usinage », revue de l'ingénieur et du Technicien de l'enseignement technique, n°229,1981, pp. 34-37.
- [4] : <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier-passo.jpg> Licence : GNU Free Documentation License Contributeurs.
- [5] : M.Aublin, « Construction mécanique » Edition Dunod, TE-5 « Transmission d'énergie »
- [6] : Roland FARGES, « Poulies et courroies de transmission » Technique de l'ingénieur, génie mécanique, B5683.
- [7] : Patric OGUIC, « Moteurs pas à pas et PC », 2° Edition Dunod, Paris 2004
- [8] : Livret Arduino en français par Jean-Noël Montagné, Centre de Ressources Art Sensitif, novembre 2006, sous licence CC, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/deed.fr>
- [9] : Catalogue vis trapézoïdale et écrou .CORETEC
- [10] : Catalogue moteur pas à pas Nema 23
- [11] : Catalogue douille à bille LME, FLI industrie
- [12] : Résumé théorique et guide de travaux pratiques, Module n°:15 programmation des MOCN [Technicien Spécialisé en Méthode de Fabrication Mécanique]

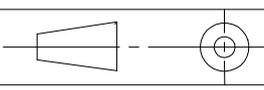
LES PLANCHES

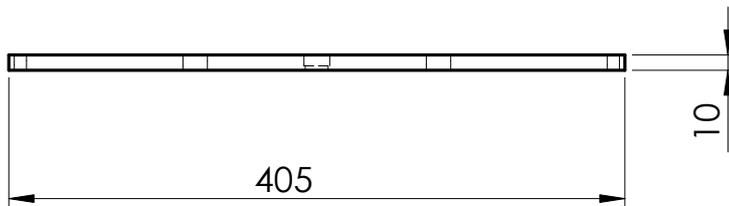
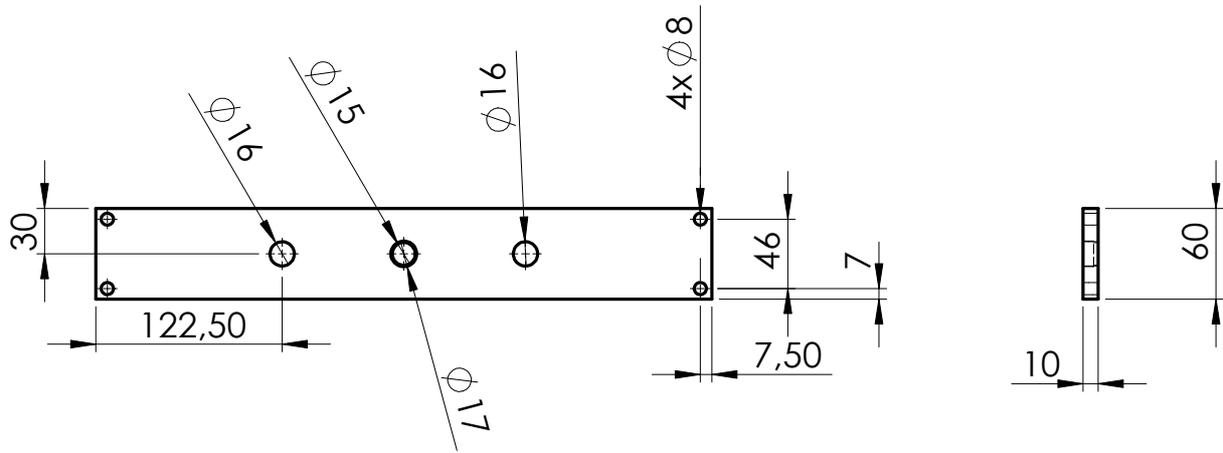


