

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ BLIDA 1



Faculté De Technologie
Département de mécanique
Option : Conception mécanique

Projet de fin d'étude
en vue de l'obtention
du diplôme de Master

Etude d'une conversion

d'une fraiseuse

conventionnelle en CNC

Dirigé par :

Mr. M. ABADA.

Elaboré par :

ZOUAHI Oualid.

Résumé

Actuellement on assiste à une utilisation de plus en plus large des machines-outils à commande numérique.

Les fraiseuses CNC sont conçues pour atteindre des performances très élevées, en matière de précision rapidité d'exécution et maîtrise du cout.

La conversion d'une fraiseuse conventionnelle en CNC demande une bonne étude théorique de dimensionnement des servomoteurs qui vont piloter les 3 axes de la machine et une bonne modélisation des solutions technologiques.

Dans ce mémoire nous avons proposé une approche de modélisation d'une conversion d'une fraiseuse conventionnelle en une CNC, ou on a fait une étude théorique de dimensionnement, on a obtenu des résultats satisfaisant en prenant en considération des facteurs de sécurités. On a ensuite proposé une conception de la modification. Pour ce on a utilisé un logiciel CAO pour modéliser cette proposition de conception.

Mots clés : Fraiseuse, Commande numérique, Modélisation.

Remerciement

Je remercie les membres du jury de leur présence et de leur participation à cette soutenance et je me réjouis par avance d'entendre leurs lectures et d'échanger sur ces questions.

Je remercie tous mes enseignants pour tous les efforts qu'ils déploient pour assurer notre formation.

Je remercie également les personnes présentes dans la salle de s'être déplacées.

Je voudrais remercier Mr ABADA mon promoteur pour son assistance et le suivi tout au long de ce travail

Je remercie Mr SLAMANI Mounir pour son soutien ainsi que pour toutes les informations fournies, support de ce travail.

Je remercie mon ami et frère Mr ABED Mohammed Hakim pour toute la générosité de part sa présence son dévouement et de son aide à tout moment.

Je remercie mes parents qui se sont dévoués sans compter ainsi que pour leur soutien dans les moments difficiles.

À tous les camarades et amis pour leur présence dans cette salle, qui ont souvent su trouver les mots justes pour me remonter le moral dans les moments critiques

Il n'existe pas de mots assez forts pour exprimer mes remerciements à
Allah tout puissant de m'avoir guidé jusqu'à ce jour

J e d e d i e

À la plus belle créature que Dieu a créée, à cette source de tendresse, de patience et de générosité, à ma mère !

A toute ma famille, à tous mes enseignants à tous mes amis et collègues tous les étudiants de la promotion 2015/2016.

« A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer »

Ce modeste travail de fin d'étude.

Table de matière :

1. Introduction.....	Err eur ! Signet non défini.
2. Machine– outil.....	Erreur ! Signet non défini.
2.1 Procédés d’usinage.....	Erreur ! Signet non défini.
2.2. Le fraisage.....	Erreur ! Signet non défini.
2.3 Classification des fraiseuses.....	Erreur ! Signet non défini.
3. Caractéristiques des fraiseuses.....	Erreur ! Signet non défini.
3.1 Fonctionnelles.....	Erre ur ! Signet non défini.
3.2 Dimensionnelles :.....	Erre ur ! Signet non défini.
4. Les fraiseuses universelles.....	Erreur ! Signet non défini.
4.1 Transmission des mouvements de travail et d’avance.....	Erreur ! Signet non défini.
4.2 Valeurs des déplacements.....	Erreur ! Signet non défini.
5. Principales définitions cinématiques et géométriques.....	Erreur ! Signet non défini.
6. Opérations de fraisages.....	Erreur ! Signet non défini.
7. Directions de fraisage.....	Erreur ! Signet non défini.

7.1 Fraisage en avalant.....	Erreur ! Signet non défini.
7.2 Fraisage en opposition (ou conventionnel).....	Erreur ! Signet non défini.
7.3 Types et modes de travail.....	Erreur ! Signet non défini.
7.3.1 Fraisage en bout.....	Erreur ! Signet non défini.
7.3.2 Fraisage en roulant.....	Erreur ! Signet non défini.
8. Caractéristiques des fraises.....	Erreur ! Signet non défini.
8.1 Quelques types de fraises et utilisations.....	Erreur ! Signet non défini.
9. Conclusion.....	Erreur ! Signet non défini.
Chapitre II	
1. Introduction.....	17
Qu'est-ce qu'une machine à commande numérique ?.....	Erreur ! Signet non défini.
1.2 Impact industriel.....	Erreur ! Signet non défini.
1.3 Avantages des machines à commande numérique.....	Erreur ! Signet non défini.
1.4 Apport économique.....	Erreur ! Signet non défini.
2. La Fraiseuse numérique.....	Erreur ! Signet non défini.
2.1 Classification des fraiseuses CNC	23

2.2 Composition de la machine	Erreur ! Signet non défini.
2.3 Fonctionnement de la machine	Erreur ! Signet non défini.
3. Partie Motorisation	Erreur ! Signet non défini.
3.1 Moteurs à courant continu.....	Erreur ! Signet non défini.
3.2 Moteurs pas à pas	Erreur ! Signet non défini.
3.3 Moteurs sans balais (Brushless)	Erreur ! Signet non défini.
3.3.1 Servomoteurs.....	Erreur ! Signet non défini.
4. Déplacements de la table.....	Erreur ! Signet non défini.
4.1 Les vis trapézoïdales.....	Erreur ! Signet non défini.
Solution 1 : vis à deux écrous.....	Erreur ! Signet non défini.
Solution 2 : Les vis à roulement.....	Erreur ! Signet non défini.
a. Vis à billes.....	Erreur ! Signet non défini.
b. Vis à rouleaux	Erreur ! Signet non défini.
b.1 Sans recirculation de rouleaux.....	Erreur ! Signet non défini.
b.2 Avec recirculation de rouleaux.....	Erreur ! Signet non défini.

5. Guidage linéaire.....	Erreur !
Signet non défini.	
5.1 Fonction à assurer	Erreur ! Signet non défini.
5.2 Choix de type de glissière.....	Erreur ! Signet non défini.
5.2.1 Guidages par contact direct.....	Erreur ! Signet non défini.
5.2.1.1 Guidages cylindrique prépondérant par arbre ou moyeu coulissant	Erreur ! Signet non défini.
5.2.1.2 Guidages prismatique prépondérant :	Erreur ! Signet non défini.
5.2.2 Guidages par interposition d'éléments roulants	Erreur ! Signet non défini.
5.3 Caractéristiques de chaque famille de solutions.....	Erreur ! Signet non défini.
6. Directeur de commande.....	Erreur ! Signet non défini.
6.1 Asservissements et capteurs de position et de vitesse.....	Erreur ! Signet non défini.
7. Conclusion.....	Erre ur ! Signet non défini.
Chapitre III	
1. Programmation.....	Erre ur ! Signet non défini.
1.1 Codification des instructions.....	Erreur ! Signet non défini.
1.1.1 G Code	Erreur ! Signet non défini.

1.2 Le contexte de la programmation.....**Erreur ! Signet non défini.**

1.3 Le Programme.....**Erreur !**

Signet non défini.

1.4 Structure d'un programme.....**Erreur ! Signet non défini.**

1.4.1 Exemple de structure d'un programme:

.....**Erreur ! Signet non défini.**

1.4.2 Les repères.....**Erreur !**

Signet non défini.

1.4.3 Le repère de programmation.....**Erreur ! Signet non défini.**

1.4.4 Méthodes de choix des repères.....**Erreur ! Signet non défini.**

2. Les différentes origines des MOCN.....**Erreur ! Signet non défini.**

2.1 Origine machine

Om.....**Erreur ! Signet non défini.**

2.2 Origine Programme

OP.....**Erreur ! Signet non défini.**

2.3 Origine outil

Oo.....**Erreur ! Signet non défini.**

2.4 Origine mesure

Om.....**Erreur ! Signet non défini.**

2.5 Origine pièce

Op.....**Erreur ! Signet non défini.**

2.6 Origine porte-pièce

Opp.....**Erreur ! Signet non défini.**

2.7 Origine porte-outil

Opo.....**Erreur ! Signet non défini.**

3. Programmation des

déplacements.....**Erreur ! Signet non défini.**

3.1 La géométrie de la

Pièce.....**Erreur ! Signet non défini.**

4. Description du déplacement de

l'outil.....**Erreur ! Signet non défini.**

4.1 Interpolation linéaire:

.....**Erreur ! Signet non défini.**

4.2 Interpolation circulaire et hélicoïdale :

.....**Erreur ! Signet non défini.**

4.3 La réalisation de déplacement le long de courbes splines se fait aussi dans un plan particulier.....5E

Erreur ! Signet non défini.

5 Principe de programmation des

déplacements.....**Erreur ! Signet non défini.**

5.1 Cause des

difficultés.....**Erreur ! Signet non défini.**

5.2 Programmation de

l'outil.....**Erreur ! Signet non défini.**

5.3 Axe de machine-

outil.....**Erreur ! Signet non défini.**

6. La correction

d'outil.....**Erreur ! Signet non défini.**

6.1 Correction de longueur.....**Erreur ! Signet**

non défini.

6.2 Correction de rayon.....**Erreur ! Signet**

non défini.

7. Conclusion :**Erreur ! Signet**

non défini.

Chapitre IV

Introduction.....**E**
rreur ! Signet non défini.

Formulations

théoriques.....**Erreur ! Signet**
non défini.

Calculs : cas pratiques63

Conclusions.....**Er**
reur ! Signet non défini.

Chapitre V

Introduction.....**Er**
reur ! Signet non défini.

1.2 La fraiseuse

Milko.....**Erreur ! Signet**
non défini.

1.3 Fiche technique de la fraiseuse Milko

35r.....**Erreur ! Signet non défini.**

2. Objectif de la modification :

.....**Erreur ! Signet non défini.**

3. Les Aspects techniques de la

modification.....**Er**
reur ! Signet non défini.

a) Transformation de mouvement :

.....**Erreur ! Signet non défini.**

b) Servomoteur :

.....**Erreur ! Signet**
non défini.

c) Servo

drive.....**Erreur !**

Signet non défini.

d) Réducteur de

vitesse.....**Erreur ! Signet**

non défini.

e) Accouplement :

.....**Erreur ! Signet non**

défini.

f) Poulies

courroies.....**Erreur ! Signet**

non défini.

4. La commande Mach

3.....**Erreur ! Signet non**

défini.

5.

Modélisation.....**Erre**

ur ! Signet non défini.

6. Le

montage.....**Erreur !**

Signet non défini.

7. Aspects économiques de la

modification.....**Erreur ! Signet non défini.**

Liste des tableaux :

Tableau 2.1 Caractéristiques des vis à rouleaux.....	39
Tableau 2.2 Comparaison entre le guidage par contact direct et par interposition d'éléments roulants.....	43
Tableau 4.1 Différentes lois de commande.....	60
Tableau 4.2 Etapes de calcul.....	64
Tableau 5.1 Fiche technique de la fraiseuse Milko 35r.....	71
Tableau 5.2 de nomenclature des éléments constituant de la fraiseuse Milko 35r.....	77
Tableau 5.3 : Données techniques pour les axes : X et Y.....	79
Tableau 5.4: Données techniques pour l'axe Z.....	80
Tableau 5.5 Prix estimatif du matériel requis.	107

Le développement des technologies mécaniques, et les pièces mécaniques fabriqués doivent répondre à des critères de plus en plus exigeants, en matière de rapidité d'exécution et de maîtrise du coût. C'est à cet effet que les machines à commandes numériques, les CNC « *computerized numerical control* » représentent un atout non négligeable (appréciable) pour les entreprises naissantes (PME) désirant se doter d'une machine à commande numérique.

Notre travail s'inscrit dans une approche purement technique, ayant pour objectif de satisfaire un besoin pratique. Le but du travail est la modification d'une fraiseuse conventionnelle, basique, et peu vétuste (fabriquée en 1994) pour la convertir en une fraiseuse commandée numériquement, où les déplacements de la table et la mise sous tension du moteur de la broche seront gérés par une unité ordonnatrice informatisée. Sans trop négliger les aspects théoriques de la démarche nous nous sommes basés principalement sur le côté technique. Le plus grand défi dans un tel travail est d'avoir une bonne précision des déplacements de la table, cette tâche est liée directement avec la communication et l'asservissement des Servomoteurs.

Ce travail a fait l'objet d'une étude bibliographique, vu le manque de ressources lorsqu'il s'agit de conversion d'une machine conventionnelle en machine à commande numérique. Pour mener ce travail à terme, il nous a été nécessaire d'approfondir nos connaissances sur la technique du fraisage qui sera développée au premier chapitre. De même nous avons approfondi l'aspect où se rejoint le fraisage et la commande numérique, au chapitre deux de notre document, nous avons passé en revue toutes les solutions technologiques utilisées dans les CNC, en passant par la vis-a-billes haute performance, les Servomoteurs ... etc. Pour que la machine accomplisse des tâches exigeantes avec succès, il est important d'avoir une partie informatique bien élaborée, simple d'utilisation, et accomplissant une bonne communication entre l'ordinateur et la machine, c'est la partie programmation qui a été étudié au chapitre trois du travail. L'aspect théorique et mécanique ont mobilisés une grande attention de notre part.

Au chapitre cinq du travail, nous avons passé en revue les tâches préliminaires que nous avons effectué pour modifier la machine. En par exposer la conception assistée par ordinateur que nous proposons, nous avons proposé les pièces technologiques telles que les vis-à-billes, les réducteurs, et Servomoteurs choisis sur catalogues de pièces normalisées.

L'idée de ce travail représente une innovation pour nous, mais entre dans un cadre de sujet à deux parties, proposé par nous même et encouragé par une entreprise dynamique ou germe le désir de la réalisation. Le sujet a été développé aux ateliers de l'entreprise MK Industrie, située à Beni Tamou, où nous avons à notre disposition la machine à numériser, et un personnel compétent.

Ce modeste travail s'inscrit dans une approche de mise au service des compétences académiques au profit du besoin de l'industrie, toujours exigeante en matière de précisions, de rapidité et de coût.

Chapitre I

Introduction au fraisage

1. Introduction

En mécanique industrielle, la fabrication d'une pièce à partir d'une quantité de matière livrée sous forme de produits semi-finis (tôles, barres, etc.), requiert la mise en œuvre d'un ensemble de techniques. On s'intéressera dans ce travail à l'usinage, qui consiste à un enlèvement de matière par outil coupant. L'usinage d'une pièce se compose d'une succession d'opérations définie par la gamme d'usinage, établie par le bureau des méthodes, à partir du dessin de définition issu du bureau d'études.

L'usinage traditionnel s'effectue en respectant les règles de la coupe des métaux, sur des machines-outils classiques ou automatisées.

2. Machine–outil

2.1 Procédés d'usinage

L'usinage, en général, est un procédé de mise en forme par enlèvement de matière, sous forme de copeaux, qui s'effectue sur des machines-outils appropriées. Une fois l'opération d'usinage terminée ces pièces doivent avoir la forme, les dimensions et la précision nécessaire demandée par le concepteur, et peuvent par la suite recevoir soit un traitement thermique, soit une rectification.

En fonction de la forme à donner à la surface des pièces et du type de la machine-outil, on distingue les opérations de coupe suivantes : le tournage, le perçage, la rectification, le fraisage, le rabotage, ...etc.

Dans notre sujet on s'intéressera au procédé de fraisage.

2.2. Le fraisage

Le fraisage est un procédé de fabrication mécanique par enlèvement de matière. Le fraisage d'une pièce est obtenu en coordonnant deux mouvements, le premier qui est un mouvement de rotation de l'outil appelé mouvement de coupe, le second, un déplacement rectiligne d'une pièce appelé mouvement d'avance. Toutefois, aujourd'hui, pour des machines spécifiques, on a un déplacement de l'outil par rapport à la pièce, lequel peut s'effectuer pratiquement dans n'importe quelle direction.

L'outil de fraisage est la fraise qui comporte plusieurs arêtes de coupe ; chacune d'elle enlève une certaine quantité de matière sous forme de copeaux.

Les avantages du fraisage sont : un rendement élevé, une bonne finition de surface, une haute précision, ainsi qu'une grande souplesse au niveau de la génération de différentes formes.

Le plus souvent, le fraisage permet la réalisation de pièces : prismatiques, de révolution intérieure et extérieure, de profils spéciaux : hélices, cames, engrenages...etc.

Son efficacité en « contournage » va croissante grâce à l'utilisation des techniques CNC (Computerized Numerical Control).

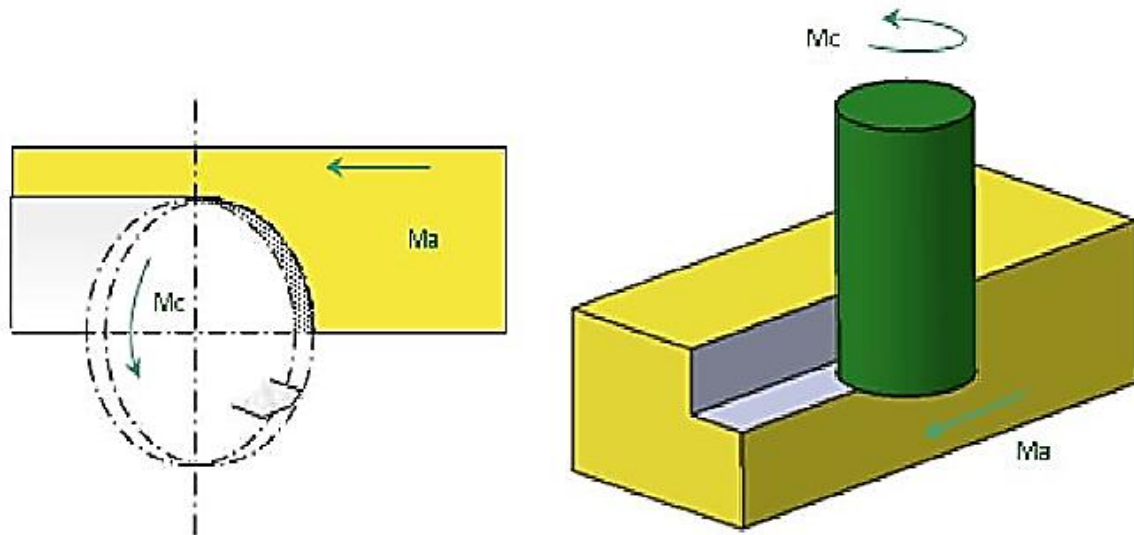


Figure 1.1 Mouvement de coupe et d'avance.

2.3 Classification des fraiseuses

En général, la classification normalisée des machines n'est pas respectée dans les dénominations commerciales. Compte tenu de la grande variété de modèles, plusieurs critères sont nécessaires pour caractériser une machine et ceux qui sont le plus souvent utilisés par les constructeurs sont indiqués ci - dessous.

a) Par type d'usinage ou d'emploi :

- fraiseuse ou fraiseuse-aléreuse, capable des différents travaux.
- aléreuse-fraiseuse ou genre aléreuse, possédant par rapport aux précédentes une broche d'alésage coulissante ;
- fraiseuse universelle et fraiseuse d'outillage, possédant le plus souvent un moyen d'orientation relative de la pièce et de la broche ; ces machines sont en général très maniables pour tous travaux unitaires variés ;
- fraiseuses spécialisées à prédominance de fraisage et vocation particulière : fraisage des rainures, des vilebrequins, des arbres à cames, des panneaux ou des longerons d'aviation, etc. ;
- centre d'usinage : toujours caractérisé par la CN, le changement automatique d'outils, et éventuellement un dispositif de palettes.

b) Par architecture :

- à console ;
- à banc ;

- à table croisée ;
- à table inclinable,
- à table universelle (inclinable dans trois plans) ;
- à montant mobile ;
- à portique fixe ;
- à portique mobile.

c) Par position de la broche :

- à broche horizontale ;
- à broche verticale ;
- à broche orientable (universelle, multiaxe).

d) Par type de commande :

- à commande manuelle (conventionnelle, classique) ;
- à commande numérique (la dénomination est souvent suivie du nombre d'axes contrôlés par la CN) ;
- à reproduire.

e) Par dimension :

- par la course de déplacement sur l'axe X ;
- par la course de déplacement sur les trois axes principaux X, Y, Z ;
- pour les centres d'usinage à broche horizontale et palettes, par les dimensions de la surface de la palette exprimées en millimètres (Exemple: 500× 500).

3. Caractéristiques des fraiseuses

3.1 Fonctionnelles

- Puissance du moteur.
- Gamme des vitesses de broche et d'avances.
- Orientation de la broche (type Hure, Gambin, etc.)

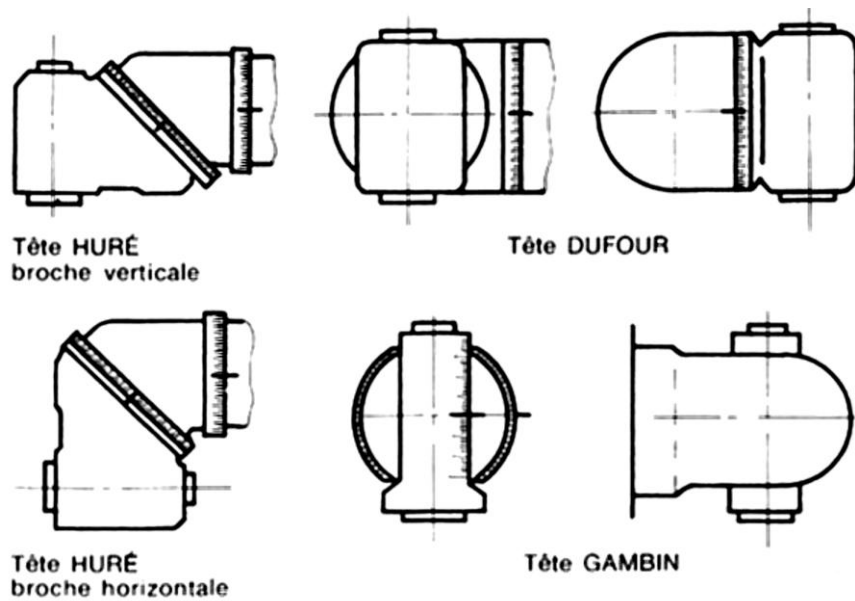


Figure 1.2 Type d'orientation de la broche.

3.2 Dimensionnelles :

- Type et numéro du cône de la broche (SA 40, Cm 4...)
- Longueur et largeur de la table.
- Courses de la table, chariot transversal et console.
- Hauteur entre la table et la broche.
- Distance entre table et glissière verticale.

1. Les fraiseuses universelles

Ce type de fraiseuse convient pour des travaux de caractère unitaire ou de petite série.

Elles sont équipées généralement de trois chariots mobiles :

- Table, chariot transversal, console. La table est parfois inclinable sur son plan pour le taillage hélicoïdal ;
- D'une tête universelle ;
- D'une sortie de broche horizontale avec bras coulissant pour arbre long.

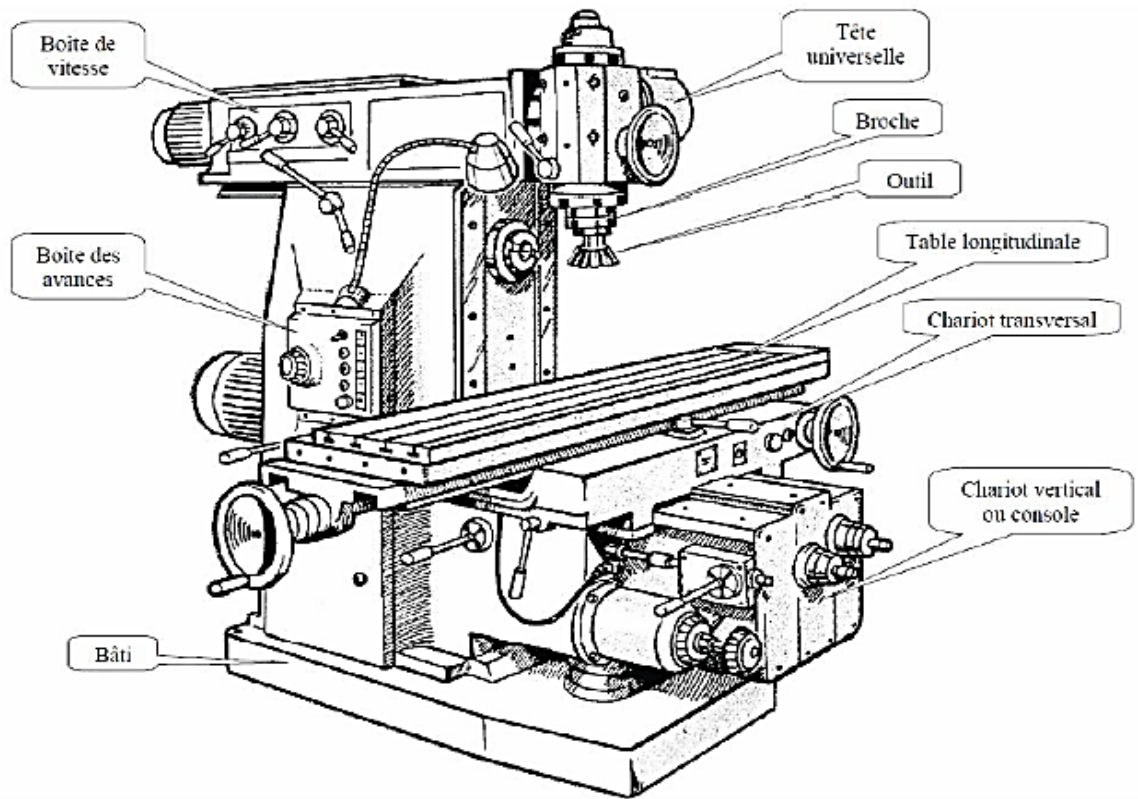


Figure 1.3 Fraiseuse universelle.

Les formes, dimensions, positions d'un objet se définissent par rapport à trois axes perpendiculaires entre eux, qui constituent le référentiel orthonormé (figure 1.4).

- L'axe Ox détermine la direction du Ma du chariot longitudinal C.L ;
- L'axe Oy détermine la direction du Ma du chariot transversal C.T ;
- L'axe Oz détermine la direction du Ma du chariot vertical C.V.

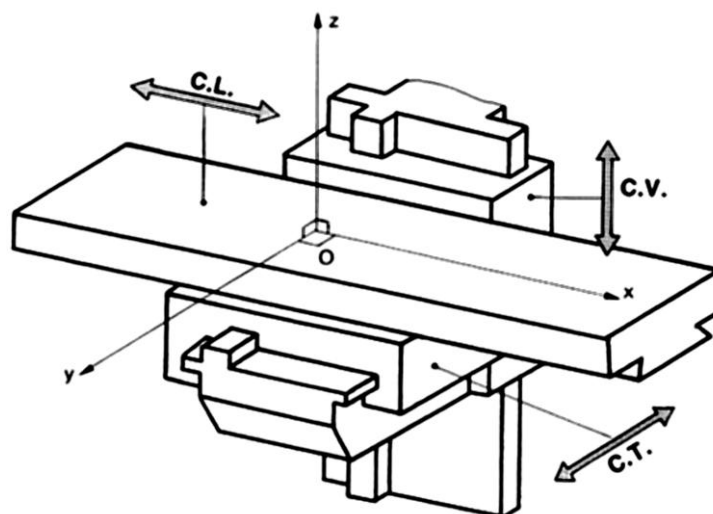


Figure 1.4 Mouvements de la table.

4.1 Transmission des mouvements de travail et d'avance

Le moteur encastré dans la colonne transmet le mouvement de travail à la broche par l'intermédiaire d'une boîte de vitesse. Les mouvements d'avance et de déplacement de la table porte-pièce, ainsi que des autres chariots peuvent être effectués manuellement, ou bien automatiquement au moyen du moteur principal ou à l'aide d'un moteur d'appoint.

Les déplacements des chariots sur une fraiseuse d'outillage sont assurés par un système **vis-écrou**. Pour contrôler les déplacements des organes porte-pièces (longitudinal de la table, transversal du chariot, vertical de la console), les volants de manœuvre des vis sont équipés de tambours gradués.

Le tambour gradué est solidaire de la vis. La précision dépend de la qualité de celle-ci: exactitude du pas et du nombre de graduations du tambour qui déterminent la valeur de l'une d'elles. L'opérateur doit tenir compte du sens d'établissement des repères (jeux). Pour les grands déplacements, qui nécessitent un nombre important de tours, il y a risque d'erreur sur le nombre.

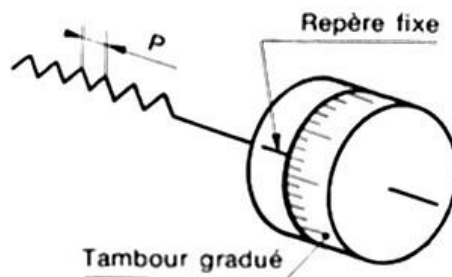


Figure 1.5 Tambour gradué.

Sur certaines machines, une règle graduée avec un index permet d'éviter le comptage des tours. Actuellement, la qualité d'exécution des vis permet une précision de l'ordre de 0,02 mm sur machine en bon état.

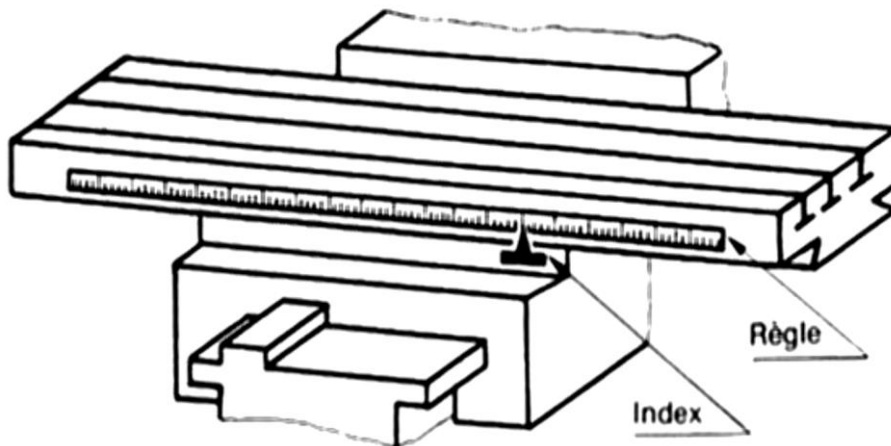


Figure 1.6 Règle graduée pour le contrôle de déplacement.

4.2 Valeurs des déplacements

Une rotation complète de la vis fait avancer le chariot d'une distance égale au pas de la vis. Un tambour rendu solidaire de la vis est gradué en divisions égales.

Valeur d'une division = pas de la vis du chariot / nombre de graduations du tambour

5. Principales définitions cinématiques et géométriques

Pour régler les paramètres de l'opération de fraisage, il convient en premier lieu d'établir quelques définitions s'appliquant aux caractéristiques dynamiques de l'outil de fraisage dont le diamètre (D) se déplace contre la pièce.

- **La vitesse de broche (n en tr/min)** est le nombre de tours, que l'outil de fraisage monté sur la broche de la machine-outil, effectue par minute. Il s'agit là d'une valeur dépendant de la machine, qui ne renseigne guère sur ce qui se passe à la périphérie où l'arête de coupe fait son office.
- **La vitesse de coupe (V_c en m/min)** indique pour sa part la vitesse à laquelle l'arête de coupe travaille la surface de la pièce. C'est un important paramètre de l'outil, qui fait partie intégrante des conditions de coupe avec, pour fonction, de garantir que l'opération soit effectuée dans les meilleures conditions d'efficacité par l'outil concerné.
- **La vitesse de broche**, le diamètre de l'outil et la vitesse de coupe sont naturellement liés par les formules suivantes (Figure 1.7) :

$$V_c = \frac{n\pi D}{1000}$$
$$n = \frac{1000 V_c}{\pi D}$$

D : diamètre de l'outil de fraisage (mm),

n : vitesse de broche (tr/min),

V_c : vitesse de coupe (m/min).

- **L'avance par minute ou vitesse d'avance (V_f en mm/min)** (Figure 1.7) est l'avance de l'outil en direction de la pièce, exprimée en unité de distance par unité de temps. On parle également ici d'avance de table.
- **L'avance par tour (f en mm/tr)** (Figure 1.7) est une valeur spécialement utilisée pour calculer l'avance et déterminer l'aptitude d'une fraise surfacer à travailler en finition. Elle indique de combien l'outil avance au cours d'une rotation.
- **L'avance par dent (f_z en mm/dent)** (Figure 1.7) est un important paramètre en fraisage. La fraise étant un outil à arêtes multiples, il faut en effet disposer d'un moyen de mesure pour contrôler que chacune de ces arêtes travaille dans des conditions satisfaisantes. La capacité d'enlèvement de matière de chaque dent est l'élément

limitatif au niveau des performances de l'outil. L'avance par dent indiquera la distance linéaire parcourue par l'outil lorsqu'une certaine dent est engagée.

