

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE de Technologie
DEPARTEMENT de Génie Mécanique
N° :.....



DOMAINE : Science Technologique
FILIERE : Génie Mécanique
OPTION : Modélisation Numérique

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par:

- Ammari Wafa
- Khaled Amal

Intitulé

**Contribution à l'étude d'un système CFAO pour
les machines outils EMCO CNC**

Soutenu devant le jury composé de:

Slamani Mohamed	Université de M'sila	Président
Amroune Salah	Université de M'sila	Rapporteur
Menasri Noureddine	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2016/2017

Résumé

L'augmentation de la productivité sur machine outil à commande numérique MOCN passe, entre autre, par l'amélioration de la programmation de celles-ci. Les MOCN type EMCO cnc qui se trouvent au niveau de notre hall technologique université de M'sila sont limitées en capacités de mémoire. Nos travaux ont pour objectif

- 1- Faire une extension (liaison série RS232/PC) pour nos machines EMCO qui date des années 80 pour qu'on puisse échanger les programmes G-code entre la machine et le PC;
- 2- Modéliser ces machines EMCO pour donner à nos étudiants la possibilité de faire la simulation graphique sur le logiciel CATIA V5.

Mots clés

Machine outil à commande numérique MOCN, programmes G-code, commande numérique calculateur CNC. Modélisation, EMCO, RS232, Hyper terminal.

الملخص

لزيادة إنتاجية آلات التحكم الرقمي نقوم بتحسين البرمجة الرقمية والعمل على الآلة EMCO fl cnc الموجودة في مخابر كلية التكنولوجيا من خلال

1- جعل ملحق (PC/RS232) في آلة التحكم الرقمية التي تعود لسنوات 80 من اجل التغيير ببرمجة الرمز G بين الآلة وجهاز الكمبيوتر

2- نمذجة هذه الآلات لإعطاء طلابنا الفرصة للقيام بمحاكاة الرسم على برنامج CATIA.

كلمات مفتاحية

آلة التحكم الرقمية, برنامج الرمز G, التحكم الرقمي الحسابي CNC, نمذجة, توصيل الخدمة RS232, برنامج Hyper terminal

Abstract

The increase of the productivity on machine tool with numerical control MOCN passes, among other things, by the improvement of the programming of these. The MOCN type EMCO cnc that are located at our technological hall in M'sila University are limited in memory capacity. Our work is

1- Make an extension (RS232 serial link / PC) for our EMCO machines that date back to the 80s so that we can exchange the G-code programs between the machine and the PC;

2- Model these EMCO machines to give our students the opportunity to do the graphic simulation on the CATIA V5 software.

Keywords

Machine tool with numerical control MOCN, programs G-code, numerical control CNC calculator. Modeling, EMCO, RS232, Hyper terminal.

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

Ma mère « Sehisseh Fatiha »

Qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression des mes sentiments et de éternelle gratitude.

Mon père « AMAR »

Qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse dieu faire que ce travail porte son fruit ; merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le sourient permanent venu de toi.

Mes sœur « chaima »

*Mon chère amie et ma sœur, qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et générosité. mon partenaire ce travail « **khaled amal** ».*

*tout la famille **sehissah et ammari** et a tout mes amis «**widad, siham ,lamia , rawia, sabah** »*

A tous mes collègues de la promotion de 2^{eme} année Master Génie mécanique

A tous (es) qui ont contribués de près ou de loin à ma réussite

wafaa

Dédicace

Je dédie ce travail

*A mes chères parents auxquels je dois toute fidélité et gratitude et leurs
Souhaitaient longue vie et parfaite santé.*

À mon frères : Abed razek, laid et Walid

À mes sœurs : Naima, Abla et warda

À mon mari : Djalal

À mes amis

À tous mes collègues de la promotion de 2^{eme} année Master Génie

A tous qui ont contribués de près ou de loin à ma réussite...

Amel

Remerciements

Nous remercions Dieu pour m'avoir donné la santé la patience et le courage tout au long du travail.

*Nous remercions chaleureusement mon encadreur monsieur Amroune Salah
Merci pour ses suggestions et ses conseils qui m'ont été précieux pour mener ce travail à son terme.*

Enfin nous remercions aussi tout le personnel administratif du département de génie mécanique de l'Université de Msila et un grand merci à messieurs : Aoufi Belkacem, Bourezeg Mohamed, Mourad Sillem.

Table des matières

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I

I.1) Généralités	3
I.2) Historique de la Commande Numérique	4
I.3) Justification de la CN	5
I.3.1) Automaticité	5
I.3.2) Flexibilité.....	5
I.3.3) Sécurité.....	6
I.3.4) Nécessités économiques et techniques	7
I.4) La machines-outils à commande numérique.....	7
I.4.1) Définition de la Machine-outil à commande numérique (MOCN).....	7
I.4.2) Schéma simplifié de la machine outil à commande numérique	8
I.4.3) Eléments d'une machine –outil a commande numérique.....	8
I.4.3.1) la partie opérative	9
I.4.3.2) la partie commande.....	10
I.4.4) Eléments de la MOCN dans le partie opérative.....	11
I.5) Comparaison entre MO conventionnelles et MOCN	15
I.6) Domaines d'utilisation.....	16
I.7) Classification de machine outil a commande numérique	17
I.7.1) Classification suivent le mode de déplacement des tables supports de pièces	17
I.7.1.1) machine a déplacement par positionnement point a point	17
I.7.1.2) Déplacement par axial	17
I.7.1.3) Déplacement continu (contournage).....	18

I.7.2) Classification suivent le nombre d'axe de la partie opérative :.....	19
---	----

Chapitre II

II.1) Généralités	21
II.2) Méthodes de Programmation des MOCN	21
II.2.1) Programmation manuelle	21
II.2.2) Programmation automatique (ou assistée)	22
II.3) Programmation des cotes.....	22
II.3.1) La boucle machine (ou cellule élémentaire d'usinage).....	22
II.3.2) Les origines	24
II.3.2.1) Origine mesure (Om).....	24
II.3.2.2) Origine pièce (Op).....	24
II.3.2.3) Origine programme (OP).....	24
II.3.2.4) Point courant ou Point piloté (R).....	24
II.3.3) Les axes	25
II.4) Création d'un programme CN	27
II.5) Contenu d'un programme CN	27
II.6) Structure d'une programmation ISO	28
II.7) Etude de la programmation.....	29
II.7.1) Codage des informations.....	29
II.7.2) Choix du plan d'usinage G17 à G19.....	29
II.7.3) Les Mode de cotation.....	30
II.7.4) Programmation des instructions de déplacement	30
II.7.4.1) Interpolation linéaire	30
II.7.4.2) Interpolation circulaire	31

Table des matières

II.7.5) Correction de rayon d'outil.....	32
II.8) Les principales fonctions	33
II.8.2) Les fonctions auxiliaires M	34
II.8.3) Les fonctions de vitesse de rotation de la broche (S)	36
II.8.4) Les fonction d'avance (F)	36
II.8.5) Sélection de l'outil pour différents usinage (T).....	37
II.9) Cycles d'usinage	37
II.9.1) Opération des cycles	38
II.9.1.1) Cycles de filetage à pas constant G33	38
II.9.1.2) Cycle de perçage avec déburrage à grande vitesse G73	38
II.9.1.3) Cycle de perçage avec lamage G81	39

Chapitre III

III.1) Généralités :.....	40
III.2) Modélisation des MOCN ?.....	40
III.3) Différents types de modélisation	41
III.3.1) Modélisation conventionnelle d'une MOCN	41
III.3.2) Modélisation géométrique des MOCN (Cellule élémentaire d'usinage)	42
III.5) Modélisation de la fraiseuse F1 CNC type EMCO.....	42
III.6) Modélisation géométrique d'une fraiseuse 3 axes pour la simulation d'usinage	44

Chapitre IV

IV .1) Généralité	56
IV.2) Définition de RS-232 :	56
IV. 3) Différents mode de transfert des données	57
IV. 3.1) Transfert des données par le code G65 (cassette –MOCN).....	57

Table des matières

IV. 3.2) Transfert des données par le code G66 (PC-MOCN).....	58
IV.4) La connexion avec les machines EMCO F1 CNC.....	60
Conclusion generale.....	67
Bibliografie	68
Annaxe	70

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur les MOCN

Figure I.1 : Center d’usinage 3 axes type F-VMC 510L (Hall technologique, Université de M’sila).....3

Figure I.2: La première MOCN type fraiseuse prototype Cincinnati à broche vertical5

Figure I.3 : EMCO Compact 5 CNC (Hall technologique, Université de M’sila).....7

Figure I.4: Elément d’une machine outil à commande numérique8

Figure I.5 : Machine outil à commande numérique (a) : partie commande (b) : partie opérative9

Figure I.6 : Bâti d'un MOCN 11

Figure I.7: Broche d’un MOCN 12

Figure I.8 : Porte –outils d’un tour CNC 12

Figure I.9 : Mesure analogique avec règle inductosyn montée sur bâti de machine 13

Figure I .10: Mesure analogique avec résolve montée sur crémaillère 13

Figure I.11 : Capteur rotatif sur le mobile 14

Figure I.12 : Capteur rotatif fixé sur le moteur 14

Figure I.13 : Capteur rotatif sur l’extrémité libre de la vis. 15

Figure I.14 : Productivité comparée de diverses machines en fonction de leur degré d’automatisation 15

Figure I.15 : Trajectoire a positionnement point a point 17

Figure I.16 : Trajectoire en déplacement par axial en fraisages 18

Figure I.17 : Trajectoire en continue 19

Chapitre II : La Programmation des MOCN

Figure II.1 : Exemple d'un programme d'une pièce en G-code	21
Figure II.2 : Représentation les origines de la MOCN.....	23
Figure II.3 : Les différentes origines.....	24
Figure II.4 : Les types de point de référence sur un tour CNC.....	25
Figure II.5 : Définition des axes dans une MOCN.....	26
Figure II.6 : Exemple de MOCN de 2 à 5 axes (a): MOCN à 2 axes ; (b,c) :MOCN à 5 axes ; d) :MOCN à 4axes.....	26
Figure II .7 : La structure d'un programme G-code.....	27
Figure II. 8 : Explication d'un exemple de programme G-code.....	28
Figure II.9 : Choix du plan d'usinage en fraisage	29
Figure II.10 : Exemple de cotation G90 et G91 cas en tournage	30
Figure II.11 : Déplacement G00 et G01 en cas de fraisage et tournage.....	31
Figure II.12 : Trajectoire théorique de l'interpolation circulaire G03	31
Figure II.13 : Usinage à gauche du profil G41	32
Figure II.14 : Usinage à droite du profil G42	32
Figure II.14 : Fonction de vitesse de rotation de la broche.....	35
Figure II.15 : Fonction d'avance.....	36
Figure II.17 : Cycle de filetage G33.....	38
Figure II.18 : Cycle de perçage avec déburrage à grande vitesse G73.....	38
Figure II.19 : Cycle de perçage avec lamage G81.....	39

Chapitre III : Modélisation géométrique de la MOCN type EMCO f1 cnc

Figure III.1 : EMCO f1 CNC (Hall technologique, Université de M'sila).....	42
Figure III.2:Définition des axes sur la machines-outils type EMCO F1CNC.	43

Figure III.3 : EMCO fl CNC modélisée avec CATIA R20V5.....43

Chapitre IV : liaison RS 232C et Hyper terminal

Figure IV.1: Câble RS232 utilisé pour le transfert entre la MOCN et le PC.....56

Figure IV.2 : Clavier de partie commande de CN.....57

Figure IV.3 : Exemple de transfert d'un programme G-code entre la cassette et la MOCN...58

Figure IV.4 : Exemple de transfert d'un programme G-code entre la MOCN et le PC.59

Figure IV.5 : Exemple de charger d'un programme G-code entre le PC et la MOCN.60

Figure IV. 6: Exemple d'une pièce usinée sur MOCN EMCO fl cnc..... 66

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Généralités sur les MOCN

Tableau I-1:classification de la machine outil.....	20
---	----

Chapitre II : La Programmation des MOCN

Tableau II-1: Les instructions G.....	32
Tableau II-2: Fonctions auxiliaires M.....	34

Liste des Abréviations

M.O.C.N : Machine Outil à Commande Numérique

E.M.C.O: Ecological Monitoring Co-ordinating Office

C.N.C: Commande Numérique par Calcul aitre.

C.N : Commande Numérique

M.O : Machine Outil

R.S: Recommande Service

I.S.O: International Standare de Organisation

C.U.C.N : Centre d'usinage à Commande Numérique

CU : Centre d'usinage

DCN : Directeur de Commande Numérique

PO : Partie Opérative

PC : Partie Commande

F.A.O : Fabrication Assisté par Ordinateur

Om : Origine machine

POM : Prise d'Origine Machine

OP : Origine Programme

Oo : Origine outil

Om : Origine mesure

Op : Origine pièce

Opp : Origine porte-pièce

Opo: Origine porte-outil

Désignation des symboles

Symbole Unité Désignation

N - numéro de séquence

G - fonction de déplacement (condition de déplacement)

M - fonction supplémentaire (fonction de déplacement)

X et Z - coordonnées du déplacement

F - L' avance

T - adresse d'outil

I et k - coordonnées du centre du cercle

L - adresse de saut

K : Nombre de répétitions

Q : profondeur de taraudage à chaque opération successive

Introduction générale

Parmi les objectifs des développements technologiques auxquels est parvenu l'être humain dans l'industrie mécanique et ce à travers les différentes phases et époques a commencé par la révolution industrielle qui avait débuté par la création des outils de l'industrie traditionnelle et autres, ensuite ces outils furent développés en machines semi automatiques puis en machines automatiques qui fonctionnaient à l'aide d'ordinateur et programmes spéciaux qui faisaient fonctionner l'opération (d'industrialisation) transférant les instructions de la partie commande vers la partie opérationnelle de la machine par le biais de câbles spéciaux de connexion (câbles DB 9, 15 et 25) avec les différentes sorties de communication comme exemple RS 232.

Dans ce travail de mémoire on s'intéressera à :

- 1- Faire une extension (liaison série RS232/PC) pour nos machines EMCO qui datent des années 80 pour qu'on puisse échanger les programmes G-code entre la machine et le PC;
- 2- Modéliser ces machines EMCO pour donner à nos étudiants la possibilité de faire la simulation graphique sur le logiciel CATIA V5.

Dans ce contexte notre mémoire est subdivisée en quatre chapitres:

Le premier chapitre présentera des généralités sur les MOCN ainsi que la justification de commande numérique ensuite on entame les deux parties d'un MOCN (partie opérative et partie commande) et enfin on fait une comparaison entre la machine commande numérique et conventionnelle.

Le deuxième chapitre sera consacré à décrire la méthode de programmation de commande numérique (CN) et la définition du langage de programmation ISO ou G-code qui permet de piloter des outils à commande numérique selon le type de la machine.

La simulation et la modélisation de la machine EMCO F1 cnc sont proposées pour le chapitre trois que on a employé la modélisation géométrique de la machine fraiseuse F1 CNC type EMCO en utilisant le logiciel (CATIA R20V5), pour ce faire on procède à prendre des mesures (longueurs, largeurs, diamètres ... etc.) sur site des différents éléments constituant la machine, ensuite avec le logiciel CATIA, on a reconstruit la machine en tenant compte des liaisons (translation, pivot, rotation...etc.) entre les éléments principales de la machine.

Dans le dernier chapitre on représentera le transfert des données sous forme d'un fichier texte (G-code) entre la machine EMCO CNC fl et le micro ordinateur (PC) en utilisant un câble de type RS232 C, pour ce faire, on a une application (Hyper terminal) qui assure cette communication.

Le mémoire s'achèvera par une conclusion générale rassemblant une synthèse des résultats et une présentation des perspectives à envisager.

Chapitre I: Généralités sur les MOCN

Ce chapitre est consacré à des généralités sur les machines outils à commande numérique(MOCN) ainsi que la justification de commande numérique, ensuite on entame les deux parties d'une MOCN (partie opérative et partie commande) et enfin on fait une comparaison entre la machine à commande numérique et conventionnelle.

I.1) Généralités

C'est pendant la deuxième guerre mondiale de 1939-1945 que la commande numérique a été créée pour résoudre le problème d'usinage, particulièrement difficile de Cam tri dimensionnelles de pompes d'injections de moteurs d'avion.

La CN est une technique utilisant des données composées de codes alphanumériques pour représenter les instructions géométriques et technologiques nécessaires à la conduite d'une machine ou d'un procédé. En d'autre terme, 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 CN constitue l'un des meilleurs exemples de pénétration du traitement de l'information dans les activités de production. Les machines-outils spécialisées (aléseuses-perceuses, fraiseuses) à commande numérique ont évolué en centres d'usinage à commande numérique (figure I.1) permettant d'usiner des formes complexes sans démontage la pièce. Ces centres d'usinage sont généralement équipés de magasins d'outils (touvelles, tables, chaînes) sur lesquels sont disposés les différents outils. Les changements d'outils équipant la (ou les) tête(s) d'usinage sont programmés en fonction de la définition numérique de la pièce.



Figure I.1 : Center d'usinage 3 axes type F-VMC 510L (Hall technologique, Université de M'sila).

I.2) Historique de la Commande Numérique

En **1947**, dans l'État du Michigan, John Parsons fabrique pour le compte de l'US Air Force des pales d'hélicoptère par reproduction. Pour façonner ses gabarits, il utilise une méthode consistant à percer plusieurs centaines de trous faiblement espacés de manière à approcher le profil théorique. Mais, lorsque l'US Air Force confie à ce même Parsons la réalisation de pièces de formes encore plus complexes pour ses futurs avions supersoniques, celui-ci réalise que sa méthode est trop approximative et que seul un usinage continu en 3 dimensions sera en mesure de donner satisfaction [1].

Au printemps **1949**, il confie alors au **Massachusetts Institute of Technologie (MIT)** le soin de développer des asservissements capables de piloter une machine qui recevra des instructions intermittentes à partir d'un lecteur de cartes. Cette machine, une fraiseuse prototype Cincinnati à broche verticale (figure I.2), conçue pour exécuter des déplacements simultanés suivant 3 axes, est officiellement présentée en septembre **1952** dans le servo mechanisms Laboratory du MIT. L'information mathématique étant la base du concept, on lui donne le nom de numerical control [1].

Il faut encore attendre quelques années de vastes fonds de l'US Air Force et l'appui des chercheurs du MIT pour rendre la première MOCN réellement opérationnelle. Les différentes étapes de développement de la CN sont les suivantes.

- **1954**: Bendix acquiert le brevet de Parsons et fabrique la première CN industrielle
- **1955**: Le constructeur Américain Giddins & Lewis commercialise la première MOCN.
- **1959** : Apparition de la CN en Europe.
- **1964** : En France, la Télémécanique Electrique lance la CN NUM 100 conçue à base de relais Télé statice.
- **1968** : La CN adopte les circuits intégrés ; elle devient plus compacte et plus puissante
- **1972** : Les mini-calculateurs remplacent les logiques câblées ; la CN devient CNC.
- **1976** : Développements des CN à microprocesseurs.
- **1984** : Apparition de fonctions graphiques évoluées et du mode de programmation conversationnel.
- **1986** : Les CN s'intègrent dans les réseaux de communication, début de l'ère de la fabrication flexible.
- **1990** : Développement des CN à microprocesseurs 32 bits [1].

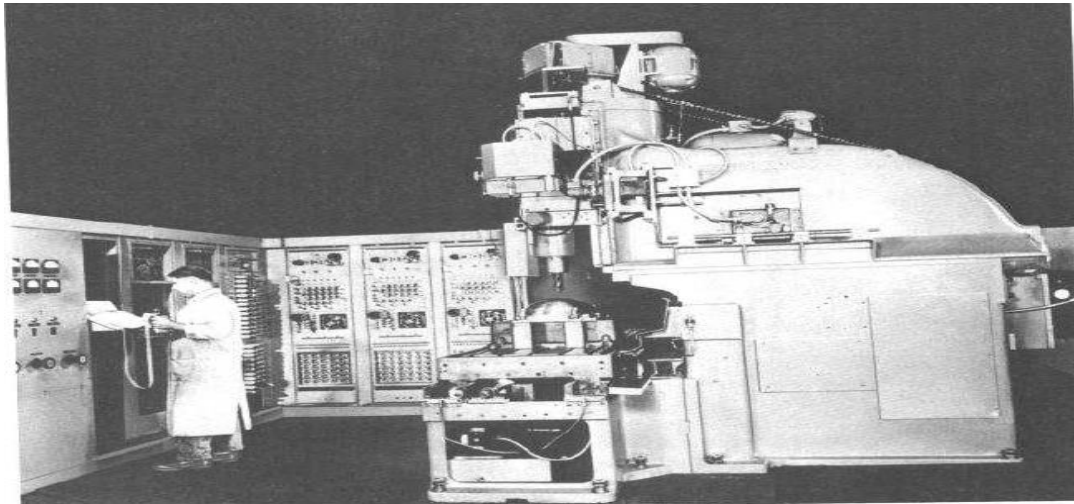


Figure I.2: La première MOCN type fraiseuse prototype Cincinnati à broche Verticale [2].

I.3) Justification de la CN

I.3.1) Automaticité

Le premier avantage d'une CN est d'offrir aux machines qui en sont équipées un **très haut niveau d'automaticité** sur de telles machines, l'intervention de l'opérateur nécessaire pour assurer la production de pièces peut être considérablement réduite voire supprimée [1].

De nombreuses MOCN peuvent ainsi fonctionner sans aucune assistance pendant toute la durée de leur cycle d'usinage, laissant l'opérateur libre d'accomplir d'autres tâches en dehors du poste de travail. Cette caractéristique présente un certain nombre d'avantages importants, tels que :

- Une diminution notable de la fatigue de l'opérateur ;
- Moins d'erreurs d'origine humaine ;
- Un temps d'usinage constant et prévisible pour chaque pièce d'une même série [3].

I.3.2) Flexibilité

Puisqu'elles sont pilotées à partir d'un programme, les MOCN peuvent usiner des pièces différentes aussi facilement que l'on charge un nouveau programme. Une fois vérifié puis exécuté pour la première série, ce programme peut être facilement rappelé lorsque la même série se représente.

La **grande souplesse d'utilisation** de la CN entraîne d'autres avantages :

- ❖ Changement aisé du programme d'usinage des pièces ;
- ❖ Réduction des outillages et suppression des gabarits ;
- ❖ Diminution du nombre des outils spéciaux et des outils de forme ;
- ❖ Réduction des temps de préparation et de réglage du poste de travail (la plupart des réglages, en particulier des outils, étant effectués hors machine) ;
- ❖ Prise en compte rapide des modifications d'usinage (il est plus facile de modifier une ligne de programme qu'un outillage spécial ou un gabarit) ;
- ❖ Définition plus rapide et plus fiable des conditions optimales d'usinage ;
- ❖ Réduction du nombre de prises de pièces du fait de l'universalité de la machine ;
- ❖ Diminution du temps d'attente entre les diverses machines d'usinage d'un atelier ;
- ❖ Gain sur les surfaces au sol occupées dans l'atelier ;
- ❖ Possibilité de réaliser des pièces complexes en gérant des déplacements simultanés sur plusieurs axes ;
- ❖ Contrôle automatique des outils et des dimensions de pièces, avec prise en compte par la CN des corrections à effectuer [1].

I.3.3) Sécurité

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

- En premier lieu, parce qu'elle connaît très précisément l'enveloppe de travail dans laquelle doivent évoluer les outils (possibilité de mémorisation des courses maximales des organes mobiles) ;
- Ensuite, parce qu'elle permet une simulation graphique hors usinage des programmes nouvellement créés pour vérification et détection des risques éventuels de collision ;
- Enfin, parce qu'en exerçant une surveillance permanente de l'usinage en cours, elle peut décider d'en interrompre le déroulement et d'alerter l'opérateur en cas d'incident.

Il est par ailleurs admis que le niveau de performances très élevé atteint par les MOCN conduit les constructeurs à prévoir des dispositifs de protection très élaborés (contre les projections de copeaux ou de liquide d'arrosage, notamment) qui ne s'imposent pas nécessairement sur une MO conventionnelle [1].

I.3.4) Nécessités économiques et techniques

Symbole de précision, de reproductibilité, de fiabilité et de flexibilité, qualités primordiales dans une économie de marché où les produits se caractérisent en termes de prix, de qualité et de délai de mise à disposition, la CN se montre économiquement intéressante pour produire à l'unité ou en série toutes les sortes de pièces, même les plus simples.

Une fois vérifié et validé, un programme assure la réalisation de 2, 10 ou 1000 pièces identiques avec la même régularité de précision et la même qualité d'usinage, sans que l'habileté de l'opérateur n'intervienne.

Il convient, en outre, de souligner que la CN ouvre de nouvelles perspectives en permettant la définition de pièces complexes qu'il est pratiquement impossible de concevoir et de fabriquer sur des MO conventionnelles [1].

I.4) La machines-outils à commande numérique

I.4.1) Définition de la Machine-outil à commande numérique (MOCN)

La MOCN est une machine totalement ou partiellement automatique à laquelle les ordres sont communiqués grâce à des codes qui sont portés sur un support matériel (disquette, cassette ...). Lorsque la machine-outil est équipée d'une commande numérique capable de réaliser les calculs des coordonnées des points définissant une trajectoire (interpolation), on dit qu'elle est à calculateur (figure I-3). Elle est appelée CNC (Commande Numérique par Calculateur). La plupart des MOCN sont des CNC [4].



Figure I.3 : EMCO Compact 5 CNC (Hall technologique, Université de M'sila).

I.4.2) Schéma simplifié de la machine outil à commande numérique

A partir d'une pièce brute, la fonction globale de la machine est d'usiner complètement ou partiellement une pièce conforme au dessin de définition. La valeur ajoutée entre l'entrée et la sortie du système est obtenue par apport d'énergie et d'informations.

Par comparaison avec une machine classique où l'apport d'énergie est équivalent, il n'y a que le processus d'information qui diffère. Dans ce dernier cas, c'est l'opérateur qui délivre les ordres de mouvement ; en commande numérique, l'opération consiste à introduire les paramètres d'usinage et à sélectionner le mode de marche [5].

Comme nous venons de la mettre en évidence, il s'agit de remplacer le savoir faire de l'opérateur par un système capable d'exploiter des données géométriques et technologique afin d'aboutir à des ordres de mouvement, et aussi de contrôler la validité des ces mouvements pendant et après l'exécution.

La tâche de l'opérateur sur MOCN consistera donc à introduire des données codées dans un langage compréhensible par la machine et d'exercer un contrôle dans le cas d'incidents non prévus ou non détectables par la technologie de la machine [5].

I.4.3) Eléments d'une machine –outil a commande numérique

Une machine outil à commande numérique est essentiellement composée de deux grandes Parties (figure I.4)

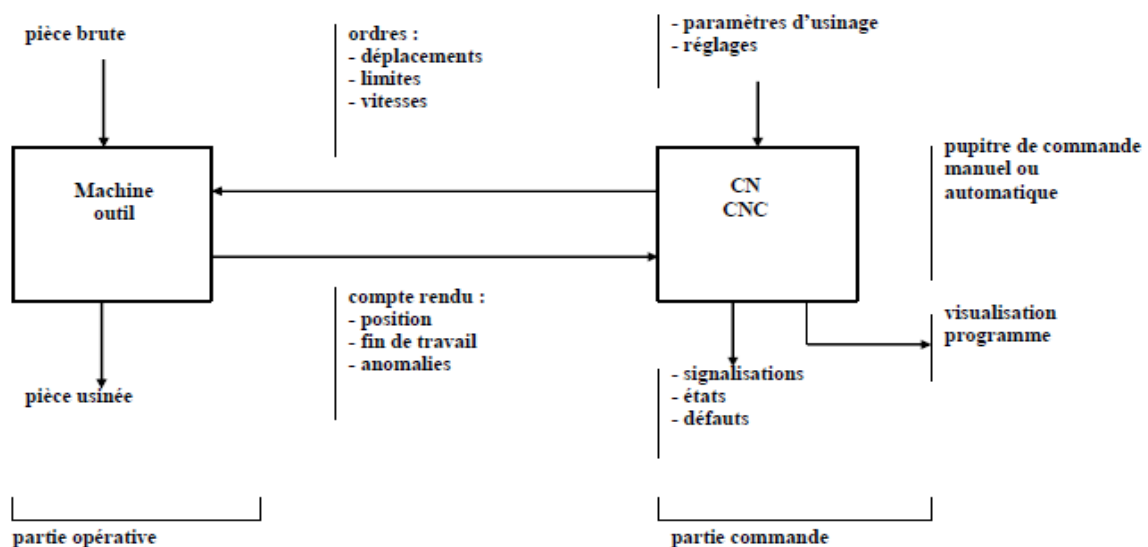


Figure I.4: Elément d'une machine outil à commande numérique [2].

I.4.3.1) la partie opérative

La partie opérative comprend une machine de base équipée d'actionneurs qui assurent :

- ✓ la rotation de la broche,
- ✓ le déplacement des chariots
- ✓ le contrôle de la position de chariots
- ✓ la lubrification de coupe etc.

Des périphériques associés peuvent assurer le magasinage permettant un changement automatique d'outil et dans certains systèmes très évolués un approvisionnement automatique de pièces à l'aide de robots ou de chariots filoguidés (ateliers flexibles) [6].