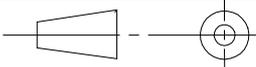


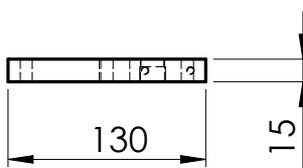
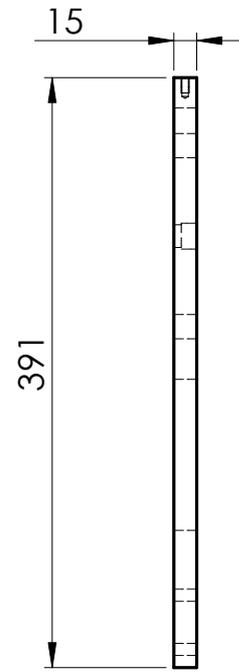
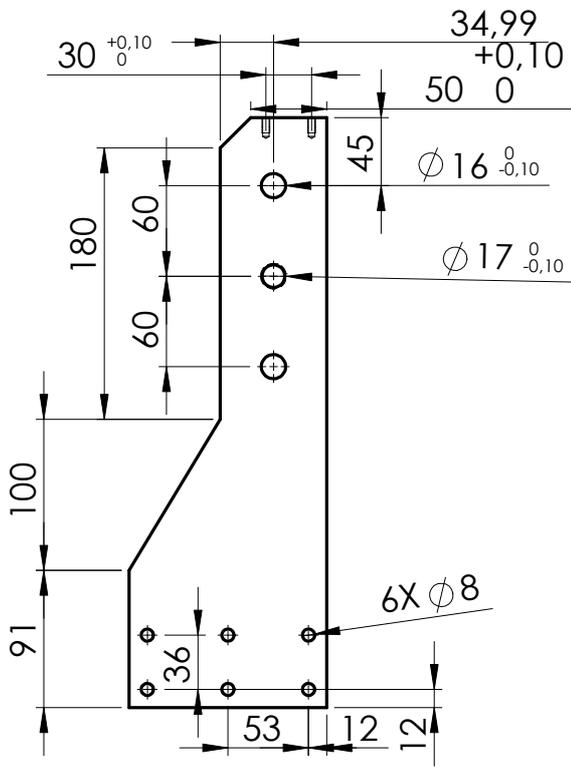
1	2	Support de base 1	Acier E360	
Rep	Nbr	Designation	Matière	Observation
Echelle: 1:2		étude et conception d'une mini fraiseuse trois axes à commande numérique	Réalisé par: OULMI Tassadit MERZOUKI Zina	
			Projet de fin d'études 2014/2015	
A4			FMP_Master 2	
		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		

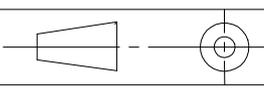


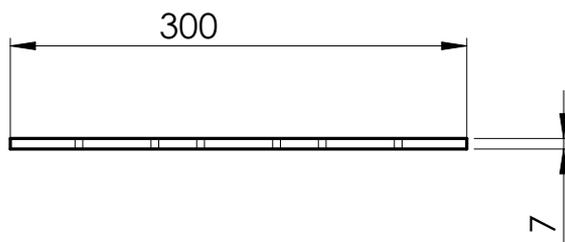
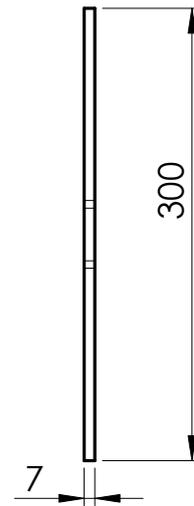
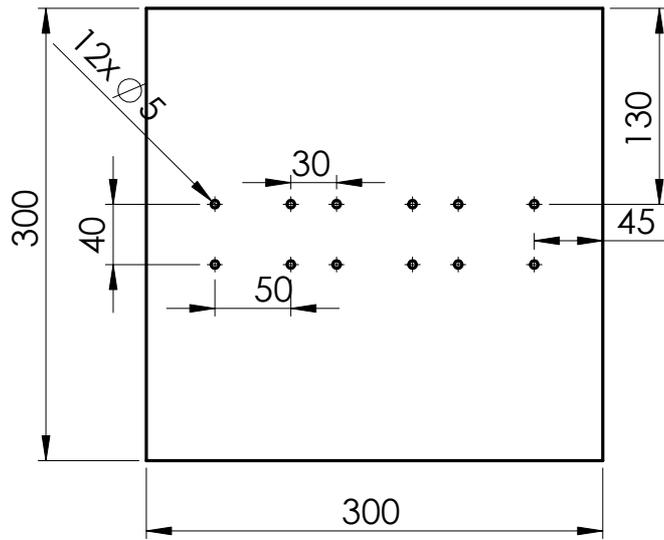
2 Rep	1 Nbr	Support de base 2 Designation	Acier E360 Matière	Observation
Echelle: 1:5		étude et conception d'une mini fraiseuse trois axes à commande numérique		Réalisé par:
				OULMI Tassadit MERZOUKI Zina
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou	Projet de fin d'études 2014/2015	
			FMP_Master 2	