L'avance par dent représente aussi la distance couverte entre la pénétration de deux dents successives dans la pièce. Elle peut donc être exprimée en fonction du nombre d'arêtes de l'outil (z) et de l'avance par minute, ou sous forme d'avance par tour (figure 1.8).

- **La profondeur de coupe, axiale (ap)** en surfacage ou radiale (ae) pour le fraisage d'épaulements, correspond à l'épaisseur de matière enlevée par l'outil. C'est la distance à laquelle l'outil est réglé au-dessous de la surface initiale de la pièce.
- **La largeur de coupe ou profondeur de coupe radiale (ae)** en surfacage et axiale (ap) pour le fraisage d'épaulements, est la distance parcourue par l'outil sur la surface de la pièce.
- **Le volume de matière enlevée par unité de temps (Q)** peut être déterminé en utilisant certaines de ces définitions. Ce volume correspond à la profondeur de coupe multipliée par la largeur de coupe, multipliée par la distance dont l'outil se déplace au cours de l'unité de temps concernée. Le volume d'enlèvement de matière est exprimé en millimètres cubes par minute.

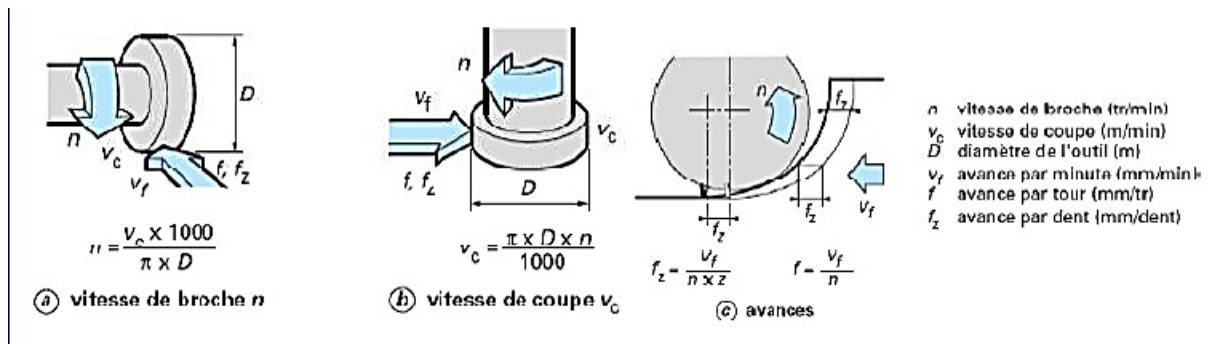


Figure 1.7 Paramètres de coupe

6. Opérations de fraisages

- **Surfage** : c'est l'usinage d'un plan par une fraise.
- **Plans épaulés** : c'est l'association de 2 plans perpendiculaires.
- **Rainure** : c'est l'association de 3 plans. Le fond est perpendiculaire aux deux autres plans.
- **Poche** : elle est délimitée par des surfaces verticales quelconques. C'est une forme creuse dans la pièce.
- **Perçage** : Ce sont des trous. Ils sont débouchants ou borgnes.

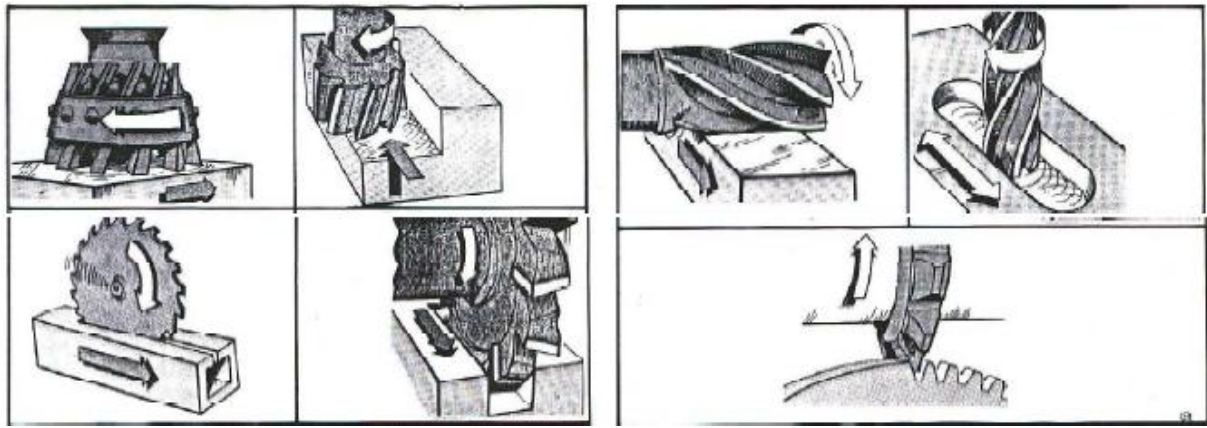


Figure1.8 Différentes opérations de fraisage.

7. Directions de fraisage

La fraise effectue un mouvement de rotation tandis que la pièce avance dans sa direction. La coupe est donc ainsi définie par les paramètres impliqués. Il existe deux manières de procéder, selon le sens de rotation de l'outil par rapport à la pièce. Cette différence joue un rôle fondamental et affecte le processus de fraisage sous divers aspects.

La pièce peut avancer, selon le cas, dans le sens de la rotation ou dans le sens opposé, ce qui a tout spécialement son importance en début et en fin de coupe.

Il existe deux modes de coupe, selon le sens de rotation de la fraise et la direction du déplacement de la pièce à usiner.

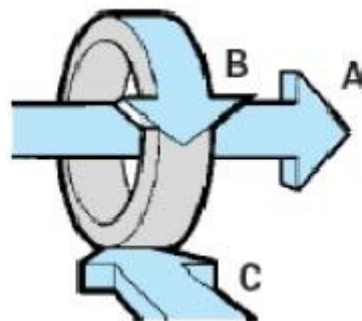


Figure 1.9 Directions d'avance en fraisage.

7.1 Fraisage en avalant

Le sens de rotation de la fraise et celui du déplacement de la pièce à fraiser, vont dans la même direction. Les tranchants de la fraise attaquent le copeau au point d'épaisseur maximal. Cette façon de faire, en fraisage horizontal, plaque la pièce sur la table de la fraiseuse et donne des surfaces finies de bonne qualité. Ce principe nécessite l'utilisation d'une machine robuste disposant d'une table équipée d'un système de translation avec rattrapage de jeu, ce qui est le cas sur les machines modernes. Ainsi on évite que la pièce soit "tirée" dans la fraise disposant d'une table équipée d'un système de translation avec rattrapage de jeu, ce qui est le cas sur les machines modernes. Ainsi on évite que la pièce soit "tirée" dans la fraise.

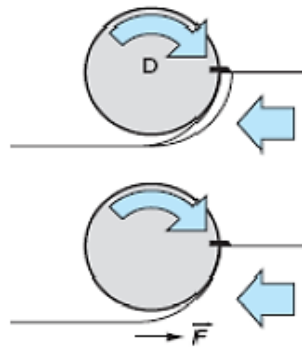


Figure 1.10 Fraisage en avalant.

7.2 Fraisage en opposition (ou conventionnel)

Le mouvement d'avance de la pièce à fraiser est opposé au sens de rotation de la fraise. Cette dernière, attaque le copeau au point d'épaisseur minimal. Dans ce cas, les dents glissent sur la surface usinée avant la rotation de la fraise. Cette façon de faire provoque un grand frottement d'où une usure plus rapide des tranchants de la fraise. De plus, l'effort de coupe en fraisage horizontal tend à soulever la pièce à usiner. Les copeaux peuvent également être entraînés par la fraise et se coincer entre la pièce et les arêtes de coupe, endommageant la pièce et la fraise.

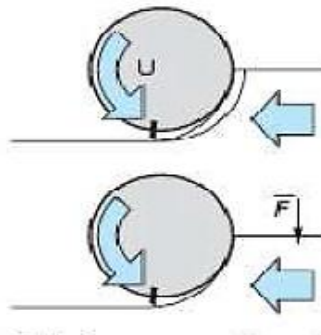


Figure 1.11 Fraisage en opposition.

7.3 Types et modes de travail

On distingue deux types de travaux :

7.3.1 Fraisage en bout

L'axe de la fraise est placé perpendiculairement à la surface à usiner. La fraise coupe avec son diamètre, mais aussi avec sa partie frontale. Les copeaux sont de même épaisseur, ainsi la charge de la machine est plus régulière.

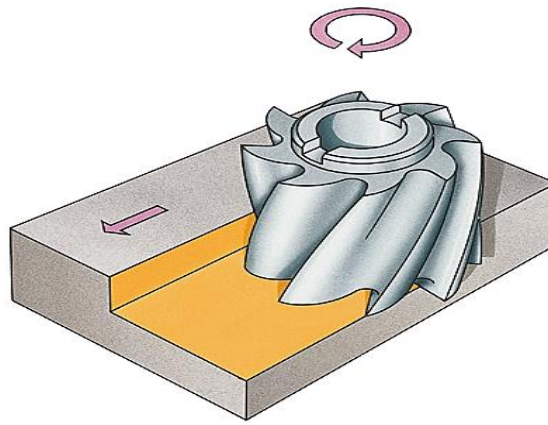


Figure 1.12 Fraisage en bout.

7.3.2 Fraisage en roulant

L'axe de la fraise est placé parallèlement à la surface à usiner. La fraise coupe avec son diamètre. La charge de la machine en est irrégulière, surtout lors de l'emploi de fraises à denture droite. Les à-coups provoqués par cette façon de faire donnent une surface ondulée et striée. Pour pallier à ces défauts, on utilisera une fraise à denture hélicoïdale.

L'amélioration enregistrée s'explique ainsi : la denture est chargée et déchargée progressivement.

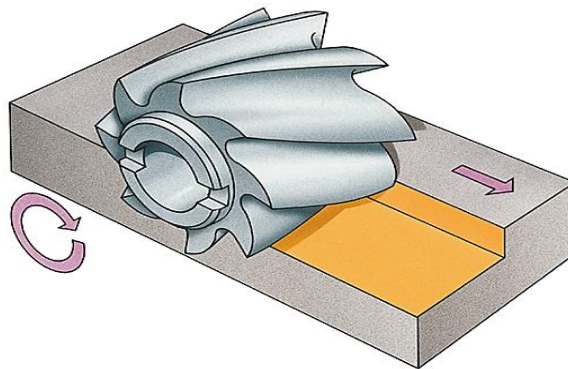


Figure 1.13 Fraisage en roulant.

8. Caractéristiques des fraises

En acier rapide, ou le plus souvent en carbure métallique.

Les fraises peuvent être classées selon plusieurs critères :

- La taille : suivant le nombre d'arêtes tranchantes par dent, on distingue les fraises : une taille, deux tailles ou trois tailles.
- La forme : suivant le profil des génératrices par rapport à l'axe de l'outil, on distingue : les fraises cylindriques, coniques (figure 1.14) et les fraises de forme.

- La denture : suivant le sens d'inclinaison des arêtes tranchantes par rapport à l'axe de la fraise, on distingue les dentures hélicoïdales à droite (figure 1.14) ou à gauche (figure 1.14) et les dentures à double hélice alternée. Si l'arête tranchante est parallèle à l'axe de la fraise, on dit alors que la denture est droite. Une fraise est également caractérisée par son nombre de dents.
- Les dimensions. Pour une fraise deux tailles : diamètre et hauteur de taille utile. Pour une fraise trois tailles : diamètre de l'outil, épaisseur, diamètre de l'alésage. Pour une fraise conique pour queue d'aronde : l'angle, le diamètre de l'outil et l'épaisseur.
- Le mode de fixation : trou lisse ou taraudé, à queue cylindrique ou conique.
- Construction : Les fraises peuvent être à denture fraisée (ex. : fraise conique deux tailles $\alpha 60^\circ$), ou à denture détalonnée et fraisée (ex. : fraise-disque pour crémaillères).

Elles sont en acier rapide. Pour les fraises à outils rapportés sur un corps de fraise, les dents fixées mécaniquement sont :

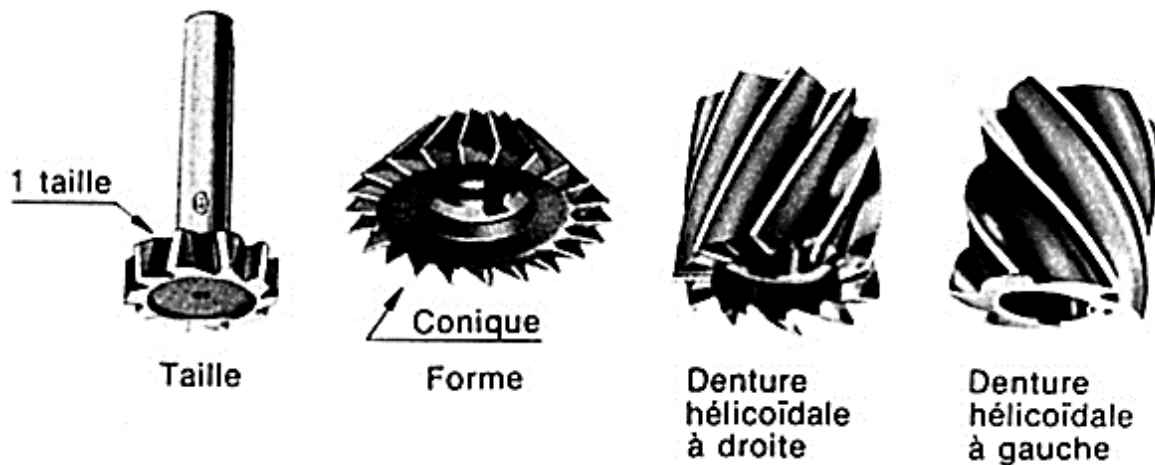
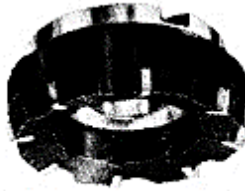


Figure 1.14 Caractéristiques des fraises.

8.1 Quelques types de fraises et utilisations



Tourteau
Outils amovibles
en A. R. S.



Tourteau
Plaquettes amovibles
en carbure



1 taille à
surfacier



Cylindrique
2 tailles
à trou lisse



Cylindrique
2 tailles
Queue
conique C. M.



2 tailles Denture
brise-copeaux
Queue
conique C. M.



Cylindrique
2 tailles
Queue
cylindrique



A rainurer
2 dents
Queue
cylindrique



A rainurer
2 dents
Queue
filetée



Scie 1 taille



1 taille
A rainurer



3 tailles
Denture droite



3 tailles
Denture à
double hélice
alternée

Figure1.15 Quelques types de fraises.

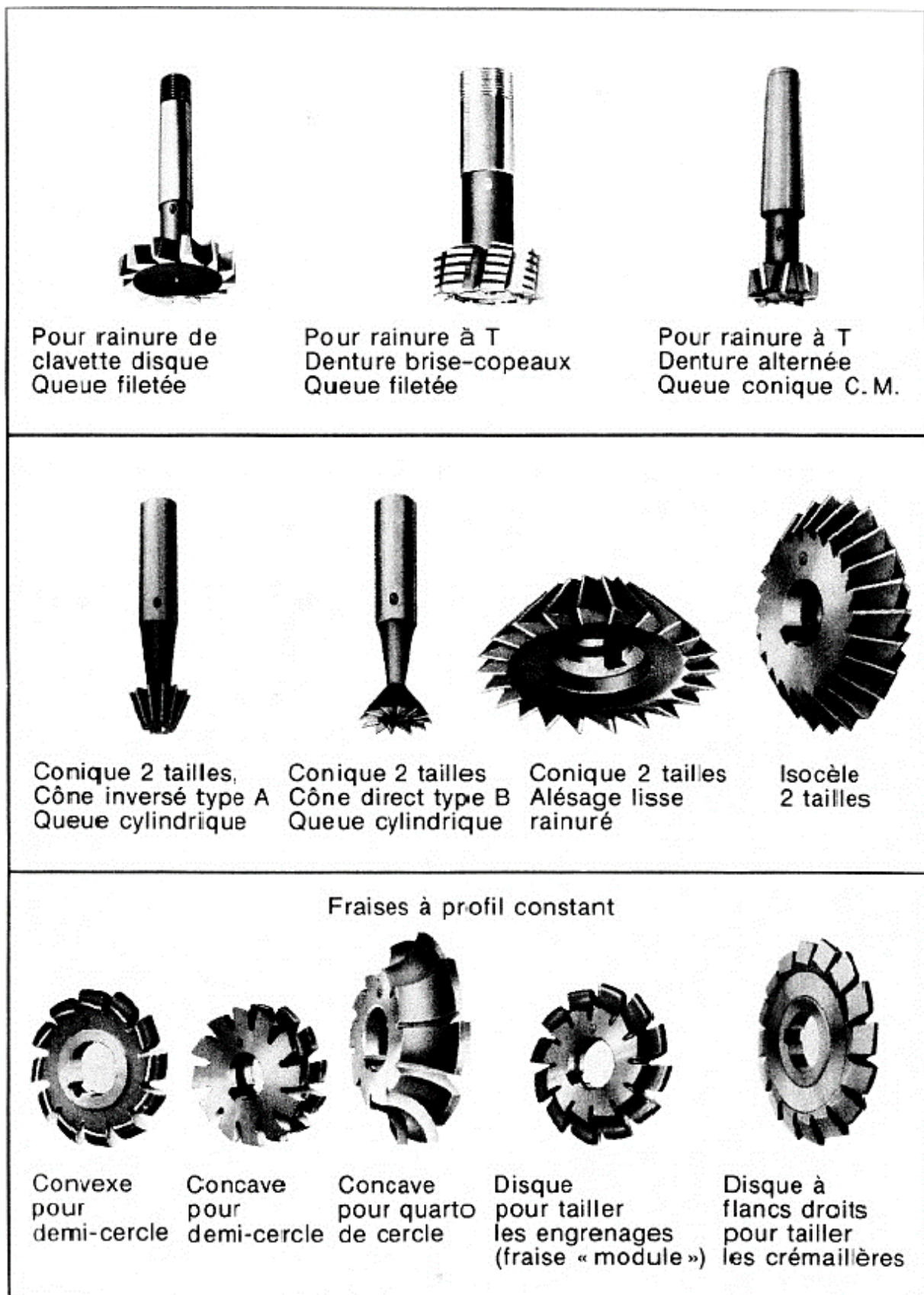


Figure 1.16 Quelque type de fraises.

9. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre une vue générale sur les procédés d'usinage, des machines-outils. Nous nous sommes intéressés au procédé de fraisage, dans le but de montrer les différents organes et techniques des diverses machines. Ce premier chapitre a pour principal

objectif de donner les bases du fraisage, et de rassembler les connaissances pour la suite de l'étude.

Au chapitre prochain nous introduirons les bases des fraiseuses à commande numérique.

Le développement de l'industrie exige une très bonne connaissance de la technicité de ces machines, pour cette raison l'intérêt et la nécessité de ces machines dans l'industrie est indispensable.

Chapitre II

Fraiseuse à commande numérique

1. Introduction

1.1 Qu'est-ce qu'une machine à commande numérique ?

La commande numérique (CN) est une technique utilisant des données composées de codes alpha numériques 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 très grande facilité d'adaptation à des travaux différents.

À ce titre, la commande numérique constitue l'un des meilleurs exemples de pénétration du traitement de l'information dans les activités de production.

Exploitant au maximum les possibilités de la micro-informatique, toutes les données sont traitées en temps réel, c'est-à-dire au moment où elles sont générées, de manière à ce que les résultats du traitement contribuent également à piloter le processus.

Après une première génération de commandes numériques à logique câblée sont apparues les commandes numériques par calculateur (CNC), ou par ordinateur, qui intègrent un ou plusieurs ordinateurs spécifiques pour réaliser tout ou partie des fonctions de commande.

Tous les systèmes de commande numérique commercialisés actuellement contiennent au moins un microprocesseur, les termes CN et CNC peuvent être considérés comme des synonymes. [1]

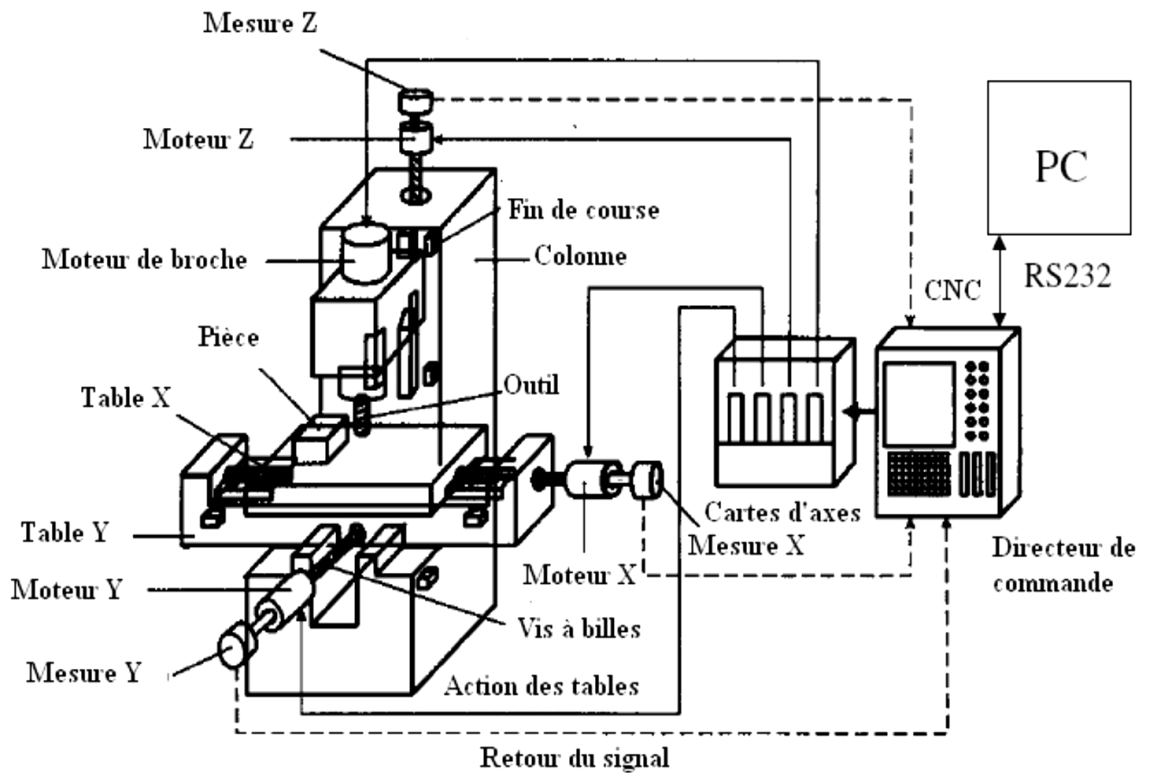


Figure 2.1 : Architecture d'une machine à commande numérique.

1.2 Impact industriel

L'utilisation de la commande numérique ne se limite pas aux machines-outils travaillant par enlèvement de matière avec des outils coupants. Elle est présente sur des installations de découpe par faisceau laser, en électroérosion que ce soit en défonçage ou en découpe par fil, en poinçonnage ou pliage de produits en feuille, pour la mise en place de composants, lors des opérations d'assemblage,...

Elle sert aussi à piloter des tables traçantes, les machines à mesurer tridimensionnelles, les robots.

Le climat économique impose aux entrepreneurs d'être compétitifs. Cela signifie produire des articles ne souffrant d'aucun défaut aux prix les plus bas possible. Quelles que soient les compétences des ouvriers que l'on emploie ou les siennes, la balance "rapide, idéal et moins cher" est quasiment impossible à atteindre. L'achat d'une machine CNC ou plus précisément d'une fraiseuse CNC se trouve en fin de compte être une démarche incontournable si l'on souhaite augmenter la productivité tout en réduisant les coûts. [1]

Le fait de diminuer autant que possible l'habileté manuelle de l'ouvrier et accroître la répétabilité grâce à la machine CNC a des retombées des plus positives sur la production et surtout sur le coût.

Moins d'intervention humaine, moins de problème.

1.3 Avantages des machines à commande numérique

Ces avantages sont dus aux apports techniques de la commande numérique, et sont d'autant plus perceptibles que la programmation assistée a réduit les contraintes de temps et de coût de programmation.

Elles permettent :

- de reporter à l'extérieur du poste de travail, donc de les effectuer en temps masqués, des tâches qui étaient faites sur site telle que la prise en compte de la géométrie des outils par approche tangentielle ;
- de réduire les temps morts par enchaînement automatique des séquences d'usinage : par les mises en position des outils à vitesse d'avance rapide, par la possibilité de procéder à des changements automatiques d'outils, par l'emploi de la variation continue de vitesses ;
- de supprimer des opérations qui étaient nécessaires pour effectuer un travail précis : traçage, utilisation de lunettes à pointer ;
- de réaliser des surfaces complexes en gérant des déplacements sur plusieurs axes simultanément et ainsi de pouvoir concevoir des pièces avec des géométries plus proches des nécessités fonctionnelles ;
- de définir aisément des conditions opératoires optimales puisqu'elle offre la possibilité de faire varier en continu les vitesses et ainsi d'accroître la durée de vie des outils ;
- d'atténuer le facteur humain et d'apporter ainsi la répétitivité et une plus grande précision d'exécution, ce qui entraîne une diminution des tâches de contrôle ;
- de parvenir à la flexibilité du fait des facilités offertes par l'évolution technique en matière de modes de chargement des programmes et de stockage des données : tous les directeurs de commande offrent la possibilité de se connecter directement à un ordinateur et ainsi de parvenir à une continuité de traitement des données (systèmes de CFAO : conception et fabrication assistées par ordinateur);
- d'intégrer des équipements périphériques (banc de mesure des outils, manipulateurs ou robots, ...) ou d'intégrer ce type de machines-outils dans des ensembles automatisés plus vastes (cellules ou îlots flexibles). [2]

Un exemple pratique des temps de réalisation d'une pièce sur machine à commande numérique a abouti aux résultats suivants

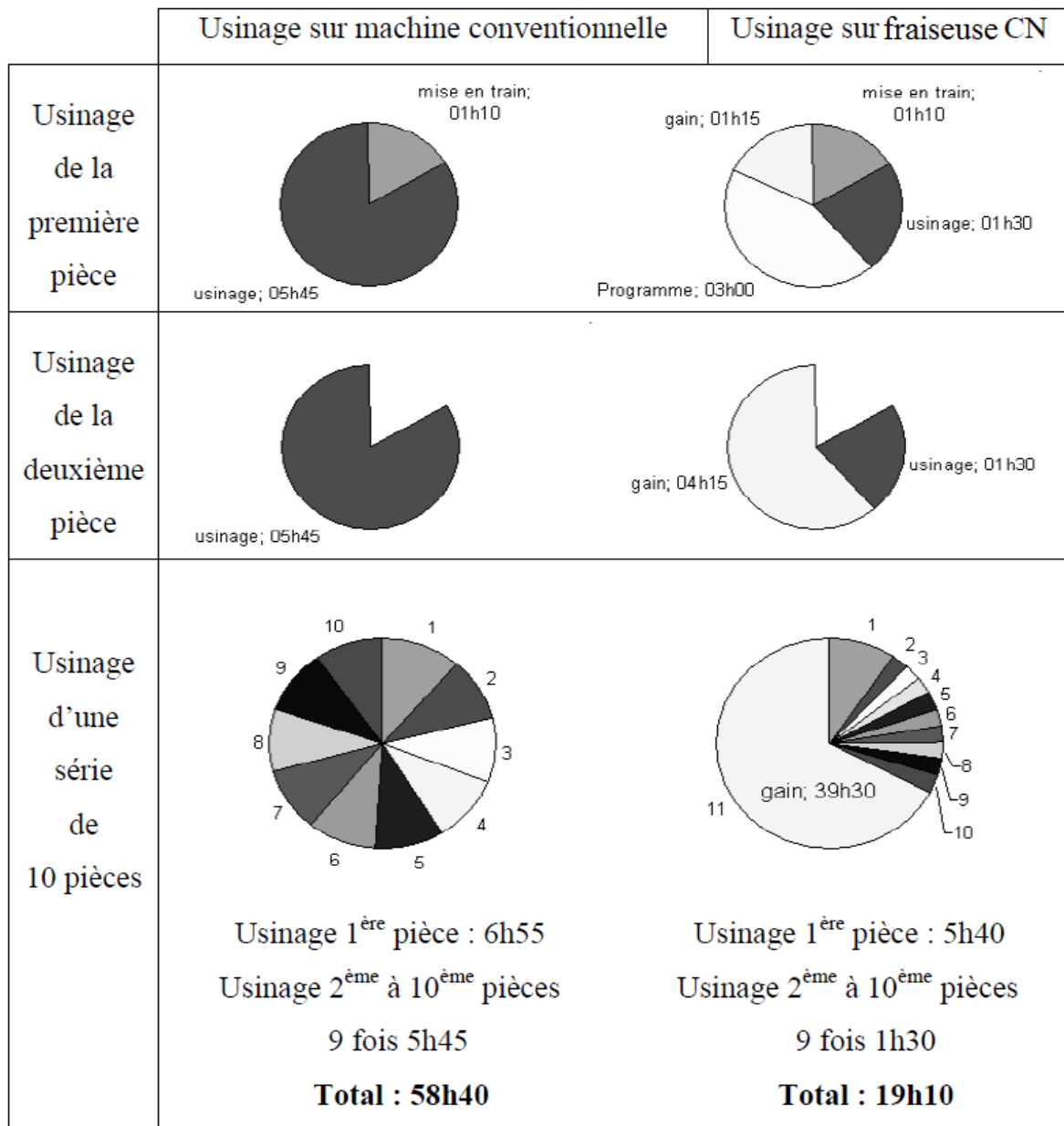


Figure 2.2 schéma comparatif d'usinage conventionnel et numérique.

Analyse sur les temps de production effective :

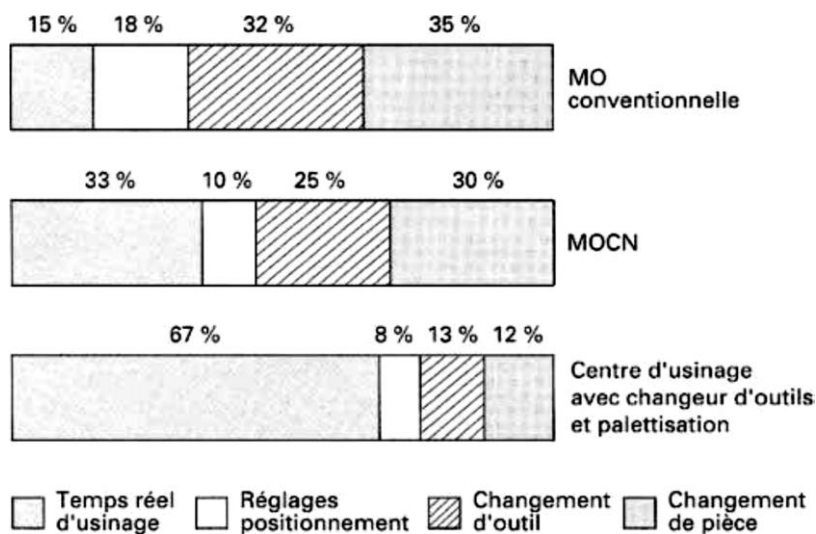


Figure 2.3 Productivité comparée de diverses machines en fonction de leur niveau d'automatisation.

1.4 Apport économique

Le système de fabrication le plus rentable est celui qui engendre le coût d'une pièce le plus bas. Ce coût est calculé par la formule suivante : [2]

$$C = C_u + C_r/L + C_p/ZL$$

Avec C : coût total de fabrication pour une pièce,

C_u : coût d'usinage d'une pièce (matière, main d'œuvre directe, coût machine),

C_r : coût de lancement de la série et des réglages des outils et de la machine,

L : nombre de pièces d'une série,

C_p : coût de préparation (gammes et programmes d'usinage) et des outillages,

Z : nombre de séries,

ZL : nombre total de pièces fabriquées.