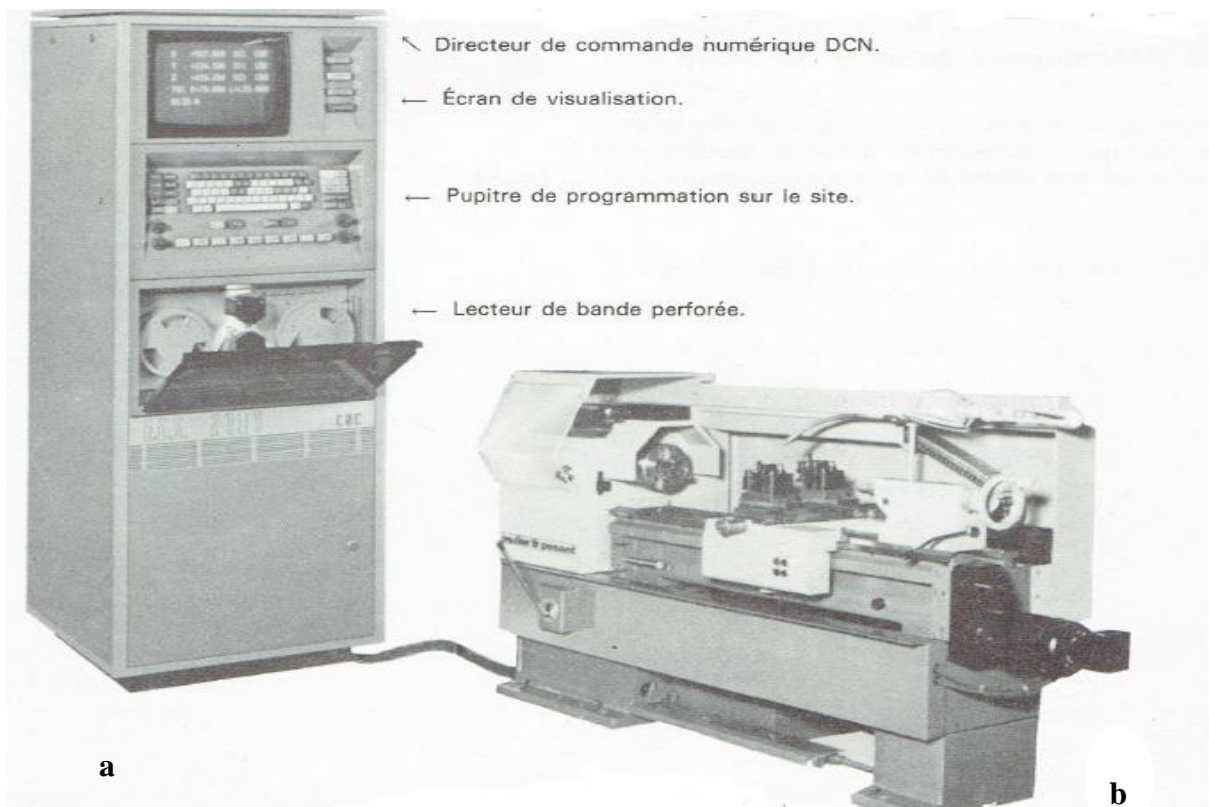


Figure I.5 : Machine outil à commande numérique (a) : partie commande (b) : partie opérative [6].

I.4.3.2) la partie commande

La partie commande que l'on appelle directeur de Commande numérique (DCN), assure trois grande fonction [6].

- a) Introduction du programme suivant deux solutions

- ❖ Manuelle, un clavier à touche monté sur un pupitre permet d'afficher les données directement sur le site.
- ❖ Automatique en partant de l'une des trois technique actuellement utilisées : bande perforée (solution la plus courante) bande magnétique, disque souple.

b) Liaison avec les capteurs de position et les différents moteurs de la machine

c) Mémoire centrale traitement des informations, calculs (cette partie comprend un micro-ordinateur) [6].

I.4.4) Eléments de la MOCN dans le partie opérative

A) Motorisation

Deux types d'actionneurs sont utilisés dans les axes numérisés:

Le premier a été le moteur à courant continu ses deux principales caractéristiques sont les suivantes :

- La fréquence de rotation du rotor est proportionnelle à la tension d'alimentation
- Le courant consommé est proportionnel au couple résistant appliqué au rotor.
- Pour réguler sa vitesse il faut donc faire varier la tension à ses bornes tout en maintenant une alimentation en intensité suffisante pour fournir le couple mécanique nécessaire à l'entraînement du mobile.

La deuxième utilisée aussi des moteurs à courant alternatif (moteur asynchrone).

Pour faire varier sa vitesse on agit sur la fréquence du courant qui l'alimente [7].

B) Le bâti

Le bâti assure le guidage des axes de mouvements, et l'agencement des autres organes de la machine. Pour assurer une géométrie correcte, et encaisser les actions mécaniques dues aux accélérations élevées des mobiles, le bâti doit être rigide et limiter les déformations dues à la chaleur.

Les nouvelles machines outils à commande numérique intègrent de nouveaux matériaux de construction (béton), et la répartition des masses est optimisée [7].



Figure I.6 : Bâti d'un MOCN [8].

C) La broche

La broche crée le mouvement de coupe nécessaire à l'usinage. Elle assure donc la mise en rotation de la pièce ou de l'outil. Ces deux cas posent des contraintes fonctionnelles différentes cinématiquement, la broche est en liaison pivot avec le bâti ou un chariot. Dynamiquement, elle doit être très rigide, et stable thermiquement de façon à garantir la position relative de l'outil par rapport à la pièce durant l'usinage.

L'augmentation des vitesses de coupe impose une augmentation des fréquences de rotation et des couples admissibles au niveau des broches. En fraisage, on cherche actuellement à ce que le couple fréquence de rotation - puissance atteigne ($50\,000\text{ tr.mn}^{-1}$ - 50 kW). Industriellement, on utilise des broches atteignant ($25\,000\text{ tr.mn}^{-1}$ - 30 kW).

A ces fréquences de rotation, les effets dynamiques sont importants et l'équilibrage des parties tournantes est vital.

Les hautes fréquences de rotation imposent des modifications technologiques. La liaison pivot est, le plus souvent assurée par des roulements à billes (85 % du marché 1996). Les roulements métalliques ont tendance à laisser la place aux roulements dits hybrides, dont les billes sont en céramique.

D'autres technologies sont mises en œuvre, comme les paliers à air (8 %), les paliers hydrostatiques [7].

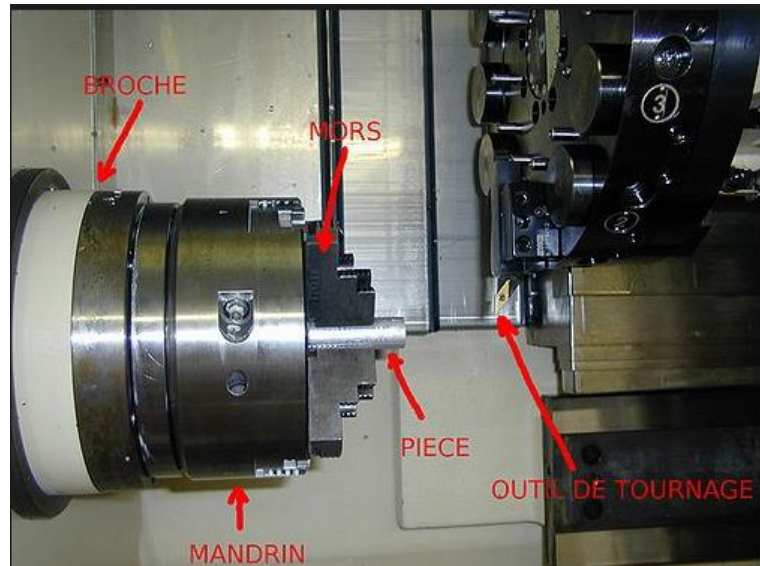


Figure I.7: Broche d'un MOCN [8].

D) Les porte-outils

Les porte-outils ont pour fonction d'assurer la liaison entre l'outil et la machine. Suivant le mode d'usinage, ils supportent des sollicitations dynamiques différentes.

Dans le cas du tournage (Figure I.8), le porte-outil doit essentiellement supporter un effort de coupe important, les surfaces d'appui doivent être étendues. Dans le cas du fraisage, les porte-outils assurent la liaison au moyen d'un cône normalisé.

L'augmentation des fréquences de rotation impose des contraintes dynamiques plus importantes [7].

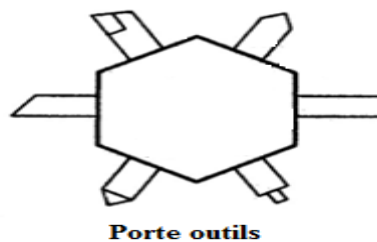


Figure I.8 : Porte –outils d'un tour CNC [9].

E) Les capteurs

Les capteurs utilisés dans les machines outils à commande numérique sont de deux types :

1) Analogiques

Le déplacement d'un mobile entraîne une variation magnétique, électrique, ou autre, qui est transformée au signal de sortie [9].

V : Compensateur A : Entraînement S : Organe mobile

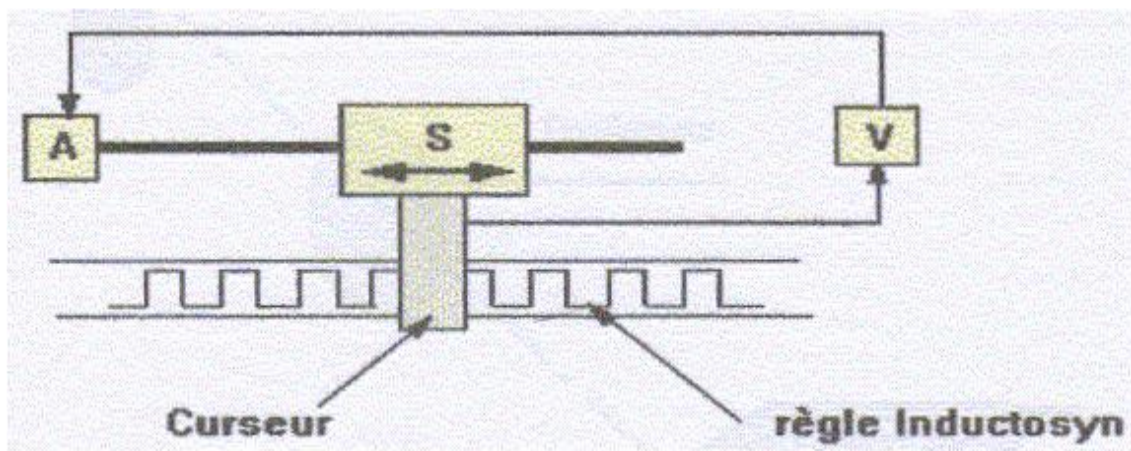


Figure I.9 : Mesure analogique avec règle inductosyn montée sur bâti de machine [3].

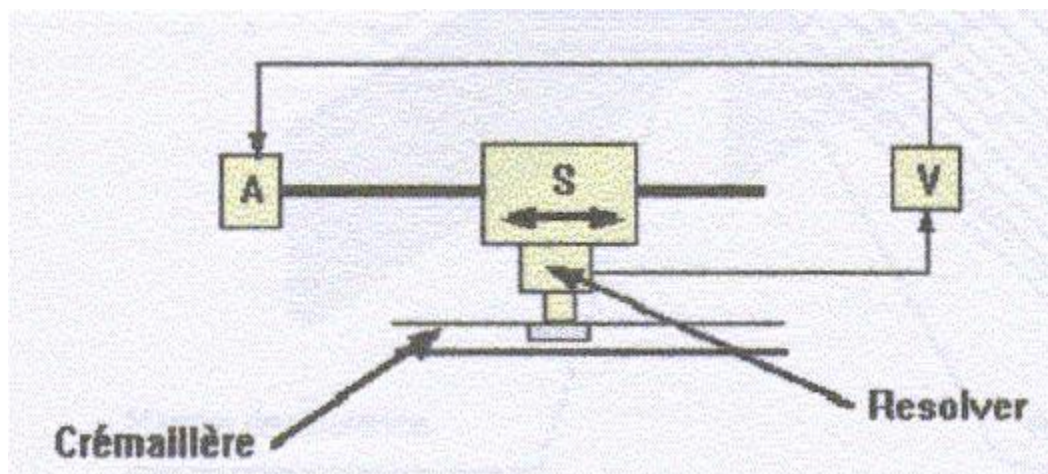


Figure I.10: Mesure analogique avec résolve montée sur crémaillère [3].

2) Incrémentaux

Le déplacement d'une règle, ou d'un disque, présentant des zones alternativement sombre et claire, devant un lecteur optique, produit des impulsions lumineuses qui sont transformées en signal de sortie [9].

Les deux types de capteurs que nous venons de voir entraînent deux types de mesure :

➤ Mesure absolue

Les coordonnées d'un point sont données par rapport à une origine fixe, sans référence à la position précédente. Les capteurs analogiques permettent ce type de mesure [9].

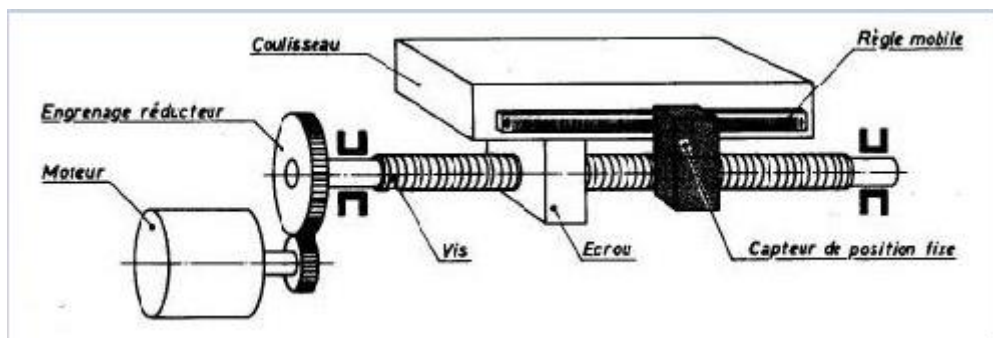


Figure I.11 : Capteur rotatif sur le mobile [4].

➤ Mesure relative

Les coordonnées d'un point sont données par rapport à la position précédente. C'est l'agrandissement du déplacement qui est, en fait, mesuré [9].

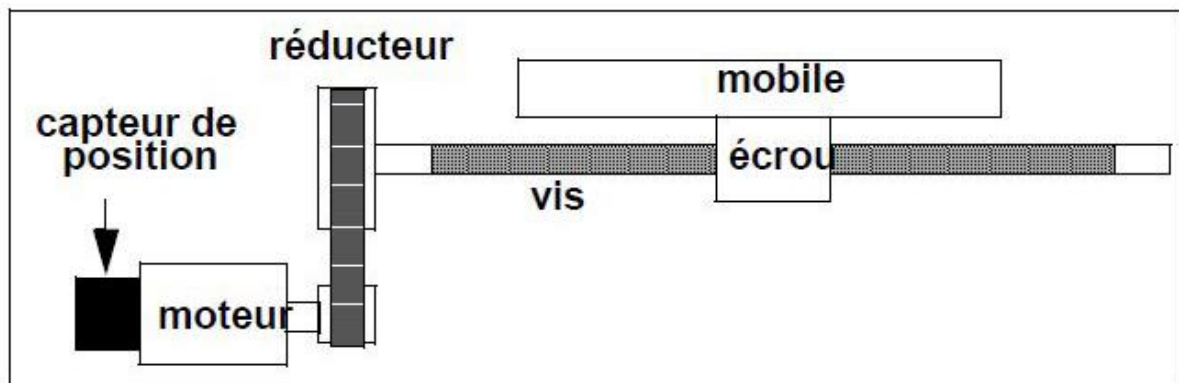


Figure I.12 : Capteur rotatif fixé sur le moteur [3].

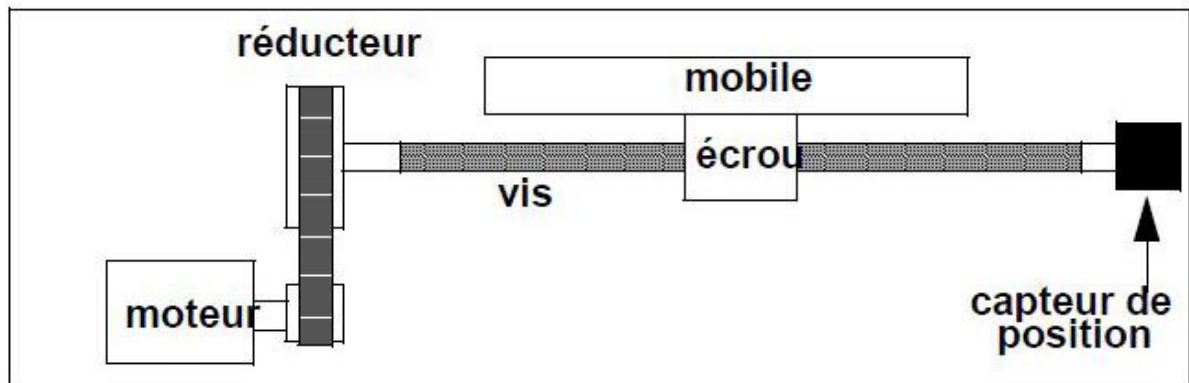


Figure I.13 : Capteur rotatif sur l'extrémité libre de la vis [3].

I.5) Comparaison entre MO conventionnelles et MOCN

Si l'on compare une MO conventionnelle avec une MOCN, on peut considérer que le temps copeau est assez voisin sur les deux types de machines. En revanche, la productivité comparée de diverses catégories de machines de niveaux d'automatisation différents, c'est-à-dire ce même temps copeau ramené au temps effectif de production, est très différent compte tenu de la réduction importante des temps non productifs que l'on enregistre sur les machines à fort taux d'automatisation [3].

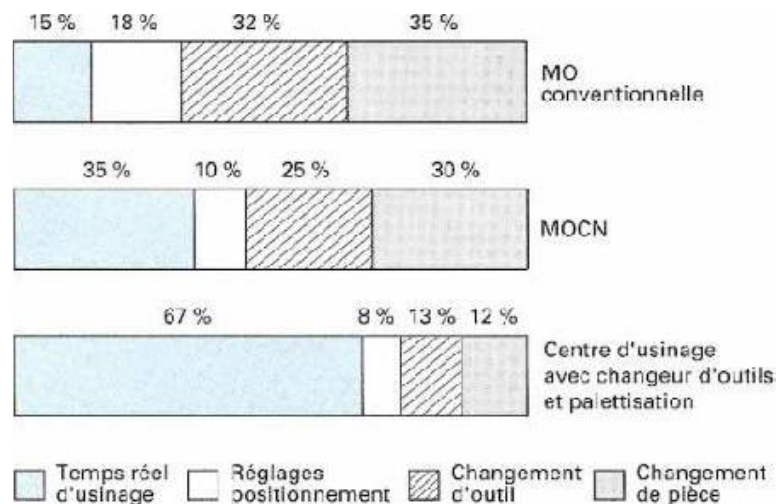


Figure I.14 : Productivité comparée de diverses machines en fonction de leur degré d'automatisation [1].

Les fonctions remplies sont les mêmes que pour une machine conventionnelle [3] :

- Positionner et maintenir la pièce ;
- Positionner et maintenir l'outil ;

- Assurer un mouvement relatif entre la pièce et l'outil ;

La qualité mécanique générale de ces machines est beaucoup supérieure aux MO conventionnelles :

- Motorisation plus puissante,
- Chaîne cinématique plus simple et plus robuste à variation continue capable d'encaisser des accélérations et décélérations importantes,
- Commande des chariots par vis à bille avec système automatique de rattrapage du jeu,
- Glissière sans frottement, utilisation de glissières à galets, à billes, hydrostatiques, aérostatiques, les garnitures sont rapportées,
- Bâtis largement dimensionnés, très rigides avec un excellent amortissement.

Les principales caractéristiques des MOCN découlant de leur structure sont :

- Puissance et vitesse élevées ;
- Robuste et bonne résistance à l'usure ;
- Déplacement rapide, précis, sans saccade,
- Accélération et décélération très élevées ;
- Spécifications métrologiques très serrées ;
- Frottement et jeu très faibles ;
- Peu de vibration ;
- Faible échauffement [3].

I.6) Domaines d'utilisation

Les MOCN sont employées dans de nombreux secteurs industriels (Métallurgie, Bois, Textile). Elles sont aussi associées à de nouvelles technologies de façonnage (Laser, Electroérosion, Jet d'eau).

Les principaux procédés de fabrication concernés sont:

- Perçage, taraudage ;
- Tournage, alésage ;
- Fraisage ;
- Rectification ;
- Oxycoupage, soudure en continu, par points ;

- Poinçonnage, cisailage [2].

I.7) Classification de machine outil a commande numérique

Classé les MO à CN en fonction de deux critères essentiellement :

I.7.1) Classification suivent le mode de déplacement des tables supports de pièces

Trois types de machines à commande numérique peuvent être définis

I.7.1.1) machine a déplacement par positionnement point a point

Ce types de machine est caractérisée par l'absence d'usinage au cours des déplacements suivent les axes X et Y on trouve des applications sur les pointeuses, perceuses, poinçonneuses Aléseuses...etc [5].

Le passage d'un point à un autre s'effectue en programmant la position finale, tandis

Que le trajet parcouru pour atteindre cette position n'est pas contrôlé par le directeur

De commande numérique.

Les trajectoires planes d'un point A vers un point B peuvent s'exécuter de manières différentes schématisées (figure I.15)

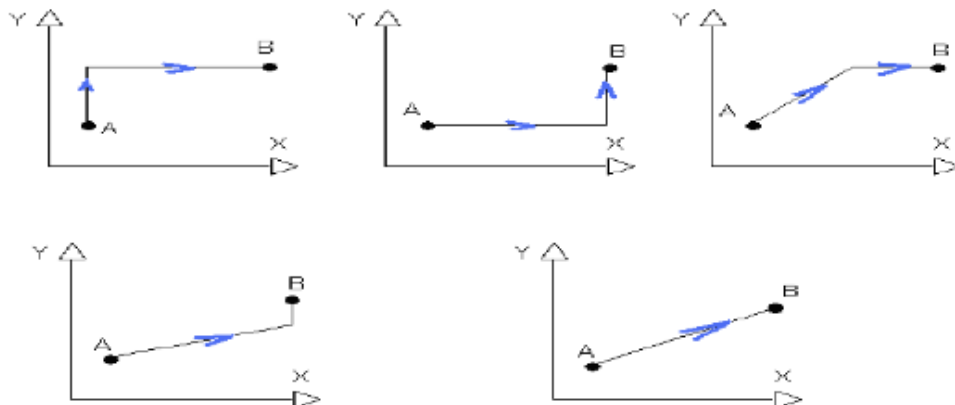


Figure I.15 : Trajectoire a positionnement point a point [10].

I.7.1.2) Déplacement par axial

Ce type de machine permet ; en plus du positionnement point à point, des fraisages ou tournages précis à des vitesses imposées par la bande, sens des trajectoires parallèles à chacun des axes de déplacement X, Y, Z (dressage) de faces, cylindrage, rainurage...).

Cependant, un système de contrôle par axial ne permet pas d'effectuer un fraisage ou un tournage suivant des directions quelconques .En effet, la mémoire affectée à la vitesse d'avance est unique et

Est Commutée successivement sur chaque axe [5].

Le trajectoire (1-2) déplace à l'axe y et la trajectoire (2-3) déplace à l'axe x (figure I.16).

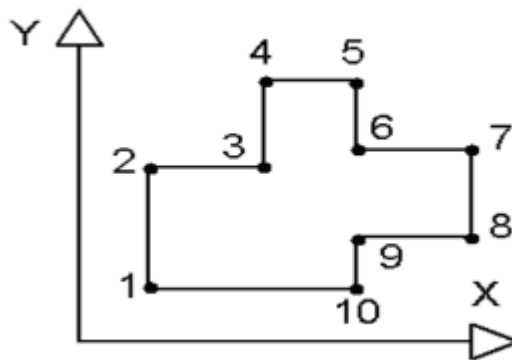


Figure I.16 : Trajectoire en déplacement par axial en fraisages [10].

I.7.1.3 Déplacement continu (contournage)

Dans le cas où les informations en X, Y, Z sont liées par une loi mathématique, le mouvement décrit une trajectoire qui n'est pas obligatoirement parallèle aux axes. Les déplacements pouvant être simultanés, le mode de fonctionnement est alors appelé contournage [5].

Pour assurer ces déplacements, nous ferons appel aux interpolations linéaire et circulaire.

De la trajectoire (A-B) déplacement linéaire, la trajectoire (B-C) déplacement circulaire (figure I.17).

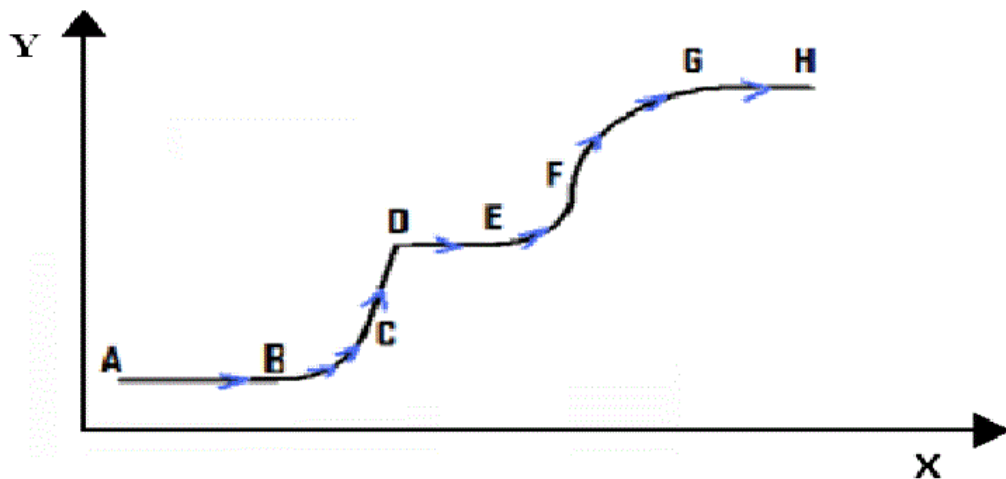


Figure I.17 : Trajectoire en continue [10].

I.7.2) Classification suivant le nombre d'axe de la partie opérative

Les axes sont les degrés des mobilités des différents chariots de la machine. Ils sont repérés par des lettres affectées d'un signe + ou - pour indiquer le sens du déplacement. On peut caractériser une machine par le nombre d'axes qu'elle peut commander numériquement.

Exemple :

- Fraiseuse 3 axes : les axes x, y, z sont commandés numériquement
- Fraiseuse 4 axes : en plus des axes x, y, z, un plateau tournant commandé numériquement assure la rotation des pièces [6].

Axe X longitudinal

Axe Y transversal (ou vertical)

Axe Z parallèle à la broche de la machine

Axe C rotation autour de l'axe Z.

Tableau I-1: classification de la machine-outil [4].

Nb d'axes	mouvements	Désignation du type d'usinage et des opérations possibles
1	Z	Brochage, presse
2	X.Z	Tournage : toutes les formes obtenues ont le même axe de système

Chapitre I: Généralités sur les MOCN

3	X.Y.Z	<p>Fraisage: surfaçage, perçage, fraisage de poches, de rainures et de surfaces gauches.</p> <p>L'axe outil reste parallèle à une direction fixe par rapport à la pièce.</p>
3	X.Z.C	<p>Tournage, avec asservissement de la broche, permet le fraisage sur tour: tournage général, fraisage à l'outil tournant, perçage hors axe</p> <p>La broche est asservie en position.</p>
4	X.Y.Z.B	<p>Fraisage : surfaçage, perçage, fraisage, de poches, de rainures et de surfaces gauches. L'axe outil reste contenu dans un plan fixe par rapport à la pièce</p>
4	X.Y.Z.C	Fraisage (cf X.Y.Z.B)
4	X.Y.Z.C	Tournage
4	2*(X.Z)	Tournage à deux tourelles
5	2*(X.Z).C	Tournage à deux tourelles et asservissement de la broche, (cf X.Z.C)
5	X.Y.Z.A.C	<p>Fraisage de formes gauches: fraisage avec le flanc de l'outil ; fraisage avec d'épinçage, perçage en toutes directions.</p>
5	X.Y.C.B.C	Fraisage de formes gauches (cf X.Y.Z.A.C)
5	X.Y.Z.A.B	Fraisage de formes gauches (cf X.Y.Z.A.C)

Chapitre II: La Programmation des MOCN

Dans ce chapitre on a essayé de décrire la méthode de programmation de commande numérique (CN) et la définition du langage de programmation ISO ou G-code qui permet de piloter des outils à commande numérique selon le type de la machine.

II.1) Généralités

Pour réaliser une pièce sur machine outil à commande numérique MOCN l'opérateur devra, à partir de la lecture du dessin du produit fini établir un dossier complet de fabrication et rédiger un programme d'instructions directement compréhensibles par la MOCN [5].

La programmation est le travail de préparation qui consiste à transposer, sous forme de texte alphanumérique, la gamme d'usinage de la pièce (figure II.1) en un ensemble ordonné d'instructions comprises et exécutées par la CN en vue de réaliser son usinage [1].