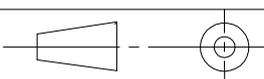


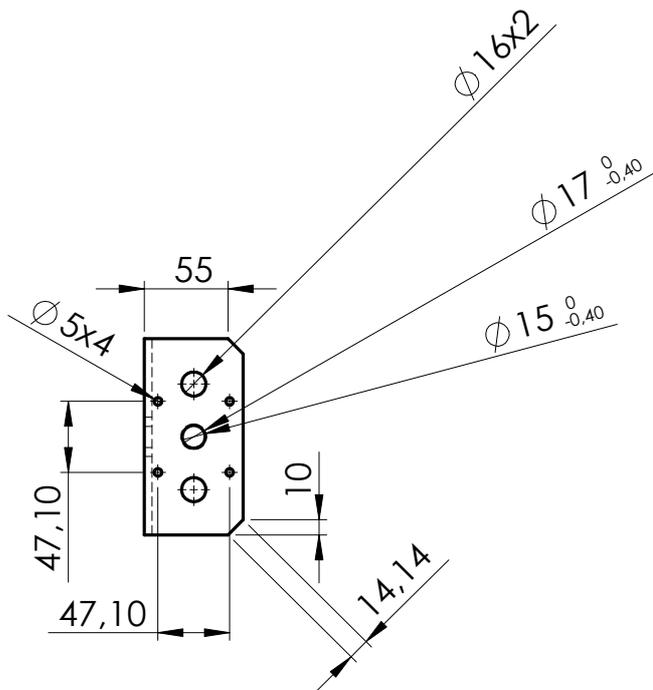
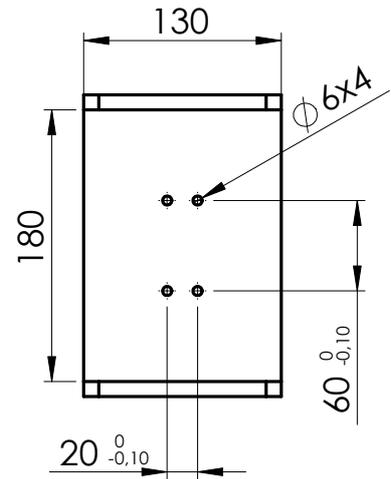
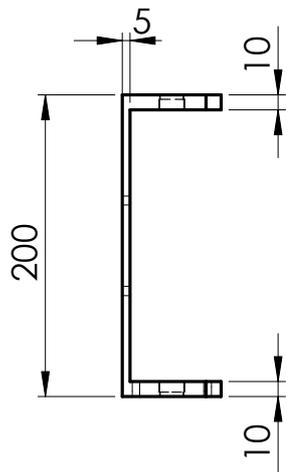
3	1	Support de base 3	Acier E360	
Rep	Nbr	Designation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		Conception et réalisation d'une CNC trois axes	Réalisé par: OULMI Tassadit MERZOUKI Zina	
			Projet de fin d'études 2014/2015	
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou	FMP_Master 2	