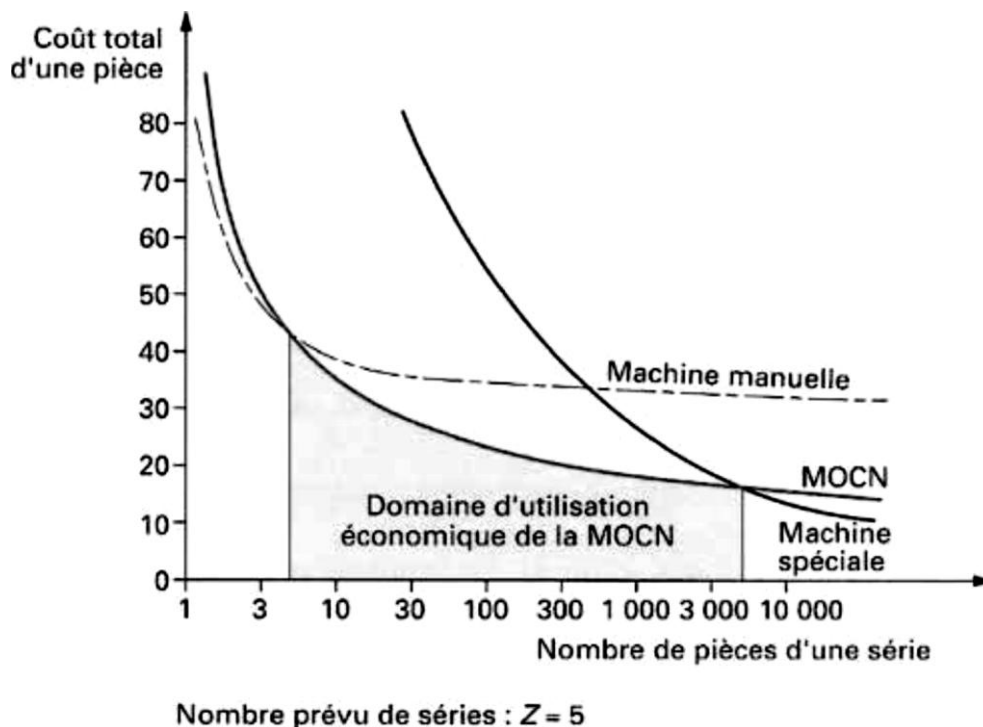


Figure 2.4 Domaine d'utilisation des machines-outils à commande numérique

On constate que le coût total de fabrication par pièce varie en fonction de la quantité ZL d'une manière hyperbolique.

Si l'on considère le nombre de pièces usinées, le domaine d'utilisation économique de la machine-outil à commande numérique se situe dans la petite et la moyenne séries. Les

machines-outils conventionnelles restent rentables pour des opérations simples où elles ont malgré tout tendance à être remplacées par des MOCN d'entrée de gamme.

Pour les grandes séries, le recours à des machines spéciales à automatisation rigide (machines transfert, tours à cames, fraiseuses de copiage) se montre encore très avantageux.

Si l'on représente le coût d'une pièce en fonction du nombre d'exemplaires à fabriquer, on peut déterminer les limites économiques d'utilisation de la commande numérique. Dans l'exemple de la figure 3, au-dessus de 5 pièces par série, l'usinage sur une MO à commande manuelle est plus rentable que sur une MOCN ; de la même façon, une machine spéciale le sera au-dessus de 5 000 pièces par série. [2]

2. La Fraiseuse numérique

2.1 Classification des fraiseuses CNC :

Les fraiseuses CNC sont désormais classées en fonction de leurs axes. Il s'agit de la fraiseuse à 3 axes, à 4 axes et à 5 axes.

Il existe deux catégories de fraiseuses **CNC à 3 axes** : la fraiseuse CNC avec broche verticale et la fraiseuse CNC avec broche horizontale. Dans le premier cas, l'axe Z sera vertical et dans le second horizontal. Soit dit en passant, la position de la fraise reste exactement la même dans l'un ou l'autre cas, mais celle de la table connaîtra des variations. Les deux présentent d'excellentes caractéristiques d'usinage, mais la fraiseuse CNC horizontale offre néanmoins des avantages non négligeables à son propriétaire. Sa conception permet en effet une meilleure évacuation tant des copeaux que du liquide de lubrification. [3]



Figure 2.5 Fraiseuse numérique 3 axes.

La fraiseuse CNC 4 axes est en fait une fraiseuse à 3 axes. Elle n'aurait eu rien d'exceptionnel n'eut été son plateau tournant. C'est justement cette spécificité qui en fait un appareil particulièrement prisé dans l'industrie. Elle permet de réaliser sans trop de problèmes des pièces extrêmement complexes.

Toutefois, quel que soit la complexité du mouvement effectué par la fraiseuse à 4 axes, ils n'atteindront pas le degré d'une fraiseuse à 5 axes. Il n'existe pas de fraiseuses à 5 axes "standard", car le fonctionnement dépendra du positionnement des axes rotatifs. De manière générale, toute fraiseuse à 5 axes possède 2 axes rotatifs et 3 axes linéaires, mais la différenciation entre les machines se fera au niveau de la position de ceux-ci. Dans la première sous-catégorie, 2 axes rotatifs sont sur la tête. C'est la conception la plus répandue. Le plus grand avantage qu'elle offre est qu'elle permet l'usinage d'un vaste éventail de pièces, mais parallèlement, elle peut manquer de puissance. Dans la seconde sous-catégorie, les axes rotatifs se trouvent plutôt sur la table. Un axe sur la tête et un axe sur la table, telle est la topologie de la troisième catégorie. [3]

2.2 Composition de la machine :

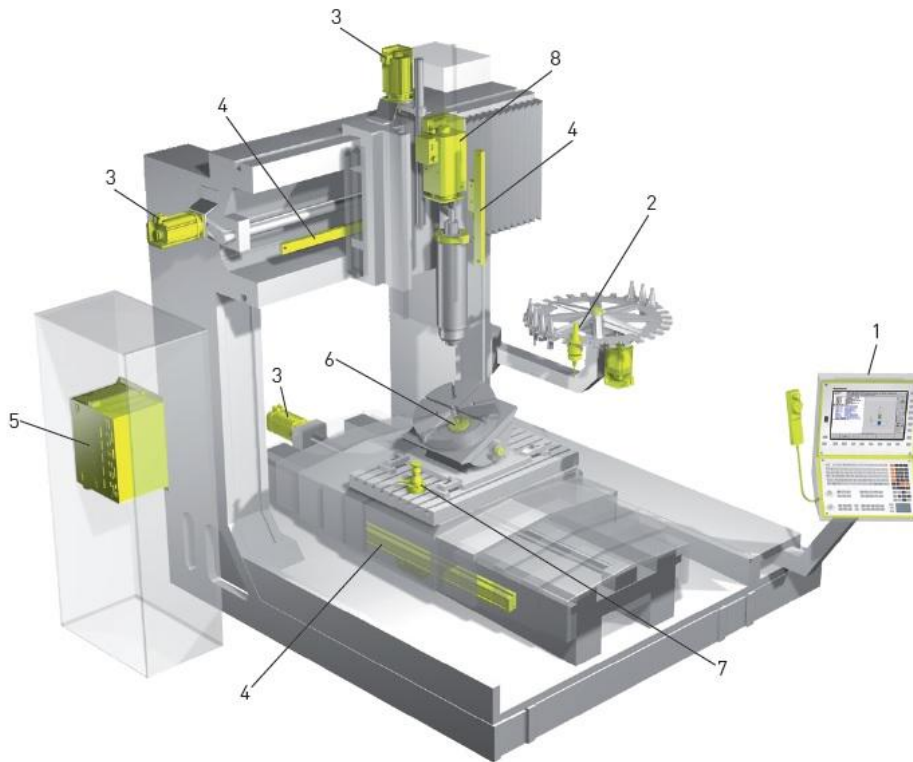


Figure 2.6 Eléments constitutants de la machine.

1. unité d'écran et de clavier, volant électrique
2. système de palpation de la pièce
3. servomoteur
4. instrument de mesure de la longueur
5. commande
6. instrument de mesure d'angles (capteur angulaire)
7. système de palpation des outils
8. moteur de la broche [4]

2.3 Fonctionnement de la machine :

Selon l'objectif recherché, les entraînements électriques sont classés en :

- **entraînement d'avance** pour tous les axes NC p. ex. X, Y, Z
- **entraînement de la broche principale** p. ex. broche porte-fraise d'une fraiseuse, entraînement de la broche d'un tour
- **entraînements auxiliaires** p. ex. changeur d'outils ou de palettes, table tournante

Les machines NC modernes et les nouvelles techniques de production posent des exigences élevées à la dynamique, à la précision et à la flexibilité des entraînements. On demande aux entraînements électriques que la fréquence de rotation et la position d'avance de la broche

principale et des entraînements auxiliaires soient réglables et obéissent aux valeurs NC demandées avec une précision et une dynamique élevée.

Ces exigences à la machine sont :

- une précision d'usinage élevée,
- une vitesse d'usinage élevée,
- des temps morts minimaux. [4]

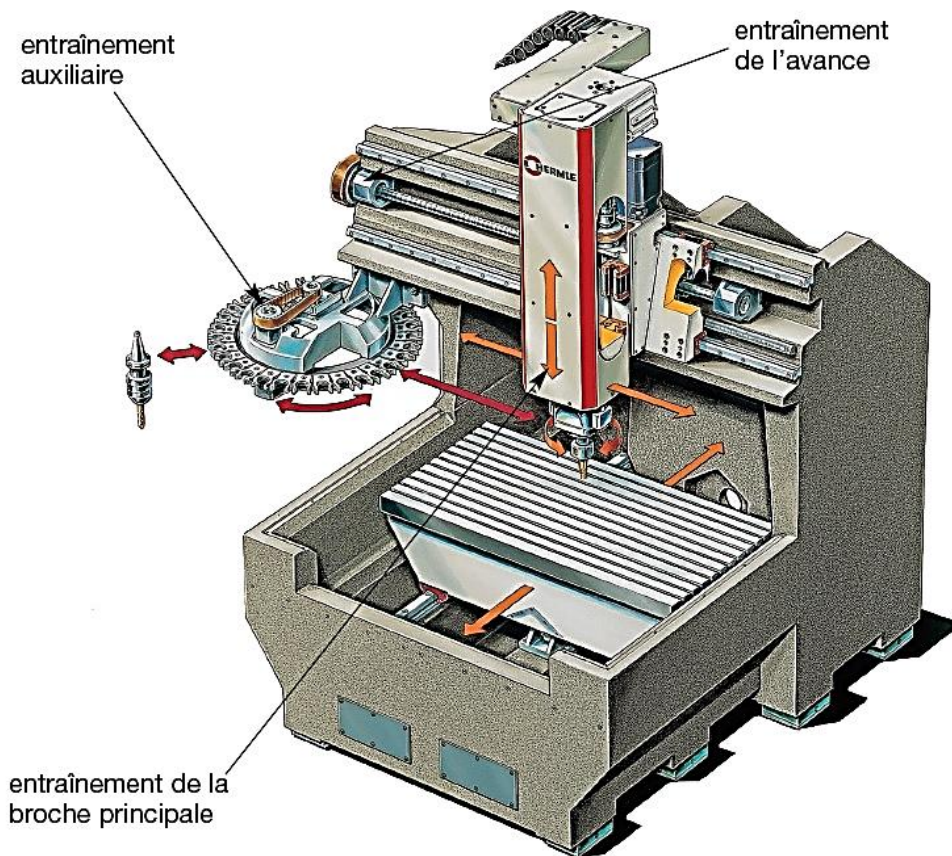


Figure 2.7 Principales entraînement électrique d'une fraiseuse CNC.

3. Partie Motorisation

Dans les systèmes mécatroniques, le mouvement est généralement issu de l'énergie électrique car le principal intérêt de ces systèmes est de commander la partie mécanique de façon intelligente grâce à l'électronique. Le moyen le plus simple consiste à créer un champ magnétique qui va permettre de déplacer des pièces (généralement des aimants).

Pour les moteurs, c'est-à-dire la création d'un mouvement rotatif, il existe plusieurs procédés.

3.1 Moteurs à courant continu

Dans cette famille de moteurs, les aimants sont solidaires du boîtier (fixés sur le stator). Sur l'axe du moteur, sont disposées des bobines qui créent un champ magnétique qui attire ou repousse le rotor vers les aimants. Pour obtenir une rotation complète, il est impératif d'alternier la tension aux bornes des bobines. Cette inversion est faite mécaniquement à l'aide des balais, sorte de patins qui glissent sur le collecteur.

L'alimentation du moteur est constante d'où son nom.

Les frottements répétés entre les balais et le collecteur provoquent une usure des pièces.

L'inversion brutale de polarité aux bornes d'un élément inductif, la bobine, provoque des problèmes de compatibilité électromagnétique.

La vitesse maximum de ce type de moteur est généralement inférieure à 10 000 tr.mn-1. [5]

3.2 Moteurs pas à pas

Le concept d'un moteur pas à pas consiste à supprimer les balais et à les remplacer par une électronique de commande, ce qui simplifie la fabrication des moteurs. Les bobines peuvent être placées sur le stator et les aimants sur le rotor. L'électronique commande les bobines les unes à la suite des autres pour faire tourner le champ magnétique et par conséquent les aimants du rotor. Il est possible de placer le rotor dans une position donnée avec précision et stabilité.

Les performances des moteurs pas à pas restent faibles : consommation élevée, couple et vitesse faibles (souvent inférieure à 3 000 tr.mn-1). Il existe un problème supplémentaire : lorsque le couple et la vitesse sont élevées le rotor n'a parfois pas le temps de tourner et revient à sa position précédente, on parle alors de décrochage. [5]



Figure 2.8 moteur pas à pas.

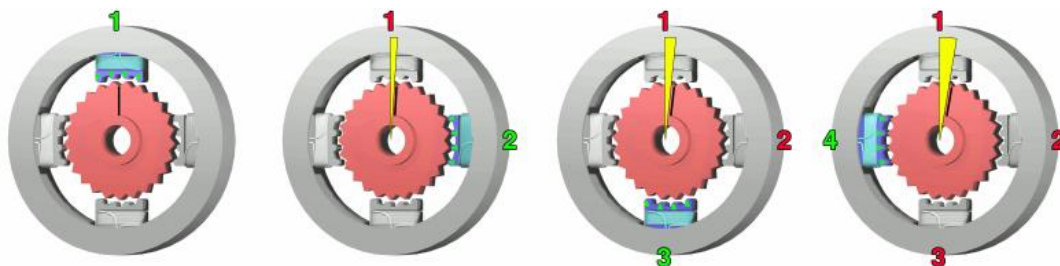


Figure 2.9: principe de fonctionnement d'un moteur pas à pas.

3.3 Moteurs sans balais (Brushless)

Le principe de ces moteurs est exactement le même que celui des moteurs pas à pas.

Ils ne possèdent généralement que quelques pôles (une dizaine pour le brushless contre quelques centaines pour le moteur pas à pas) mais leur conception est optimisée pour tourner à des vitesses élevées.

Pour éviter les problèmes liés au décrochage, la commande de ces moteurs est faite en boucle fermée, une mesure de la vitesse réelle de rotation du rotor est nécessaire afin d'adapter la commande. Les capteurs peuvent être des codeurs optiques, à effet hall, ou basés sur une mesure du courant dans la bobine qui n'est pas commandée (les aimants en mouvement devant la bobine créent un courant dans celle-ci).

Ce type de moteur peut obtenir des rendements supérieurs aux moteurs à courant continu. Ils peuvent en effet atteindre des vitesses supérieures à 30 000 tr.mn-1.

L'inconvénient majeur réside dans la nécessité d'utiliser une électronique de commande.

Notez que cette électronique est parfois miniaturisée et intégrée dans le boîtier du moteur. [5]

3.3.1 Servomoteurs

Servomoteur est la concaténation de moteur et asservissement. Les moteurs d'asservissement sont conçus afin de fournir des performances dynamiques supérieures à celles des moteurs classiques. La technologie « *brushless* », maintenant courante, a permis de franchir un pas supplémentaire dans les caractéristiques, à tel point que la technologie hydraulique est en voie de disparition en robotique où l'on rencontre maintenant des robots.

Le moteur comporte une électronique intégrée (généralement un contrôleur en boucle fermée) qui asservit la position du moteur. [5]



Figure 2.10 Servomoteur Brushless.

Ses qualités

- **Puissance massique** élevée. Cette qualité est recherchée pour tous les moteurs embarqués afin de minimiser les masses en mouvement, comme en robotique par exemple.

- **Couple important** (voire maximal) disponible sur toute la gamme de vitesse. Il fournit une même capacité d'accélération ou de décélération quelle que soit la vitesse.
- **Inertie faible du rotor.** Elle améliore la dynamique et donc la rapidité. Certains moteurs sont spécifiquement conçus pour minimiser l'inertie du rotor. Inversement, on cherche parfois à augmenter l'inertie du rotor, typiquement dans le cas de l'entraînement direct (voir la partie sur le rapport de réduction).

Ses défauts

- **Échauffement important.** C'est la principale limite des servomoteurs et la raison pour laquelle il convient généralement de vérifier le couple thermique. Dans les cas extrêmes, il faut utiliser un refroidissement à l'eau (moteurs de pinces de soudage robotisé, par exemple).

Les moteurs *brushless* sont plus faciles à refroidir que les moteurs à courant continu, car leurs bobinages sont sur le stator, ce qui facilite l'évacuation de la chaleur au moyen de radiateurs.

- **Consommation électrique plus grande.**
- **Coût plus élevé.**

Les deux premiers défauts sont dus au fait que les servomoteurs, généralement petits et puissants, offrent un moins bon rendement que les moteurs classiques, de puissance massive beaucoup plus faible : les gros moteurs tournant à la vitesse nominale et fournissant un couple faible eu égard à leur taille possèdent des rendements impressionnants, jusqu'à 0,95 à comparer avec le rendement de 0,7 à 0,8 typique d'un moteur d'asservissement en fonctionnement nominal. [8]

De plus :

Le rendement devient rapidement mauvais pour les faibles couples : il est donc important de ne pas sur-dimensionner abusivement un moteur qui par la suite va consommer beaucoup d'énergie, d'une part parce qu'il est gros, et d'autre part parce qu'il travaille dans une zone de mauvais rendement.

Il est impossible d'obtenir à la fois un rendement et une puissance élevés : il faut choisir ! En fait, on n'a pas tellement le choix, puisque les moteurs d'asservissement sont typiquement utilisés dans les applications à couple et vitesse variables : on utilise leur puissance maximale au prix d'une consommation d'énergie importante, heureusement de manière intermittente (phases dynamiques). [8]

Le critère de coût d'achat pourrait sembler prépondérant par rapport à celui de la consommation électrique, mais c'est loin d'être le cas. On estime que le coût global d'un moteur électrique se répartit de la manière suivante:

- Coût d'achat : < 2 %
- Coût de maintenance : < 2 %
- Consommation électrique : > 96 %

Il faut tout de fois signaler que ces problèmes de rendement et de consommation ne sont pas essentiels en commande d'axe, où l'on vise d'abord la performance. [5]

- 1-couvercle
- 2-Platine
- 3-Capteur de hall
- 4-Support
- 5-Roulement à billes
- 6-Arbre
- 7-Aimant
- 8-Platine
- 9-Bobine
- 10-Rondelle élastique
- 11-Entretoise
- 12-Tôle du stator
- 13-Boîtier
- 14-Fils

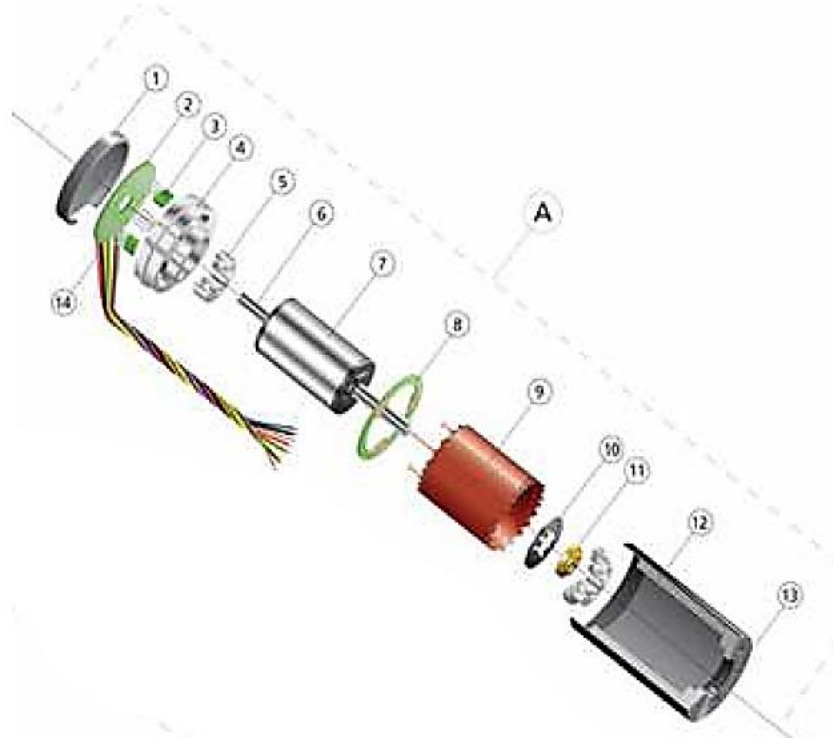


Figure2.11: vue éclatée d'un servomoteur sans balais.

4. Déplacements de la table

Les trois axes X, Y et Z, permettant le déplacement de l'outil (ou la table dans certains cas) dans les six directions, assurés par un système **vis-écrou**. Selon la direction désirée, associées à des écrous solidaires des chariots. On obtient ainsi la transformation d'un mouvement de rotation en mouvement de translation.

4.1 Les vis trapézoïdales

La rotation d'un élément (vis ou écrou) entraîne la translation de l'autre d'une quantité x proportionnelle à l'angle de rotation θ [rd] et à l'avance par tour l [m] (lead).

Il est intéressant de noter que l'avance par tour n'est autre que le pas du filet (distance crête à crête) multiplié par le nombre d'entrées de la vis n_v : [5]

$$x = \frac{\theta}{2\pi} l$$

$$l = p n_v$$

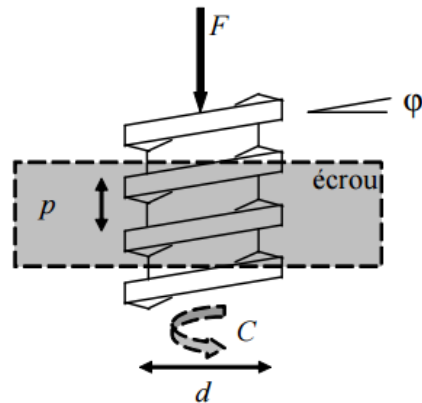


Figure 2.12 Vis à glissement à filet trapézoïdale.

La précision des déplacements, donnée par des tambours gradués, est affectée par un jeu axial de fonctionnement J compose :

- Du jeu **J1** du système vis-écrou.
- Du jeu **J2** du dispositif d'attelage de la vis.
- **J = J1 + J2**

Ces Jeux de fonctionnement, indispensables, augmentent avec l'usure. [7]

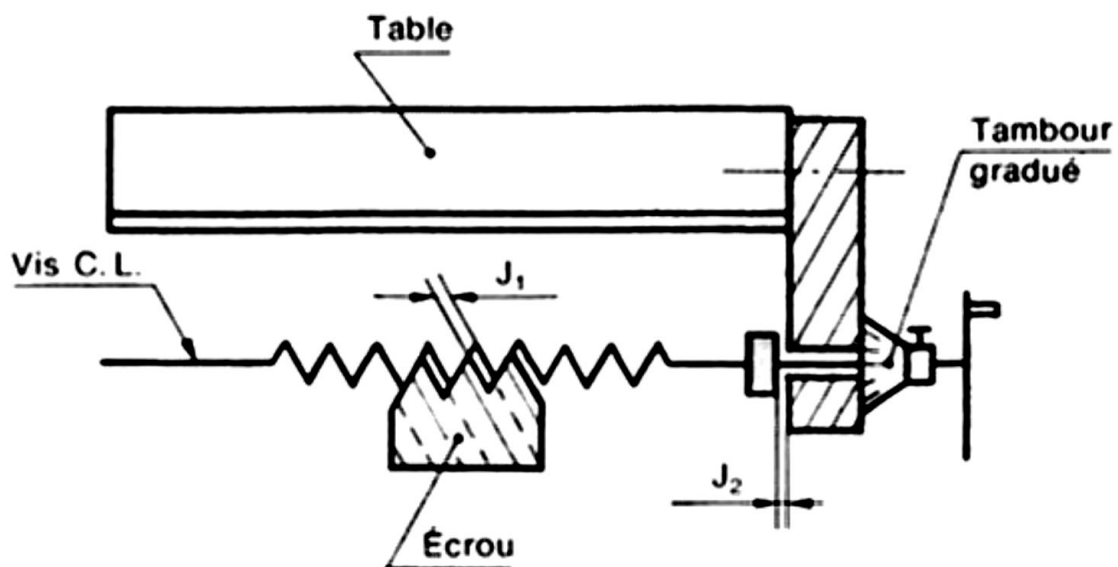


Figure 2.13 jeux de fonctionnement.

Si le déplacement d'un chariot a été effectué dans un sens et que l'on souhaite effectuer le mouvement inverse, l'existence des jeux fait que la rotation du volant, pendant une fraction de tour, reste sans effet sur le déplacement de celui-ci.

Suivant la position des jeux **J1** et **J2** effort de coupe risque de provoquer le déplacement du chariot de la valeur de ces jeux.

Il faut donc trouver une solution pour rattraper le jeu de l'écrou (Backlash).

Solution 1 : vis à deux écrous

Les ensembles vis/écrou comportant un certain jeu, il est nécessaire d'utiliser deux écrous. On y distingue une vis trapézoïdale sur laquelle sont vissés deux écrous entre lesquels est placé un ressort de diamètre intérieur égal au diamètre de la vis. L'ensemble fonctionne de la manière suivante : le ressort est comprimé entre les deux écrous et la force de compression est réglable par rotation de l'écrou flottant. Deux forces opposées sont donc appliquées, d'une part, sur l'écrou 1 et, d'autre part, sur l'écrou 2. Le premier écrou étant fixe, la force appliquée par le ressort tend à repousser le second écrou et la vis, il en résulte que le flanc droit du filet de cette vis est plaqué contre le flanc droit du filet de l'écrou fixe tandis que son flanc gauche l'est sur le flanc gauche du filet de l'écrou flottant. Ainsi, si la vis trapézoïdale entre en rotation vers la gauche, elle agit sur l'écrou fixe qui entraîne le chariot.

Inversement, si la vis tourne dans le sens opposé, c'est l'écrou flottant qui, par l'intermédiaire du ressort appuyant sur l'écrou fixe, entraîne le chariot.

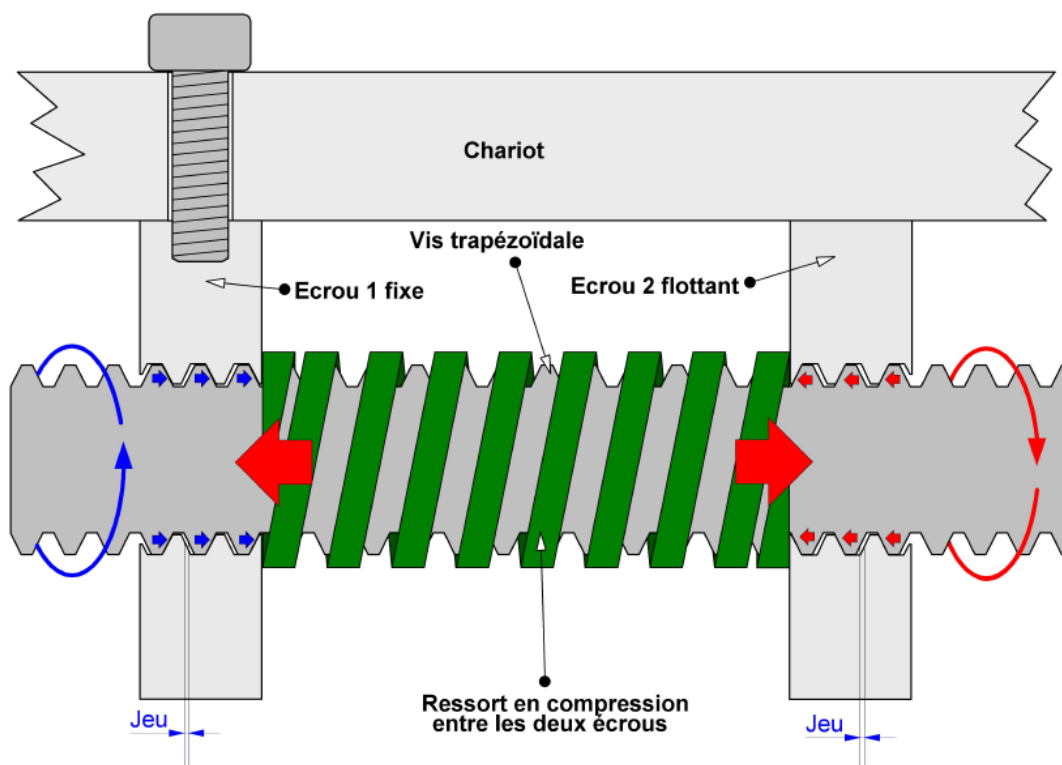


Figure 2.14 système à deux écrous.

Solution 2 : Les vis à roulement

Les vis à roulement (billes ou rouleaux satellites) remplacent le frottement de glissement par un frottement de roulement. Ceci entraîne une diminution considérable de la perte d'énergie à travers la transmission et réduit énormément l'échauffement et l'usure. Ces

vis conservent donc la même précision quelle que soit la vitesse de fonctionnement. Du point de vue dissipation, la vis à roulement est donc équivalente à une vis de glissement ayant un coefficient de frottement μ plus faible. La figure ci-dessous présente le rendement en fonction de l'angle d'hélice pour plusieurs valeurs du coefficient de frottement μ . On déduit de cette figure que remplacer une vis de glissement à filet trapézoïdal par une vis à billes augmente le rendement de la transmission d'environ 50 %, qui est une valeur non négligeable. [5]

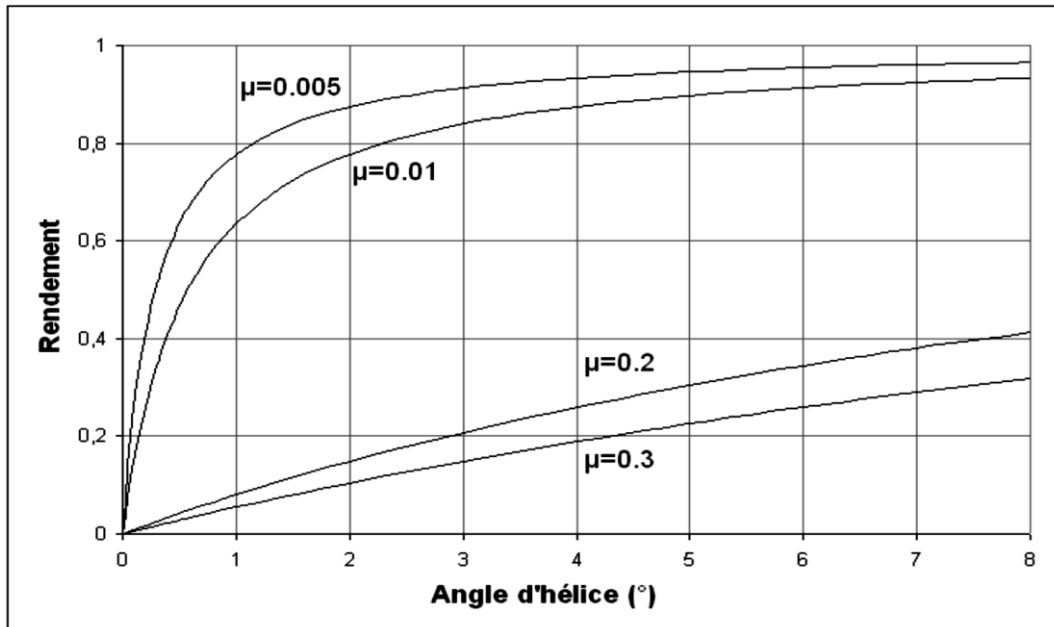


Figure 2.15 Influence du coefficient de frottement sur le rendement des vis-écrous.