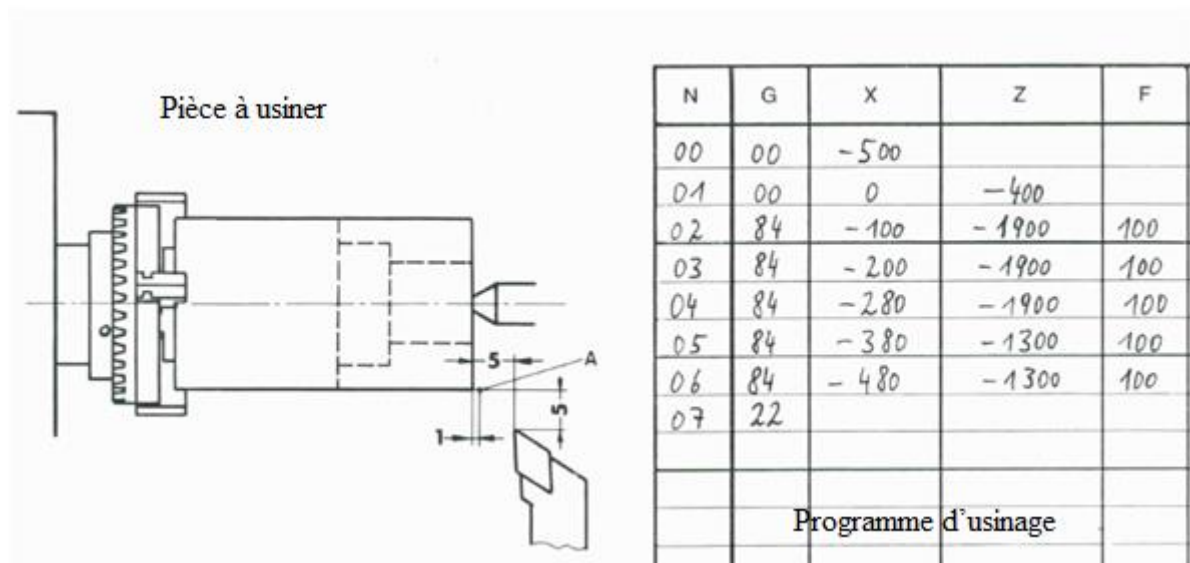


Figure II.1 : Exemple d'un programme d'une pièce en G-code [4].

II.2) Méthodes de Programmation des MOCN

La fabrication d'une pièce sur une machine outil à commande numérique nécessite l'écriture d'un programme appelé programme G-code.

Ce programme peut être rédigé directement par le programmeur (programmation manuelle).

Il peut être, également, réalisé à l'aide de l'ordinateur (programmation automatique ou assistée) [11].

II.2.1) Programmation manuelle

La programmation manuelle consiste à écrire, ligne par ligne (bloc), les étapes successives nécessaires à l'élaboration d'une pièce donnée. Après décomposition du cycle de travail, le programmeur calcule les coordonnées des points intermédiaires, définit tous les déplacements pour chaque passe d'usinage et réalise lui-même la codification des instructions en respectant le format spécifique prévu pour la CN et la machine. Ce mode de programmation requiert une profonde connaissance du langage ISO, des mathématiques (en particulier la géométrie, l'outil

et la matière de lapièce) et des techniques d'usinage (limitations machine, etc).

Pour un opérateur qualifié, la programmation manuelle peut être un moyen efficace d'effectuer des opérations simples. Mais lorsque les pièces deviennent compliquées et qu'elles nécessitent un grand nombre de mouvements, cette méthode devient vite fastidieuse avec des risques d'erreur importants [1].

II.2.2) Programmation automatique (ou assistée)

Lorsque la définition de l'usinage devient trop complexe ou lorsque le volume de programmation est tel qu'il exclut la programmation manuelle, on fait appel à un langage de programmation spécialisé généré à partir d'un système informatique extérieur à la machine. Ce langage comporte généralement deux phases de traitement des programmes.

- La première phase, appelée programme processeur, permet de calculer les coordonnées de tous les points définissant la forme de la pièce puis, en tenant compte de certaines données technologiques d'usinage (vitesse, avance, profondeur de passe en fonction des matières usinées et des outils utilisés, état de surface exigé, etc.), de décrire les diverses trajectoires suivies par l'outil pour parvenir à la pièce finie. Le traitement par ordinateur de cette phase conduit à un fichier image des positions successives des outils ou CLFILE (*Cutter Location File*), indépendant de la machine et de la CN.

- Une seconde phase, dite programme post-processeur, personnalise ces données en langage ISO en tenant compte des caractéristiques de la machine (courses, limitations) et de celles de la CN utilisée (format, fonctions particulières, etc.). Ce post-processeur permet de compenser les différences d'écriture qui existent entre des matériels de provenance diverse, un programme écrit pour une machine donnée étant rarement opérationnel sur une autre machine sans quelques aménagements préalable [1].

II.3) Programmation des cotes

II.3.1) La boucle machine (ou cellule élémentaire d'usinage)

La boucle machine désigne non seulement un ensemble d'éléments, mais également les liaisons mécaniques entre ces éléments. Ce concept est extrêmement important, puisqu'il sert de base à l'étude de l'usinage, à la mise en œuvre rationnelle de la production, au réglage, à la gestion des matériels et des informations associées, à la mise en œuvre des palpeurs...etc.

On considère que la boucle machine comporte :

- Trois éléments principaux : la machine, la pièce et l'outil ;
- Deux éléments interfaces : le porte-pièce et le porte-outil.

Ce concept sera le point de départ de la modélisation du fonctionnement d'une MOCN. Chacun des éléments de la boucle est repéré par une origine. L'usinage de la pièce consiste en un déplacement du point générateur de l'outil (Pt g) sur la pièce. Le mouvement relatif outil-pièce est piloté par le DCN [3].

Pour réaliser ce pilotage, la partie commande utilise comme référence l'origine mesure (figure II.2). Chaque déplacement relatif outil-pièce doit alors être défini en fonction des déplacements possibles des axes de la machine. Les éléments de la boucle machine ont des dimensions à mesurer. Leur empilage génère un décalage de l'origine mesure par rapport au point générateur d'une part et à l'origine programme d'autre part. Le calcul des distances du point générateur et de l'origine programme à l'origine mesure se fait par une chaîne vectorielle [3].

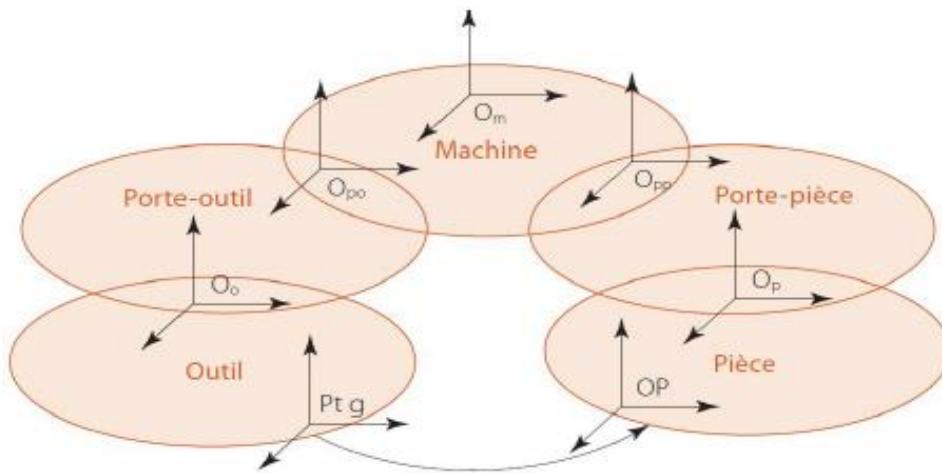


Figure II.2 : Représentation les origines de la MOCN [3].

Om : Origine mesure

Op : Origine pièce

Opo : Origine porte-outil.

OP : Origine Programme.

Oo : Origine outil

Pt g : Point générateur de l'outil (ou point courant).

Opp : Origine porte-pièce.

Le directeur commande numérique (DCN) assure ensuite le contrôle de la position et de la vitesse des organes mobiles de la machine à partir du programme d'usinage. Les programmes d'usinage sont réalisés à partir d'une origine appelée origine programme (**OP**) positionnée par le programmeur [3].

II.3.2) Les origines

II.3.2.1) Origine mesure (Om)

Appelée également « origine machine » l'origine absolue de la mesure est définie sur chacun des axes de déplacement par la position mécanique du capteur d'origine [6].

II.3.2.2) Origine pièce (Op)

L'origine pièce est définie par un point de la pièce sur lequel on est capable de se positionner soit directement, soit à l'aide de cales étalon, au comparateur [6].

II.3.2.3) Origine programme (OP)

L'origine programme est définie par l'origine du trièdre de référence qui a servi au programmeur pour établir son programme. Elle peut être prise dans une position quelconque à l'intérieur d'un prisme rectangulaire dont les cotés sont définis par la longueur des courses [6].

II.3.2.4) Point courant ou Point piloté (R)

C'est un point de référence outil et appartient à la machine. Ce point est défini comme l'intersection de l'axe de l'alésage de logement de l'outil, avec la face de la tourelle dans le cas d'un tour ou, avec le plan de jauge de logement outil dans la broche de centre d'usinage.

Dans des cas particuliers le plan de jauge est confondu avec la face de la broche.

On peut lire à chaque instant la position de ce point par rapport à l'origine programme (OP) ou par rapport à l'origine mesure (Om) [3].

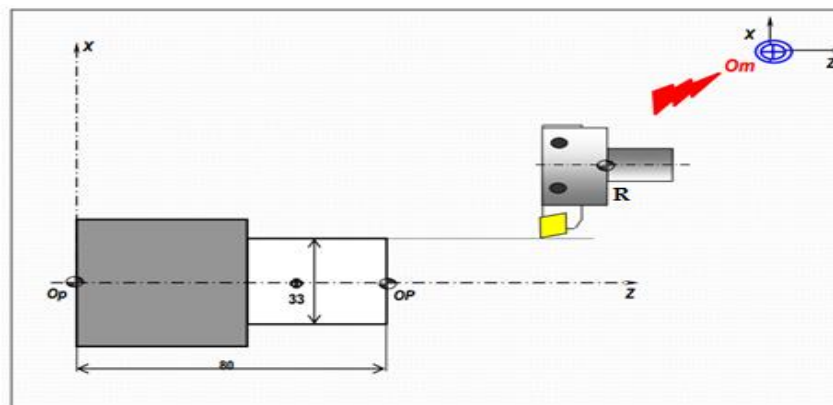


Figure II.3 : Les différentes origines [12].

Cas d'un tour à commande numérique

- les points courants Pct et Pco

C'est le point piloté par la machine.

- Lorsque les corrections d'outils sont nuls, le point courant est situé à l'intersection de la face avant de la tourelle et de l'axe de l'alvéole du porte-outil en position travail. C'est alors le "point courant tourelle" pct.

- Lorsque l'outil est monté sur la tourelle et les paramètres outils sont pris en compte (X, Y, R et C), le point courant est alors situé au point générateur de l'outil.
- C'est alors le **“point courant outil” pco**
- **Les prises de référence \overrightarrow{PREF}**

Pour chaque axe c'est le **“vecteur”** qui représente la **“distance”** de l'origine porte-pièce **Opp** par rapport à l'origine mesure **Om**. Pour une CN et un porte-pièce donné, les **PREF** sont définis une fois pour toutes.

$$\overrightarrow{PREF} = \overrightarrow{Om Opp}$$

- **Les décalages $\overrightarrow{DEC1}$**

Pour chaque axe c'est le **“vecteur”** qui représente la **“distance”** de l'origine programme **OP** par rapport à l'origine porte-pièce **Opp**.

$$\overrightarrow{DEC1} = \overrightarrow{Opp OP} \quad \text{Selon l'axe X} \quad \overrightarrow{DEC1} = 0$$

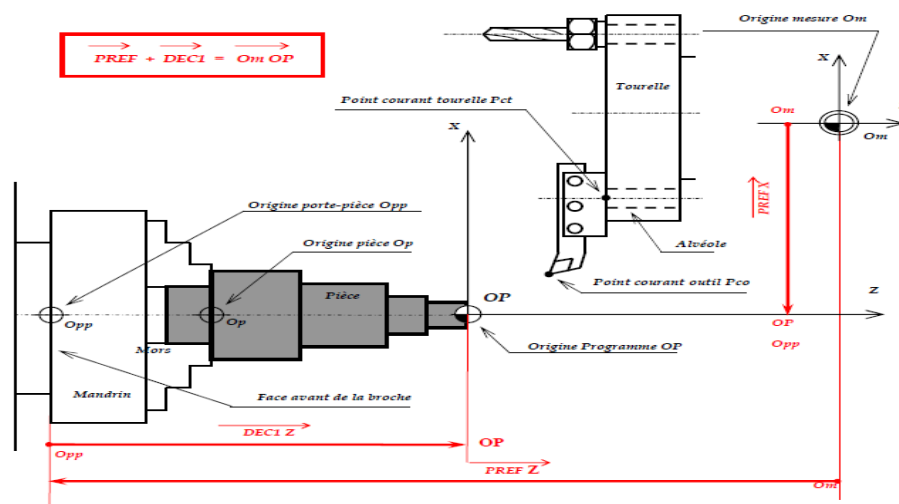


Figure II.4 : Les types de point de référence sur un tour CNC [3].

II.3.3) Les axes

Sur une MOCN la notion d'axe décrit le déplacement linéaire ou rotatif d'un élément de la machine (table, chariot, broche, contre-pointe). Pour faciliter le repérage des axes la norme ISO (International System Organisation) prévoit l'utilisation d'un repère orthonormé direct (Figure II.5). Ainsi les axes X, Y, Z constituent les axes principaux de la machine.

En plus de ces trois axes, la norme ISO comprend trois axes rotatifs A, B, C chacun décrivant une rotation autour d'un axe principal [11].

La norme comprend également trois axes secondaires U, V, W et trois axes tertiaires P,Q,R qui sont des axes parallèles respectivement aux axes principaux X, Y, Z. Pour identifier les axes principaux sur une machine il suffit, en général, d'affecter l'axe Z à celui de la broche,

l'axe X à celui qui a le plus grand déplacement (longitudinal). Enfin, le sens positif est celui où l'outil s'éloigne de la pièce [11].

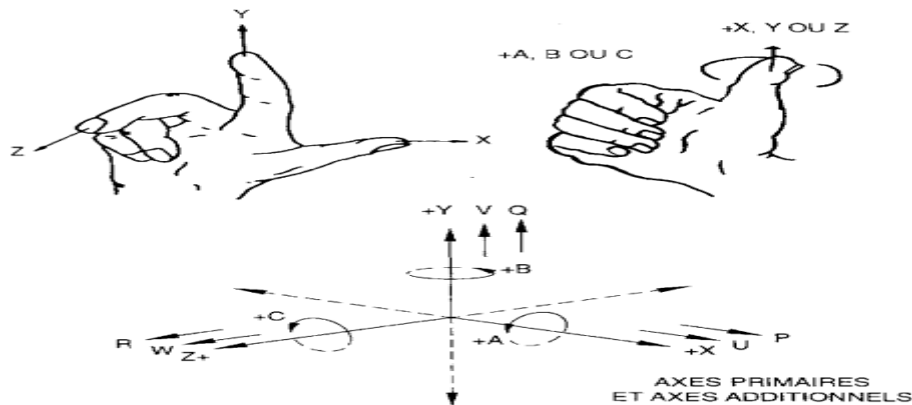


Figure II.5 : Définition des axes dans une MOCN [11].

Le nombre d'axe piloté simultanément constitue une autre caractéristique des machines outil, ainsi, on dira fraiseuse à CN trois axes, tour à CN deux axes. La majorité des MOCN ne contrôle pas plus de quatre ou cinq axes simultanément. A la base, un tour à CN a deux axes alors qu'une fraiseuse à CN en a trois. Mais il existe des fraiseuses deux axes et demi, le troisième axe, généralement la broche, ne se programme pas simultanément avec les deux autres. Le demi-axe n'est qu'un axe de positionnement (indexé). Dans le cas d'une fraiseuse trois axes et demi, le demi-axe est généralement celui de la table rotative. Celle-ci exige une programmation séparée des trois autres axes. Quand la table rotative peut être programmée simultanément avec les trois autres axes (figure II.6), la fraiseuse à CN devient une fraiseuse quatre axes [11].

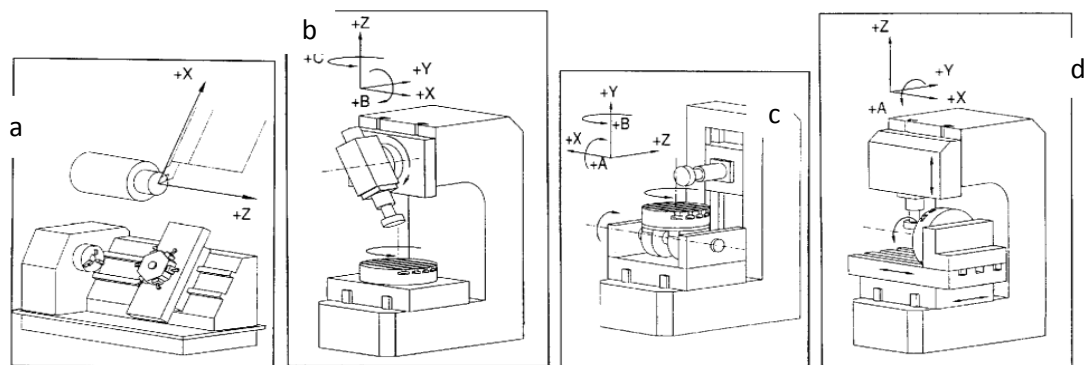


Figure II.6 : Exemple de MOCN de 2 à 5 axes (a): MOCN à 2 axes ; (b,c) :MOCN à 5 axes ; d) :MOCN à 4axes [11].

II.4) Création d'un programme CN

Avant toute programmation proprement dite, il est important de planifier et de préparer méticuleusement les opérations d'usinage. Plus votre préparation aura été précise quant à la

structure de votre programme CN, plus la programmation proprement dite sera simple et rapide et moins vous aurez d'erreurs dans le programme final.

Les étapes de la création d'un programme nécessitent l'ordre suivant :

- Préparer le dessin de la pièce ;
- Définir le déroulement des opérations d'usinage ;
- Définir la gamme de fabrication ;
- Traduire l'opération dans le langage de programmation ;
- Regrouper toutes l'opération en un programme [3]

II.5) Contenu d'un programme CN

Le langage de programmation permet de constituer, sous forme de texte (programme) les informations d'entrées dans la partie commande de la commande numérique Le texte programme est écrit à l'aide de phrases blocs constituées de mots (mots), eux-mêmes constitués de caractères alphanumériques qui sont (figure II.7) :

- Les lettres majuscules de l'alphabet de A à Z, soient 26 adresses les chiffres de 0 à 9 les signes de ponctuation [-----, /, (,), %, +, -]
- L'ensemble lettres et chiffres juxtaposés forme un mot [9].

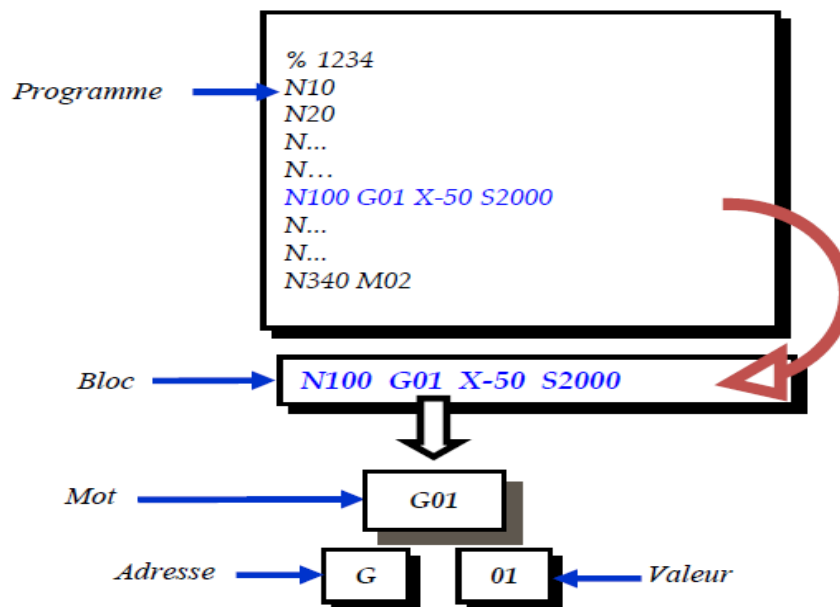


Figure II .7 : La structure d'un programme G-code [3].

Le langage utilisé en programmation est constitué d'un format spécifique à chaque machine outil à commande numérique, il est constitué de :

Adresse : lettre débutant un mot d'un langage machine, qui précise la fonction générale commander.

Mot : ensemble de caractères comportant une adresse suivie de chiffres Constituant une information.

Bloc : groupe de mots correspondant aux instructions relatives à une séquence d'usinage.

Tous les mots d'un langage machine autres que ceux définissant les cotes, est nécessaires pour assurer le fonctionnement d'une machine outil

G : Fonctions préparatoires

F : Fonctions vitesse d'avance

S : Fonctions vitesse de broche

T : Fonctions outil

M : Fonctions auxiliaires (mouvement, sélection du sens, vitesse, arrosage, etc.)[9].

II.6) Structure d'une programmation ISO

La programmation structurée permet d'analyser et de concevoir plus rapidement un programme de commande numérique. Effet, toutes les opérations d'usinage font appel à un certain nombre de fonction identiques (appel d'outil, rotation de broche, mise en route et arrêt de la lubrification, condition découpe dégagement d'outil.. etc.) [3].

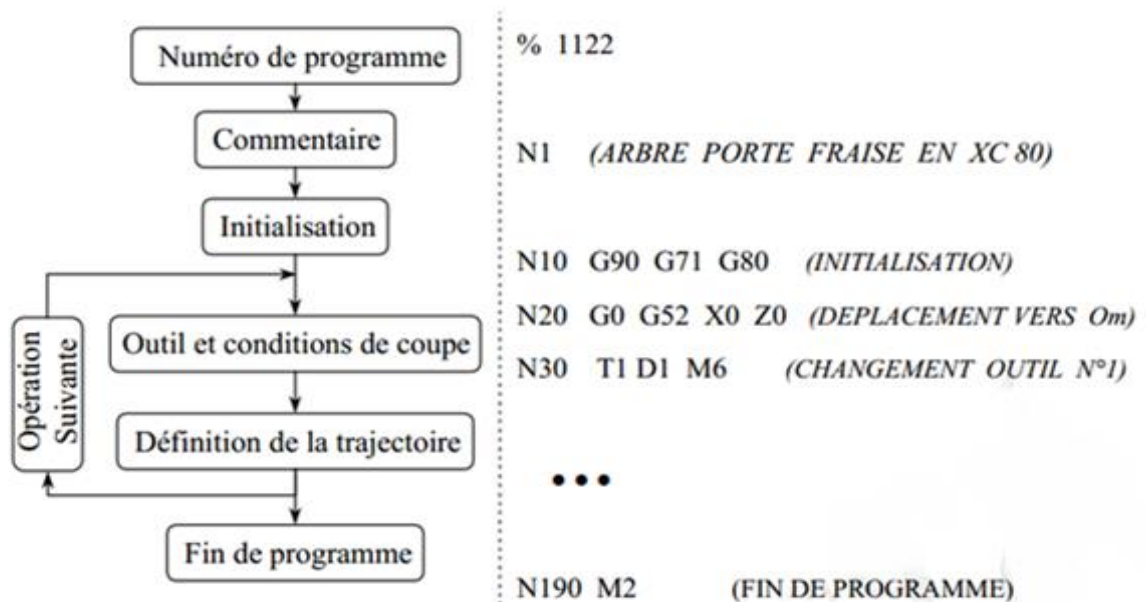


Figure II. 8 : Explication d'un exemple de programme G-code [11].

II.7) Etude de la programmation

II.7.1) Codage des informations

Le **code ISO** est un code créé par l'international Standardisation Organisation (ISO) pour éviter toute ambiguïté dans les identifications et les désignations des différents types de supports .Le code ISO est reconnu au niveau international par tous les pays et il est notamment utilisé comme système d'abréviations pour les monnaies (les deux premières lettres indiquent le payes FR pour la France et la troisième , l'unité monétaire) [5].

Le **code G** à l'origine, le code G est basé sur un principe de programmation qui remonte à la période des cartes perforées, au début des années 60. Il a tout d'abord été développé par l'EIA (Electronic Industries Alliances)

II.7.2) Choix du plan d'usinage G17 à G19

La programmation du plan d'usinage est nécessaire pour la prise en compte des données de correction d'outil. Les plans de travail sont déterminés de la façon suivante :

Dans le réglage de base, G17 (plan X/Y) est préréglé pour le fraisage [3].

Plan	Axe d'outil
X/Y : G17	Z
Z/X : G18	Y
Y/Z : G19	X

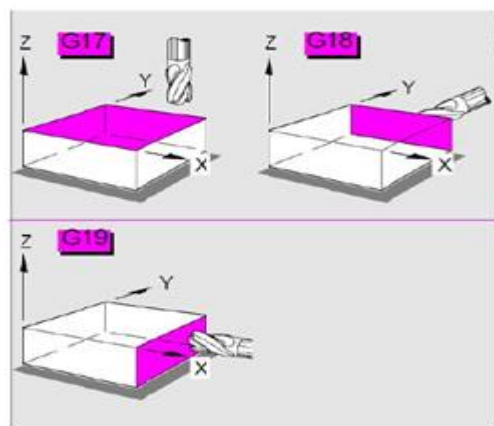


Figure II.9 : Choix du plan d'usinage en fraisage [3].

II.7.3) Les Mode de cotation

Le programmeur peut choisir entre deux modes de programmation :

- programmation absolue (G90) la plus répandue lorsque les Points à atteindre sont systématiquement cotés par rapport à l'origine programme.
- programmation relative (G91) lorsque chaque point à atteindre est coté par rapport au point programmé dans le bloc précédent.

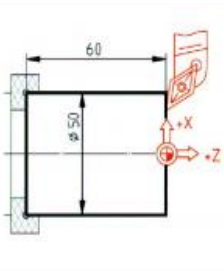
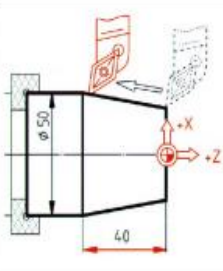
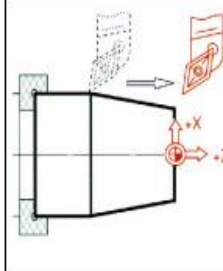
			
En G90	Position actuelle: X40 Z0	Position X50 Z-40	Position Z1
En G91		X5 mm sens (+) Z40 mm sens (-) X5 Z-40	Z41 mm sens (+) Z41

Figure II.10 : Exemple de cotation G90 et G91 cas en tournage [3].

II.7.4) Programmation des instructions de déplacement

II.7.4.1) Interpolation linéaire

a) Déplacement en rapide G00

La fonction G0 provoque un déplacement linéaire en vitesse rapide au point dont les coordonnées sont programmées dans le bloc. Elle provoque la suspension de l'action de F (paramètre d'avance) Cette fonction modale est révoquée par les fonctions contradictoires : G01, G02, G03, G33, etc.... [13].

b) Déplacement en travail G01

La fonction G1 provoque un déplacement linéaire en vitesse de travail au point dont les Coordonnées sont programmées dans le bloc. La valeur du paramètre d'avance prise en compte est la dernière valeur programmée sous F. Cette fonction modale est révoquée par les fonctions contradictoires : G00, G02, G03, G33, etc. Cette interpolation linéaire est possible suivant tous les axes simultanément [14].

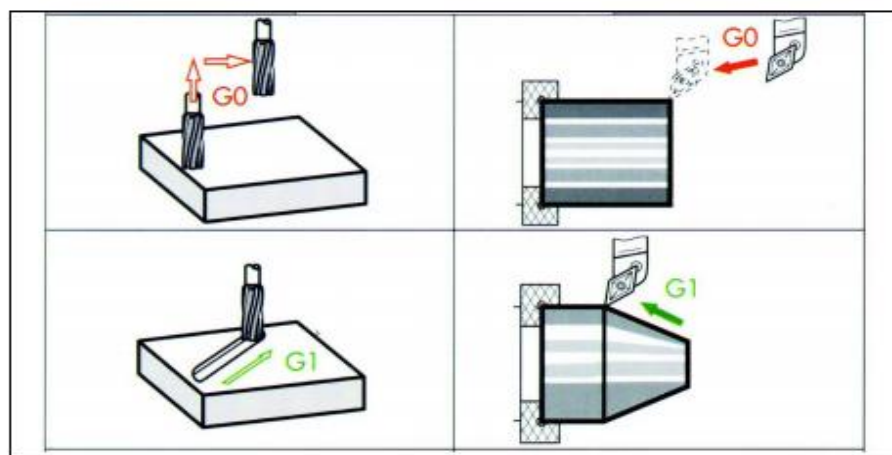


Figure II.11 : Déplacement G00 et G01 en cas de fraisage et tournage [3].

II.7.4.2) Interpolation circulaire

Les fonctions G02 et G03 provoquent un déplacement circulaire en vitesse de travail.

La fonction G02 correspondant à un sens de parcours horaire ou anti-trigonométrique.

La fonction G03 correspondant à un sens de parcours trigonométrique ou antihoraire [13].

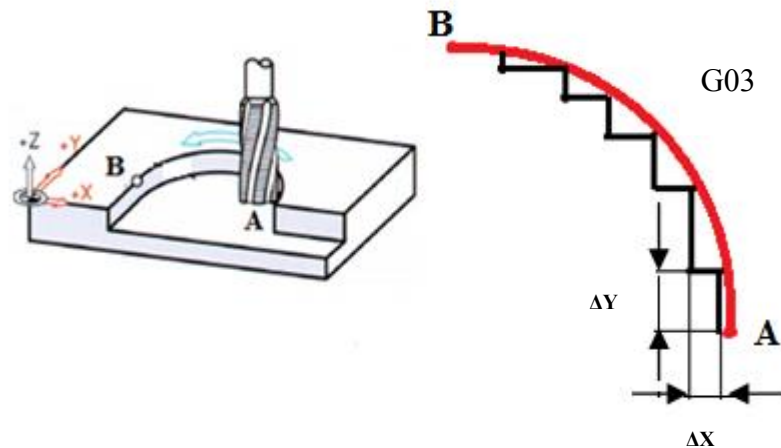


Figure II.12 : Trajectoire théorique de l'interpolation circulaire G03 .