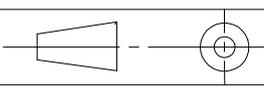


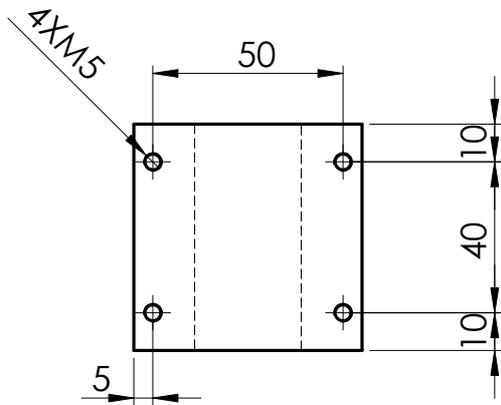
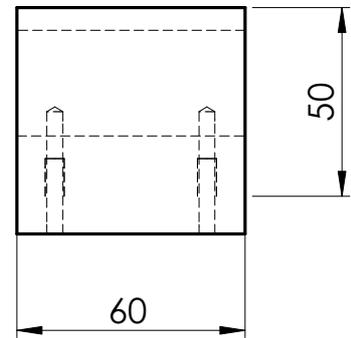
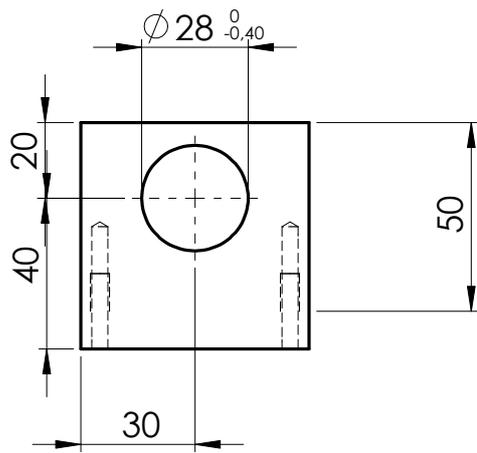
4	1	Support latérale 1	Acier E360	
Rep	Nbr	Designation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		étude et conception d'une mini fraiseuse trois axes à commande numérique	Réalisé par: OULMI Tassadit MERZOUKI Zina	
			Projet de fin d'études 2014/2015	
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou	FMP_Master 2	



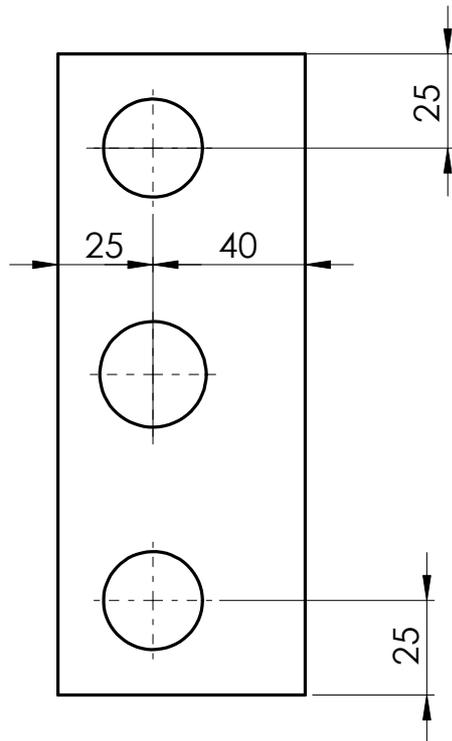
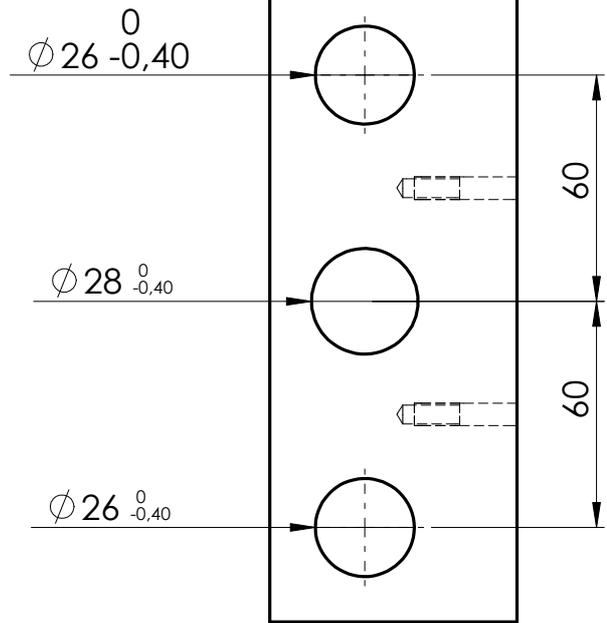
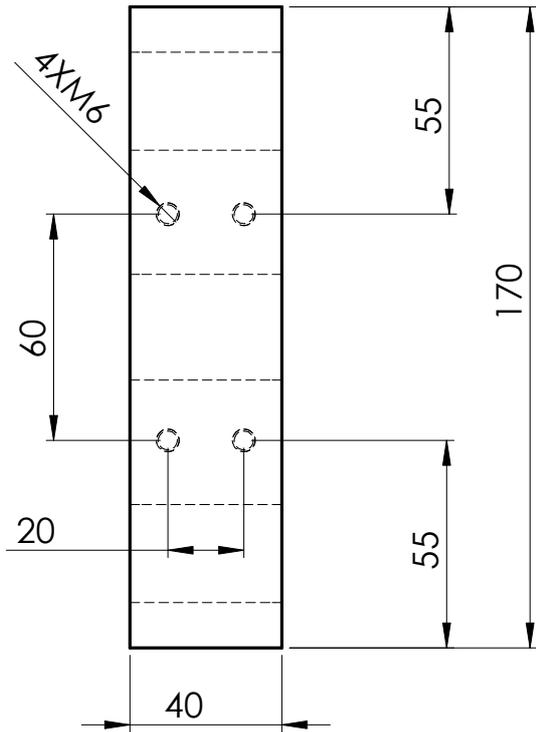
6	1	Plateau	Aluminium	
Rep	Nbr	Designation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		étude et conception d'une mini fraiseuse trois axes à commande numérique	Réalisé par: OULMI Tassadit MERZOUKI Zina	
			Projet de fin d'études 2014/2015	
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou	FMP_Master 2	