Les principaux avantages des vis à roulement par rapport aux vis à filet trapézoïdal sont :

- Leur faible échauffement,
- Le rendement de la vis à filet trapézoïdal est au maximum de 50 % alors qu'il peut atteindre 98 % pour certains types de vis à roulement,
- Une durée de vie plus élevée est obtenue grâce à une absence d'usure presque totale, - Une demande de puissance d'entraînement plus faible,
- Pas d'effet collage-glissement,
- Un positionnement plus précis,
- Une vitesse de déplacement plus élevée.

Les éléments roulants entre la vis et l'écrou se divisent en deux catégories, les billes et les rouleaux, détaillés dans les paragraphes suivants.

Le seul gros inconvénient que présente ce système est son prix, surtout lorsqu'il doit être multiplié par trois afin d'équiper les axes X, Y et Z. [5]

Il existe deux types de vis à roulement :

a. Vis à billes

Une vis à billes comprend essentiellement une vis, un écrou fileté intérieurement et un ensemble de billes circulant dans le chemin formé par les filetages de l'écrou et de la vis.

Après avoir effectué un certain nombre de rotation autour de la vis, les billes sont ramenées à leur position initiale dans l'écrou par un canal de retour. Ce dernier peut présenter différents aspects suivant les constructeurs (tuyau externe, interne ou multilignes). Suivant le pas de la vis, on peut trouver des vis à filets multiples pour augmenter le nombre de points de contacts et par la suite la charge admissible pour une même taille d'écrou (sans changer le diamètre des billes). Les billes qui circulent continuellement diminuent le frottement entre la vis et l'écrou et transmettent la charge. Par suite du faible frottement de roulement, le rendement est élevé, typiquement 90 % et les vis à billes conservent leur précision beaucoup plus longtemps que les vis conventionnelles. [5]

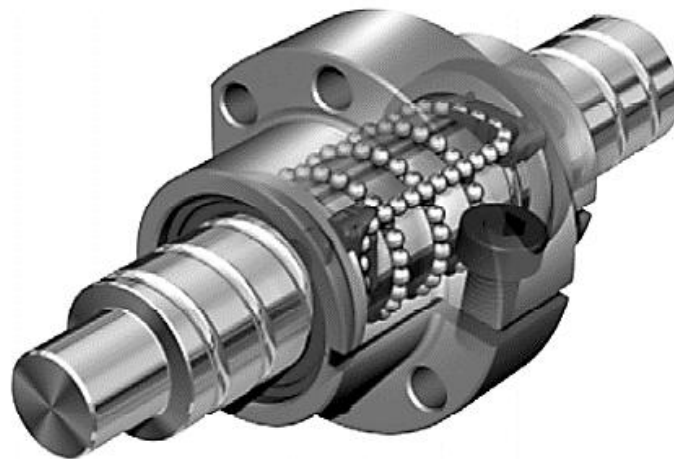


Figure 2.16 Vis à billes.

b. Vis à rouleaux

Dans ce genre de vis, le corps roulant intermédiaire est constitué par un rouleau fileté. La cinématique de ce système est beaucoup plus complexe. L'ensemble filetage de l'écrou, filetage des rouleaux satellites et filetage de la vis forment un train d'engrenages planétaires hélicoïdaux à grand angle d'hélice.

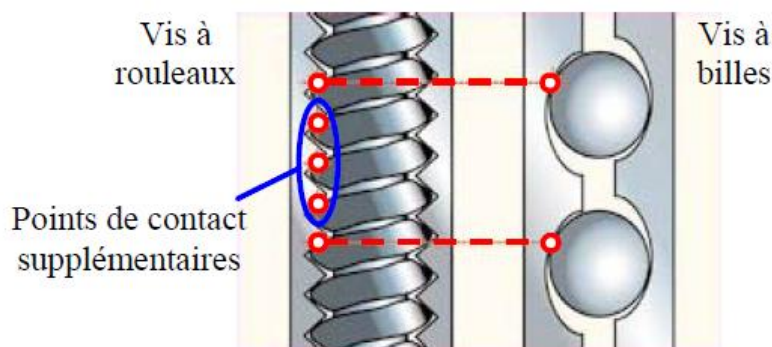


Figure 2.17 Schématisation des points de contact.

Le nombre de points de contact entre les composants est supérieur à celui présent dans les systèmes vis à billes, ce qui permet un chargement plus important pour un même diamètre et une même taille d'écrou.

Du fait de leur aptitude à déplacer des fortes charges pendant des milliers d'heures dans des conditions très difficiles, les vis à rouleaux satellites sont particulièrement bien adaptées aux applications les plus exigeantes. La robustesse de l'écrou leur permet de résister aux chocs et le système de synchronisation des rouleaux assure un fonctionnement fiable même dans les environnements difficiles. Enfin, leurs grandes avances par tour et la symétrie de l'écrou permettent d'obtenir des vitesses linéaires élevées.

Quant à l'exécution, il en existe plusieurs : sans recirculation des rouleaux (à rouleaux satellites) et avec recirculation des rouleaux. [5]

b.1 Sans recirculation de rouleaux

La vis filetée (1) présente un filetage à entrées multiples, de pas relativement grand. L'angle sur les flancs est de 90° et le profil est triangulaire. L'écrou (2) possède un filetage intérieur identique à celui de la vis. Les rouleaux (3) possèdent un filetage à une entrée, dont l'angle d'hélice correspond à celui de l'écrou. Il ne se produit ainsi aucun déplacement axial entre l'écrou et les rouleaux. Une recirculation des rouleaux n'est donc pas nécessaire. Les flancs des filets des rouleaux sont bombés. Les filets des rouleaux ont un pas égal au pas apparent de la vis et de l'écrou (pas de la vis / nombre des entrées). [5]

Les rouleaux présentent à chacune des extrémités un pivot cylindrique et une denture. Les pivots sont montés dans les alésages des porte-rouleaux (5). Ainsi, les rouleaux sont maintenus à des distances régulières. Les porte-rouleaux sont disposés flottants dans les écrous et sont maintenus axialement par des joncs (6). Les dentures des rouleaux s'engrènent dans celles des couronnes (4) fixées dans l'écrou. Les rouleaux sont ainsi guidés parallèlement à l'axe et un fonctionnement parfait est assuré. [5]

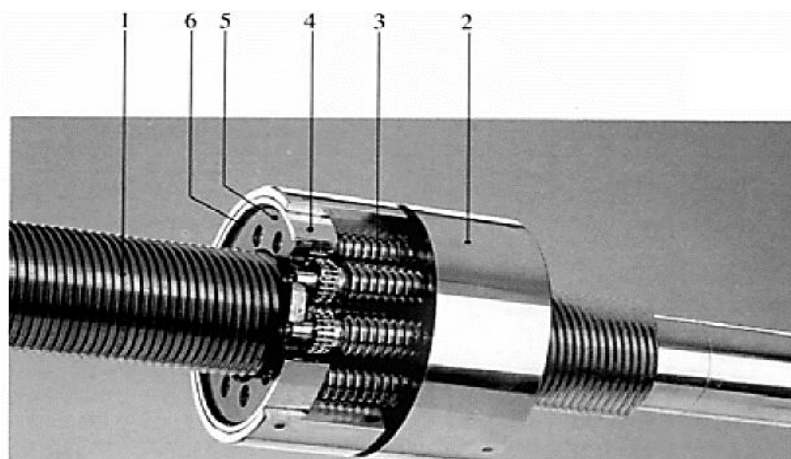


Figure 2.18 Vis à rouleaux satellites.

b.2 Avec recirculation de rouleaux

Ce type de vis filetée (7) présente des pas très fins et est utilisé lorsque l'on a besoin d'une très grande précision de positionnement associée à une grande rigidité et à une capacité

de charge élevée. Les principaux éléments sont les mêmes, la vis (7), l'écrou (8) et les rouleaux (9) qui sont guidés et maintenus à distance dans une cage (10). La vis possède un filet à une ou deux entrées seulement (sinon le filet serait très fin et ne supporterait pas la charge) avec un profil triangulaire. L'angle sur les flancs est de 90° . [5]

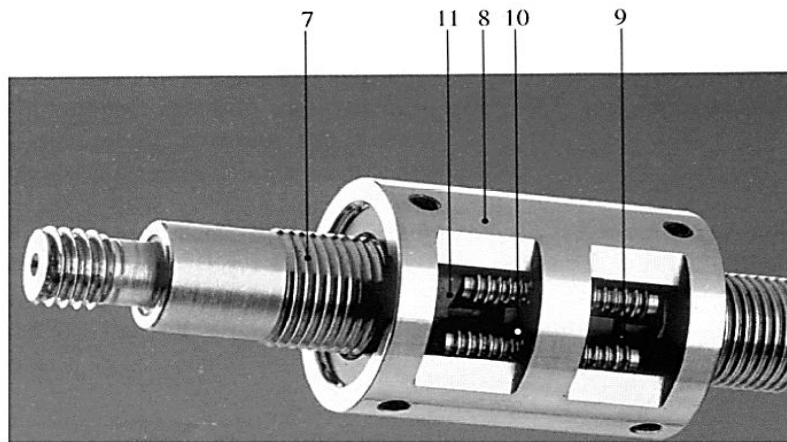


Figure 2.19 Vis à recirculation de rouleaux.

L'écrou possède un filetage intérieur identique à celui de la vis. Les rouleaux ne possèdent pas de filet, mais des gorges disposées perpendiculairement à l'axe de la vis (on peut dire qu'ils ont des filets avec un pas nul). La distance entre les gorges correspond au pas apparent de la vis et de l'écrou. Lors d'une rotation de la vis ou de l'écrou les rouleaux se déplacent axialement dans l'écrou. Après un tour complet chaque rouleau est ramené dans la position initiale par deux cames (11) fixées aux extrémités de l'écrou. Cette recirculation des rouleaux est rendue possible par une rainure longitudinale dans l'écrou. [5]

Le tableau ci-dessous récapitule la description déjà faite et présente les principales caractéristiques de chacun des types de vis à rouleaux :

Vis à rouleaux satellites	Vis à recirculation de rouleaux
Déplacer de fortes charges	Pas très réduit
Résister aux chocs	Précision de positionnement
Fonctionnement fiable	Chaîne cinématique simplifiée
Vitesses linéaires élevées	Performance optimale

Tableau 2.1 Caractéristiques des vis à rouleaux.

5. Guidage linéaire

La solution constructive qui réalise une liaison glissière entre deux pièces est appelée guidage en translation. Le seul mouvement relatif possible entre les deux pièces est une translation rectiligne. [6]

Pour pouvoir créer un mouvement strictement linéaire sur chaque axe.

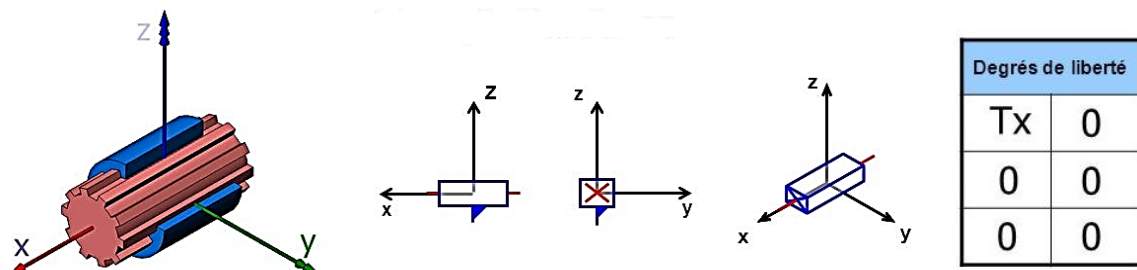


Figure 2.20 Liaison glissière d'axe X.

5.1 Fonction à assurer

Pour établir un guidage en translation entre deux pièces d'un mécanisme, une solution constructive doit assurer, dans la phase « utilisation », les fonctions suivantes :

- positionner les deux pièces entre elles ;
- permettre un mouvement relatif de translation rectiligne ;
- transmettre et supporter les efforts ;
- résister au milieu environnant.

En plus de ces fonctions, les solutions constructives associées doivent parfois, selon le type de mécanisme dans lequel elles sont implantées, satisfaire les fonctions suivantes :

- être d'un encombrement minimal ;
- être esthétiques ;
- assurer un fonctionnement silencieux. [6]

5.2 Choix de type de glissière

Le choix d'une solution constructive repose sur son aptitude à satisfaire le cahier des charges de l'application.

Les principaux indicateurs de qualité sont les suivants :

- précision du guidage ;
- vitesse de déplacement maximale ;
- intensité des actions mécaniques transmissibles ;
- Fiabilité (probabilité de bon fonctionnement) ;
- Maintenabilité (probabilité liée à la durée de réparation) ;
- Encombrement ;
- Coût.

Il existe plusieurs types de guidages ayant des performances spécifiques :

- guidages par contact direct ;
- guidages avec interposition d'éléments roulants. [6]

5.2.1 Guidages par contact direct

5.2.1.1 Guidages cylindrique prépondérant par arbre ou moyeu coulissant :

Les guidages par arbre ou moyeu coulissant, sont les solutions constructives qui associent une surface de contact cylindrique et un arrêt en rotation autour de l'axe de cette surface cylindrique.

L'anti-rotation est réalisée sur la surface cylindrique :

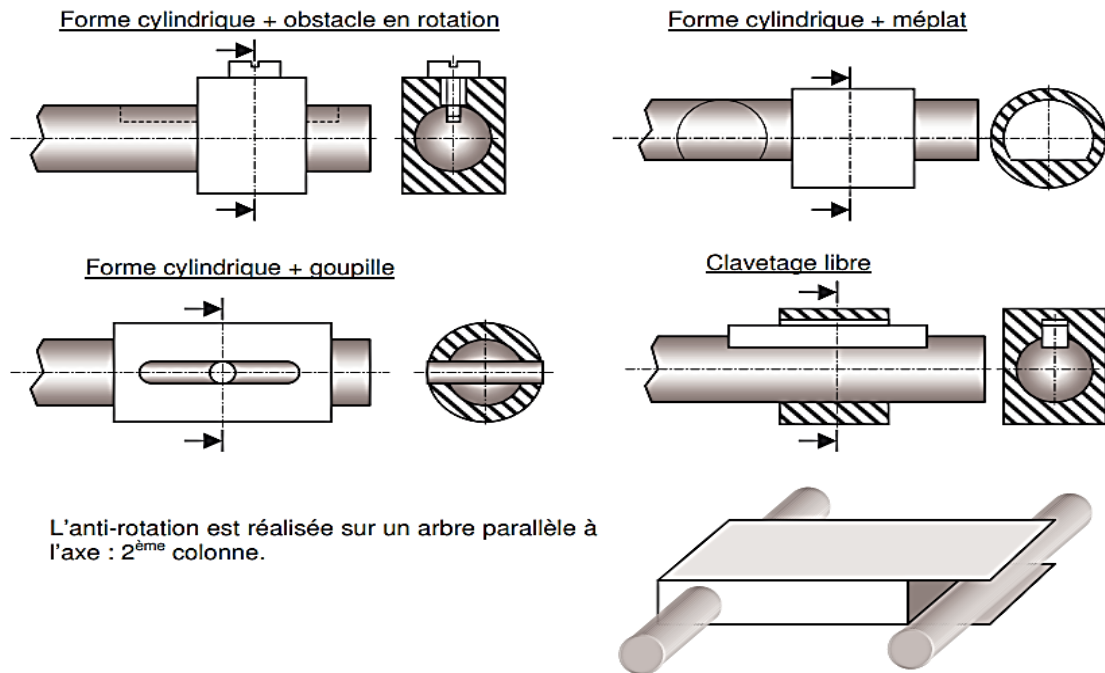


Figure 2.21 Guidages cylindrique prépondérant.

5.2.1.2 Guidages prismatique prépondérant :

Les guidages de type prismatique associent des surfaces de contact planes. Ils peuvent comporter un dispositif de réglage du jeu pour permettre de rattraper l'usure. [6]



Figure 2.22 Guidages prismatiques.

5.2.2 Guidages par interposition d'éléments roulants :

Les guidages par éléments roulants constituent une famille de composants standards dont le principe est de remplacer le glissement par du roulement. [6]

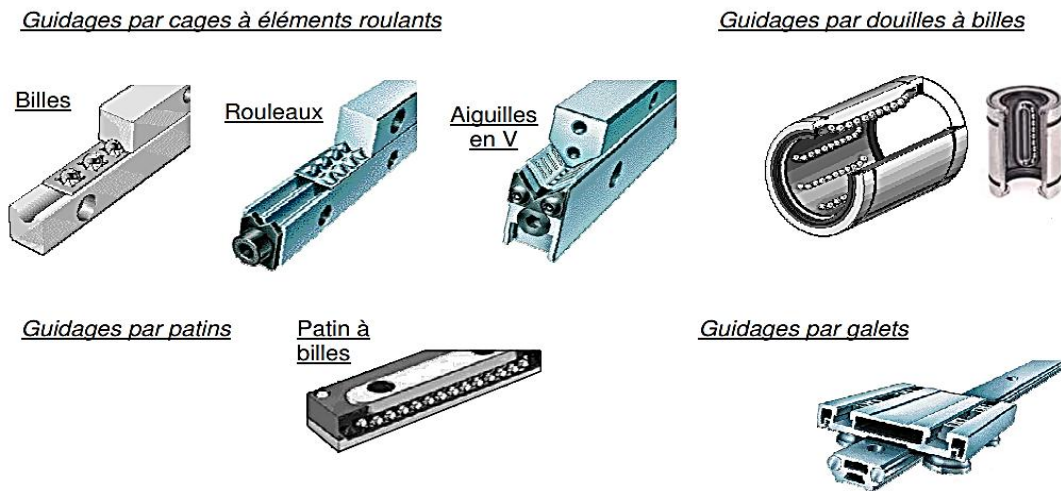


Figure 2.23 guidage par interposition d'éléments roulants.

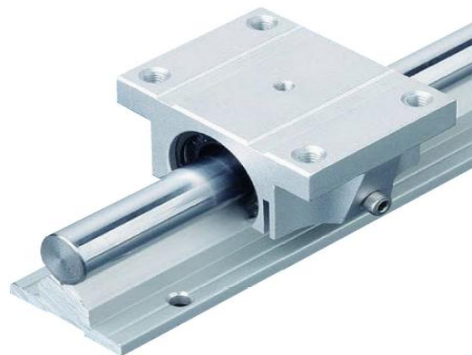


Figure 2.24 Eléments de guidage par douille à billes.

5.3 Caractéristiques de chaque famille de solutions

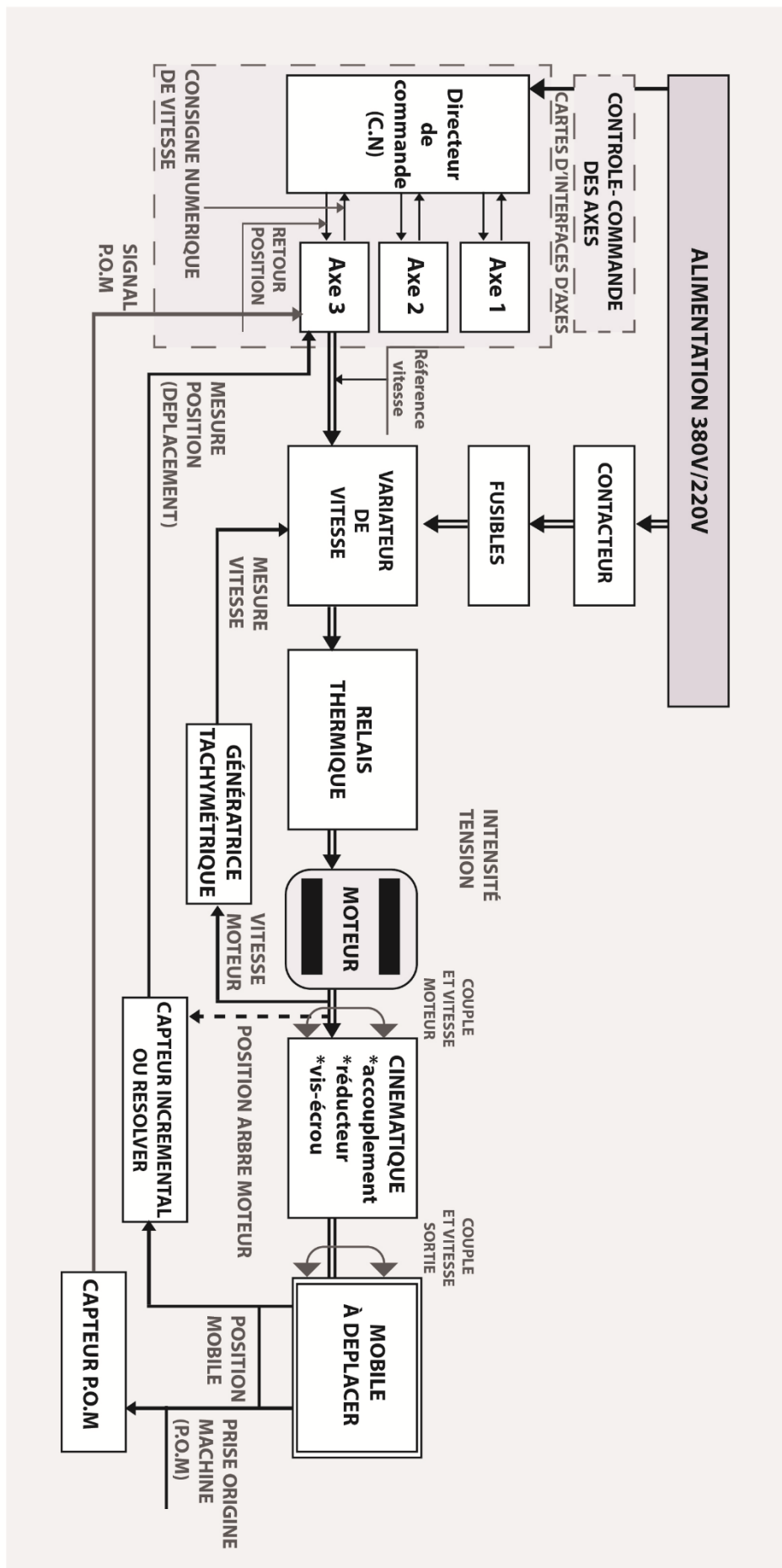
	Contact direct	interposition d'éléments roulants
Précision	Moyenne Dégradation par usure	Elevée
Performances (vitesses, cadences, rendements)	Faibles	Elevées
Coefficient de frottement dans la liaison	Elevé : 0,05 à 0,2 Broutage à faible vitesse (stick slip)	Très faible : 0,001 à 0,005 Efforts de manœuvre réduits
Intensité des actions mécaniques supportées	Faibles	Elevées
Lubrification	Nécessaire (importante)	Au montage (faible) Inexistante (galet)
Coût	Faible	Elevé

Jeu	Jeu mini nécessaire au fonctionnement	Fonctionnement sans jeu
-----	---------------------------------------	-------------------------

Tableau 2.2 Comparaison entre le guidage par contact direct et par interposition d'éléments roulants.

6. Directeur de commande

Toutes les commandes numériques sont aujourd'hui à microprocesseur, soit intégré dans le directeur de commande, soit appartenant à un ordinateur pilotant la machine en commande directe. La liaison entre la partie proprement informatique et la machine est assurée par un automate programmable (donc à microprocesseur) qui assure la gestion des capteurs et des actionneurs, et par des cartes spécialisées qui assurent le contrôle des asservissements d'axes. [2]



L'automate est programmé par le constructeur de la machine pour l'adapter à la gestion des organes physiques de la machine.

Autour du microprocesseur on trouve une mémoire morte (R.O.M.) qui stocke le logiciel système, une mémoire vive (R.A.M.) qui stocke les programmes pièces, un interpolateur qui effectue les calculs sous contrôle du microprocesseur et à partir des données que ce dernier lui fournit. Les différents pas d'interpolation sont envoyés aux systèmes de commande d'axes.

Un BUS de communication assure les liaisons et reçoit les informations données par les capteurs de vitesses et de déplacements. [2]

6.1 Asservissements et capteurs de position et de vitesse

La précision susceptible d'être atteinte sur les M.O.C.N. est étroitement dépendante de la précision des mesures de position ainsi que du contrôle des déplacements. Sur les machines de qualité le directeur de commande connaît la position de consigne (position à atteindre) et la position réelle du mobile. Ces valeurs sont comparées pour en déduire le déplacement à effectuer.

Pour améliorer le positionnement et la trajectoire, il convient de contrôler aussi les vitesses de déplacement. [2]

7. Conclusion

Les machines- outils à commandes numériques (MOCN) ont une grande incidence sur le plan économique au niveau des grandes industries mécaniques et il s'est devenu nécessaire qu'elles en soient dotées par ce qu'elles ont diverses fonctions selon leurs structures physiques

Dans ce chapitre nous avons exposé les diverses fonctions et composants rentrant dans la conception des machines à commande numérique et les fraiseuses CN spécialement. Les différents types de motorisation, de transmission et de transformation du mouvement (ou de l'effort) ont alors été présentés avec leurs caractéristiques, principes de fonctionnement et modèles usuels.

Ce chapitre est important car il permet d'apporter une vision globale sur les machines à commande numérique, avant le développement de considérations plus approfondies.

Chapitre III

La commande numérique

1. Programmation

Les instructions programmées doivent contenir toutes les données nécessaires à la commande et au séquençement des opérations à réaliser pour assurer l'usinage de la pièce sur la machine. Elles regroupent :

- les données géométriques, qui indiquent la forme et les dimensions de la pièce à usiner et permettent à la CN de calculer les positions successives de l'outil par rapport à la pièce pendant les diverses phases de l'usinage. Les positions sont définies par rapport à une origine connue. Certaines instructions viennent compléter les données géométriques en indiquant la nature du traitement numérique qu'elles doivent subir : le mode d'interpolation, le choix du mode de cotation, absolue ou relative, le choix du cycle d'usinage, le choix de l'outil, etc. ;
- les données technologiques, qui précisent, compte tenu des caractéristiques et des performances de la machine (puissance des moteurs d'entraînement, performances de la broche et des organes mobiles), les conditions de coupe optimales dans lesquelles pourra s'effectuer l'usinage. Elles concernent principalement la vitesse de rotation de la broche, les vitesses d'avance et la commande de l'arrosage. [2]

1.1 Codification des instructions

1.1.1 G Code : Le G-CODE est un langage de programmation simple dédié à la programmation des machines à commandes numériques (fraisage, tournage, découpe laser, impression 3D). Ce langage utilisé pour décrire les opérations d'usinage sur une MOCN comporte un certain nombre de lignes d'écriture appelées blocs d'information, chaque ligne correspondant à une étape particulière du processus d'usinage.

On l'appelle G-CODE parce que toutes les lignes d'instruction commencent par un commande type G xx (xx étant le type d'opération que l'on va vouloir faire).

Les outils informatiques actuels de la chaîne soft CAO permettent de se passer de la connaissance pratique du langage (voir chapitre 5), mais pour ceux qui voudraient éventuellement faire des programmes simples directement avec un éditeur pour les envoyer dans le contrôleur, il est important de connaître quelques bases de ce langage. [2]

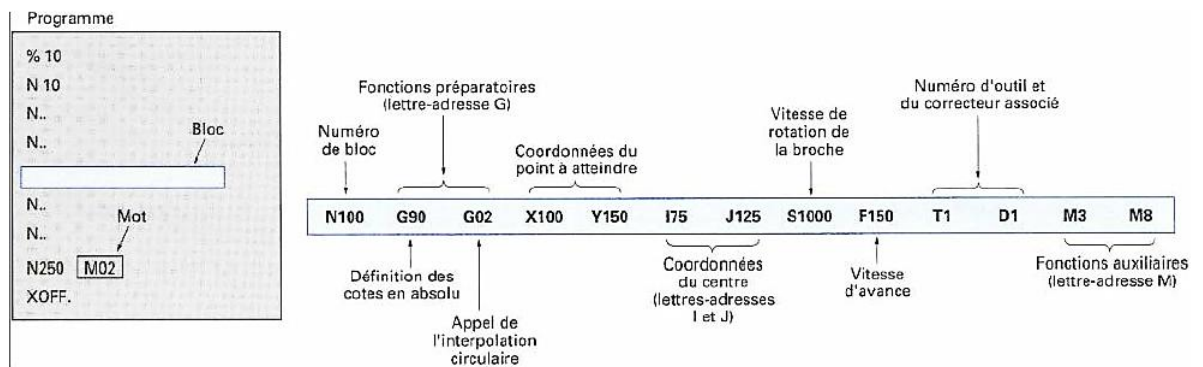


Figure 3.1: structure d'un programme d'usinage avec l'organisation d'un bloc.

Chaque bloc, ou séquence d'usinage, contient plusieurs mots qui sont la combinaison de lettres d'identification appelées adresses et d'une série de chiffres accompagnés ou non d'un signe (+) ou (-).

La plupart des machines actuelles acceptent des blocs à format variable dans lesquels ne figurent que les seules instructions nécessaires à leur exécution. Celles déjà fournies et encore actives n'ont pas à être répétées.

Chaque fabricant de CN spécifie dans son manuel de programmation la façon d'écrire les données numériques allouées aux différentes lettres-adresses (nombre de chiffres avant et après la virgule, mode de séparation des entiers et des décimales, etc.).

À titre d'exemple, les lettres-adresses usuelles retenues par NUM sont indiquées sur la figure3.1:

- Les mots numéro de bloc (adresse N suivie d'un nombre de 1 à 5 chiffres) figurent obligatoirement au début de chaque bloc. Un numéro de bloc précédé du signe / permet de sauter le bloc correspondant si l'opérateur le désire ;
- Les mots fonction préparatoire (adresse G suivie d'un nombre de 1 à 3 chiffres) définissent le déroulement de certaines fonctions de commande et préparent la CN à exécuter une action bien précise. Ce sont généralement des ordres de déplacement, de décalage, d'appels de cycles spécifiques d'usinage, etc. Les fonctions G peuvent être modales, c'est-à-dire auto maintenues tant qu'elles ne sont pas révoquées par une fonction contradictoire, ou non modales lorsqu'elles ne sont actives que dans le bloc où elles sont programmées. Un bloc d'information peut contenir plusieurs fonctions préparatoires G si elles ne sont pas contradictoires ;

1. Les mots de dimensions ou d'ordre de déplacement, composés d'une adresse accompagnée de sa valeur formatée, sont les suivants :

- X, Y, Z pour les mouvements principaux ;
- U, V, W pour les mouvements secondaires ;
- I, J, K pour les paramètres d'interpolation ;
- A, B, C pour les coordonnées angulaires.

2. Les mots correspondant aux fonctions diverses sont appelés par les adresses :

- S pour la vitesse de rotation de la broche,
- F pour la vitesse d'avance demandée aux organes mobiles,
- T pour le numéro d'outil,
- D pour le numéro du correcteur d'outil,
- R pour la programmation d'un cercle par son rayon en interpolation circulaire ;
- les mots fonctions auxiliaires (adresse M suivie d'un nombre de 1 à 3 chiffres)

servent essentiellement à la programmation des fonctions de commutation de la machine. Les fonctions auxiliaires peuvent être modales ou non modales, ou encore des fonctions avant ou après selon qu'elles sont exécutées avant ou après le déplacement programmé dans le bloc.

Remarque

Le programme décrit toutes les opérations que doit exécuter la machine pour réaliser des pièces conformes au dessin de définition.

La programmation: c'est l'écriture du programme en prévoyant tous les événements possibles.

Il est possible de distinguer deux objectifs:

- Minimiser le coût de la fabrication des pièces;
- Produire le maximum de pièce.

En général il faut faire des compromis:

- **En petite série:** réduire le temps de programmation par l'emploi de programmes types et en utilisant au mieux l'expérience acquise.
- **En grande série :** optimiser toutes les opérations. [2]

1.2 Le contexte de la programmation

Il existe une norme définissant la désignation des mouvements des machines et un autre définissant le langage de programmation. Ce langage est appelé ISO ou G-code.

La norme est ancienne (1969), et le langage qu'elle définit est inadapté à une programmation propre et structurée. Ceci explique la prolifération de langage dit de **FAO** (Fabrication Assisté par Ordinateur). [2]

La norme ne définit que des fonctions de base, mais ne propose pas de syntaxe pour ce qui est des commentaires, des structure de contrôles (boucles, si alors sinon, sous-programme,...), des structures de données. . .

En conséquence, lorsque l'on écrit un programme il faut le préparer comme si on pouvait utiliser un langage performant et ensuite essayer de le traduire au mieux en langage machine. C'est du reste l'esprit dans lequel travaillent la plupart des systèmes de Fabrication Assistée par Ordinateur.

On peut aussi remarquer que la plupart des machines à mesurer ont un langage qui ne s'appuie pas sur la norme.