II.7.5) Correction de rayon d'outil

Lorsqu'on programme des déplacements sans compensation de rayon d'outil, c'est la pointe de l'outil, donc l'axe de broche qui est piloté. Utiliser une compensation de rayon sert à piloter la périphérie de l'outil. Les points du plan sont directement programmés et la CN gère automatiquement les déplacements en tenant compte du rayon d'outil.

L'annulation G40

A la mise en route de la machine, aucune compensation de rayon n'est prise en compte. La machine est donc en état d'annulation de compensation, soit en G40.

G40 peut également être déclaré lorsqu'on ne veut plus tenir compte d'un rayon d'outils lors de déplacements. Changement d'outil par exemple.

La compensation G41-G42

Comme dit précédemment, les fonctions G41 ou G42 vont servir à piloter la périphérie de l'outil et non plus son axe.

G41: Compensation de rayon d'outil à gauche. C'est à dire que l'outil se trouve à gauche du profil programmé par rapport au sens d'avance (figure II.13).

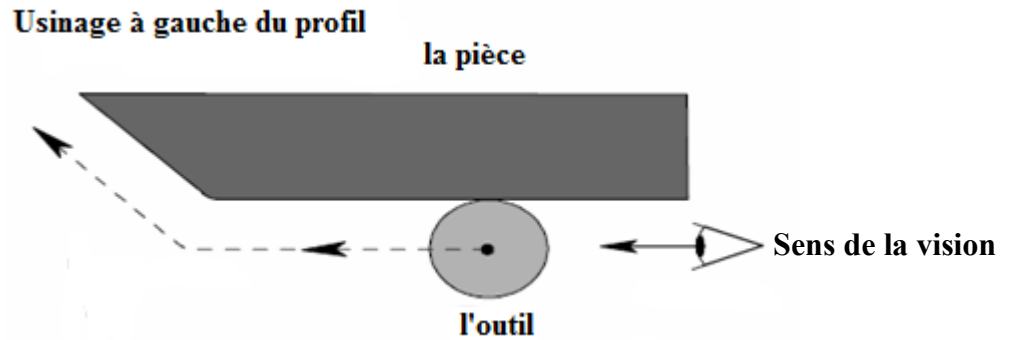


Figure II.13 : Usinage à gauche du profil G41 [13].

G42: Compensation de rayon d'outil à droite. C'est à dire que l'outil se trouve à droite du profil programmé par rapport au sens d'avance (figure II.14).

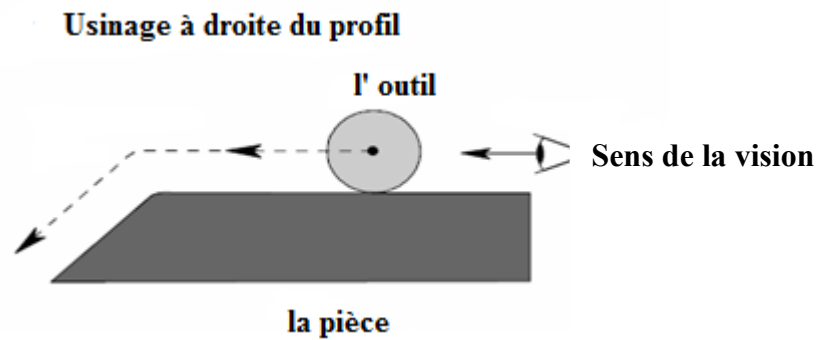


Figure II.14 : Usinage à droite du profil G42 [13].

La prise en compte de la compensation se fait sur un déplacement. C'est à dire que la position avant compensation doit être d'au moins une fois le rayon d'outil. Ce déplacement devant être dans le sens de la compensation. Il peut se faire en vitesse rapide.

II.8) Les principales fonctions

II.8.1) Les fonctions préparatoires, Les instructions G

Tableau II-1: Les instructions G [14].

Fonction	Définition	Format
G00	Positionnement point par point (avance rapide)	V: N3/G00/X ±5/Y ±4/Z ±5/F3 H: N3/G00/X ±4/Y ±5/Z ±5/F3
G01	Interpolation linéaire	V: N3/G01/X ±5/Y ±4/Z ±5/F3 H: N3/G01/X ±4/Y ±5/Z ±5/F3

Chapitre II: La Programmation des MOCN

G02	Interpolation circulaire dans le sens horaire	V: N3/G02/X ± 5 /Y ± 4 /Z ± 5 /F3 H: N3/G02/X ± 4 /Y ± 5 /Z ± 5 /F3
G03	Interpolation circulaire dans le sens antihoraire	V: N3/G03/X ± 5 /Y ± 4 /Z ± 5 /F3 H:N3/G03/X ± 4 /Y ± 5 /Z ± 5 /F3
G04	Temporisation	N3/G04/X5
G21	Interligne	N3/G21
G25	Appel de sous programme	N3/G25/L(F)3
G27	Instruction de saut	N3/G27/L(F)3
G33	Taillage d'un filet	N3/G33/Z ± 5 /F3
G40	Suppression de la compensation du rayon d'outil	N3/G40
G45	Addition du rayon d'outil	N3/G45
G46	Soustraction du rayon d'outil	N3/G46
G47	Addition du diamètre d'outil	N3/G47
G48	Soustraction du diamètre d'outil	N3/G48
G64	Mise hors tension des moteurs d'avance (fonction logique)	N3/G64
G65	Utilisation de la cassette (fonction logique)	N3/G65
G66	Utilisation de l'interface RS 232 C	N3/G66
G72	Cycle de fraisage de poche	V: N3/G72/ X ± 5 /Y ± 4 /Z ± 5 /F3 H:N3/G72/X ± 4 /Y ± 5 /Z ± 5 F
G74	Cycle de filetage, taraudage (filet à gauche)	N3/G74/K(X)3/Z ± 5 /F3
G78	Cycle de filetage	N3/G78/X ± 4 /Z ± 5 /K(F)3
G81	Cycle de perçage	N3/G81/Z ± 5 /F3
G82	Cycle de perçage avec temporisation	N3/G82/Z ± 5 /F3
G83	Cycle de déburrage	N3/G83/Z ± 5 /F3
G84	Tournage par cycle de chariotage	N3/G84/X ± 4 /Z ± 5 /F3/H3
G85	Cycle d'alésage	N3/G85/Z ± 5 /F3
G86	Cycle de rainurage	N3/G86/X ± 4 /Z ± 5 /F3/H3
G88	Cycle de surfacage	N3/G88/X ± 4 /Z ± 5 /F3/H3

G89	Cycle d'alésage avec temporisation	N3/G89/Z ±5/F3
G90	Cotation absolue	N3/G90
G91	Cotation incrémentielle	N3/G91
G92	Décalage du point d'origine	V: N3/G92/X ±5/Y ±4/Z ±5 H: N3/G92/X ±4/Y ±5/Z ±5
G94	Indication de la vitesse d'avance en mm/min (pouces/min)	N3/G94
G95	Indication de la vitesse d'avance en mm/tour (pouces/tour)	N3/G95

II.8.2) Les fonctions auxiliaires M

Se sont les fonctions qui permettent de commander les organes auxiliaires de la machine et la gestion du programme. Les principales fonctions sont :

- **Rotation de la broche (M03-M04)** : Ces deux fonctions auxiliaires donnent l'ordre de mise en rotation de la broche à droite (sens horaire) ou à gauche (sens antihoraire). Elles se trouvent en principe dans le premier ou deuxième bloc d'un programme [16].

- **Arrêt de la broche (M05)**: Fonction auxiliaire qui commande l'arrêt de la rotation de la broche et annule donc les fonctions M03, M04. Cette fonction est utilisée lors d'un changement d'outil dans le bloc précédant le bloc du changement d'outil et à la fin d'un programme à l'avant-dernier bloc. Cette manière de faire permet de vaincre l'inertie de la broche en rotation si celle-ci n'est pas équipée de frein [16].

- **Changement d'outil (M06)** : cette fonction auxiliaire prescrit un changement manuel ou automatique d'outils. Le choix des outils n'est pas régi par cette fonction, mais par la numérotation des outils. Cette fonction peut arrêter ou non automatiquement l'arrosage et la broche [16].

Tableau II-2: Fonctions auxiliaires M [16].

Fonction	Définition	Format
M00	Arrêt intermédiaire	N3/M00
M03	Rotation de la broche à droite	N3/M03
M05	Arrêt de la broche	N3/M05

M06	Calcul de longueur d'outil, correction, introduction du rayon de fraise	N3/M06/D5/S4/Z5/T3
M08	Sortie logique	N3/M08
M09	Sortie logique	N3/M09
M17	Renvoie au programme principal	N3/M17
M20	Sortie logique	N3/M20
M21	Sortie logique	N3/M21
M22	Sortie logique	N3/M22
M23	Sortie logique	N3/M23
M26	Sortie logique – Impulsion	N3/M26/H3
M30	Fin programme	N3/M30
M99	Paramètres Circulaires(En liaison avec G02 et G03)	N3/M99/I5/J4/K5

II.8.3) Les fonctions de vitesse de rotation de la broche (S)

La vitesse de l'outil conformément à la pièce lorsque la pièce est usinée est appelée vitesse d'usinage. Comme pour la CNC, la vitesse d'usinage peut être spécifiée par la vitesse de la broche en tour / minute [16].

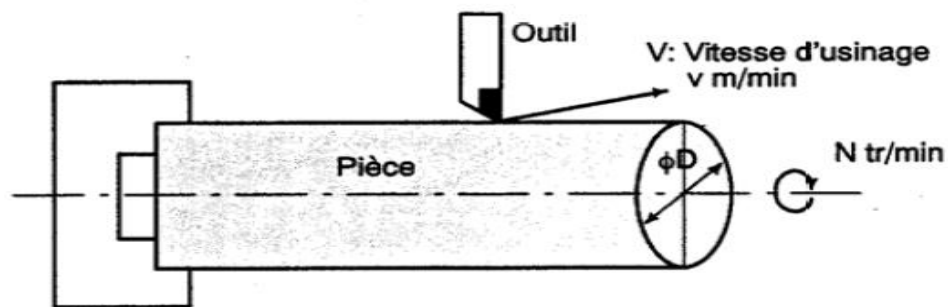


Figure II.14 : Fonction de vitesse de rotation de la broche [13].

Les commandes associées à la vitesse de la broche sont appelées fonction vitesse de broche. la vitesse d'usinage v (m/min) peut aussi être directement spécifiée par la valeur de la vitesse. Même lorsque le diamètre de la pièce est modifié, la CNC change la vitesse de la broche de façon à ce que la vitesse d'usinage reste constante. Cette fonction s'appelle fonction contrôle de la vitesse de coupe constante [16].

II.8.4) Les fonction d'avance (F)

Le mouvement de l'outil à une vitesse spécifiée pour l'usinage d'une Pièce est appelé avance. Les vitesses d'avance peuvent être spécifiées à l'aide de chiffres réels. Par Exemple pour déplacer l'outil à une avance de 150 mm/mn il faut programmer ce qui suit: F150 La fonction qui permet de définir l'avance est appelée fonction avance [16].

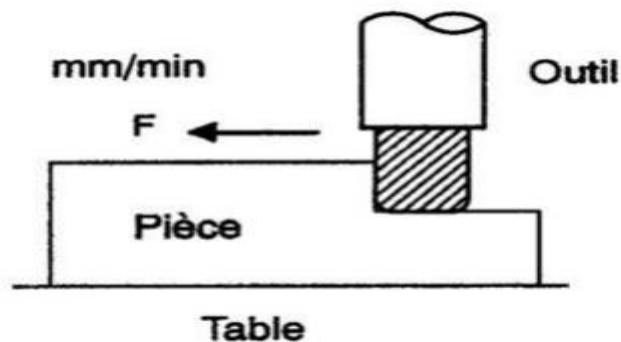


Figure II.15 : Fonction d'avance [16].

II.8.5) Sélection de l'outil pour différents usinage (T)

Lorsque des perçages, des taraudages, des alésages, des fraisages et autres Opérations d'usinage doivent être effectuées, il est nécessaire de Sélectionner un outil adéquat. Lorsqu'un numéro est attribué à chaque Outil et que le numéro est spécifié dans le programme, l'outil Correspondant est sélectionné.

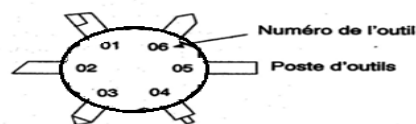


Figure II.16 : Porte outil multiple [9].

Emplacement (n° 01) désigné pour un outil de dégrossissage. Quand l'outil est mémorisé à l'emplacement 01 du poste d'outil, vous Pouvez le sélectionner en spécifiant T0101. (en tournage) ou T01M06 (en fraisage) Cette fonction porte le nom de fonction outil. [9]

II.9) Cycles d'usinage

On appelle cycles d'usinage des programmes fixes stockés dans la mémoire de la CN en vue de faciliter l'exécution d'opérations d'usinage répétitives. À partir d'un nombre limité d'instructions fournies par le programmeur, la CN élabore un cycle complet d'usinage et le décompose suivant ses phases successives.

Généralement appelés par une fonction préparatoire de G81 à G89, les cycles fixes d'usinage sont propres à chaque type de machine :

- cycles d'ébauche, de dressage, de perçage, d'usinage de gorges, d'usinage avec outil tournant, de filetage et de palpé sur les machines de tournage ;
- cycles de perçage de taraudage, d'alésage, de surfacage, de rainurage, de contour nage, d'usinage de poches, de filetage au grain et de pal page sur les machines de fraisage ;
- cycles de plongée, de balayage, d'épaulement, de profilage et de diamantâge des meules sur les machines de rectification [1].

II.9.1) Opération des cycles

II.9.1.1) Cycles de filetage à pas constant G33

La commande **G33** permet d'usiner des filetages droits à pas constant .Le codeur de position installée sur la broche lit la vitesse de cette dernière en temps réel .cette vitesse est convertie en avance par minute pour déplacé l'outil.

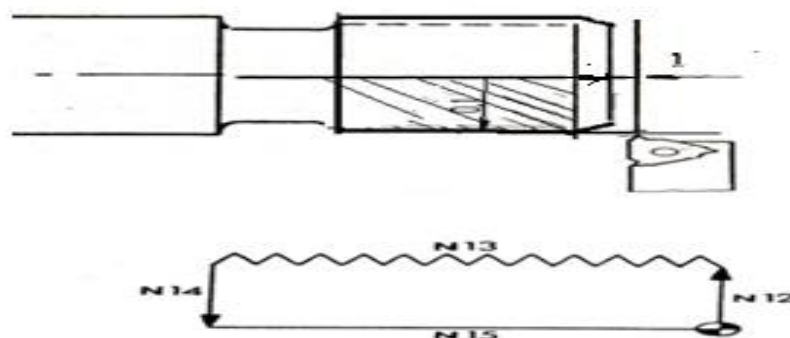


Figure II.17 : Cycle de filetage G33 [16].

Nous admettons que le dégagement par rainure et les chanfreins sont tournés. Le burin de filetage présente un écartement de 1mm par rapport à la face et de 0.1 mm par rapport à la surface cylindrique. La programmation intervient de façon incrémentielle.

N12 : approche de 0.3 mm en avance rapide.

N13 : première passe.

II.9.1.2) Cycle de perçage avec déburrage à grande vitesse G73

Ce cycle exécute le perçage avec déburrage à grande vitesse. Le perçage se fait par plongées et retraits successifs pour dégager les copeaux.

G73 X_ Y _Z _R _Q _F_ k;

X_Y : Cordonnées de la position du trou.

Z : La distance du point R au fond du trou.

R : Distance du niveau initial ou niveau du point R

Q : profondeur de taraudage à chaque opération successive

F : Vitesse d'avance d'usinage

K : Nombre de répétitions

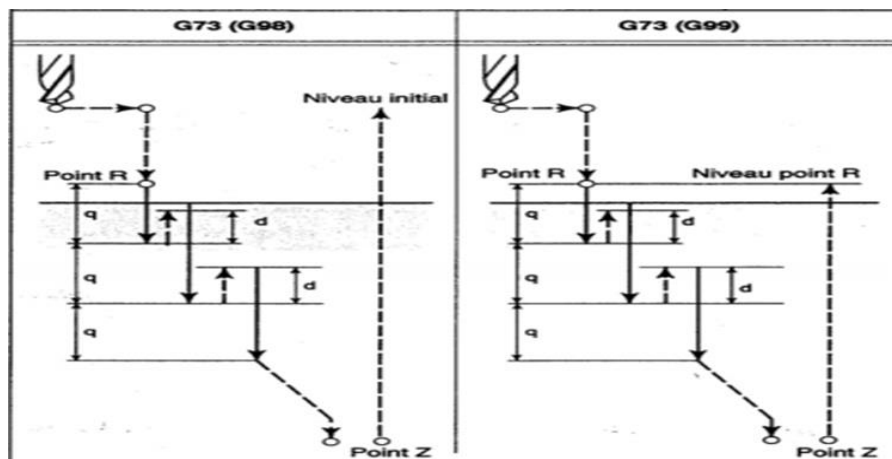


Figure II.18 : Cycle de perçage avec déburrage à grande vitesse G73 [16].

Le cycle de perçage avec déburrage à grande vitesse effectue un perçage par plongées successives suivant l'axe Z. Lorsque ce cycle est utilisé, les copeaux sont sortis du trou

facilement, et une plus petite valeur peut être spécifiée pour les retraits. Ceci permet d'effectuer un bon perçage. la valeur du retrait (d) se fait en avance rapide [16].

II.9.1.3) Cycle de perçage avec lamage G81

Ce cycle est utilisé pour des perçages normaux. Le perçage se fait à l'avance programmée jusqu'au fond du trou. Ensuite il y a retrait de l'outil en rapide.

G81 X_ Y_ Z_ R_ F_ k;

X_Y : Cordonnées de la position du trou.

Z : La distance du point R au fond du trou.

R : Distance entre le niveau initial et le point R

F : Vitesse d'avance d'usinage

K : Nombre de répétitions

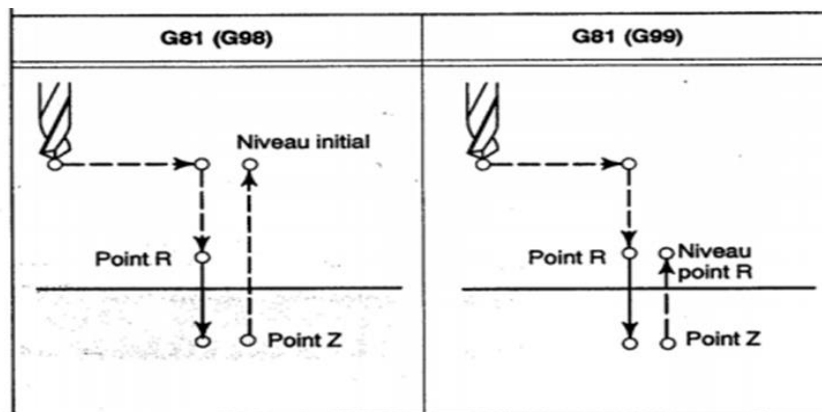


Figure II.19 : Cycle de perçage avec lamage G81 [16].

Après le positionnement des axes X et Y, l'axe Z va en rapide jusqu'au point R. le perçage effectué à partir de point R jusqu'au point Z. lorsque le fond du trou et atteint, une temporisation et effectuée. Il y a ensuite retrait de l'outil en transversal rapide [16].

Chapitre III : Modélisation géométrique de la MOCN type EMCO f1 cnc

Dans ce chapitre on a employé la modélisation géométrique de la machine fraiseuse F1 CNC type EMCO en utilisant le logiciel (CATIA V5R20), pour ce faire on procède à prendre des mesures (longueurs, largeurs, diamètres ... etc) sur site des différents éléments constituant la machine, ensuite avec le logiciel CATIA, on a reconstruit la machine en tenant compte des liaisons (translation, pivot, rotation...etc) entre les éléments principales de la machine.

III.1) Généralités :

Les systèmes mécaniques permettant le déplacement d'un solide (qu'il on appellera L'organe terminal), par rapport à une base fixe joue un rôle très important dans les multiples applications. Un solide dans l'espace peut effectuer différents types de déplacement. Des translations et des rotations que l'on appelle six degrés de liberté.

La modélisation géométrique des machines CNC à 3 axes consiste la relation entre les paramètres de configuration (coordonnées généralisées) et les paramètres de position de l'organe terminal (coordonnées opérationnelles).

La cellule élémentaire: description d'une tâche sur une machine automatisée

– Aspect technologique: préparation nécessitant les mobilisations des connaissances relatives à la maîtrise du procédé (choix des équipements, du processus et des conditions de mise en œuvre).

– Aspect géométrique: localisation (positionnement, paraxial, suivi de trajectoire) de l'effecteur dans l'espace de la tâche.

– Eléments permanents concourant à la réalisation de la tâche :

- l'outil
- l'effecteur
- la machine porteuse
- le système de commande
- le système de retour d'information qualifiant la tâche (géométrique ou technologique).

La situation relative de l'outil par rapport à la pièce est assurée par une chaîne de solides: liaison complète, mouvement de translation ou de rotation assuré par réglage ou par commande à l'aide d'un actionneur.

La géométrie des surfaces, les dimensions de la porte pièce est définies dans l'espace des tâches les mouvements relatifs sont exprimés dans l'espace articulaire.

III.2) Modélisation des MOCN ?

Par définition, le pilotage d'une machine-outil à commande numérique est réalisé par un ordinateur qui établit une stratégie de commande des axes (sortie) en fonction des déplacements mesurés de la machine (entrée). Pour pouvoir agir, le calculateur doit se représenter la machine dans l'espace en fonction des données (déplacements sur les axes). Il s'appuie sur le modèle. La modélisation mécanique de la partie opérative est nécessaire au

calcul de l'asservissement. De même la modélisation géométrique de la machine est nécessaire à sa commande par l'opérateur [17].

III.3) Différents types de modélisation

Il existe plusieurs types de modélisations, suivant le point de vue adopté, et les objectifs recherchés. Au sens de l'utilisation, il existe un ensemble de règles et conventions normalisées, qui simplifient l'emploi des machines-outils à commande numérique, et autorisent le passage d'un programme d'une machine à l'autre. C'est une modélisation cinématique, qui codifie la description des déplacements.

Elle est nécessaire au programmeur. Par contre, elle n'est pas suffisante, lorsqu'on envisage la mise en production d'une pièce, car les notions de précision d'usinage n'apparaissent pas dans le modèle. Au sens de l'obtention de la pièce, on cherche avant tout à obtenir une géométrie correspondant au contrat de phase. Cette géométrie est exprimée sous forme de cotes nominales et de tolérances dimensionnelles. Il faut donc trouver un modèle qui permette de décrire les positions successives de l'outil dans l'espace machine et de placer correctement l'outil par rapport à la pièce. Ceci impose une modélisation, qui décrit les dimensions caractéristiques de la machine et de son environnement. Le régleur assure l'obtention de pièces bonnes en corrigeant les valeurs de ces caractéristiques. C'est la modélisation vectorielle de la machine-outil.

Au sens de la commande, la commande numérique doit être capable de transformer les ordres de mouvement donnés dans un système de coordonnées particulier, en des commandes de déplacement sur chaque axe. Il faut avoir une modélisation géométrique plus complète inspirée des modèles de la robotique, qui permet de passer d'un système à l'autre. De plus cette modélisation géométrique prend en compte les défauts géométriques de la machine et assure une commande plus précise [17].

III.3.1) Modélisation conventionnelle d'une MOCN

L'utilisation d'une machine-outil à commande numérique impose de fait l'utilisation d'un modèle associé. La définition normalisée des axes et les usages de programmation y concourent. Dans cette partie, nous rappelons les conventions indispensables à connaître lors de l'élaboration d'un programme de commande numérique [17].

III.3.2) Modélisation géométrique des MOCN (Cellule élémentaire d'usinage)

Ce concept se veut un modèle général de description de la cinématique et de la géométrie d'une machine-outil. Directement dérivé de la robotique, il lui empreinte les dénominations et les méthodes de résolution [17].

III.5) Modélisation de la fraiseuse F1 CNC type EMCO

Avant de commencer la modélisation géométrique de la machine outil à commande numérique de type EMCO f1 CNC qui se trouve au niveau de notre Hall technologie de l'université de M'sila (figure III.1), on a commencé par prendre des mesures sur site des différents éléments constituant la machine (table1, table2, table3, étai et la poupe mobile) à l'aide des instruments de mesures (une règle graduée et un pied à coulisse).



Figure III.1 : EMCO f1 CNC (Hall technologique, Université de M'sila).

Une fois les mesures des dimensions de la machine 3 axes ont été prises, on procède à l'étude de la liaison des différents éléments de ce dernier (figure III.2). On a des mouvements rectiligne de la machine selon les axes X et Y, Z. dans notre cas il y a trois translation T_x , T_y et T_z . T_x représente la translation suivant l'axe X (table 2), T_y représente la translation suivant l'axe Y (table 3) et en fin T_z représente la translation suivant l'axe Z (poupe mobile) .

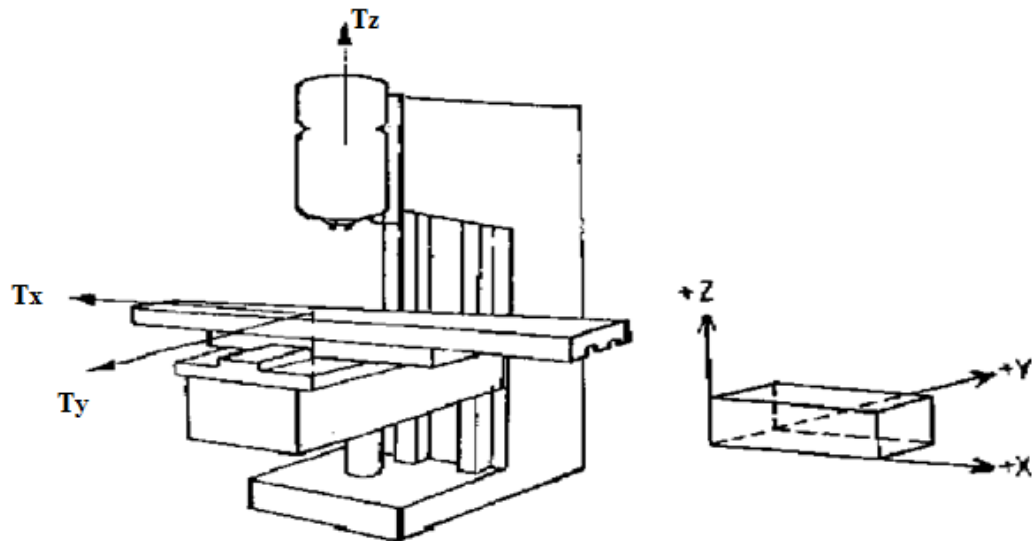


Figure III.2:Définition des axes sur la machines-outils type EMCO F1CNC.

L'objectif principal de cette modélisation géométrique est d'avoir une machine outil à commande numérique (figure III.3) qu'on peut l'utiliser dans le cas de la fabrication assistée par ordinateur (FAO) en utilisant le logiciel CATIA V5. Ce travail donne la possibilité pour les futurs étudiants en génie mécanique à mieux utiliser et comprendre le fonctionnement des MOCN à l'aide de la simulation d'usinage. En d'autre terme, on ouvert une porte vers l'évolution de ces machines qui date des années 80 ou la technologie à cet époque n'est pas encore évolué comme aujourd'hui.

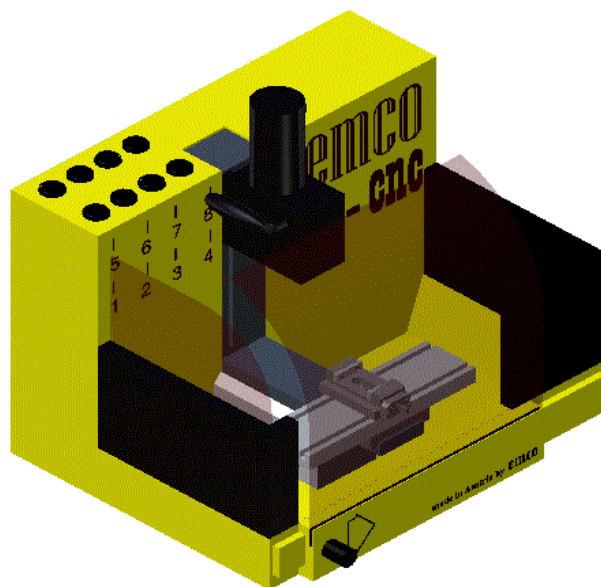


Figure III.3 : EMCO f1 C*NC modélisée avec CATIA R20V5.

III.6) Modélisation géométrique d'une fraiseuse 3 axes pour la simulation d'usinage

En premier lieu, il est nécessaire de créer l'ensemble des pièces constitutives de la machine ou de récupérer le modèle dans un format neutre. Dans le cas de cette étude, on désire réaliser la cinématique d'un EMCO F1 cnc 3 axes. Pour ce faire, on procède à l'ouvrir des différentes pièces constitutives de cette machine dans le répertoire cinématique EMCO f1 cnc.

Il est nécessaire pour une construction correcte de la cinématique de placer les axes dans le bon repère : base (X, Y et Z) de la cinématique machine identique avec la base XYZ de l'assemblage, ensuite on ouvert alors un assemblage et le renommer en EMCO et enfin on place tous les composants de la machine sur le même niveau.