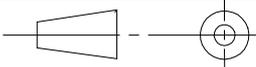


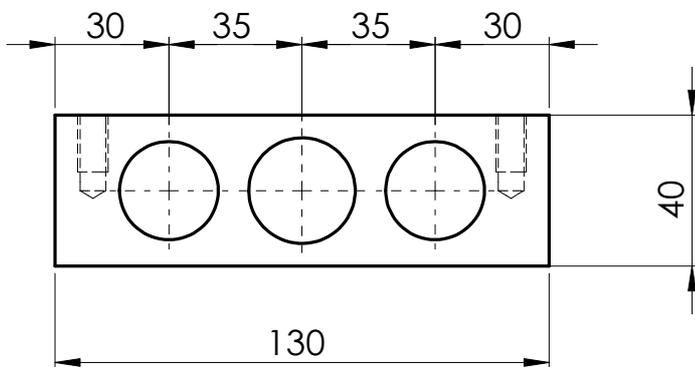
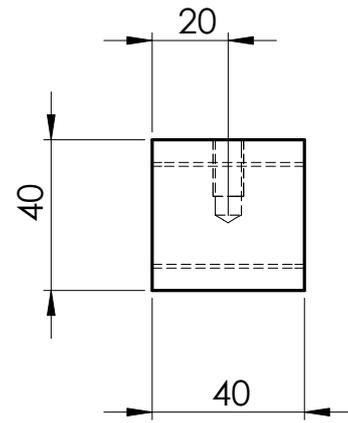
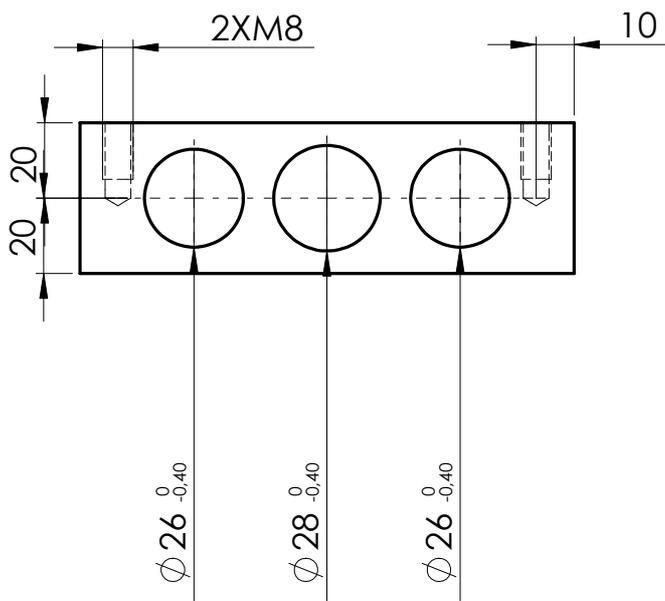
7	1	Support broche	Aluminium	
Rep	Nbr	Designation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		étude et conception d'une mini fraiseuse trois axes à commande numérique	Réalisé par:	
			OULMI Tassadit MERZOUKI Zina	
A4			Projet de fin d'études 2014/2015	
		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou	FMP_Master 2	