En effet les calculs que nécessite le contrôle seraient très difficiles à programmer dans un tel langage. Il en est de même pour de nombreux types de machines : robots, machines de stéréo-lithographie.

1.3 Le Programme

Il doit être lisible. De nombreux opérateurs différents sont amenés à le lire :

- Programmeurs;
- Régleurs;
- Opérateurs;
- Opérateurs de maintenance;

Commenter et structurer le programme

Un programme vit:

- Série renouvelables;
- Pièces de mêmes familles;

Le prix de la mémoire et les temps de transferts ont fortement diminués. Il existe maintenant des éditeurs puissants. En conséquence, on ne cherchera pas à compacter les programmes (notamment par l'utilisation de décalages, miroirs, . . .).

1.4 Structure d'un programme

Le programme ne définit pas uniquement la trajectoire de l'outil. Il permet de commander l'automate pour réaliser des fonctions auxiliaires telles que mise en route et arrêt de la broche et de l'arrosage, changements d'outils ou de pièces. . . Il définit aussi les unités, les modes de travail, les différents repères.

On peut énoncer des règles de base pour la structuration des programmes:

- Le programme doit faire clairement apparaître la gamme de fabrication;
- Le programme doit être constitué de parties indépendantes;
- Le programme et chaque partie du programme doivent être clairement structurés en: Initialisation, partie principale et remise en configuration standard.

La dernière règle découle des progrès fait en programmation depuis l'apparition de la norme (1969). Les langages modernes (C, C++, pascal, ADA, langages dynamiques...) propose des solutions pour traiter un sous-programme indépendamment du reste du programme. Pour programmer en langage CN, nous avons intérêts à recréer artificiellement ces mécanismes. On peut par exemple définir une configuration standard de la machine.

Chaque portion de programme débute et se termine dans cette configuration. [2]

1.4.1 Exemple de structure d'un programme:

```
%10 EXEMPLE DE STRUCTURE D'UN PROGRAMME  
INITIALISATION GENERALE  
EBAUCHE
```

DEMI-FINITION

FINITION

CONTROLE

REMISE EN CONFIGURATION STANDARD

FIN PROGRAMME

L'ébauche peut encore se décomposer en: initialisation, usinage avec le premier outil d'ébauche, usinage avec le deuxième outil d'ébauche, . . . usinage avec le dernier outil d'ébauche et remise en configuration standard.

Chacune de ces parties peut encore être structurée de la même manière.

1.4.2 Les repères

Dans une première étape la programmation est essentiellement géométrique : décrire la trajectoire de l'outil par rapport à la pièce.

On se place classiquement dans l'espace affine euclidien.

Pour représenter la position relative de deux solides:

- associer un repère à chaque solide;
- donner la position relative des deux repères: translation et rotation.

La programmation est donc: la description de la trajectoire d'un repère lié à l'outil par rapport à un repère lié à la pièce. Nous voyons ici la très grande importance des repères. Nous allons voir comment les choisir. [2]

1.4.3 Le repère de programmation

Le choix du repère outil est en général assez limité du fait de la géométrie de l'outil. Par contre le choix du repère pièce ou de programmation est libre.

Le programmeur peut choisir de placer le repère de programmation où il veut. Il le placera donc là où ça l'arrange. Il peut aussi en utiliser plusieurs car les langages de programmation permettent de changer le repère de programmation.

ATTENTION: le choix du repère de programmation ne conditionne en rien l'orientation de la pièce par rapport aux axes de la machine. On a intérêt à placer les cotes précises parallèles aux axes de la machine. Elles ne dépendront alors que d'un seul axe asservi.

Sur la machine, le réglage permettra de définir la relation de changement de repère entre le repère du porte pièce et le repère pièce ou de programmation. [2]

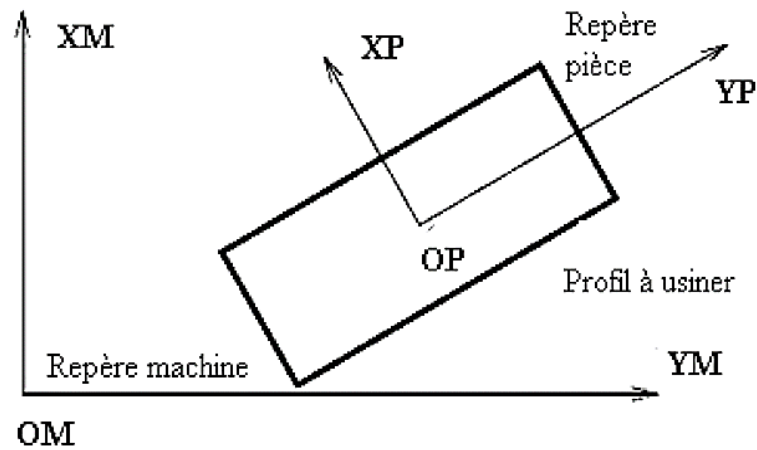


Figure 3.2 Repère de programmation

1.4.4 Méthodes de choix des repères

Nous devons associer un repère au chariot et un à la glissière. Ces deux repères étant confondus lorsque le chariot est à l'origine machine. Cette propriété permet de définir clairement le deuxième repère à partir du premier : il lui est confondu lorsque le compteur est à zéro.

La définition du premier repère utilise les surfaces remarquables de la machine. Considérons par exemple un centre d'usinage. Le repère broche peut être choisi tel que son origine soit à l'intersection du plan de jauge du cône de broche et de l'axe de la broche, sa direction Z soit celle de son axe orienté vers la broche et son axe X soit parallèle au déplacement de l'axe X. Le repère machine est alors le repère lié au chariot porte pièce de la machine qui est confondu avec le repère broche lorsque tous les axes de la machine sont au zéro. [2]

2. Les différentes origines des MOCN

2.1 Origine machine Om

Position particulière des chariots par rapport aux règles. Position atteinte à l'issue de la procédure de prise d'origine Machine (POM)

2.2 Origine Programme OP

Point choisi par le programmeur pour calculer les points de passage des différents outils

2.3 Origine outil Oo

Point appartenant au corps de l'outil ; il n'est pas nécessaire de connaître ses coordonnées par rapport à un repère, car on considère toujours l'ensemble outil + porte outil comme une seule entité.

2.4 Origine mesure Om

Origine mesure. Point origine dans l'espace à partir duquel la machine mesure les déplacements de l'origine porte-outil ou du point générateur de l'outil.

Remarque

Il existe d'autres types d'origine telle que

2.5 Origine pièce Op

Point facilement identifiable (palpable) caractérisant la position de la pièce par rapport au port-pièce (Point d'intersection entre les surfaces de mise en position du porte pièce et la pièce).

2.6 Origine porte-pièce Opp

Point coïncident des surfaces de liaison de la machine et du porte-pièce.

2.7 Origine porte-outil Opo

Point de coïncidence entre l'ensemble outil + porte-outil et l'élément de la machine sur lequel il est mis en position [2]

3. Programmation des déplacements

On définit deux repères. Le repère de programmation lié à la pièce et le repère outil lié à l'outil.

La programmation du déplacement de l'outil est la description du déplacement du repère outil par rapport au repère pièce.

Le déplacement comporte deux aspects : l'aspect géométrique (trajectoire) et l'aspect cinématique (loi d'évolution sur la trajectoire).

La surface usinée est obtenue par l'enveloppe de la trajectoire de l'arête ou des arêtes de coupes de l'outil dans le mouvement relatif de l'outil par rapport à la pièce.

3.1 La géométrie de la Pièce

La programmation d'un élément de trajectoire se fait dans un contexte initial (position initiale relative de l'outil par rapport à la pièce, état du système de commande) en donnant le type de trajectoire et le point d'arrivée.

Exemples :

G1 X10 Y20 Aller du point initial au point de coordonnées X10 Y20 sur une trajectoire Rectiligne.

G3 X10 Y20 R50 Aller du point initial au point de coordonnées X10 Y20 sur une trajectoire circulaire de rayon 50. Parcourir cette trajectoire dans le sens trigonométrique en choisissant la solution la plus courte.

Chaque ligne (ou bloc) de programme définit un déplacement élémentaire. [2]

4. Description du déplacement de l'outil

Les types de trajectoires réalisables sont assez limités:

- Segments de droites;
- portions de cercles situés dans des plans particuliers;
- portions d'hélices d'axes particuliers;
- Courbes splines planes situées dans des plans particuliers.

Comme le générateur de trajectoire calcule une consigne toutes les T secondes (T est le temps de cycle de base du générateur de trajectoire), la courbe n'est pas exécutée directement. On parle d'interpolation.

Il existe une variante des courbes splines, elles peuvent être définies dans l'espace et sont utilisées pour lisser un ensemble de points.

4.1 Interpolation linéaire:

L'interpolation linéaire permet de faire exécuter un segment de droite à la machine. La durée minimale d'exécution d'un mouvement est égale au temps de cycle T.

L'interpolation linéaire peut servir pour exécuter une approximation d'une courbe quelconque.

L'interpolation linéaire peut aussi inclure des mouvements sur des axes de rotation de la machine (plateau tournant). [2]

4.2 Interpolation circulaire et hélicoïdale :

L'interpolation circulaire n'est possible qu'entre deux axes de translation de la machine pour réaliser des cercles dans le plan défini par ces deux axes. Elle permet de réaliser des hélices en associant le troisième axe.

Il existe un rayon minimum réalisable, il est fonction de la vitesse.

4.3 La réalisation de déplacement le long de courbes splines se fait aussi dans un plan particulier:

La réalisation d'un déplacement se déroule en trois phases: accélération, déplacement à la vitesse constante programmée, décélération.

Dans le cas de déplacements enchainés, la machine ne s'arrête pas entre chaque mouvement. Elle fait un lissage afin de parcourir la trajectoire à vitesse constante

5 Principe de programmation des déplacements

La représentation d'un déplacement semble extrêmement simple et pourtant elle est la source de nombreux problèmes de dialogues entre opérateurs. L'emploi de la démarche rigoureuse présentée dans ce paragraphe permet d'éviter ces problèmes.

5.1 Cause des difficultés

Le compteur fournit le déplacement du chariot par rapport à la position initiale du chariot (zéro machine). Or un opérateur est intéressé par la position relative du chariot par rapport à la glissière. Cette position relative caractérise la distance entre un point du chariot et un point de la glissière. Ces deux points sont confondus lorsque le chariot se trouve à l'origine machine.

La difficulté provient du fait qu'il n'y a pas unicité pour choisir ce couple de points. Si l'opérateur ne précise pas le choix effectuée, son interlocuteur peut faire un choix différent.

On peut remarquer que ce problème ne se pose pas lorsque l'on considère des mouvements de rotations car le déplacement de chaque point d'un solide est alors différent. Pour caractériser ce type de mouvements on utilise des repères.

L'utilisation systématique de repères, même pour traiter les translations, permet de spécifier clairement ce dont on parle. Un avantage indirect du terme repère, est d'inciter l'opérateur à définir clairement le repère, comme on le fait naturellement pour un problème de mécanique spatiale

Pour se convaincre de l'utilité de définir un repère on peut encore tracer un repère sur le sol et demander à un groupe de personne d'amener un véhicule sur le repère. Si l'on ne précise pas le repère du véhicule il y a peu de chance que la position soit reproductible d'une personne à l'autre.

5.2 Programmation de l'outil

Afin de simplifier les interventions en cas d'incident, la programmation de chaque paramètre doit être indépendante. C'est pourquoi on programme la trajectoire de l'outil de manière indépendante de la position relative entre l'outil et le chariot porte-outil. Les différents paramètres qui caractérisent la position de l'outil par rapport au chariot sont la longueur, le rayon et rayon en bout de fraise.

1.3 Axe de machine-outil

Le capteur de position d'un axe de machine-outil définit une position particulière que l'on peut nommer zéro machine.

Dans cette position relative du chariot mobile par rapport aux glissières le compteur affiche zéro. Remarquons que cette position peut être impossible à atteindre sur certaines machines.

Cette position est définie par le constructeur qui la place très souvent au niveau d'une position particulière (position de changement d'outil, de palette, . . .). Elle est différente de la position de Prise d'Origine Machine (POM).

La POM est le moyen qui permet d'initialiser le compteur de l'axe, c'est à dire le zéro machine, pour les capteurs non absolus [2].

6. La correction d'outil

Lors de l'usinage, le point piloté ne sera plus le point courant, mais l'extrémité tranchante de l'outil.

Il est donc nécessaire de mesurer et d'introduire dans le DCN, les valeurs de longueurs et de rayon des outils. Pour cela on a recours à un banc de préréglage.

6.1 Correction de longueur

Les longueurs d'outils sont mesurées par rapport :

- à l'intersection du plan de jauge et de l'axe du cône de centrage pour les outils de fraisage

La correction de longueur, ou jauge, est appliquée suivant l'axe programmé.

- suivant X et Z pour les jauges d'outil sur le tour

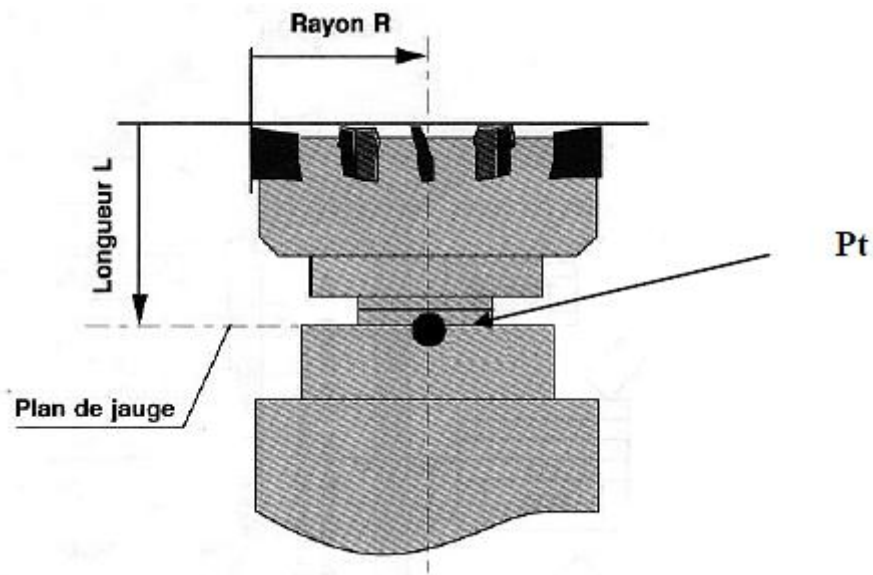


Figure 3.3 l'intersection du plan de jauge et de l'axe du cône de centrage pour les outils de fraisage

6.2 Correction de rayon

Le principe du correcteur de rayon permet d'effectuer, avec un même outil, une ébauche et une finition en reprenant la même séquence de programme, ou encore de compenser le décalage entre le point générateur et l'axe de l'outil.

Dans le cas de séries importantes, où l'usure de la plaquette est importante, ou lors d'un changement de plaquettes, on fait intervenir la correction dynamique d'outil ou correcteur d'usure, exemple de l'utilisation du correcteur de rayon où l'on décide de laisser une surépaisseur de matière « e » pour la finition. La même fraise servira pour l'ébauche et la finition. [2].

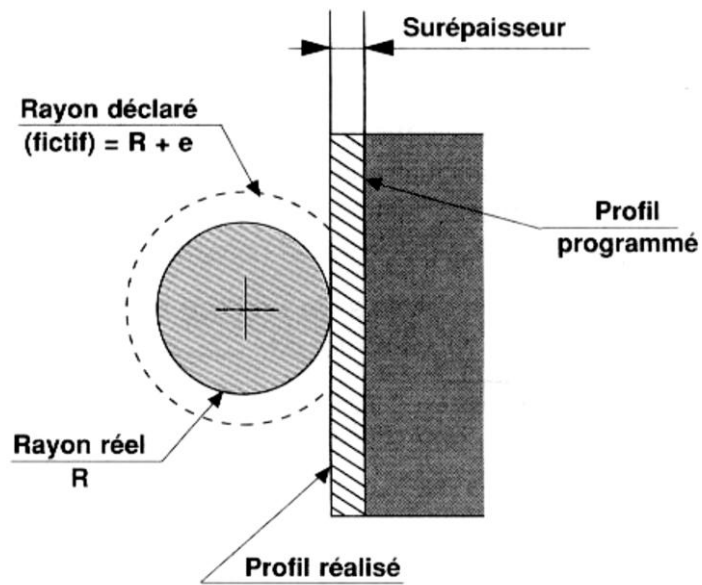


Figure 3.4 l'intervenir de la correction dynamique d'outil

7. Conclusion :

Les programmes spéciaux qui font fonctionner les machine- outils à commande numérique dans l'industrie mécanique comme **FAO- CAO- MFI...**(etc), exige une grande précision en prenant en considération les critères édictés par le système ISO comme unités de mesure et les fonctions préparatoires et auxiliaires etc.), qui permettent d'harmoniser les programmes pour un fonctionnement efficace d'une industrie de haute précision.

Chapitre IV

Dimensionnement théorique

1. Introduction

Généralement, lors de la conception d'une machine automatique, se pose le problème du choix et du dimensionnement des motoréducteurs d'axe. L'actionneur est rotatif, le transformateur de mouvement peut être du type vis-écrou, poulie-courroie ou pignon-crémaillère, et la loi de commande tout ou rien, trapézoïdale ou en sinus.

Et, dans tous les cas, la motorisation doit réaliser un déplacement donné dans un temps maximal, fixé par une cadence imposée.

Il n'existe pas de méthode systématique et infaillible de choix d'un servomoteur dans le cas général, vu le nombre considérable de paramètres technico-économiques à prendre en compte. En pratique, on fait surtout appel à l'expérience et au savoir-faire.

En revanche, il existe de nombreuses règles à connaître, lesquelles permettent de s'orienter rapidement vers des solutions crédibles. [8]

2. Formulations théoriques

On se place dans le cas d'une machine automatique sur laquelle on désire effectuer un déplacement en translation. L'actionneur est un moteur rotatif, le transformateur de mouvement pouvant être de n'importe quel type : vis-écrou, poulie-courroie, pignon-crémaillère, etc.

a. Choix du profil

En général, le cahier des charges impose un déplacement donné X en un temps maximal T imposé par le temps de cycle de la machine T_{cy} .

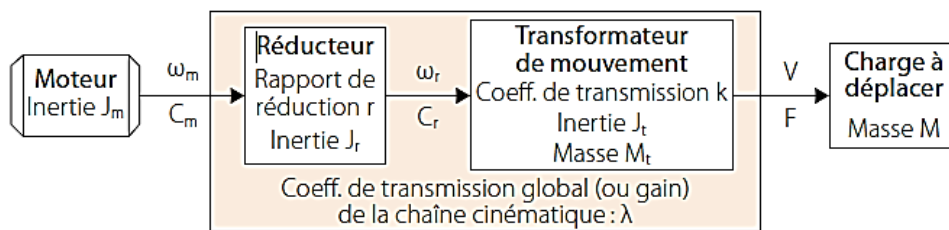


Figure 4.1 schéma de la chaîne cinématique.

Avec :

C_m : couple moteur

J_m : inertie du rotor autour de son axe

J_r : inertie du réducteur sur l'arbre d'entrée (cote moteur)

J_t : inertie du transformateur de mouvement sur son arbre d'entrée (cote réducteur)

r : coefficient de réduction du réducteur > 1 : $\omega_r = \omega_m/r$

k : coefficient de transmission* (gain en vitesse) du transformateur de mouvement:

$$V = k\omega_r$$

λ : coefficient de transmission global (gain en vitesse) de la chaîne cinématique :

$$\lambda = V / \omega_m = k/r$$

La partie opérative est définie comme suit :

Le choix de la loi (ou profil) de commande

En phase d'avant-projet, on va chercher à déterminer la vitesse et l'accélération maximales afin de dimensionner le moteur ainsi que l'éventuel réducteur.

Les profils usuels sont représentés dans le tableau suivant :

Loi (ou profil) de commande	Avantages	Inconvénients
Loi tout ou rien en vitesse (loi à accélération nulle)	<ul style="list-style-type: none"> • Vitesse maxi minimale pour un déplacement donné en un temps donné • simplicité maximale 	<ul style="list-style-type: none"> • Accélération théoriquement infinie : en pratique, l'évolution en vitesse n'est pas contrôlée dans les phases transitoires • Puissance et couple maximaux demandes au moteur • Précision d'arrêt difficile à obtenir
Loi trapèze ou triangle en vitesse (loi à accélération constante)	<ul style="list-style-type: none"> • Vitesse maxi et accélération maxi contrôlées par le profil • Simplicité 	<ul style="list-style-type: none"> • *<i>Jerk</i> théoriquement infini : chocs mécaniques • Puissance importante en fin d'accélération
Lois à accélération continue : <ul style="list-style-type: none"> • trapèze en accélération • sinus ou sinus² en accélération • polynomiale... 	<ul style="list-style-type: none"> • Le <i>jerk</i> est contrôlé : pas de chocs et moins de vibrations • Meilleur suivi de trajectoire 	<ul style="list-style-type: none"> • Lois plus complexes à élaborer • Accélération maxi supérieure à celle requise par les autres lois • Ne permettent pas le déplacement en un temps minimal

Tableau 4.1 Différentes lois de commande

Définition :

Jerk* : Dans le langage courant, le terme « Jerk » ou **à-coup, désigne un brusque changement de régime d'une machine ou de direction d'un mouvement.

Du point de vue physique, et plus particulièrement mécanique, cela désigne une brusque variation du vecteur accélération. En physique, le **vecteur d'à-coup**, plus communément appelé « *jerk* », est la dérivée du vecteur accélération par rapport au temps (soit la dérivée troisième par rapport au temps du vecteur position).[8]

Le choix d'une loi trapézoïdale de commande de vitesse

Lorsque l'on est certain que la loi de commande utilisée sera une loi en trapèze, il restera encore à choisir laquelle : en effet, pour effectuer un déplacement X en un temps donné T, il existe une infinité de lois en trapèze utilisables, comprises entre deux extrêmes : la loi en triangle et la loi rectangulaire. [8]

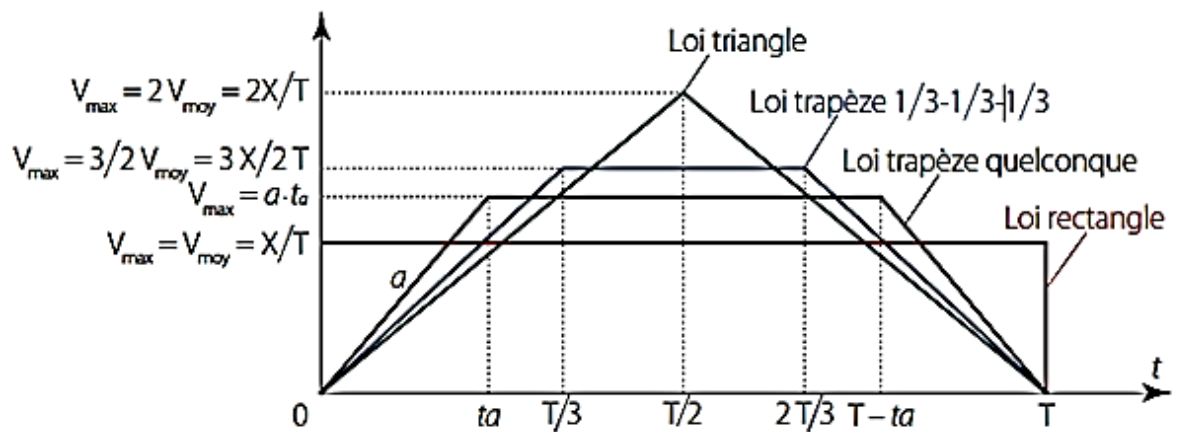


Figure 4.2 lois des vitesses v en trapèze pour un déplacement X en un temps T .

Les valeurs des vitesses maximales se calculent très simplement en considérant que l'aire délimitée par le profil, qui est égale à l'intégrale de la vitesse entre 0 et T , représente le déplacement X . D'autre part, la pente a de la loi devitesse, qui correspond à l'accélération, est proportionnelle au couple moteur C_{ma} requis pour accélérer dans cette phase.

En fait, dans beaucoup de cas, il n'y a pas de critère évident de choix. Une solution consiste alors à choisir un profil qui **minimise** la **puissance maximale** demandée au moteur lors du déplacement. Cette loi est précisément celle représentée sur la figure 4.2 . Appelée «loi 1/3-1/3-1/3», elle requiert une vitesse de 25 % plus faible que celle de la loi en triangle, au prix d'une augmentation raisonnable de 12,5 % du couple moteur, tout en minimisant la puissance maximale. [8]

La puissance maximale sera nécessairement atteinte en phase d'accélération et à la vitesse maximale, soit :

$$P_{max} = C_{ma} \cdot \omega_{m_max}$$

En posant $\lambda = V/\omega_m$ coefficient de transmission de la chaîne cinématique, la relation devient :

$$P_{max} = C_{ma} \frac{V_{max}}{\lambda}$$

Par ailleurs, le couple moteur C_{ma} requis en phase d'accélération est constant et égal à :

$$C_{ma} = J_e \frac{d\omega_m}{dt}$$

L'accélération du moteur peut s'écrire :

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{a}{\lambda} \quad \Rightarrow \quad C_{ma} = \frac{J_e}{\lambda} a$$

En remplaçant dans l'expression de la puissance :

$$P_{max} = \frac{J_e}{\lambda^2} a V_{max}$$

Le déplacement parcouru (aire du trapèze) est :

$$X = V_{max}(T - t_a) \Rightarrow V_{max} = \frac{X}{(T - t_a)}$$

La vitesse maximale atteinte est :

$$V_{max} = a \cdot t_a \Rightarrow a = \frac{V_{max}}{t_a}$$

En remplaçant a et V_{max} dans l'expression de la puissance :

$$p_{max} = \frac{J_e V_{max}^2}{\lambda^2 t_a} = \frac{J_e X^2}{\lambda^2 t_a (T - t_a)^2}$$

Il s'agit ici de trouver la puissance maximale. Cherchons la dérivée de la puissance par rapport à t_a :

$$\frac{dp_{max}}{dt_a} = \frac{d}{dt_a} \left[\frac{J_e X^2}{\lambda^2 t_a (T - t_a)^2} \right] = \frac{J_e \cdot X^2}{\lambda^2} \frac{d}{dt_a} \left[\frac{1}{t_a (T - t_a)^2} \right]$$

La dérivée s'annule si :

$$\frac{d}{dt_a} \left[\frac{1}{t_a (T - t_a)^2} \right] = 0$$

Après calculs il vient :

$$\frac{d}{dt_a} \left[\frac{1}{t_a (T - t_a)^2} \right] = \frac{4Tt_a - 3t_a^2 - T^2}{t_a^2 (T - t_a)^4}$$

t_a Ne pouvant être supérieur ou égal à T , le dénominateur est toujours strictement positif, et l'expression s'annule si :

$$4Tt_a - 3t_a^2 - T^2 = 0$$

Il s'agit d'un trinôme du second degré en t_a dont la résolution classique donne deux racines réelles:

$t_a = T$, solution impossible, et $t_a = T/3$, solution retenue.

En conclusion, le profil de vitesse en trapèze à puissance minimale consiste à répartir le temps de déplacement T en 1/3 d'accélération, 1/3 de vitesse constante et 1/3 de décélération.

b. Calculs théoriques

Rappelons que l'on se place toujours dans le cas d'une machine automatique sur laquelle on désire effectuer un déplacement en translation. L'actionneur est un moteur rotatif, le transformateur de mouvement est de type vis-écrou. Et, en général, le cahier des charges impose un déplacement donné X en un temps maximal T dicté par le temps de cycle de la machine T_{cy} .

La méthode de choix et de dimensionnement d'un motoréducteur d'axe.

Cette méthode peut se représenter au moyen de l'organigramme qui, sans être exhaustif, met en évidence les rebouclages inévitables dus aux interactions entre les composants. Elle est largement inspirée du *Technoguide* [8].

Étape	Données	Calculs		
		Profils	Trapézoïdal	Triangulaire
Objectif de déplacements	<ul style="list-style-type: none"> - profil de la vitesse - Distance à parcourir : X - Temps de déplacement : T 			
		Vitesse max	$3X/2T$	$9X/2T^2$
		Accélération	$2X/T$	$8X/T^2$
Estimation de la puissance pour déplacer la charge	<ul style="list-style-type: none"> - Vitesse maximale de la charge : V_{max} - Accélération de la charge : a - Effort sur la charge : F - Masse de la charge : M - Rendement global estime de la chaine cinématique : η 	<ul style="list-style-type: none"> - Puissance d'accélération : $P_a = MaV_{max}$ - Puissance permanente : $P_p = \frac{FV_{max}}{\eta}$ - Puissance totale : $P_t = (MaV_{max}) + (\frac{FV_{max}}{\eta})$ 		
Présélection d'un réducteur de rapport de réduction r	<ul style="list-style-type: none"> - Vitesse nominale estimée du moteur : ω_{nom} - Vitesse maximale de la charge : V_{max} - Coefficient de transmission du 	Usuellement : $3\ 000\ \text{tr/min} < \omega_{nom} < 5\ 000\ \text{tr/min}$ $r < (\omega_{nom} / V_{max})$		
Calcul du couple moteur nécessaire pour déplacer la charge	<ul style="list-style-type: none"> - Transformateur de mouvement k - Accélération de la charge : a - Effort sur la charge : F - Gain en vitesse de la chaine cinématique : $\lambda = k/r = V/\omega m$ - Rendement global estime : η Inertie du transformateur de mouvement : J_t 	<ul style="list-style-type: none"> - J_c : inertie de la charge ramenée à l'arbre moteur : $J_c = (J_t + k^2M)/r^2$ - Couple d'accélération : $C_{ma} = J_c a / \lambda$ Couple permanent : $C_{mp} = \lambda F / \eta$ Couple crete : $C_{max} = C_{ma} + C_{mp}$ 		

Tableau 4.2 Etapes de calcul

3. Calculs : cas pratiques

Dans le travail qui va suivre, nous nous sommes proposé de suivre les formulations théoriques développées dans ce chapitre. Ce travail est inspiré des travaux de [8]. L'objectif, est de faire une application pratique pour notre cas d'étude, c'est-à-dire faire le dimensionnement d'une motorisation d'axe, composé d'un Servomoteur, un réducteur, un transformateur de mouvement (vis-écrou), et de choisir le couple requis pour réaliser la fonction qui est de déplacer la charge.

Cette application suit un enchainement logique, résumée dans l'organigramme suivant :

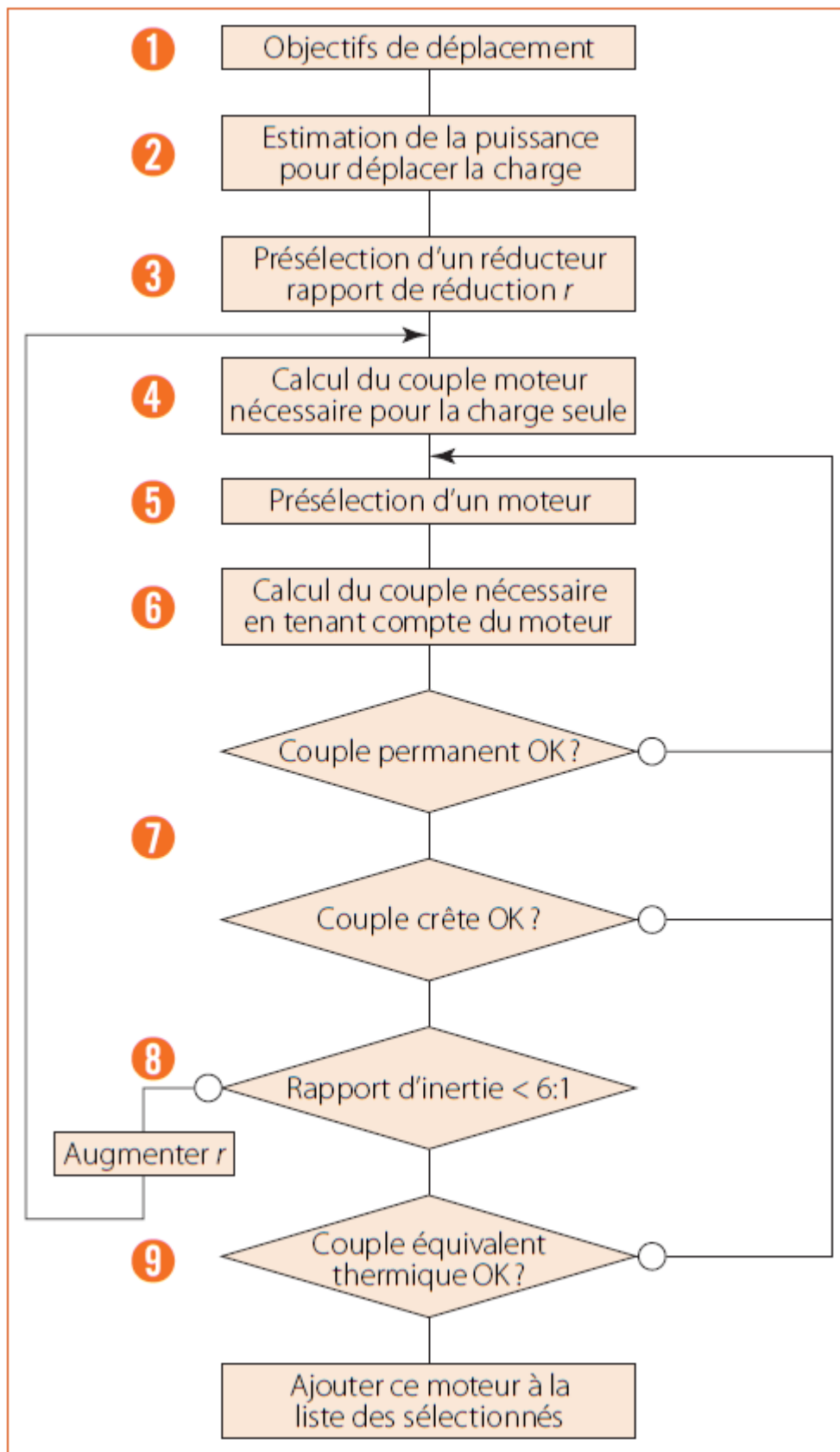


Figure 4.3 La méthode de dimensionnement d'un moteur d'axe.