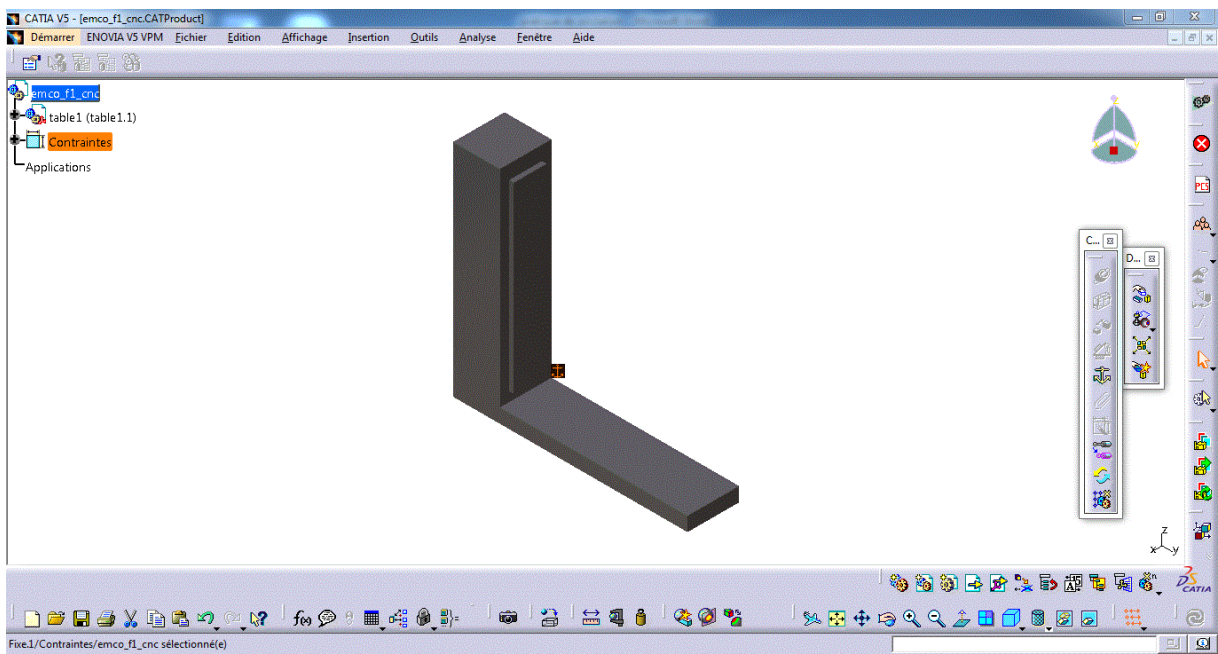
1^{er} étape: conception de toutes les pièces de la machine dans le même niveau

Dans cette étape toutes les éléments (27 pièces) qui constitués la machine sont présentées dans l'annexe à la fin de ce mémoire. Nous tenons à préciser que ces éléments sont dessinés à l'échelle 1/1 dans l'atelier part design. Et pour le détail de ces éléments sont élaborés dans l'atelier Drafting (voir l'annexe).

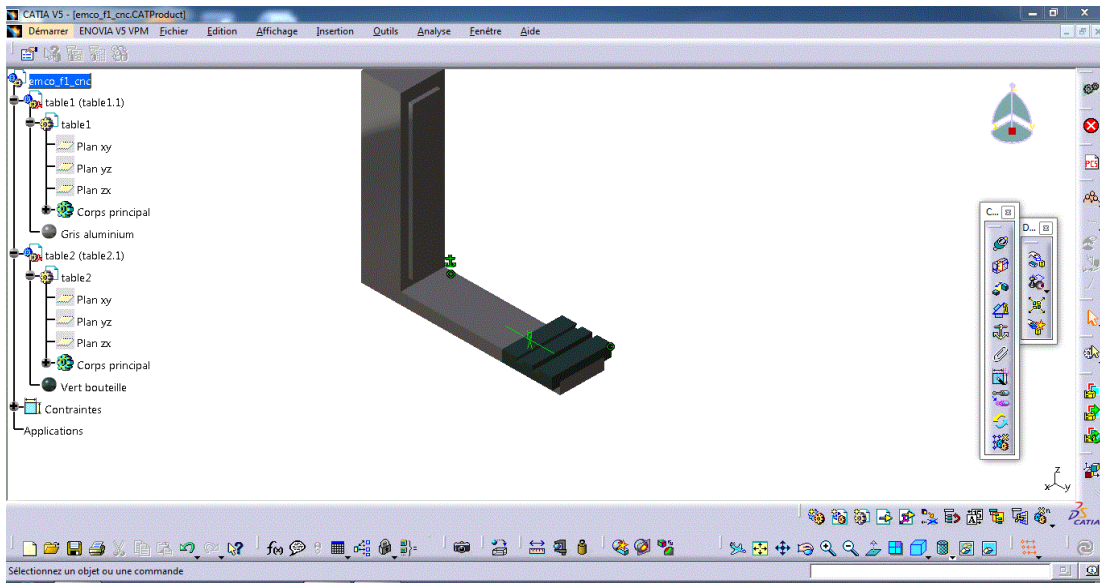
2^{eme} étape : assemblage de machine

Les pièces suivantes (table 1, table2, table 3 et poupée_mobile) sont assemblées dans l'atelier d'assemblage (Assembly design), toutes en respectant les liaisons entre les différents éléments de la machine EMCO f1 cnc:

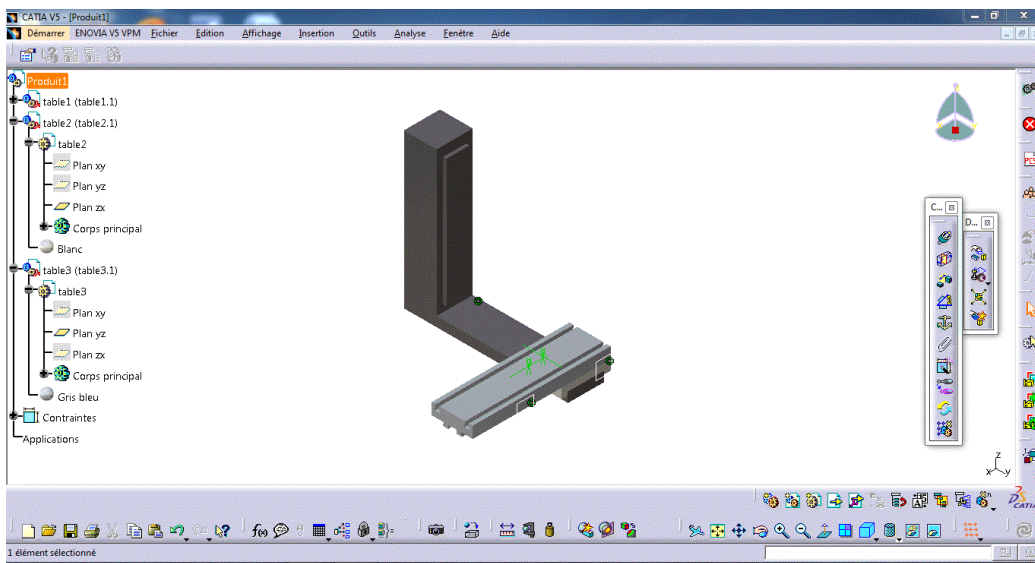
- Fixation de la table1



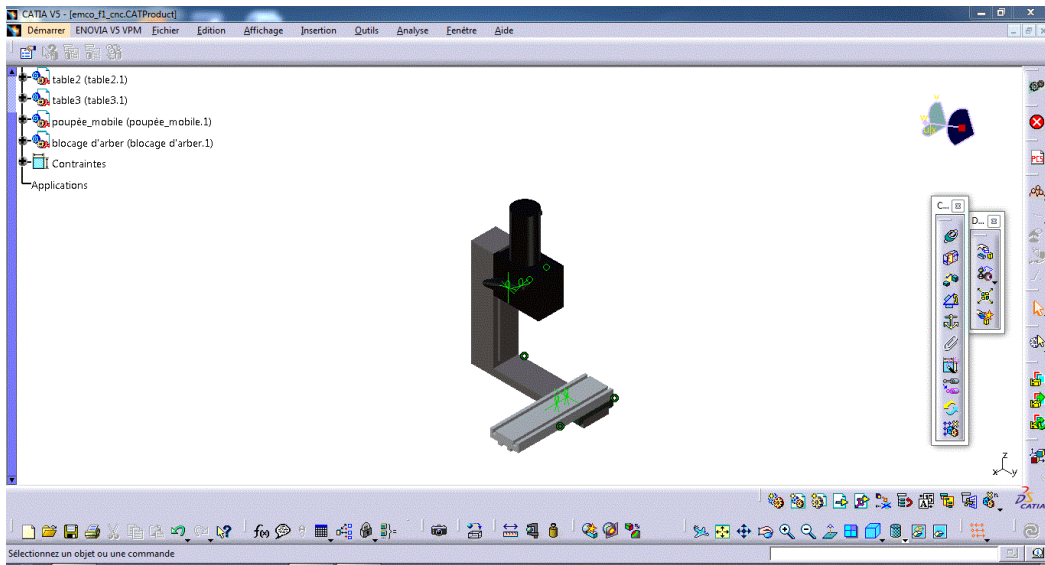
- Appliquer l'assemblage de contrainte de coïncidence et contrainte de contact entre la table 1(fixe) et la table 2(transversal).



- Appliquer l'assemblage de contrainte de coïncidence et contrainte de contact entre la table 2(transversal) et la table 3(longitudinal).

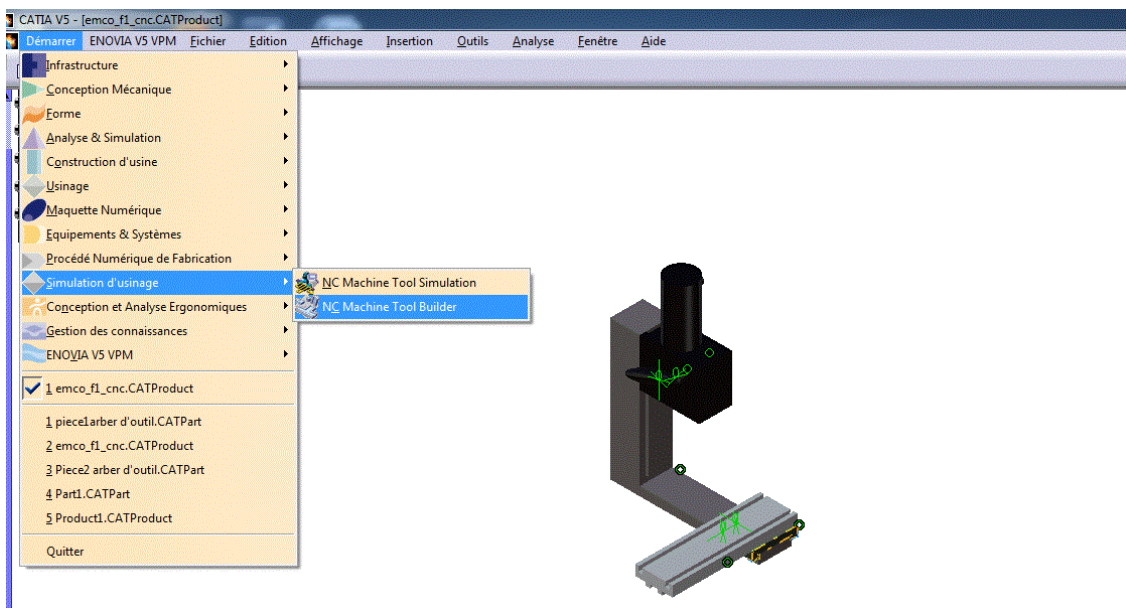



- Appliquer l'assemblage de contrainte de coïncidence et contrainte de contact entre la table1(fixe) et la poupée mobile(vertical) .

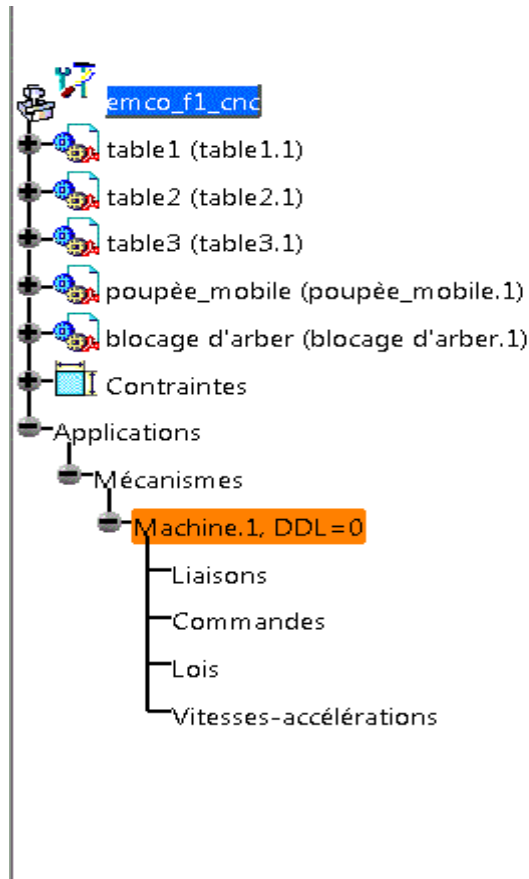


3^{ème} étape : définie une nouvelle machine (CN machine tool builder) :

➤ Lancer l'atelier NC machine tool builder (menu Démarrer->Simulation d'usinage)

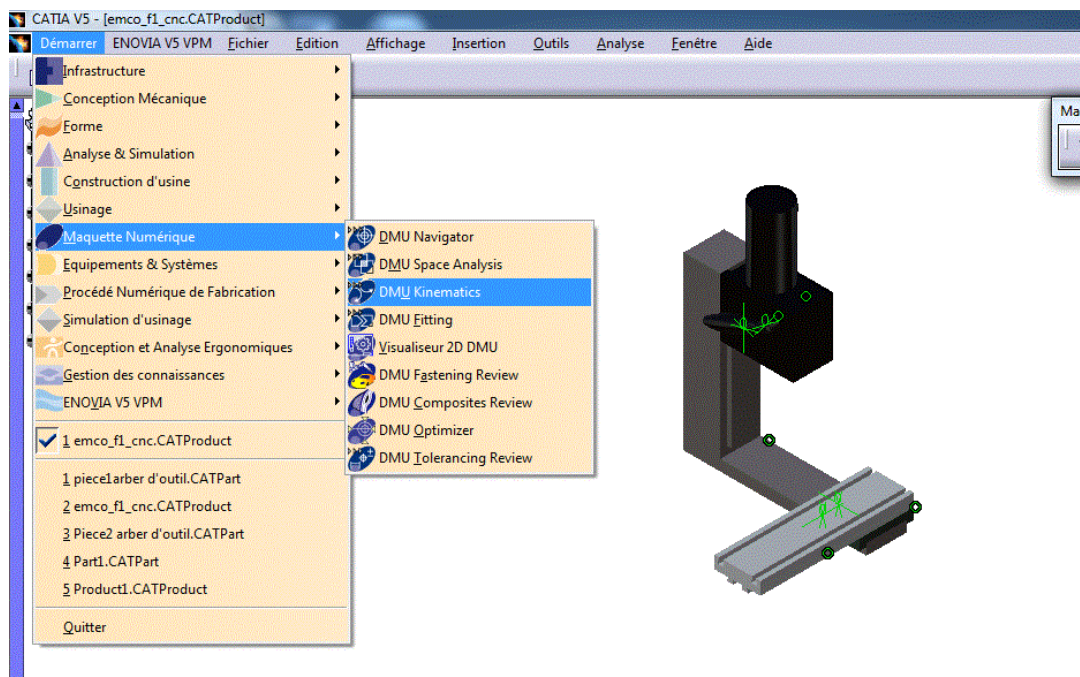


➤ Définir une nouvelle machine  (machine building) Qui présente Affichage du mécanisme de nouvelle machine



4^{ème} étape : définition joints in DMU cinématique :

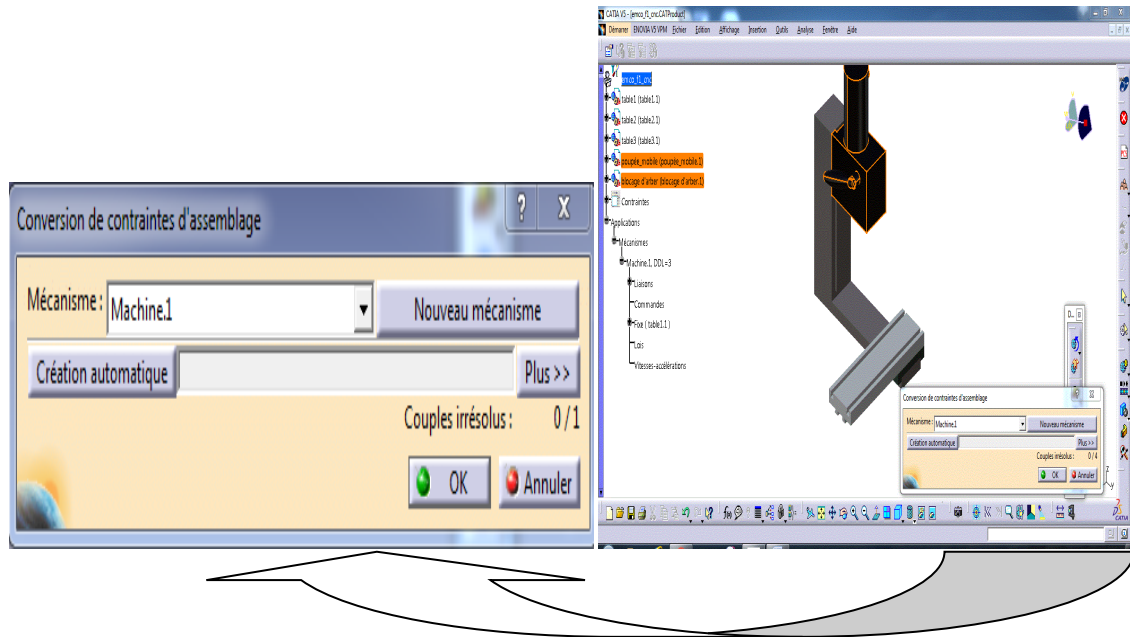
- Lancer l'atelier DMU kinematics (menu Démarrer->Maquette numérique)



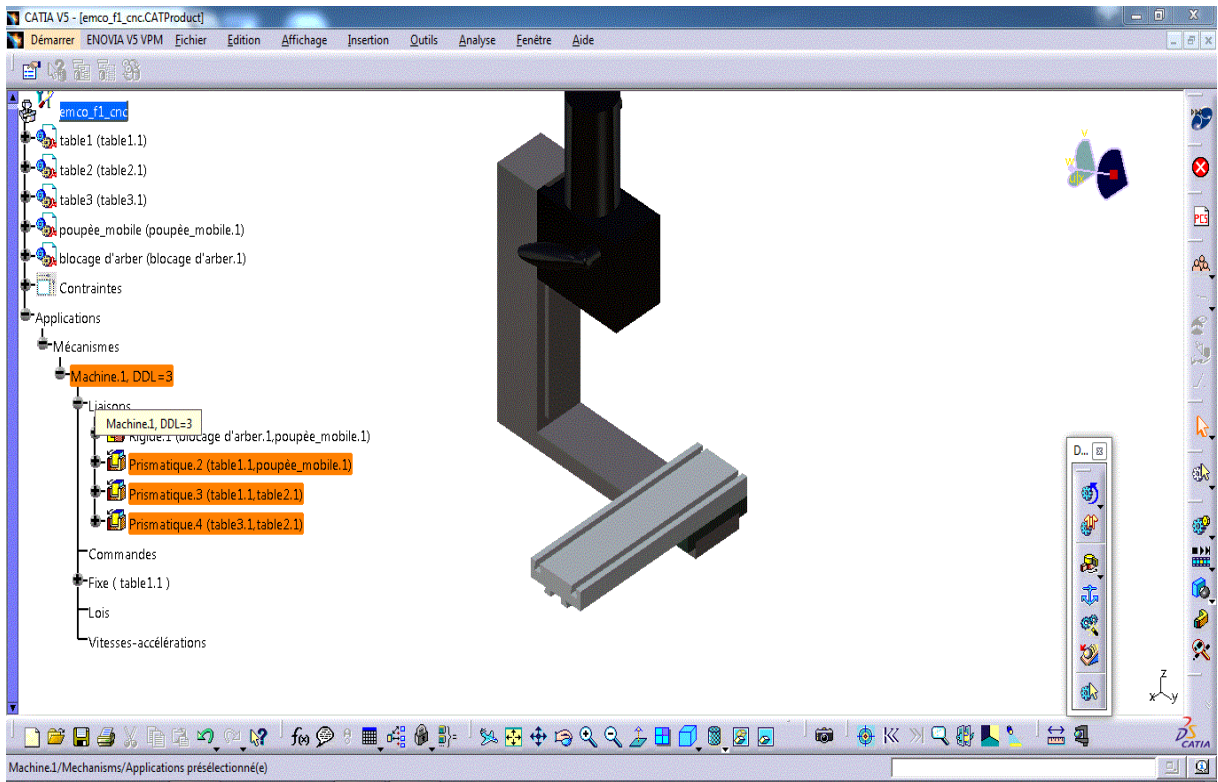
- définie une conversion de contraintes d'assemblage



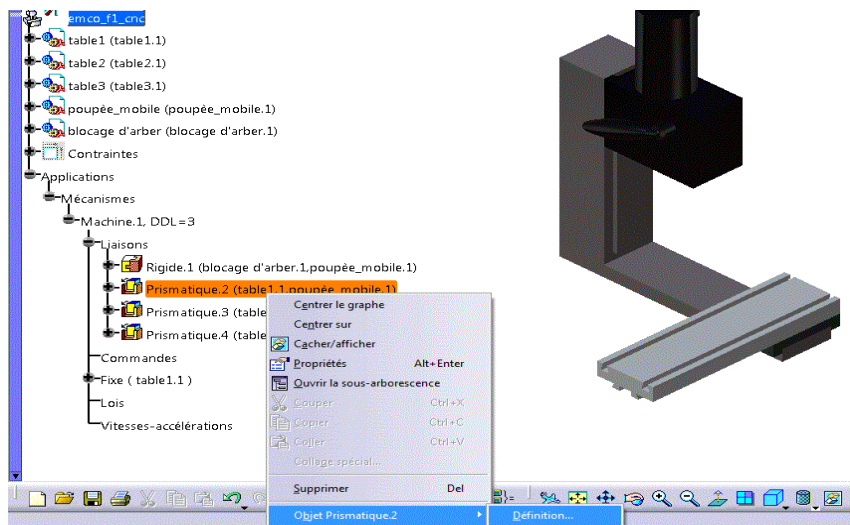
- clique sur **création automatique** que sera **Ok**



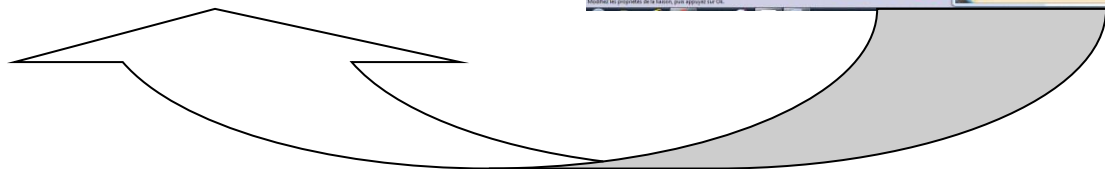
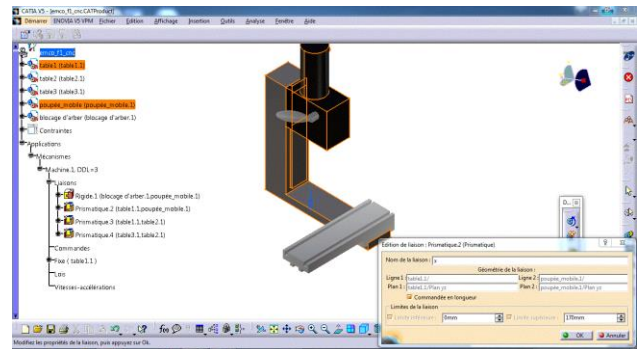
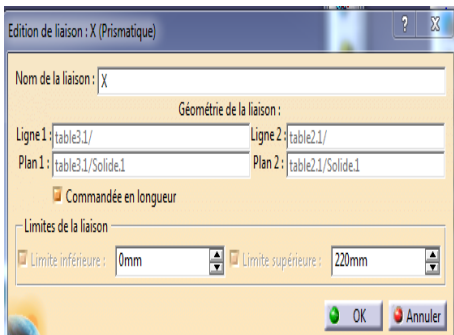
- Défini la liaisons de la machine.



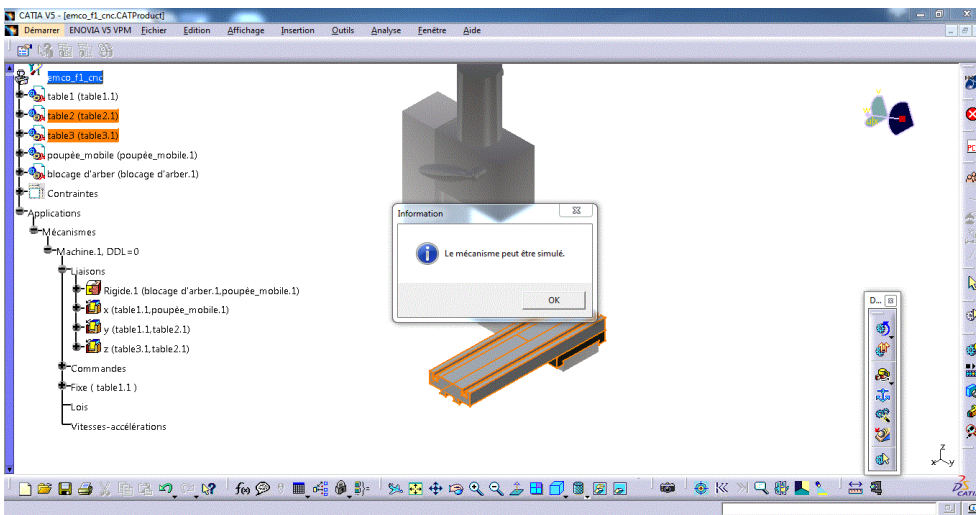
- Clique sur Prismatique (2 ,3 et 4)(objet prismatique =definition).




➤ Defini la limite de la liaison que sera ok

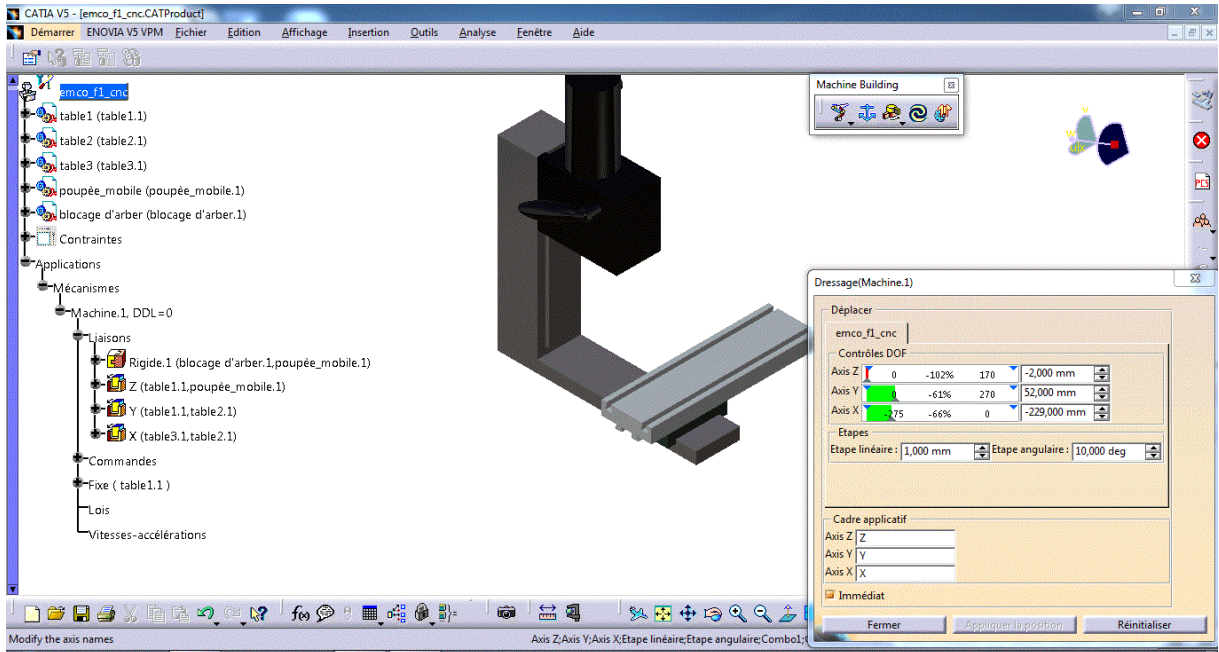


➤ Reperste la configuration de mecanisme peut etre definie.