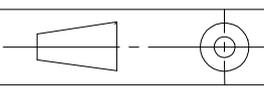


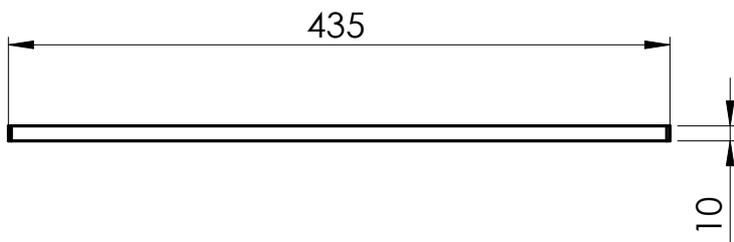
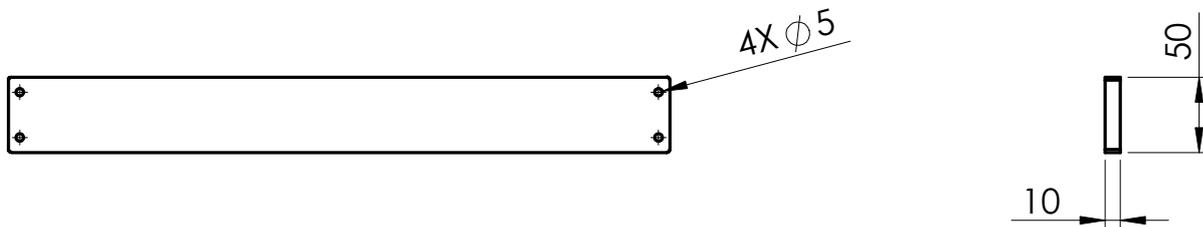
8	3	Palier de guidage X	Aluminium	
Rep	Nbr	Designation	Matière	Observation
Echelle: 1:1		étude et conception d'une mini fraiseuse trois axes à commande numérique	Réalisé par: OULMI Tassadit MERZOUKI Zina	
			Projet de fin d'études 2014/2015	
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou	FMP_Master 2	