A l'aide d'un calculateur (Figure 4), nous avons insérer les formules du chapitre présent. Ce calcul se base sur des données initiales. T représente le temps total, pour exécuter un déplacement X

Nous sommes partis des paramètres des avances pour une opération de fraisage, prenant la vitesse plus ou moins importante que celle pour un usinage conventionnel.

En optant pour une loi de profil trapézoïdale, pour $T = 0.25$ s et $X = 0.05$ m, il est possible de calculer la vitesse maximale ainsi que l'accélération (comme indiqué au tableau précédent)

$$V_{\max} = 0.8 \text{ m/s}$$

$$\text{Et l'accélération } a = 7.2 \text{ m/s}^2$$

A ce niveau, on peut calculer la puissance totale : $P_t = 150$ W

Comme donnée fixe le rapport du réducteur est $r = 40$

A ce niveau, et après avoir calcul l'inerte de la charge ramenée sur l'arbre du moteur, on trouve le couple maximal sur l'axe du moteur :

$$C_{\max} = 0.26 \text{ N.m}$$

En suivant la procédure de l'organigramme, on trouve, après avoir vérifié les unités, et assurer la justesse des résultats, que le couple crête à la sortie du moteur est 0.26 N/m

	A	B	C	D	E	F	G
1	Données	1	distance X [m]	0,1		Vmax [m/s]	0,8
2			Temps T [s]	0,25		acc [m/s ²]	7,2
3		2	Efoort sur la charge [N]	100		puissance d'acceleration [W]	576
4			Masse de la charge [Kg]	100		puissance permanente [W]	114,2857143
5			Rendement global	0,7		puissance totale [W]	690,2857143
6		3	Coeff : K	0,038216713		Rapport	40
7			w nom [Rad/s]	837,33			
8			w reduc [Rad/s]	20,93			
9		4	Gain : Lambda	9,5542E-04		Inertie Jc	9,17542E-05
10			Inertie Vis + ecrou [Kg*m ²]	0,000165		Couple d'acceleration [N.m]	1,32E-01
11			inertie Moteur [Kg*m ²]	5,90E-04		Couple permanent [N.m]	0,136488259
12			Inertie Jt	7,55E-04		Couple crete [N.m]	0,268367738
13				Inertie reducteur	0,0000175		

Figure 4.4 Feuille de calcul Excel

4. Conclusions

Les possibilités, fort nombreuses a priori, sont généralement limitées par le choix préalable d'un constructeur : en effet, il est toujours intéressant du point de vue économique de garder le même constructeur pour tous les actionneurs sur une même machine. De plus, la maintenance est simplifiée par rapport à des solutions hétérogènes, tant en termes de compétences demandées aux techniciens qu'en termes de stockage ou de fourniture de composants de rechange.

Le surdimensionnement est la règle, en restant dans des proportions raisonnables. Un moteur sous-dimensionné étant inacceptable, on est tenu de prendre de la marge dans l'autre sens. Le moteur choisi dans cet exemple permettrait de travailler dans une zone vitesse temps bien plus grande que celle définie préalablement dans les objectifs de déplacement.

Certaines spécifications du cahier des charges peuvent compliquer notablement le problème, comme la répétabilité de positionnement de $\pm 40 \mu\text{m}$ dans cet exemple. Le cas échéant, il est toujours bon de vérifier leur flexibilité.

Les modifications de la partie opérative ne sont pas toujours envisageables : dans cet exemple, le diamètre des poulies peut difficilement être réduit car la hauteur de passage aux divers postes est imposée.

Chapitre V

Conception et travaux à faire

1. Introduction

1.1 Présentation de l'entreprise MK Industrie

MK Industrie est une entreprise de sous-traitance spécialisée dans la conception et la fabrication de pièces mécaniques usinées et mécano-soudées. Situé à rue des frères Zedri, 09024 Beni Tamou, Blida, Algérie.



Figure 5.1 logo de l'entreprise MK Industrie.

1.2 La fraiseuse Milko

Les fraiseuses du type « Milko 35r » sont des machines de précision. Elles sont destinées au fraisage de pièces très variées, particulièrement avec des fraises de face, en bout, cylindrique, à doigt pour la production des pièces ; elles permettent l'usinage des plans verticaux et horizontaux, des rainures, des angles, de taillage d'engrenages, le fraisage de roues dentées, des alésoirs, des contours des cames et d'autres pièces dont l'usinage nécessite un pivotement autour de l'axe de la fraise, effectué à l'aide d'une tête de division ou d'un plateau circulaire amovible. [10]

Les fraiseuses Belges de type « Milko 35r » peuvent être utilisées dans les lignes de transferts et les chaînes permettant ainsi le fraisage conventionnel et en avalant aux régimes de coupes ordinaires aussi bien qu'aux régimes des cycles automatiques.



Figure 5.2 La fraiseuse Milko 35r dans l'atelier de l'entreprise MK industrie.

1.3 Fiche technique de la fraiseuse Milko 35r

Tension	Triphasé 380 V.
Fréquence	60 Hz
Puissance (moteur principal)	4 Kw
Puissance (avances du moteur)	1.5 Kw
Moteur de pompe à eau	0.1 Kw
Poids approximatif	1500 kg
Table	
Surface utile	1100 x 250mm
Rainures en T	(3) 14mm
Orientable à	45°
Courses	
Longitudinal	900 mm
Transversal	250 mm
Vertical	450mm
Broche	
Cône	ISO-40
Nombre de vitesses	12
Vitesse de rotation	50-1700rpm

Avances des tables	
Nombre de vitesse	9
Longitudinal	16-340mm/min
Transversal	16-340mm/min
Vertical	6-115mm/min
Avance rapide	
Longitudinal	2000 mm/mn
Transversal	2000 mm/mn

Tableau 5.1 Fiche technique de la fraiseuse Milko 35r. [10]

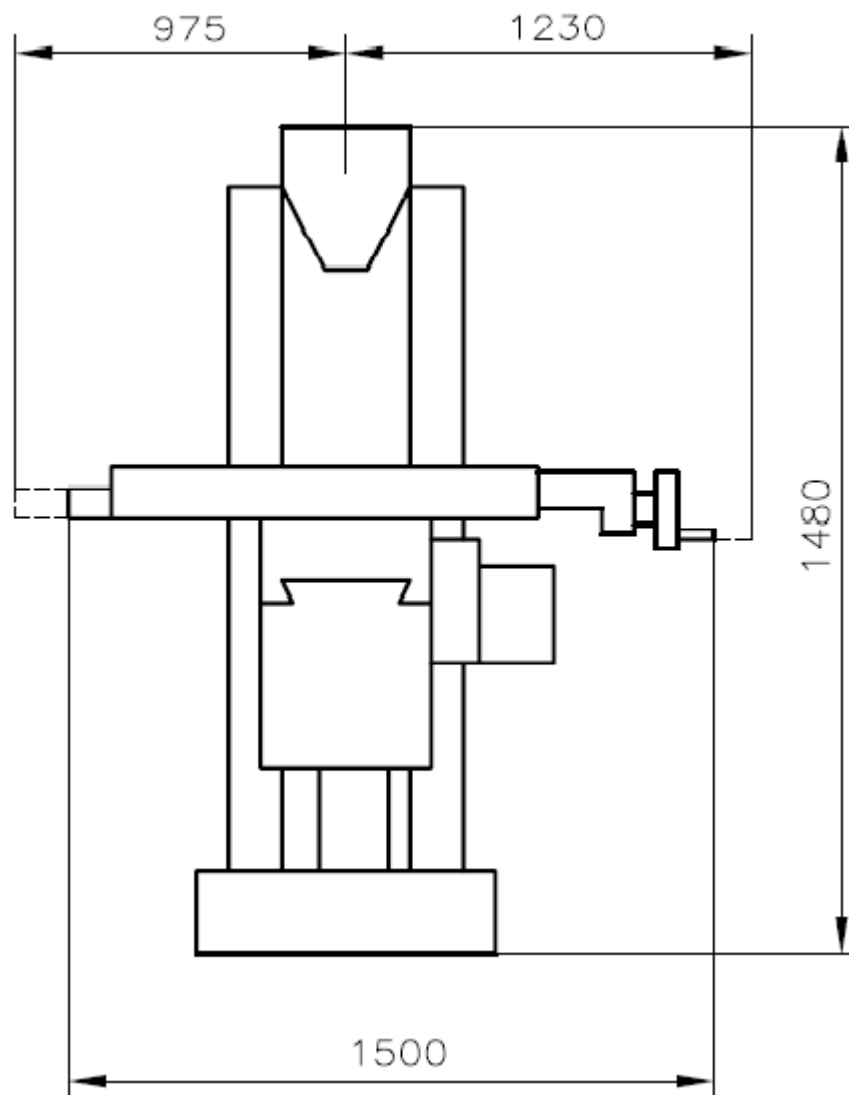


Figure 5.3 Dimensions de la fraiseuse

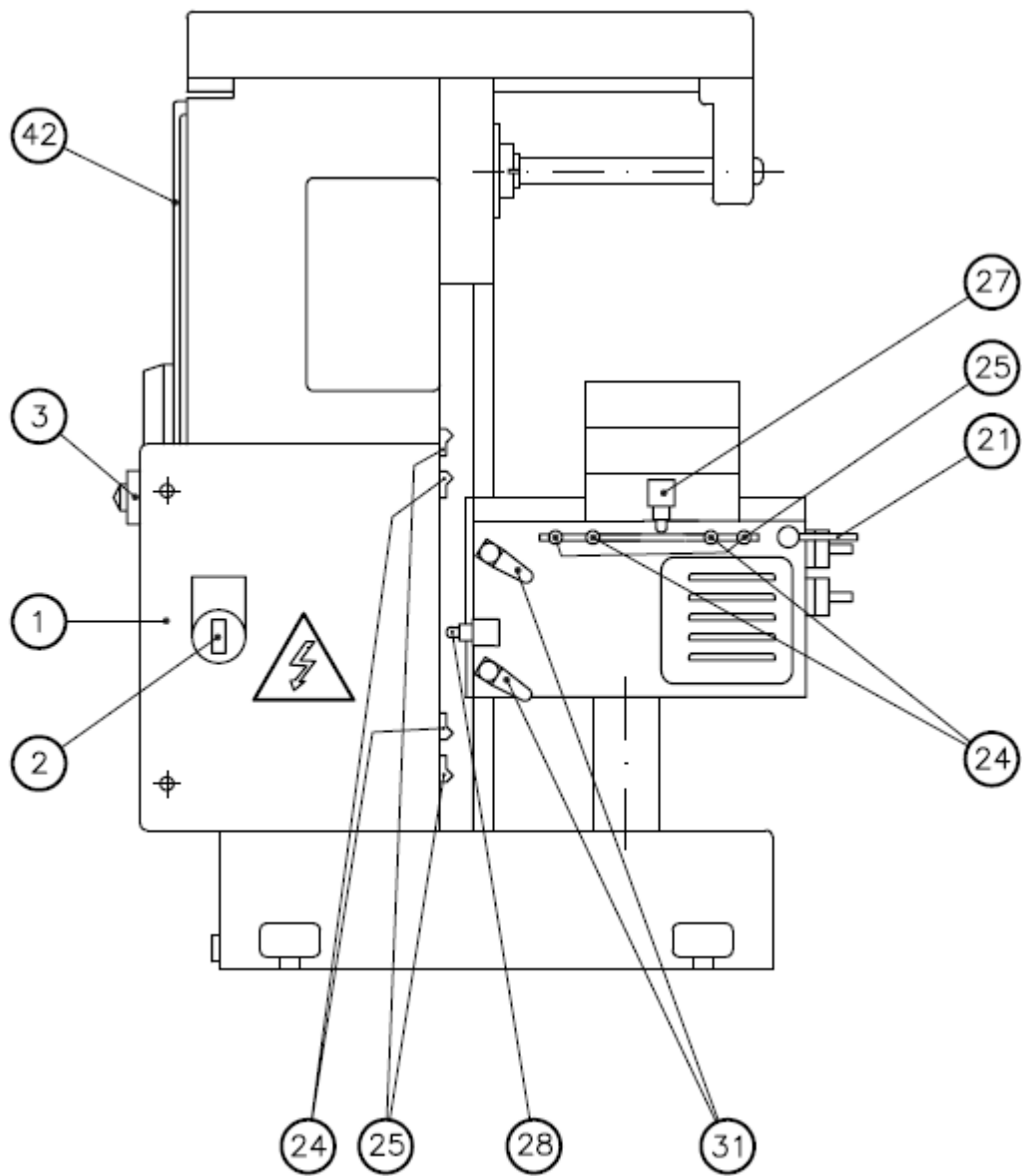


Figure 5.4 vu de droite de la fraiseuse.

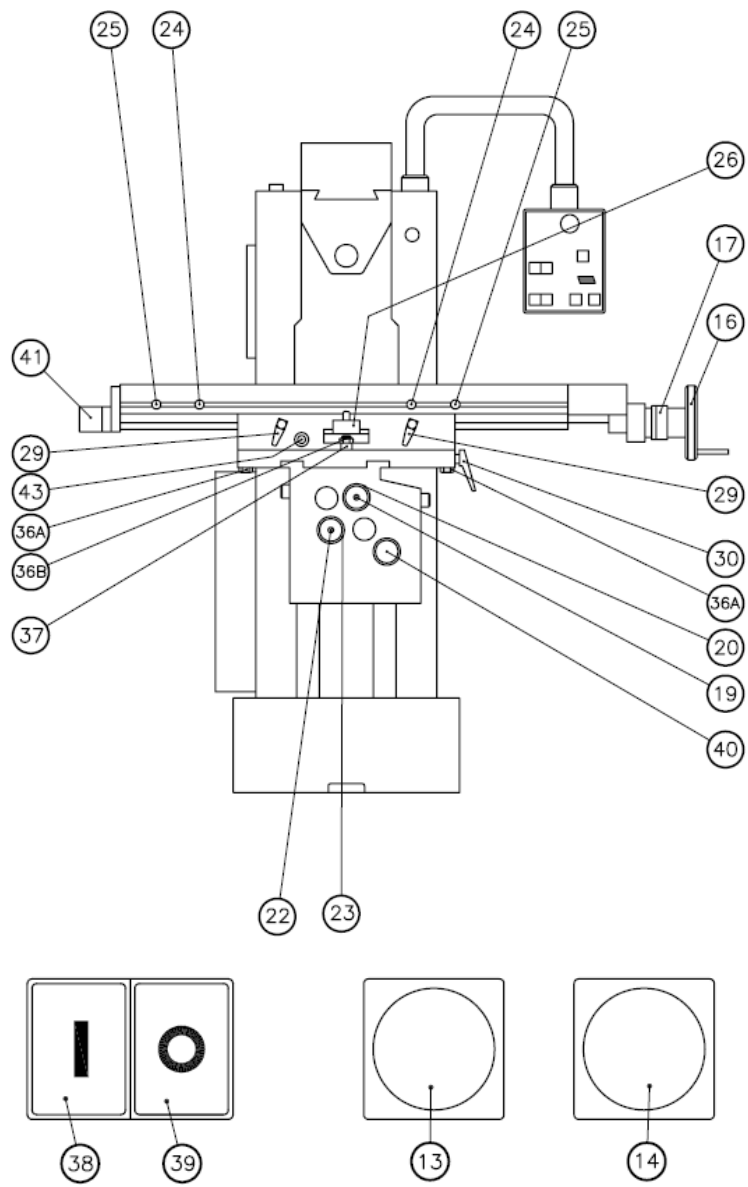


Figure 5.5 Vu de face de la fraiseuse.

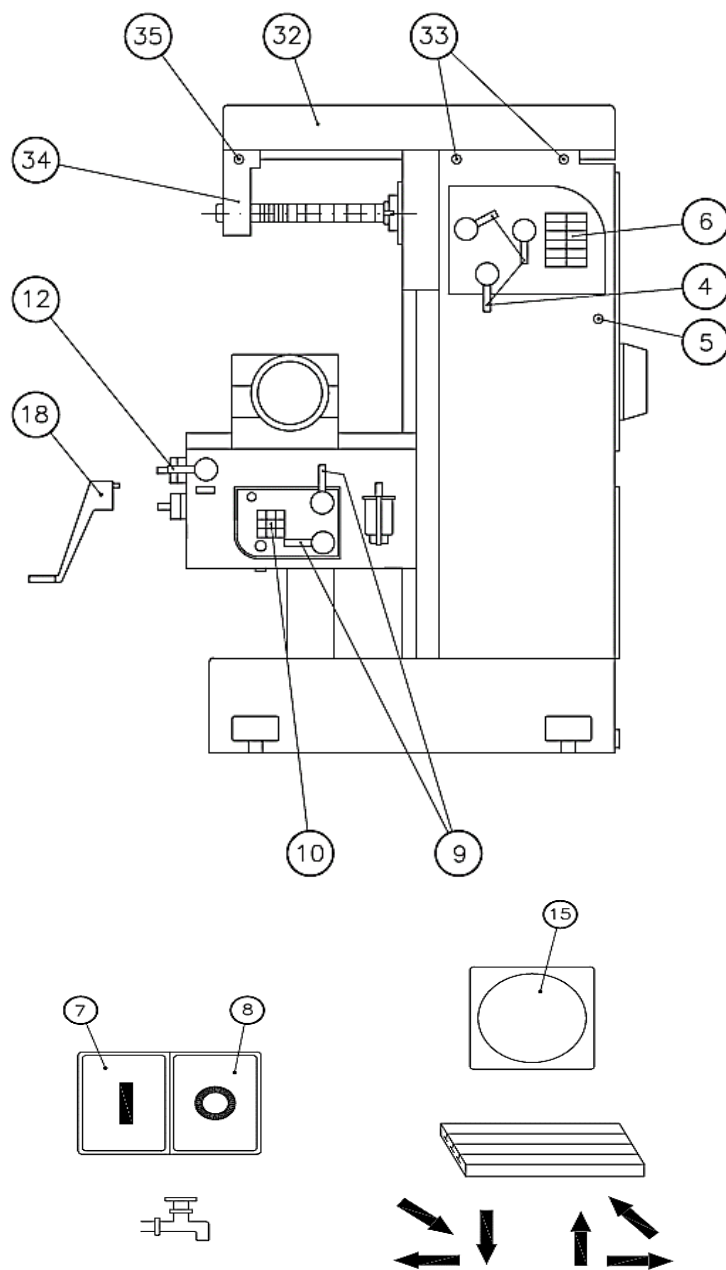


Figure 5.6 Vu de gauche de la fraiseuse.

Numéro	Désignation	Figure
1	armoire électrique	4
2	interrupteur principal	4
3	Inverseur	4
4	Leviers pour changer de vitesse	6
5	Bouton d'impulsion pour changer de vitesse	6
7	Bouton de démarrage des vitesses	6
8	Bouton d'arrêt des vitesses	6
9	Leviers pour le changement des avances	6
10	Plaque des avances	6

12	Levier d'embrayage Mouvement longitudinal et transversal	6
13	Bouton de démarrage des avances longitudinal et transversal	6
14	Bouton de démarrage des avances	6
15	Bouton d'arrêt des avances	6
16	Volant longitudinal	5
17	Vernier de déplacement longitudinal	5
18	Levier pour entrainement transversal et horizontal	6
19	Extrémité de l'axe transversal	5
20	Vernier du déplacement transversal	5
21	Levier d'embrayage mouvement vertical	4
22	Extrémité de la broche verticale	4
23	Vernier Vertical	4
24	Butées mobiles	4 et 5
25	Butées fixe	4 et 5
26	Course longitudinale finale	5
27	Fin de course transversale	4
28	Fin de course verticale	4
29	Leviers pour blocage longitudinal	5
30	Leviers pour blocage transversal	5
31	Leviers pour blocage vertical	4
32	Pont ou coulisseau	6
33	Vis pour serrage du pont	6
34	Support ou lunette	6
35	Vis pour support de serrage	6
36 (A-B)	Vis et écrous de serrage du chariot tournant	5
37	Ouverture du chariot	5
38	Bouton de démarrage du circuit de refroidissement	6
39	Bouton d'arrêt du circuit de refroidissement	6
40	Couvercle d'accès au limiteur de couple	5
41	Bouchon de l'extrémité de la vis longitudinal	5
42	Couvercle arrière	4

Tableau 5.2 de nomenclature des éléments constituant de la fraiseuse Milko 35r. [10]

2. Objectif de la modification :

Notre travail a pour but de modifier le déplacement de la table de la fraiseuse Milko 35r en le commandant numériquement c'est-à-dire changer les manivelles des déplacements

d'avances des axes X, Y et Z par des servomoteurs qui seront pilotés par ordinateur et cela pour avoir la possibilité de réaliser des pièces complexes en gérant les déplacements de plusieurs axes simultanément et leur donner plus de flexibilité et de précision que l'on trouve dans les machines CNC.

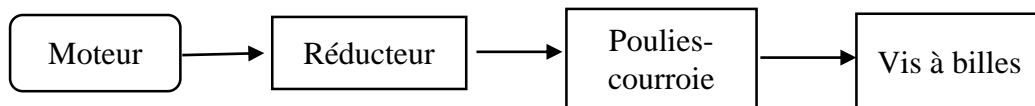
Cette modification donne, aux industriels à petit budget, une solution intéressante à quelques problèmes rencontrés avec la fraiseuse conventionnelle, telle que la précision, la complexité des pièces et le temps d'usinage.

Un tel investissement peut se révéler intéressant pour deux principales raisons ;

- **Premièrement** : le prix élevé de l'acquisition d'une fraiseuse CNC,
- **Deuxièmement** : la disponibilité et l'accessibilité sur le marché de plusieurs modèles de fraiseuses conventionnelles peuvent être une solution intéressante permettant d'avoir plus ou moins les mêmes services relativement.

3. Les Aspects techniques de la modification

La chaîne cinématique du mouvement est comme suit :



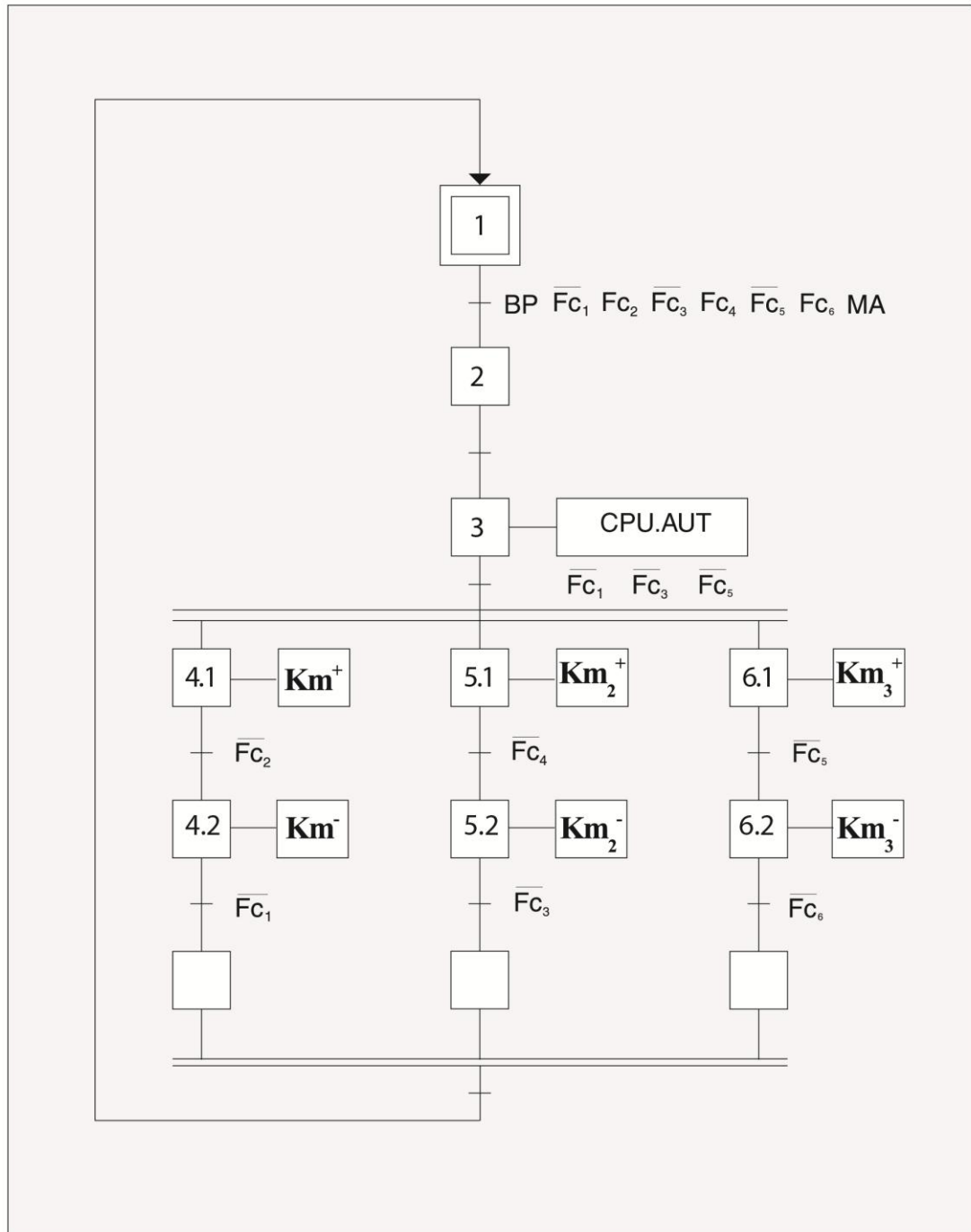


Figure 5.7 Grafcet fonctionnel de la machine.

\overline{Fc} : Fin de course n°1 en marche.

Fc : Fin de course au repos.

BP : bouton d'arrêt d'urgence.

MA : Bouton marche/arrêt.

Km^+ : moteur en marche déplacement

vers la gauche.

Km^- : moteur en marche déplacement

vers la droite.

a) Transformation de mouvement :

Nous aurons besoin d'une technologie d'entraînement de haute performance. Nous avons opté pour le système « vis à billes », comme cités au chapitre 2 de ce document, parce qu'elles offrent un très bon rendement dû aux billes qui assurent le contact entre l'écrou et la vis.

Pour cette modification, on va remplacer les vis trapézoïdales d'origine des trois axes X, Y et Z de la fraiseuse par un système de vis à billes neufs.

Les vis à billes que nous avons choisies sont détaillées dans ce qui suit :

- Pour l'axe X et Y, la charge à déplacer n'est pas aussi importante par rapport à l'axe Z donc on a choisi 2 types différents de vis.
- Pour l'axe X et Y selon le catalogue de la marque HPC, on a choisi une vis de même diamètre \varnothing que la vis trapézoïdale d'origine de caractéristiques suivantes :

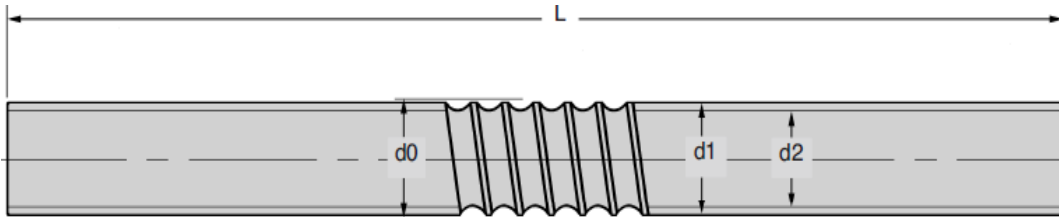


Figure 5.8 dimensions de la vis à billes. [16]



Figure 5.9 Vis à billes avec écrou. [16]

Référence	Diamètre de vis \varnothing [mm]	Pas [mm]	d1 [mm]	d2 [mm]
KGS2505-1000TR7	25	5	24.5	21.9

Tableau 5.3 : Données techniques pour les axes : X et Y. [16]

Pour l'axe Z on a choisi une vis :

Référence	Diamètre de vis \varnothing	Avance par Tour (mm)	d1	d2
KGS3205-1000TR7	32	5	31.5	28.9

Tableau 5.4 : Données techniques pour l'axe Z. [16]

b) Servomoteur :

Le choix du servomoteur a été fait en fonction de sa vitesse de rotation et du couple nécessaire pour entrainer la vis trapézoïdale et déplacer la table selon les trois axes X, Y et Z ; pour mesurer ce couple on a procédé par une méthode empirique qui consiste à utiliser une clé dynamométrique. Nous allons donner une brève description d'une clé dynamométrique, et une explication de la procédure expérimentale de l'estimation du couple.

Clé dynamométrique :

Une clé dynamométrique est un outil qui permet de contrôler le couple de serrage des écrous et des vis afin que ceux-ci soient montés de manière optimale. On peut, classer ces clefs dynamométriques en deux groupes :

- les clefs à déclenchement qui signalent l'atteinte de la valeur du couple, ces clés peuvent être à valeur fixe ou réglables (en général à l'aide d'une bague que l'on positionne sur le couple choisi).
- et celles à lecture directe qui affichent la valeur en cours.

La clé dynamométrique utilisée est une clé d'intervalle 1Nm à 20Nm.



Figure 5.10 Clé dynamométrique.

Pour notre cas on a choisi une clé à déclenchement pour la mesure du couple d'entraînement de la vis.

La méthode opératoire :

On a commencé par enlever la manivelle qui entraine la table, puis on a conçu une pièce d'adaptation entre la sortie de la vis et la clé dynamométrique (de forme hexagonale).

On a utilisé deux méthodes de mesure de couple car le couple de démarrage est plus élevé qu'en avance lente.

Définition de l'à-coup (voir chapitre4)

Pour l'axe X

1) **A vide** : pour commencer, on a choisi le couple le plus faible et on a fait tourner manuellement la clé dynamométrique. Pour un couple de 1Nm la clé s'est déclenchée, ce qui veut dire que le couple nécessaire pour entrainer la vis est supérieur à celui de la clé choisie. Pour 4Nm la clé a tourné librement sans se déclencher, ce qui veut dire que le couple nécessaire pour entrainer la vis est égal ou inférieur au couple préréglé de la clé.

2) **Avec à-coup** : après qu'on a pu faire tourner la clé librement à 4 N.m, on a essayé d'exercer une accélération ou un « a coup » (en anglais : jerk) sur la clé, cette fois si elle s'est déclenché. On a augmenté le couple jusqu'à 5 Nm. Donc 5Nm est le couple nécessaire pour entrainer la vis avec à coup.

Pour l'axe Y :

1) **A vide** : Le couple d'entraînement est de 4 Nm.

2) **Avec à-coup** : Le couple exercé avec à coup est de 5Nm.

Pour l'axe Z :

1) **A vide** : la mesure du couple a été faite en déplaçant la table de bas en haut, car le couple est plus important que la descente. En suivant le même protocole expérimental, on a obtenu 11 Nm.

2) **Avec à-coup** : Le couple exercé avec à-coup est de 15 Nm.