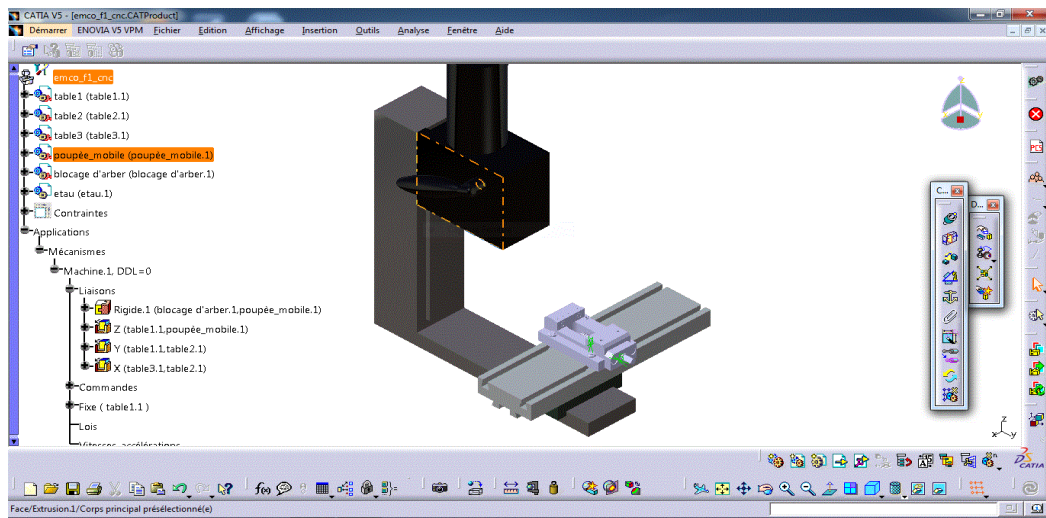


Chapitre III : Modélisation géométrique de la MOCN type EMCO f1 cnc

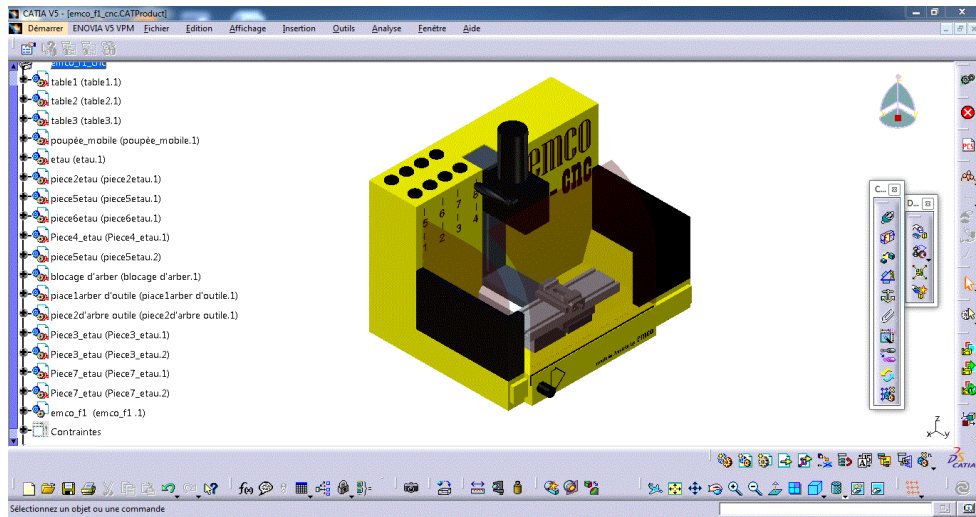
- Cliquez sur  axis names pour Représente les mouvements de la machine avec les axes



- Appliquer l'assemblage de contrainte de coïncidence et contrainte de contact entre la table 3(longitudinal) et l'étau




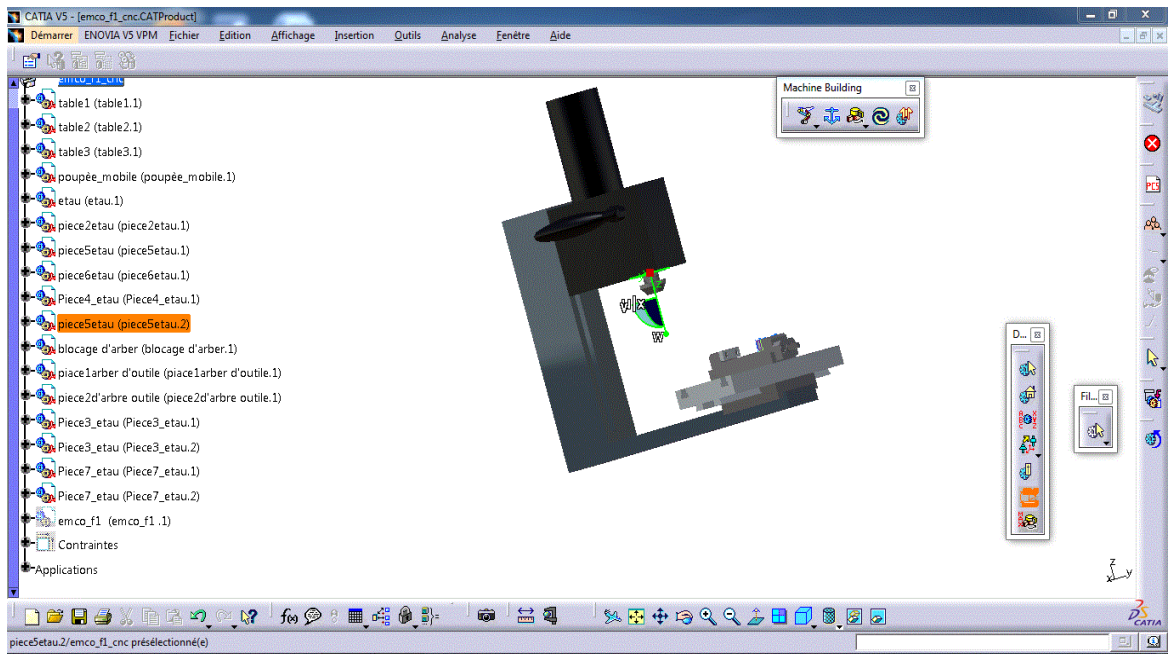
- Appliquer la contrainte d'assemblage (contraint de contactet)dans la table 1 avec la emco f1




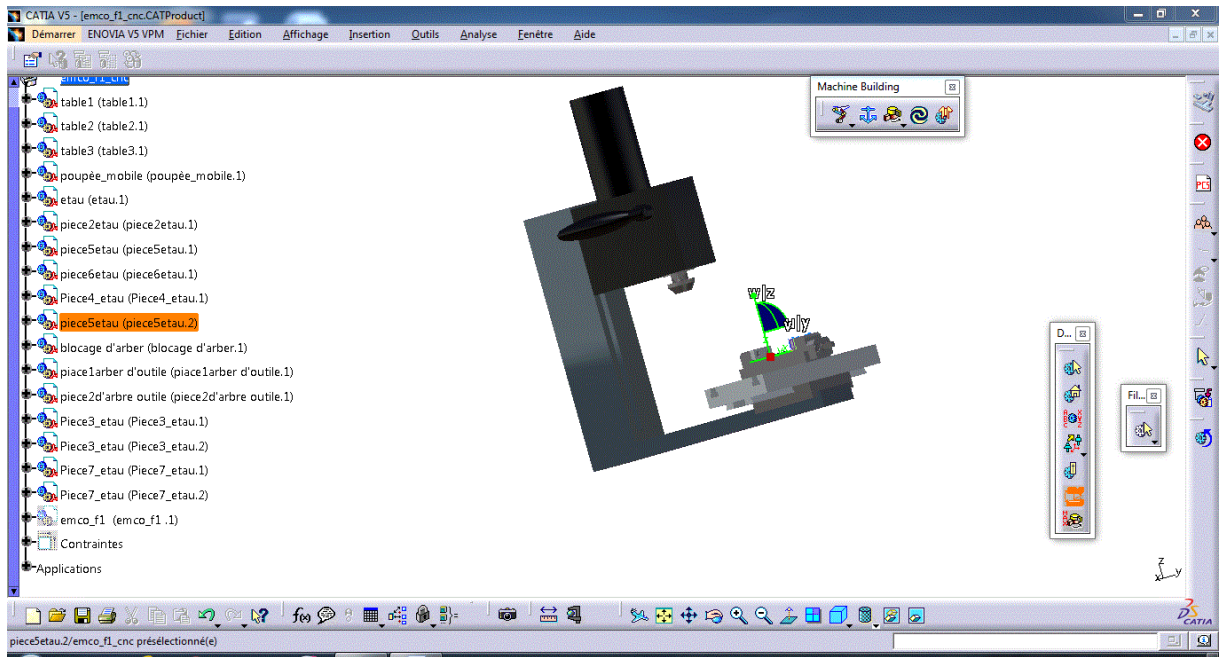
Ainsi, jusqu'à la fin toute l'assemblage de pièce de la machine EMCO.

4eme étape : définition Mount point hone position in NC machine tool builder :

- Nous définissons le point de montage et des outils 
- La pointe de montage est placée à la base de la broche
- Sélectionnez le composant ...ok



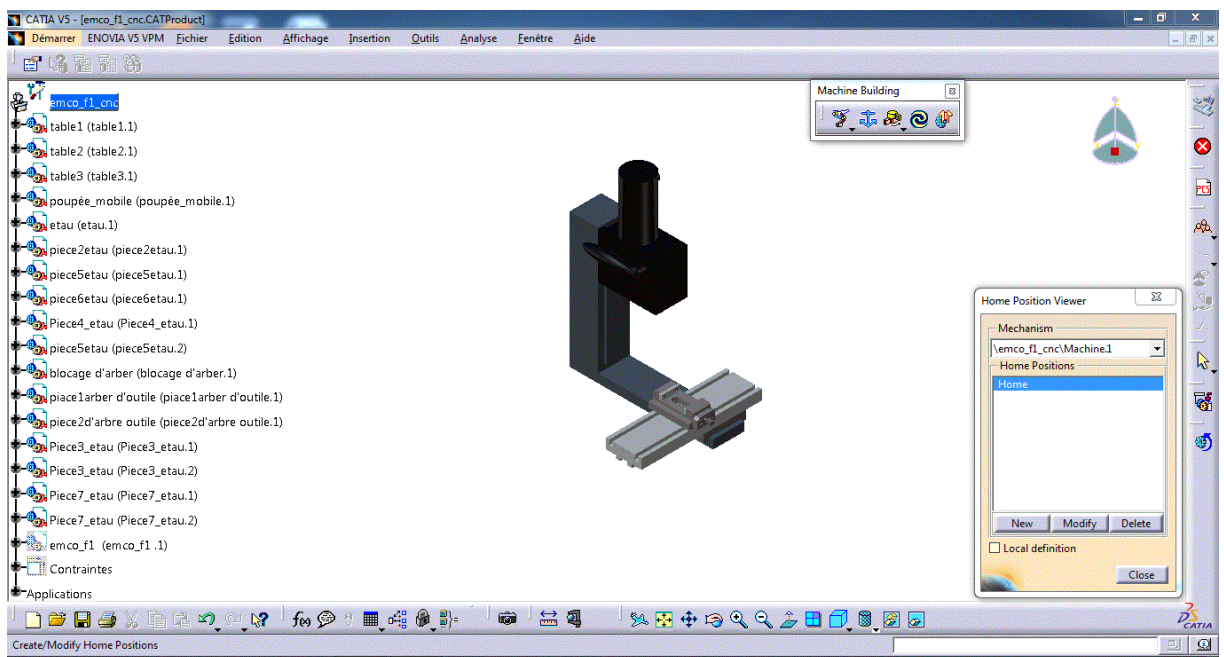
- Maintenant nous définissons le montage de la pièce à usiner dans étai 
- Sélectionnez le composant ...ok



➤ Maintenant nous définissons la maison



➤ Cliquer sur la new home

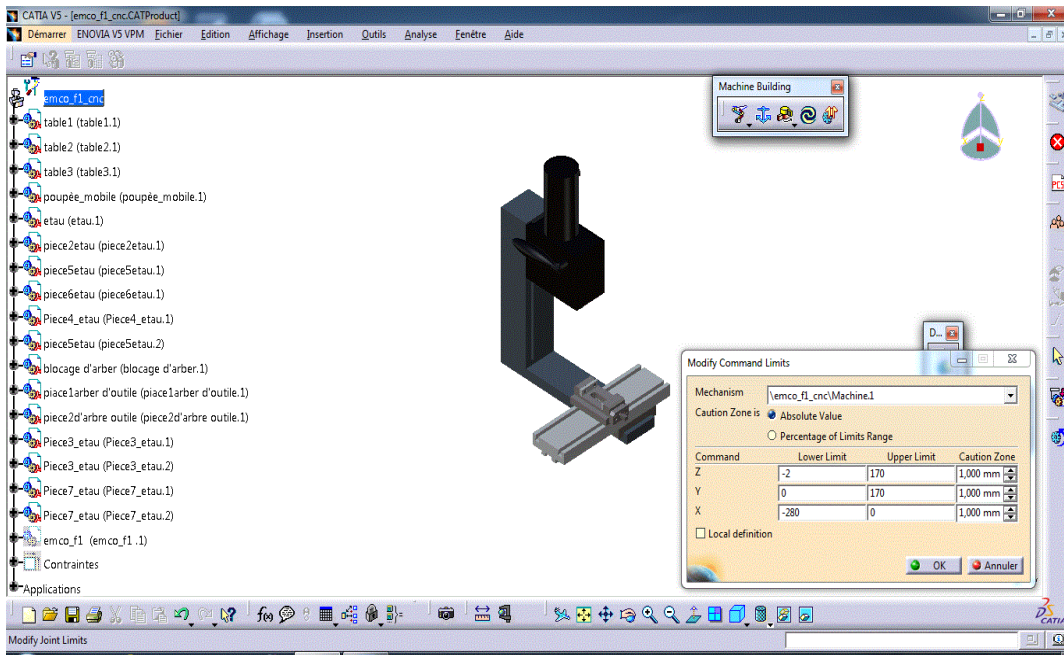


➤ Maintenant définir la position de changement d'outil (dans ce cas la position est la même maison)

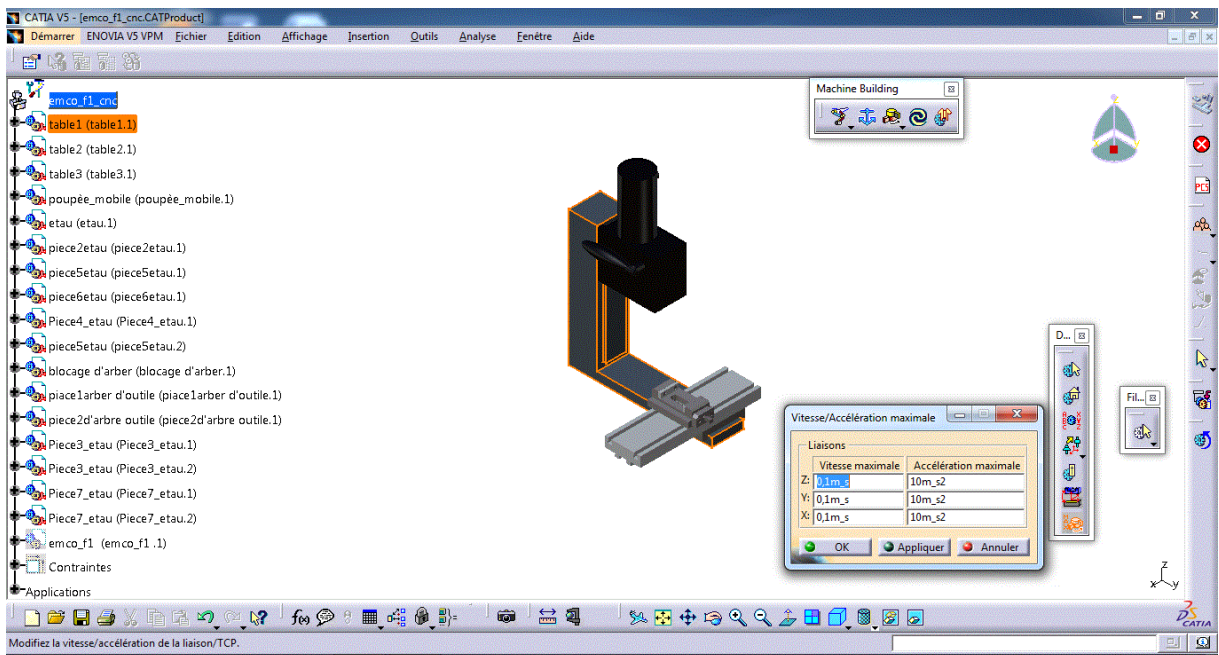


➤ Définir les limites de course (cette étape est facultative)





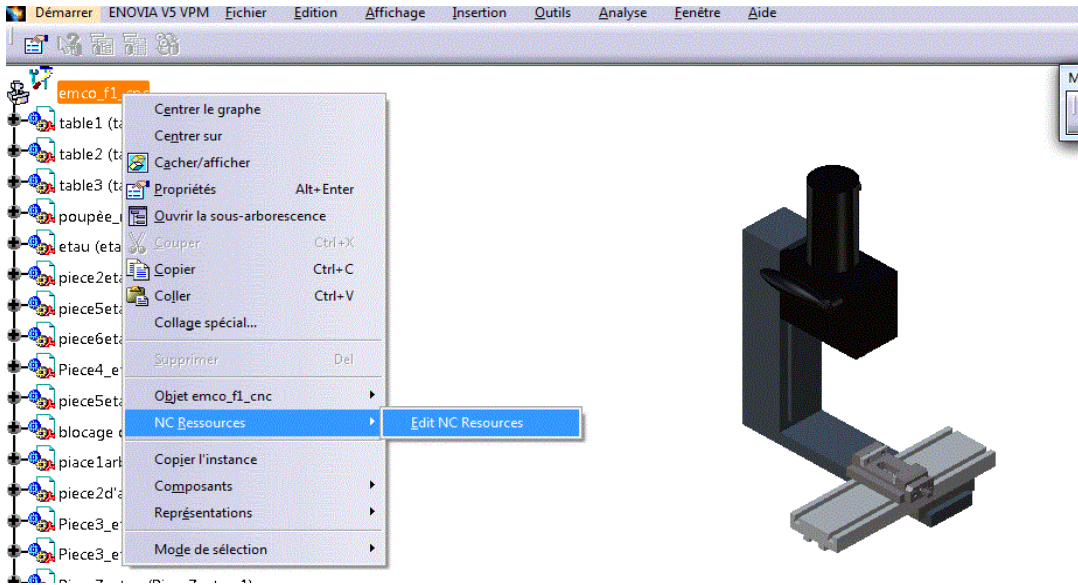
- Enfin définir les limites de vitesse et d'accélération (ce col est en option)



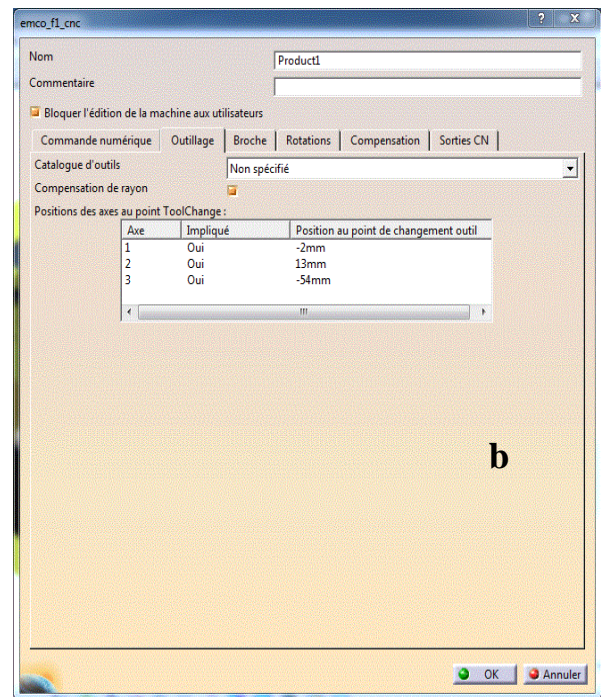
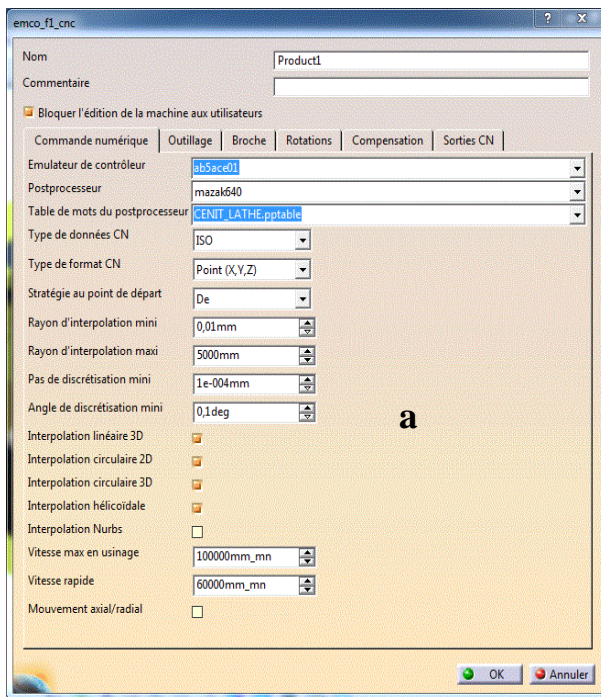
- Un examen final et le mécanisme de vérification

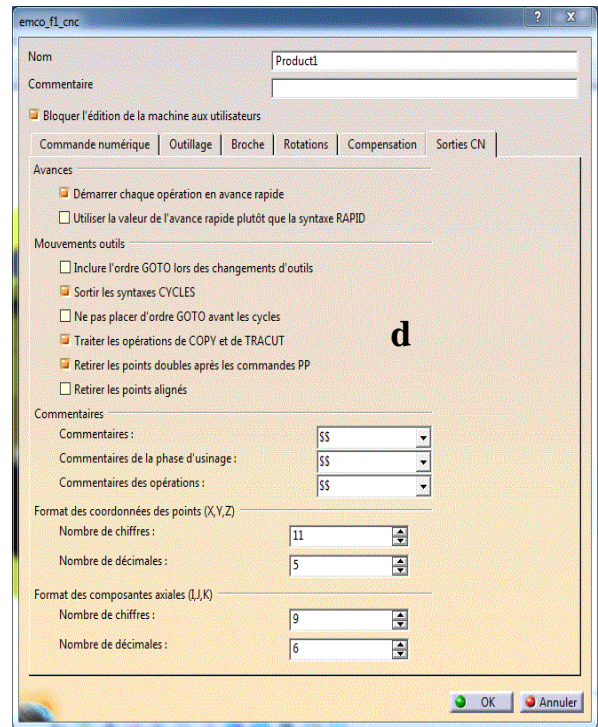
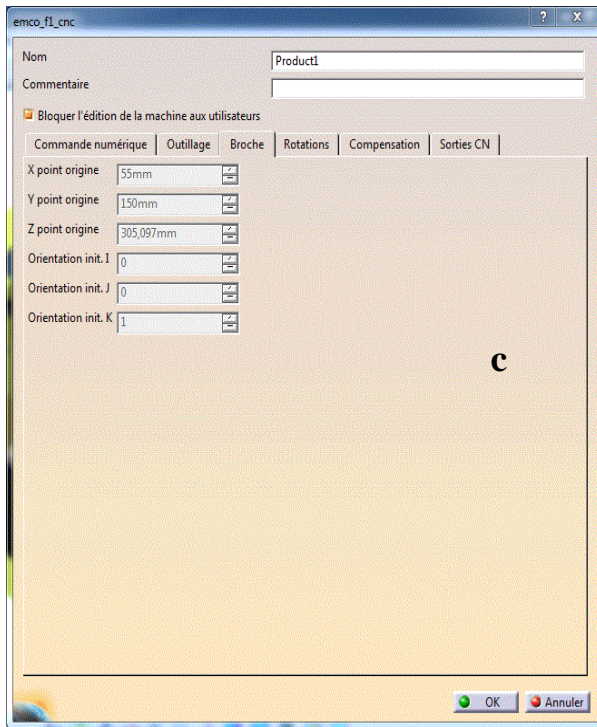


- Etape suivante définir les ressources NC



➤ Représenté le paramètre qui définit à la ressources NC





Chapitre IV : liaison RS 232C et Hyper terminal

Dans ce chapitre on explique le transfert des données sous forme d'un fichier texte (G-code) entre la machine EMCO CNC f1 et le micro ordinateur (PC) en utilisant un câble de type RS232 C, pour ce faire, on a une application (Hyper terminal) qui assure cette communication.

IV .1) Généralité

La transmission d'informations nécessite l'utilisation d'un langage commun (ISO ou G-code). Il en est de même pour la transmission d'informations numériques entre deux postes de travail ou entre un poste de travail et un équipement, qui nécessite l'utilisation de règles communes : type de liaison, vitesse de transmission, format des données transmises, détection d'erreurs [19].

IV.2) Définition de RS-232 :

Le **RS-232** "Recommended Standard 232" est un ensemble de normes permettant l'échange d'informations entre un périphérique électronique et un ordinateur via une connexion D-SUB. Le RS-232 définit les conditions d'utilisation des circuits, les niveaux électriques et le brochage. Par exemple, la prise **RS-232C** (figure IV.1) d'une machine peut être utilisée pour établir un diagnostic de Certains composants ou encore pour contrôler la machine via un ordinateur [14]. Il a été utilisé à la transmission des données (programme G-code) entre des ordinateurs, entre un ordinateur et ces périphériques (imprimante, table traçante, ...), entre un ordinateur et d'autres systèmes équipés de processeur tel les commandes numériques de machines outils MOCN



Figure IV.1 : Câble RS232 utilisé pour le transfert entre la MOCN et le PC.

IV. 3) Différents mode de transfert des données


IV. 3.1) Transfert des données par le code G65 (cassette –MOCN)

C'est une opération qui consiste à saisir l'instruction G65 manuellement par l'utilisateur de la machine .Il s'en suit leur introduction dans la partie commande par le biais des touches spéciales clavier de la machine (**figure IV.2**). Relatives aux instructions utilisées pour l'industrialisation des pièces mécaniques. (Les instructions concernant la création du programme) et autres comme : X.Y .Z . N .G .M .F .T .I. k.



Figure IV.2 : Clavier de partie commande de CN.

Le mode de fonctionnement permet le transfert des données (programme G-code) à partir de la bandes magnétique (cassette) dans la mémoire de la machine (figure IV.3) Nous appelons cela mode de fonctionnement charger, ce mode est utilisé comme suit :

- On Appuyée sur la touche  jusqu'à ce que l'indication de mot G s'allume sur l'afficheur de la machine, on remarque que la Fonction G apparaît ;

- On Appuyée sur G65 sur l'écran, et nous entrée le nombre de programme par exemple le numéro de programme 300 ;
- Enfin on appuyée sur INP pour charger le programme.



Figure IV.3 : Exemple de transfert d'un programme G-code entre la cassette et la MOCN.

IV. 3.2) Transfert des données par le code G66 (PC-MOCN)

C'est un procédé qui consiste à transférer les données (programme G-code) par câble spécial selon le type de connexion RS 232C. Ce transfert qui consiste à saisir l'instruction G66 manuellement par l'utilisateur de la machine.

Et le mode de ce transfert fonctionné comme suite :


- a) Le mode de fonctionnement permet le transfert des données (programme G-code) à partir le câble RS232 de la machine EMCO F1 CNC à le pc (figure IV.4) Nous appelons cela mode de fonctionnement transfert, ce mode est utilisé comme suit :
 - On appuyée sur la touche  jusqu'à ce que l'indication de mot G s'allume sur l'afficheur de la machine, on remarque que la Fonction G apparaît ;
 - On taper le code G66 dans le programme sur l'écran ;
 - On mettras G66, on appuyée sur 66 INP sur l'écran ;
 - Enfin on appuyée sur FWD pour transférer le programme.



Figure IV.4 : Exemple de transfert d'un programme G-code entre la MOCN et le PC.

B) Le mode fonctionnement de ce transfert pour transmettre le programme G-code à partir le câble RS232 de pc à la machine EMCO F1 CNC (figure IV.5) Nous appelons cela mode de fonctionnement charger est comme suit :


- On appuyée sur la touche  jusqu'à ce que l'indication de mot G s'allume sur l'afficheur de la machine, on remarque que la Fonction G apparaît ;
- on mettras G66, on appuyée sur 66 INP sur l'écran ;
- Enfin on appuyée sur INP pour charger le programme.

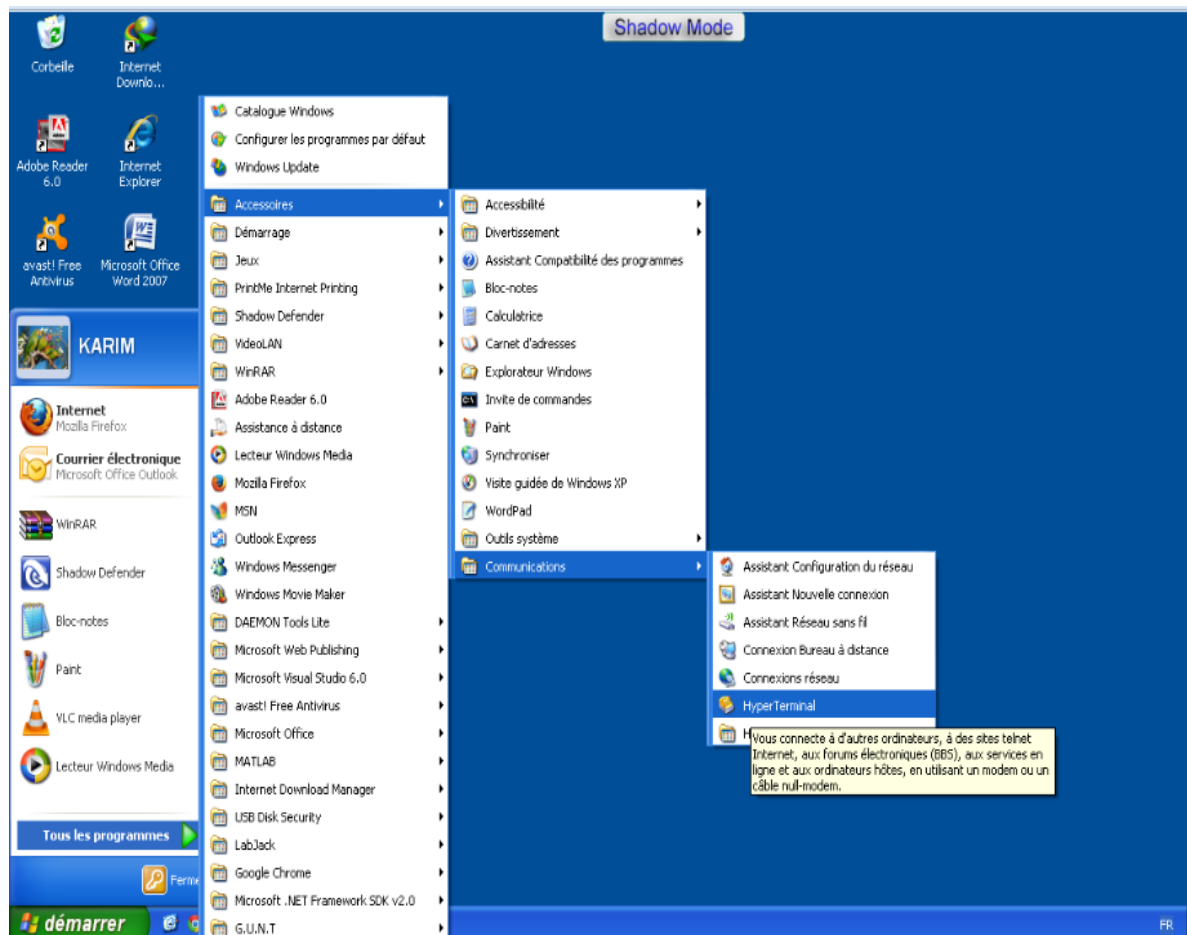


Figure IV.5 : Exemple de charger d'un programme G-code entre le PC et la MOCN.