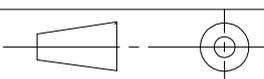


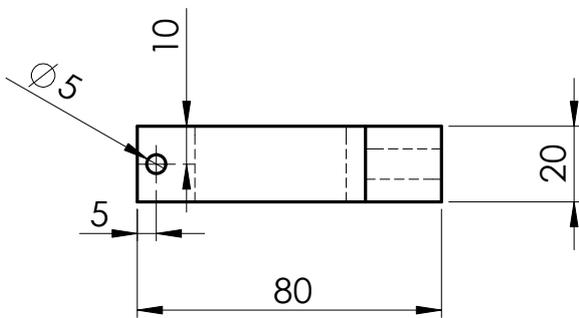
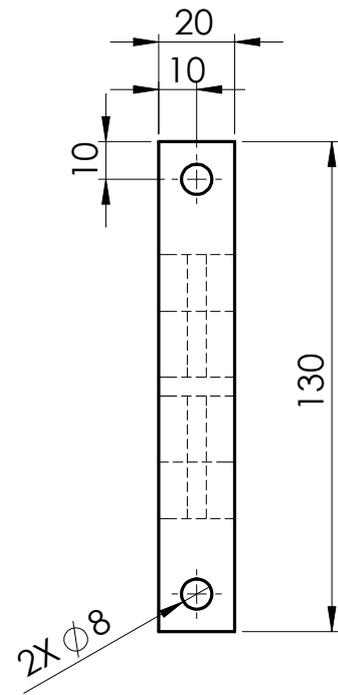
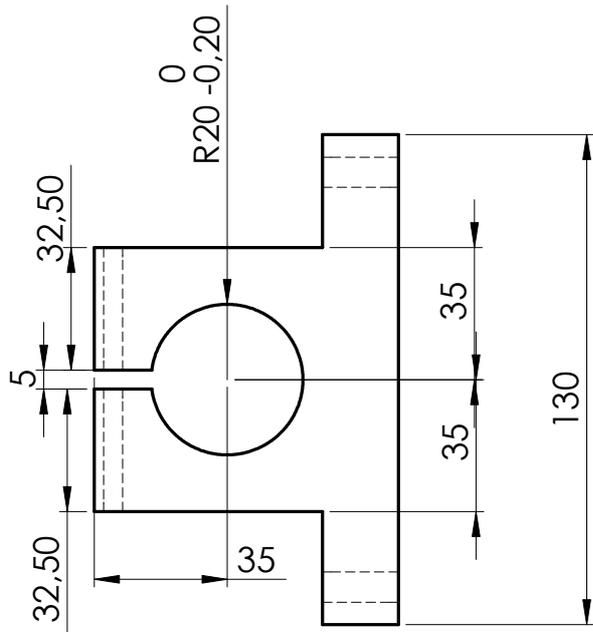
9	1	Palier de guidage Y	Aluminium	
Rep	Nbr	Designation	Matière	Observation
Echelle: 1:2		étude et conception d'une mini fraiseuse trois axes à commande numérique	Réalisé par: OULMI Tassadit	
			MERZOUKI Zina	
A4			Projet de fin d'études 2014/2015	
		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou	FMP_Master 2	

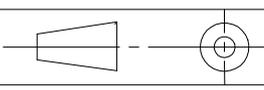


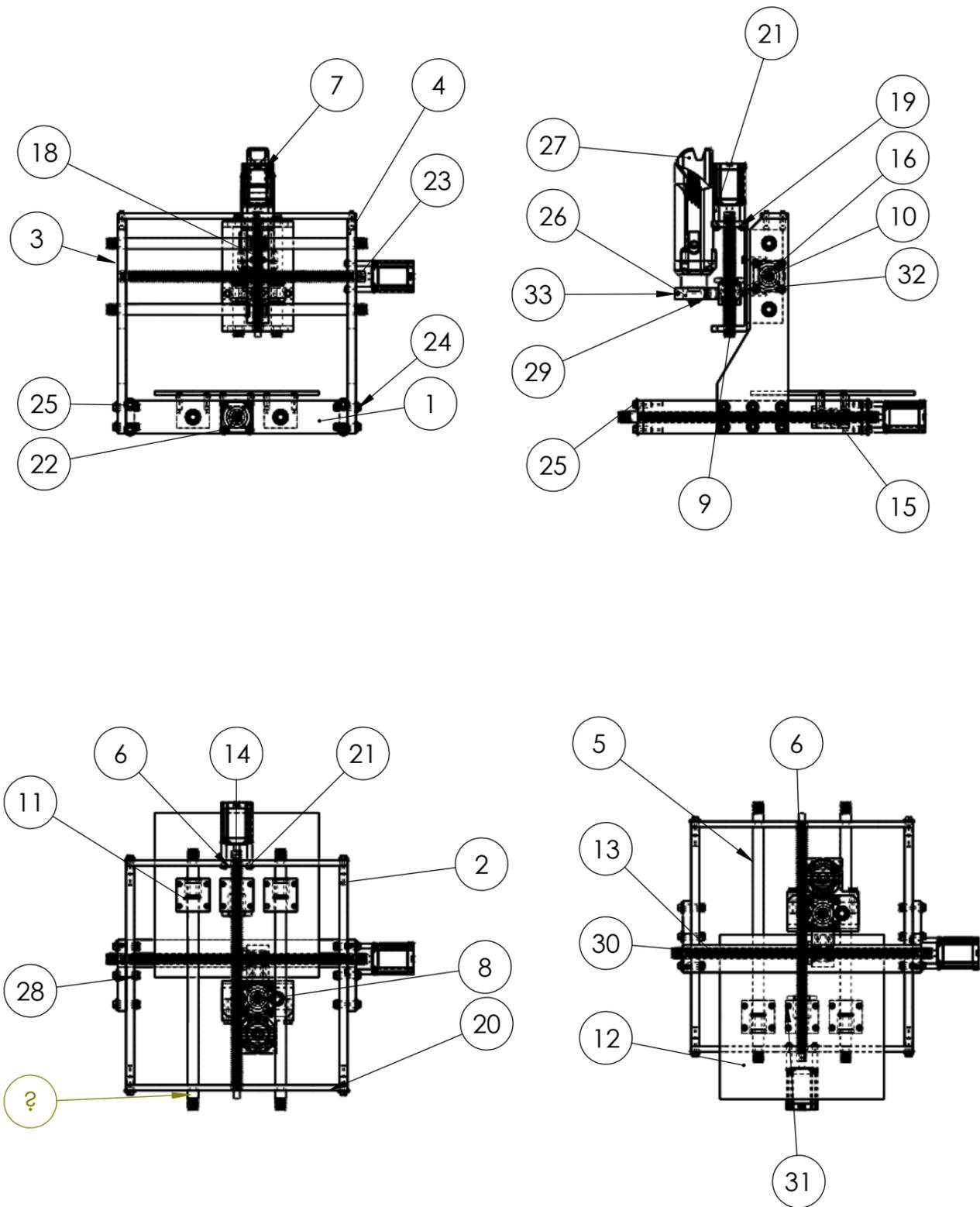
10	1	Palier de guidage Z	Aluminium	
Rep	Nbr	Designation	Matière	Observation
Echelle: 1:2		étude et conception d'une mini fraiseuse trois axes à commande numérique		Réalisé par: OULMI Tassadit
				MERZOUKI Zina
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		Projet de fin d'études 2014/2015
				FMP_Master 2