Remarque : ces estimations peuvent varier selon les jeux existants dans les glissières, le graissage, les impuretés se trouvant dans les glissières.

D'après le catalogue du servomoteur du constructeur Schneider on a opté pour la commande de mouvement Lexium 32 Servo moteurs BSH, choix, basé sur plusieurs critères.

Description

Les Servomoteurs BSH, constitués d'un stator triphasé et d'un rotor 6 à 10 pôles, comprennent :

1. Une carcasse protégée par peinture de couleur noir opaque RAL 9005.
2. Une bride de fixation axiale 4 points.
3. Un bout d'arbre, lisse ou avec clavette (selon le modèle).
4. Un connecteur droit mâle étanche à visser pour le raccordement du câble puissance.
5. Un connecteur droit mâle étanche à visser pour le raccordement du câble contrôle (codeur). [14]

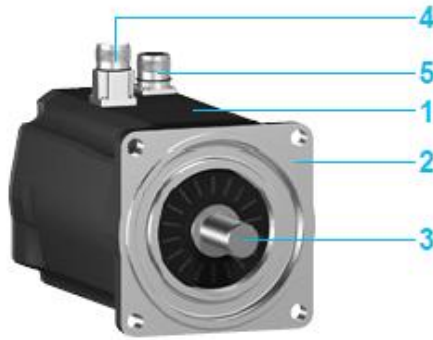


Figure 5.11 Servomoteur BSH.

Caractéristique du servomoteur :

Vitesse nominale : 8000 tr/min

Couple nominal : 0.43 Nm

Couple de pointe : 1.4 Nm

Puissance : 0.41 KW

c) Servo drive

Le système de servocommande ou servo drive est un amplificateur électronique spécial utilisé pour alimenter les servomécanismes électriques.

Un servovariateur surveille le signal de retour du servomécanisme et ajuste la déviation du comportement attendu continuellement.

Une servocommande reçoit un signal de commande provenant d'un système de commande, amplifie le signal et transmet un courant électrique à un moteur d'asservissement afin de produire un mouvement proportionnel au signal de commande.

Typiquement, le signal de commande correspond à une vitesse souhaitée, mais peut aussi représenter un couple ou la position souhaitée. Un capteur fixé sur le servomoteur signale le statut réel du moteur vers le variateur. Le servo variateur compare alors l'état réel du moteur avec l'état du moteur commandé. Il modifie alors la fréquence de la tension ou de la largeur d'impulsion au moteur de manière à corriger tout écart par rapport à l'état commandé

Le servo drive choisi est compatible avec le servomoteur d'après le catalogue du constructeur Schneider, sa référence est LXM32MU45M2.

Cette gamme de contrôle de mouvement offre une réduction des vibrations avec calcul automatique des paramètres, observateur de vitesse, plus le filtre bande d'arrêt. Cette optimisation accroît la productivité de la machine. [14]



Figure 5.12 Commande et pilotage du Servomoteur.

d) Réducteur de vitesse

Pour adapter les vitesses et les couples de fonctionnement, la commande de mouvement nécessite l'utilisation de réducteurs planétaires, tout en assurant la précision exigée par l'application.

Ce réducteur est composé de trois éléments concentriques, à savoir :

- Un pignon planétaire central.
- Une grande couronne à denture interne.
- Trois satellites solidaires d'une platine porte-satellites et toujours en prise simultanément avec la grande couronne et le pignon planétaire.

Les réducteurs planétaires peuvent supporter des couples et des rapports de réductions plus élevés que les réducteurs à étage.[9]

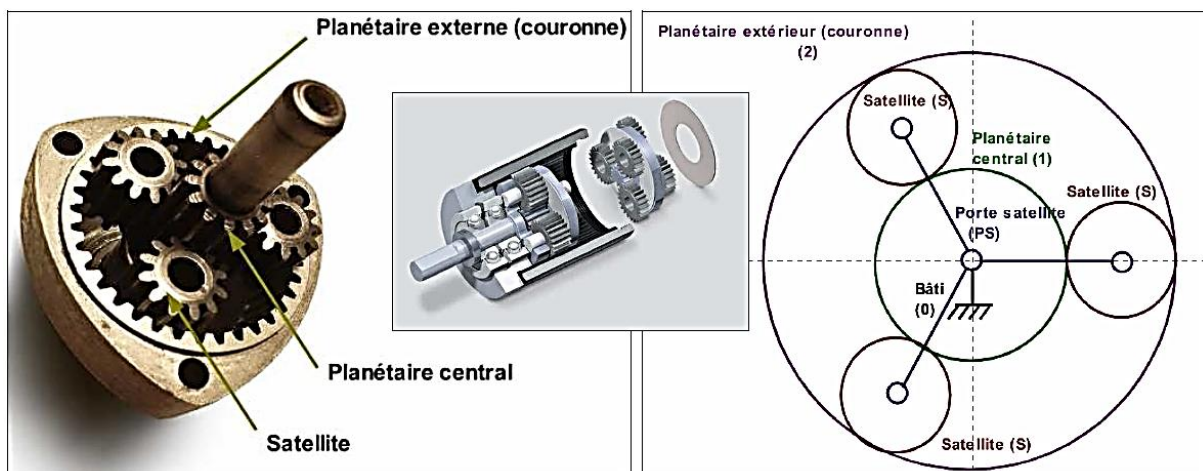


Figure 5.13 Réducteurs planétaires.

On a opté pour un réducteur de référence GBY060040K qui s'adapte avec la gamme BSH de servomoteurs de rapport de réduction de 1 :40.

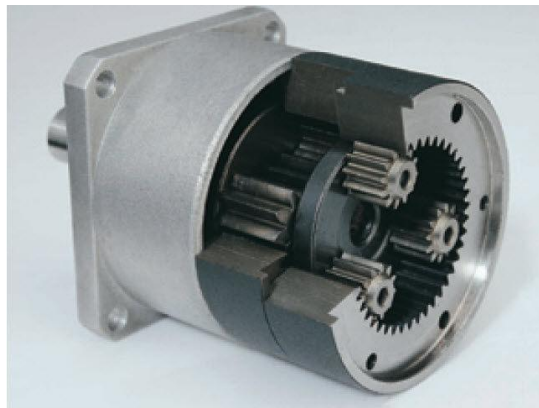


Figure 5.14 Réducteur de vitesse GBY060040K. [14]

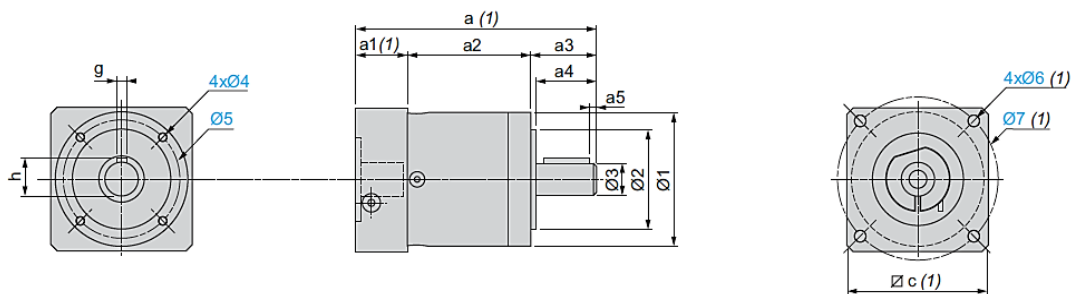


Figure 5.15 Dimensions du réducteur de vitesse GBY060040K.

Pour diminuer la vitesse du servomoteur et augmenter le couple à la sortie du moteur on a utilisé un réducteur de vitesse de caractéristique suivante :

Rapport de réduction **40 :1**.

Rendement $\eta = 92\%$

On aura à la sortie du réducteur :

$$R = \frac{N_s}{N_e} \Rightarrow N_s = R \cdot N_e$$

Avec :

N_m : Vitesse du moteur[tr/min].

N_s : Vitesse de sortie de réducteur[tr/min].

R : Rapport de réduction.

Après calcul on a obtenu : Vitesse à la sortie du réducteur : 200 tr/min. Cette vitesse représente la vitesse d'entrée de la vis à billes des trois axes. Donc la vitesse d'avance maximale est de :

$$V_a = N_s \cdot P$$

Avec

P : le pas de la vis

La vis à billes choisie possède un pas de 5mm/tr. Après calcul, la vitesse d'avance maximale est de 1000 mm/min.

On calcule à présent la puissance à la sortie du réducteur :

$$\eta = \frac{P_s}{P_m}$$

Avec :

P_m : Puissance du moteur[Kw].

P_s : Puissance à la sortie du réducteur[Kw].

η : Rendement du réducteur.

Après calcul on a obtenu la puissance à la sortie du réducteur est de : 0.37 KW.

Maintenant on calcule le couple à la sortie du réducteur :

$$P_s = C \cdot \omega_s \Rightarrow C = \frac{P_s}{\omega_s}$$

Avec :

ω_s : Vitesse angulaire[rad/s].

C : Couple a la sortie du réducteur.

Après calcul le couple à la sortie du réducteur est de : 18 N.m.

Comparaison avec les résultats théoriques :

D'après l'étude théorique du chapitre 4, on remarque que les résultats obtenu sont assez proches des résultats qu'on a obtenu avec la méthode d'estimation avec clé dynamométrique.

On remarque que les résultats empiriques sont un peu plus supérieurs que les résultats théoriques. N'oublions pas que la machine est ancienne donc cette différence est due aux frictions existant dans les glissières de type « queue d'aronde », le manque de lubrification et l'usure dans les vis. Tous ces facteurs augmentent la valeur du couple.

e) Accouplement :

Il est dit « Accouplement » tout système qui permet la transmission de mouvement rotatif d'un arbre moteur à un arbre récepteur. Les accouplements peuvent être permanents ou non, pour notre travail on s'intéressera uniquement aux permanents, et sont souvent classés selon la configuration des bouts d'arbre, et la rigidité entre ceux-ci, on cite :

Accouplement rigide :

Ce type de liaison consiste à lier de façon rigide les deux arbres d'un système. Généralement, une pièce intermédiaire crée la liaison. Il existe de nombreux montages: vis de pression, serrage par mâchoires, montage en force, clavetage ...[11]

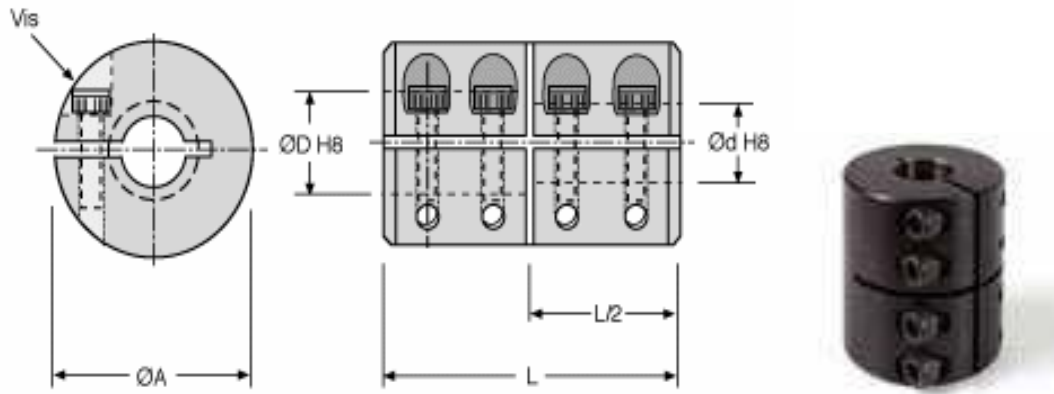


Figure 5.16 accouplement rigide: serrage par mâchoires.

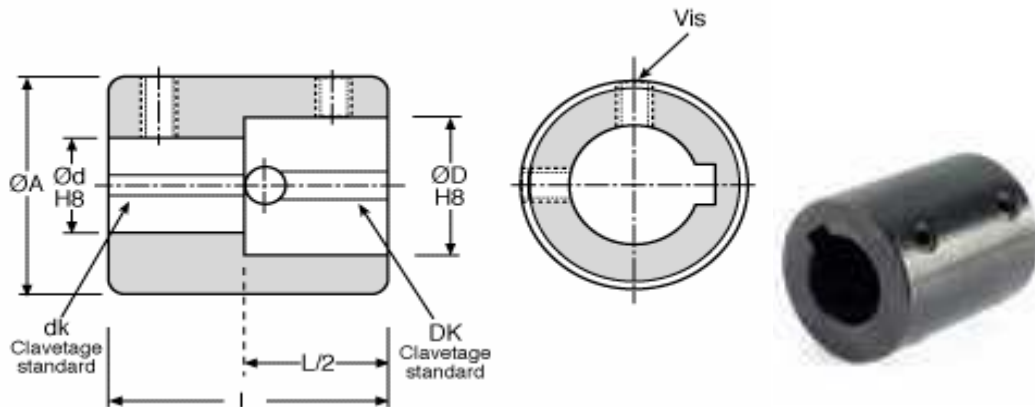


Figure 5.17 accouplement rigide : serrage par vis de pression.

Le principal inconvénient des accouplements rigides est qu'ils ne tolèrent pas de défaut d'alignement entre les arbres.

Accouplements semi-élastiques

Il existe des accouplements dits « semi élastiques » qui permettent de rattraper de petits défauts d'alignement (typiquement les défauts d'usure). Ces accouplements sont généralement constitués de deux parties rigides solidaires des arbres et d'une partie légèrement flexible qui rattrape les défauts d'alignement.

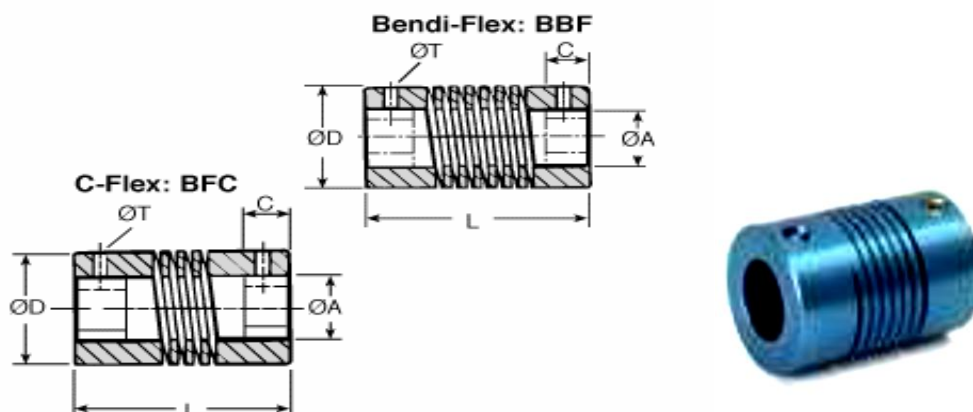


Figure 5.18 Accouplements Bendi-Flex et C-Flex.

Il existe une multitude d'accouplements de ce type. Les critères devant être pris en compte lors du choix sont : le prix, l'encombrement, la vitesse de rotation maximum, le désalignement angulaire, le désalignement axial et radial et la durée de vie.

Ces accouplements présentent généralement d'excellentes propriétés homocinétiques. C'est-à-dire que le mouvement de l'arbre de sortie est fidèle au mouvement de l'arbre moteur. [11]

Homocinétique: se dit d'une liaison qui permet à deux arbres, même non alignés, de conserver une vitesse de rotation identique.

Accouplements élastiques

Basés sur le même principe que les accouplements semi-élastiques, ceux-ci supportent des désalignements plus importants mais ne conservent pas les propriétés homocinétiques. Sur l'exemple ci-dessous, on devine facilement un retard entre le mouvement des deux arbres. Ce retard est dû à la torsion de la partie flexible.

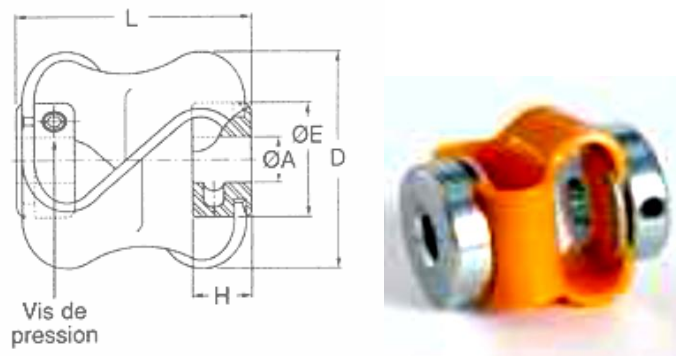


Figure 5.19 accouplement élastique P-flex.

Pour notre cas on a opté pour un accouplement rigide qui ne présente pas la problématique du décalage angulaire au moment du démarrage où un à-coup peut engendrer une déformation angulaire, nuisible à la précision de l'usinage. Il est intéressant de mentionner que le point fort des accouplements élastiques, représente pour notre travail une défaillance, car le fait d'absorber et d'amortir les irrégularités du couple induit des erreurs de déplacements. [11]

f) Poulies courroies

Courroie : lien flexible destiné à assurer une transmission de puissance entre un arbre moteur et un arbre récepteur dont les axes peuvent occuper diverses positions relatives. [11]

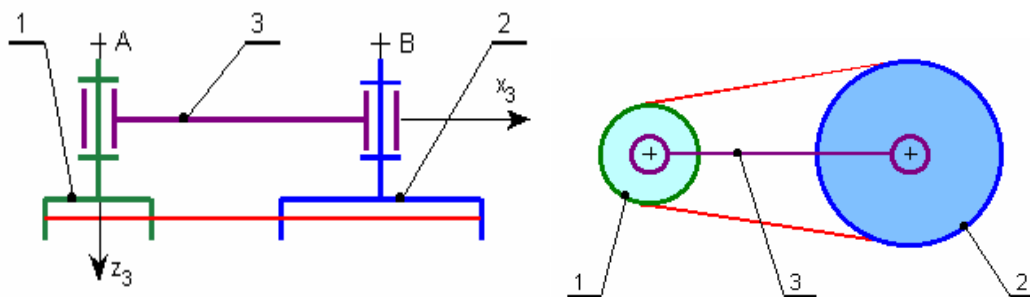


Figure 5.20 schéma cinématique d'une liaison par poulie courroie.

1- Roue 1.

2- Roue 2.

3- Entraxe entre les roues.

Les équations régissant les systèmes poulies-courroies sont basées sur 3 hypothèses

:

- La courroie est inextensible : en pratique, les courroies sont armées avec une tresse métallique.
- La courroie reste tendue: il faut prévoir un tendeur soit sur la courroie, soit prévoir un réglage sur une des deux poulies (modifier l'entraxe).
- Il y a non glissement entre la courroie et les poulies : en pratique, choisir des courroies crantées (on parle de courroie synchrone). [11]

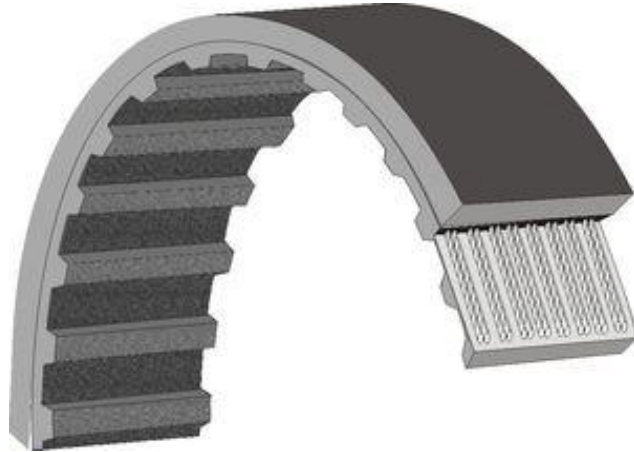


Figure 5.21 une courroie crantée armée.



Figure 5.22 Système poulie courroie avec tendeur.

Rapport de transmission

Voici la relation liant les couples et les vitesses de rotation :

$$\frac{\omega_{2/3}}{\omega_{1/3}} = \frac{\Gamma_1}{\Gamma_2} = \frac{d_1}{d_2}$$

Avec :

$\omega_{i/3}$: vitesse de rotation de la pièce i par rapport au bâti 3.

Γ_i : couple exercé par/sur la pièce i .

d_i : diamètre primitif de la poulie i .

Pour notre cas on a choisi deux poulies avec courroie synchrone, pour transmettre le mouvement du moteur jusqu'à la vis. Les poulies choisies sont de même diamètre c'est-à-dire pas de réduction de vitesse :

$$\eta = \frac{P_s}{P_e}$$

Avec :

P_s : Puissance de sortie de la poulie.

P_e : Puissance d'entrée de la poulie.

η : Rendement de la courroie synchrone = 0.98.

4. La commande Mach 3

Mach3 développé par ArtSoft, est un assortiment de logiciels qui fonctionne sur un ordinateur et transforme celui-ci en un très puissant et économique système de contrôle des machines ou un directeur de commande à commande numérique(DNC).

Il est très riche en fonctionnalités et offre une grande valeur pour ceux qui ont besoin d'une interface de commande CNC. Bien que comprenant de nombreuses fonctionnalités avancées, il est l'un des logiciels de contrôle CNC le plus intuitif disponible

Il est personnalisable et a été utilisé pour de nombreuses applications avec de nombreux types de matériel. Il fonctionne sur la plupart des PC Windows pour contrôler le mouvement des moteurs (pas à pas et servo) par le traitement G-Code. [15]



Figure 5.23 Logiciel de commande mach 3.

Principaux avantages du programme sont :

- Sa flexibilité - possibilité de créer des interfaces utilisateur propre, transparentes et adaptées aux applications pour chaque machine spécifique.
- Capacité à s'étendre les fonctionnalités du programme par le biais de macros, rédigés en simple et connu par beaucoup de gens - Visual Basic.
- Facile à utiliser : ceux qui sont déjà familiarisé avec les machines CNC sont capables d'apprendre toutes les fonctions générales et les règles d'utilisation du programme de Mach3 – en une journée.

Mach3 Fraisage utilise un programme pour contrôler le mouvement de l'outil de la fraiseuse, il peut être écrit à la main ou être généré en utilisant un ensemble CAO/FAO (conception assisté par ordinateur/fabrication assisté par ordinateur).

L'importation de fichiers graphiques aux formats DXF, HPGL, BMP ou JPEG donne un niveau intermédiaire de programmation. C'est plus facile que de programmer à la main mais cela offre moins de contrôle de la machine qu'un programme généré par un package CAO/FAO.[15]

Types d'objets sur les écrans

L'écran d'accueil (Program Run) affiche les objets suivants :

- **Des boutons** (par ex. reset, l'Alt-S d'Arrêt, etc.).
- **Des visus** (DRO) ou afficheur Numérique. Les principales visus sont les positions actuelles des axes X, Y, Z, A, B & C.
- **Des voyants** (dans des dimensions et des formes différentes).
- **La fenêtre Gcode** (avec ses propres barres de défilement).
- **L'afficheur du parcours d'outil.**

Il y a un type important de contrôle qui n'est pas sur l'écran **automatique** :

- **La ligne MDI** : permet de donner des instructions manuellement.

Les boutons et la ligne MDI sont vos manières de communiquer avec Mach3.

Les visus peuvent être affichés par Mach3 ou peuvent être utilisés comme des outils de communications.

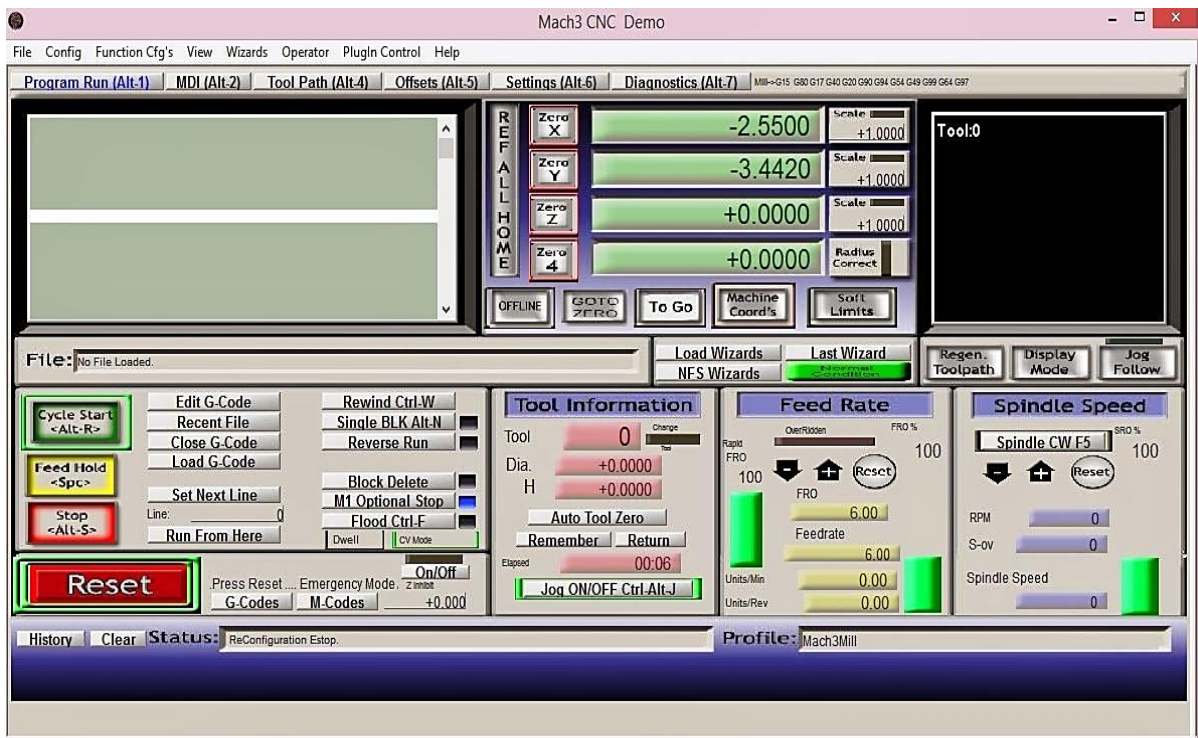


Figure 5.24 Ecran de contrôle Mach3.

Pour usiner une pièce, il faut avoir le code G de l'usinage de cette pièce. Sur **Mach 3**, trois méthodes sont disponibles :

- 1- Saisir un programme manuellement : un programme peut être écrit en utilisant l'éditeur à l'extérieur de Mach3 et en sauvegardant le fichier ou en cliquant sur bouton Editer G code (Edit) alors qu'aucun programme d'usinage n'est chargé.

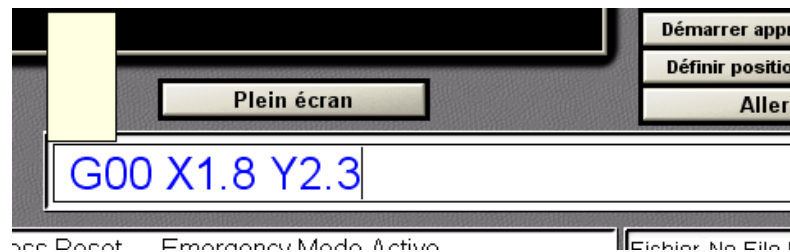


Figure 5.25 L'entrée de données manuelle MDI.

- 2- Charger et éditer un programme préexistant : Si vous avez un programme d'usinage écrit manuellement ou généré dans un programme CAO/DAO (CAD/CAM), vous pouvez le charger dans Mach3 en utilisant le bouton charger Gcode (Load G- Code). Vous choisissez le fichier à charger dans une fenêtre standard de Windows ou à partir de la liste des fichiers récemment utilisés disponible par le bouton fichier récent (Recent Files). Un Éditeur de code permet d'éditer le code en cliquant sur le bouton éditer G-code (Edit).
- 3- faire un programme G-code par l'importation de fichier :

Mach3 offre aussi la possibilité de convertir des fichiers au format DXF, HPGL ou JPEG en un fichier G-code correspondant. On vous demandera les paramètres de conversion et les options de vitesse et de lubrification que vous désirez. Mach3 va créer

un fichier .TAP qui contient le G-code généré, ensuite on vous demandera le nom du fichier et le répertoire de sauvegarde. [15]

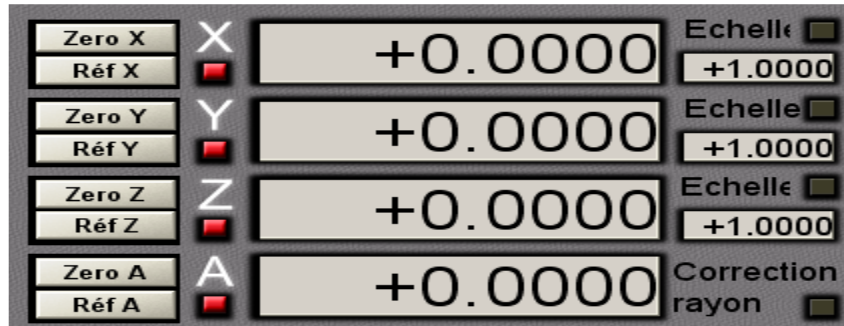


Figure 5.26 contrôle des axes.

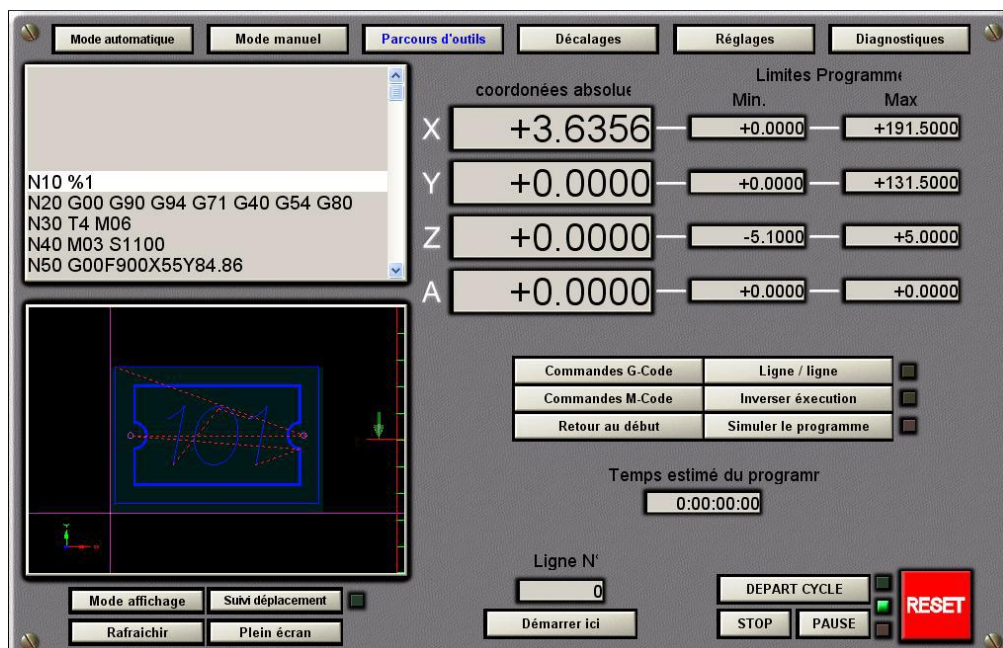


Figure 5.27 Exemple d'application sur Mach3.

5. Modélisation

Dans cette partie on va faire une modélisation de la modification de la fraiseuse « Milko 35r », Pour cela, nous avons utilisé un outil informatique de conception assistée par ordinateur (CAO) et de dessin par ordinateur (DAO) afin de faire la modélisation initiale de la fraiseuse. On a utilisé le logiciel SolidWorks version 2013.

La modélisation de la table de la fraiseuse avec les dimensions exactes prises de la machine :

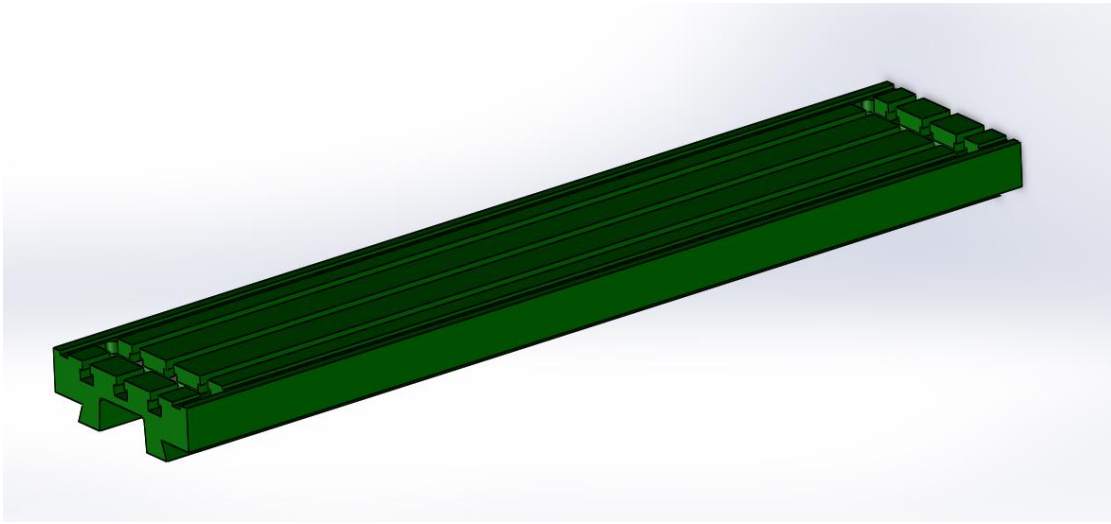


Figure 5.28 Modélisation de la table de la fraiseuse.