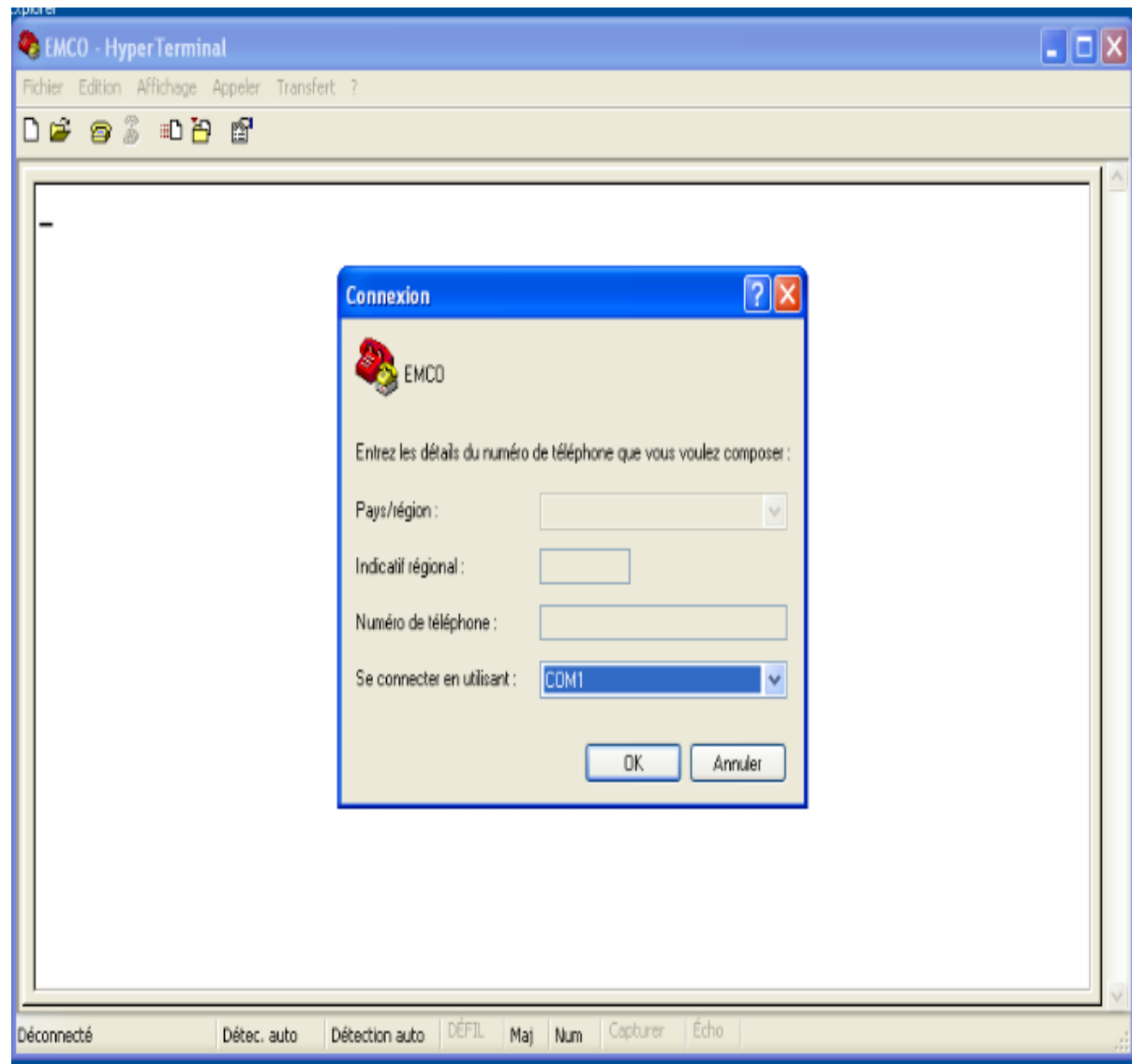
IV.4) La connexion avec les machines EMCO F1 CNC

L'application Hyper terminal peut transmettre le programme CNC vers l'EMCO F1 CNC en utilisant le câble série RS232 C et inversement. Cette application permet de facilité la tache à l'opérateur de commande numérique et donner plus de possibilité pour modifier ou supprimer un programme G-code. Pour utiliser cette application correctement, on doit s'assurer que les paramètres du logiciel sont bien configurés. Les étapes suivantes montrent le lancement de l'application Hyper terminal :

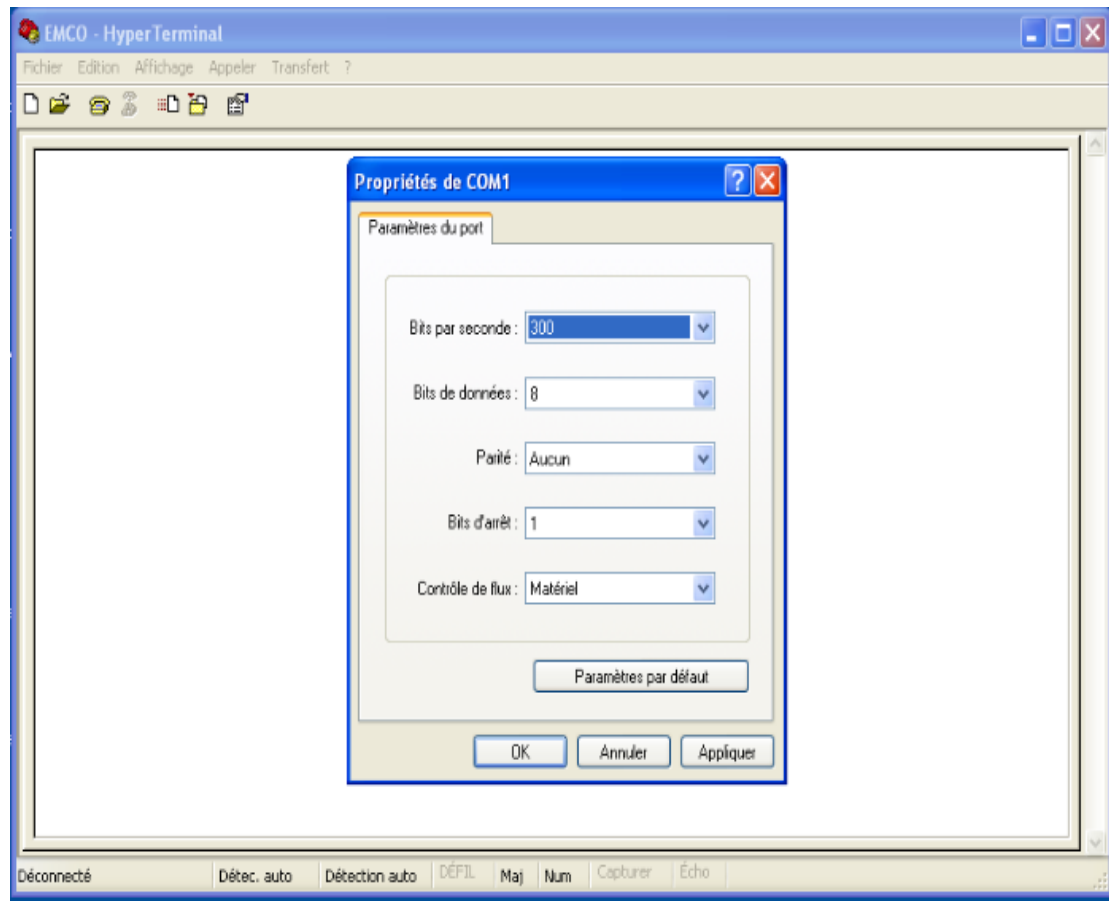
- On clique sur le bouton Démarrer → le menu Programmes → le sous-menu Accessoires → le dossier HyperTerminal → et enfin on double-clique sur le programme Hypertrm.exe.



- Une fois l'application HyperTerminal est lancée, la première fenêtre qui apparaîtra est appelée description de la connexion. Cela permet de renommer la nouvelle connexion EMCO.



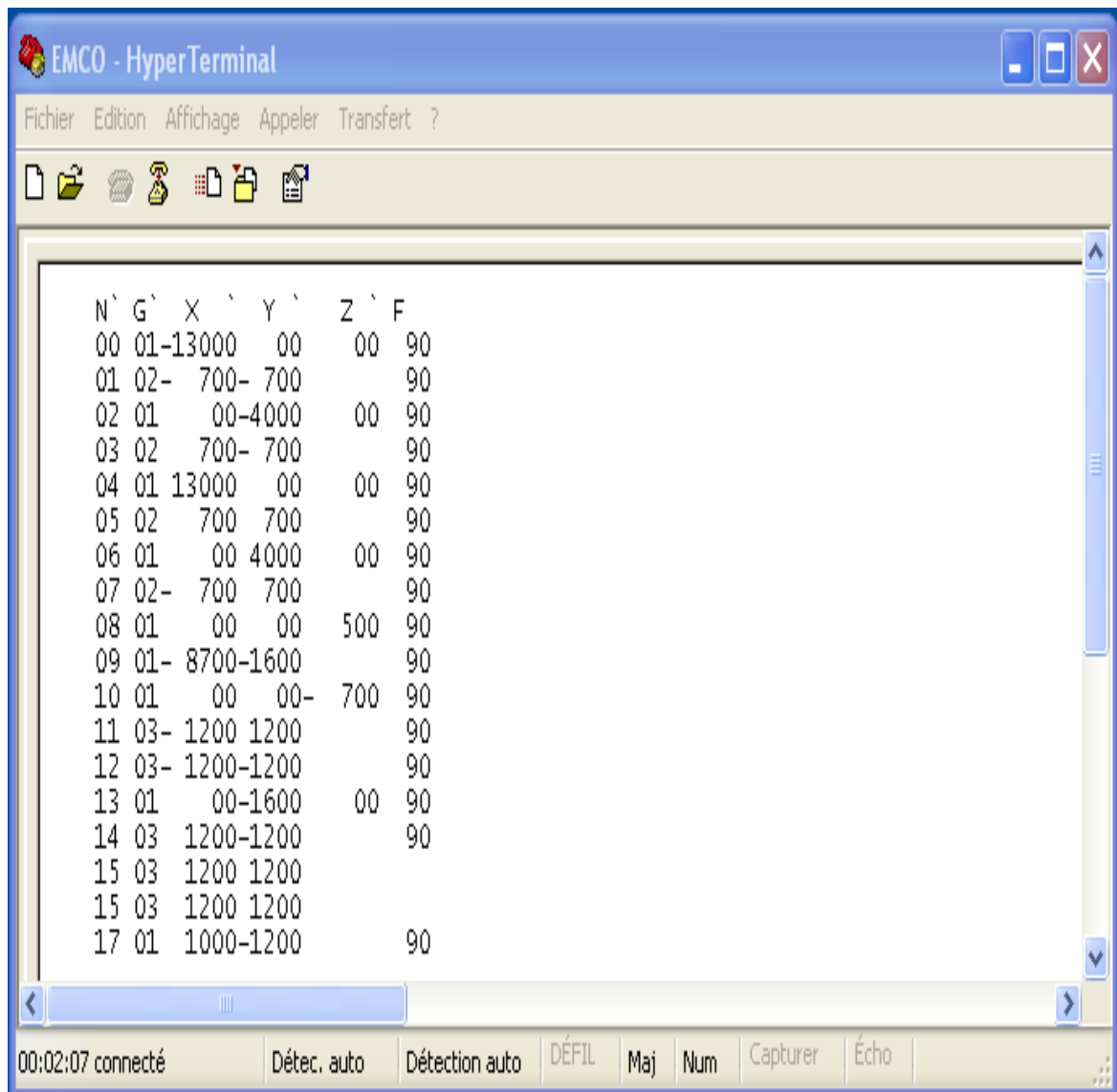
- Ensuite une boîte de dialogue apparaîtra qui s'appelle propriété de COM1 dont lequel on trouve le réglage des paramètres de la vitesse transmission (300bd), la parité c'est aucun, le nombre de bits égale 8 et le nombre de bit d'arrêt réglé sur 1.



Dans notre travail on a choisi un exemple simple (programme G-code) pour tester le transfert entre la machine et le pc, les étapes les plus importantes sont illustrées dans les points suivants :

- On taper le programme pièce sur la machine EMCO ;
- On cliquer sur le bouton H/C ;
- On cliquer sur le bouton INP ;
- On taper le code G66 dans le programme sur l'écran ;
- Enfin on appuyée sur FWD pour transférer le programme.

On remarque que le programme G-code est visible sur l'application Hyper terminale, à ce stade on peut enregistrer le programme G-code sur l'ordinateur, et ça nous donne la possibilité de le modifier dans le cas ou on l'utilise ultérieurement.



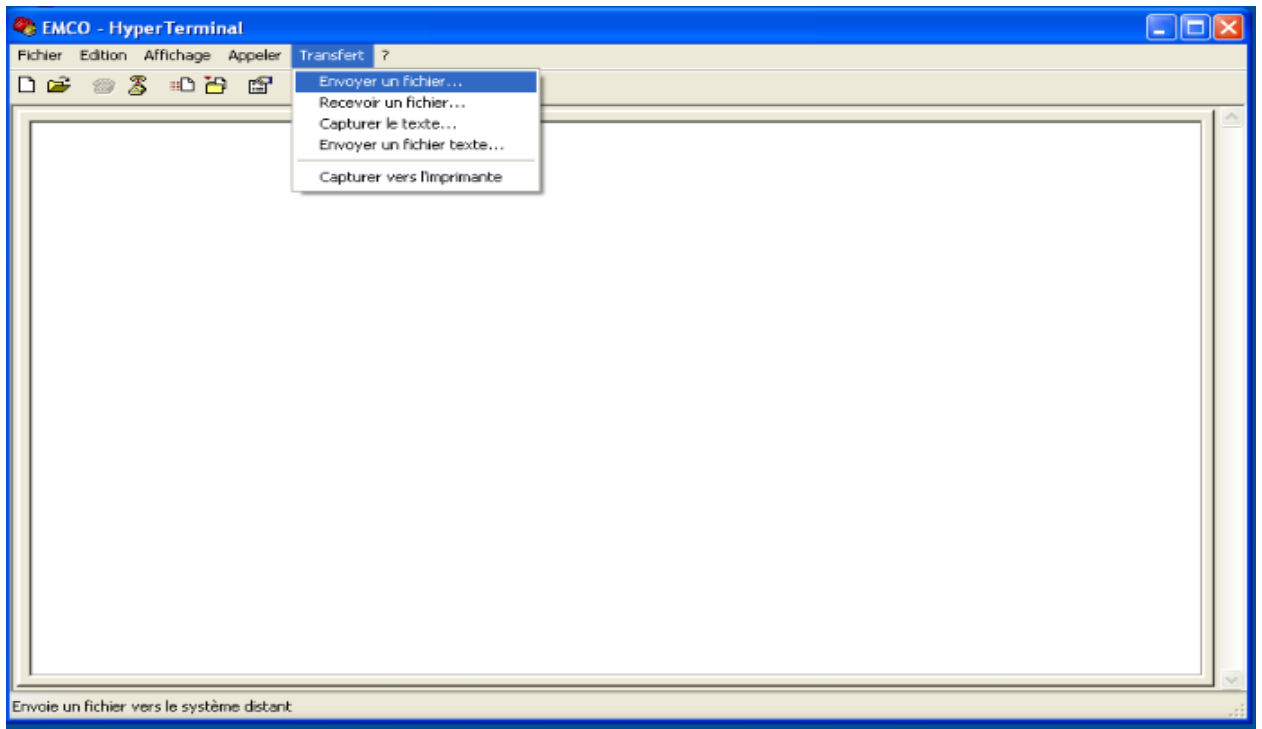
```
N` G` X ` Y ` Z ` F
00 01-13000  00  00 90
01 02- 700- 700      90
02 01  00-4000  00 90
03 02  700- 700      90
04 01 13000  00  00 90
05 02  700 700      90
06 01  00 4000  00 90
07 02- 700 700      90
08 01  00  00  500 90
09 01- 8700-1600     90
10 01  00  00- 700 90
11 03- 1200 1200     90
12 03- 1200-1200     90
13 01  00-1600  00 90
14 03  1200-1200     90
15 03  1200 1200     90
15 03  1200 1200     90
17 01  1000-1200     90
```

Dans le cas contraire, c'est-à-dire le transfert du programme pièce de l'ordinateur vers la machine outil à commande numérique on suit les étapes suivantes :

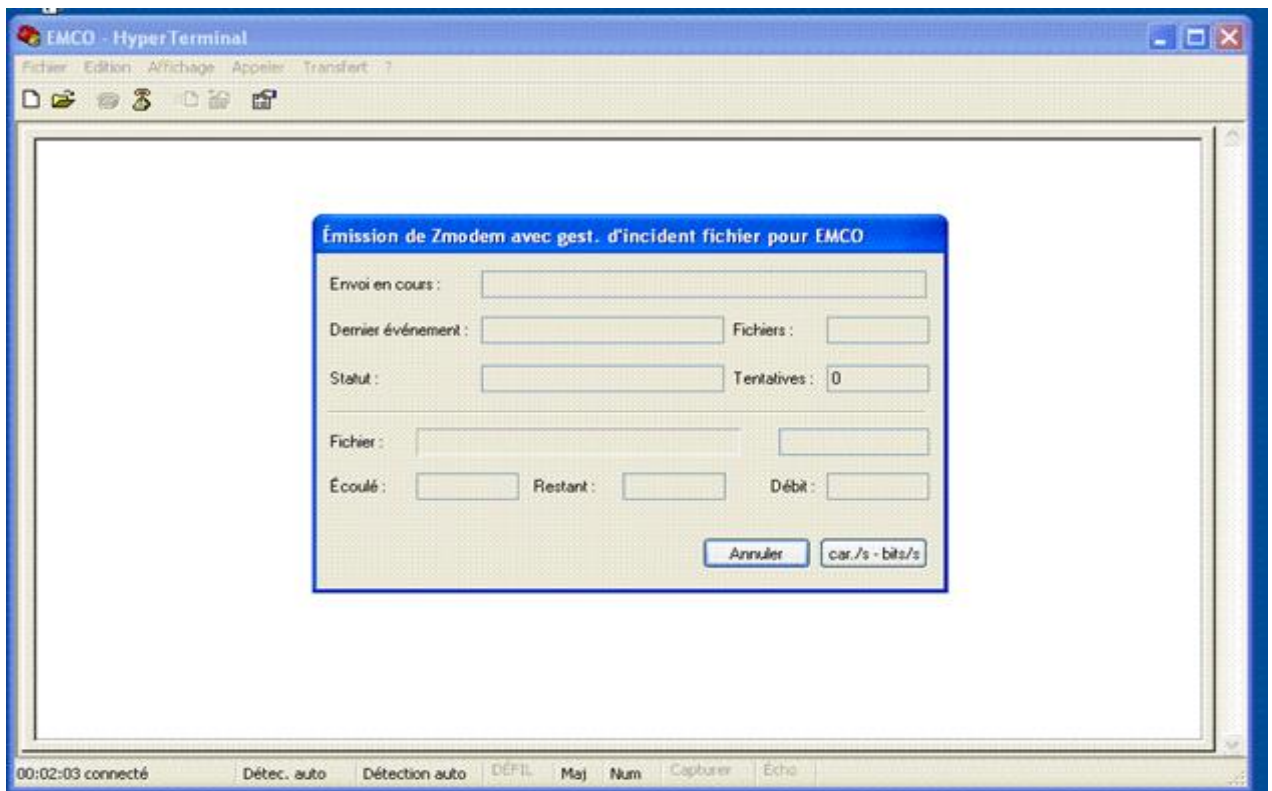
- On doit s'assurer que la mémoire de la machine est vide ;
- On clique sur le bouton INP ;
- On tape le code G66 dans le programme ;
- On clique sur le bouton INP deux fois.

Chapitre IV : liaison RS 232C et Hyper terminal

➤ A partir l'application hyper terminal on a envoyé (programme G-code) de fichier texte entre le pc et le machine outil à commande numérique type EMCO f1 cnc.



➤ On remarque que le transfert en chargement sur l'application Hyper terminal à vers le EMCO



- Enfin on a usinée la pièce du programme (G-code) de la machines outils à commande numérique (MOCN) type EMCO Fraiseuse f1 cnc qui se trouvent au niveau du hall technologique de l'université de M'sila,



Figure IV. 6: Exemple d'une pièce usinée sur MOCN EMCO f1 cnc.

Conclusion Générale

L'objectif de ce travail est de faire une extension pour les machines outils à commande numérique (MOCN) type EMCO cnc qui se trouvent au niveau du hall technologique de l'université de M'sila, ces machines date des années 80 où la technologie à cet époque n'est pas encore évoluée comme aujourd'hui. À partir de l'analyse des résultats (liaison RS232 et modélisation géométrique de la MOCN EMCO f1 cnc), on peut déduire les conclusions principales suivantes :

- La rapidité du transfert du programme pièce (G-code) de l'ordinateur vers la machine outil à commande numérique ;
- La facilité de modification du programme en cas d'erreur de saisie.
- La possibilité de sauvegarde du programme en cas de coupure d'énergie.
- L'extension de la capacité du programme en nombre des lignes sachant que les MOCN type EMCO cnc sont limitées en capacité de ligne (255 lignes).
- La possibilité pour les futurs étudiants en génie mécanique à mieux utiliser et comprendre le fonctionnement des MOCN à l'aide de la simulation d'usinage.

Enfin pour moderniser et mieux utiliser les machines outils à commande numérique de type EMCO (Tour compact 5 cnc et Fraiseuse EMCO f1 cnc), nous proposons comme suite à ce travail de mémoire d'autres voies complémentaires comme :

- La modélisation géométrique du tour compact 5 CNC pour qu'il puisse l'introduire dans le logiciel CATIA V5 ;
- L'élaboration d'un programme informatique didactique pour faire la simulation d'usinage.

Références bibliographiques

- [1] Gilles, P. (1996). Commande numérique des machines-outils. Ed. Techniques d'ingénieur. Génie mécanique, Usinage, B7, France.
- [2] Farid, B. (2014-2015). Étude de processus d'usinage des pièces mécanique sur les machines CNC a 5 axes. Université Mohamed Khider – Biskra, Faculté des sciences et de la technologie.
- [3] Cornand, A- Lacombe, J. -Rak, I.(1987) .Usinage et commande numérique.
- [4] Robichon, R. (1996).La machine outil à commande numérique, centre des technologies nouvelles - unicité - 8, rue alfred kastler - 14000 CAEN
- [5] Hazard, C. (1984). La commande numérique des machines-outils: technologie, programmation, applications. Foucher.
- [6] Butin, R – Pinot, M. (1981) .Fabrication mécanique « tome3 ». Paris, France.
- [7] P. Lefur. (1997). Machines outils à commande numérique : structure, modélisation et réglage. L'école supérieure des arts et métiers l'ENS de Cachan Paris. France.
- [8] Site web dernier mise à jour (20.05.2017) .en ligne <http://docslide.fr/documents/cours-democn.html>
- [9] Mourice, C – Rene, P. (1986). La commande numérique pour tous. France
- [10] Site web dernier mise à jour (20.05.2017) .en ligne <http://slideplayer.fr/slide/505265/>
- [11] JEAN-PIERRE URSO,(Edition castilla, juillet 2002) Memotech Commande numérique programmation Educative,
- [12] Bernad, M. (1997). Machines à commande numérique ISBN 2-86601-607-6
- [13] Peter, S .CNC programming handbook .Third edition. Industrial Press, Inc.989 Avenue of the Americas New York, NY 10018, USA
- [14] Feniche, A. (2012-2013). Étude et réalisation d'une connexion RS 232 de la fraiseuse EMCO F1 CNC et le tour EMCO compact 5 CNC avec le pc. Universite Kasdi Merbah Ouargla.
- [15] Mery (B), Charpentier (F) – (1996) Machines-outils à commande numérique -

Polycopié de cours IUFM de Créteil, Centre Scientifique et Technologique, site
De Cachan

[16] Zahia, H. (2016). Machines outils à commande numérique. Université des Frères
Mentouri Constantine, Faculté des sciences de la technologie.

[17] Papanicola, R. (2003). Modélisation cinématique et géométrique des liaisons,

[18] ISO – (décembre 1968) Nomenclature des axes et des mouvements, pour la commande
Numérique des machines - norme ISO 841, équivalent norme AFNOR NF Z
68-020

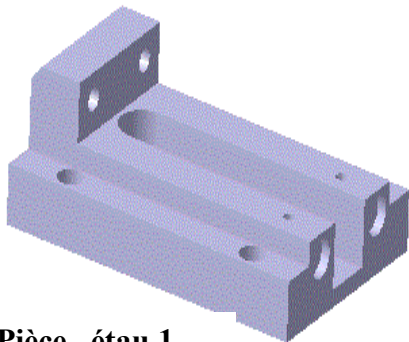
[19] Site web dernier mise à jour (20.05.2017) .en ligne <http://www.tavernier-c.com/serie.htm>



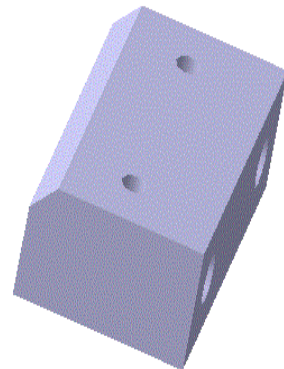
Annexe

Annexe

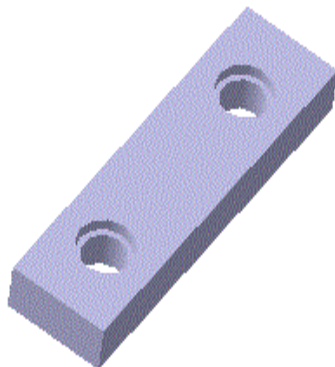
La conception des éléments (pièces) de la machine EMCO fl cnc utilise par logiciel CATIA V5 R20 comme prépara décrite en suite, que ces éléments sont dessines à l'échelle 1/1 dans l'atelier part design.