11	1	Pièce 4	Acier E360	
Rep	Nbr	Designation	Matière	Observation
Echelle: 1:5		étude et conception d'une mini fraiseuse trois axes à commande numérique		Réalisé par:
				OULMI Tassadit MERZOUKI Zina
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou		Projet de fin d'études 2014/2015
				FMP_Master 2



Rep	Nbr	Designation	Matière	Observation
	1	suport perceuse 2	Aluminium	
Echelle: 1:2		Conception d'une CNC trois axes		Réalisé par: OULMI Tassadit
				MERZOUKI Zina
A4		Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou	Projet de fin d'études 2014/2015	
			FMP_Master 2	



33	1	tige support perceuse	
32	4	vis hexagonale M6 L40	
31	12	vis hexagonale M5 L30	
30	4	vis hexagonale M5 L30	
29	2	vis hexagonale M8 L40	
28	12	ecrou hexagonale	
27	1	perceuse	
26	1	support perceuse	Alluminium
25	8	vis hexagonale à embase M8 L25	
24	12	vis hexagonale à embase M8 L40	
23	3	accouplement semi elastique	
22	12	ecrou hexagonale M8	
21	12	vis hexagonale à embase M8 L50	
20	1	support de base 3	E360
19	1	support broche	Alluminium
18	1	palier de guidage Y	
17	12	ecrou hexagonale M16	
16	6	les roulements	
15	6	les douille à bille	
14	3	ecrou en bronze	
13	1	pièce pour le chassi	E360
12	1	le plateau	Alluminium
11	3	palier de guidage X	Alluminium
10	1	palier de guidage Z	Alluminium
9	2	tige de guidage Z	E360
8	1	vis trapézioidale Z	E360
7	3	moteur pas a pas nema23	
6	2	vis trapézioidale X,Y	E360
5	4	tige de guidage Y,X	E360
4	1	support latérale 2	E360
3	1	support latérale 1	E360
2	1	support de base 2	E360
1	1	support de base 2	E360
Rep	Nbr	Désignation	Matière

Echelle: 1:10



A3

Conception et réalisation d'une CNC

trois axes

Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou

Réalisé par:
OULMI Tassadit
MERZOUKI Zina

Projet de fin d'études
2014/2015