Après démontage de la table on trouve la partie ou la vis à billes de l'axe X va être montée :

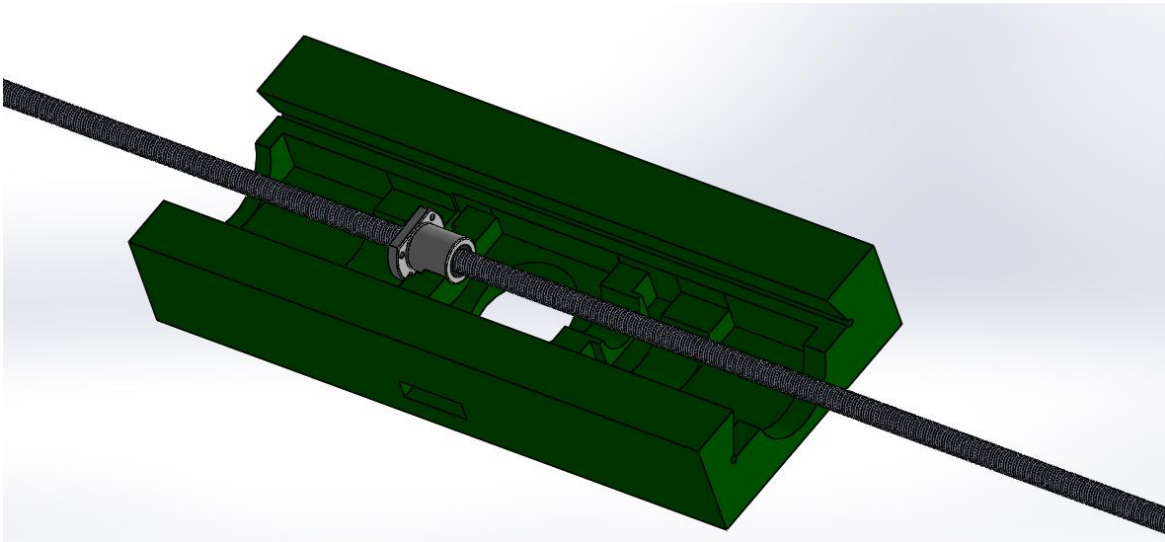


Figure 5.29 Fixation de la vis à billes de l'axe X avec le bâti.

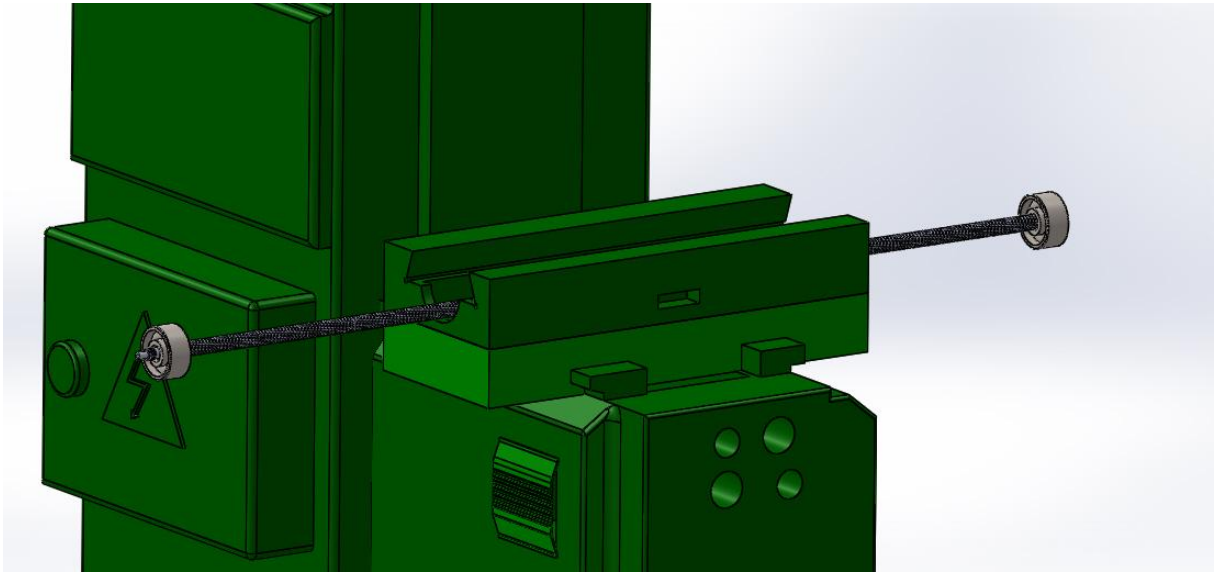


Figure 5.30 Machine sans table.

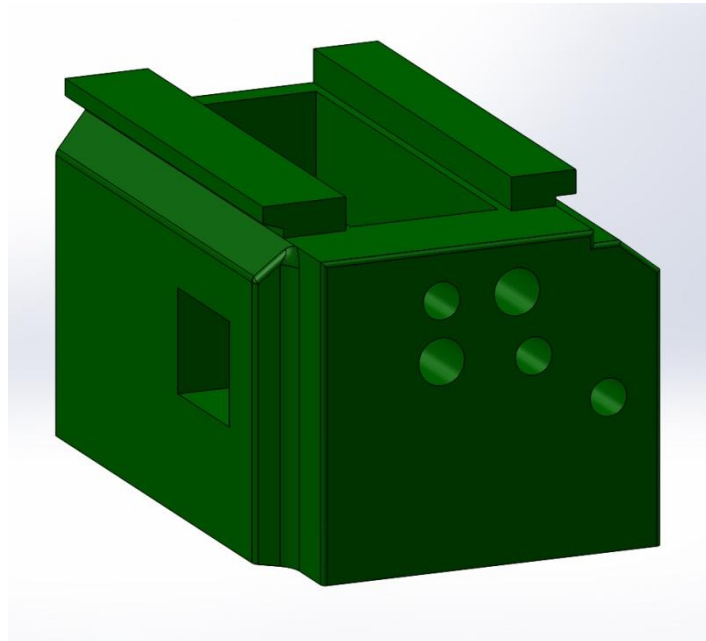
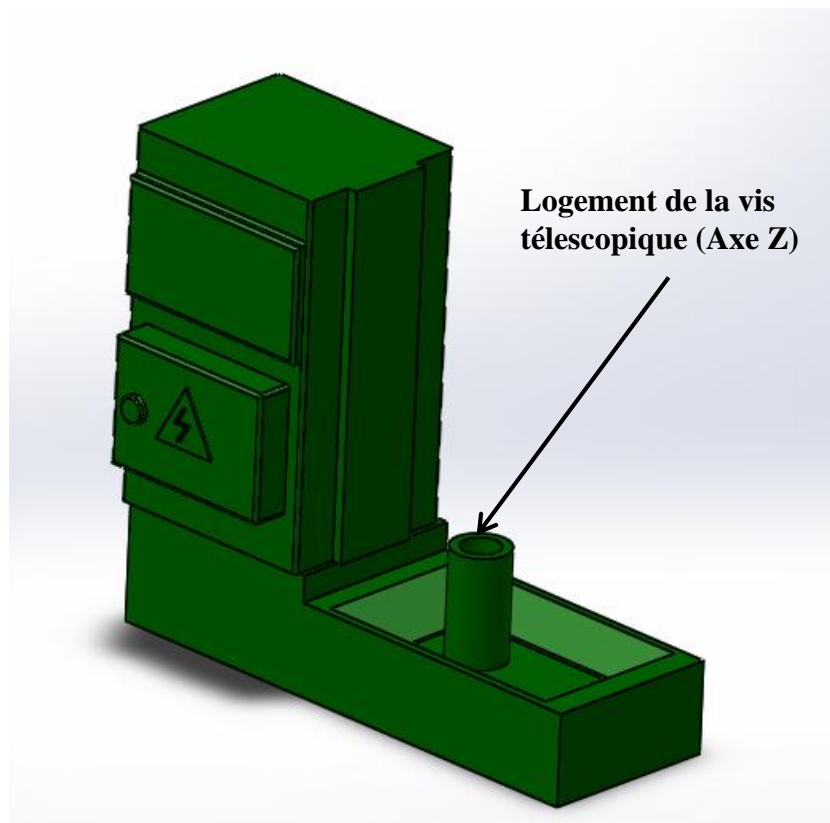


Figure 5.31 Partie inférieure de la machine.



Logement de la vis
télescopique (Axe Z)

Figure 5.32 Bâti de la machine.

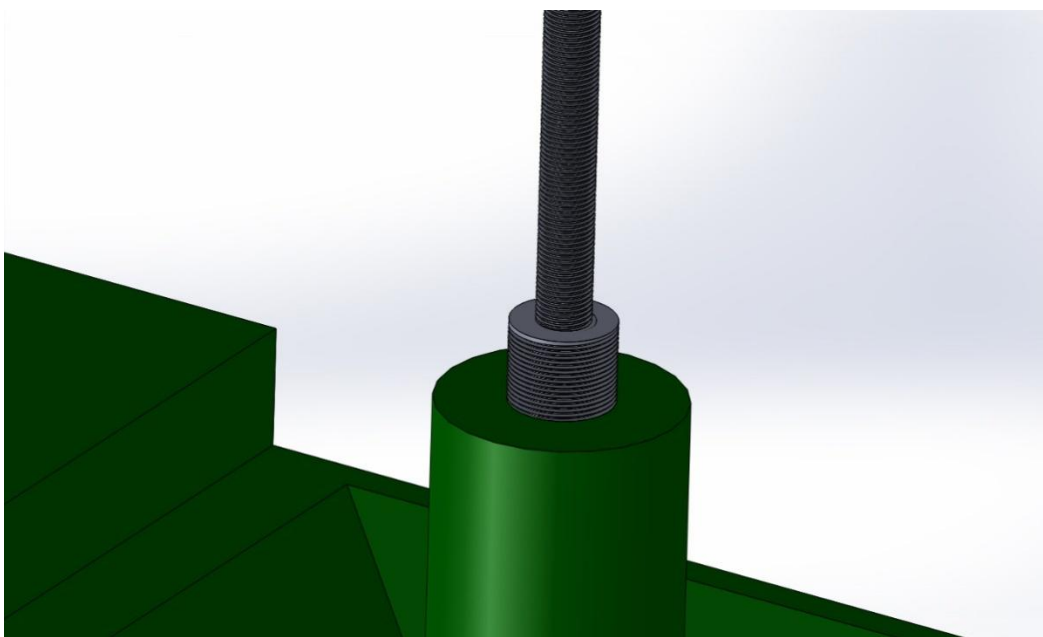


Figure 5.33 Vis télescopique de l'axe Z.

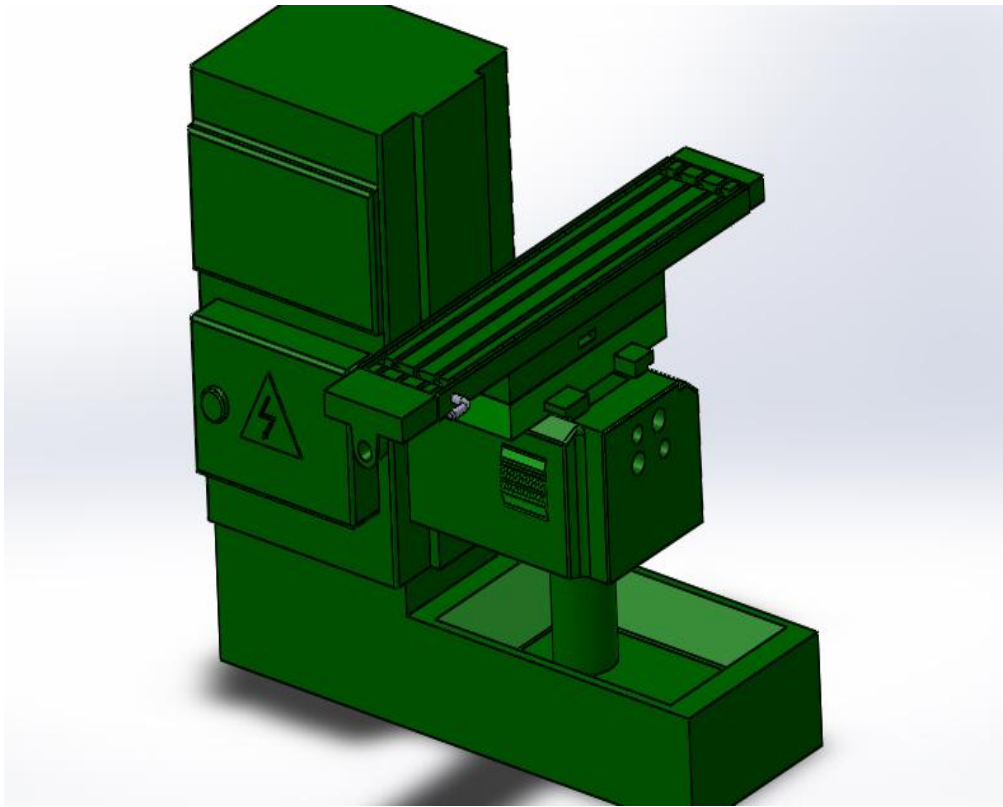


Figure 5.34 Vue complète de la machine 3D.

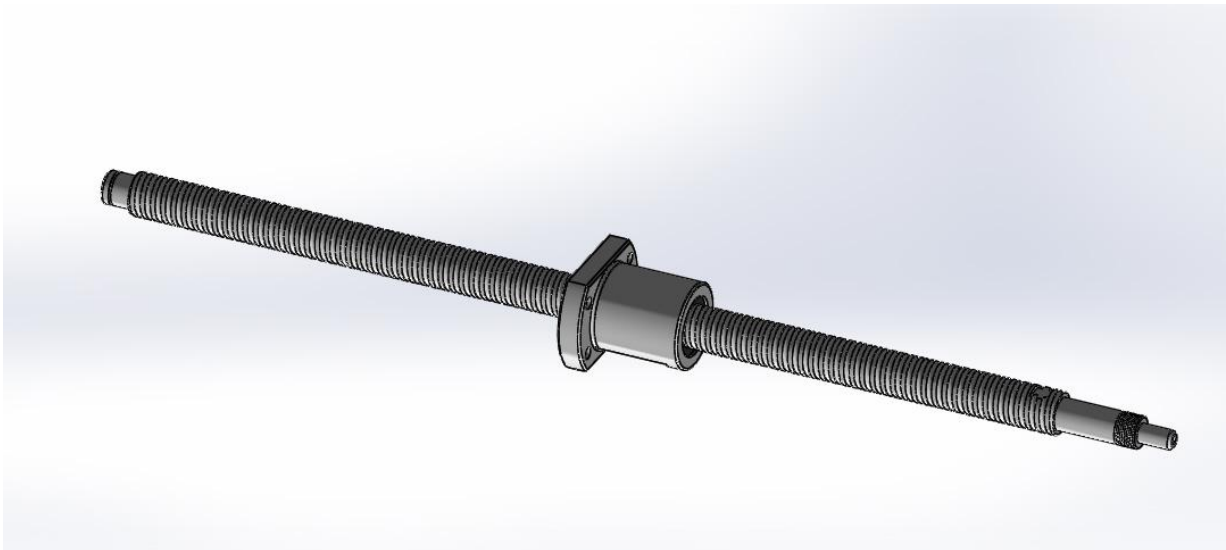


Figure 5.35 Modélisation de la vis à billes avec écrou.

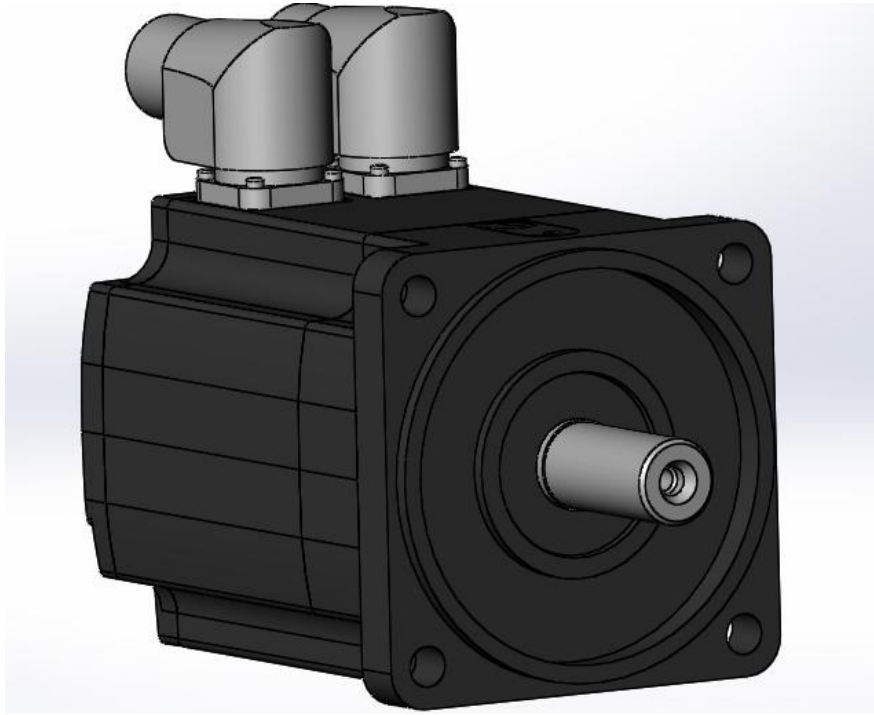


Figure 5.36 Modélisation du servomoteur.

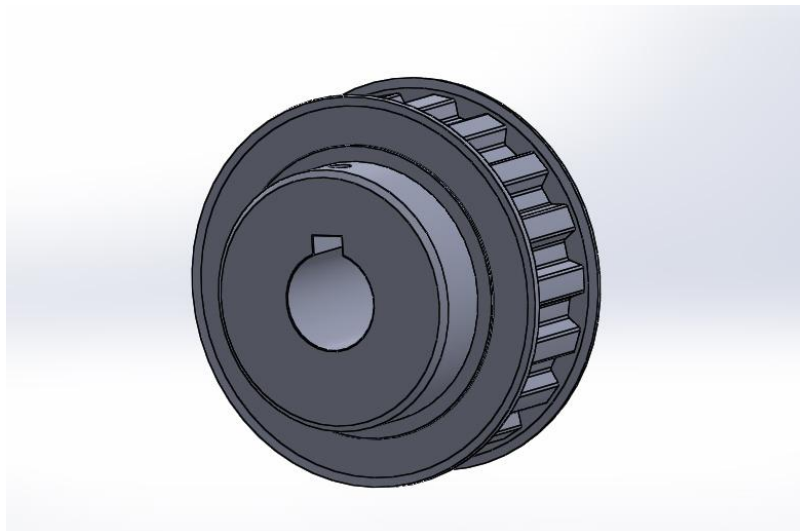


Figure 5.37 Modélisation d'une poulie crantée.

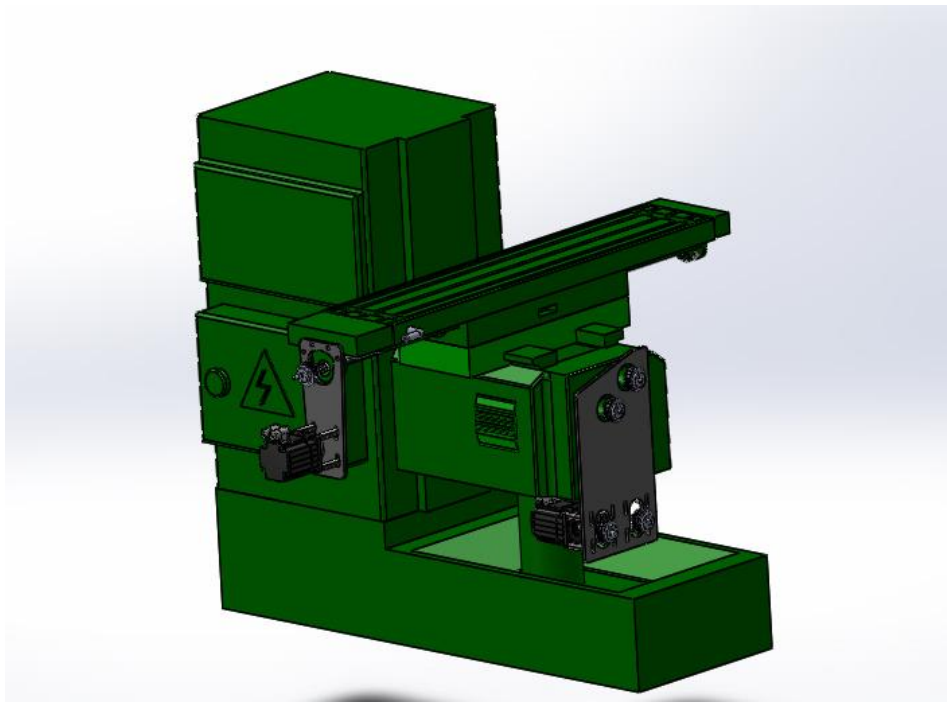


Figure 5.38 Vue 3D de la modélisation complète de la machine.

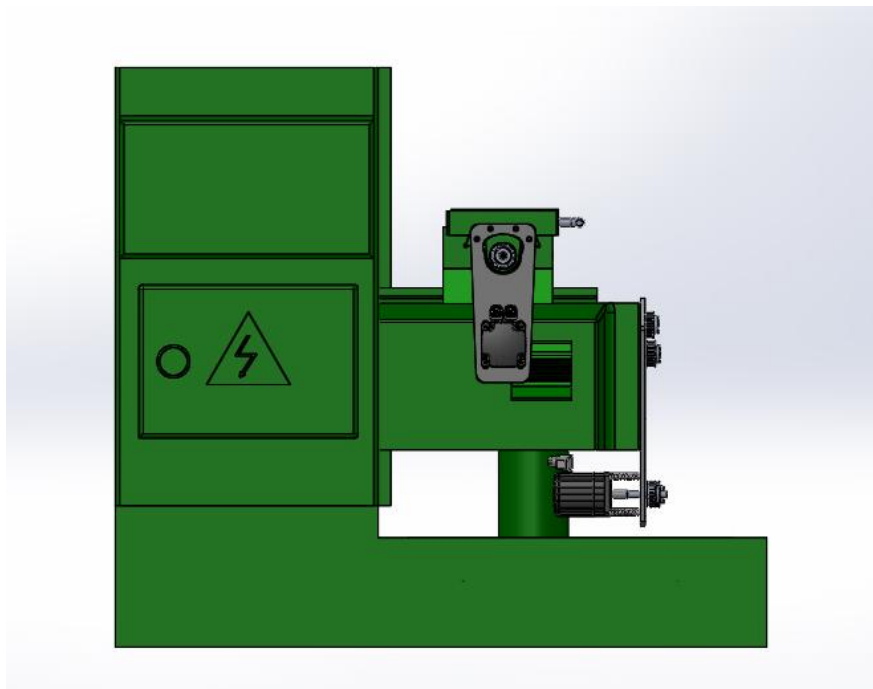


Figure 5.39 Vue de profil de la modélisation complète de la machine

6. Le montage

Le processus de modification de la machine consiste à remplacer les pièces d'origine de la fraiseuse par des pièces neuves ultra précises.

On commence par le déshabillage du système de guidage de la table. Cette procédure a été aussi accompagnée d'une maintenance préventive, où un nettoyage/dégraissage a été effectué du système de guidage. Cette maintenance est nécessaire, et doit être, soigneusement bien faite avant toute modifications, et ceci pour veiller au bon fonctionnement de la machine.

Après, à l'aide d'un chariot, la table est retirée de la machine, ce qui facilitera l'accès premièrement, aux vis trapézoïdales de l'axe X (voir Fig.), démonter les paliers pour enlever les écrous de la vis de l'axe X puis retirer la vis. Ensuite, deuxièmes, celle de l'axe Y, (même procédure). Les figures suivantes (Figure 5.36 et 5.37) montrent le bâti de la fraiseuse, mis à nu.



Figure 5.40 Table de la machine démontée.



Figure 5.41 Table de la machine démontée.

Cette maintenance a permis de :

- Avoir une idée précise sur le système mécanique : vue de l'intérieur.
- Changer certains roulements.
- Nettoyer et graisser les glissières.
- vidanger le lubrifiant.
- Prendre les dimensions exactes de la géométrie.



Figure 5.42 Table de la fraiseuse démontée.



Figure 5.43 Emplacement de la vis de l'axe X.



Figure 5.44 Démontage de la vis de l'axe Y.

Pour l'axe Z, une difficulté a été rencontrée dans le démontage de la vis car la fraiseuse contient une vis télescopique ; c'est-à-dire une vis montée dans une vis, c'est un système ingénieux qui permet d'accroître la longueur utile de déplacement avec un encombrement

réduit. Quand la course de la petite vis est en butée en bas, il y a un crochet qui entraîne l'écrou de la première vis qui lui-même est une vis. Cette technologie est utilisée pour augmenter la course sur cet axe.



Figure 5.45 Vis télescopique de l'axe Z.

Pour pallier à ce problème on a proposé de fixer l'écrou de la vis à bille dans la grande vis en rendant l'écrou et la vis solidaire ou investir sur une vis à billes télescopique mais cette dernière coûte cher par rapport à la 1ère solution proposée. De cette manière, on aura la précision des déplacements de la vis pour la partie supérieure seulement. Ceci ne devrait pas poser trop de problème de précision car en générale la course selon l'axe Z n'est pas trop importante.



Figure 5.46 Vis à billes télescopique.

Mise en place de la Vis à billes :

Dans le cas où l'écrou est déjà monté dans la vis il faut éviter de le démonter autant que possible pour maintenir les billes en position, si on doit enlever l'écrou pour usiner les extrémités par exemple il faut repérer le sens du montage de l'écrou sur la vis puis visser l'écrou sur la vis sans effort.

Une lubrification est essentielle pour le bon fonctionnement et la longévité des vis à billes. Il faut prêter attention au bon alignement des paliers support de vis et des guidages avec la vis. Il convient d'effectuer plusieurs allers-retours à faible vitesse et sous faible charge.

On procède de la même manière que le montage, mais de manière inverse, c'est-à-dire commencé par l'axe Z, Y et ensuite l'axe x.

Pour fixer les servomoteurs avec l'axe de la vis, des supports fixes sur le bâti de la machine doivent être réalisés (voir partie modélisation). La commande manuelle et les tambours gradués seront inexistantes vu que les servomoteurs seront placés sur cet axe.

L'accouplement d'axe entre le servomoteur et l'axe de la vis est assuré (comme mentionné auparavant) par un accouplement rigide.

7. Aspects économiques de la modification

Dans cette partie on proposera de faire une étude comparative entre les dépenses de la modification, le prix de la fraiseuse et l'achat d'une fraiseuse à commande numérique 03 axes. Une estimation complète des dépenses de la modification est donnée comme suit :

Organe	Quantité	Prix unitaire	Total
Vis à billes (x et y)	2 mètres	17000	34000
Ecrou à billes (x et y)	3	28000	84000
Vis à billes (z)	1 mètre	24000	24000
Ecrou à billes (z)	1	37000	37000
Servomoteur	3	57000	171000
Servo drive	3	61000	183000
Réducteur de vitesse	3	80000	240000
Câble entre servo moteur et servo drive	3	8200	24600
Kit d'adaptation entre le servo moteur et le réducteur	3	11900	35700
		Total :	1021700.00 DA

Tableau 5.4 Prix estimatif du matériel requis.

Les pièces comme les accouplements, les poulies crantées et les supports moteurs, seront fabriqués au sein de l'atelier de MK Industrie.

Le prix d'achat de la fraiseuse Milko 35r est de 400000 DA ajouter aux dépenses qu'on doit faire, l'estimation de cet investissement est dans les environs de 1500000 DA.

Les prix des fraiseuses numériques sur le marché, pour les mêmes dimensions de la fraiseuse qu'on envisage modifier varient de 4000000 DA jusqu'à 5000000 DA voir plus.

8. Conclusion

L'étude de cette conversion s'avère rentable dans le cas où l'on dispose de tous le matériel nécessaire pour la réalisation, cette conversion est non seulement intéressante vu les avantages techniques qu'elle offre mais aussi, elle permet de revaloriser certaines machines conventionnelles anciennes.

Conclusion générale

Analyser le fonctionnement d'une fraiseuse conventionnelle est une tâche préalable nécessaire pour faire une étude de conversion en CNC. Pour mener à bien cette étude nous avons présenté les différentes fraiseuses, leurs fonctionnements et leurs applications, où nous avons essayé de montrer leurs limites en usinage.

L'objectif de cette étude est de présenter un rapport complet sur tout ce qu'il faut avoir pour engager la procédure de conversion conventionnel-numérique, ceci passe par la détermination d'importants paramètres de fonctionnements d'une machine CNC à savoir : vitesses de déplacements, accélérations, et le Jerk ... etc. Pour atteindre cet objectif nous avons proposé une approche de modélisation de cette étude, consolidée par une partie théorique d'abord de dimensionnement. Les résultats obtenus par cette étude avec un programme implémenté sous Excel, ont démontrée l'importance de l'étude théorique pour la conception des machines. Ces résultats seront utiles pour optimiser le dimensionnement des servomoteurs vu leurs cout élevé.

Une partie pratique a été faite ou on a modélisé une conception proposée d'une fraiseuse conventionnelle converti en une CNC avec ces différents composants en utilisant le logiciel SolidWorks pour donner une idée claire dans la phase de réalisation.

Ce travail nous a permis de :

- Approfondir nos connaissances en fraisage.
- Développer nos connaissances dans les technologies avancées utilisées dans la construction des machine à commande numérique, comme les servomoteurs qui représente une révolution dans le monde de l'industrie ; maîtriser cette technologie est un atout considérable.
- Comprendre les principes de base de la commande numérique.
- Apprendre à faire une recherche théorique dans le domaine de dimensionnement des moteurs.
- La conception des machines avec tous les détails techniques, qui seront prêtes pour la réalisation.

Après étude il ne reste qu'a passé à l'action et réaliser la machine, chose qu'on envisage faire dans le future proche avec l'entreprise MK Industrie. Notre étude concerne uniquement la fraiseuse Milko 35-R, mais cette modification peut très bien être adaptée à d'autre machines-outils.

Références bibliographiques :

- [1] : Farid Asma, Eléments de la machine à outils numérique, UMMTO, 2007/2008.
- [2] : FENNICHE Abd errazak, Etude et Réalisation d'une Connexion RS 232 de la Fraiseuse EMCO F1 CNC et Le Tour EMCO Compact 5 CNC avec le PC, UKMO, 2013.
- [3] : Patrice Ognic, Revu Dunod, Construisez votre machine CNC, 2011.
- [4] : SWISS MECHANIC 4eme édition, Production à commande numérique – fraisage. Juin 2009.
- [5] : Wissam KARAM, Générateur de forces statiques et dynamiques à haute puissance en technologie électromécanique, Université de Toulouse, 2007.
- [6] : SEBBAK Ahmed, Etude cinématique d'une machine outils a structure parallèle, UKMO, 2013.
- [7] : OFFPT, Résumé théorique et guide de travaux pratique, fabrication des pièces en usinage, Maroc, 2009.
- [8] : Francis BINET, Revu technologie : le dimensionnement d'une motorisation d'axe, 2007.
- [9] : www.roboticus.org. (Motorisation et commande numérique).
- [10] : Manual de la maquina fresadora Milko 35R
- [11] : Pedagogie.ac-Toulouse, Lycée Dubugey, transmission de puissances, 2011.
- [12] : www.fraiseuse.org, Commande numérique, 2015.
- [13] : Rexroth BOSH Groupe, unité d'entraînement avec vis à billes.
- [14] : Catalogue SCHNEIDER, Lexium 32 motion control, 2013.
- [15] : Guide d'utilisateur Mach3, 2007.
- [16] : Catalogue HPC, Eléments de guidage, 2015.