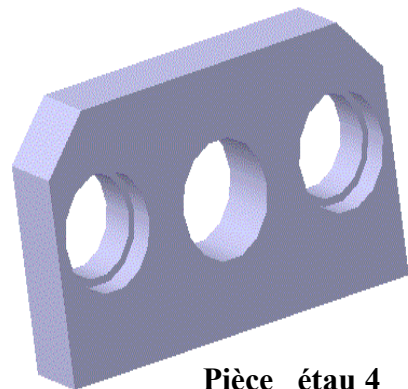
Pièce_étau 1



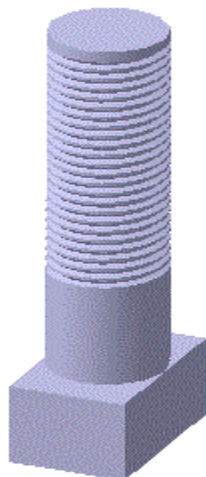
Pièce_étau 2



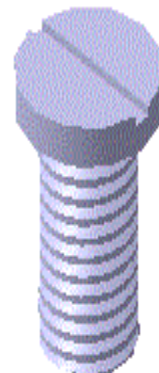
Pièce_étau 3



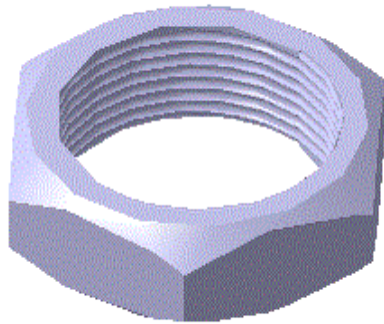
Pièce_étau 4



Pièce_étau 5



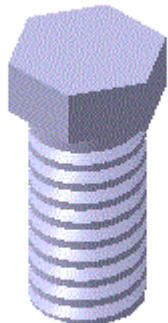
Pièce_étau 6



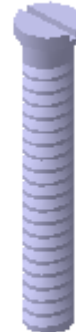
Pièce_étai 7



Pièce_étai 8



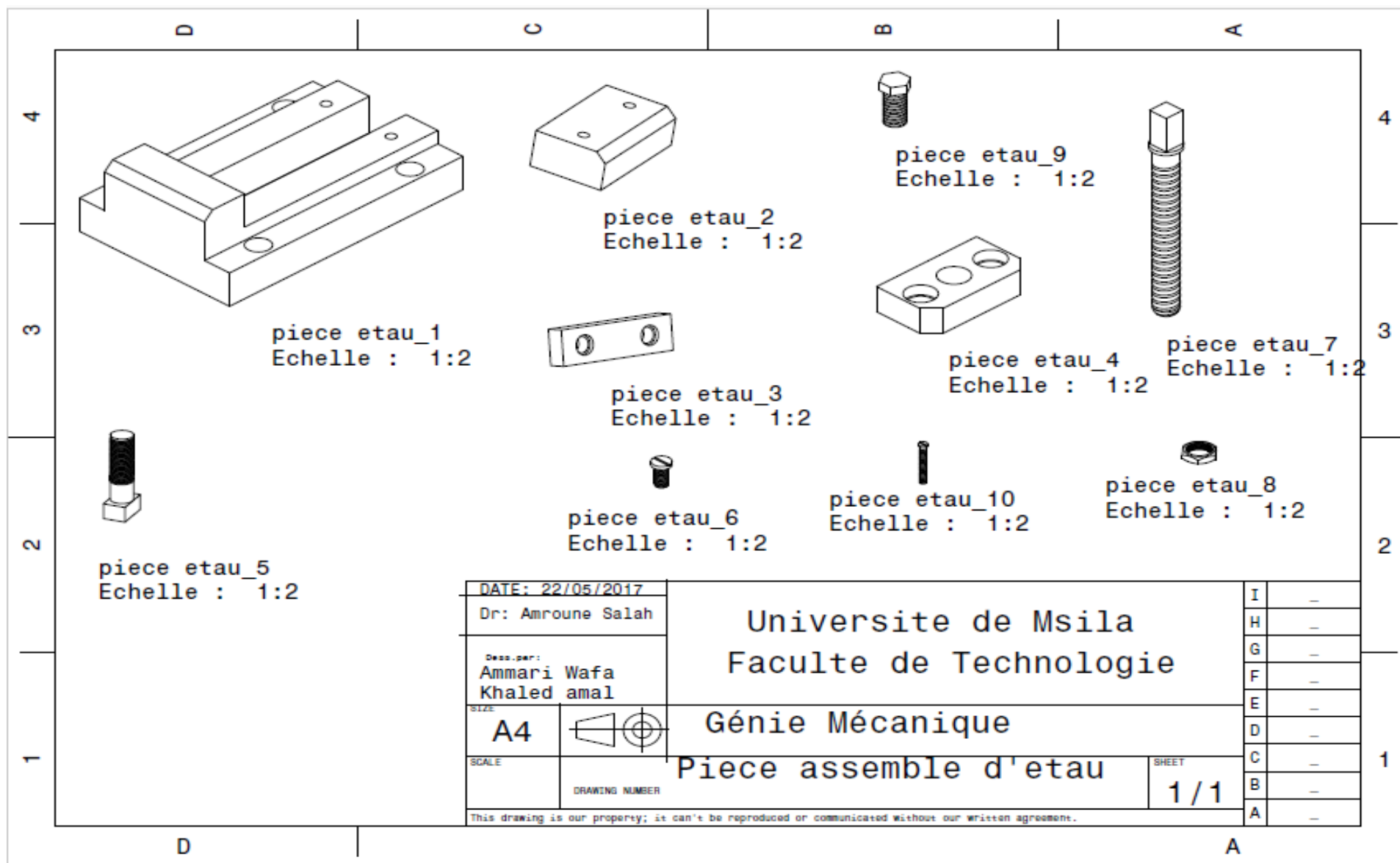
Pièce_étai 9

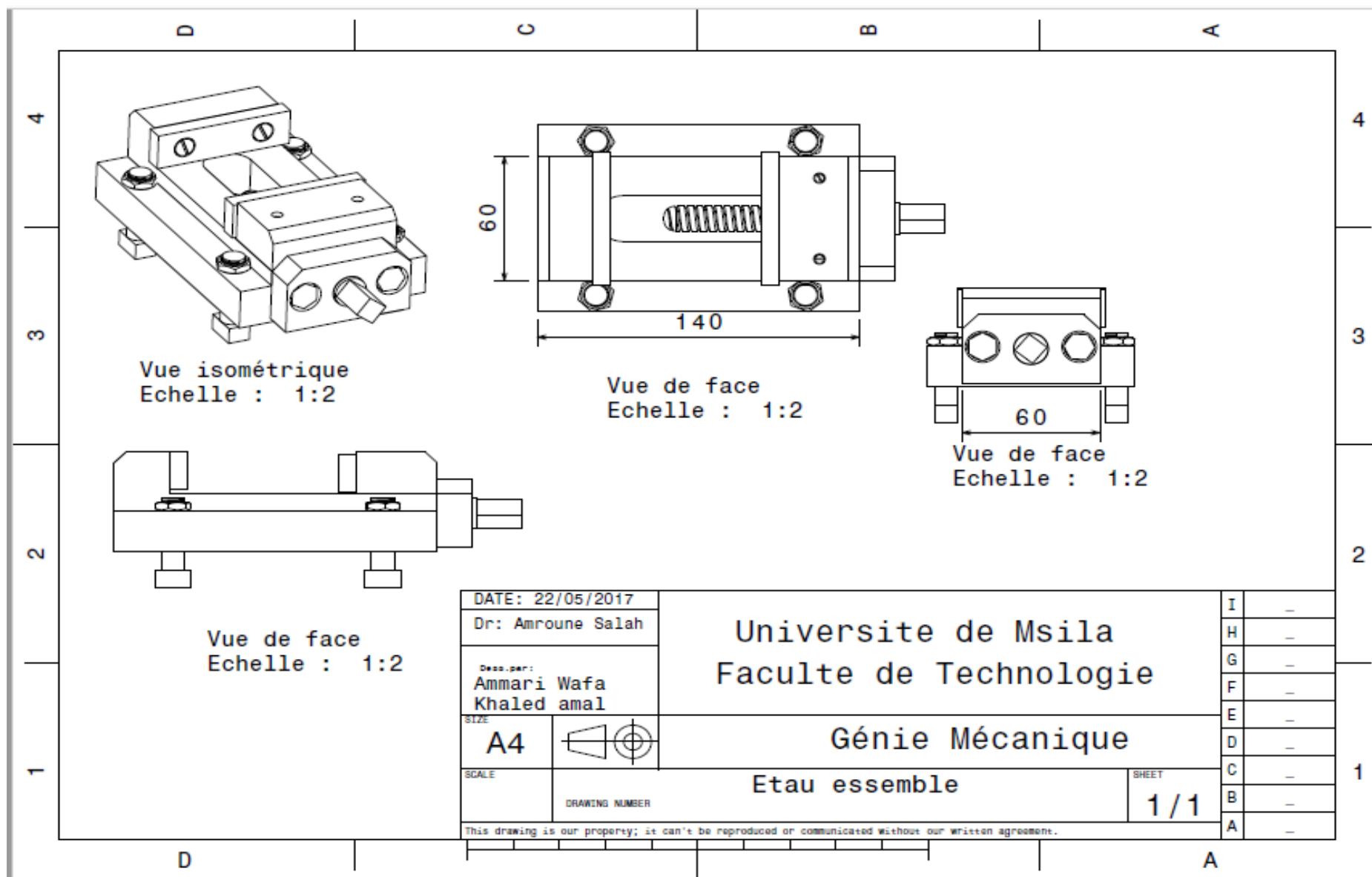


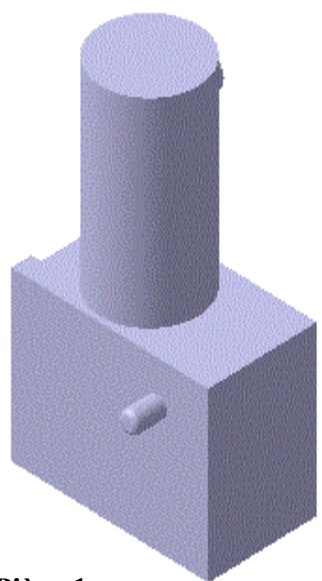
Pièce_étai 10

Figure 1 : Les pièces d'assemble de l'étai

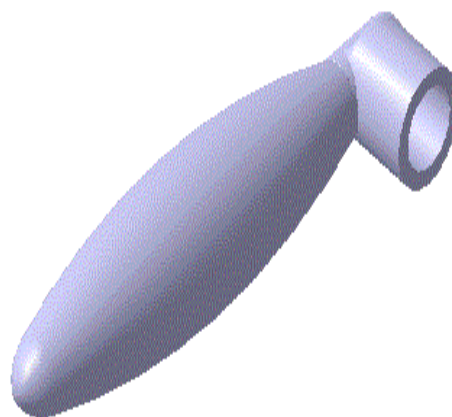
Et pour le détail de ces éléments sont élaborés dans l'atelier Drafting



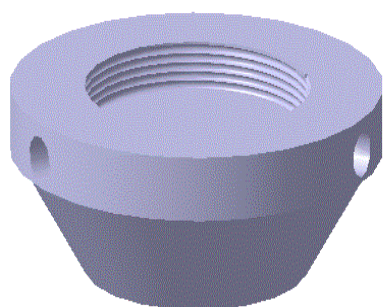




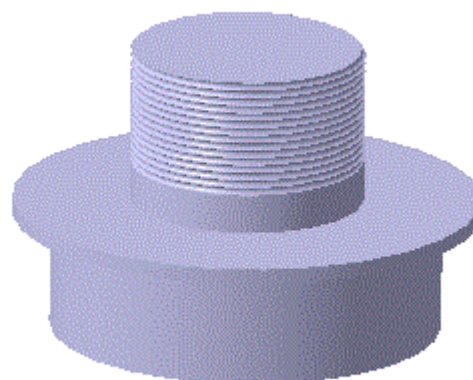
Pièce 1



Pièce 2

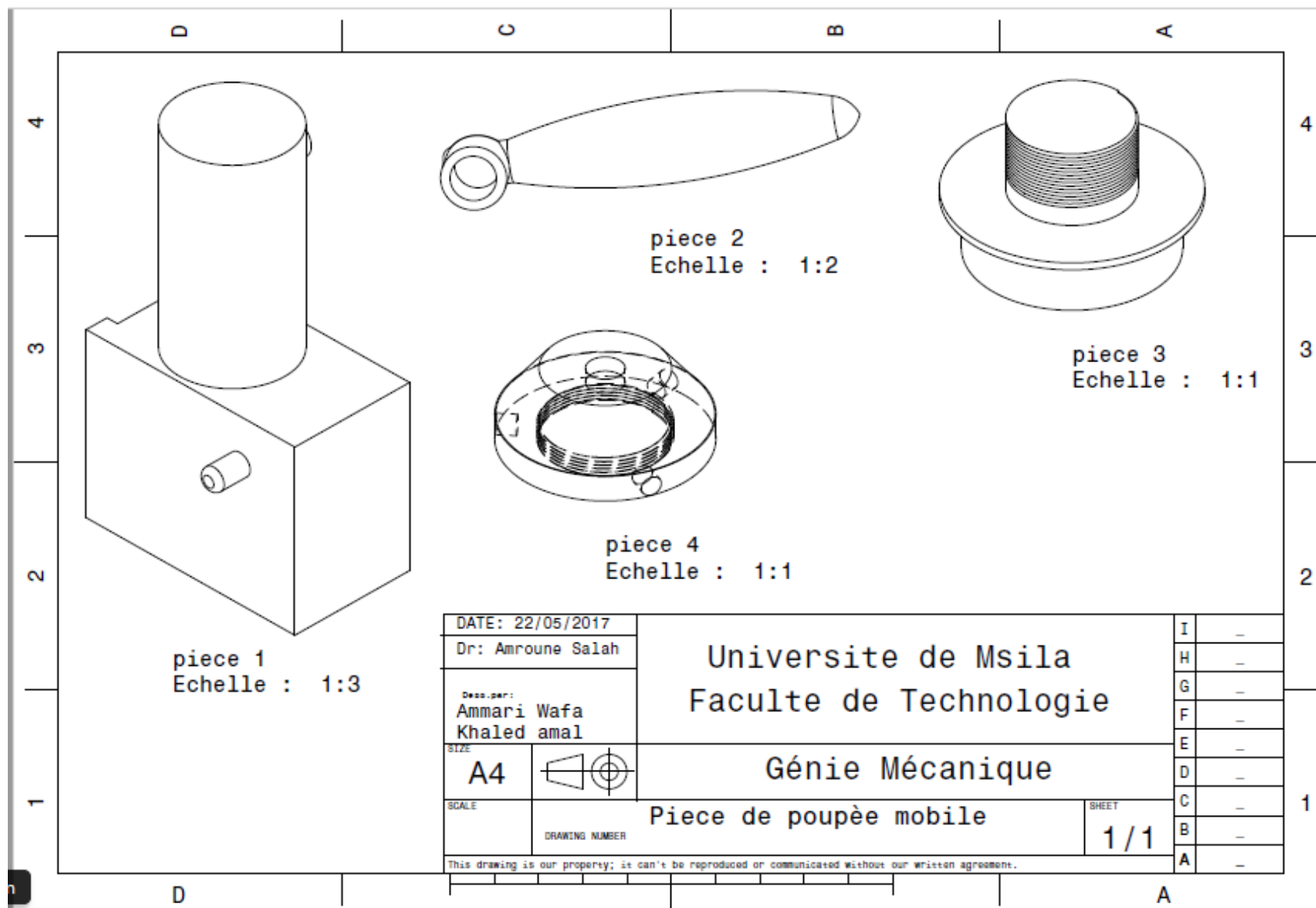


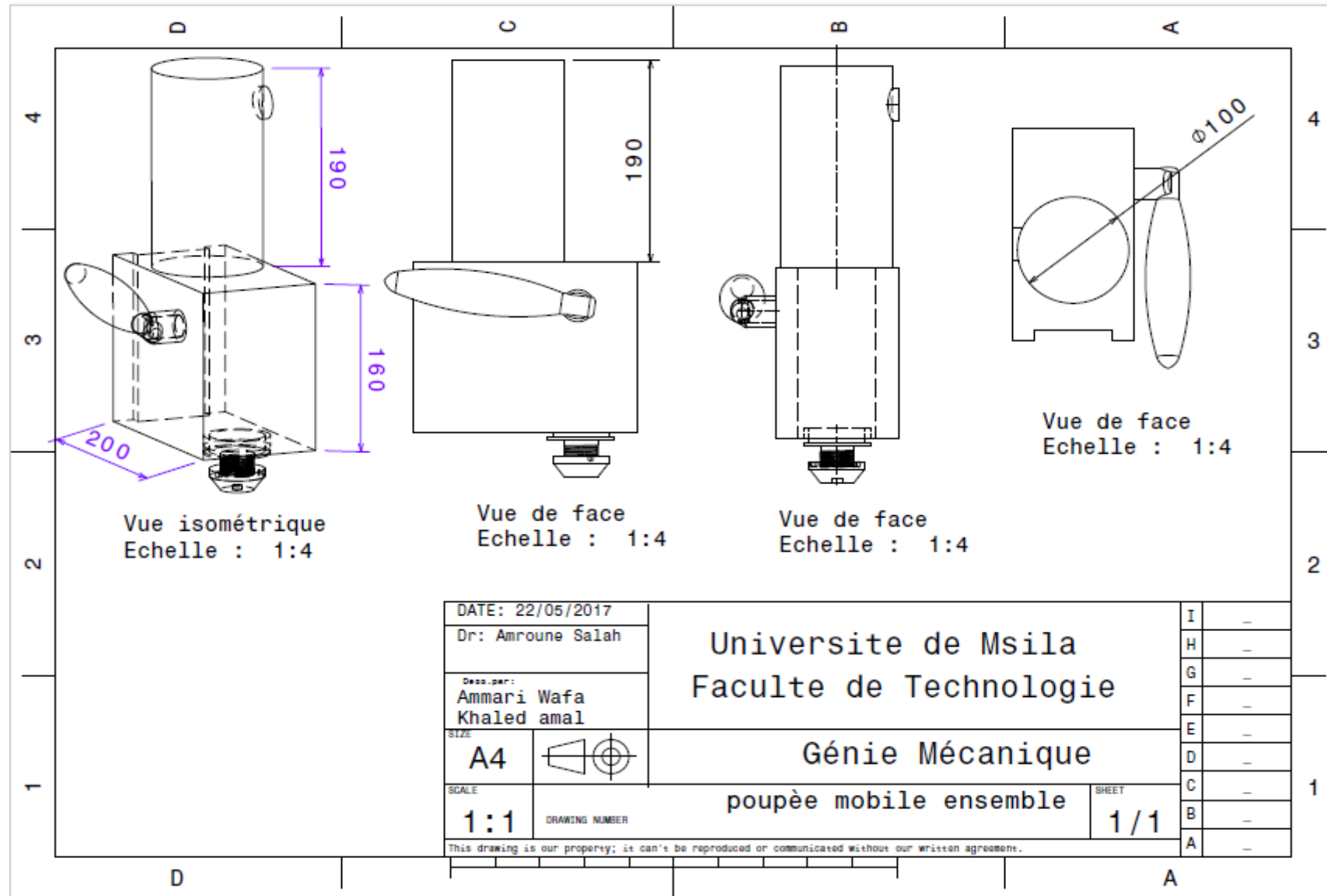
Pièce 4



Pièce 3

Figure 2 : pièce d'assemblage de poupée mobile.





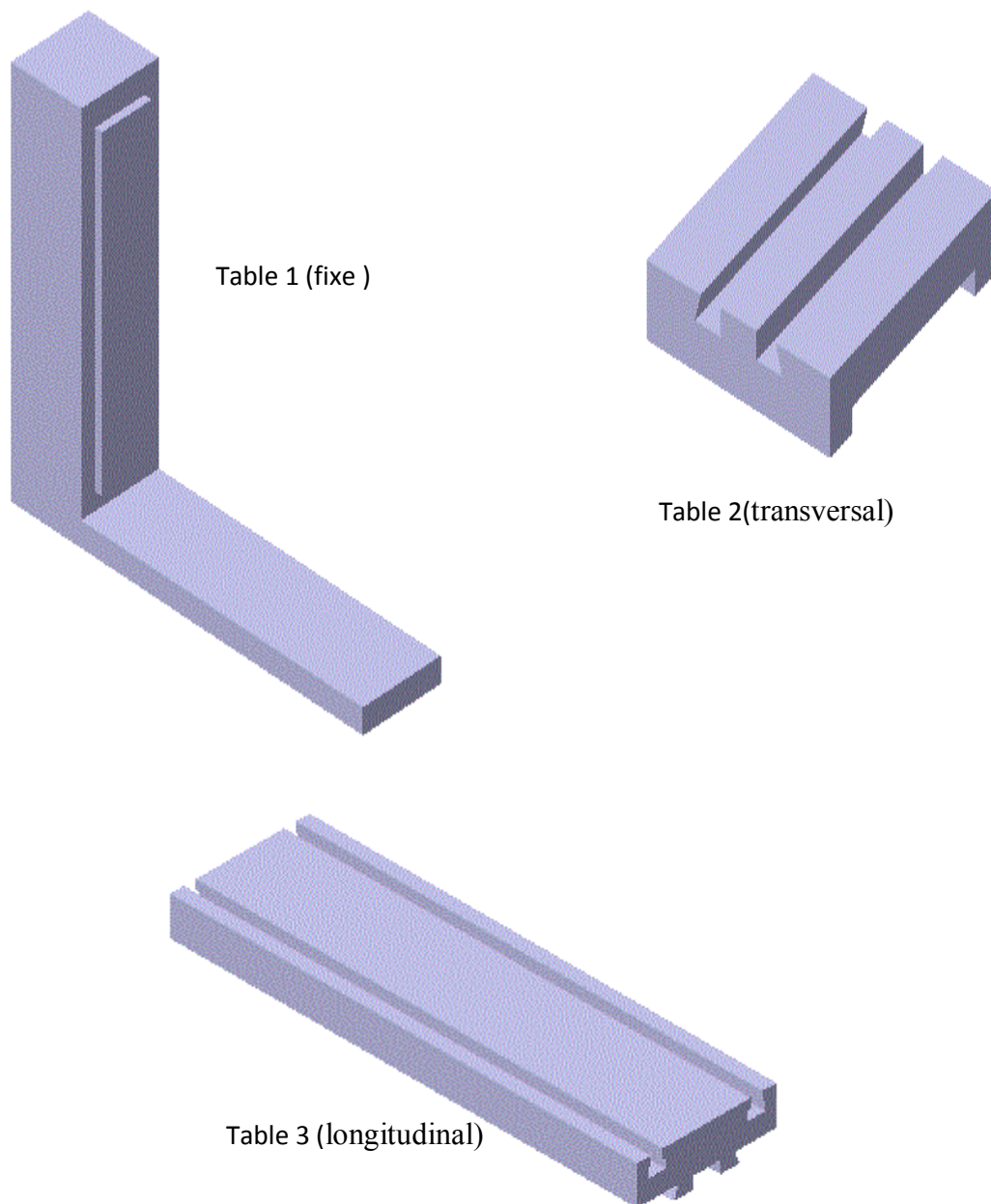
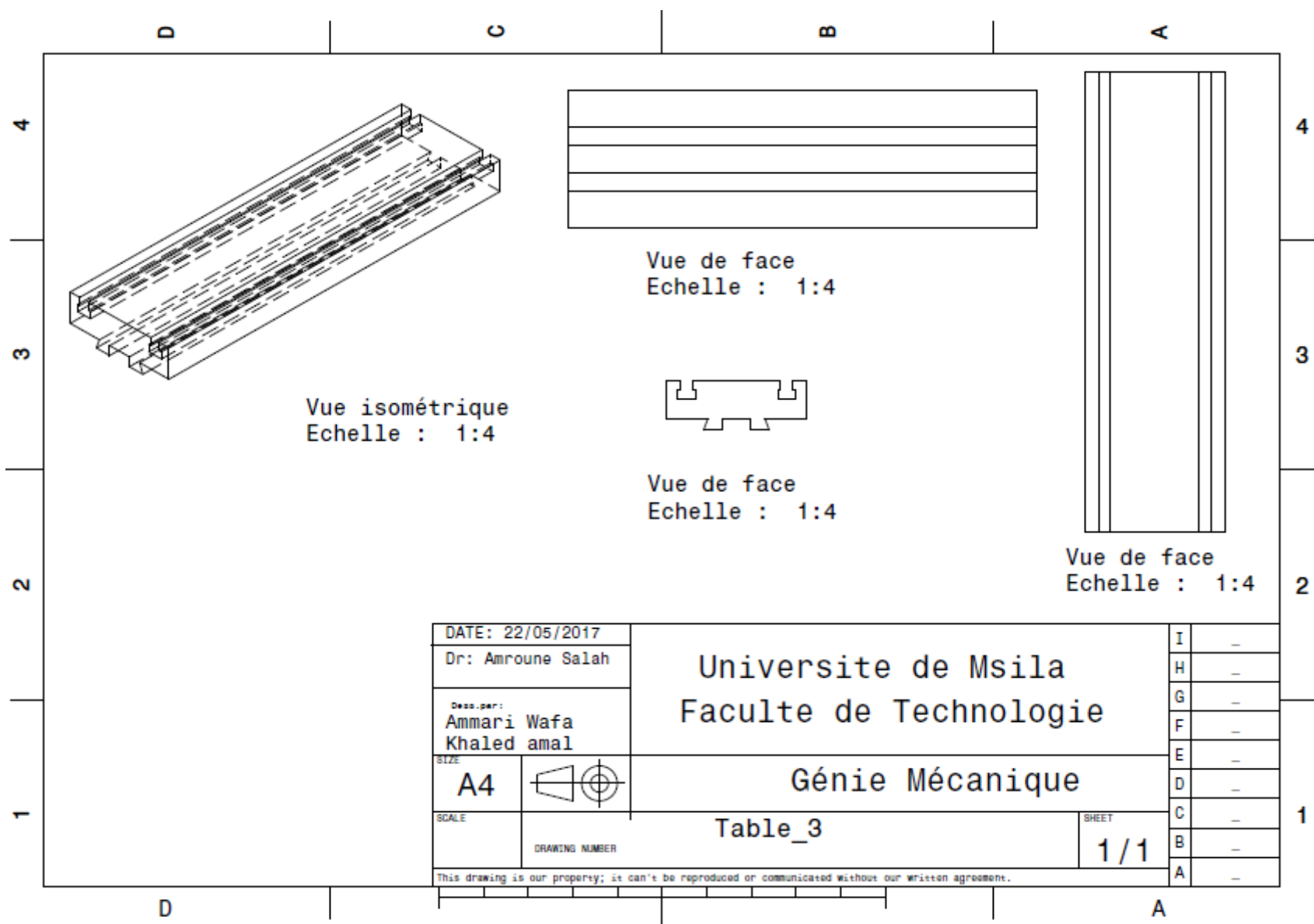
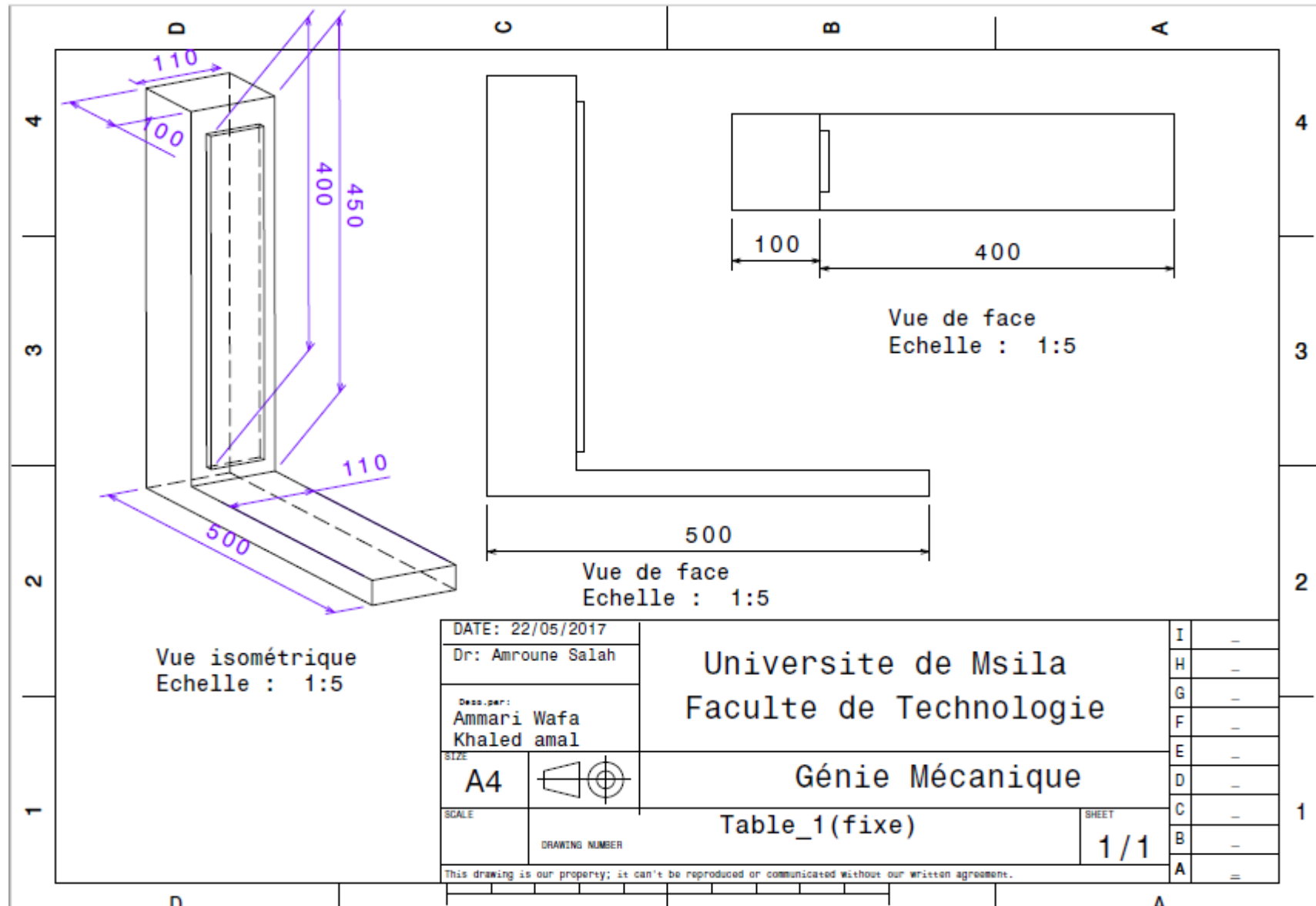


Figure 3 : les tables de EMCO fl cnc





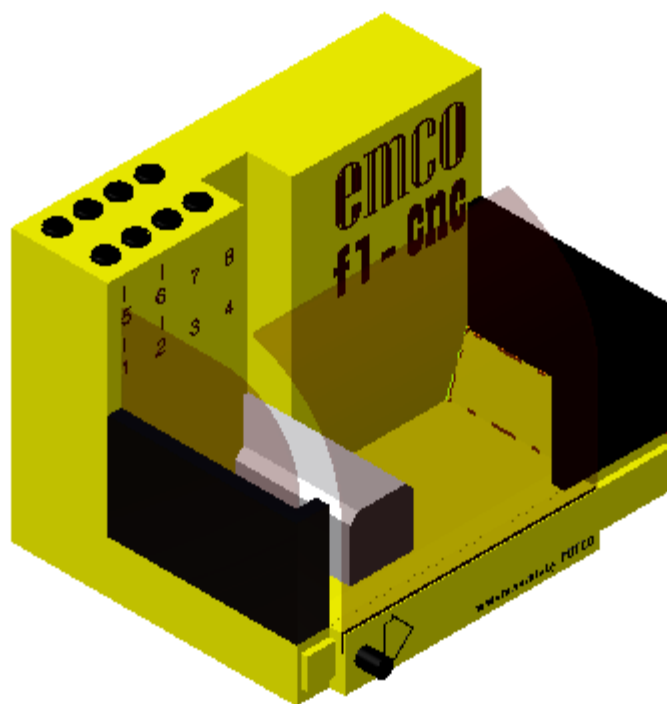


Figure 4 : la structure de l'extérieur d'EMCO f1 cnc.

